

**Japan Ergonomics Society Kansai Branch**

平成19年度

日本人間工学会関西支部大会

講演論文集

---

期日:平成19年12月1日(土)

場所:大阪府立大学中百舌鳥キャンパス

## ■ スケジュール ■

|                     | A会場<br>(1B-33)                                                       | B会場<br>(1B-34)          | C会場<br>(1B-38)     | D会場<br>(1B-39)               |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------|-------------------------|--------------------|------------------------------|
| 10:00<br>┆<br>10:50 | 支援システム<br>A-1 ~ A-3                                                  | ユーザビリティ I<br>B-1 ~ B-3  | 操作・作業<br>C-1 ~ C-3 | 運転者特性<br>D-1 ~ D-3           |
| 11:00<br>┆<br>11:50 | 音楽・感性<br>A-4 ~ A-6                                                   | ユーザビリティ II<br>B-4 ~ B-6 | 視覚 I<br>C-4 ~ C-6  | 睡眠・覚醒<br>D-4 ~ D-6           |
| 12:00<br>┆<br>12:50 | お 昼 休 み<br>評議員会・役員会合同会議（会場：学術交流会館・特別会議室）                             |                         |                    |                              |
| 13:00<br>┆<br>14:00 | 特別講演『メランコリーと癒し』<br>講 師： 角 田 茂（大阪府立大学人間社会学部 教授）<br>（会場：学術交流会館・多目的ホール） |                         |                    |                              |
| 14:20<br>┆<br>15:10 | 【企画セッション】<br>ユビキタス・ユニ<br>バーサルデザイン<br>の展望<br>S-1 ~ S-5                | 行動・動作<br>B-7 ~ B-9      | 視覚 II<br>C-7 ~ C-9 | 生理計測<br>D-7 ~ D-9            |
| 15:20<br>┆<br>16:10 |                                                                      | 知覚・情報<br>B-10 ~ B-12    | 触覚<br>C-10 ~ C-12  | ストレス・<br>心的負荷<br>D-10 ~ D-12 |
| 16:20<br>┆<br>16:53 |                                                                      | デザイン・設計<br>B-13 ~ B-14  | 脳機能<br>C-13 ~ C-14 | 人体形状・寸法<br>D-13 ~ D-14       |
| 17:00<br>┆<br>18:30 | 懇親会（会場：シュライク B13 棟 第2学生会館）                                           |                         |                    |                              |

【一般演題：発表 12 分、質疑応答 4 分、入替 1 分】

※会場にはプロジェクターおよび接続ケーブル(ミニ D-Sub15pin オス)を用意しています。  
マッキントッシュなど異種端子の PC を使われる方は必ず接続アダプタをお持ちください。  
発表用パソコンは各自ご持参下さい。また、念のため印刷した紙等をご準備下さい。

---

# 平成 19 年度 日本人間工学会 関西支部大会 プログラム

会場：大阪府立大学中百舌鳥キャンパス B5 棟／学術交流会館

---

## ■ 特別講演会 会場：学術交流会館・多目的ホール

● 特別講演 13:00 ～ 14:00

### 『メランコリーと癒し』

講 師： 角田 茂（大阪府立大学人間社会学部 教授）

司会：市橋秀友（大阪府立大学大学院工学研究科 教授）

## ■ A 会場：B5 棟 1 B-33

● 支援システム 10:00 ～ 10:50

座長：川野常夫（摂南大学）

A-1 演算課題に対するロボット及びAIキャラクターの存在感の影響

○伊藤志乃歩（龍谷大学），久保太吾（龍谷大学），吉田智哉（龍谷大学）  
村松範彦（龍谷大学），野村竜也（龍谷大学）

A-2 フーリエ記述子法による『読唇技術』の開発 —発話の推定に向けて—

○義平真昭（大阪府立大学大学院），有馬正和（大阪府立大学大学院）

A-3 手話単語アニメーションの表示条件が読み取りに与える影響

○浜上和也（京都工芸繊維大学大学院），森本一成（京都工芸繊維大学大学院）

● 音楽・感性 11:00 ～ 11:50

座長：市橋秀友（大阪府立大学大学院）

A-4 ピアノアンサンブルにおける演奏者間の非言語コミュニケーション

—対面演奏条件・非対面演奏条件による演奏の相違—

○谷口智子（大阪大学大学院），中村敏枝（大阪大学大学院），岸田好生（大阪大学大学院）  
森数馬（大阪大学）

A-5 ドラム音系列における‘間’とテンポについて

○岸田好生（大阪大学大学院），中村敏枝（大阪大学大学院），谷口智子（大阪大学大学院）  
森数馬（大阪大学）

A-6 曲の印象における歌詞の影響について—歌詞の言語情報の観点から—

○森数馬（大阪大学），中村敏枝（大阪大学大学院），谷口智子（大阪大学大学院）  
岸田好生（大阪大学大学院）

■ 企画セッション（アーゴデザイン部会・情報社会人間工学研究部会合同シンポジウム） ■

● ユビキタス・ユニバーサルデザインの展望 14:20~16:10

座長：新家 敦（（株）島津ビジネスシステムズ）

S-1 自動車用ドライブレコーダーの活用範囲の拡大

○片山硬（久留米工業大学），堀野定雄（神奈川大学）

S-2 ユニバーサルデザイン度を考える

○山岡俊樹（和歌山大学）

S-3 松下電器におけるユニバーサルデザインの取組みと課題・展望

○松岡政治（松下電器産業（株））

S-4 アンビエント情報社会とユニバーサルデザイン

○森博彦（武蔵工業大学）

S-5 ユビキタス時代のユニバーサルデザイン方法論の提案

○上田義弘（富士通（株）），郷健太郎（山梨大学），高橋克実（（株）ホロンクリエイト）

早川誠二（（株）リコー），柳田宏治（倉敷芸術科学大学），山崎和彦（千葉工業大学）



## ■ B会場：B5 棟 1B-34

### ● ユーザビリティ I 10:00 ～ 10:50

座長：山岡俊樹（和歌山大学）

- B-1      メニュー選択操作のユーザビリティに関する認知工学的研究  
            －階層の有無とボタン数による世代間の比較－  
            ○田邊友香（大阪市立大学大学院）、岡田明（大阪市立大学大学院）、山下久仁子（大阪市立大学）
- B-2      アフォーダンス概念に基づく直感的操作に関する研究  
            ○和泉佑子（大阪市立大学大学院）、岡田明（大阪市立大学大学院）
- B-3      歩行感に優れる靴下に関する研究  
            ○松井まり子（東洋紡績(株)）、石丸園子（東洋紡績(株)）、萩原啓（立命館大学）

### ● ユーザビリティ II 11:00 ～ 11:50

座長：岡田 明（大阪市立大学大学院）

- B-4      福祉用箸の利用特性に関する比較検討  
            ○澤島秀成（奈良県工業技術センター）、中川博敬（有限会社ウインド）、山岡俊樹（和歌山大学）
- B-5      ユーザビリティタスク分析の提案  
            ○弘松知佳（和歌山大学）、山岡俊樹（和歌山大学）
- B-6      家電製品におけるユーザの思考とメーカー戦略の比較  
            ○田中観自（和歌山大学）、辻正将（和歌山大学）、山岡俊樹（和歌山大学）

### ● 行動・動作 14:20 ～ 15:10

座長：渋谷 雄（京都工芸繊維大学大学院）

- B-7      車椅子着座時における車輪の操縦位置および操縦方向と上肢発揮力の関係  
            ○堀内和禎（摂南大学）、川野常夫（摂南大学）、山本義秋（摂南大学）
- B-8      子どもの身体寸法・能力に対する意識と実際の行動との関係性に関する研究  
            ○中野江里子（大阪市立大学大学院）、岡田明（大阪市立大学大学院）
- B-9      手動操作の習熟特性に関する基礎的研究（その2）－生理的データからの検討－  
            ○西岡基夫（大阪市立大学大学院）、岡田明（大阪市立大学大学院）、宮野道雄（大阪市立大学大学院）  
            森一彦（大阪市立大学大学院）、山下久仁子（大阪市立大学）、中山圭以（(株)イトーキ）

● 知覚・情報 15:20 ~ 16:10

座長：中村敏枝（大阪大学大学院）

B-10 床面サインの視認性に関する研究

○池島秀起（大阪市立大学大学院），岡田明（大阪市立大学大学院），山下久仁子（大阪市立大学大学院）

B-11 リーダーシップ行動の役割知覚アプローチ

○前場健吾（関西大学），泉井力（関西大学）

B-12 カテゴリー情報を考慮したクラスター分析に基づく協調フィルタリング

本多克宏（大阪府立大学），○荒木博道（大阪府立大学），市橋秀友（大阪府立大学）

野津 亮（大阪府立大学）

● デザイン・設計 16:20 ~ 16:53

座長：森本一成（京都工芸繊維大学大学院）

B-13 許容範囲測定法

○山本紗知恵（和歌山大学），富永彩容子（和歌山大学），山岡俊樹（和歌山大学）

B-14 サービスの概念に対応した画面デザインの原則の提案

○吉田真由子（和歌山大学），山岡俊樹（和歌山大学）

## ■ C会場 : B5 棟 1B-38

● 操作・作業 10:00 ~ 10:50

座長: 藤原義久(三洋電機(株))

### C-1 浴室における掃除の負担評価と洗浄装置の効果検証

○横山精光(松下電工(株)), 塩川満久(県立広島大学), 大塚彰(県立広島大学)  
山岡俊樹(和歌山大学)

### C-2 自転車運動におけるビンディングペダルの効果

○牧道太郎(京都工芸繊維大学大学院), 芳田哲也(京都工芸繊維大学大学院)  
常岡秀行(京都工芸繊維大学大学院)

### C-3 照明と建材の反射特性などが作業能率に与える影響

○中濱雄策(近畿大学大学院), 梶井宏修(近畿大学), 藤原裕司(近畿大学大学院)  
酒井和昭(近畿大学)

● 視覚 I 11:00 ~ 11:50

座長: 小谷賢太郎(関西大学)

### C-4 あいまい図の視覚認識におけるカタストロフィ現象のカスプ面解析

○久米靖文(近畿大学)

### C-5 ケータイ画面における画像文字と視認性について -文字高さと視覚機能の検討-

○大森正子(神戸女子大学), 松沼正平(モバイル学会、名古屋工業大学), 藤掛和広(名古屋大学)  
長谷川聡(名古屋文理大学), 宮尾克(名古屋大学)

### C-6 色が視覚探索に与える影響 ~単語からの想起色との関連性~

○若林信吾(金沢工業大学大学院), 伊丸岡俊秀(金沢工業大学)

● 視覚 II 14:20 ~ 15:10

座長: 大森正子(神戸女子大学)

### C-7 視覚探索における若年者と高齢者の眼球運動特性の比較

○徐小念(京都工芸繊維大学), 森本一成(京都工芸繊維大学)

### C-8 三角波状の運動視標追従に見られる運動反転時の学習特性

○笹山一樹(関西大学大学院), 小谷賢太郎(関西大学), 堀井健(関西大学)

### C-9 幾何学的要素が渦巻き錯視図形に及ぼす影響の定量的表現

○金原英寛(関西大学大学院), 堀井健(関西大学), 小谷賢太郎(関西大学)

● 触覚 15:20 ~ 16:10

座長:萩原 啓(立命館大学)

C-10 触覚の仮現運動における速度知覚の正確度

○今江勇紀(関西大学大学院), 小谷賢太郎(関西大学), 堀井健(関西大学)

C-11 視覚情報と触覚情報とによる「ざらざら感」に関する研究

○岡村友俊(金沢工業大学大学院), 神宮英夫(金沢工業大学)

C-12 触覚フィードバックの大きさおよびタイミングの違いが操作感に与える影響

○井ノ上将史(金沢工業大学), ○河合真大(金沢工業大学), 笠松慶子(金沢工業大学)

● 脳機能 16:20 ~ 16:53

座長:村井康二(神戸大学大学院)

C-13 fMRI データの FCM 識別器-パラメータの粒子群最適化

○市橋秀友(大阪府立大学), 本多克宏(大阪府立大学), 野津亮(大阪府立大学)  
服部隆男(大阪府立大学)

C-14 ミラーセラピーが運動機能回復に与える効果の検証 -脳磁界応答を用いた身体図式更新機能の検出-

○作山努(関西大学大学院), 小谷賢太郎(関西大学), 堀井健(関西大学)  
中川誠司((独)産業技術総合研究所)

## ■ D会場：B5 棟 1 B-39

### ● 運転者特性 10:00 ~ 10:50

座長：篠原一光（大阪大学大学院）

#### D-1 ドライバの姿勢変化が運転操作に及ぼす影響の解析

○朝尾隆文（関西大学），小谷賢太郎（関西大学），堀井健（関西大学）

#### D-2 先行車追従時に見られる攻撃的運転の規定因

○中井宏（大阪大学大学院，日本学術振興会），臼井伸之介（大阪大学大学院）

#### D-3 ドライバーの覚醒状態評価再考

○大須賀美恵子（大阪工大），鎌倉快之（大阪工大），井上裕美子（大阪工大）

野口祥宏（旭化成(株)），Roongroj Nopsuwanchai（旭化成(株)）

### ● 睡眠・覚醒 11:00 ~ 11:50

座長：梶井宏修（近畿大学）

#### D-4 $\alpha$ 波成分の周波数推移による覚醒度評価の検討

○稲本辰巳（立命館大学），金倉智行（立命館大学），萩原啓（立命館大学）

#### D-5 種々のセンシング手段による睡眠時体動の特徴の明確化

○城和男（立命館大学），緒方康博（立命館大学），小西謙作（立命館大学）

若林春樹（立命館大学大学院），萩原啓（立命館大学）

#### D-6 脳波を生理指標とする覚醒度変化と重心動揺との関連

○金倉智行（立命館大学），稲本辰巳（立命館大学），萩原啓（立命館大学）

### ● 生理計測 14:20 ~ 15:10

座長：大須賀美恵子（大阪工業大学）

#### D-7 映像および動揺台による船体横揺れ模擬方法別の身体的応答評価

○小嶋真司（神戸大学），村井康二（神戸大学大学院），岡崎忠胤（東京海洋大学）

才木常正（兵庫県立工業技術センター），三友信夫（(独)海上技術安全研究所）

林祐司（神戸大学大学院）

#### D-8 心拍変動の粗視化スペクトル解析による高速旅客船の乗り心地評価

○脇水俊行（大阪府立大学大学院），有馬正和（大阪府立大学大学院）

#### D-9 緊張ストレス環境における生理的反応の計測と解析

○馬場祐太（大阪府立大学），能見光司（大阪府立大学），脇水俊行（大阪府立大学大学院）

有馬正和（大阪府立大学大学院）

● ストレス・心的負荷 15:20 ～ 16:10

座長：才木常正（兵庫県立工業技術センター）

D-10 鼻部皮膚温によるブリッジチーム員の心的負荷評価に関する基礎研究

○村井康二（神戸大学大学院），林祐司（神戸大学大学院）

D-11 唾液アミラーゼによる操船者のストレス評価 —操船シミュレーターによる入港操船—

○北口卓（神戸大学），村井康二（神戸大学大学院），脇田慎一（（独）産業技術総合研究所）  
宮道隆（（独）産業技術総合研究所），福士恵一（神戸大学大学院），林祐司（神戸大学大学院）

D-12 操船シミュレーターを用いた鼻部皮膚温・心拍変動による操船者の心的負荷評価

○達見和記（神戸大学），村井康二（神戸大学大学院），岡崎忠胤（東京海洋大学）  
疋田賢次郎（（独）海上技術安全研究所），三友信夫（（独）海上技術安全研究所）  
林祐司（神戸大学大学院）

● 人体形状・寸法 16:20 ～ 16:53

座長：畠中順子（（社）人間生活工学研究センター）

D-13 人体形状モデルを用いた日本人女性の体幹部形状の分析と分類

○中村顕輔（京都工芸繊維大学大学院），黒川隆夫（大阪大学大学院）

D-14 人体寸法計測 2004-06 の結果報告

○柳浦真美子（（社）人間生活工学研究センター），藤原祐子（（社）人間生活工学研究センター）

---

■ 懇親会 ■

17:00 ～ 18:30 会場：シュライク（B13 棟 第2学生会館）

---

■ 評議員会・役員会合同会議 ■

12:00 ～ 12:50 会場：学術交流会館・特別会議室

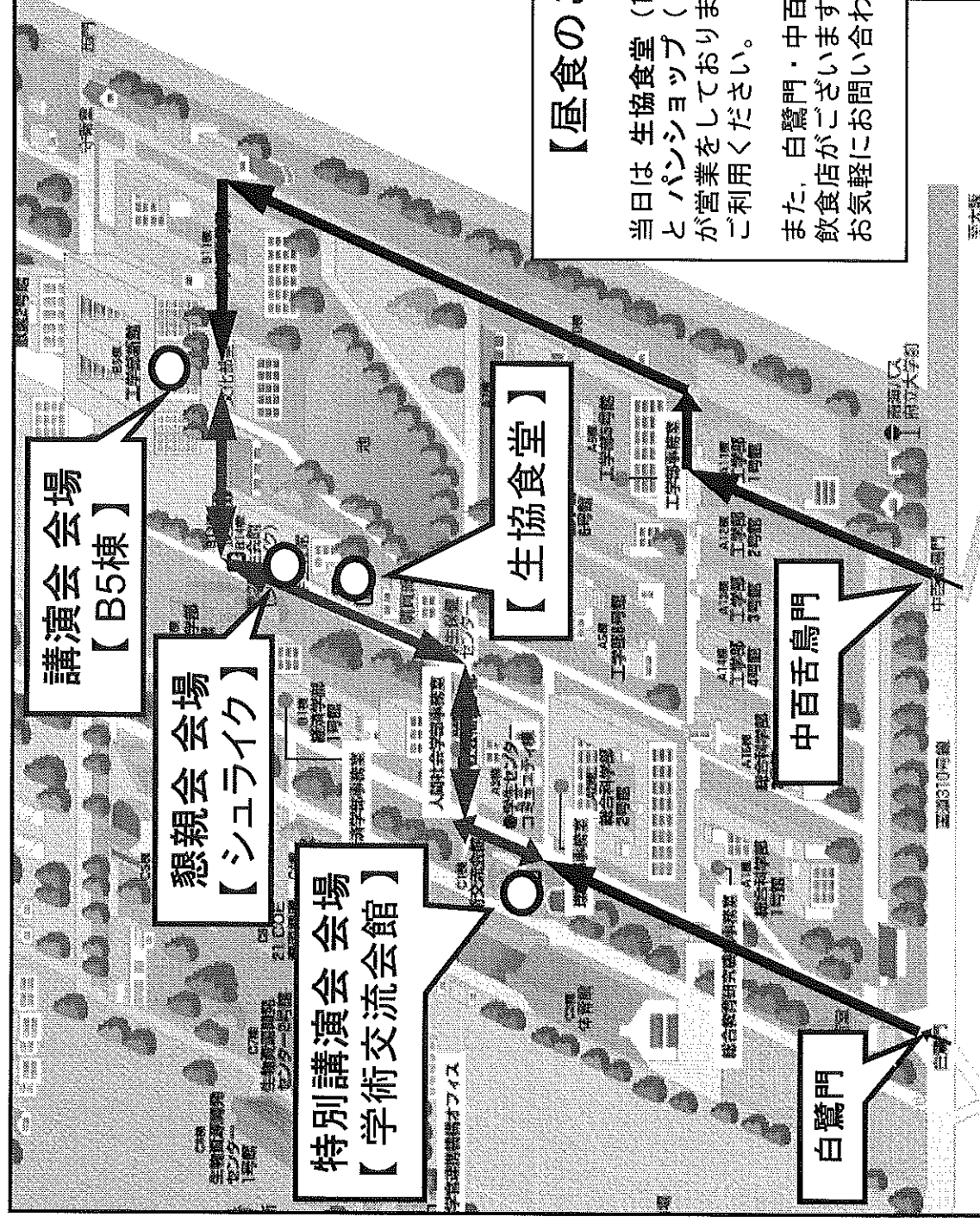
※会議ご出席の皆様には昼食（お弁当）をご用意いたしております。

---

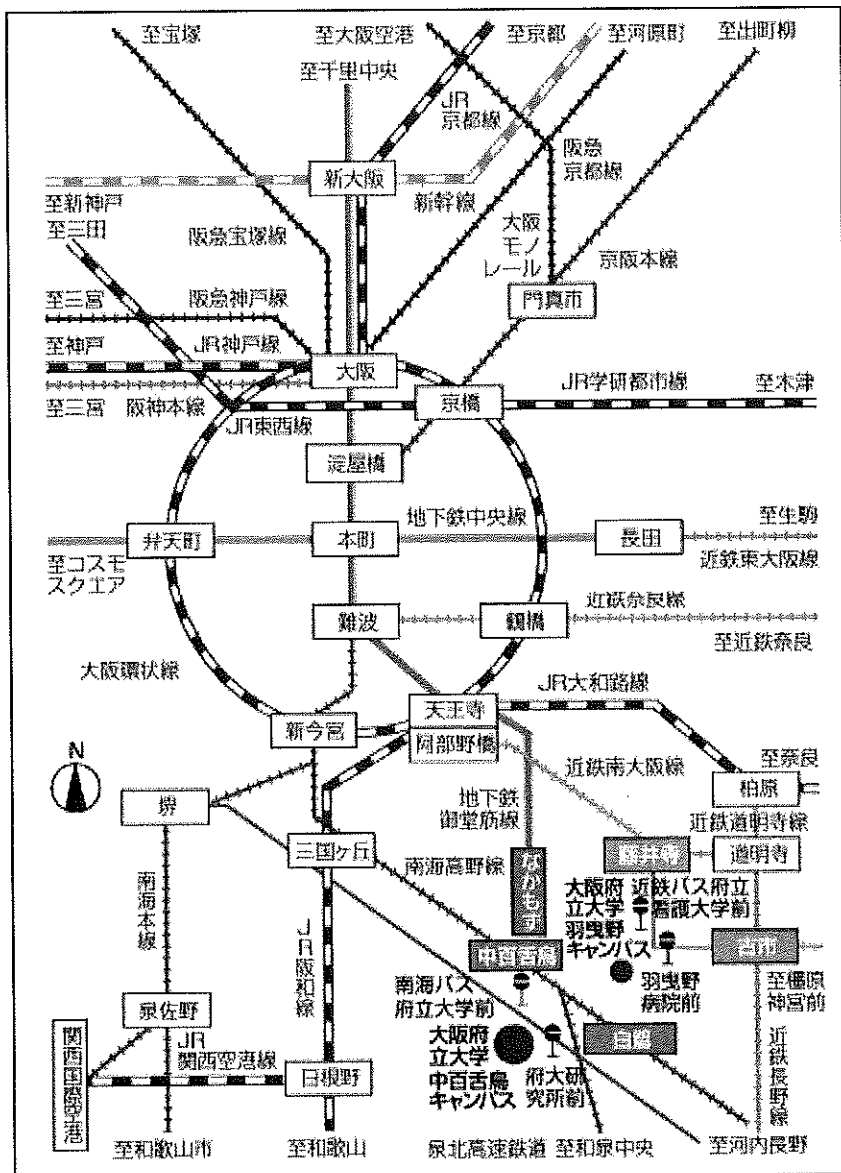
■ 昼食のご案内 ■

当日は、学内の生協食堂（11:00～13:45）とパンショップ（8:45～13:30）が営業しておりますので、  
どうぞご利用ください。大学周辺にもお店はございます。スタッフまでお気軽にお問い合わせください。

# 大阪府立大学中百舌鳥キャンパス 会場配置図



## ■ 交通アクセス ■



### 交通案内（中百舌鳥門・白鷺門まで）

#### ● 新大阪・大阪（梅田）・難波・天王寺方面

大阪市営地下鉄御堂筋線「なかもず」駅下車，⑤番出口より 中百舌鳥門 まで 徒歩約13分

#### ● 難波・新今宮方面

南海高野線「中百舌鳥」駅下車，改札口を出て南側へ 中百舌鳥門 まで 徒歩約15分  
同「白鷺」駅下車，改札口を出て南側へ 白鷺門 まで 徒歩約6分

#### ● 和歌山・関西空港方面

南海本線「堺」駅（堺駅南口）またはJR阪和線「三国ヶ丘」駅より 南海バス「福田」または「北野田」行きで「府立大学前」下車，中百舌鳥門 まで 徒歩1分

★ 中百舌鳥門・白鷺門 から会場（B5棟）まで 約8分かかります。

※ 自家用車での入構はできませんので，公共交通機関等をご利用ください。



## 特別講演

13:00 ~ 14:00

特別講演会場：学術交流会館・多目的ホール

---

## 『メランコリーと癒し』

講師：角田 茂（大阪府立大学人間社会学部 教授）

司会：市橋 秀友（大阪府立大学大学院工学研究科 教授）

## メランコリーと癒し

### Melancholy and Healing

角田 茂

大阪府立大学 人間社会学部 人間科学科

Shigeru TSUNODA

School of Humanities and Social Sciences, Osaka Prefecture University

古代ギリシアのアスクレピオス神殿に仕えた、ヒポクラテス（前 460ー377）をはじめとする医師たちは、エンペドクレス（前 492ー432）の 4 体液説に基づく体液病理学を信奉していた。4 体液とは血液、粘液、黄胆汁、黒胆汁であり、それぞれ心臓、脳、肝臓、脾臓で生成され、これらの循環障害により病気が起こると考えられていた。現在の解剖生理学では、血液はそのまの言葉で、粘液は髄液に、黄胆汁は単なる胆汁に変えて理解することができるが、黒胆汁のみは仮想のもので、仮説であった。しかし、エンペドクレスは黒胆汁の過剰状態が、人間にうつ状態を起こす、たちの悪い病態であることを指摘している。黒胆汁の存在は否定されたが、うつ状態があらゆる病気を悪化させることは、現代の精神医学においても真理であり、現在もなお、うつ状態のことを、メランコリー（黒い melas と胆汁 cholē の合成語）、すなわちギリシア語で黒胆汁症と呼んでいる。うつ状態があらゆる病気を悪化させることを洞察したエンペドクレスは、絶望は死に至る病であることを洞察したキルケゴールとともに、もっと臨床医学の場で評価されてもよいのではないかと、私は考えている。

メランコリーの治療には、生物学的アプローチと現象学的アプローチがあり、これはそれぞれ車の両輪と言える。まず生物学的アプローチから見ていくと、気分障害の病因として松果体から分泌されるセロトニンとメラトニンが関与していることがわかってきた。昼間、太陽光線を浴びている時には、その刺激が網膜を經由し、松果体において N-Acetyl transferase の活性をブロックし、メラトニンの合成を阻止している。したがって脳はセロトニン優位の状態となっている。しかし、夕暮れになると、このブロックはとれ、メラトニンの合成が始まり、メランコリーな気分になり、さらにメラトニンが増加すると睡眠へと導かれる。近年うつ病治療薬として広く使用されている SSRI (selective serotonin reuptake inhibitor) や、うつ病患者の高照度光療法も生物学的アプローチの成果といえる。一方、現象学的アプローチはどうであるか。トルストイは『アンナ・カレーニナ』の冒頭で、「幸福な家庭はすべてよく似かよったものであるが、不幸な家庭はみなそれぞれに不幸である」と述べている。患者の主観的体験をそのままの形で聴き取り、それを共感的に理解し、そのプロセスの中で、患者自身がメランコリーからの出口を発見するのを見守る治療である。

# A 会場

## 一般・企画セッション

会場：1B-33 (B5 棟 1 階)

---

10:00 ～ 10:50 支援システム  
座長：川野 常夫（摂南大学）

11:00 ～ 11:50 音楽・感性  
座長：市橋 秀友（大阪府立大学大学院）

14:20 ～ 16:10 ユビキタス・ユニバーサルデザインの展望  
座長：新家 敦（(株)島津ビジネスシステムズ）

## 演算課題に対するロボット及び AI キャラクタの存在感の影響

### Effect of Presences on Operation Problem with Robots and AI Characters

○伊藤志乃歩, 久保太吾, 吉田智哉, 村松範彦, 野村竜也

龍谷大学理工学部情報メディア学科

Shinobu Ito, Taigo Kubo, Tomoya Yoshida, Norihiko Muramatsu, Tatsuya Nomura  
Department of Media Informatics, Ryukoku University

#### 1 はじめに

近年, 家庭や職場での日常生活の手助けを目的とした人工知能エージェントやロボットの開発が進んでおり, 数十年後には一般家庭に普及する可能性を持っている. また, このようなエージェントやロボットが人間と共に活動する場面において, 使用者側の人間がどのような心理状態に至るか, それが作業遂行においてどのような影響を与えるかという問題について, すでに幾つかの心理学的研究が行われている<sup>[1,2]</sup>. しかし, これらの研究では, エージェントやロボットと共に何か作業を行うという想定の下で実験課題が設定されており, エージェントやロボットが存在していることそのものの影響についての基礎的検証は行われていない.

一方, エージェントやロボットとの共同課題を想定せず, 被験者が単独で作業を行う際のエージェントやロボットの存在の影響を検証する研究も存在する<sup>[3,4]</sup>. しかし, 普段の生活にエージェントやロボットが存在する状況を想定するならば, エージェントやロボットが存在していることそのものの影響を考慮し, より単純な課題設定においてその影響を比較検証する必要がある. また, 人間のコンピュータやロボットに対する不安等の感情における個人差も考慮する必要がある.

そこで本稿では, 演算課題と人型の AI キャラクタとロボットを用いた心理実験を通して, ソフトウェアエージェントおよびロボットの存在そのものが人間の課題遂行に与える影響について検証する.

#### 2 実験

##### 2.1 実験次期および被験者

実験は 2007 年 8 月に実施された. 被験者は, アルバイトによる大学生 11 人 (男性: 7 人・女性: 4 人,

平均年齢 20.9 歳) であった.

##### 2.2 ロボットおよび AI キャラクタ

本実験では, 図 1 に示すヴィストン社の小型ヒューマノイドロボット「Robovie-M ver.3」を使用した. Robovie-M のスペックは以下の通りである.

CPU ボード: VS-H8PWM28V2

大きさ: 300×240×65 mm (高さ×幅×奥行き)

重量: 2000 g

脚: 各 6 自由度 (左右で 12 自由度)

腕: 各 4 自由度 (左右で 8 自由度)

肩: 1 自由度

腰: 1 自由度

ロボットの動作は, 専用の動作作成ソフト「Robovie-Maker」によりプログラミングを行った.

AI キャラクタは, 人型ロボットをモデルにした画像アニメーションを使用した (図 1 参照). 実験での表示は, IBM 社の「Lenovo ThinkPad X31」および 12.1v 型 TFT 液晶ディスプレイを使用した.

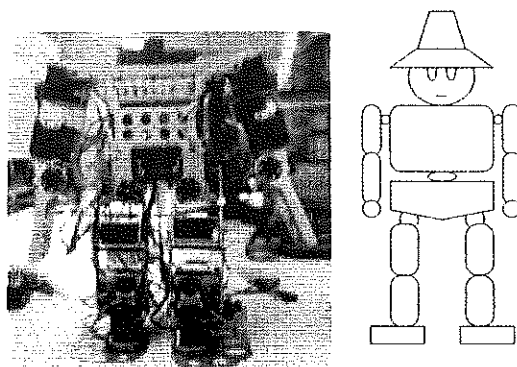


図 1 実験における人型ロボットと  
AI キャラクタ

表1 ロボット不安尺度 (RAS) および愛教大コンピュータ不安尺度 (ACAS) の項目例および下位尺度

| ロボット不安尺度 (6件法)         |                                          |
|------------------------|------------------------------------------|
| ロボット対話能力不安 (RAS1)      | 例：ロボットが会話中に的外れなことを話すのではないかな<br>(合計3項目)   |
| ロボット行動特性不安 (RAS2)      | 例：ロボットがどのような動きをするのかな<br>(合計4項目)          |
| ロボット会話不安 (RAS3)        | 例：ロボットにどう話しかけたらいいのかな<br>(合計4項目)          |
| 愛教大コンピュータ不安尺度 (5件法)    |                                          |
| コンピュータ操作不安 (ACAS1)     | 私は、コンピュータの前に座っただけで、緊張してしまうだろう<br>(合計7項目) |
| コンピュータ接近不安 (ACAS2)     | 私はお金があれば、すぐにでもコンピュータを買っているだろう<br>(合計7項目) |
| コンピュータテクノロジー不安 (ACAS3) | コンピュータは人間の弱点を補ってくれる便利な機会だ<br>(合計7項目)     |

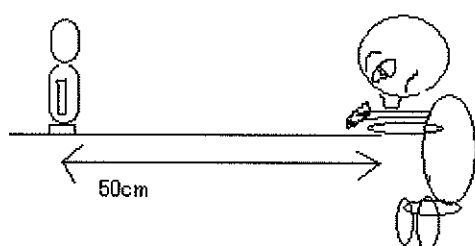


図2 実験における課題遂行場面

また、AI キャラクタおよびロボットの行動の影響を検証するために、それぞれにおいて腕と本体を揺らす動作を実施する条件（動作あり条件、 $N=6$ ）と、完全に静止した条件（動作なし条件、 $N=5$ ）の2条件を用意した。AI キャラクタの動作あり条件においては、ロボットの稼動音を録音したものを動作中に出力して条件を整えた。動作あり・なしは被験者間条件、ロボット・AI については被験者内条件とした。

### 2.3 測定内容

実験における被験者の課題は、一桁の数字をランダムに並べたものに対し、隣り合った数字の足し算を左から順に行うものとした。1課題において、1行20列、計7行、1行あたり10秒での計算とし、実験前に1課題、ロボットを前にした状態で1課題、AI キャラクタを表示するディスプレイを前にした状態で1課題の合計3課題を施行した。図2に、実験における課題遂行場面を示す。ロボット、ディスプレイと人間の距離は50cmとした。カウンターバランスのために、被

験者の半数はロボット→AIの順、半数は逆順で課題を実施した。

演算課題の1行目から7行目まで計算が到達した数の平均および正答に至った数の平均を被験者ごとに算出し、課題到達率および課題正答率として定義した。これらの課題達成率および正答率を、実験前、ロボットおよびAIを目の前にした時のそれぞれにおいて算出した。

また、本実験では、被験者における対ロボット不安および対コンピュータ不安の2種類の心理的反応を測定するため、以下の2つの心理尺度を用いた。表1にこれらの心理尺度の項目例と下位尺度を示す。

1つ目のロボット不安尺度 (RAS) は11項目の質問からなる。各項目の回答は6件法（1：全く不安に思わない、2：ほとんど不安に思わない、3：あまり不安に思わない、4：やや不安に思う、5：かなり不安に思う、6：非常に不安に思う）である。また、11項目の質問は3つの下位尺度、ロボット対話能力不安 (RAS1：ロボットが持つ会話能力に対する不安)、ロボット行動特性不安 (RAS2：ロボットが持つ行動特性に対する不安)、ロボット対話不安 (RAS3：ロボットとの会話における自身に対する不安) に分類される。

もう一つの心理尺度、愛教大コンピュータ不安尺度 (ACAS) は21項目からなる。各項目の回答は5件法（1：全くそう思わない、2：それほどでもない、3：どちらともいえない、4：まあそうだ、

5：全くそう思う）である。また、21項目の質問は3つの下位尺度、コンピュータ操作不安（ACAS1）、コンピュータ接近不安（ACAS2）、コンピュータテクノロジー不安（ACAS3）に分類される。

## 2.4 実験手続き

実験における1セッションは以下の手続きにより行った。

1. 実験者から被験者へ実験内容についての説明を実施。この段階では「集中力の実験のため、簡単な計算課題を3種の環境で行う」ものとして説明。
2. 1回目の計算課題の実施。まず、計算課題の説明を行い、実験者の面前で課題を実施。その後、質問紙に回答し、5分ほど休憩。
3. 図2に示すロボットおよびAIキャラクタ面前条件での実験実施。被験者は一人ずつ実験者と共に実験室に移動。この際に「ロボットやディスプレイがあるができる限り気にしない」よう指示。なお、第2回と第3回の計算課題の間に5分程度休憩。全ての課題終了後、被験者を別室に移動。
4. 別室で事後説明実施。実験の真の目的「ロボット・AIキャラクタの心理的影響検証」を説明。その後、被験者に対するインタビューを実施（実験中気になったことや、実験そのものの感想など）。

## 3 結果

### 3.1 ロボット及びAIキャラクタの演算課題への影響

各被験者において、実験者面前での第1回課題における課題到達率および正答率をベースラインとし、ロボット面前条件およびAIキャラクタ面前条件それぞれの課題到達率および正答率との差（各条件－実験者面前条件）を算出した。以降の分析においては、これら4変則を従属変数とした。図3に、各条件における課題到達率の差の平均および標準偏差を、図4に、各条件における課題正答率の差の平均および標準偏差を示す。図3及び図4において差がプラスになっているのは、事前に第1回課題を実施していたことによる慣れの効果と考えられる。

ロボットとAIキャラクタの課題における影響およ

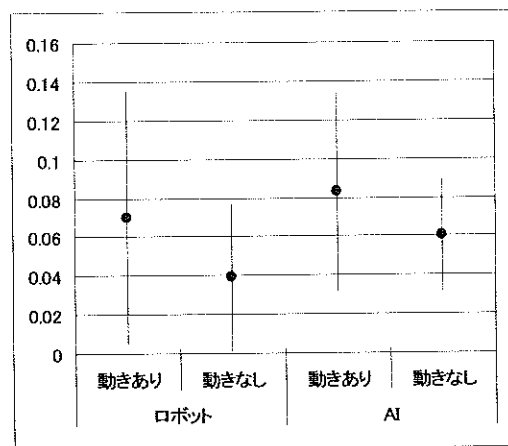


図3. 各条件における課題到達率の差の平均及び標準偏差

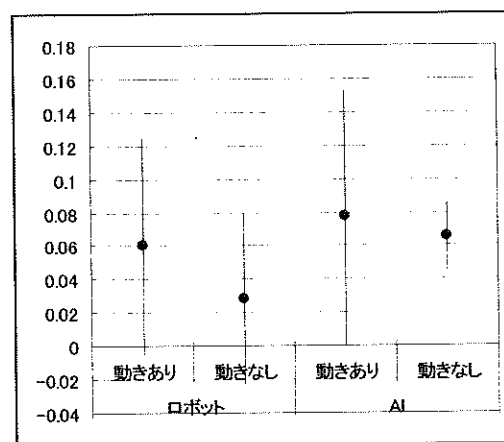


図4. 各条件における課題正答率の差の平均及び標準偏差

び動作の有無の影響を検証するために、課題到達率の差および正答率の差それぞれを従属変数として、ロボット・AIおよび動作有無を独立変数とした混合要因分散分析を行った。結果として、到達率の差については、ロボット・AIの主効果が有意傾向 ( $F=3.653, p=.088$ ) であった。動作有無および交互作用について、有意差は認められなかった (動作有無:  $F=.975, p=.349$ , 交互作用:  $F=.228, p=.644$ )。課題正答率の差については、ロボット・AIの主効果が有意 ( $F=5.091, p=.050$ ) であった。動作有無および交互作用について、有意差は認められなかった (動作有無:  $F=.676, p=.432$ , 交互作用:  $F=.681, p=.431$ )。

表2 課題達成率および正答率の差と RAS 下位尺度得点および ACAS 下位尺度得点との

|         |          | Pearson の積率相関係数 $r$ |       |       |       |       |       |
|---------|----------|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
|         |          | RAS1                | RAS2  | RAS3  | ACAS1 | ACAS2 | ACAS3 |
| 課題達成率の差 | ロボット     | -.039               | -.200 | -.356 | .157  | -.206 | -.074 |
|         | AI キャラクタ | .193                | -.556 | -.436 | .309  | -.122 | .072  |
| 課題正答率の差 | ロボット     | .133                | -.354 | -.494 | .235  | -.144 | .000  |
|         | AI キャラクタ | .066                | -.512 | -.363 | .211  | -.058 | .103  |

### 3.2 ロボット不安とコンピュータ不安間の相関

課題遂行と対ロボット・コンピュータ不安との関連を検証するために、課題到達率および正答率の差と RAS および ACAS 下位尺度得点との Pearson の積率相関係数  $r$  を算出した。表 2 に結果を示す。

結果として、統計的に有意な相関は認められなかったが、AI キャラクタ面前条件での課題達成率の差および正答率の差とロボット行動特性不安、AI キャラクタ面前条件での課題達成率の差とロボット会話不安、ロボット対面条件での課題正答率の差とロボット会話不安の間に、0.4 以上の負の相関が認められた。

## 4 考察

3.1 の結果は、スクリーン上の AI キャラクタと比較した場合、実体としてのロボットの存在が被験者の演算課題遂行においてより負の影響を与える可能性を示唆している。また、3.2 の結果は、ロボットに対して不安が強い場合、演算課題に負の影響を与える可能性を示唆している。これらのことから、日常領域にロボットが多数現れる状況においては、ロボットが存在していることそのものにより、対ロボット不安などの要因によって、人間が行う作業に様々な影響を与える可能性が含意される。

一方、事後説明時の被験者インタビューにおいて、ロボットの足が視界に入ったことを指摘する意見があった。実験時には AI キャラクタはディスプレイ画面の中心に配置されていたため、被験者が顔を上げない限り足さえも見えない状態であったことを考慮すると、実体としてのロボットの影響を検証するには実験の統制が不十分であった可能性も存在する。

今後の課題としては、上記の実験統制の徹底と、実

体としてのロボットの存在はビデオを通して効果が見られることを指摘した既存研究<sup>1)</sup>を考慮し、AI キャラクタとロボットのビデオによる対比条件での追加実験が考えられる。

### 参考文献

- 1) B. Mutlu, S. Osman, J. Forlizzi, J. Hodgins, and S. Kiesler: Task Structure and User Attributes as Elements of Human-Robot Interaction Design, Proc. RO-MAN 2006, pp.74-79 (2006).
- 2) C. D. Kidd and C. Breazeal: Effect of a Robot on User Perceptions, Proc. IROS 2004, pp.3559-3564 (2004).
- 3) M. L. Walters, K. Dautenhahn, R. te Boekhorst, K. L. Koay, C. Kaouri, S. Woods, C. Nehaniv, D. Lee, I. Werry: The Influence of Subjects' Personality Traits on Personal Spatial Zones in a Human-Robot Interaction Experiment, Proc. RO-MAN 2005, pp.347-352 (2005).
- 4) R. Rickenberg and B. Reeves: The Effects of Animated Characters on Anxiety, Task Performance, and Evaluation of User Interfaces, Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, pp.49-56 (2000).
- 5) 野村竜也, 神田崇行, 鈴木公啓, 加藤謙介: ロボット不安と否定的態度が対ロボット行動に及ぼす影響, 日本シミュレーション&ゲーミング学会全国大会論文報告集 2006 年秋号, pp.85-90 (2006).
- 6) 平田賢一: コンピュータ不安の概念と測定, 愛知教育大学研究報告(教育科学編), vol.39, pp.203-212 (1990).

# フーリエ記述子法による『読唇技術』の開発 — 発話の推定に向けて —

## Development of 'Lip Reading' Method using Fourier Descriptors — for estimating utterance —

○義平真昭\*, 有馬正和\*

\*大阪府立大学大学院工学研究科

YOSHIHIRA Masaaki\*, ARIMA Masakazu\*

\*Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University

### 1 はじめに

近年, 大学をはじめとする高等教育機関における障害学生支援に係る対応の遅れが指摘されている。スロープや昇降機の設置というハード面の整備が求められる肢体不自由者に比べ, 最も人間的な支援を必要とする聴覚障害学生への対応が特に重要な課題となっている。自動音声認識システムの導入などが進められているものの, 音声認識率の低さから教育現場ではまだ実用化に至っていないというのが現状である。

本研究では, 形状認識手法のひとつであるフーリエ記述子法を導入し, 定量的に表現された唇の輪郭形状と発音との関連を詳細に調べ, 口話を実現するための「読唇技術」の開発を試みた。訓練を受けた聴覚障害者が口の動きから発話内容を理解できることと, 静止画から得られたフーリエ記述子をクラスター分析することによって母音の分類が可能であることから, 唇の輪郭形状による発話解析が可能であると判断した<sup>1)</sup>。そして, 40 項から成るフーリエ記述子の時間的な変化を解析し, 子音によって特徴的な変化が現れることを明らかにした<sup>2)</sup>。さらに, フーリエ記述子の時間的な変化を多項式近似して判別分析をすることによって高い確率で音の推定・判別が可能になることを示した<sup>3)</sup>。本報告では, 発話の推定に向けて詩の朗読時の唇の輪郭形状の変化を解析した。

### 2 フーリエ記述子法

図 1 に示すような 2 次元平面上の閉曲線を考える。閉曲線上の 1 点 A を始点とし, 始点から時計回りに曲線上を長さ  $s$  だけ進んだ点の位置を  $Z(s)$ ,  $Z(s)$  における方向ベクトルと水平軸とのなす角を偏角  $\phi(s)$  とする。閉曲線の周長を  $L$  とすると, 始点における偏角は  $\phi(0)$  で, 終点における偏角は  $\phi(L) = \phi(0) - 2\pi$  となり, 始点と終点において偏角に  $2\pi$  の差が生じ, 不連続な関数となる。

閉曲線では始点と終点は一致するため,

$$\phi^*(t) = \phi\left(\frac{L}{2\pi}t\right) + t, \quad t = 2\pi \frac{s}{L} \quad (1)$$

と正規化することによって, 図 2 に示すような始点と終点の偏角が一致する周期  $2\pi$  の周期関数  $\phi^*(t)$  を得ることができる。 $\phi^*(t)$  をフーリエ級数展開すると

$$\phi^*(t) = \mu_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (a_k \cos(kt) + b_k \sin(kt)) \quad (2)$$

となり, これによって得られる有限個のフーリエ記述子  $a_k, b_k$  によって, 不規則な閉図形の形状特徴を記述することが可能となる。ここに

$$\left. \begin{aligned} \mu_0 &= \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} \phi^*(t) dt \\ a_k &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \phi^*(t) \cos(kt) dt \\ b_k &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} \phi^*(t) \sin(kt) dt \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

である。形態の全体的な構造はフーリエ記述子の低周波数成分に反映され, 高周波数成分は局所的な微細な変動を表す。

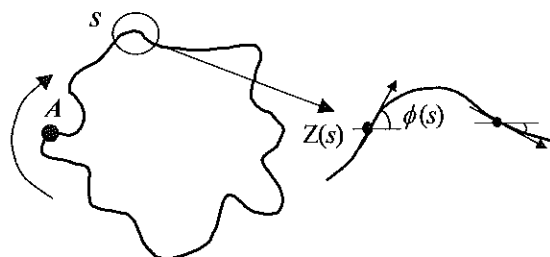


図 1 閉曲線と偏角

### 3 読唇技術のための実験

#### 3.1 実現可能性の検討

読唇技術の実現可能性を検討するために, 先天的に聴覚障害があり, 幼少の頃から読唇・発声の訓練を受けてきた男子学生の協力を得て, 実際に読唇術を再現してもらった。予め録画した無音の映像を見て, その発話内容



を推定してもらったところ、個人的な情報以外はほとんど全てを言い当てることができた。その後、読唇術の方法や注視点について聞き取り調査を行った。特に、口元（唇や舌の動き）に注目し、頬や喉はほとんど見ていないことや、知識や経験に基づいて発話内容を補って推定していることもわかった。以上より、口の輪郭形状の変化および舌の動きを捉えることによって、「読唇技術」の開発が可能であると判断した。

### 3.2 唇の輪郭形状の抽出

唇の輪郭形状を取得するための画像解析手法について調査・実験を試みたが、満足のできるものがないことがわかった。そこで、2次元ビデオ動作解析ソフトウェアを導入することにした。

手話や口話を通して手話コーラスや手話劇をする手話サークルに所属する学生に協力を依頼し、発話時の唇の動きを計測する実験を行った。実験の手順は、以下の通りである。

- 1) 研究の目的や実験手順等を実験協力者に説明し、同意書（インフォームド・コンセント）を得る。
- 2) 協力者の唇の輪郭に沿って特殊な蓄光テープを貼り、十分に蓄光させる。
- 3) 暗室において、ディスプレイに順次表示されるひらがな文字（ランダムに配置された日本語の五十音および拗音、濁音）をメトロノームに合わせて発音してもらい、その時の口元をデジタルビデオカメラで撮影・録画する。文字は、2秒間隔で表示される。
- 4) 最後に、ディスプレイに表示された詩<sup>4)</sup>を読んでもらい、一連の実験を終了する。

蓄光テープを用いた実験の様子と取得した画像の一例を図2に示す。



図2 実験の様子と取得画像の一例

録画された動画（AVI形式）を60フレーム/秒で静止画（JPEG形式）に変換し、デジタイズ・プログラム（（株）ディケイエ伊製、Frame-DIAS II）で計測点を自動追跡して唇の輪郭部分の座標値を取得し、フーリエ記述子を算出した。

## 4 単音の推定

### 4.1 クラスタ分析による母音の分類

唇の輪郭形状の情報だけで、どの程度音声を識別できるのかを調べるために、発音時の中間付近の画像を選択して、唇の輪郭のフーリエ記述子を算出した。「あ」から「ん」までの46音を発音したときのフーリエ記述子の発音途中と発音前との差を求め、20名の平均値を用いてクラスタ分析を行った。非類似度にユークリッド平方距離をとり、最短距離法によって解析した結果、図3に示すように、概ね母音(a, e, o, u, i)によって分類されることがわかった。このことから唇の輪郭形状によって読唇技術の実現可能性があるかと判断することができる。

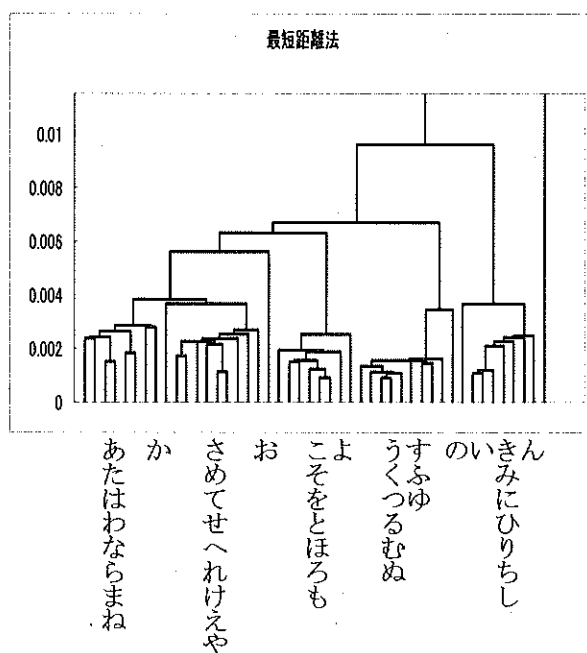


図3 クラスタ分析の結果（最短距離法）

### 4.2 時系列解析による子音の判別

一方、子音は唇の動きに伴うフーリエ記述子の変化を調べることによって、その判別が可能になると考えた。図4は、ある実験協力者によるア行の「あ」、「さ」の $b_2$ 項と $b_3$ 項の変化であり、音によって特定のフーリエ記述子に特徴的な変化が現れるということがわかった。

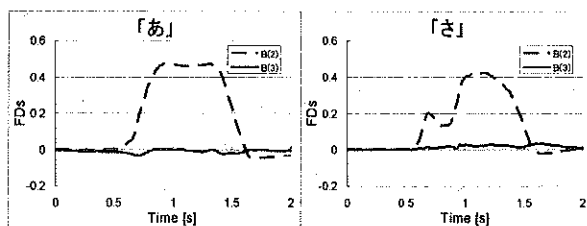


図4 「あ」、「さ」発音時の $b_2$ 項と $b_3$ 項の変化

## 5 判別分析

### 5.1 母音の判別分析

母音の判別率を求めるために、46 音の発音中のフーリエ記述子に判別分析を行った。カテゴリーを「a, i, u, e, o, ん」の 6 つに分け、変数を  $a_k, b_k$  ( $k = 1 \sim 20$ ) の 40 個とし、変数減少法を用いて判別分析を試みた。表 1 の結果より、かなり高い正答率で母音の判別は可能であることがわかった。

表 1 母音の判別分析結果

|   | a   | i   | u  | e   | o   | ん  | 正答率   |
|---|-----|-----|----|-----|-----|----|-------|
| a | 171 | 7   | 6  | 0   | 0   | 6  | 90.0  |
| i | 15  | 125 | 7  | 0   | 0   | 4  | 82.8  |
| u | 16  | 9   | 83 | 14  | 44  | 7  | 48.0  |
| e | 0   | 0   | 8  | 125 | 16  | 3  | 82.2  |
| o | 0   | 1   | 22 | 15  | 148 | 4  | 77.9  |
| ん | 0   | 0   | 0  | 0   | 0   | 17 | 100.0 |

### 5.2 子音の判別分析

子音は発音中のフーリエ記述子に特徴的な変化があると考えたため、実験で得られた一連のデータを正規化、補間、6 次曲線近似して、その係数を調べることで、子音の判別分析を試みた。図 5 は 6 次近似曲線のグラフの一例で、実線が元のデータで、破線が近似曲線である。

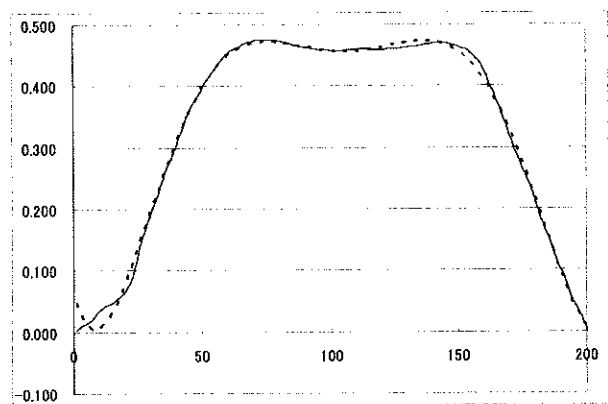


図 5 6 次近似曲線グラフの例

表 2 「あ, か, さ, た, な, は, ま, や, ら, わ」の判別分析結果

|   | あ | か | さ | た | な | は | ま | や | ら  | わ | 正答率  |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|---|------|
| あ | 9 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1  | 0 | 75.0 |
| か | 0 | 9 | 3 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0  | 0 | 64.3 |
| さ | 0 | 3 | 6 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 2  | 0 | 46.2 |
| た | 0 | 1 | 1 | 5 | 1 | 2 | 0 | 0 | 2  | 0 | 41.7 |
| な | 1 | 2 | 0 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 1  | 0 | 64.3 |
| は | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 9 | 1 | 1 | 0  | 1 | 69.2 |
| ま | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 7 | 0 | 1  | 1 | 53.8 |
| や | 0 | 0 | 0 | 3 | 1 | 1 | 2 | 6 | 0  | 1 | 42.9 |
| ら | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 0 | 83.3 |
| わ | 0 | 2 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1  | 7 | 53.8 |

正規化・リサンプリングされたフーリエ記述子の時系列データを 6 次多項式で近似して、その係数を変数として判別分析を試みた。フーリエ記述子  $a_k, b_k$  ( $k = 1 \sim 20$ ) の 40 項のうち、子音の特徴的な変化を表現するのに必要な項として  $a_2, a_3, b_2, b_3$  の 4 つを選択して判別分析に用いた。変数減少法による「あ, か, さ, た, な, は, ま, や, ら, わ」の判別分析結果を表 2 に示す。表の見方は、表 1 と同じである。子音も比較的高い判別率が得られるということが確認できた。

## 6 発話の推定に向けて

以上のように、フーリエ記述子の時間的変化を解析・評価することによって、唇の輪郭形状の動きを定量的に捉えて発音を推定できる可能性のあることがわかった。そこで、実際の発話に対応して『読唇技術』を開発するために、連続音の推定を試みた。被験者に「ハナヲササエルエダ（花を支える枝）」<sup>4)</sup>と発話してもらい、そのときの唇の輪郭形状のフーリエ記述子の変化を詳しく解析することにより連続音の推定が可能かどうかを調べた。

図 6 は、ある被験者が「ハナヲササエルエダ」と音読したときのフーリエ記述子の  $b_2$  項の時間的変化を表したグラフである。実験でデータを得ることのできた被験者 14 名のうち、ほぼ全員のグラフの中に 6 つの山を見つけることができた。さらに、このグラフを発話中の映像と見比べて、フーリエ記述子のどの部分がどの発音に対応しているかを詳細に調べると、ほぼ全員で図 6 に示されるような傾向を見つけることができた。

図中の 1 つ目の山で「ハ」を、2 つ目の山で「ナ」と発音し、「ナ」を発音し終わった後に口を閉じていく過程で「ヲ」の音を発音しているため、「ヲ」の部分での山はない。そして、「ササエル」という部分の 1 つ目の「サ」は 2 つ目の「サ」が次に控えているため、すばやく発音するのであまり大

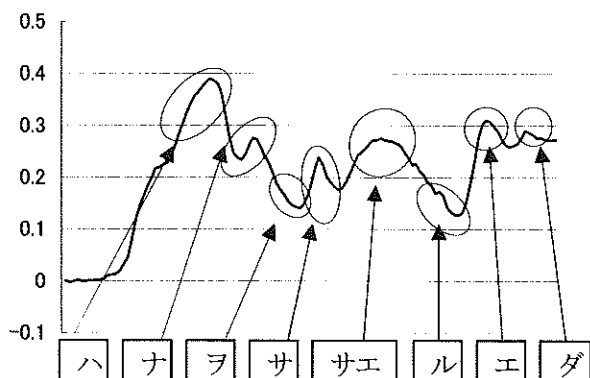


図6 発音時の  $b_2$  の変化

きな山にはならず、山の頂上も他の山に比べ少し鋭くなっている。そして2つ目の「サ」を発音し終わると、そのままの流れで「エ」を発音するので山は一まとまりになる。「エ」を発音し終わると、唇を小さくしていき「ル」と発音するため「ル」の音でも山はできない。その後「エ」・「ダ」と発音していくため、フーリエ記述子はこのような変化をするものと考えられる。

次に、連続音中での単音の識別の可能性を確かめるため、「ハナヲ」と言っている間の「ハ」、「ナ」、「ヲ」の発音のピーク時のフーリエ記述子を抽出し、母音の判別分析をしてみたところ、母音の判別率は4割以下と低いことがわかった。また、単音の「ハ」と「ナ」のデータと連続音の「ハナ」のデータとを見比べて、単音の「ハ」と「ナ」を繋ぎ合わせ連続音の「ハナ」を作成した。

連続音の「ハナ」( $b_2$ )

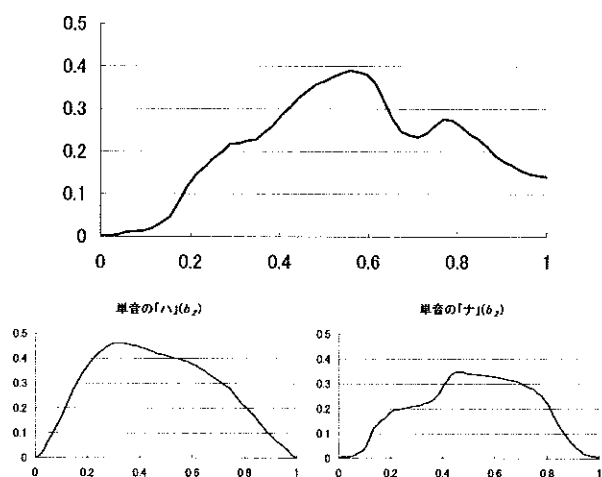


図7 連続音の「ハナ」(上)と単音「ハ」「ナ」の  $b_2$

図7は、連続音の「ハナ」と単音の「ハ」と「ナ」の  $b_2$  のグラフである。連続音の「ハナ」の極小値と同値になる部分で単音の「ハ」と「ナ」のグラフをそれぞれ切り出して繋ぎ合わせた結果が図8である。



図8 単音の「ハ」と「ナ」の  $b_2$  の結合

唇の輪郭の大まかな形状を表す  $b_2$  項の変化だけでは、単音の繋ぎ合わせて連続音を表現できないように思われたが、単音を繋ぎ合わせて作った連続音の映像をスロー再生すると、連続音で「ハナ」と言っている時と同じ特徴が見られた。また、音声でも「ハナ」と滑らかに聞くことができた。したがって、連続音の中にも単音の特徴を見いだすことができると考えられる。

## 7 おわりに

本研究では、唇の輪郭形状にフーリエ記述子法を適用して『読唇技術』の開発を試みた。単独の母音の識別はかなり高い判別率を得ることができ、また子音の識別もフーリエ記述子の動的な変化を捉えることによって可能であることがわかった。発話を正しく推定するためには、音声学を考慮して単音を繋ぎ合わせる必要があり、今後、知識ベースに基づく文脈の推定などの人工知能技術を導入して『読唇技術』の実現を目指したいと考えている。

## 参考文献

- 1) 義平真昭, 有馬正和: フーリエ記述子法による「読唇技術」開発の試み, 平成17年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集, pp.175-176 (2005).
- 2) 義平真昭, 有馬正和, 奥野武俊: フーリエ記述子法による「読唇技術」開発の試み —唇の輪郭形状による音の推定—, 日本人間工学会誌第42巻特別号(日本人間工学会第47回大会講演集), pp.88-89 (2006).
- 3) 義平真昭, 有馬正和, 奥野武俊: フーリエ記述子法による『読唇技術』開発の試み —唇の輪郭形状による音の推定—, 平成18年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集, pp.135-138 (2006).
- 4) 相田みつお: にんげんだもの, (1984).

## 手話単語アニメーションの表示条件が読み取りに与える影響

## An Influence of Readability of Sign Words Animation under Some Display Conditions

○浜上和也\*, 森本一成\*

\*京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科

HAMAKAMI Kazuya\* and MORIMOTO Kazunari\*

\*Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology

## 1 はじめに

手話動画（人物動画やアニメーション動画）を利用した手話日本語間の相互翻訳システムを開発している。それは、日本語を中間型手話に翻訳し、翻訳された結果を人物モデルで表現する手話アニメーションシステムであり、聴覚障害者が携帯電話や公共の施設などで著者らのシステムを利用することが考えられる<sup>2)</sup>。様々な表示媒体に手話アニメーションを表示した場合の読み取りやすさの研究が必要である。人物動画に関しては、鎌田らが 2inch 以下の表示サイズで手話知覚負荷が大きくなることを示した<sup>3)</sup>。また中園らは、フレームレートが画像の詳細さよりもフレームレートが高い画像の方が手話の読み取りやすさが高くなることや、フレームレートが高い場合に表示サイズは手話の読み取りに影響を与えないことを示している<sup>4)</sup>。しかし、手話アニメーションに関しては著者らの研究しかない<sup>5)6)</sup>。

本研究では、画質に関係性の高い 3 つの要素（表示サイズ、解像度、フレームレート）に注目し、表示条件が手話単語アニメーションの読み取りにどのような影響を与えるかについて検討する。

## 2 手話単語読み取り実験

ディスプレイの表示パラメータを表示サイズ 5 種類、画像解像度 3 種類、フレームレート 3 種類とした。表示サイズは携帯電話、PDA、パソコンなどを想定して決めた。

実験条件は 2 種類とした。1 つは表示サイズに応じてディスプレイが自然な見え方となるように視距離を設定した実験条件（視距離条件）である。もう 1 つは視距離を 60cm に固定し、表示サイズの変化

に伴い、視角が変化するように設定した実験条件（視角条件）である。表 1 に実験の表示パラメータを示す。

表 1 ディスプレイ表示条件

|                     |          |          |         |       |       |      |
|---------------------|----------|----------|---------|-------|-------|------|
| 表示サイズ (縦×横cm)       | 5×4      | 10×8     | 20×16   | 45×36 | 90×72 |      |
| 解像度 (縦×横pixels)     | 113×90,  | 225×180, | 450×360 |       |       |      |
| フレームレート (frame/sec) |          | 4, 8, 15 |         |       |       |      |
| 視距離条件               | 視距離 (cm) | 25       | 40      | 60    | 120   | 200  |
| 視角条件                | 視角(°)    | 4.8      | 9.5     | 18.4  | 36.9  | 56.3 |

## 2.1 実験方法

実験の手順を示す。被験者はまず表示ディスプレイの前に座り、ディスプレイに提示される手話アニメーションを眺め、その意味を読み取った。被験者には事前に、単語を表現する手話アニメーションが表示されることを伝えている。読み取った手話アニメーションの意味は解答用紙に記述する。手話単語の意味を読み取れなかった場合は「×」を記入させ、無解答として扱った。表示する手話アニメーションの表示サイズ、解像度、およびフレームレートの組み合わせを事前に設定し、1 つのアニメーションを 2 度連続で被験者に提示した。被験者にはなるべく身体を動かさないよう注意を促した。

## 2.2 表示した手話単語

実験で使った単語を表 2 に示す。これらの単語は手話単語ビデオデータベースの KOSIGN Ver.2 から選出した。実験で使用する単語は 3 つの特徴に注目して選んだ。片手のみで手話を表現することが可能な片手手話を 4 単語、両手で手話を表現する両手手話を 2 単語、手話の読み取りの際に口元の動きや口形に注目しなければならない口元に注目する手話 3 単語の合計 9 単語であった。

表2 手話単語

|           | 手話単語 | 手型     | 手の動き                                       |
|-----------|------|--------|--------------------------------------------|
| 口元に注目する手話 | 甘い   | ク型     | 口の前で指文字「ク」の手のひらで円を描くように動かす                 |
|           | 赤    | 人差指後   | 人差指の先を、腕地反対側の唇の端から唇に沿って引く                  |
|           | 白    | 人差指後   | 人差し指の先で歯を示し、右に水平に引く                        |
| 片手手話      | 兄    | セ型     | 手の甲を前にして指文字「セ」を示し、下から上にあげる                 |
|           | 姉    | イ型     | 手の甲を前にして指文字「イ」を示し、下から上にあげる                 |
|           | 明日   | ヒ型     | 手のひらを前に向けてヒ型を握り、顔の横に立て前にさすように少し倒す          |
|           | 明後日  | ウ型     | 指文字「ウ」にして、顔の横に立て前に指すように少し倒す                |
| 両手手話      | コーヒー | モ型、C型  | カップを握るように指文字「C」を示し、その上に親指と人差指を素早く開く        |
|           | 買う   | メ型、テ↑型 | 指文字「メ」の手を他方の手の少し上に置き、指文字「メ」を前に出し他方の手を手前に引く |

### 2.3 被験者

被験者は日常生活で手話を使用する聴覚障害の20～60歳（手話歴約10年以上）の男女であった。視距離条件の実験の被験者は37名（男性16名、女性21名）、視角条件の実験の被験者は47名（男性19名、女性28名）であった。被験者の中で18名（男性7名、女性11名）の被験者が両方の実験条件に参加した。また、表示サイズが20×16[cm]の時、視距離条件、視角条件ともに視距離が60[cm]と同じ条件に当るので、表示サイズ20×16[cm]の時の実験データはどちらの実験条件下でも使用した。このため、視距離条件の実験の被験者47名のうち19名（男性9名、女性10名）は表示サイズ20×16[cm]、視距離60[cm]の条件しか行っていない。

## 3 実験結果

### 3.1 分析方法

被験者が表示した手話単語の意味を正しく答えている場合を正解、正しく答えられていない場合は誤解答、そして解答用紙に「×」と記入されているも

のは無解答とした。解答のうち手話アニメーションの口話が「兄」であるものを「お兄さん」、「姉」を「お姉さん」と解答している場合や、「断る」を「お断り」としている場合は正解とした。1試行の結果は回答が正しいか誤りかであるため、正答率（問題数に対する正答数の割合）、誤解答数（問題数に対する誤解答数の割合）および無解答数（問題数に対する無解答数の割合）を算出し、それを分析の基礎データにした。

### 3.2 誤解答率と無解答率

図1に視距離条件、図2に視角条件下での手話単語の無解答率と誤解答率を示す。視距離条件では無解答率が4.4%、誤解答率が7.0%であり、視角条件では無解答率が5.4%、誤解答率が8.0%であった。両条件ともに誤解答の割合が高ければ、無解答率も高くなる傾向が見られた。単語ごとでは、手話動作の同じ単語（赤と白）では、単語（白）の誤解答率、無解答率が単語（赤）の誤解答率、無解答率よりも共に高かった。

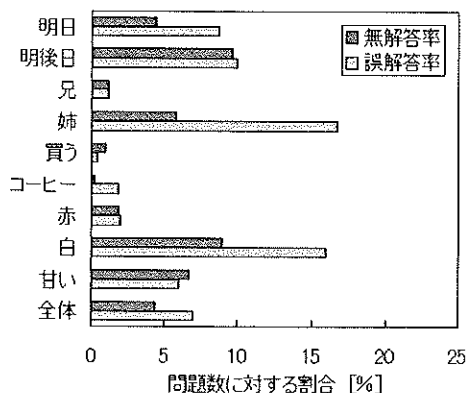


図1 無解答率と誤解答率（視距離条件）

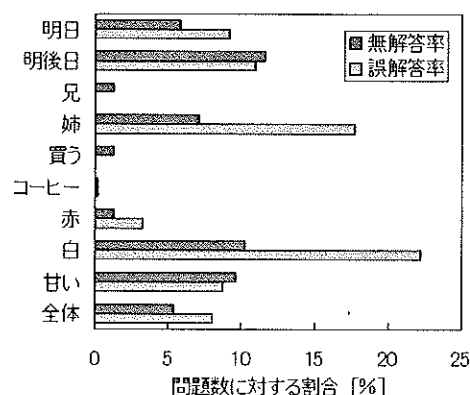


図2 無解答率と誤解答率（視角条件）

### 3.3 表示条件と正答率の関係

図3に表示サイズと正答率の関係を示す。

視距離条件と視角条件のどちらの条件においても  $20 \times 16[\text{cm}]$  までは表示条件の向上に伴い、正答率が向上した。しかし、 $20 \times 16[\text{cm}]$  より大きくなると視距離条件では正答率が 90% 弱でほぼ変わらず一定になる傾向が見られた。一方、視角条件では少し減少する傾向が見られた。

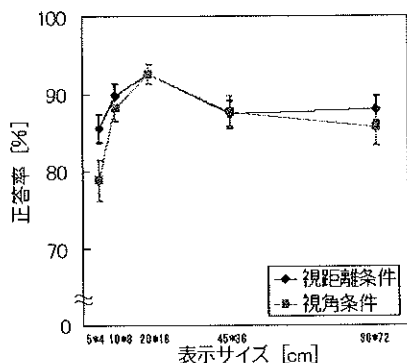


図3 表示サイズに対する正答率

解像度と正答率の関係を図4に示す。どちらの実験条件下においても解像度の向上に伴い正答率も上がる傾向が見られた。解像度間の平均正答率の差は、視距離条件では最大で約 13%，視角条件では最大約 20% であった。

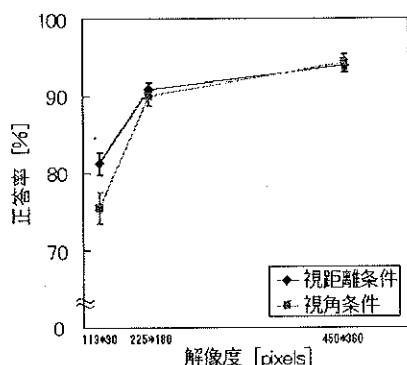


図4 解像度に対する正答率

フレームレートについては図5に見られるように、解像度と正答率の関係と同様な傾向が見られた。

表示サイズ、解像度、フレームレートが手話の読み取りに影響を与えているのかを明らかにするため、表示サイズ、解像度、フレームレートを因子とする

3 元配置分散分析を行った。結果、3 因子間およびどの 2 因子間にも交互作用は認められなかった。一方、有意な主効果は視距離条件では、表示サイズ、解像度、視角条件では表示サイズ、解像度、フレームレートに認められた。

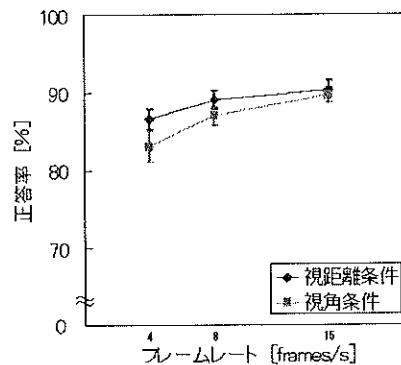


図5 フレームレートに対する正答率

次に Tukey 法による多重比較を主効果が認められた因子を対象として試みた。その結果、表示サイズにおいて、視距離条件では  $5 \times 4[\text{cm}]$  と  $20 \times 16[\text{cm}]$  の間に、視角条件では  $5 \times 4[\text{cm}]$  と  $10 \times 8[\text{cm}]$ ,  $20 \times 16[\text{cm}]$ ,  $45 \times 36[\text{cm}]$  のパラメータの間に有意差が認められた。解像度では視距離条件、視角条件共に  $113 \times 90[\text{pixels}]$  と  $225 \times 180[\text{pixels}]$ ,  $450 \times 360[\text{pixels}]$  の間に有意差が認められた。最後に、視角条件のフレームレートでは、 $4[\text{frames/sec}]$  と  $15[\text{frames/sec}]$  の間に有意差が認められた。

### 4 考察

表示サイズについては視距離条件、視角条件ともに主効果が認められ、どちらの実験条件下でも  $20 \times 16[\text{cm}]$  の時に正答率が最も高くなる傾向が見られた。

視角条件では実験を行うにあたり  $60[\text{cm}]$  の視距離を採用していた。この視距離は  $20 \times 16[\text{cm}]$  で自然な見え方、つまり最適な視角となる視距離である。このことが要因となり視角条件では  $20 \times 16[\text{cm}]$  で正答率が最も高く、その他では低くなったと考えられる。本実験では視角条件において、視距離を  $60[\text{cm}]$  のみで行った。そのため、他の視距離のときでも同じような傾向、つまり設定した視距離が最適となる表示サイズの正答率が最も高くなる傾向を示

すかは明らかではない。よって、他の視距離を設定した場合も、その傾向が現れるのかを今後明らかにする必要がある。視距離条件では、視角条件とは異なりそれぞれの表示サイズに合う自然な視距離を設定していた。本実験では、このため視距離はもちろんのこと、視角も表示サイズにより各々異なっていた。視角を一定設定した時、今回の視距離条件とは異なる傾向が見られる可能性が考えられ、このことを明らかにすることは今後の課題である。

解像度に関しても視距離条件、視角条件ともに主効果が認められ、最も低い解像度 113×90[pixels] と他の解像度との間には有意な差が認められた。このことより 113×90[pixels]以下の解像度では、手話アニメーションの読み取りの負荷が大きくなっていることがわかった。

フレームレートについては、表示サイズや解像度の場合とは異なり、視角条件で主効果が認められたが、視距離条件では主効果が認められなかった。つまり、自然な視距離で手話アニメーションを読み取る時、フレームレートが手話アニメーションの読み取りには強く影響せず、また視角が変化する環境下で手話アニメーションを読み取る時に、フレームレートが影響する。本実験で採用した最小のフレームレートは 4[frames/sec]であり、また視距離条件では視距離を自然な見え方になるように設定したため、視角が一定ではない。このことから視角が一定の場合にフレームレートが手話アニメーションの読み取りに影響を与えるのかを明らかにすること、またフレームレートを 4[frames/sec]以下にした場合、手話の読み取りに影響が生じるのかを明らかにすることが今後の課題である。

## 5 おわりに

わかりやすい手話単語アニメーションを提示するための表示サイズ、解像度、フレームレートについて検討した。その結果、手話アニメーションの読み取りには表示サイズ、解像度の影響が大きいことがわかった。今後の課題は、視角を一定にした時の手話アニメーションの読み取りの傾向を明らかにする

ことである。

## 謝辞

本実験を行う上で、協力をいただいた京都府聴覚障害者協会・京都市聴覚障害者センターの方々に感謝を表す。また、本研究の一部は文部科学省特定領域研究補助金研究（基盤研究(B) 18300193, 特定領域研究 16091203）および三菱財団平成 17 年度助成金の補助を受けた。ここに深く感謝の意を表する。

## 参考文献

- 1) 河野, 黒川: 日本語手話翻訳システムの開発, 日本知能情報ファジィ学会誌, vol. 16, No. 6, pp.485-491 (2004).
- 2) Stephen Cox, Melanie Nakisa, Mark Wells: Tessa, a system to aid communication with deaf people, ACM SIGACCESS Conference on Assistive Technologies, pp. 205-212 (2002)
- 3) 塩野目, 鎌田, 山本, スーザン: 画面大きさと手話の知覚との関係に関する検討, ヒューマンインタフェース学会誌, Vol. 9, pp. 87-95 (2007).
- 4) 中園, 米原, 長嶋, 市川: 手話動画像の評価実験 - 画面サイズ, フレームレート, 量子化幅等の影響, 信学技報, Vol. 105, No.67, pp.19-24 (2005).
- 5) 浜上, 和泉, 森本, 黒川: 画像表示条件と手話アニメーション読み取りとの関係, ヒューマンインタフェース学会研究会報告書, Vol.9, No.1, pp.1-6 (2007).
- 6) 浜上, 和泉, 森本: 表示条件の異なる手話アニメーションのわかりにくさの原因, ヒューマンインタフェース 2007 論文集, CD-ROM No.1112 (2007).

## ピアノアンサンブルにおける演奏者間の非言語コミュニケーション

### - 対面演奏条件・非対面演奏条件による演奏の相違 -

Non-verbal communication between co-performers in piano ensemble  
-Face-to-face vs. non-face-to-face conditions-

○谷口智子\*, 中村敏枝\*, 岸田好生\*, 森数馬\*\*

\*大阪大学大学院人間科学研究科 \*\*大阪大学人間科学部

TANIGUCHI Satoko\*, NAKAMURA Toshie\*, KISHIDA Yoshio\*, MORI Kazuma\*\*

\*Graduate School of Human Sciences, Osaka University,

\*\* School of Human Sciences, Osaka University

#### 1 はじめに

音楽演奏において、音楽的なアイデアの伝達や調整を可能にする、特定の非言語的スキルがあることがこれまでの研究において明らかになっている (Davidson ら、2002<sup>1)</sup>、Williamon ら、2002<sup>2)</sup> など) が、定量的に研究されたものは少ない。演奏場面 (ピアノアンサンブル場面) において、より良い演奏をするためには、どのような非言語情報が有効で必要であるのか。

この点を定量的に検討する一端として、これまでにまず質問紙調査を用い、ピアノアンサンブルにおいて良い演奏をするためにどのような要因が重要であるのかを調査した結果、演奏音以外にも動作など視覚的に用いられる非言語情報の重要性が示唆された。

続いてこれらの質問紙調査の結果を基に、実際の演奏場面においてどのような情報が使用されているのかについて定量的に調べることを目的とした、2 台ピアノによる演奏の実験を行った。その際、対面条件並びに、視覚的な非言語情報の使用を制限した非対面条件での演奏を行い、実際の演奏場面における演奏者の非言語情報の使用頻度を把握し、またそれと演奏者の演奏満足度との関係、演奏音の音響特性 (2 人の演奏者のタイミング)、演奏者の呼吸について検討を行った。その結果、相手の姿が見え、視覚的な非言語情報が使用できる対面条件での演奏の方が非対面条件での演奏よりも演奏者の演奏満足度も高く、音響特性の観点からも良い演奏であり、2 人の呼吸も同期する箇所が多いということが示唆された (谷口ら、2007<sup>3,4,5)</sup>)。

そこで本研究では、これらの研究において録音した演奏音を用いて聴取実験を行い、対面条件において演奏者の満足度が高かった演奏が聴取者にも高い評価を受けるのかどうかを検討した。

#### 2 実験 1

##### 2.1 目的

以前の研究 (谷口ら、2007<sup>3)</sup>) において演奏者の演奏音に対する演奏満足度によって示唆された傾向、すなわち、非対面演奏条件と対面演奏条件の演奏の違い、並びに、演奏回数を重ねることによる練習効果が聴取者においても感受されるのかどうかを聴取実験により検討することを目的とした。

##### 2.2 方法

###### 2.2.1 実験参加者

18~22 歳の大阪大学の学生 79 名 (平均 18.8 歳、男 32 名、女 47 名)。

###### 2.2.2 場所

大阪大学豊中キャンパス共通教育 B 棟内の講義室で実施した。

###### 2.2.3 刺激

刺激として用いた演奏音は、大学音楽専攻卒業生 2 名 (共に 24 歳、女性、ピアノ演奏年数 21 年、初対面) に、鹿野祐美子作曲 連弾曲集「フェアリー



の4つの絵—フランスのこどものうたによる—」より、「ひなげしのプロローグ」（演奏時間：約2分半）を、大阪大学大学院人間科学研究科感性情報心理学研究室の防音室（遮音ガラス窓で仕切られた2つの防音室）で演奏させ、録音したものである。

演奏者は曲の練習をそれぞれ十分だと思うまで個別に行った後、異室非対面条件<sup>1)</sup>で4回、次に異室対面条件<sup>2)</sup>で4回、最後に同室対面条件<sup>3)</sup>で2回演奏した。そのうち、異室非対面条件の1回目・4回目、異室対面条件の1回目・4回目、同室対面条件の1回目の5つの演奏を聴取実験の刺激として使用した。

## 2.2.4 質問紙

質問紙は、「2人のタイミングが合っている」「強弱を上手く表現している」「リズム表現が上手い」「調和している」「安定している」「心地良い」「2人の演奏が合っている」「良い演奏である」「この演奏が好き」の9項目について、単極7件法（0：全く当てはまらない～6：非常によく当てはまる）で評価を行う評価用紙と、気づいた点などを書く自由記述欄で構成した。

## 2.2.5 手続き

実験は静かな教室で行われ、刺激は天井に備え付けのスピーカから流された。実験参加者は刺激曲を1曲聞く度に質問紙の評価を行った。尚、刺激曲を初めから最後まで聞き終わった後で評価するよう指示された。刺激の提示順序による影響を考慮して、実験は3グループに分かれてそれぞれ異なる刺激提示順序で、集団で行われた。その提示順序と人数を以下の表に示す。

表1 刺激の提示順序と人数

|       | 刺激提示順序    | 人数 |
|-------|-----------|----|
| グループ1 | ①→③→⑤→②→④ | 29 |
| グループ2 | ③→①→⑤→④→② | 29 |
| グループ3 | ⑤→④→③→②→① | 21 |

①：異室非対面1回目、②：異室非対面4回目、③：異室対面1回目、④：異室対面4回目、⑤：同室対面1回目

<sup>1)</sup> ガラス窓にカーテンを引き、相手の姿は見えないが演奏音は聞こえる状態

<sup>2)</sup> 相手の姿が見え、演奏音も聞こえる状態

<sup>3)</sup> 同じ部屋で演奏する通常の演奏状態

## 2.3 結果と考察

### 2.3.1 演奏条件による影響

図1に全実験参加者の全評価項目の評価平均値を示す。図1から明らかなように、非対面条件より対面条件（異室対面条件と同室対面条件）での演奏の方が、評価平均値が高いという傾向が見られた。t検定を行った結果、この傾向は有意であった（図1の\*印）。

### 2.3.2 練習効果による影響

図1において異室非対面1回目と4回目、異室対面1回目と4回目の評価平均値を比較すると、同じ演奏条件内において4回目の演奏の方が評価平均値は増大した。これより、練習効果により演奏が良くなったことを推測させる。また、上記の演奏条件による評価平均値の相違はこの練習効果が含まれていると推測される。この点については次の実験2で検討する。

### 2.3.3 演奏者の演奏満足度と聴取者の評価平均値

谷口他（2007）<sup>9)</sup>で検討された演奏者の演奏全体についての満足度と、本実験結果である聴取者の評価平均値の関係を調べてみると、正の相関が見られる（図2）、演奏者の満足度が高い演奏は聴取者にも高く評価されるということが示唆された。尚、以前の研究（谷口ら<sup>9)</sup>）において、演奏者の満足度が高い演奏は音響特性の観点からも良い演奏であるという示唆を音響測定によって得ている。

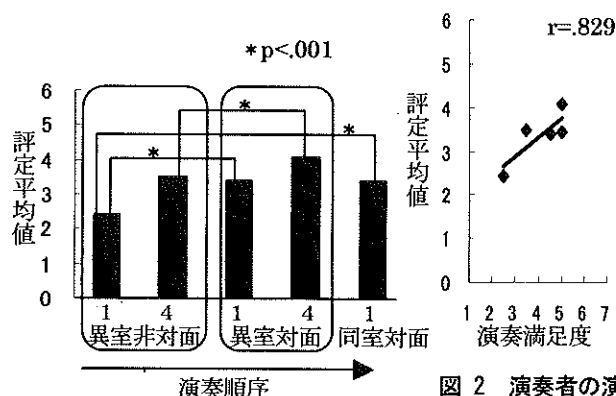


図1 聴取実験の評価平均

図2 演奏者の演奏満足度と聴取者の評価平均

### 3 実験 2

#### 3.1 目的

実験 1 で見られた非対面演奏条件と対面演奏条件の演奏の違いは、練習効果の現れにすぎないのではないかとの疑問について検討を加えるために、演奏条件の順を変えた刺激を用いて実験を行った。

#### 3.2 方法

##### 3.2.1 実験参加者

19～37 歳の相愛大学と大阪大学の学生 99 名（平均 20.1 歳、男 23 名、女 76 名）。

##### 3.2.2 場所

相愛大学の講義室と大阪大学豊中キャンパス共通教育 C 棟内の講義室で実施した。

##### 3.2.3 刺激

実験 1 とは異なる大学音楽専攻卒業生 2 名（共に 24 歳、女性、ピアノ演奏年数 18 年・21 年、初対面）に、実験 1 と同じ演奏曲を同じ場所で演奏させ録音したものをを用いた。ただし、演奏条件の順を変え、異室対面条件で 4 回、次に異室非対面条件で 4 回、最後に同室対面条件で 2 回演奏させた。そのうち、実験 1 と同様に、1 回目と 4 回目の演奏音を聴取実験の刺激として用いた。

##### 3.2.4 質問紙

実験 1 と同じものを使用した。

##### 3.2.5 手続き

実験 1 と同じ。刺激呈示順序と人数を表 2 に示す。

表 2 刺激の呈示順序と人数

|        | 刺激呈示順序    | 人数 |
|--------|-----------|----|
| グループ 1 | ①→③→⑤→②→④ | 37 |
| グループ 2 | ③→①→⑤→④→② | 32 |
| グループ 3 | ⑤→④→③→②→① | 30 |

①：異室対面 1 回目、②：異室対面 4 回目、③：異室非対面 1 回目、④：異室非対面 4 回目、⑤：同室対面 1 回目

### 3.3 結果と考察

#### 3.3.1 演奏条件による影響

図 3 に全実験参加者の全評定項目の評定平均値を示す。実験 2 の結果は、実験 1 とは異なるものとなった。対面条件の演奏の方が非対面条件の演奏よりも聴取者の評定平均値が高いという実験 1 の結果は、実験 2 では見られず、むしろ逆の傾向となった。視覚的な非言語情報を利用できない非対面条件であるが、先に演奏された対面条件よりも評価が高くなっているのは練習効果による影響が強く現れたものであると考えられる。

しかし、非対面条件において視覚情報を使用できないことによる影響が次の点において見られた。実験 1、2 のどちらにおいても演奏条件が変化し直後の 1 回目の演奏は評定平均値が下がる傾向がある（図 1、3）。しかし、実験 2 の異室対面 4 回目から異室非対面 1 回目へと条件が変化した時の評定平均値の減少（図 3、0.8 点減少）は、実験 1 の異室非対面 4 回目から異室対面 1 回目へと変化する時（図 1、0.1 点減少）よりも顕著である。これは対面条件から非対面条件に変わって視覚情報が失われることによる影響が強く現れたものではないかと推測される。尚、同室対面 1 回目の評定平均値の大きな減少（実験 1、2 共に 0.7 点減少）は演奏者 1 の使用した電子ピアノが KAWAI K4 から YAMAHA CVP-103 に変わったことによる影響が強いと考えられる。

また、演奏者の演奏に対する満足度を項目ごとに検討すると、「タイミング」についての満足度に、非対面条件において視覚情報を使用できないことによる影響が見られた。図 5 に演奏者 1 の「タイミング」についての満足度の評定平均値を、図 6 に「タイミング」以外の 6 項目、「音色」「テンポ」「デュナーミク」「フレージング」「アーティキュレーション」「リズム」についての満足度の評定平均値を示した。図 6 のタイミング以外の 6 項目の満足度に比べて、図 5 では、異室対面条件より異室非対面条件において、演奏者のタイミングについての満足度が低いという傾向が見られた。これはタイミング以外の 6 項目は、相手の姿が見えるかどうかに関わらず、演奏

音のみで良い状態にすることが可能であるが、タイミングについては、相手の姿が見えるかどうかという視覚情報が重要であるためではないだろうか。また演奏者 2 も同様に、非対面条件においてはその他 6 項目に比べてタイミングについての満足度が低いという結果であった。

### 3.3.2 演奏者の演奏満足度と評定平均値

演奏者の演奏全体についての満足度と本実験結果である聴取者の評定平均値の関係を調べてみると、正の相関が見られ(図 4)、演奏者の満足度が高い演奏は聴取者にも高く評価されるということが実験 1 と同様に示唆された。

しかし実験 2 の演奏については音響特性の観点からの検討については未検討な為、今後その結果も加味して検討する必要がある。

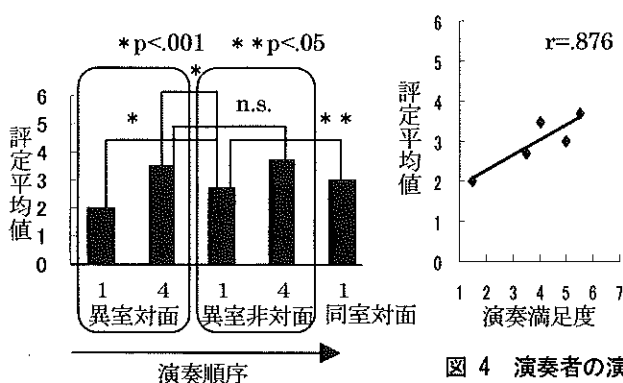


図 3 聴取実験の評定平均

図 4 演奏者の演奏全体についての満足度と聴取者の評定平均

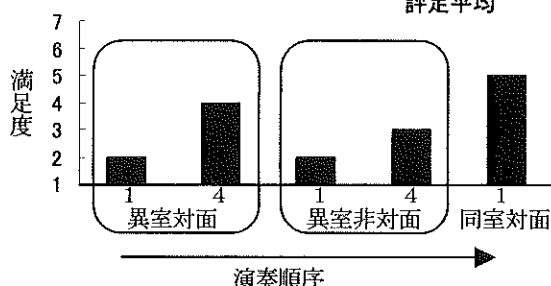


図 5 タイミングについての演奏者の満足度

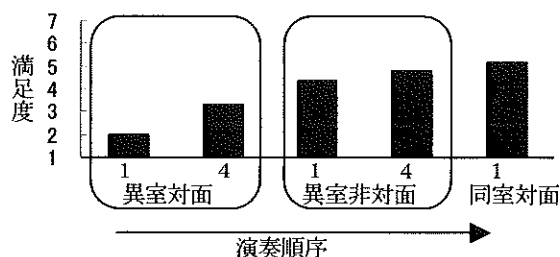


図 6 タイミング以外の項目についての演奏者の満足度

## 4 おわりに

本研究では、聴取者の演奏音についての評定から対面演奏条件と非対面演奏条件の相違は明らかでなかったが、演奏者の「タイミング」についての満足度からは対面演奏条件と非対面演奏条件の相違を示す結果が得られた。演奏者は非対面演奏条件において視覚的な非言語情報が使用できないという状況の中でもその状況に応じてその場における最も良い演奏を作り出す。よって実験 2 において演奏者自身は視覚的な非言語情報を使用するタイミングについては満足しなかったが、演奏音として表れるのは良いものであり、聴取者にも高く評価されたのではないだろうか。

また、本研究において演奏者の満足度が高い演奏は聴取者にも高く評価されるということが示唆され、演奏者の満足度と聴取者の演奏音に対する評価から、演奏回数を重ねることによる練習効果が明白に見られた。

今回の 2 つの実験で使用した刺激は、初対面の演奏者に初めて演奏する曲をその場でアンサンブルさせたものであった為、演奏回数を重ねることによる練習効果の影響が非常に大きかったと考えられる。よって今後、練習を十分に行っているペアの演奏者に演奏させた刺激を用いて、対面演奏条件と非対面演奏条件の演奏音に違いが見られるかどうか検討していきたいと考える。

## 5 参考文献

- 1) DAVIDSON, J.W. & CORREIA, J.S.: Body Movement, The Science & Psychology of Music Performance, Chap.15, Oxford University Press (2002).
- 2) WILLIAMON, R.A. & DAVIDSON, J.W.: Exploring co-performer communication, Musicae Scientiae, Vol.V1, No.1, pp.53-72 (2002).
- 3) 谷口他: ピアノアンサンブルにおける演奏者間の非言語コミュニケーション, 日本認知心理学会第 5 回大会発表論文集, pp.75 (2007).
- 4) 谷口他: ピアノアンサンブルにおける演奏者間の非言語コミュニケーション—演奏者の呼吸の測定—, ヒューマンインターフェースシンポジウム 2007 論文集, pp.749-752 (2007).
- 5) 谷口他: ピアノアンサンブルにおける演奏者間の非言語コミュニケーション—演奏音の音響特性の測定—, 日本心理学会第 71 回大会論文集, pp.715 (2007).

## ドラム音系列における‘間’とテンポについて

### ‘Ma’ and tempo of drums beats

○岸田好生\*, 中村敏枝\*, 谷口智子\*, 森数馬\*\*

\*大阪大学大学院 人間科学研究科 \*\*大阪大学 人間科学部

KISHIDA Yoshio\*, NAKAMURA Toshie\*, TANIGUCHI Satoko\*, MORI Kazuma\*\*

\*Graduate School of Human Sciences, Osaka University, \*\*School of Human Sciences, Osaka University

#### 1 目的

ジャズやロック、ポップスにおいてドラムは重要な楽器で‘音楽を奏でる’‘表現する’といった言葉がよく使われる<sup>1)</sup>。ドラム演奏は、複数の太鼓やシンバルの音から構成され、そこにはそれぞれの音から出来る‘間’が存在する。それらが曲の雰囲気やノリ、聴取者の気分大きく影響すると考えられる。特にポップスやブルースにおいてはバスドラムとスネアドラムから出来る‘間’の印象は強く、演奏者が‘間’を調節しノリを変えているように感じる事は少なくない。

実際に、プロのドラマーは‘楽曲の中には、叩くタイミングの良い悪いがあり、コンマ・ゼロ秒の世界でそこにちゃんとスネアドラムが入らず、外してしまうと引っ込んだ印象を与えてしまう’<sup>2)</sup>と述べている。また、プロのドラム演奏を使用したグルーブ感の研究でも、ルースやタイトといった演奏表現で、楽譜と演奏された音のタイミングのズレに違いがあるという結果が得られている<sup>3)</sup>。

一方で、聴取者も‘スネアドラムのタイミングがほんのちょっとだけ遅くて、ブルージーな曲だとそれがとても気持ち良い’<sup>4)</sup>という意見を述べている。また、音楽作成に関するインターネット上の書き込みでも‘スネアの位置をごくわずかずらしてやるだけでグルーブ感が変わってくる’<sup>5)</sup>と述べる者もいる。

このように‘間’の変化が重要である事が伺えるがその効果は明確ではない。そこで本研究は、音楽の重要要素の一つであるテンポとの関係も含め、ドラム音系列の‘間’とテンポが聴取者の気分や印象へ及ぼす影響を調べる事を目的とした。更に、テンポが異なっても‘間’の長さが同じであった場合の気分や印象の違いについても検討した。

#### 2 方法

##### 2-1 実験参加者

19歳～80歳の学生52名(男27名, 女25名, 平均24.8歳)。しかし、データの不備により3名を除外し19歳～47歳の学生49名(男26名, 女23名, 平均23.2歳)で分析を行った。

##### 2-2 実験場所

大阪大学感性情報心理学研究室内の防音室

##### 2-3 実験刺激

練習試行用刺激1種類, 本試行用刺激12種類のドラム音系列をCUBASE Studio4 (steinberg 社製)で作成した。音色はDry Standard Kidを使用しハイハット、バスドラム、スネアドラムから成るドラム音系列とした(図1に楽譜を示す)。各音125msの長さでMIDIデータにより作成した。練習用の刺激はbpm120 (bpm=beats per minute)で楽譜通りのドラム音系列を作成し、本試行用の刺激として6種類のテンポ (bpm=94,102,111,120,130,141)で各テンポのスネアドラムの音を本来の位置より前後にズラしたものを2種類ずつ作成した。前後のズレの大きさはそれぞれのテンポにおいて、バスドラムから本来のスネアドラムまでの時間(以後‘間’と呼ぶ)の1/25とした(図2)。これらは、速いテンポの長くした‘間’と遅いテンポの短くした‘間’がほぼ同じになるように作成した。各テンポの‘間’の長さを表1に、ドラム音系列の波形を図3に示す。

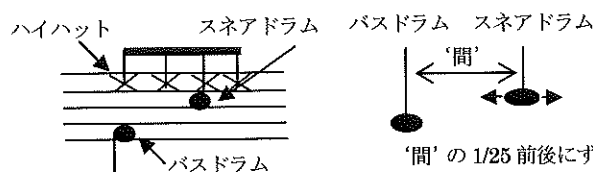


図1.ドラム楽譜



図2.‘間’の調節

表1.各テンポでの'間'(バスドラムからスネアドラムの時間)の長さ

| bpm         | 94  | 102 | 111 | 120 | 130 | 141 |
|-------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 長い間(後ろへずらす) | 664 | 612 | 562 | 520 | 480 | 443 |
| 短い間(前へずらす)  | 613 | 565 | 519 | 480 | 443 | 409 |

(ms)

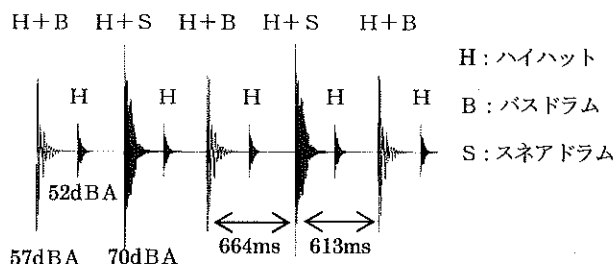


図3. ドラム音系列の波形 (bpm=94における長い'間'の場合)

Adobe Premiere 6.5 (アドビシステムズ社製) と Sound Forge 7.0 (SONY 製) を使用し、先行刺激の影響を軽減させる為に、全ての刺激音の前にホワイトノイズを3秒間挿入し、その2秒後から1分間刺激音が流れるビデオファイルを作成した。

画面は黒色で、刺激音が始まってから30秒後に'質問紙に記入下さい'と白色の文字が現れ、30秒後に刺激音と共に消えるように作成した。そして、これらの刺激を WinDVD Creator2 Platinum (InterVideo 社製) を用いて出来る限り隔たりなくランダムになるよう並べ、12種類の呈示順序のDVDを作成した。

## 2-4 質問紙

質問紙は2枚作成し、1枚目はその時の気分について15項目(楽しく感じた、重い気分になった、体を動かされる感じがした、駆りたてられる感じがした、体の重心が沈む感じがした、威圧される感じがした、頭や手足など体の先端を動かしたくなった、胸や腰など体の中心を動かしたくなった、軽い気分になった、落ち着いた感じがした、やる気が出る感じがした、心地良く感じた、心が弾む感じがした、ゆったりした感じがした)を単極7段階評定(全く感じないを0とし、1から6になるにつれて強く感じる)で答えさせる質問紙を作成した。2枚目は刺激音の印象を両極7段階評定で2項目(速い-遅い、好き-嫌い)について答えさせるもので、更に気づいた点などを自由記述で記入できる欄を作成した。

## 2-5 実験器具

刺激呈示にはTOSHIBA製DVDデッキ(AK-G300)

を使用し、プロジェクター (EPSON 製 EMP-740) でスクリーンに映し出し、刺激音は防音室内のスピーカ (ONKYO605) から呈示した (図4)。実験参加者の耳の位置で測定したA特性音圧レベルを図3に示す。

## 2-6 実験手続き

まず、実験参加者を防音室内の椅子に座らせ、インフォームドコンセントを書面にて行った。

その後、刺激音に対する評定を行わせた。まず、ホワイトノイズが流れ、刺激音が聞こえてくるのでリラックスして聞くよう教示した。そして、画面に「質問紙に記入下さい」と文字が出た時点で気分の質問紙に記入し、刺激音呈示が終わってから印象の質問紙に記入するよう教示した。

この手順で練習試行を1試行行い、続けて12試行の本試行を行った。記入終了の合図は声で行わせ、試行毎に実験者が質問紙を交換した。

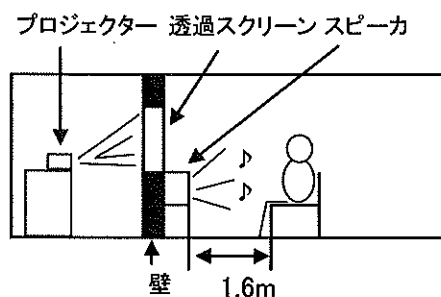


図4. 実験配置図

## 3 結果と考察

### 3-1 気分に対する'間'の影響

気分に対する'間'の影響を調べる為に、長い'間'と短い'間'の平均値をt検定で比較した。(図5)。

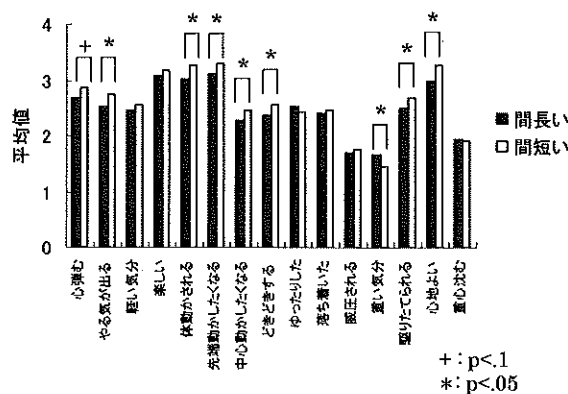


図5. 各項目に対する'間'の影響

その結果、9項目で'間'による影響がみられた。

‘重い気分’と‘心地よい’以外の項目は活動的な気分に関係する項目であり、‘間’が長い方が‘重い気分’は高く、それ以外の気分は‘間’が短い方が高い値であった。

このように、‘間’の長さは、多くの気分に影響を及ぼし、特に活動的な気分に影響すると考えられる。

### 3-2 気分評定の因子分析

気分評定の結果から、項目間にいくつかの傾向があるように思われた。そこで気分の分類を行う為に因子分析を行った。分析は、49人による13回の評定合計637のデータをプロマックス回転の主因子法で行った。複数因子に対し大きな負荷量を持つ3項目を削除した後の因子分析の結果を表2に示す。

その結果、‘心弾む’や‘体を動かしたくなる’といった活動的な気分8項目からなる active 因子と‘ゆったりした’と‘落ち着いた’の2項目からなる calm 因子、そして‘威圧される’と‘重い気分’の2項目からなる heavy 因子の3因子が抽出された。

表2. 気分評定の因子分析結果

|           | 因子     |        |        |
|-----------|--------|--------|--------|
|           | active | calm   | heavy  |
| 心弾む       | 0.881  | 0.051  | -0.119 |
| やる気が出る    | 0.866  | 0.117  | -0.06  |
| 軽い気分      | 0.846  | 0.063  | -0.106 |
| 楽しい       | 0.823  | 0.024  | -0.202 |
| 体動かされる    | 0.808  | -0.146 | 0.134  |
| 先端動かしたくなる | 0.761  | -0.103 | 0.081  |
| 中心動かしたくなる | 0.735  | 0.164  | 0.197  |
| どきどきする    | 0.516  | -0.255 | 0.32   |
| ゆったりした    | 0.027  | 0.967  | 0.017  |
| 落ち着いた     | 0.133  | 0.934  | 0.011  |
| 威圧される     | 0.058  | -0.036 | 0.827  |
| 重い気分      | -0.262 | 0.307  | 0.429  |
| 因子相関      |        |        |        |
| calm      | -0.432 | 1.000  | -0.032 |
| heavy     | -0.159 | -0.032 | 1.000  |

### 3-3 気分因子に対する‘間’とテンポの影響

次に、気分に対する‘間’とテンポの影響を調べる為に因子の平均値を従属変数、‘間’とテンポを被験者内要因として2要因の分散分析を行った。

その結果、active 因子では‘間’( $F(1)=7.30, p<.01$ )とテンポ( $F(5)=51.07, p<.001$ )両方の主効果が有意で、‘間’が短い方が active 因子が高得点となった。また、テンポが bpm94 から 130 へと速くなる程 active 因子

が高得点となり、120 と 141、そして 130 と 141 には有意な差は無い結果となった(図6)。

つまり、‘間’もテンポも活動的な気分に影響を及ぼす事が示され、‘間’が短い方が活動的な気分になり、bpm94~130の間でテンポと共に活動的な気分も増加するという結果となった。

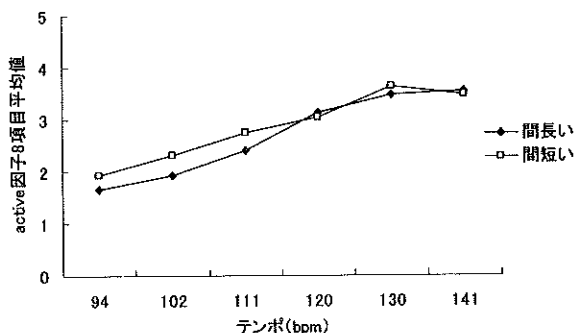


図6. active因子に対する‘間’とテンポの影響

次に calm 因子では、テンポの主効果のみ有意な結果となり( $F(5)=119.47, p<.001$ )、bpm102以上ではテンポが速くなる程 calm 因子が低くなった(図7)。

よって calm な気分には、‘間’の影響は無く、テンポの影響が大きい結果となり、テンポが速くなる程 calm な気分は減少するという結果となった。

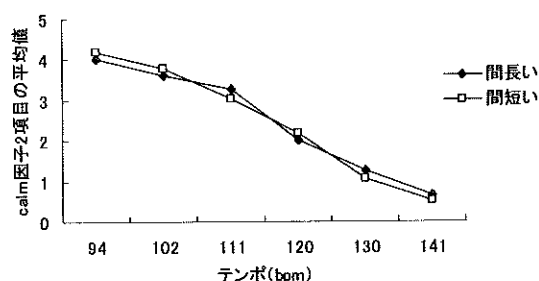


図7. calm因子に対する‘間’とテンポの影響

Heavy 因子もテンポの主効果( $F(5)=7.46, p<.001$ )のみ有意で、bpm120を最低値としたV字曲線が描かれ bpm120 は 94,102,141 より有意に低く、bpm111 と 130 も 94 より有意に低い値であった(図8)。

よって、heavy 因子には、テンポの影響が大きい事が分かった。ただし、bpm120付近を最低値とし、そこから遠ざかるほど heavy 因子が高得点となる点は、他の2因子と異なる点であった。

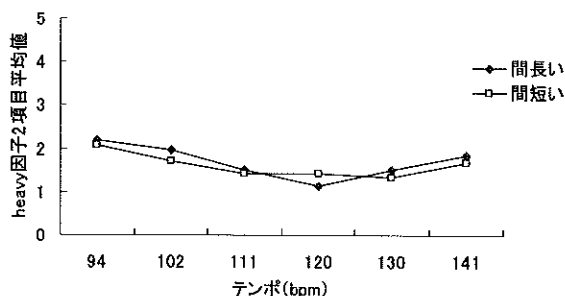


図8. heavy因子に対する‘間’とテンポの影響

### 3-4 ‘間’の長さの関係

次に、テンポは異なるが‘間’の長さが同じである場合に速さの印象がどの様に評定されるかを調べた。速さの印象評定値を従属変数として、同じテンポ同士6組の平均値の差と、同じ‘間’の長さ同士5組の平均値の差をt検定で分析した。

その結果、bpmが94~111では同じテンポでも‘間’が長い方を有意に遅いと判断し、異なるテンポでも‘間’が同じであれば速さに違いは無いと判断している結果であった。しかし、bpmが120以上では逆に、同じテンポでの‘間’の違いによる差は無く、テンポの違いによって判断される結果であった(図9)。

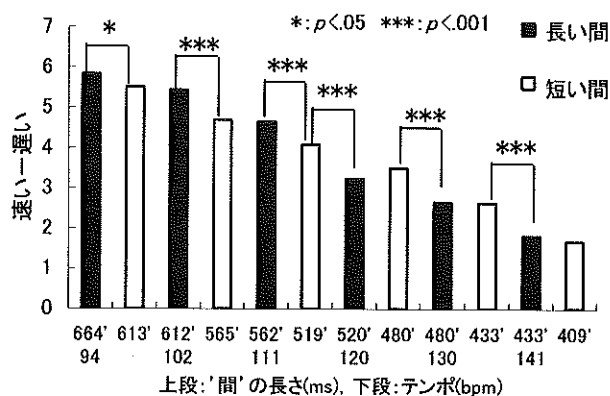


図9. 速さの印象と‘間’の関係

この結果から、‘間’は速さの印象に大きな影響を及ぼしている事が分かる。bpm120より遅いテンポで‘間’によって速さの印象が影響された事は、バスドラムからスネアドラムまでの長さで速さを感じるという事を示唆している。つまり、bpm120を境に遅いテンポではバスドラムからスネアドラムまでの時間で速さを感じ、速いテンポではバスドラムからバスドラム、スネアドラムからスネアドラムといったいわゆるテン

ポを速さと感じているのかもしれない。

また、同様のt検定を気分に対し行った結果、active因子及びactive因子内の気分と‘駆りたてられる’において一部同様の結果が見られた。ここでも活動的な気分に対して、‘間’が強く影響を与えるという結果となり、特に遅いテンポにおいて、‘間’の影響が大きい結果となった。

### 4 まとめ

今回の実験で、ドラム音系列の‘間’とテンポについて次の4つの興味深い結果が得られた。

第一に、ドラム音系列において‘間’は多くの気分、特に活動的な気分に影響を及ぼす事が示され、長い‘間’より短い‘間’の方がより活動的な気分になる事が示された。

第二に、ドラム音系列による気分は3つの因子に分かれる結果となり、その中で‘間’はactive因子に大きな影響を及ぼす事が示された。また、テンポも気分に対し大きな影響を及ぼし、今回のテンポの範囲内においてactive因子、calm因子はテンポ上昇と共に上昇、下降するが、heavy因子はbpm120で最も低くなるV字曲線を描く事が分かった。

第三に、bpm120より遅いテンポでは、‘間’の長さが速さの印象に影響を与えるのに対し、速いテンポでは、テンポのみが影響を与えた。速いテンポと遅いテンポでは、ドラム音系列を聞く際の速さの基準が異なる可能性が示唆された。

第四に、テンポに影響を受けるが、速さの印象に影響を与える‘間’によって影響を受けない気分項目が存在した。テンポのような全体的な流れによる影響と‘間’のような1つのまとまりによる影響が存在する可能性が考えられる。

### 5 参考文献

- 1) 山村牧人: リズム&ドラム・マガジン 11月号, p.84, リットーミュージック株式会社 (2007)
- 2) ドラムマガジン編集部: リズム&ドラム・マガジン 9月号, p.123, リットーミュージック株式会社 (1995)
- 3) 奥平啓太, 平田圭二, 片寄晴弘: ポップス系ドラム演奏の打点時刻及び音量とグループ間の関連について: 情報処理学会 音楽情報科学研究会 研究会報告, vol.56(84), pp.21-26 (2004)
- 4) 音遊人編集部: 音遊人 12月第11号, p.73, ヤマハ株式会社(2007)

## 曲の印象形成における歌詞の影響について

### The influence of lyrics on music impressions

○森数馬\*, 中村敏枝\*\*, 谷口智子\*\*, 岸田好生\*\*

\*大阪大学 人間科学部 \*\*大阪大学大学院 人間科学研究科

MORI kazuma\*, NAKAMURA Toshie\*\*, TANIGUCHI Satoko\*\*, KISHIDA Yoshio\*\*

\*School of Human Sciences, Osaka University

\*\*Graduate School of Human Science, Osaka University

#### 1 はじめに

音楽における歌詞の問題については多くの関心が寄せられてきた。しかし、実験心理学的に検討されることは少なかった<sup>1)</sup> (数少ない研究例は、星野<sup>2)</sup>; Stratton and Zalanowski<sup>3)</sup>)。その原因の 1 つとして、歌詞が歌われるとき、音の持つ感性情報と歌詞の持つ意味情報が切り離せないことが挙げられる。そこで、本研究では、聴取者にとって歌詞の意味内容不明な言語の曲<sup>注</sup>とその邦訳の歌詞を使用することで、歌詞の影響を歌声の持つ感性情報から独立して検討できるようデザインした実験を行った。また、曲と歌詞の関係は、曲に合った歌詞がつけられる場合や歌詞に合った曲が作られる場合、あるいは敢えて反対の印象を持つ曲と歌詞を組み合わせる場合など様々である。本研究では、印象の異なる曲と歌詞を組み合わせることで、聴取者は曲に対してどのような印象を持つのかを定量的に検討した。

#### 2 実験 1

##### 2-1 目的

印象の異なる曲と歌詞を組み合わせる場合、曲に対する印象がどのように歌詞の影響を受けるかを調べる。

##### 2-2 方法

##### 2-2-1 実験参加者

18~37 歳の大阪大学の学生 134 名 (男 49 名、女 85 名; 平均年齢 19.6 歳)。各々は本実験に

における下記の 3 条件のいずれかに参加した。

##### 2-2-2 場所

大阪大学人間科学研究科感性情報心理学分野の防音室にて実施した。

##### 2-2-3 予備実験

本実験で使用する刺激および評価項目の選出のために予備実験を行った。日本語と英語以外の言語で歌われた 4 つの曲とその邦訳の歌詞に対し、谷口<sup>4)</sup>、Hevner<sup>5)</sup>の先行研究を参考に、両極 7 件法・27 項目で印象評価を求めた。この 4 曲は、目的に適うように筆者が曲の印象がポジティブ、邦訳の歌詞の印象がネガティブであるとみなした曲である。実験結果に基づき、本実験ではこの中から最も適当な 2 曲を刺激として用いた。

##### 2-2-4 本実験

##### 2-2-4-1 刺激

刺激 1; 「DE CONVERSA EM CONVERSA」

(作曲: Joao Gilberto、演奏: Joao Gilberto、型番: ユニバーサルミュージック、UCCM-60245) の曲全体 (2 分 12 秒) と、歌詞カードに付属する邦訳の歌詞全文を用いた。なお、この曲はポルトガル語で歌われている。

刺激 2; 「Tam Tam」(作曲: M. Polnareff、演奏: Neppu Tokyo Salon、型番: 東芝 EMI、TOCP-65354) の演奏開始から 2 分 50 秒までの抜粋と、歌詞カードに付属する邦訳の歌詞の抜粋該当部分。この曲は Sound Forge7.0 (SONY) を使用し、2 分 20 秒近辺から曲が徐々にフェードアウトしていくように加工した。なお、この曲はフランス語で歌われている。

<sup>注</sup> 本論文において、曲を言語で歌われた伴奏付きの音刺激、歌詞を文字で書かれた視覚刺激とする。



## 2-2-4-2 実験条件

曲と歌詞の単独提示および複合提示により以下の3条件を設けた。

条件1：曲のみ条件

曲のみを聴覚提示した。

条件2：歌詞のみ条件

歌詞のみを視覚提示した。

条件3：曲＋歌詞条件

曲を聴覚提示するとともに、その曲の歌詞を視覚提示した。

## 2-2-4-3 質問紙

予備実験の結果から評価に不適当と考えられた4項目を省き、両極7件法・23項目で(表1)、曲と歌詞、および曲＋歌詞に対する印象評価を求めた。条件1、3では聴取時に歌詞の意味内容が理解できたかどうかを尋ねた。さらに、性別や年齢、その他の質問を行った。

表1：各条件の刺激に対する印象評価項目

|              |             |
|--------------|-------------|
| 嬉しいー悲しい      | 開放されたー抑圧された |
| 夢見ごっこなー現実的な  | 楽しいー苦しい     |
| ユーモラスなーまじめな  | 軽いー重い       |
| 活発なー無気力な     | 外に向いたー内に向いた |
| 満足したー物足りない   | 温かいー冷たい     |
| 明るいー暗い       | 陽気なー陰気な     |
| 優しいー残酷な      | 面白いーつまらない   |
| 高揚したー沈んだ     | 晴れ晴れしたー鬱屈した |
| 単純なー複雑な      | おだやかなー激しい   |
| 堂々としたーおどおどした | 前向きなー後向きな   |
| 快いー不快な       | のんきなー緊張した   |
| 友好的なー排他的な    |             |

## 2-2-4-4 装置

曲はアンプ(SONY TA-DVD-V88ES および SONY TA-F37R)を通して適意レベルで提示した。すなわち、スピーカ(SONY SS-AL5 または VICTOR SX-500DOLCE)から約2.3メートル離れた位置に座る参加者の耳の位置で、60.3dB LAeq (曲1) および 61.7dB LAeq (曲2) となるように提示した。歌詞はMicrosoft Office Word 2003を使用しMS明朝、スタイル標準、フォント10.5で作成し、A4の用紙に印刷して提示した。部屋の照明は文字が読み易い程度であった。

## 2-2-4-5 手続き

実験は個別または集団(2~4人)で行われた。

参加者は防音室で各条件における刺激を提示され、刺激提示終了後、質問紙の記入を行った。各条件につき2つある刺激は、順序効果が相殺されるように個別の参加者(または集団)ごとに順序を変えて提示した。条件2では歌詞の内容に対する印象を固めるまで刺激を読むよう教示した。条件3では曲を提示している間、曲を聴きながら歌詞を読むよう教示し、曲の印象を評価するように求めた。

## 2-3 結果と考察

条件3においてフランス語を理解できると報告した1名はデータから除き、印象評価について、条件1：n=44、条件2：n=44、条件3：n=45(nは参加者数を表す)に基づく平均値を算出した(図1~2)。なお、図の印象評価項目の順序は、全データを用いた最尤法プロマックス回転の因子分析の結果に従う。

3条件で明確に印象評価平均値の値が分かれていることが図1、2からわかる。条件1(曲)と3(曲＋歌詞)に対しt検定を行った。結果は多くの項目において有意差を示した(図1、2の左側の\*印)。また、条件2(歌詞)と3(曲＋歌詞)の印象評価平均値に対しt検定を行った。結果は多くの項目において有意差を示した。(図1、2の右側の\*印)。したがって、曲の印象が歌詞によって影響を受け、条件3(曲＋歌詞)の印象は、曲とも歌詞とも異なる独自の印象を形成していると示唆される。それは、曲や歌詞の持つ感性情報と、歌詞の持つ意味情報の両面から印象が形成されているためであると考えられる。

しかし、本実験結果は検討すべき課題を提供する。それは、条件3(曲＋歌詞)の印象評価平均値の多くが‘4’付近に位置していることである。このことは、以下の4通りに解釈される。

1. 印象が‘4’であった(例えば、嬉しくも悲しくもない中間の印象を受けた)
2. 曲と歌詞の異なるイメージを統合できずに、中間の‘4’と評価した(すなわち‘わからない’という印象)
3. 曲と歌詞の印象が反対であるという判断か

ら論理的に中間の‘4’と評定した

#### 4. 参加者間で個人差が大きい評定値を平均した結果、印象評定平均値は‘4’となった

上記、1～3については本実験結果から検討することはできないが、4の課題については評定値の分布を詳細に分析することで検討できる。条件3（曲＋歌詞）の参加者の評定値の分布には、刺激1の「夢見ごちなー現実的な」「明るいー暗い」「軽いー重い」「陽気なー陰気な」「前向きなー後向きな」の項目で、刺激2の「夢見ごちなー現実的な」の項目で、ポジティブな印象とネガティブな印象に分かれる双峰性分布が見られた（例として図3に条件3の「陽気なー陰気な」の評定値のヒストグラムを示す）。これらの項目については、全参加者の印象評定平均値を算出することは妥当ではない。このように極端な個人差を考慮に入れて、曲に与える歌詞の影響を検討しなければならないと考えられる。しかし、実験1では各条件の参加者が異なるため比較は不可能である。そこで、各条件における参加者を同一にして次の実験を行った。

### 3 実験2

#### 3-1 目的

個人差の検討を可能にするために参加者を同一にして前記の条件1～3の実験を行う。

#### 3-2 方法

参加者は実験1の条件1における18～19歳の大阪大学の学生30名（男7名、女23名：平均年齢18.5歳）である。実験2では条件1～3全てに参加した。参加者は条件1に参加したあと、同日に条件2に参加した。その後、4週間以上期間を空けて、条件3に参加した。

その他の方法は実験1と同じ。

#### 3-3 結果と考察

条件別に算出した全参加者の印象評定平均値は、実験1の結果と同様の傾向を示した。これは両実験データの信頼性が高いことを示すものと言えよう。

そこで、実験2の条件3（曲＋歌詞）において、実験1と共通して参加者の評定値が双峰性分布を示した項目について、参加者を評定値5以上のネガティブ評定群（以下、N群）と評定

値3以下のポジティブ評定群（以下、P群）の2群に分けて条件間の比較を試みた（図4）。どの項目においても条件1（曲）と条件2（歌詞）における両群の印象評定平均値の差は大きなものではない。それにもかかわらず、条件3（曲＋歌詞）における両群の印象評定平均値の差は極めて大きい。参加者は2つのタイプ、すなわち曲の印象に強く影響を受けて評定値が決まるタイプと、歌詞の印象に強く影響を受けて評定値が決まるタイプに分かれることが明らかである。また、刺激2の「夢見ごちなー現実的な」の項目については、条件3（曲＋歌詞）の印象評定平均値がN群で条件2（歌詞）よりネガティブな値を示し、P群で条件1（曲）よりポジティブな値を示した。これは曲に歌詞を組み合わせることで、曲あるいは歌詞が持つ印象を超える強い印象を形成しうることを示唆する。特に、P群では、条件1（曲）と条件2（歌詞）の印象評定平均値が中間付近であるにも関わらず、条件3（曲＋歌詞）は大きくポジティブな印象評定平均値を示した。これは、単独では曖昧な印象の曲と歌詞が、両者を組み合わせることによって、明確な強い印象形成をもたらす場合があるということを示すものである。以上のことは、参加者を評定傾向別に2群に分けて分析を行ったことで見出し得た興味深い結果であると言える。

#### 4 おわりに

曲に対する歌詞の影響については多くの関心が寄せられてきたが、これについて定量的に扱った研究はあまりない。本研究では、歌詞を視覚提示することで曲に対する歌詞の影響を探ろうと試みた。

実験の結果、曲＋歌詞の印象は曲と歌詞それぞれの印象の影響を同程度に受け、両者のほぼ中間の評定値として示されるように見えた。しかしながら、参加者の個人差を考慮して検討を進めると、曲の印象に強く影響されるタイプと歌詞の印象に強く影響されるタイプの2種類に参加者が分かれ、曲あるいは歌詞のどちらかが極めて強い影響を与えて曲＋歌詞の印象を決定する場合のあることがわかった。参加者の持つ

どのような特性がタイプに関わるのかについては、今後検討しなければならない。

本研究では、曲と歌詞を組み合わせることで曲の印象とも歌詞の印象とも異なる新たな印象が生まれるという示唆が得られた。しかし、本実験のように正反対の印象を持つ曲と歌詞を組み合わせるのは日常経験からすると不自然な状況であるとも考えられる。参加者は評定に困難を感じたとも推測される。参加者の印象評定平均値が評定尺度の中間‘4’付近に集中したのはそのためかもしれない。今後、さらにデザインに工夫を重ねて実験を行い歌詞が曲に与える影響について追究したい。

## 5 参考文献

- 1) Juslin. P. N. : Musical Communication, pp.85-115, Oxford University Press (2005).
- 2) 星野悦子：歌の印象に及ぼす詞と旋律の効果, 日本心理学会第65回大会発表論文集, p.301 (2001) .
- 3) Stratton. V. N. and Zalanowski. A. H. : Affective impact of music vs.lyrics, *Empirical Studies of the Arts*, 12, pp.173-184 (1994).
- 4) 谷口高士：音楽と感情, pp.67-88, 北大路書房 (1995).
- 5) Hevner. K. : Experimental studies of the elements of expression in music, *American Journal of Psychology*, 48, pp.246-268 (1936).

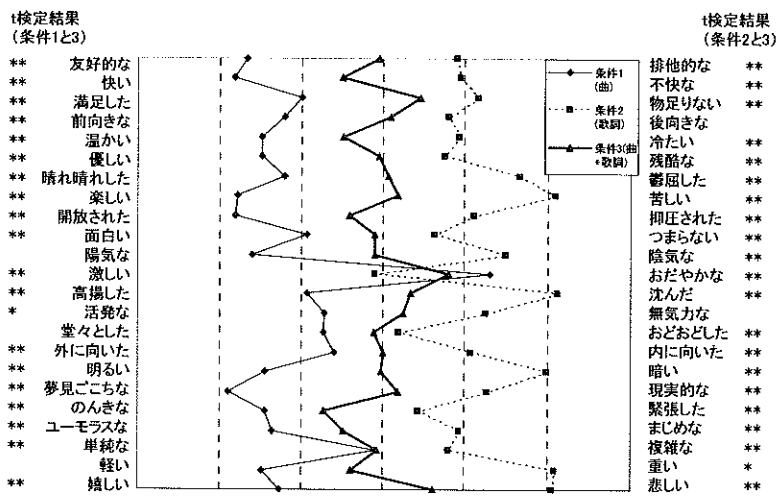


図1 刺激1の各条件に対する印象評定平均値(実験1) \*\* $p<0.01$  \* $p<0.05$

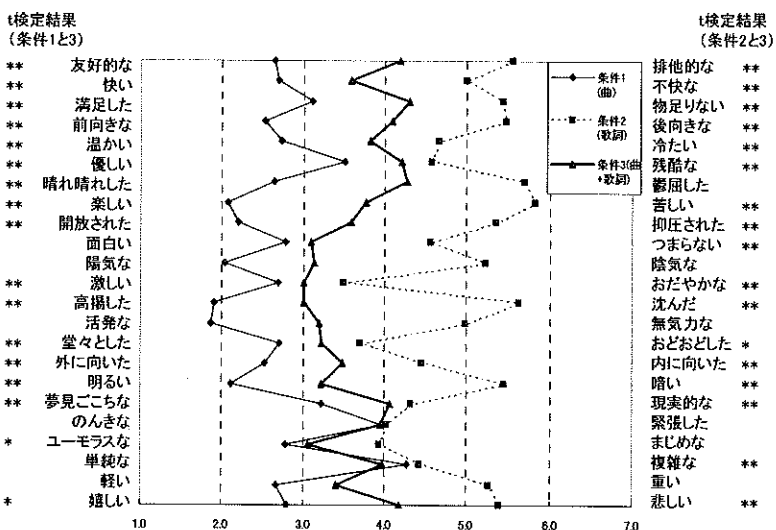


図2 刺激2の各条件に対する印象評定平均値(実験1) \*\* $p<0.01$  \* $p<0.05$

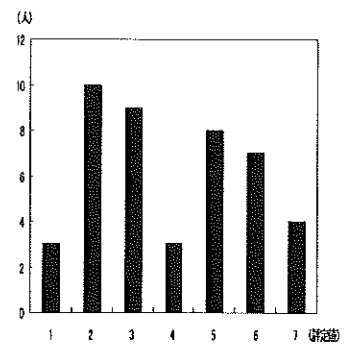


図3 実験1における「陽気な」「陰気な」の評定値の分布

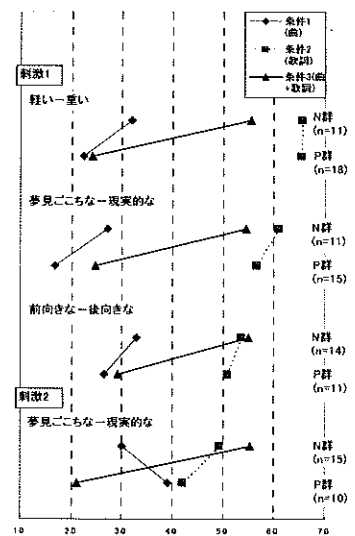


図4 実験2において双峰性分布を示した項目の印象評定平均値の比較

# 自動車用ドライブレコーダーの活用範囲の拡大 Usage Diversification of Image-Recording Type Drive-Video-Recorders

○片山 硬\*, 堀野定雄\*\*

\*久留米工業大学工学部, \*\*神奈川大学工学部

KATAYAMA Tsuyoshi\* HORINO Sadao\*\*

\*Faculty of Engineering, Kurume Institute of Technology,

\*\* Faculty of Engineering, Kanagawa University

## 1 はじめに

よく知られているように、わが国の自動車事故による死者数は、1990 年代から減少し、平成 18 年（2006 年）には 6,352 人となり、さまざまな安全対策の効果が現れていると解釈されている。しかし、死傷者数で見ると 1950 年代から増加の一途をたどり、平成 12 年（2000 年）あたりからは、年間 100 万人以上の死傷者を出すに至っている。さらに、近年の特徴は、交通事故による後遺障害の発生件数が急増していることである<sup>1)</sup>。

このような状況から、事故の被害軽減対策に加えて、事故そのものを発生させないための対策である予防安全対策の重要性が高まっている。今後の予防安全対策の中で、各方面から期待されているものの一つに、ドライブレコーダーがある。

自動車用ドライブレコーダーは、わが国では国土交通省を主体に、1998 年より実験的研究が開始され、現在普及が進んでいる事故記録、ニアミス記録用の原型機ともいえるものが試作されている。いろいろな経緯を経て、平成 15 年には簡易型のドライブレコーダーが市販され<sup>2)</sup>、事業用車両への搭載が進み、2006 年末には約 10 万台のドライブレコーダーが普及している。

自動車用ドライブレコーダーは、当初は、事故時の証拠を記録する目的で導入されたが、その記録映像を使った予防安全対策への応用へと範囲を広げてきている。さらに、最近では、記録データの解析技術が向上することを背景にして、安全装置の効果評価・効果予測への応用あるいは既存の映像データベース等を応用した新しい応用の仕方が試みられるようになっている。

本稿では、上記の自動車用に開発されているドライブレコーダーを概観し、最近の新しい応用事例を紹介する。

## 2 自動車用ドライブレコーダー

いくつかの観点からドライブレコーダーを分類することが可能である。例えば、西本<sup>3)</sup>により分類されているものは、新車搭載であるか後付搭載型であるかの観点からであり、この文献は、ドライブレコーダーの開発経緯から諸外国の実情等が分かり易くまとめられている。

ここでは、ドライブレコーダーの応用方法に焦点を絞った形での分類を紹介する。応用面から、自動車用ドライブレコーダーを分類したものを、図 1 に示す。同図が示すように、大きく分けると、事故原因の調査（事故後の処理）、事故予防（安全教育、環境・車両対策）および被害者救済（救急救命）の三つになる。

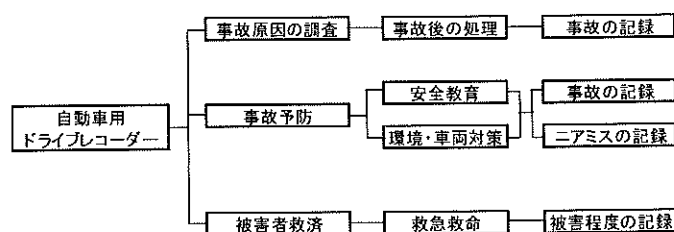


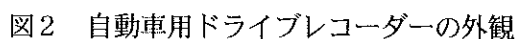
図 1 自動車用ドライブレコーダーの種類

事故原因の調査への応用を意図して開発されたものは、事故時の記録を主眼としており、この開発経緯等は、大慈彌<sup>4)</sup>に詳しく述べられている。また、

されているものの一つに、運転者の安全教育への応用が上げられる。これは、記録された事故およびニアミス時の映像を用いて、運転者へ直接安全運転指導を行うものであるが、事故は他人事であるとの傍観者の立場とは異なり、身近な知り合い（本人）の遭遇した事例を扱っているために、その効果が期待されている。

実際にドライブレコーダーを搭載し、その映像を用いて安全指導を行うと、搭載前と比較して、50%以上低減した例の報告がなされている<sup>7)</sup>。

なお、上述の国土交通省の報告書<sup>7)</sup>では、上記の記録映像およびデータを用いてタクシー運転者に対する安全指導のマニュアルが記載されている。



## 5 ドライブレコーダーの新しい活用

上述の交通政策審議会の報告書（１）において指摘されているように、今後の事故件数の低減には、追突事故対策が不可欠である。追突事故の予防に関しては、より詳細な事故要因を把握する必要がある。ドライブレコーダーにより記録された追突事故およびニアミス事例の詳細な解析が可能であれば、従来からの事故データから知ることができなかった貴重な知見が得られる可能性がある。

北島ら<sup>8)</sup>は追突事故(ニアミス)時のデータを用いて、より詳細な状況分析の手法を開発している。その解析では、記録映像から先行車との車間距離を推定し、自車の車速と車間距離から先行車の車速を推定している。次に自車と先行車の車速と車間距離より、先行車が急制動を行っても、物理的に回避可能であるか否か、更にどのくらいの余裕を持って停止可能かが把握できる衝突余裕度を導入している。

すなわち、図3に示すように、自車のスピードにより決まる制動距離と先行車までの距離の関係から、自車の制動距離の何倍の余裕距離を保っているかを示す指標を導入している。

ドライブレコーダーのデータ活用の中で、最も期待

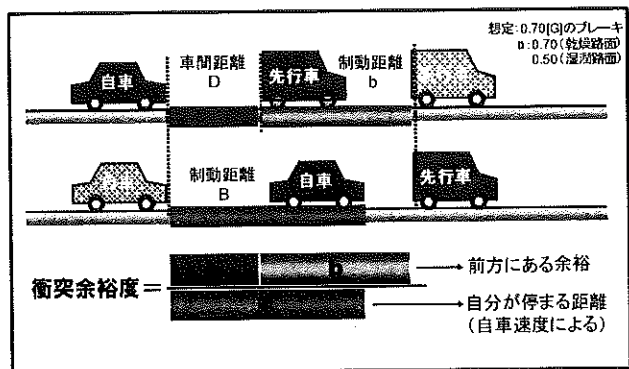


図3 衝突余裕度の概念図

ここで導入した衝突余裕度の時間的な推移を、映像等と併せて見ることにより、追突事故（ニアミス）の発生経緯がより詳細に理解される。図4にその例を示す。これは、加速する先行車に追従していた状況で、先行車が急減速をしたケースであるが、自車のブレーキが遅れ、ニアミスを起こした事例である。これは、先行車が加速し、それに追従している際に、先行車がブレーキを作動させているが、後続車は、車間距離を保った状態であるために、衝突の危険度が高まっているとの認識がなかった状態であると解釈されている。

衝突余裕度が1を下回ると、物理的に危険な状態に陥っていると判断されるが、この手法を使えば、どのような経緯で危険な状態に至ったかが把握できる。

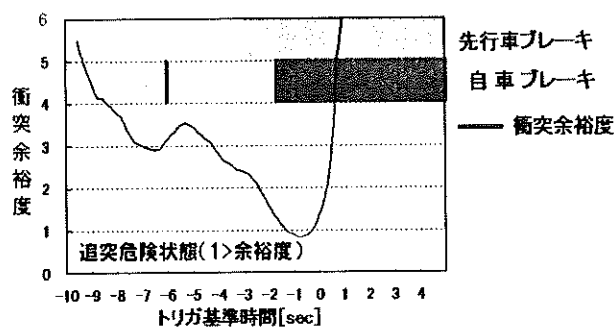


図4 追突（ニアミス）時の衝突余裕度の推移

## 5.2 予防安全装置の効果予測

更に北島ら<sup>9)</sup>は、ドライブレコーダーの記録データを用いたシミュレーション手法を開発している。彼らは、このシミュレーションを、たら・ればシミュレーションと名付け、実際のデータの中に、予防安全装置が導入されたら、どのような効果が期待されるかが推

定できる可能性を示している。

図5に示す例は、車速約45km/hで走行中に、殆ど制動することなく、先行車に追突したケースのシミュレーションを基礎にしている。この予測では、もし自動ブレーキが作動していたならば、この事故はどのようなになったであろうかということを見積もっている。

このシミュレーションによれば、衝突0.5秒前から0.6Gのブレーキが自動的に作動したら、衝突速度は約12.5km/h低減すると予測している。

このように、実際の事故時の記録データを基にして、さまざまな予防安全装置の効果予測が可能となることが期待される。

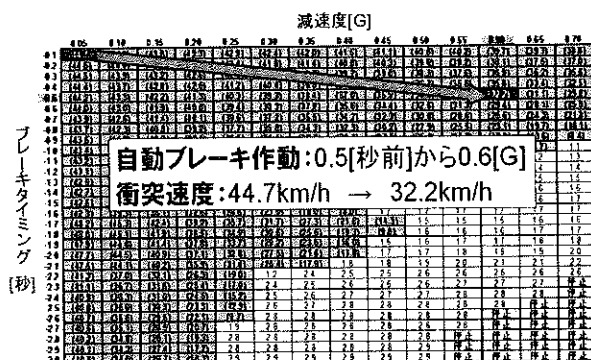


図5 たら・ればシミュレーションによる効果予測（自動ブレーキ）

## 5.3 既存データとの融合

久保ら<sup>10)</sup>は、ドライブレコーダーの記録データと既存の航空（衛星）映像およびインターネットで公開されている社会的なデータを融合することにより、事故多発地点が持つ社会的な背景要因の推定が可能であり、より進んだ安全対策が可能であると述べている。この手法を、テレフィールド研究と名付けており、今後上空からのより詳細な映像および社会環境的なデータの入手が可能になった場合には、有望な手法となることが期待される。

その具体的な例を図6および図7で紹介する。

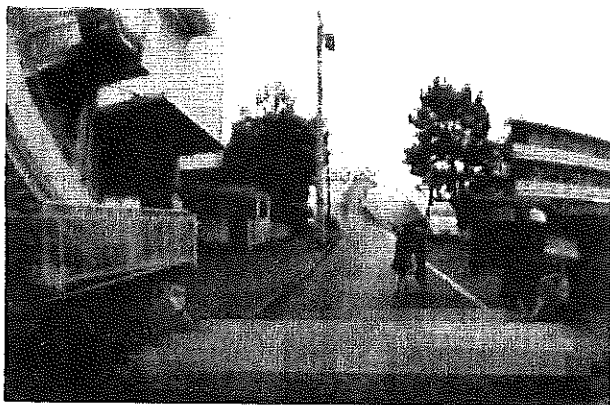


図6 登校中の高校生とのニアミス

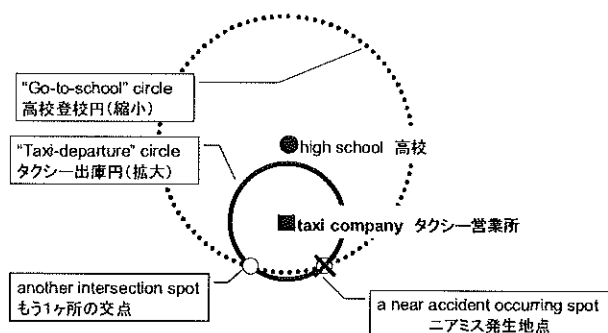


図7 登校円（高校生）と出庫円（タクシー）との交差

図6は朝の登校時間帯に高校生との間にニアミスが発生した状況をドライブレコーダーが記録したものである。久保ら<sup>10)</sup>は、この記録データと、衛星写真およびインターネットで公開されている情報を総合することにより、この現象は偶発的なものではなく、多発する事故・ニアミスの一端を記録しているのではないかと述べている。すなわち、このニアミスが発生した時間帯は、遅刻を気にして急ぐあまり、危険な運転を行っている高校生に、出庫間際のタクシーが遭遇している可能性が高いとしている。その概念を図7に示す。この図では、高校生の登校円（急げば遅刻しない円）とタクシーが出庫して到達する円が作図されている。この二つの円が交差する地点で、ニアミスおよび事故が多発する可能性があり、また交差する角度によりニアミス・事故のタイプも予測できると述べている。

## 6 おわりに

当初、自動車用のドライブレコーダーは、事故が発

生した際の事後処理を主眼に装着が進められてきた。しかし、最近では記録映像を積極的に用いることにより、事故防止に活用できるようになってきた。その延長線上に、事故要因の詳細な検討がなされようとしている。さらに進んで、安全装備に対する効果評価の可能性、あるいは他の情報と組み合わせることにより、従来までには予測できなかった事象も予測が可能になりつつある状況である。

今後も、さらなる技術革新が進み、ドライブレコーダーの活用範囲が大きく開けることが期待される。

## 参考文献

- 1) 国土交通省,交通事故のない社会を目指した今後の車両安全対策のあり方について、交通政策審議会陸上交通分科会自動車交通部会(2005)
- 2) 大慈彌雅弘,ドライブレコーダ開発と搭載実績および効果、自動車研究 第27巻(2005)
- 3) 西本哲也,ドライブレコーダ研究の現状と将来,自動車研究第27巻(2005)
- 4) 大慈彌拓也,交通事故の抑止と効果的処理,自動車技術会学術講演会前刷り集,No54-05(2005)
- 5) 西本哲也,他,被害者救済のための救急救命型ドライブレコーダーの開発,自動車研究 第26巻,(2004)
- 6) 永井正夫,他,ドライブレコーダ活用によるヒヤリハット研究,自動車研究,第27巻(2005)
- 7) 国土交通省自動車交通局,平成17年度映像記録型ドライブレコーダーの搭載効果に関する調査報告書,(2006)
- 8) 北島創,他,映像記録型ドライブレコーダによる追突事故発生メカニズムの解析,自動車技術会学術講演会,(2006)
- 9) 北島創,他,ドライブレコーダデータに基づく追突危険状態の再現とドライバ減速行動の検証,自動車研究,29巻(2007)
- 10) 久保登,他,発生地点の周辺環境を考慮したドライブレコーダ自転車ニアミス事象分析,自動車研究,29巻(2007)

## ユニバーサルデザイン度を考える Examining a degree of Universal Design

山岡俊樹

和歌山大学システム工学部

YAMAOKA Toshiki

Faculty of Systems Design, Wakayama University

### 1 はじめに

日本人間工学会編, ユニバーサルデザイン実践ガイドライン, 共立出版(2003)にて紹介されたユニバーサル(UD)マトリックスをベースにUDの出来具合を示すユニバーサルデザイン度を考案したので紹介する。

### 2 基本的考え方

#### 2.1 UD マトリックス

UDマトリックス<sup>1)</sup>は, 列頭にタスク, 行頭に多様なユーザを配置し, UD 上の問題点を抽出する方法である。

想定している多様なユーザは以下の通りである。

①特別な配慮を必要としないユーザ

<感覚機能>

②視覚に頼れないユーザ ③視力に配慮すべきユーザ

④聴覚に頼れないユーザ ⑤聴力に配慮すべきユーザ

<運動機能, 体格>

⑥車椅子使用者

⑦手が使えないユーザ

⑧動作に配慮すべきユーザ ⑨筋力の弱いユーザ

⑩発話に配慮すべきユーザ ⑪左利きユーザ

⑫小さい/大きいユーザ

<認知機能>

⑬初心者/熟練者

⑭理解が苦手なユーザ

⑮日本語/外国語の読めないユーザ

UD マトリックスでは, 多様なユーザが各タスクを実行する際の問題点を, ユーザとタスクの交差するセルに記述する方法を採っている。

#### 2.2 ユニバーサルデザイン(UD)度

一方, UD 度ではそのセルにユーザがそのタスクをどの程度完遂できるか記入する方法を採っている。評

価基準は, タスクに対して対象ユーザの 70%以上(Aグループ)が対応可能の場合に○, 対象ユーザの 30-70%(Bグループ)が対応可能の場合に△, 対象ユーザの 30%以下(Cグループ)が対応可能に×と定義する。

計算の手順は以下の通りである。

①ユーザが操作する基本シーンあるいは全シーンを考え, 必要と思われるユーザグループを決める。

②各タスクに対する各ユーザグループの操作の可否をある基準(表1参照)に従って調べる。但し, 操作や作業の連続性を遮るタスク(あるいはタスクの中にオブジェクトがある場合)がある場合は, それ以降のタスクは実現不可能なので全て×とする。

③操作ができるセルの数を全セルの数(タスク数×ユーザ数)で割り, 100をかけて%で表示する。

④各行における全セル数に対する○(操作できるユーザ)の比率を計算し, 各タスクのUD達成度を計算する。

⑤各列における全セル数に対する○(操作できるタスク)の比率を計算し, 各ユーザのUD達成度を計算する。

### 3 UD 度の使い方

UD 度は絶対的な数値ではなく, あくまでもある視点での見方であり, 他の製品やシステムと比較し現状の改善点を探るのが目的である。同一商品を時系列にその改善項目を把握したり, ある数値以上に達しないと製品化を見送る等の対応も可能である。さらに同業他社製品との比較も可能である。但し, ジャンルの異なる製品間の比較は, 頻度の高い基本



タスクに絞り、同一の多様ユーザで比較するなど、条件を厳密にする必要がある。

問題点を抽出した後は、①調整、②冗長度、③仕様、機能が見える、④フィードバック、⑤エラーに対して寛容、⑥情報の入手、⑦情報の理解・判断、⑧操作、⑨情報や操作の連続性の確保の観点<sup>3)</sup>を参照してデザインを行うこともできる。

## 参考文献

- 1) 日本人間工学会編,ユニバーサルデザイン実践ガイドライン, pp.1-10,共立出版 (2003)
- 2) 山岡俊樹, 吉岡英俊, 森亮太: ユニバーサルデザイン度に関する一考察, 感性工学研究論文集, Vol.6, No.3, pp.36-42,(2006)
- 3) 山岡俊樹:ヒューマンデザインテクノロジー入門, pp.110-117, 森北出版 (2003)

表1 ユーザグループの定義とUD 評価基準<sup>2)</sup>

| 多様なユーザ[6]             |    | 定義、他[6]                           | 基準(一部にユーザ側、システム側の条件を含む)                                                                                     |                                                                                                             |                                                                                          |
|-----------------------|----|-----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
|                       |    |                                   | A グループ                                                                                                      | B グループ                                                                                                      | C グループ                                                                                   |
| (a)特別な配慮を必要としないユーザ    |    |                                   |                                                                                                             |                                                                                                             |                                                                                          |
| (b)視覚に頼れないユーザ         |    | 全盲の人、強度の弱視者                       | ほとんど見えない(35%)                                                                                               | ①かすかに見える<br>②50cm から見てランドルト環の切れ目の 15mm が見える(34%)                                                            | ①何とか見える<br>②50cm から見てランドルト環の切れ目の 3.2mm が見える(31%)                                         |
| (c)視力に配慮すべきユーザ        | C1 | 視力の弱い人                            |                                                                                                             |                                                                                                             |                                                                                          |
|                       | C2 | 老眼                                |                                                                                                             | 明朝系文字天地 7mm 以上(視距離 50cm)                                                                                    | 明朝系文字天地 4. 2mm 以上(視距離 50cm)                                                              |
|                       | C3 | 色の区別に困難を感じる人                      | 色に依存しないで、形状、白黒のパターンなどで対応してあれば○とする。そうでない場合は×とする。                                                             |                                                                                                             |                                                                                          |
| (d)聴覚に頼れないユーザ         |    | 聴覚障害の人、騒音環境下にいる人                  | 耳元に接しないと大声を理解できない(48%)<br>耳元に接しないと話し声を理解できない(21%)                                                           |                                                                                                             | 40cm 以上の距離で発生された会話を理解できない(31%)                                                           |
| (e)聴力に配慮すべきユーザ        |    | 聴力の低下した人、高齢者                      |                                                                                                             |                                                                                                             |                                                                                          |
| (f)車椅子使用者             |    | 自走できる人                            | 高さや位置がとって 70%以上のユーザに最適                                                                                      | 高さや位置が 30-70%のユーザのみ最適                                                                                       | 高さや位置が 30%以下のユーザしか使えない                                                                   |
| (g)手が使えないユーザ          |    | 上肢(の一部)が欠損した人、マヒのある人、手がふさがった人、負傷者 | ①上肢：回転つまみ、スライドなど操作は不可能、あるいは困難(両上肢の機能が全廃、他)<br>②下肢：歩行不可(両下肢の機能が全廃、他) ③体幹：座っていることができない、あるいは困難、立ち上がることが困難(40%) | ①上肢：障害以外の手ので使えるので、押しボタン、回転つまみ、スライドなど操作可能(一上肢のすべての指を欠く、他)<br>②下肢：歩行が困難(一下肢の機能が全廃、他)<br>③体幹：機能障害による歩行が困難(42%) | ①上肢：押しボタン、回転つまみ、スライドなど操作可能(一上肢の親指を欠く、他)<br>②下肢：歩行やや困難(一下肢の足関節の全廃、他)<br>③体幹：体幹の著しい障害(18%) |
| (h)動作に配慮すべきユーザ        |    | 動作制限のある人、細かい作業が困難な人、妊婦、負傷者        |                                                                                                             |                                                                                                             |                                                                                          |
| (i)筋力の弱いユーザ           |    | 子供、女性、高齢者                         |                                                                                                             |                                                                                                             |                                                                                          |
| (j)発話に配慮すべきユーザ        |    | 発声の障害のある人                         |                                                                                                             |                                                                                                             |                                                                                          |
| (k)左利きユーザ             |    | 左手利き、左足利き                         | 左利き対応となっている                                                                                                 | なんとか使える                                                                                                     | 左利き対応となっていない                                                                             |
| (l)小さいあるいは大きいユーザ      |    | 寸法の大きい人、寸法の小さい人、子供                | 小さい人：身長 140cm 以下の人、大きい人：180cm 以上の人                                                                          |                                                                                                             |                                                                                          |
| (m)初心者あるいは熟練者         |    | 初心者、熟練者                           | 初心者の 70%が理解できる                                                                                              | 初心者の 70-30%が理解                                                                                              | 30%以下しか理解できない                                                                            |
| (n)理解が苦手なユーザ          |    | 知的障害の人、子供                         | 介護が必要で、ごく簡単なことならば理解できる。あるいは、日常生活が自分で一通りできるが、継続的な指導を要する。                                                     | 自話ができないが、与えられた役割をかなり果たすことができるようになる                                                                          | 指導／訓練により、社会的／職業的適応が可能である                                                                 |
| (o)日本語あるいは外国語の読めないユーザ |    | 子供、外国人、他                          | 英語、日本語、数字の表記がある場合                                                                                           | 日本語に加えてふりがなやイラストによる説明がある場合                                                                                  | 日本語のみ、イラストのみ、英語のみの表記の場合                                                                  |
| (p)その他                |    | 周囲にいる人、他                          |                                                                                                             |                                                                                                             |                                                                                          |

# 松下電器におけるユニバーサルデザインの取組みと課題・展望

Universal Design Promotion introduction of Matsushita & subject and view

■松岡政治 (松下電器産業株式会社)

Masaharu Matsuoka (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.)

## 1. はじめに

近年、技術の進歩に伴い各種エレクトロニクス製品の高性能化や高機能化が進んできている。例えば、テレビではデジタル化が進み各種インタラクティブ機能やデジタルスチルカメラなどで撮影した静止画データを表示させるなどの新たな機能が付加されてきたが、同時に操作の複雑さが増してきている状況にある。

本稿では、1980 年代後半から現在に至るまでの当社のユニバーサルデザインの取組み、「人にやさしいものづくりの活動」を振り返って、人間工学や生活研究の取組み事例を紹介し、今後のユビキタス時代に向けての課題ならびに期待や展望について述べる。

## 2. 推進の経緯と研究内容

### 2.1 全社活動の背景と経緯

当社の取組み強化は、お客様の生活意識・実態の変化や商品使用後の不満要望調査に端を発している。言わば、生活(者)研究が原点であり、バブル経済前後に商品の多機能化に対するお客様の意識変化が顕著に現れたのを契機にお客様第一の見直し徹底を進めた。

取組み経過の概略は、次のとおり。

1987 年～生活研究、商品の不満・満足度調査  
(商品の使いにくさが不満の No. 1 へ)  
1989 年～高齢者生活研究、使いやすさ研究  
1990 年～フレンドリー推進(Fプロ)全社展開  
1993 年～商品の使いやすさ基準・標準化活動  
1994 年～バリアフリー重点推進(Proj 発足)  
1996 年～業界標準化活動(同業他社と交流会)  
1999 年～ISO13407 研究会発足・欧州実態調査  
1999 年～ユニバーサルデザイン方針策定発信  
2001 年～ユーザビリティ推進体制発足(欧米)  
2001 年～アクセシビリティ法対応日米WG  
2003 年～ユニバーサルデザイン全社体制強化  
2005 年～マーケティング・E&UD 社外発信

### 2.2 人間研究、生活研究活動の背景と経緯

当社では、人間工学・人間研究より生活(者)研究の取組みが先行していた。人間工学専門組織がなかったのも要因の一つであろう。

「人にやさしいものづくり」を進める中で、高齢者や障害者にも理に適ったやさしい企画やデザインをするためには、まずその考え方、具体的な要素や基準・スペック・評価方法やツールなどが求められるようになってきた。そこで、使いやすさの理論構築をめざし、人間工学に基づく調査研究に着手した。

具体的には、使いやすさ原則、加齢に伴う衰えなど大学人間工学部門への委託や共同研究、高齢者・障害者の特徴や使用実態把握などは、福祉団体・協会との共同研究、また国や専門研究機関の先端情報交流などを含め、生活研究と人間研究の両面から調査研究を始めた。主な調査研究は、次の通り。

- ①商品別使いにくさと使いやすさ要素研究
- ②操作用語の意味のわかりやすさ調査
- ③タイマー予約操作研究・メニュー操作  
・ビデオ、エアコン、炊飯器など
- ④リモコンの使いやすさ研究
- ⑤高齢者生活研究と加齢に伴う衰え  
・視認性(文字の大きさとコントラスト)  
・白内障の見え方(背景色と白黒文字他)  
・聴覚特性(報知音の聞きとりやすさ他)  
・高齢者の姿勢・動作研究
- ⑥視覚障害者生活研究(色弱・弱視含む)
- ⑦点字・凸記号など触知・触覚性研究
- ⑧音声UI・操作誘導
- ⑨商品の接続実態や GUI 操作 など

## 3. 人間生活工学研究活動と成果

産学官や団体・協会との連携調査・研究活動は、「人にやさしいものづくり」の具現化や実践面において基本的な考え方、プロセス、設計指針、基準・標準化、評価手法やツール開発などに活用・応用され極めて大きな成果を生み出した。現在のユニバーサルデザイン(UD)方針や 6 基本要素、規定・基準など全

社推進やものづくりに大いに役立っている。

また、商品固有のUD機能実現技術開発により、斜めドラム洗濯乾燥機、お掃除ロボット搭載エアコン、デジタルスチルカメラ(ルミックス)、ピエラリモコンなど特徴ある商品が生まれてきた。

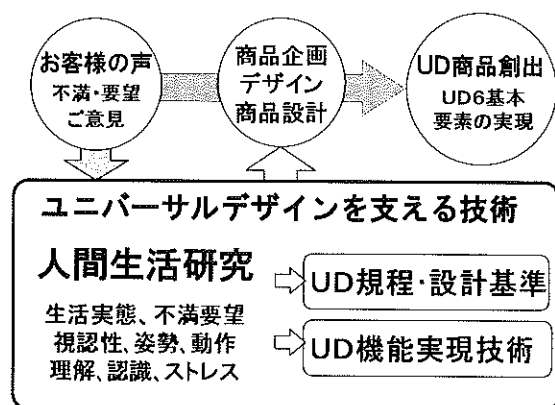


図1 人間生活研究とUD技術開発

### 3.1 規定・基準・標準化による商品化反映

「同意同一表示」の原則による操作表現の統一や視認性の向上、「同意同一音」による報知音吹鳴パターンの統一など商品共通の見やすさ、わかりやすさ要素・作法などの社内統一が図れ、ユーザーの使いやすさが向上した。

#### 標準化による社内での展開（規格）

1. 製品操作方法と操作・状態表示(電源ランプ)
2. 表示用語(ことばのわかりやすさ)
3. 製品操作性仕様(ボタン配列、操作手順)
4. 視認性基準(表示文字・コントラスト)
5. 点字・凸記号の表示・触知(視覚障害者)
6. 報知音設計(機器のお知らせ音)
7. 高齢者配慮設計(衰えへの配慮)
8. 取り扱い説明書(マニュアル)設計
9. UD/ユーザビリティ商品設計開発基準

図2 使いやすさ社内基準（設計遵守）

### 3.2 設計・評価手法・ツールやデータの活用

共同研究により開発された手法やデータ・ノウハウ・白内障擬似体験ゴーグルなどのツールは、人間中心設計プロセス(HCD)の商品開発源流の企画・設計・デザインやユーザビリティ評価に役立っている。またUDアセスメントや審査活動にも反映されている。

#### 標準化による社内での展開（マニュアル）

- |                   |                        |
|-------------------|------------------------|
| 1. 使いやすさマニュアル基本編  | 11. 操作ガイダンス            |
| 2. タイマー予約操作編&追補版  | 12. 高齢者の姿勢・動作          |
| 3. 報知音データ集        | 13. AVCC商品接続性          |
| 4. リモコン編&追補版      | 14. 携帯端末機              |
| 5. 白内障編           | 15. 米国アクセシビリティ対応       |
| 6. 生活背景音データ集      | 16. アクセシブルな情報に関する対応    |
| 7. 使いやすさデータ集      | 17. ユニバーサルデザインピクトグラム表示 |
| 8. 使いやすさ評価法       | 18. 音声による取扱書設計         |
| 9. 数行(2~3行)メニュー操作 | 19. AUI設計ガイドライン        |
| 10. 視覚障害者編        | 20. GUI設計ガイドライン        |

図3 設計マニュアル（参考資料・データ）

### 3.3 GUI設計ガイドラインによる商品化反映

情報提示の観点から考慮すべきポイントと考えられるいくつかの項目についてDVDレコーダの事例で紹介する。

- ① 画面内配置
- ② 配置の統一
- ③ 色使い
- ④ 表示用語
- ⑤ 操作に対するフィードバック
- ⑥ スクロール表示
- ⑦ 理解しやすい表現

GUIガイドラインや基準では商品横断的な観点から記載するため、抽象的な表現になりがちで各製品の設計のスペックや具体的数値を記載することが困難なものもあり、できるだけ多くの商品事例や実装事例を収集し記載することも大事である。

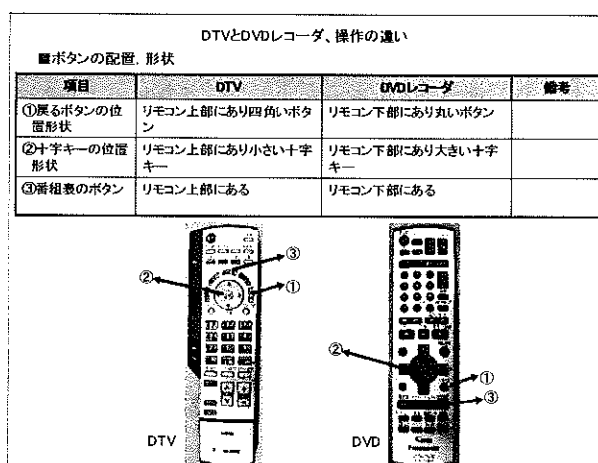


図4 DTVとDVDレコーダーの操作の違い

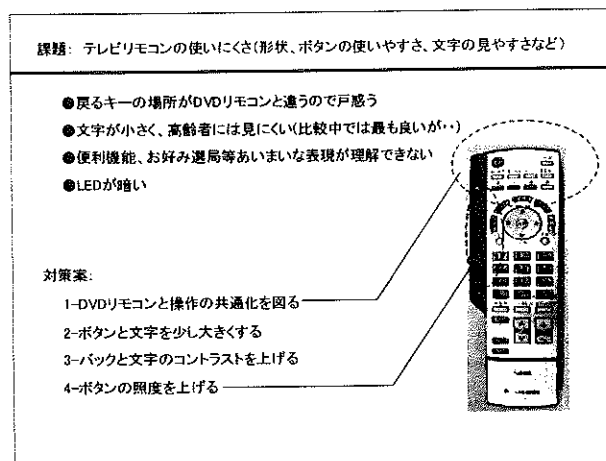


図5 デジタルTVのリモコン操作タスク評価

## 4. 今後の課題

ユビキタスネットワーク事業ビジョンを標榜する当社にとっては、より多くの人に使いやすいデジタル商品づくりや生活密着ITへの取り組み強化が大きな課題となっている。近年、お客様からの使い方相談は、この分野の商品が大きな割合を占めてきた。

- ①デジタル・IT商品の使いやすさ向上
- ②安心、ストレス、疲労などの定量化計測
- ③ユーザー層拡大に向けた人間生活研究
- ④人材開発と育成確保(スキルUPと評価)

さらに「より使いやすく」という考えを具現化していくことも重要である。たとえば、ストレスのない情報提示のあり方、ガイダンスやフィードバックのあり方を客観的に計測し分析する技術開発を行い、その成果を反映させガイドラインを充実していくこともその一つであろう。

## 5. 将来への期待と展望

機器接続で操作が複雑化することは冒頭に述べた通りであるが、今後はネットワークに機器を接続したユビキタス環境での利用が想定される。従来、想定しなかったような機器が相互に接続されることにより、これまでにないサービスや機能の提供を行えるようになる反面、例えば携帯電話と家電の文化の違いとも言えそうな基本的な操作設計思想の隔たりなど、予想される課題への対応が必要となるものと思われる。

真に人にやさしい商品・サービスを提供するためには、人間研究と生活研究の一体化研

究(人間生活研究)が望まれる。

ユビキタス環境ではオンラインマニュアルなどの脱取扱説明書の期待が高まる中、本稿で述べたGUI実装に関する基準が活用されるよう取り組んでいきたい。

将来構想に向け、一層の産学官連携による研究交流や事例交流、また一步進めて人材交流など可能となれば、国際競争力を高められるだろう。

## 6. 参考文献など

- 1) (社)人間生活工学研究センター：人間生活工学とユニバーサルデザイン特集(2000.Vol.1)
- 2) 同：人にやさしいものづくりのための人づくり特集(2004.07 Vol.15)
- 3) テクニカルコミュニティ協会：テクニカルコミュニケーションシンポジウム2007 発表集

## アンビエント情報社会とユニバーサルデザイン

### Universal Design in an Ambient Information Society

○森 博彦\*

\*武蔵工業大学 知識工学部

MORI Hirohiko\*

\*Faculty of Knowledge Engineering, Musashi Institute of Technology

#### 1 はじめに

「アンビエント」という言葉を聞きなれていない読者も多いであろう。プログレッシブ英和中辞典（小学館）によると、「周囲の、あたり一面にある」と訳され、「ambient music」という音楽ジャンル（音楽思想）などで使われている言葉である。「ambient music」は日本語では「環境音楽」と言われ、その音楽を視聴することが目的とするのではなく（強く意識されることなく）、なんとなく流れていて、耳には入ってくるものの耳障りではなく、安心できる静かな音楽のことを指す。本稿では、まずアンビエント情報社会とは何かを説明し、アンビエント情報社会環境下でのサービスのデザイン論について議論していく。

#### 2 アンビエント情報社会とは

「ambient music」の意味からも推察されるように、アンビエントとは「われわれの周りを取り巻いているが、あまり強く意識されない、環境や日常に溶け込んでいる」などの意味である。この論文のタイトルでは「アンビエント情報社会」という言葉はあまり一般的な用語ではなく、「ambient display」や「ambient intelligence」などが一般的である。ここでは、まずこの二つを取り上げて解説する。

##### 2.1 Ambient Display

「ambient display」とは、情報を人間に提示する際、明確にはっきりと認識できるように提示するのではなく、環境などに溶け込んで、強く意識は引かないものの、その情報をそれとなく知らせる情報提示方法のことをいう。

たとえば、水道から出てくる水（あるいはお湯）で

やけどしないように、警告を提示することを考えてみよう。従来の方法では、蛇口の横にディスプレイを取り付け、温度や警告をそこに表示するか、音声で出すなどの表示方法をとっていたであろう。しかし、1)は、蛇口に LED を取り付け、出ている水自身に、熱い場合には赤く、冷たい場合には青く色付して表示し、自然で直感的にお湯の温度をわかるようにしている。

このように、強く意識を引くことなく、なんとなく情報を伝えるアンビエントなディスプレイ方式は、今後、非常に重要となってくる。Mori, et. al. <sup>2)</sup>は ITS において、車内に提示が計画されているすべての情報をはっきりと認識しやすい形で提示した場合の危険性を示している。

この研究では、路面状況に合わせた情報を、音声や文字表示などを用いてそれぞれ認識しやすく提示し、前の車のブレーキランプ点灯に対する反応時間を測定している。この結果、音声表示では、あまりに認知負荷が高く、運転自身を続行することができず、また、文字での表示では、ブレーキランプに対する反応時間が遅くなることはもちろんのこと、警告を受け取っているはずの情報（「歩行者の飛び出し注意」など）に対する反応時間も、情報を知らされていない時の方が短い。

これまでの情報提示方法の研究では、注目するひとつあるいは少数の情報に対していかに認識し易く、あるいはきちんとはっきりと認識されているかに重点が置かれてきた。しかしこれらの研究を積み重ねると、ユーザが大量の情報を受け取り場合、すべての情報が強く提示されるため、ユーザは認知過負荷

を起こしてしまう。そのため、ユーザが置かれた状況を捉え、そこで提示される情報をいかにアンビエントに伝えるかが重要となってくる。

## 2.2 Ambient Intelligence

Ambient Intelligence を直訳して考えると、「身の回りを取り囲んだ知的システム」といえるであろう。いくつかのアンビエントインテリジェンスの会議において、「人間を技術の発展の中心に置いた、ユビキタスコンピュータと知的システムの融合技術である」と定義されている。すなわち、われわれが暮らしている生活空間において、われわれがおかれた状況、そこでの行動や意図を認識し、状況や意図、そしてその個人にあった情報やサービスを提供する環境をいう。

ここまで聞くと、「ユビキタス」とは何が違うのだろうかという疑問を持たれる読者も多いであろう。確かに、この考え方は、M. Weiser が提唱した「ユビキタスコンピュータ」のビジョンの延長線上にあり、そのことは上記定義でも明らかである。

「ユビキタス」は、3)で述べられているように、現在では様々な文脈で用いられており、本来の思想から離れ、単にコンピュータがどこにでも埋め込まれていたり、どこでネットワークにつながる環境としての意味合いが強くなっている。このような用語と混乱を避け、本来の情報サービスのあり方を強調するために生まれてきた言葉と筆者は考えている。

## 3 アンビエント情報社会とユニバーサルデザイン

アンビエント情報社会は、Ambient Intelligence サービスがあちこちで得られる社会であり、そのサービスを設計する者にとって重要なのは、サービスの提供が「さりげなく」行われるということである。

「さりげなく」は、アンビエントディスプレイのような情報の提示方法のみを意味するのではなく、サービスを取り出す方法も「さりげなく」できる必要がある。Weiser はこのことを「Calm Technology」と読んでおり、技術が人間にとって「物静か」であり、技術に振り回されることのない安心した生活を送れる環境を目指すべきと主張している。ここで誤解してはならな

いのは、Junk box interface と呼ばれるような、環境が勝手にユーザの状況を認識し、ユーザがどのようなサービスを受けるのかわからない環境に陥ってはならないことである。インタラクティブシステム設計の原理でよく言われるように、あくまでも対話の主導権はユーザにあり、ユーザがどのようなサービスを取り出すかは決定でき、ただその取り出す方法（インタラクション）は「透明」な環境を構築することが重要である。「インタラクションは透明に」、「サービスは明示的に」することが設計指針といえる。

「透明なインタラクションを設計する」ことは容易ではない。このための方法論を今の時点で完全に指摘することは困難であるが、「できるだけ実世界で用いられている行動様式」を極力用いることが一つの指針と筆者は考えている。

ここで、自然な行動様式は人によって異なることが問題となる。筆者は、人それぞれが異なる方法で取り出してよいと考えている。すなわち、情報システム、特にアンビエントインテリジェンス環境において、すべての人が同じ方法（インタラクション）でサービスを受ける必要はなく、どのような方法を採用したとしても同じサービスを受けられればよく、「インタラクション」は個別に、「受けるサービスがユニバーサルに」という考え方が重要であると考えている。

## 参考文献

- 1) Leonardo Bonanni, Ernesto Arroyo, Chia-Hsun Lee, Ted Selker: Exploring feedback and persuasive techniques at the sink, interactions, vol. 12 (4), pp.25-28 (2004).
- 2) H. Mori et. al.: A Human Interface to Save Drivers' Cognitive Loads in a Flood of Information in ITS, CD-ROM Proc. of the 8th World Congress on ITS(2001).
- 3) 森博彦:「ユビキタス3層モデルの人間中心設計」、日本人間工学会関東支部第36回大会講演集(2006).

## ユビキタス時代のユニバーサルデザイン方法論の提案

Proposal for Universal Design Methodology in the Ubiquitous Area

○上田義弘<sup>1</sup>、郷 健太郎<sup>2</sup>、高橋克実<sup>3</sup>、早川誠二<sup>4</sup>、柳田宏治<sup>5</sup>、山崎和彦<sup>6</sup>

(1富士通(株)、2山梨大学、3ホロンクリエイト、4(株)リコー、5倉敷芸術科学大学、6千葉工業大学)

Yoshihiro UEDA<sup>1</sup>, Kentaro GO<sup>2</sup>, Katsumi TAKAHASHI<sup>3</sup>, Seiji HAYAKAWA<sup>4</sup>,  
Koji YANAGIDA<sup>5</sup>, Kazuhiko YAMAZAKI<sup>6</sup>

(1 Fujitsu Limited, 2 University of Yamanashi, 3 Holon Create, 4 Ricoh Company, Ltd.,

5 Kurashiki University of Science and the Arts, 6 Chiba Institute of Technology)

### 1. はじめに

1988 年、Mark Weiser によってユビキタス・コンピューティングの概念が提唱され 20 年近くが経過した。この間、情報通信技術は急速に発達し、コンピュータ・ネットワークやセンサが有機的に機能しあうコンピューティング環境が実現しつつある。まさにユビキタス時代が始まろうとしている。しかし、現段階ではユビキタス社会において我々生活者はどのような恩恵を得ることができるのか、必ずしも明確ではない。今必要なことは、これからの人間生活や仕事のあり方を想定し、我々生活者が恩恵を感じられるようなユビキタスITシステムやプロダクトを創ることではないだろうか。

そこで、日本人間工学会アーゴデザイン部会では、ユビキタスデザイン方法論ワーキンググループを組織し、これからのユビキタス社会に向けたITシステムやプロダクトの開発に役立つ具体的なデザイン方法論の構築を目標に、情報社会人間工学部会と共に議論を行ってきた。本稿では、これらの議論の成果である「ユビキタス時代のユニバーサルデザイン方法論」の全体像を示し、その中心となる「構造化シナリオ法」について概観する。

### 2. ユビキタス時代のユニバーサルデザイン方法論

これまでの議論で、ユニバーサルデザイン方法論は大きく2つのアプローチを持つ方法論として纏まってきた。一つは問題解決型のアプローチであり、現状のITシステムやプロダクト等をHCD観点から評価し、そこで発見した問題点を改善するデザインアプローチである。もう一つはビジョン構築型のアプローチであり、生活者の本質的な欲求に向け、新たなサービスや支援機能を描き、その実現のためのITシステムやプロダクトをHCD観点から検討するデザインアプローチである。これら2つのデザインアプローチは、開発の対象や目的により、使い分けが必要である。人間生活における新たな価値や経験をデザインするような場合にはビジョン構築型のアプローチが有効である。

情報社会人間工学研究部会と共に様々な研究会を通して議論を重ねてきた結果、ユビキタス時代にはこのビジョン構築型アプローチから、サービスオリエンテッドにプロダクトやITシステムを開発する事が必要になると考えている。その検討プロセスは、情報社会人間工学部会の森部会長から、①サービスレイヤー、②インターアクションレイヤー、③システムレイヤーの3つのレイヤーに対してHCD観点から検討を行うことが提言された。具体的には「次世代、生活者が必要とする新たなサービスとは何か」を考えることから検討をスタートし、この新たなサービスを具現化するインターアクションを考え、それを実現するITシステムやプロダクトを開発する、というプロセスを取ることが重要と考えている。

企業では、このデザイン方法論を活用することで、①使いやすい商品やITシステムを開発できる。②次世代の競争の源泉となる顧客価値の発見ができる。加えて、③開発のスピードアップやコスト削減が図れ、④売れる商品やお客様に喜ばれるITシステムの開発が可能になる。さらに、⑤次世代に向けたビジネスのベクトルが明確になり企業経営にも寄与できる。

方法論ワーキンググループでは、これまでの検討に加え、プロセスの明確化や検討のための手法構築等を行う研究を推進している。最新の状況では、ITシステムやプロダクトの検討・開発を進めるために、以下の4つのレイヤーに対して、HCD観点から検討を進める方法論と、そのための手法として「構造化シナリオ法(Structured Scenarios Method)」を提唱している。

①サービスレイヤー：ユーザの本質的な欲求に合致するサービスを検討・開発する。

②アクティビティレイヤー：サービスの構成要素を明確にし、サービス全体のフローを検討・開発する。

③インターアクションレイヤー：サービスの構成、フローに従い、具体的なインターアクションを検討・開発する。

④システムレイヤー：インターアクションを実現するITシステムやプロダクトの仕様を検討・開発する。

| シナリオ名称                                   | 記述内容                     |                             |               |       | 重点評価軸           | 作成者<br>(チーム) |
|------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------------|-------|-----------------|--------------|
|                                          | ・ビジネス的な<br>目標<br>・ユーザの期待 | ・ユーザ像<br>・ユーザの活動<br>・ユーザの情動 | ・対象物<br>・構成要素 | ・技術要素 |                 |              |
| サービスシナリオ<br>ユーザにとっての価値<br>ビジネス的な価値       | ○                        | ×                           | ×             | ×     | ビジネス<br>HCD(満足) | ビジネス<br>HCD  |
| アクティビティシナリオ<br>全体フロー                     | △                        | ○                           | ×             | ×     | HCD(有効性)        | HCD          |
| インタラクションシナリオ<br>目標に向かう具体的な<br>活動内容、部分フロー | △                        | △                           | ○             | ×     | HCD(効率)         | HCD<br>技術者   |
| システム仕様書<br>システムによる実現                     | △                        | △                           | △             | ○     | 技術              | 技術者          |

表1. 構造化シナリオ法の階層(レイヤー)と記述内容

### 3. 構造化シナリオ法の概要

#### 3. 1. 構造化シナリオ法とは

サービスを起点に、ITシステムやプロダクトを考えるためには、「サービスシーン」と「やりとりのイメージ」を明確にすることが必要だと考え、手法としてシナリオを活用することにした。シナリオはデザインやHCD分野ではこれまでも用いられている。しかし、開発プロセス全般にわたって体系的にシナリオを用いる方法は少ない。構造化シナリオ法は、構造化された4つのレイヤー毎にシナリオを描くことで、「提供サービスの有効性」、「開発するシステムの効率性」、そして「ユーザの満足度」を高めるためのアイデアやユーザの新たな価値を創出し、最終的に本当に使えるITシステムやプロダクトの仕様を記述するための手法である。

#### 3. 2. ISOユーザビリティ定義との関係

一方、ISO9241-11 では、ユーザビリティ(Usability)を、「特定の利用状況において、特定のユーザによって、ある製品で指定された目標を達成するために用いられる際の、有効さ、効率、ユーザの満足度の度合い。」と定義している。ISOにおいてもユーザビリティの高いITシステムやプロダクトの開発のためには、「ある利用状況」において「有効さ」、「効率」、「満足度」を如何に高めるか、を求めており、その考え方は合致している。

#### 3. 3. シナリオ記述の特徴

この手法では4つの各レイヤーに対して、表1のような体系でシナリオを書き分けることが重要になる。

サービスレイヤーに対するシナリオは、ユーザが求める本質的な価値を明確にし、それを実現するサービスと、そのサービスによってもたらされるビジネス価値を総合的に記述する。

アクティビティレイヤーに対するシナリオは、サービスのユーザに対する有効性を明確にし、サービス全体のフローやユーザとの関係性を述べる。同時に、ユーザの

像もペルソナ手法により具体的に記述する。

インタラクションレイヤーに対するシナリオは、サービスのフローやユーザの特性を考え、ユーザとシステムとの間のインタラクションを具体的に記述する。

そして、このインタラクションシナリオから技術要件を考慮して、具体的なシステムの仕様を記述する。

#### 4. おわりに

これまで見てきたように、ビジョン構築型アプローチで最も重要なことは、ユビキタス技術からITシステムやプロダクトを考えるのではなく、これからの人間生活に必要なサービスの検討から、それを考えることである。そのためには構造化したシナリオを精緻に描くことが良い方法だと考えた。アーゴデザイン部会方法論ワーキンググループでは、それを「構造化シナリオ法」と名付け、使える手法にするべく研究を重ねている。

かつてミース・ファン・デルローエはデザインの規範を「Form Follows Function」という言葉で表現した。現在、企業で行われている商品開発は、市場調査やユーザ調査に基づいて行われている。いわば「Form Follows Marketing」がデザインの規範になっている。しかし、生活者の意識は「モノ」から「こと」へと変わり、「新たなエクスペリエンス」に価値を求めるようになってきた。これまでのモノづくりでは生活者の気持ちを捉えた開発が難しくなっている。21世紀、ユビキタス時代のデザイン規範は「Form Follows Service」になると考えている。

#### 参考文献

- 1) ISO9241-Part 11: Guidance on Usability (1998). (JIS Z 8521: 人間工学—視覚表示装置を用いるオフィス作業—使用性の手引き).
- 2) 山崎和彦ら, ユビキタスデザイン方法論, 日本人間工学会関東支部大会シンポジウム, 2007 年 11 月 23 日.



# B 会場 一般セッション

会場：1B-34 (B5 棟 1 階)

---

- 10:00 ～ 10:50 ユーザビリティⅠ  
座長：山岡 俊樹（和歌山大学）
- 11:00 ～ 11:50 ユーザビリティⅡ  
座長：岡田 明（大阪市立大学大学院）
- 14:20 ～ 15:10 行動・動作  
座長：渋谷 雄（京都工芸繊維大学大学院）
- 15:20 ～ 16:10 知覚・情報  
座長：中村 敏枝（大阪大学大学院）
- 16:20 ～ 16:53 デザイン・設計  
座長：森本 一成（京都工芸繊維大学大学院）

## メニュー選択操作のユーザビリティに関する認知工学的研究

### 一階層の有無とボタン数による世代間の比較—

### A study of cognitive engineering on usability in hierarchical menu

### —Influence of number of layer and button in hierarchical menus on the young and the aged users—

○田邊 友香<sup>1)</sup>, 岡田 明<sup>1)</sup>, 山下 久仁子<sup>2)</sup>

1) 大阪市立大学大学院生活科学研究科

2) 大阪市立大学研究支援課

Yuka Tanabe, Akira Okada, Kuniko Yamashita

1) Graduate school of Human Life Science, Osaka City University

2) Research Support Department, Osaka City University

#### 1. 背景と目的

近年の技術の進歩により家電製品をはじめ日常生活で使用する様々な製品が電子化、自動化するのに伴い、アナログ操作が少なくなりデジタル操作主体のものが大半を占めるようになった。しかしデジタル操作はボタンを押すという変化のない単一の操作になりがちなので記憶に結びつきにくい傾向にある。また、反力過少のものもあり、押しすぎや操作ミスにつながると推測できる。一方アナログ操作は、それを遂行するための手の運動の種類が豊富なので記憶に結びつきやすい傾向にある。このような傾向を受けて、今の流れのまま製品がデジタル操作一辺倒化しても良いのかが従来から議論されている。また、デジタル操作といっても、単一のボタンを押し続ける操作と複数のボタンを一回ずつ押す操作がある。そのどちらの操作方式が使いやすいのかも討議の対象である。さらに操作方式による認知的効果の違いを研究した例は過去にあまりない。そこで本研究は、どのような操作場面でのような操作方式を用いることが、認知的に使いやすいのかを検討することを目的とした。

#### 2. 調査

##### 2.1 目的

近年の家電製品の操作部における操作具デザインの現状を把握することを目的とした。

##### 2.2 方法

現在流通している様々な家電製品の操作部分を観察調査した。調査対象は電子レンジ、洗濯機、ヒーター、アイロンなどあらゆる種類の家電製品である。

#### 2.3 結果

操作が単純なものや旧式のものほとんどアナログ操作の製品である。図1の例のようにタイマーと温度調節の操作具をひねるだけで操作するなどの形式が一般的である。



図1 アナログ操作の例（オーブントースター）

操作が複雑になるに従いデジタル操作の製品（図2）が目立つが、新しい製品や操作が複雑な製品の中には、デジタル操作のみではなく、アナログ操作的な操作具がついているもの（図3）もある。

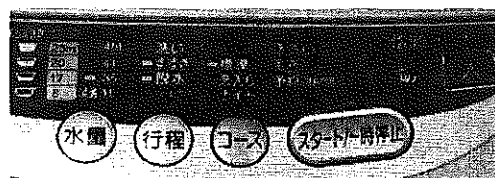


図2 デジタル操作の例（洗濯機）

こうしたデジタル+アナログ混在型が多くあり、デジタル操作の中でも単一のボタンを繰り返し押して操作するものと、複数のボタンを一回ずつ押して操作するものの両方が採用されている。

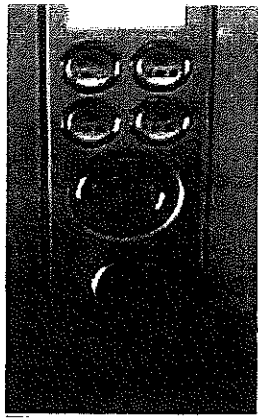


図3 デジタル操作+アナログ操作の例（電子レンジ）

### 3. 実験1

#### 3.1 目的

調査を受けて、単一ボタン複数操作のものと、複数ボタン単一操作のものの操作性を定量的に比較するための実験を試みた。

#### 3.2 方法

21～24歳の学生10名（男子1名、女子9名）と53～77歳の中高年者12名（男性5名、女性7名）が実験に参加した。Visual Basic 6.0を用いて洗濯機の操作画面のシュミレーションソフトを作成し、実験参加者にタスクを課した。ソフトは10個のタスクからなっており、単一のボタンを繰り返し押し操作するソフト1と、複数のボタンを一回ずつ押し操作するソフト2で構成されている。ソフト1とソフト2には同じ10個のタスクが入力されている。順序効果を相殺するためにソフト1から始める実験参加者とソフト2から始める実験参加者に分けた。タスクは例えば「洗い」・「すすぎ」・「脱水」を「標準コース」で行うなどの指示が表示され、その通りにメニューを選択していく。評価はそれぞれの操作時間と実験終了後の主観評価により行った。なお、操作にはテンキーを使用し、表示画面はノートパソコンで提示した。また検定はt検定を使い、有意水準を5%とした。

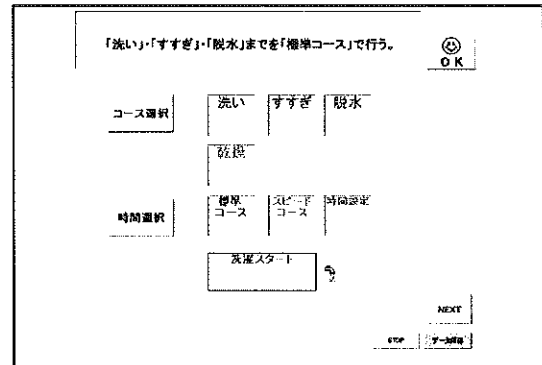


図4 表示画面一例（タスク1）

### 3.3 結果

#### ・中高年者と若年者の比較

ソフト1、ソフト2の両方で中高年者より若年者のほうが操作に要する時間が短いという結果になった（ソフト1； $p<0.001$ 、ソフト2； $p<0.01$ ）。

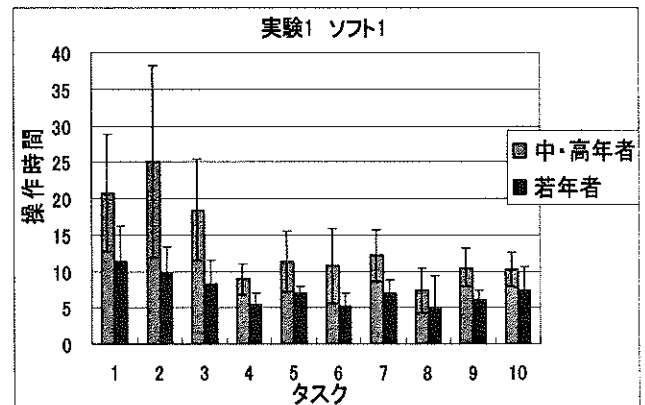


図5 ソフト1若年者と中高年者の比較

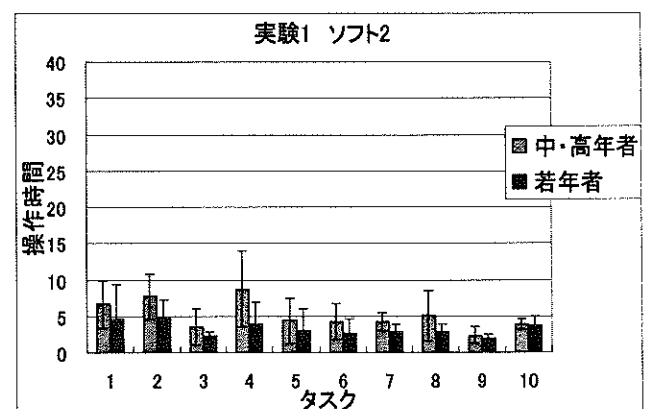


図6 ソフト2若年者と中高年者の比較

#### ・ソフト間の比較

中高年者、若年者ともにソフト2のほうが操作に要する時間が有意に短いという結果になった（ $p<$

0.001)。

#### ・主観評価

どちらが使いやすいかという質問には意見が分かれたが、ソフト2のほうが使いやすいという実験参加者のほうが多かった。

### 3. 4 考察

操作成績と主観評価から、一般的にソフト2のほうが使いやすいということが考えられる。ソフト1は一度間違えてしまうと6~7回押しなおさなければならないので、そのわずらわしさがこの結果に結びついたと思われる。また、ソフト2は操作具と画面の配列が同じことがわかりやすさにつながったのではないかと推測できる。

## 4. 実験2

### 4. 1 目的

実験1を受けて、階層のない単純なメニュー選択ではなく、階層を有するソフトで実験をおこなった。

実験1に続いて、どのような場面でどちらが使いやすいかを明らかにすること、そして習熟の早さを検討することを目的とした。

### 4. 2 方法

21~23歳の学生10名(男子学生1名、女子学生9名)60代~70代以上の中高年者10名(60歳代男性4名、60歳代女性2名、70歳代男性1名、70歳代女性3名)が実験に参加した。Visual Basic 6.0を用いて3つの階層がある電子レンジのメニュー選択操作のソフトを作成し、実験参加者にタスクを課した。ソフトは実験1と同様に単一のボタンを繰り返し押して操作するソフト1と複数のボタンを一回ずつ押して操作するソフト2で構成され、ひとつのソフトは10個のタスクからなる。ソフト1とソフト2には同じ10個のタスクが入力されている。順序効果を相殺するためにソフト1から始める実験参加者とソフト2から始める実験参加者に分けた。タスクは例えば「クッキング」→「ゆで野菜」→「根菜」などの指示が表示され、その通りにメニューを選択していく。評価は操作時間と、実験後に行った主観評価から行った。なお、実験1と同様に操作にはテンキーを、表示画面にはノートパソコンを使用した。またこの実験では、1つのソフトを7回

ずつ繰り返して操作してもらい、習熟の度合いを検討した。

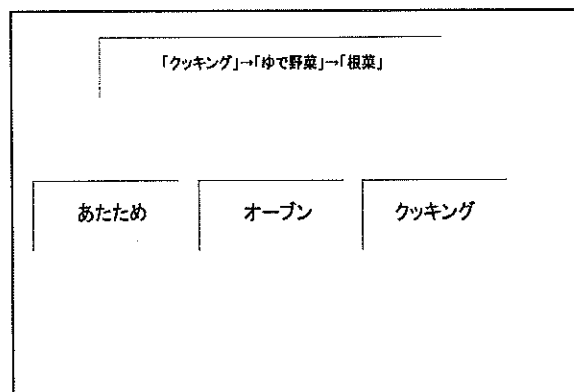


図7 表示画面一例

### 4. 3 結果

#### ・中高年者と若年者の比較

ソフト1、ソフト2の両方で中高年者より若年者のほうが操作に要する時間が有意に短いという結果が得られた(ソフト1:  $p < 0.01$ 、ソフト2:  $p < 0.001$ )。

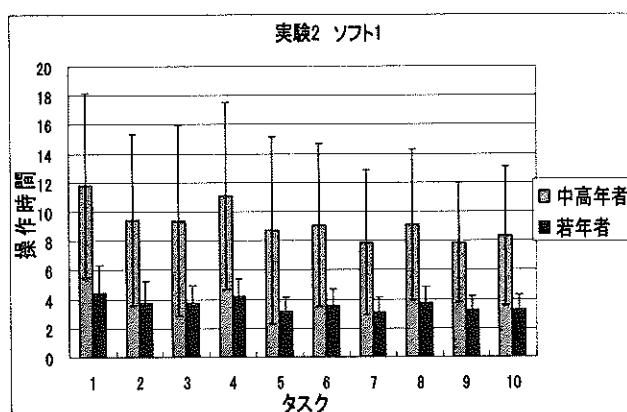


図8 ソフト1若年者と中高年者の比較

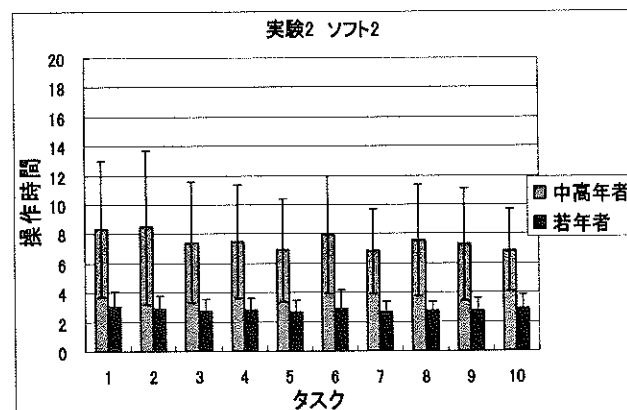


図9 ソフト2若年者と中高年者の比較

#### ・ソフト間の比較

中高年者、若年者ともに有意にソフト2のほうが操作に要する時間が短いという結果になった ( $p < 0.001$ )。

#### ・主観評価

ソフト1のほうが使いやすいと答えた被験者のほうが圧倒的多数であった。

#### 4. 4 習熟

習熟について、中高年者と若年者のグラフ (図 10、図 11) を比べると、中高年者のほうが習熟しているように見える。しかしこれは、中高年者はパソコンやコンピュータに対する苦手意識などの影響もあり一回目の試行に要する時間が長いのにに対して、若年者は最初から操作に要する時間が短いので短縮できる時間が少ない。このことにより、習熟の効果の世代差を単純に比較できないことが明らかになった。

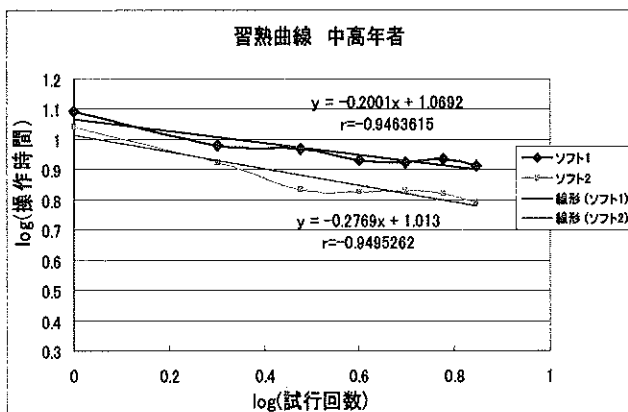


図 10 習熟曲線 (中高年者)

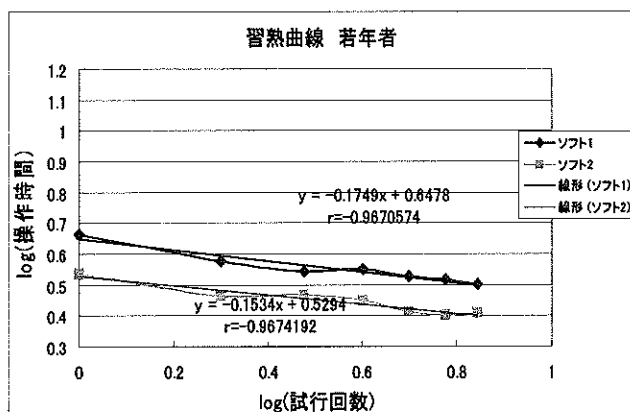


図 11 習熟曲線 (若年者)

#### 4. 5 考察

主観評価と操作成績がまったく逆の結果となった。つまり、主観評価ではソフト1のほうが使いやすいと

答えた人が多かったが、操作時間はソフト2のほうが有意に短かった。理由としては、ソフト2は一つのタスクにつき押すボタンが3つであるため多少迷っても操作時間が短くなることが挙げられる。また、実験2では階層をつけたが、一つの画面における選択肢が少ないことにより、ソフト1のほうが使いやすいと感じた実験参加者が多いのではないかと推測できる。

#### 5. 結論

選択肢が少ないメニュー選択の場合は、単一のボタンを複数回押して操作するものが使いやすいと感じる傾向がある。それに対してメニュー選択の選択肢が多い場合は、複数のボタンを押して操作するものが使いやすいと感じる傾向があるといえる。しかし実際は選択肢の数に関わらず、複数のボタンを押して操作する時間のほうが短かった。操作時間と主観評価は必ずしも一致するわけではないということがわかる。つまり、操作時間は必ずしも使いやすさにつながるものではない。

また、若年者と中高年者では圧倒的に若年者の操作時間が短いという結果になった。これはやはり若年者は操作の理解が早いが高齢者は一般的に慣れていないので操作の理解が遅く時間がかかってしまうことが理由であると考えられる。

今後は、デジタル操作とアナログ操作の比較も行う予定である。最終的に、メニュー選択操作のデザインガイドラインを提案したい。

## アフォーダンス概念に基づく直感的操作に関する研究

### A Study on Intuitive Operation based on Affordance Concept

○和泉佑子, 岡田明

大阪市立大学大学院 生活科学研究科

IZUMI Yuko, OKADA Akira

Graduate School of Human Life Science, Osaka City University

#### 1 はじめに

少子高齢化が進んでいく現代において、誰にでも使いやすい製品やサービスは今後ますます重要となっていくと考えられる。この「誰にでも使いやすい」というものを形作る要因のひとつに「直感的な操作が可能である」ということが挙げられる。

直感的な操作を可能とするためには、視覚的、認知的な要素がその一因として重要な考えとなってくるが、本研究ではその要素として、「環境が私たちに与えてくる情報＝アフォーダンス」に焦点をあて、直感的操作に関して検討していきたい。

ここでいう「アフォーダンス」とは、J・ギブソンが提唱した生態心理学で言う「アフォーダンス」本来の意味から少々異なる部分があるが、本研究では「アフォーダンス」という言葉を使って論を展開していきたいと思う。

#### 2 目的

私たちはものを操作する際、意識するしないに関わらず、その操作物から操作方法についての情報を取得している。直感的に操作をする場合、私たちはその情報を意識せずに受け取り、即時に判断を下し、操作を行っていると考えられる。

その際に私たちがものや製品から受け取るアフォーダンスとは、どのようなものなのであろうか。これまで経験によって学習し、蓄積されてきた事柄の影響はどれほど大きいのであろうか。

本研究ではそれらを明らかにすることを目的とし、生活体験の少ない子どもと成人とを比較することにより、アフォーダンスを探ることとする。

#### 3 実験 1：ドアの開閉に関するアフォーダンス

##### 3.1 実験の目的

ドアのハンドル、レバー、ノブ、持ち手や扉の形状によって、開閉時に人はどのような行動を取るのかを検討する。

##### 3.2 実験方法

実験参加者にドアの写真(図1)を提示し、このドアを開けるためにはどのような行動を取るかを問う。

##### 提示した写真 12 種

- ・片開き戸 4 種
- ・片引き戸 2 種
- ・両開き戸 2 種
- ・引き違い戸 2 種
- ・その他 (クローゼットドア、上げ下げ窓)

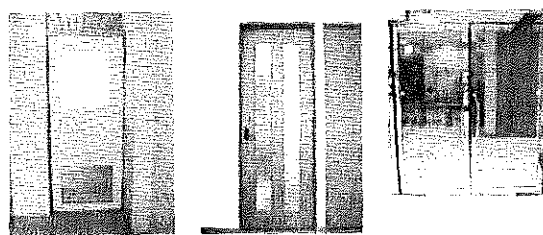


図1 提示した写真例

##### 3.3 実験参加者

生活体験の違いによる差異を検討するため、年齢の異なる参加者の協力を得た。

3～5 歳の未就学児童 22 名

小学校 1 年生の児童 58 名

成人 (平均年齢 24 歳±2)

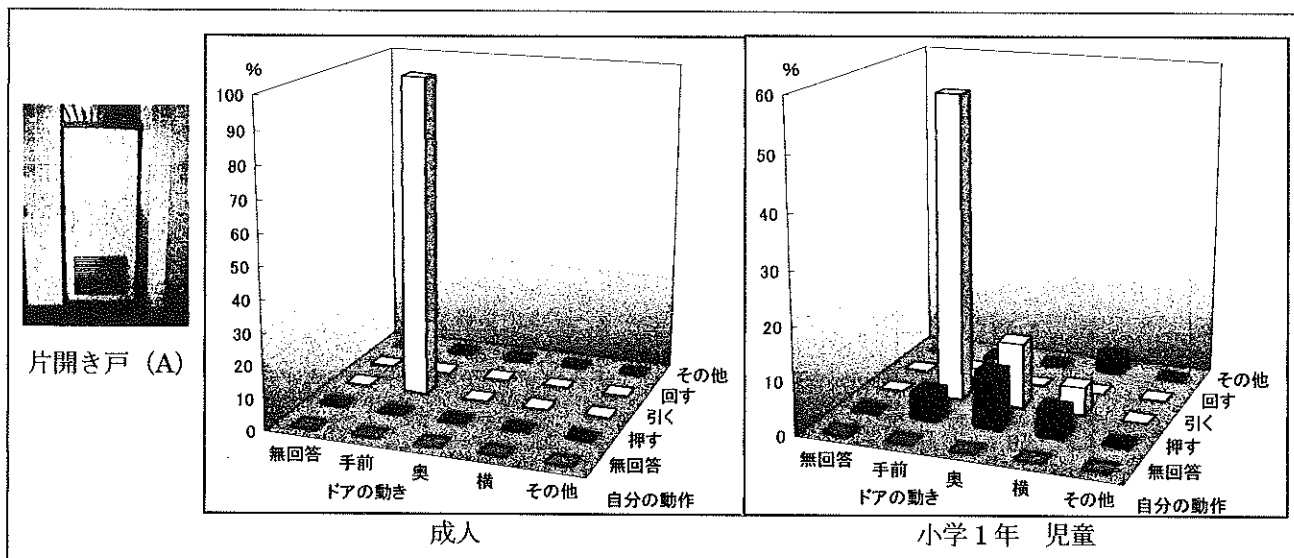


図2 実験1 片開き戸 (A) 提示結果

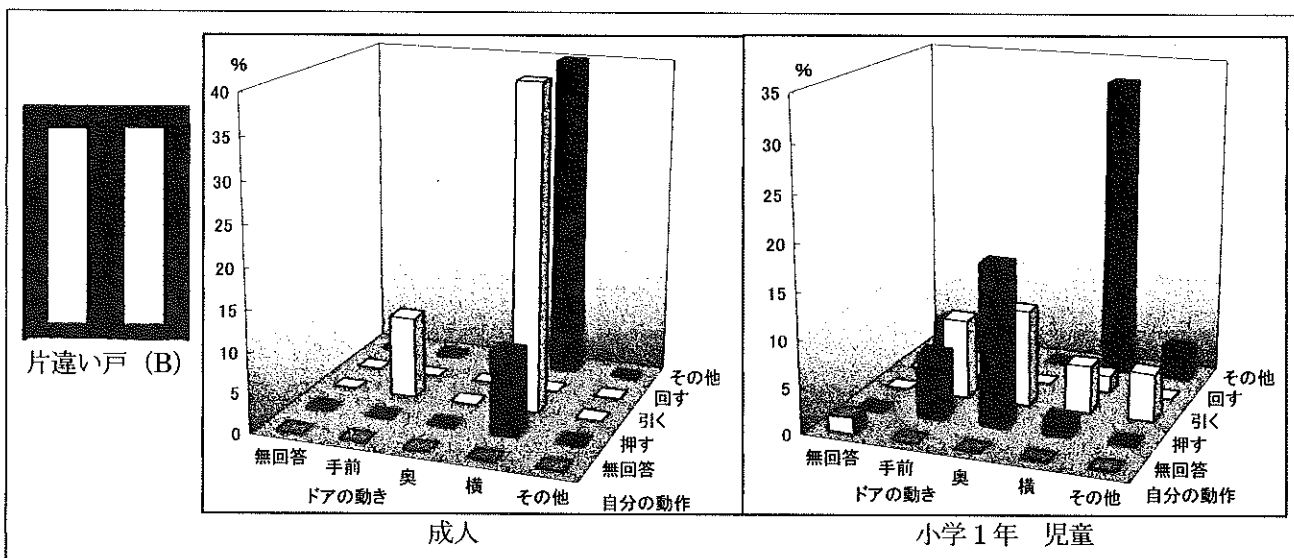


図3 実験1 片違い戸 (B) 提示結果

### 3.4 結果

図2、3のグラフは、片開き戸 (A) と片違い戸 (B) に対する成人、小学1年生の児童のそれぞれの反応である。

#### □片開き戸 (A) に対する判断

片開き戸 (A) に対して最も多かった回答は、「ハンドルを引く、ドアは手前に開く」というものであった。

その回答の割合は成人では100%、小学1年児童56.9%、未就学児童59%であった。成人は実験参加者全員がこのドアに対して「ハンドルを引く、ドアは手前に開く」と判断したのに対し、児童や幼児はその約4割が「ハンドルを押す」「ドアは奥に開く」と判断した。

く」と判断した。

#### □片違い戸 (B) に対する判断

また片違い戸 (B) に対して最も多かった回答は「自分は(4)その他の動作をする、ドアは横に動いて開く」であった。成人は100%が「横に開いて動く」と回答していたのに対し、小学1年児童では「横に開いて動く」と回答したのは約4割であり、6割の児童はそれ以外の動きをすると回答した。

### 3.5 考察

開閉の仕方について回答がばらついたドアは、そこから私たちが得る情報が個人によって異なるものであるといえる。片開き戸・両開き戸では、扉が

手前に開くか、奥に開くか判断が分かれる傾向がみられた。これは扉の形状だけではその動き方が手前か奥か判断を下せるだけのアフォーダンスがないということだと言える。

また、上に例示した片違い戸（B）では、ドアの動きについて児童の判断が大きく分かれる傾向が見られたが、持ち手等の形状が異なる片違い戸（A）では、77%の小学1年児童が「横に動いて開く」と回答した。このことから、扉やその持ち手の形状が、アフォーダンスの受け取り方に影響を与えるということが考えられる。

また、成人ではその回答が皆同じであった写真例に対して、児童では回答がばらつく傾向が見られた。これは、ドアが発しているアフォーダンスはその動きに対して適切であるが、児童ではアフォーダンスを受け取り、その情報を処理する能力に乏しいというように考えることができる。

また、成人と児童の結果に差が出た要因として、画像の読み取り能力の違いも考えられる。今回の実験では、画面に提示した写真について実験参加者に回答してもらう方法をとったため、画像の読み取り能力がまだ成長していないと予想される児童では、写真自体が何を示しているか理解できなかったということも考えられる。

## 4 実験2：水栓金具に関するアフォーダンス

### 4.1 実験の目的

水栓金具の操作に関して、水栓金具の形状のアフォーダンスと、人の生活体験量が人の行動にもたらす影響を検証する。

### 4.2 実験方法

実験1と同様に、実験参加者に写真（図4）を提示し、どのような行動をするかを問う。

### 4.3 実験参加者

3～5歳の末就学児童 22名

小学校1年生の児童 58名

成人（平均年齢24歳±2）

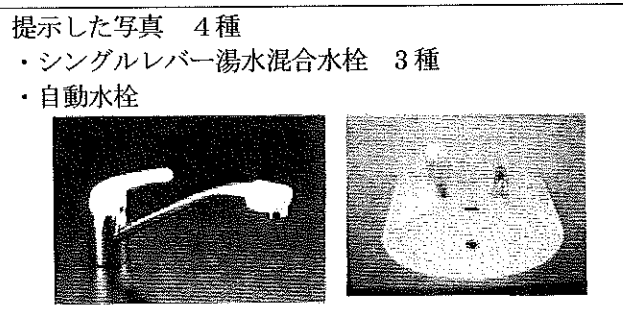


図4 提示した写真

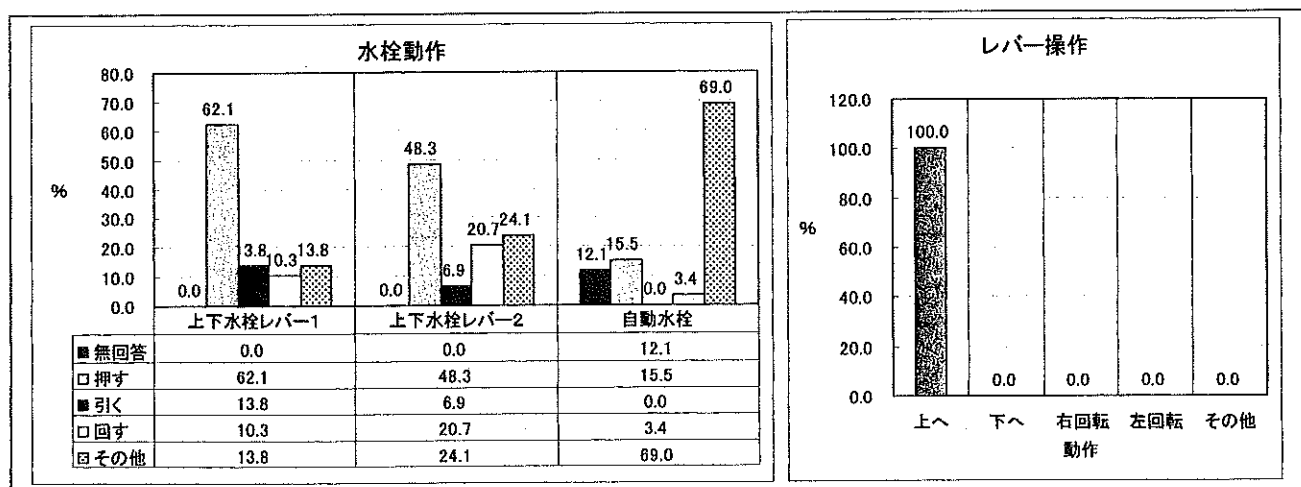


図5 実験2 結果（成人）



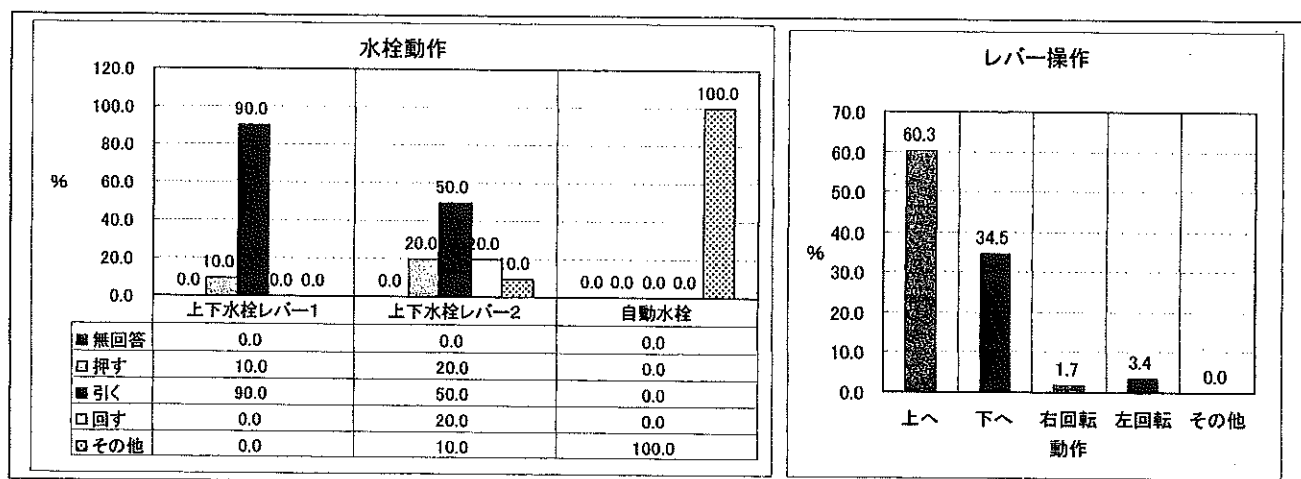


図6 実験2 結果 (小学1年 児童)

#### 4.4 実験結果

##### □上下水栓レバー（1）（2）に対する判断

成人はほぼ全ての被験者が「上方に引く」と回答したのに対し、小学1年の児童は、「下方へ押す」と回答した実験参加者が全体の約6割にものぼった。

##### □自動水栓に対する判断

成人の実験参加者は、全員が「その他」（触れない）と回答した。児童は全体の3割が金具に触れてなんらかの操作をすると回答した。

##### □レバー操作に対する判断

上下に動かして操作する水栓レバーに対する動作について詳しくみるため、回答の選択肢を「①上へ ②下へ ③右回転 ④左回転 ⑤その他」とした設問を設定した。

その設問に対する回答は、成人では全員が「①上へ」としたのに対し、児童は「①上へ」と「②下へ」と回答がそれぞれ分かれた。

#### 4.5 考察

上下水栓レバーに対する結果より、成人は「上方へ引く」という判断をする実験参加者が多かったが、児童の場合、「下方へ押す」という判断をする実験参加者の方が多かった。

この理由として、シングルレバー湯水混合水栓では、レバーを上方に引くと水が出る上吐水水栓金具が現在標準となっており、成人はそれを知識として理解しているということが考えられる。

これに対して児童の多くはそうした知識や経験を有しておらず、さらに多くのレバーを用いて操作する装置において、出力方向とレバーの動く方向とは同じ方向に対応しているものが多い。よって水の出力方向（上から下）とレバーの操作方向を一致させて判断したということが考えられる。

#### 5 まとめ

今回の2つの実験結果を総合すると、以下のことが言える。

○ドアの開閉操作、水栓に対する操作は、成人ではほぼ同じ反応が見られる。これは提示した機器例のアフォーダンスが適切であることと、これまでの経験や知識によって、機器からのアフォーダンスを正確に処理することができるためであると考えられる。

○幼い子どもの場合、その操作行動にはばらつきが多い。この原因としては、幼く生活体験の少ないことにより、子どもはアフォーダンスを受け取り、その情報を処理する能力に乏しいというように考えることができる。

次の段階としてはさらに多種にわたる機器操作について実験調査を行い、機器からのアフォーダンスを人はどのように認識・理解していくのか、直感的操作におけるアフォーダンスの持つ意味について検討していきたい。

## 歩行感に優れる靴下に関する研究

### Research on functional socks in walking feeling

○松井まり子<sup>\*</sup>、石丸園子<sup>\*</sup>、萩原啓<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>東洋紡績（株）総合研究所 <sup>\*\*</sup>立命館大学 情報理工学部

MATSUI Mariko<sup>\*</sup>, ISHIMARU Sonoko<sup>\*</sup>, HAGIWARA Hiroshi<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>TOYOBO CO.,LTD. <sup>\*\*</sup>Ritsumeikan University

#### 1. はじめに

近年、高齢者の転倒事故が増えている。加齢による筋力の低下は避けられず<sup>1-3)</sup>、足腰の筋力の衰えは日常生活での活動力や生活の充実度に影響を及ぼすと言われている<sup>4)</sup>。一方で、ウォーキング、トレッキングなどのスポーツ、レジャーを楽しみながら、足腰を鍛える高齢者も増えている。

高齢者が元気に活動し続けるためには、高齢者の歩行機能を支えるサポーター、靴、靴下の開発が重要であると考えられる。

そこで本報では、歩行感に優れる靴下の機能として、土踏まずの加圧、及び足裏を上げる力を付与することが必要であるとの仮説をたて、その機能を検証した。その結果、転倒防止のための歩行感に優れる靴下の設計に関わる基礎的知見を得ることができた。尚、本研究において歩行感に優れるとは、足が上がる感覚、足が軽くなる感覚が得られることと定義している。

#### 2. 方法

##### (1) 実験 1

足の引上げ感をより高めるため、幅 3.5cm の平ゴムを締め付け力の弱い靴下に縫付けた試料を試作した。平ゴムを土踏まずから足首前面で交差させ、脛脛下部に連続して縫いつけ、試作靴下（靴下 A）とした。締め付け部位と装着感との関係を把握するため、試作品と同様の幅 3.5cm の平ゴムを足の各部位に巻きつけた場合と靴下 A の装着感を比較検討した。締め付け部位の水準は、土踏まず、足首、脛脛、土踏まず+足首、足首+脛脛、土踏まず+足首+脛脛の 6 水準である。平ゴムの衣服圧は、靴下 A に合わせ、土踏まず及び足首は  $4 \pm 1 \text{ kPa}$ 、脛脛は  $6 \pm 1 \text{ kPa}$

とした。装着感は 20~40 歳代の 7 名の被験者により、SD 法によるアンケートで評価した。衣服圧はエアパック式圧力センサー（エイ・エム・アイ社製）を用いた。

##### (2) 実験 2

試作靴下（靴下 A）と市販靴下の性能を比較するため、平ゴムを縫付けた試作靴下（靴下 A）、市販のスポーツ系サポート靴下（靴下 B）、市販の一般ハイソックス（靴下 C）の着用感を 20~40 歳代の 5 名の被験者により、SD 法によるアンケートで評価した。衣服圧、伸長応力は、（株）七彩製剛体ダミー WD-20 を用いて測定した。衣服圧は実験 1 同様エアパック式圧力センサーを用いた。伸長応力は、靴下 A の場合は平ゴム単体、靴下 B、C は平ゴム縫付部位と同じ部位の生地伸長応力曲線より、伸長応力を読み取る方法を用いた。計測部位は、土踏まず、足背、足首前面の交差部、足首上部の外側、脛脛下部の 5 点である。靴下 A は縫付けた平ゴム、靴下 B、C は平ゴム同等部位生地に 1cm 間隔の印をつけ、（株）七彩製の剛体ダミー WD-20 に靴下を装着させ、着用時伸長率を求めた。

##### (3) 実験 3

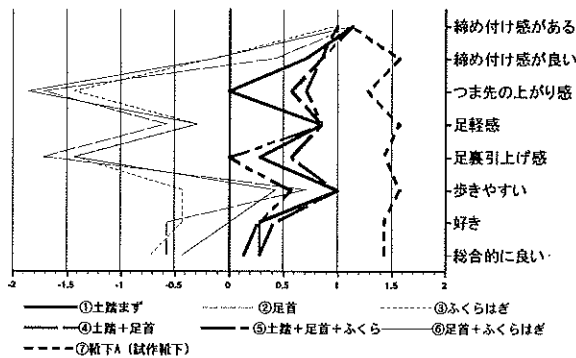
実験 2 と同じ試料を用い、モーションキャプチャー MAC3D（Motion Analysis 社製）による歩行実験を行った。被験者は 60~70 歳代（平均年齢 65 歳）の高齢者 13 名（男性 8 名、女性 5 名）で、歩行時に最も低い位置を移動する親指の軌跡を計測した。

#### 3. 結果

##### (1) 実験 1

図 1 に締め付け部位と装着感との関係を示す。土踏まずを締め付ける水準は、土踏まずを締め付けて

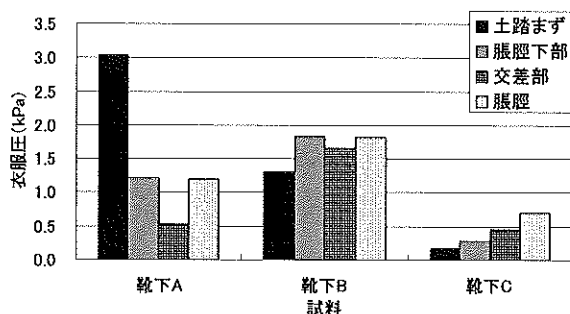
いない水準に対し、危険率 1%で有意に「つま先が上がる感じがする」「足が軽く感じる」「足裏に引上げ感がある」結果を得た。さらに、靴下 A は、土踏まずのみを締め付ける場合と比較し、危険率 5%で有意に「つま先が上がる感じがする」、「足裏に引上げ感がある」結果を得た。以上の結果より、土踏まずを締め付けることにより足軽・引上げの感覚が得られ、靴下 A では平ゴムの力により、更なる足軽・引上げ感が得られることが推測される。



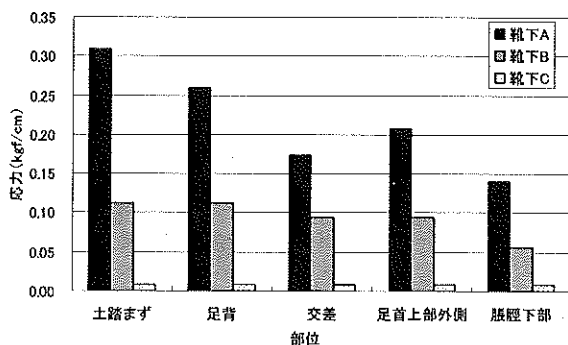
【図 1】締め付け部位と装着感の関係

## (2) 実験 2

靴下 A は、靴下 C に対し、危険率 1%で有意に足が上がる感覚が強い(「つま先が上がる感じがする」、「足裏に引上げ感がある」)結果を得た。靴下 A は、



【図 2】靴下衣服圧

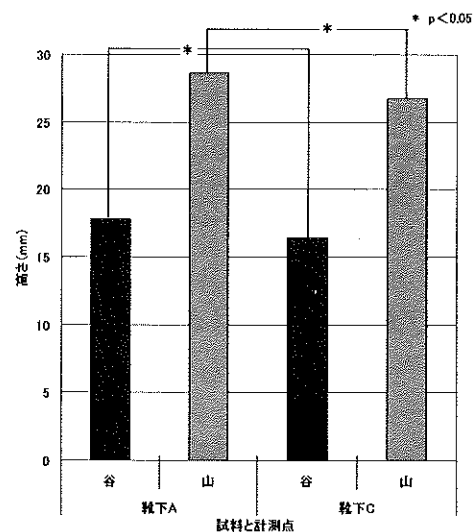


【図 3】靴下着用時伸長応力

土踏まずの圧力が非常に高くなるよう設計しており、その効果が表れていると推測される(図 2 参照)。さらに靴下 A は、着用時に平ゴムが伸長するよう縫い付けてあり、土踏まずから脛脛下部に向かって伸長応力が徐々に小さくなる特長を示している(図 3 参照)。この靴下 A の特長が「つま先が上がる感じがする」「足裏に引上げ感がある」感覚をより高めていると推測される。

## (3) 実験 3

靴下 C に対し、靴下 A は、歩行時の親指の移動軌跡が危険率 5%で有意に高い位置を示した(図 4)。



【図 4】高齢者歩行試験結果  
(歩行時親指軌跡)

## 4. 結論

足が上がる感覚、足が軽くなる感覚を有し、歩行感に優れる靴下の機能として、土踏まずの加圧、および足裏を引上げる力を付与することが必要であるという仮説を立て、検証した。両条件を満たした靴下は、足先が高い位置で軌跡を描くことが確認された。本結果は、転倒防止のための歩行感に優れる靴下の設計に関わる基礎的知見になると考えられる。

## 参考文献

- 1) Viitasalo, J. T., Era, P., Leskinen, A-L. et al: *Ergonomics*, 28, pp1563-1574 (1985)
- 2) Davies, C. T. M., Thomas, D. O.: *Acta Physiol. Scand. (suppl.)*, 711, pp219-226
- 3) Bembem, M. G., Massey, B. H.: *Med. Sci. Sports Exerc.*, 23, pp1302-1310 (1991)
- 4) 福永哲夫編: 筋の科学事典, pp217 (2002)

## 福祉用箸の利用特性に関する比較検討

## Comparative Operating Analysis of Chopsticks for Welfare

○澤島秀成\*, 中川博敬\*\*, 山岡俊樹\*\*\*

\*奈良県工業技術センター, \*\*有限会社ウインド, \*\*\*和歌山大学

SAWASHIMA Hidenari\*, NAKAGAWA Hiroyuki\*\*, YAMAOKA Toshiki\*\*\*

\*Nara Prefectural Institute of Industrial Technology, \*\*WIND Co. Ltd., \*\*\*Wakayama university

## 1 はじめに

病気や怪我、麻痺などで、手の動きが不自由な人が食事を行うための道具の一つに、福祉用の箸（以下、福祉用箸）がある。福祉用箸の利用は、福祉用のスプーンなどと違って、麺類・惣菜などが食べられる、刺身・天ぷらなどの和食にも心理的に抵抗がない、調理時における「きざみ」・「つぶし」処理が不要などのメリットがある。また、汁物をすくうことは出来ないが、少しの力があれば、挟む、乗せる、裂く、刺すなど、スプーンなどに比べて極めて多機能である。このことから、福祉用箸も様々な構造や形状のものが出されている。これまでに、普通の箸の持ち方やその操作に関する研究<sup>1),2),3)</sup>、スプーンを用いる際の動作研究<sup>4)</sup>等はなされてきたが、福祉用箸の利用特性に関する研究は、未だ見あたらない。そこで、本研究では、3種類の福祉用箸について、それぞれ2種類の持ち方による操作を行い、その操作を3次元動作解析することにより、その利用特性について考察する。

## 2 実験手法

## 2.1 実験に使用した箸

実験に使用した箸について図1に示す。福祉用箸の動作についてその特異性を検討するために、普通の箸（以下、普通箸）を比較対象とした。

## 2.2 3次元動作解析

各箸には、3次元動作解析用の直径 6mm の反射マーカーを装着し、箸の操作について2方向からビデオ撮影した結果を、3次元動作解析を行うことにより、その支点や、変位、角度等について調査した。

被験者については、普通箸については、図2に示す

ような一般的な持ち方（一般型）および箸を交差させる持ち方（交差型）の、特に箸操作に不自由がない2名とし、また、福祉用箸については、そのうち一般的な持ち方で操作する1名とした。

また、福祉用箸の持ち方については、図3に示すように、第1指と第2指、第3指で物をつまむような持ち方（指操作型）と、第1指を箸の上にかぶせて掌全体で操作するような持ち方（掌操作型）の2種類の持ち方について、その動作を比較検討した。

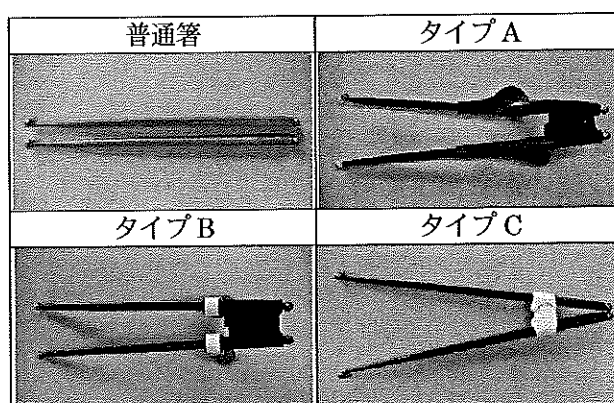


図1. 実験に使用した箸

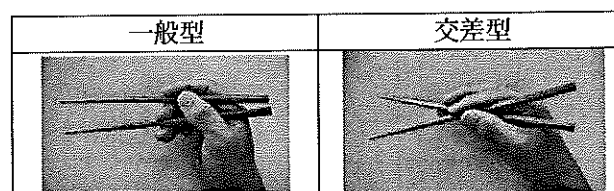


図2. 普通箸の持ち方

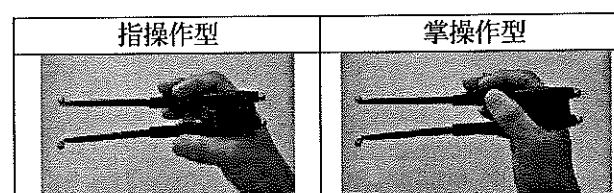


図3. 福祉箸の持ち方(タイプ A の場合)

### 3 実験結果および考察

2本の箸のうち、身体から近位にある箸を近位箸、他方を遠位箸とし、手で持つ側を根元、食べ物をつまむ側を先端として以下に実験結果を示す。

#### 3.1 普通箸

普通箸の一般型による操作の軌跡および根元－箸先の変位－根元が作る角度に関する運動データ（以下、同様）を図4に示す。

図4より、近位箸については、ほとんど変位は見られない一方、遠位箸については、第2近位指節間関節の近くを支点として、変位が大きいことが分かる。

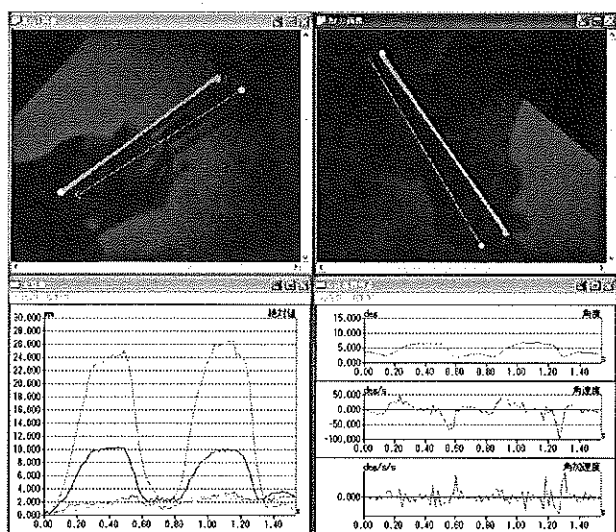


図4. 普通箸の一般型による動作解析結果

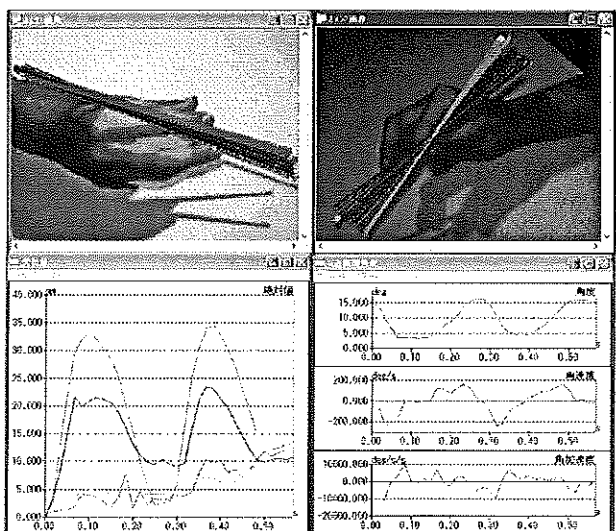


図5. 普通箸の交差型による動作解析結果

次に、普通箸を交差型により操作するユーザーの箸における運動データを図5に示す。交差型の場合、近位

箸および遠位箸の区別はできないが、上に位置する箸がほとんど動かないのに比べ、下の箸が大きく動く。また、支点の位置に関しては、掌あたりにあることが分かる。

これらのことから、一般型および交差型のいずれにおいても、一方の箸はあまり動かず、他方の箸の支点は箸本体の内部に存在することが分かる。

#### 3.2 福祉用の箸

福祉用箸（タイプA、タイプB、タイプC）の箸の軌跡および運動データについて、それぞれ指操作型および掌操作型の持ち方をして操作した運動データについて、図6から図11に示す。

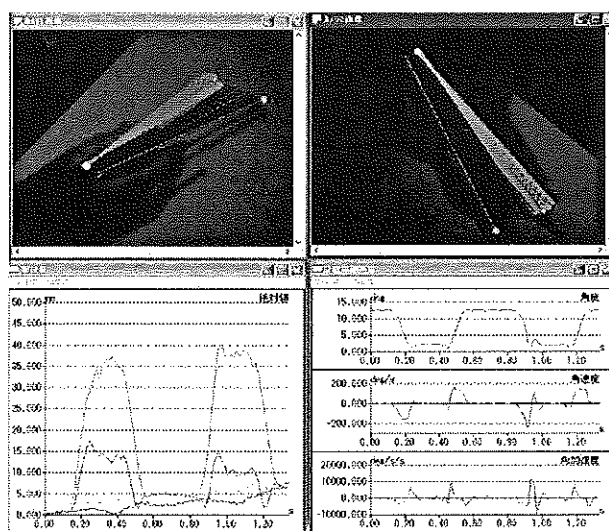


図6. タイプA、指操作型の動作解析結果

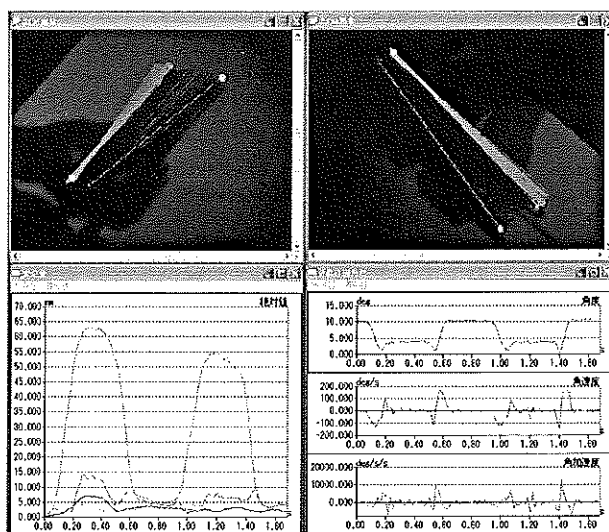


図7. タイプA、掌操作型の動作解析結果

タイプAの指操作型については、図6に示すように、遠位箸の変位が近位箸よりも若干大きくなっているが、近位箸および遠位箸のどちらの箸も、箸の根元を支点として動いていることが分かる。

また、掌操作型については、図7より、近位箸の変位が大きく減少し、変わって遠位箸の変位が大きくなる。また、遠位箸の支点については、指操作型よりも、若干前方に移動している。

これらの結果から、掌操作型で操作する場合は、普通箸の一般型の動きに近くなることが分かる。

次に、タイプBの指操作型については、図8に示すように、タイプAの指操作型と同様、遠位箸の変位が近位箸よりも若干大きくなっているが、近位箸および遠位箸のどちらの箸も、箸の根元を支点として動いていることが分かる。

また、掌操作型については、図9に示すように、近位箸および遠位箸の支点が箸上に移動し、また、動きについても、遠位箸の動きが比較的大きくなり、通常箸の一般型に似た動作をすることが分かった。

タイプBの箸は、一般に指の巧緻性が極めて低いユーザ向けの福祉用箸であり、力点が箸の下にくるような形状であることから、自然に掌の支援を含めた操作（掌操作型）が行われるが、この場合、普通箸の一般型と似た動作となることが分かる。

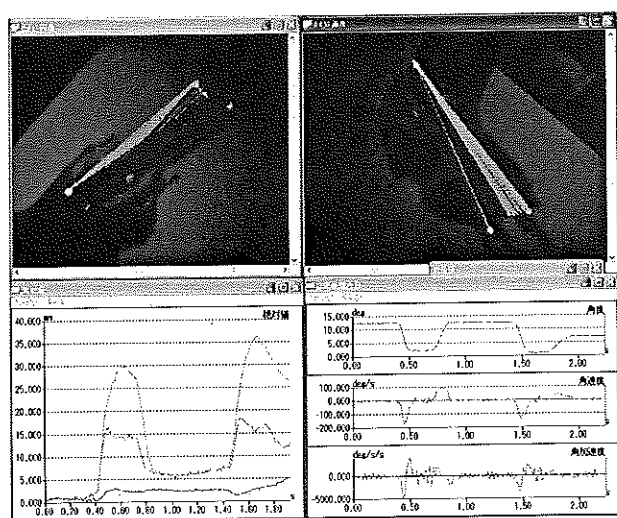


図8. タイプB, 指操作型の動作解析結果

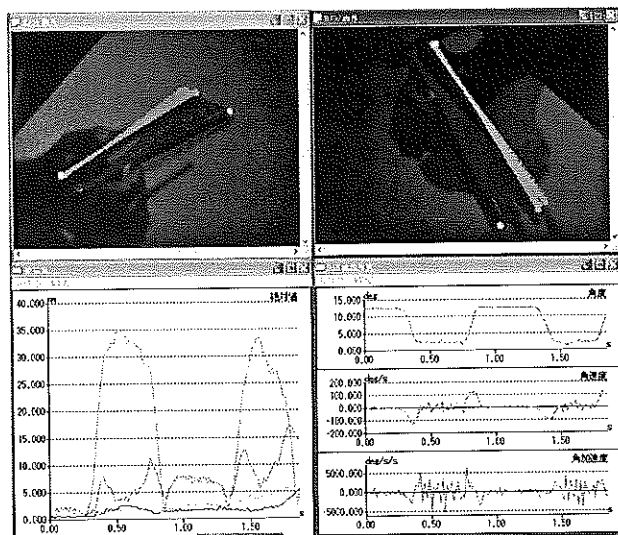


図9. タイプB, 掌操作型の動作解析結果

さらに、タイプCの指操作型については、図10に示すように、近位箸および遠位箸ともに支点は、それぞれの箸上に存在し、また、変位は遠位箸の方が近位箸よりも若干大きくなったが、どちらも同様に動いていることが分かる。

また、掌操作型については、図11より、近位箸の変位がほとんどなくなり、さらに、遠位箸の支点も箸の上にあることから、タイプAおよびタイプBと同様に、通常箸の一般型に酷似した動作をすることが分かった。

タイプCの箸は、近位箸および遠位箸をつないでいる部分をスライドして、根本と先端の間で調整できることから、ユーザの希望の場所に支点を調整することができる一方、箸の力点については、一般の箸と同様に指との接触面積が非常に小さく、第1指および第2、3指の特定の部分に負荷がかかることから、ある程度の把持力や巧緻性が不可欠となる。これらのことから、通常の箸操作がやや不便ではあるが、ある程度の把持力や巧緻性が確保されるユーザにおいては、掌操作型により、普通箸の一般型とほぼ同様の動作が可能になることが分かる。

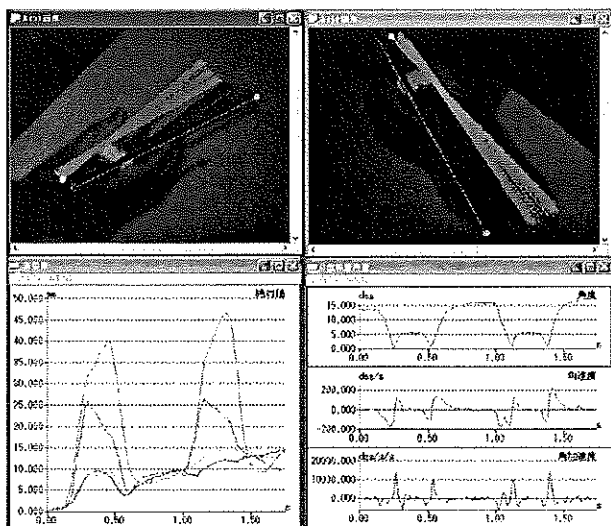


図10. タイプC、指操作型の動作解析結果

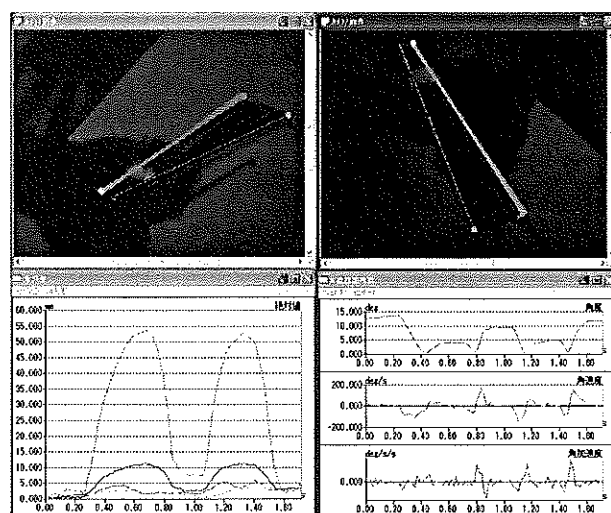


図11. タイプC、掌操作型の動作解析結果

#### 4 考察

3種類の福祉用箸について、それぞれ2種類の持ち方による操作を行い、その操作を3次元動作解析した結果以下のことが分かった。

まず、普通箸では、一般型および交差型のいずれにおいても、一方の箸はあまり動かず、他方の箸の支点は箸本体の内部に存在した。

また、福祉用箸の場合、指操作型で操作した場合、近位箸および遠位箸どちらも変位し、また、支点については、それぞれの箸の根元に位置する結果となった。これは第1指と第2、3指の操作では、それぞれの箸の動きを別々に制御し難いことが起因していると考えられる。しかし、この結果は、むしろ福祉用箸では、

普通の箸での操作では非常に高い把持力や巧緻性が必要となるピンセット型の操作が容易に行えると考えることが出来る。

一方、掌操作型では、近位箸の動きが掌で抑えられ、その結果、遠位箸のみの制御が可能となることから、普通の箸の操作に酷似した動作となることが分かった。

これらの結果から、福祉用箸は、指の巧緻性でその動作を制御するのではなく、その持ち方で動作の変更が可能になることが分かった。

今回の実験は、箸の単純な開閉操作のみを扱ったが、今後の課題としては、実際に物を挟む、乗せる、裂く、刺すなどの行動について、箸の持ち方や腕全体の動作を含めた動作データを取得し、その特性を調べていく必要がある。また、実際の利用者の障害の種類と操作方法についての関係分析も行っていく必要がある。

#### 参考文献

- 1) 大澤丈明:箸の持ち方とその学習効果に関する人間工学的研究, 千葉大学人間生活工学研究室論文概要 (2006)。
- 2) 辻田聡美: 箸の握み動作における左右手の違いに関する研究, 長崎シーボルト大学, vol.3(2), pp.27-34(2004)
- 3) 上田真由美, 他: 利き手での箸操作の上達～手と箸の接点数・位置関係・力の量の変化から～, 弘前大学医学部保健学科作業療法専攻卒業論文集, vol.2, pp.58-65(2006)
- 4) 松原麻子, 車谷洋, 村上恒二, 青山信一: 頸髄損傷者の2種のスプーンフォルダーを用いた食事動作での上肢運動の違い, 広島大学保健学ジャーナル, vol.3(2), pp.27-34(2004)

## ユーザビリティタスク分析の提案

## Proposal of Usability Task Analysis

○弘松知佳\*, 山岡俊樹\*

\*和歌山大学システム工学部

HIROMATSU Chika\*, YAMAOKA Toshiki\*

\* A department of Systems Engineering, Wakayama University,.

## 1. はじめに

複数の製品のユーザビリティを行う際、評価対象として製品のパーツを特定して行うことが多い。また、モニターに一通りタスクを行ってもらいコメントをもらう程度なので、タスクレベル（あるいは、サブタイトルレベル）での詳細な評価を行っているのか疑問である。本手法では、タスク分析を用いることで、パーツのユーザビリティ評価だけでなく、ユーザの認知や価値なども知ることができる。

## 2. 目的

本論分では、複数の製品のユーザビリティ評価を行う際に、タスク分析を用いることで、ユーザビリティ上の問題点だけでなく、ユーザの製品に関する考え方、価値観も探ることのできる方法を紹介する。また、この方法で、モニター数を増やせば、重回帰分析などの総計的处理も可能になるので、定量的にも把握することができる。

## 3. 方法

複数の製品に対し、その製品を使う上で、主要なシーンを設定する。そのシーンについて、考えられるタスクを書き出し、モニターに複数の製品を同時に評価してもらう。シーンは通常 6 シーン程度でも良いようである。評価については、各タスクに対して各製品 5 点満点中何点であるかを述べてもらい、その理由について、「良い点」「悪い点」のコメントを述べてもらう。各タスクの評価が終わった後、製品ごとの総合評価として、先ほどと同じように、5 点満点中何点であったか、またその理由を「良い点」「悪い点」について述べてもらう。用いたフォーマットは表 1 である。

表 1. ユーザビリティ評価タスク分析フォーマット

| シーン    |     | 製品(1) | 製品(2) | 製品(m) |
|--------|-----|-------|-------|-------|
| タスク(1) | 良い点 | ----- | ----- | ----- |
|        | 悪い点 | ----- | ----- | ----- |
|        | 点数  | ----- | ----- | ----- |
| タスク(2) | 良い点 | ----- | ----- | ----- |
|        | 悪い点 | ----- | ----- | ----- |
|        | 点数  | ----- | ----- | ----- |
| タスク(n) | 良い点 | ----- | ----- | ----- |
|        | 悪い点 | ----- | ----- | ----- |
|        | 点数  | ----- | ----- | ----- |
| 総合評価   | 良い点 | ----- | ----- | ----- |
|        | 悪い点 | ----- | ----- | ----- |
|        | 点数  | ----- | ----- | ----- |

各タスクで得た点数について、十分なモニター数があれば、重回帰分析を行い、製品ごとの総合評価に対する各タスクの重要度を算出する。

更に、各タスクの平均点は満足度となるので、Y 軸に重要度、X 軸に満足度として、各タスクを布置することができる。これにより製品毎のタスクの置かれている位置を見て、どのように評価されているのか分かる。

また、ブール代数<sup>1,2)</sup>を用いて、製品毎に各タスクで 3 点以上の評価を得たタスクを 1、そうでないタスクを 0 と置き換え、同様に、総合評価が 3 以上であれば 1、そうでなければ 0 に置き換える。一つの製品に対して総合評価が 1 であるモニターのデータをまとめ、ブール代数のクワインマクラフスキー法を使い縮約すると、どのタスクの組み合わせが高い評価に繋がったのかがわかり、どのタスクに重点を



おけば、高い評価を得ることができるのかがわかる。

各タスクについて述べてもらった「良い点」「悪い点」のコメントをユーザリクアイアメントに変換しなおし、グループ化を行う。さらにグループ化されたユーザリクアイアメントを構造化する。そうすることで、ユーザのその製品に対する価値観がわかる。リクアイアメントは、製品ごとに構造化するのか、タスクごとにするのかで、変化が見られる。モニターにコメント（良い点、悪い点）のウエイト（重要度）を聞き、リクアイアメントに変換し、構造化すれば、どのリクアイアメントが重要であるのかが一目でわかる。このような構造化されたリクアイアメントを作ること、新規なリクアイアメント項目を創出することもできる。

今回の実験では、4種類のステッパラー（図1～4）を用いた。モニターとなったのは、20歳～22歳の和歌山大学の学生男女16名である。

調査に用いたシーンは「紙を何セットか座った状態でとめる」タスクは、「持ち上げる」「保持する」「とめる」「芯を入れ替える」の4つである。

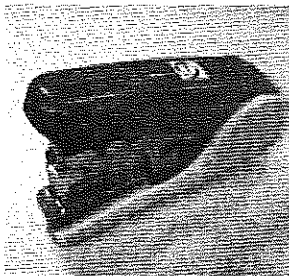


図1. 製品1

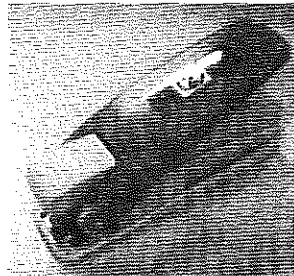


図2. 製品2

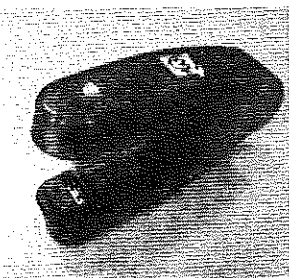


図3. 製品3

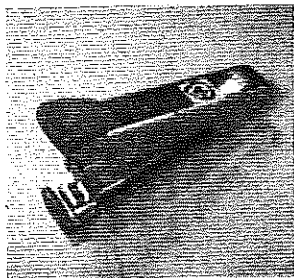


図4. 製品4

#### 4. 結果

各製品について、モニターに評価してもらった点数のデータを用いて、タスクごとに平均点を算出した。その結果が表2である。

表2. タスクごとの平均点

|     | 持ち上げる | 保持する | とめる | 芯を入れ替える | 総合評価 |
|-----|-------|------|-----|---------|------|
| 製品1 | 3.2   | 3.8  | 4.2 | 3.8     | 4.0  |
| 製品2 | 3.1   | 2.9  | 3.8 | 3.1     | 3.4  |
| 製品3 | 3.7   | 3.2  | 2.8 | 3.4     | 3.1  |
| 製品4 | 2.6   | 2.1  | 2.0 | 1.6     | 1.8  |

#### 4.1 重回帰分析

##### 4.1.1 重回帰分析結果

製品1、2では同様に「芯を入れ替える」のタスクがよい評価を得た場合に総合評価の高評価に繋がりが、製品3では「持ち上げる」のタスクがよい評価を得た場合に総合評価の高評価に繋がった。製品4では、「とめる」のタスクが総合評価を低くした要因であることがわかった。

#### 4.2 ブール代数を用いた組み合わせの抽出

ブール代数を用いて、どのタスクの組み合わせが高い評価に繋がったのかを調べた。各タスク、総合評価において、3点以上の評価を得たものを1、そうでないものを0と置き換えた。そして、総合評価が1であるモニターのデータを用い、ブール代数のクワインマクラフスキー法を使用し、それぞれの1と0の出現頻度が近い場合は、そのタスクの組み合わせを縮約した。頻度に差がある場合は、頻度の高いものを採用した。例えば、aBCの組み合わせが12個あり、ABCが1個ある場合、縮約は意味がないので、この場合aBCが採用されABCは削除される。この場合の比率は7:3程度の比率ならば縮約可能と考えている。製品4については、総合評価が低いものが多かったので、総合評価が0であるモニターのデータを用い、どの組み合わせが低い評価に繋がったのかを調べた。

##### 4.2.1 ブール代数使用結果

製品1では、「とめる」のタスクがよい評価を得た。製品2では、①「持ち上げる・保持する」、②「とめる・芯を入れ替える」のタスクの組み合わせがよい評価を得た。製品3では、①「持ち上げる・保持する・芯を入れ替える」、②「保持する・とめる・芯を入れ替える」、③「持ち上げる・芯を入れ替える」のタスクの組み合わせがよい評価を得た。製品4では、総合評価に高得点をつけたモニターが少なかったこ

とから、どの組み合わせが低い評価に繋がったのかを調べた。結果として、①「とめる・芯を入れ替える」、②「持ち上げる・保持する・芯を入れ替える」、③「持ち上げる・保持する・とめる」のタスクの組み合わせが低い評価となった。

#### 4.3 製品ごとにおけるリクアイアメントの構造化

各製品におけるコメントより、リクアイアメントを抽出し、構造化を行った。製品での構造化を図5～図8に示す。製品1では、「長時間の作業ができる」「フィット感」「安全性」「安心感」「負担の軽減」が、製品2では、「フィット感」「安全性」「利便性」「負担の軽減」「新規性」が、製品3では、「フィット感」「安心感」「安全性」「利便性」「負担の軽減」「高級感」が、製品4では、「安心感」「利便性」「負担の軽減」「安全性」が大きなリクアイアメントとして得られた。どの製品についても、似た項目が上位概念となり、下位概念に多少の違いが見られる結果となった。また、破線で囲った項目は、構造から考察し、新たに付け加えたものである。これが付加価値となる場合が多い。

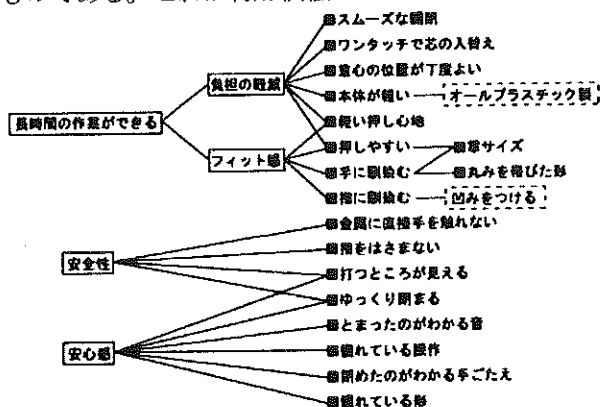


図5. 製品1のリクアイアメントの構造化

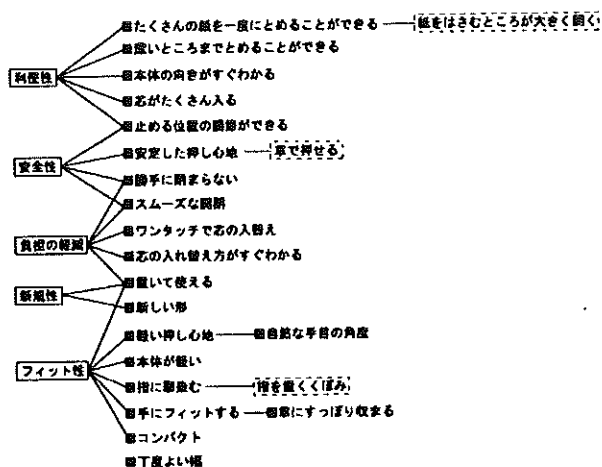


図6. 製品2のリクアイアメントの構造化

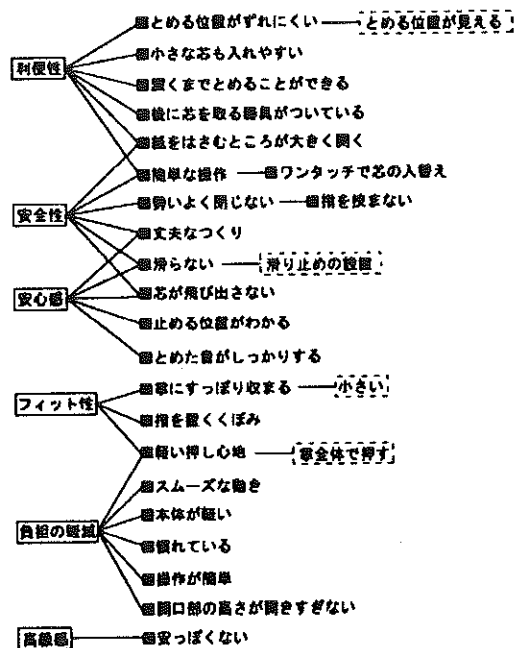


図7. 製品3のリクアイアメントの構造化

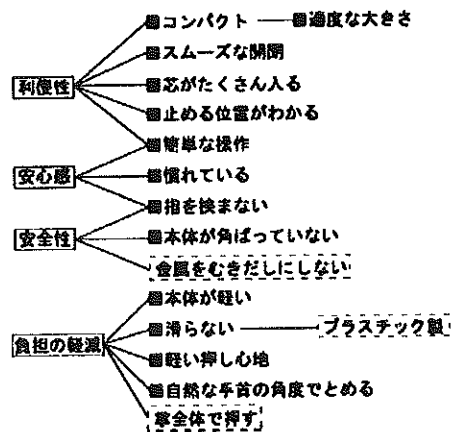


図8. 製品4のリクアイアメントの構造化

#### 4.4 タスクごとにおけるリクアイアメントの抽出

各タスクにおけるコメントより、リクアイアメントを抽出し、構造化を行った。タスクでの構造化の例を図9に示す。どのタスクについても、似た項目が上位概念となり、下位概念に違いが見られる結果となった。

各タスクにおいて、リクアイアメントの項目の出現頻度をウエイトと考え、多く出現したものを四角で囲った。破線で囲った項目は、構造から考察し、新たに付け加えたものである。これが付加価値となる可能性が高い。

構造化の結果、タスク：「持ち上げる」では、ウエイトが重い順に「軽い」「手のひらにフィットする」

「適度なサイズ」「幅が狭い」という順であった。タスク：「保持する」では、「手のひらにフィットする」「軽い」「指にフィットする」「小さい」「幅が狭い」の順であった。タスク：「とめる」では、「軽い力でとめることができる」「とめたいところにとめることができる」「音が大きくない」「軽い」「指を挟まない」「深いところまで留めることができる」の順であった。タスク：「芯を入れ替える」では、「力を要れずに開けることができる」「ワンタッチで入れ替えることができる」「開いた後、勝手に閉まらない」「スムーズな開閉ができる」の順の重要であった。

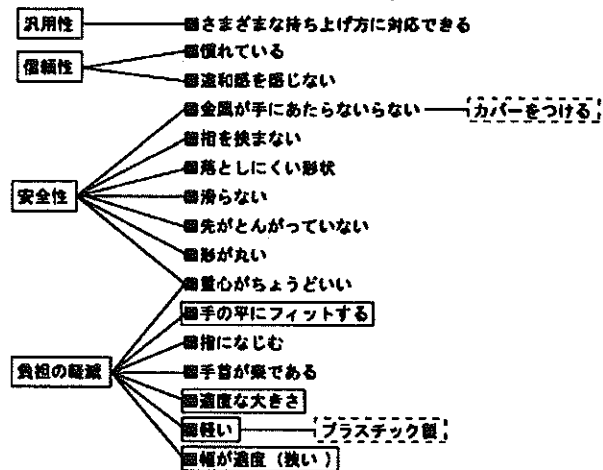


図9. タスク「持ち上げる」のリクアイアメントの構造化

## 5. 考察

データより、製品1, 2, 3の評価が高く、製品4の評価が低いことがわかる。従って、製品1, 2, 3で得られたコメントを参考に検討すれば、製品の改善が可能である。また、全てのコメントを参考にすることはなく、重回帰分析、ブール代数で重要であるとされたタスクのコメントだけを参考にしても、重要なリクアイアメントは抽出できる。今回の実験では、重回帰分析から得られた重要なタスクとブール代数を参考に抽出した重要なタスクには違いがあった。リクアイアメントの構造化については、タスクが多く複雑であれば、製品ごとに特徴のあるものになると考えられる。ステップラーのような単純なタスクでは、製品によってそれほど大きな差は見あたらなかった。また、タスクごとのリクアイアメントの構造化と、製品ごとの構造化でも上位項目は似たようなものとなった。この原因として、機能が単純なものと考えられる。

## 6. まとめ

この手法を用いることで、タスク毎の良い点や悪い点が抽出でき、統計的な処理も可能であるので、ユーザビリティの改善点をより詳しく把握できる。また各タスクに対するコメントからその商品に対する考え方、価値観なども推測できることから、有効な手段であるといえる。

今後の課題として、実験者の聞き方によってコメントの多さや質が変わるので、より多くの製品での調査を行い、フォーマットを改善し、実験者が慣れる必要がある。リクアイアメントに対するウェイトの付け方を今回の実験では、コメントの出現頻度で行ったが、モニターに直接聞くことで、どのくらい重要であると思っているかがより詳しくわかる。また、リクアイアメントを設計項目としても利用できるのではないだろうか。

## 参考文献

- 1) Toshiki Yamaoka: Minimize usability data in order to grasp structure of information, THE 7TH ASIA-PACIFIC CONFERENCE COMPUTER HUMAN INTERACTION, pp.7(2006).
- 2) 山岡俊樹: Quine-McCluskey 法を活用したユーザビリティデータ分析方法, ヒューマンインタフェース研究会 2003-11-20, (2003)
- 3) 内田 治, 高橋 信, 菅 民郎: 文系にもよくわかる多変量解析, pp48-78, 東京書店(2005).
- 4) 山岡 俊樹: DESIGN PROTECT No75 vol20-3 デザインに役立つ人間工学再入門第二回 ユーザリクアイアメントの抽出, pp24-30(2007)
- 5) 山岡俊樹編著: 人間工学講義, 武蔵野美術大学出版局, (2002)
- 6) 山岡俊樹, ヒューマンデザインテクノロジー入門, 森北出版, (2003)

## 家電製品におけるユーザの思考とメーカー戦略の比較

Comparing user demands of home electronics with the manufacturer strategy for home electronics

○田中観自\*, 辻正将\*, 山岡俊樹\*

\*和歌山大学システム工学部デザイン情報学科デザインエルゴノミクス研究室

TANAKA Kanji\*, TSUJI Tadamasa\*, YAMAOKA Toshiki \*

\* Wakayama University, Faculty of System Engineering, Department of Design and Information Science, s095027@sys.wakayama-u.ac.jp

### 1 はじめに

昨今の製品開発競争によって家電製品のメーカーは新しい製品を次々と開発・生産し、ユーザを惹きつけるため、製品の特徴を押し出して販売している。そして、どの企業も価格や品質、あるいはこの2つの組み合わせで勝負してきた<sup>[1]</sup>。しかし、製品の機能増加に伴いユーザビリティにおける問題点も増加している。ユーザはこれらに対し不満をもっていると思われる。

そこで、本研究の目的は家電製品の問題点を抽出し、ユーザの家電製品に対する思考とメーカーの戦略は合致しているのか否かを検証することである。これは家電製品のユーザビリティ上の問題点におけるユーザの思考が、メーカーの戦略に反映されているのかを調査するためである。ここで、ユーザの思考とはどの家電製品のどの部分を問題だと感じているのか、メーカーの戦略とは家電製品のどの部分をセールスポイントとして打ち出しているか、の意味である。なお本研究は、ユーザビリティ上の問題点のみを扱っており、デザインや製品の売り上げなどに関しては扱っていない。

### 2 セールスポイントとユーザビリティとの関係

メーカーは家電製品のセールスポイントを強調し、製品を売り出している。ユーザはそのセールスポイントによって製品に魅力を感じ、製品に興味を持ち購入意欲を掻き立てられる。つまりセールスポイントからメーカーの戦略が見えてくると考えられる。また製品についてのユーザビリティ上の問題点の改善案がセールスポイントになっていることに着目すると、セール

スポイントから以前の問題点を推測することができる。

### 3 方法

#### 3.1 家電製品の選定

まず、本研究で分析する家電製品を決定するため、日常生活で使用する機会がある家電製品 49 製品をピックアップした。そこから「ユーザビリティの問題があると思われる製品」という条件で 16 製品に絞り込んだ。

#### 3.2 アンケートの実施

次に、ユーザが使いやすさを意識する製品を選出するため 16 製品についてそれぞれアンケートを実施した。アンケート方法は「家電製品を購入する際、使いやすさをどの程度重要視しますか?」という質問に対して 16 製品についてそれぞれ 5 段階 (1: 全く重要でない…5: 非常に重要) で評価してもらった。被験者は大学生 34 名 (男: 17 名 女: 17 名) で行った。平均年齢は 20.9 歳 (S.D.: 1.65) であった。

#### 3.3 タスク分析&AHPの実施

決定した家電製品についてユーザ思考における問題点を抽出するため、学生に 3P タスク分析<sup>[2]</sup>を行ってもらった (1 製品につき 3 名)。3P タスク分析から得られた問題点に対してウエイト付けをするため AHP<sup>[3]</sup>を行った。ウエイト付けすることにより、重要な問題であるか、重要でないかを判断するためである。

### 3. 4 セールスポイントから問題点を抽出

セールスポイントを「製品のパンフレット内で強調されている、その製品の特徴や機能などのコメント」と定義し、製品パンフレットから製品毎のセールスポイントを抽出した。各製品について、メーカー3社から1製品ずつ、数個を抽出・構造化した。

そしてそれらのセールスポイントから問題点を推測し、抽出、構造化した。

### 3. 5 比較基準の設定

タスク分析から抽出された問題点とセールスポイントから抽出された問題点を比較するために基準を設けた。3.1より選出された16の家電製品についてタスク分析から抽出された問題点を、人間の情報処理プロセスである、情報入手、理解・判断、操作のカテゴリに分けた。さらにKJ法<sup>[4]</sup>により問題点を分類し構造化した。分類された問題点の上位項目(4.(5)参照)を基本項目とし、比較する際の基準とした。なお、これらの項目は山岡による70デザイン項目<sup>[1]</sup>を参考にした。

### 3. 6 問題点の比較

まずタスク分析より抽出された問題点と、セールスポイントから抽出された問題点を比較基準に抛り、製品ごとにひとつずつ比較を行った(図1)。

## 4 結果

### (1) 選定された家電製品

条件より選出された家電製品は、オープンレンジ、DVDレコーダー、ポータブルオーディオプレーヤー、

炊飯器、プリンタ、冷蔵庫、掃除機、テレビ、電子辞書、エアコン、コンボ、デジタルカメラ、携帯電話、洗濯機、固定電話・FAX、ストーブの16製品であった。

### (2) アンケートより選定された家電製品

アンケートを行い、全データの平均値をとり、これを基準に製品について、全データの平均値(3.51)より高い製品群を「ユーザが使いやすさを意識する家電製品群」とした。その結果、選出された製品は、洗濯機、デジタルカメラ、ポータブルオーディオプレーヤー、DVDレコーダー、コンボ、電子辞書、プリンタ、携帯電話の8製品であった。

### (3) タスク分析より抽出された問題点

タスク分析より得られた問題点は、全製品で合計254個であった。そして問題点が得られた各製品に対して、AHPを行い、その中でも重要とされる問題点を把握した。

### (4) セールスポイントから抽出された問題点

セールスポイントから抽出された問題点が多かった問題点の項目は、操作において「時間がかかって面倒」であった。

### (5) タスク分析より得られた基本項目

3Pタスク分析より得た基本項目は以下の通りである。

#### A. 情報入手に関する項目

A1 「最適なレイアウトでない」

A2 「画面が見にくい」

A3 「マッピングが悪い」

A4 「手がかりがない」

A5 「強調がなされていない」

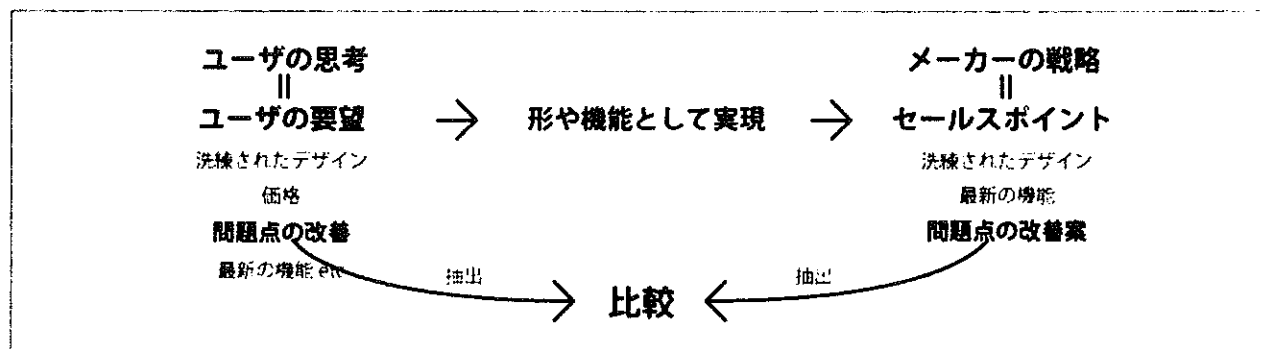


図1: ユーザの思考とメーカーの戦略の比較

A6「表示時間が短い」

A7「表示物が見にくい」

A8「情報量が多い」

#### B.理解・判断に関する項目

B1「意味不明なアイコン」

B2「アフォーダンスがない」

B3「紛らわしい」

B4「フィードバックがない」

B5「最適な用語でない」

B6「操作手順が分からない」

B7「一貫性がない」

B8「メンタルモデルの不一致」

#### C.操作に関する項目

C1「力が必要」

C2「姿勢がづらい」

C3「調整しにくい」

C4「何かを行いながらタスクを行う」

C5「移動が大変」

C6「タスクが多い」

C7「待ち時間が長い」

C8「メンテナンスの手間」

C9「最適なレイアウトでない」

C10「フィット性がない」

C11「エラーに対応していない」

C12「危険性がある」

#### (6) 問題点の比較

タスク分析より得られた基本項目を基準に、タスク分析より抽出された問題点とセールスポイントより抽出された問題点を比較した。なお、条件としてタスク分析から得られた問題点が存在し、セールスポイントから得られた問題点がない場合を不一致とするが、逆の場合、つまりタスク分析から得られた問題点がなく、セールスポイントから得られた問題点が存在していても、それは不一致としては扱わない。なぜならば、タスク分析から得られた問題点がないということは、ユーザビリティの問題点がないと判断できるためである。それぞれの製品について、一致した項目、一致しなかった項目の結果を以下に示す。

##### ①洗濯機

一致した項目は、メンテナンス、姿勢、ドア蓋の危険性、設定の手間、進行状況の手がかりに関する項目であった。また、不一致であった項目は、エラー、フィードバック、表示物に関する項目であった。

##### ②デジタルカメラ

一致した項目は、画面の見易さ、本体のフィット性に関する項目であった。また、不一致であった項目は、ボタンの多さやボタンのフィット性、アイコンに関する項目であった。

##### ③ポータブルオーディオプレーヤー

ユーザの思考とメーカー戦略が一致した項目は表示物の見易さ、イヤホンのフィット性に関する項目であった。また、不一致であった項目は、操作手順、情報量、アイコンについての項目であった。

##### ④DVD レコーダー

一致した項目はリモコンのボタンの多さ、録画などの操作手順に関する項目であった。また不一致であった項目は、本体の手がかりに関する項目であった。

##### ⑤コンボ

ユーザの思考とメーカー戦略が一致した項目は、録音などの操作手順、タスクの多さに関する項目であった。また、不一致であった項目は配線、リモコンについての項目であった。

##### ⑥電子辞書

一致した項目は画面、表示物の見易さに関する項目であった。また、不一致であった項目はボタンのフィット性、力、操作手順に関する項目であった。

##### ⑦プリンタ

一致した項目はレイアウト、操作手順、PC との接続に関する項目であった。また、不一致であった項目は詳細な設定、メンテナンス、手がかりに関する項目であった。

##### ⑧携帯電話

一致した項目は GUI における情報量、ボタンのフィット性に関する項目であった。また、不一致であった項目は、アイコンや用語、表示物、ボタンと画面のマッピング、ボタンのレイアウトに関する項目であった。

## 5 考察

オーディオ系の製品は主に、音などに関するメーカーの新技术をセールスポイントとしていた。さらに、携帯性のある製品は主に、画面の見易さについての項目をセールスポイントとしていた。

次に、思考と戦略の違いを見出した。以下にそれぞれの製品についての特徴を示す。

### ①洗濯機

他の製品と比べて比較的良好一致していたが、エラーに関する項目は改善する余地があると考えられる。

### ②デジタルカメラ

メーカーは製品のデザインや最新の機能をセールスポイントとして、あまり使いやすさを重視していないと考えられる。

### ③ポータブルオーディオプレーヤー

メーカーはデザインや機能を重要なセールスポイントとしているが、ユーザは操作手順などの改善を望んでおり不一致がみられた。

### ④DVD レコーダー

メーカーは使いやすさをセールスポイントとして重要視しているが、本体についての項目改善も望んでおり、そこが不一致になっていることが分かった。

### ⑤コンボ

メーカーは機能面をセールスポイントとしており、インタフェースの改良をセールスポイントとしていないことが分かった。

### ⑥電子辞書

メーカーは製品の多機能をセールスポイントとしていたが、ユーザは操作性に関する項目の改善を望んでいる。アンケートよりユーザが使いやすさを一番重視して要る製品であり、戦略の改善が望まれる。

### ⑦プリンタ

ユーザはインクの取替えなどのメンテナンスに関する項目の改善を望んでいるが、メーカーはこれらをセールスポイントとして重視していないことが分かった。

### ⑧携帯電話

メーカーはデザインや機能をセールスポイントとして重視しているが、ユーザは GUI に関する項目を気にしているという不一致が見られた。

これらの特徴から、ユーザの思考とメーカーの戦略がよく一致していた製品(洗濯機、プリンタ、DVD レコーダー)については、メーカーの戦略は妥当だといえる。さらに、これらの製品群は家族で使う製品であり、故にメーカーは使いやすさを押し出しておりよく一致したと言える。

また、よく一致していなかった製品(電子辞書、ポータブルオーディオプレーヤー、コンボ、デジカメ、携帯電話)については、もう少しメーカーは使いやすさを押し出していくべきではないだろうか。これらの製品群は個人で使用する製品であると考えられ、ターゲットが決まっており、それに対しての戦略として、デザインや最新の機能などがセールスポイントされていると推測される。

## 6 まとめ

現在では、技術力が高度化しつつも、各企業が生み出す商品機能の差異は、ユーザから見ると分からず、企業を苦しめている原因である。<sup>[5]</sup> だからこそ、もっとシンプルにユーザに伝わるようなセールスポイントをメーカーが提案していかなければならない。

本研究によって、ユーザが使いやすさを意識している家電製品についての問題点を、タスク分析とセールスポイントから抽出した。それらの問題点を比較することによって、家電製品毎のユーザの思考とメーカーの戦略が一致した部分、一致していない部分を見つけ出すことができた。

## 参考文献

- 1) ダニエル・ピンク, ハイコンセプト「新しいこと」を考え出す人の時代, 三笠書房
- 2) 山岡俊樹他, 2003, ハード・ソフトデザインの人間工学講義, 武蔵野美術大学出版局
- 3) <http://www.econ.kyoto-u.ac.jp/~hmatsui/lecture/archive/dm-2005/dm-2005-09/AHP.pdf>
- 4) 川喜多二郎, 1967, 発想法—創造性開発のために, 中央公論社
- 5) 酒井光雄, 上流顧客を満足させるプロフェッショナルサービス, 日本能率協会マネジメントセンター

## 車椅子着座時における車輪の操縦位置および操縦方向と上肢発揮力の関係

## Relationship Between Driving Position / Driving Force Direction And Hand Force While Seating on Wheelchair

○堀内和禎\*, 川野常夫\*, 山本義秋\*

\*摂南大学 大学院工学研究科

HORIUCHI Kazuyoshi\*, KAWANO Tsuneo\*, YAMAMOTO Yoshiaki\*

\*Graduate School of Engineering, Setsunan University

## 1 はじめに

車椅子の起源は数百年に遡るが、利用者自身が操縦する自操式は 1650 年に登場したと言われる<sup>1)</sup>。この自操式は車輪または車輪と同心円状に設置されたハンドリムの上部を手で握って、円弧状にスライドさせることにより車輪を回転させて推進力を発揮する。車椅子の長い歴史の中で、この推進原理はほとんど変わっていない。利用者が推進力を発揮するためには、左右上肢の肘周りの屈曲と伸展を約 1 秒周期で反復的に繰り返す必要がある。この反復動作は上肢に負荷の増加や疲労の蓄積を招く原因となる。このような問題に対して、これまで上肢負荷の解析<sup>2)</sup>や車椅子駆動タスクが人間の上肢運動特性に適しているかどうかの解析<sup>3)</sup>が行われている。

本研究では、車椅子の新しい操縦メカニズムを開発する観点から、座位姿勢において上肢が最大力を発揮する操縦位置と方向を明らかにする。そのため 3 軸方向の力測定器を独自に製作し、車椅子を想定した着座状態における車輪の種々の操縦位置において前後上下左右方向の上肢発揮力を測定した。

## 2 上肢発揮力測定器

本研究では、上肢発揮力の X,Y,Z 方向の 3 分力を測定する測定器を製作した。図 1 に測定器の概要図を示す。それは主に、椅子を置くベースとなる平板、支柱、手のグリップ部から成る。ベースの平板には、車椅子の椅子を想定して、4 本足の椅子（座面高さ 420mm）を置く。支柱は中実と中空の角材を組み合わせ、伸縮しかつ固定できる構造とし、測定器上端の高さを 600~1000mm の間で調整ができるようにした。手の

グリップ部は、ハンドリムを想定してアーチ状のパイプとした。グリップアーチの直径は  $\phi 200\text{mm}$ 、パイプの直径は  $\phi 25\text{mm}$  とした。これらの板材や角材、パイプの材質はすべてアルミニウムとした。力の 3 分力の測定には、アルミ用ひずみゲージ（共和電業製 KFG-3-120-C1-23）を用いた。水平方向成分（X,Y 方向成分）の測定には、支柱のひずみを捉えるために支柱の角材の一部を切り欠き構造にしてひずみゲージを貼り付けた。鉛直成分（Z 方向成分）の測定には、アーチ状パイプを支える平板のひずみを捉えるために平板の表裏に 2 個ずつひずみゲージを貼り付けた。各力成分のキャリブレーションは、次節で

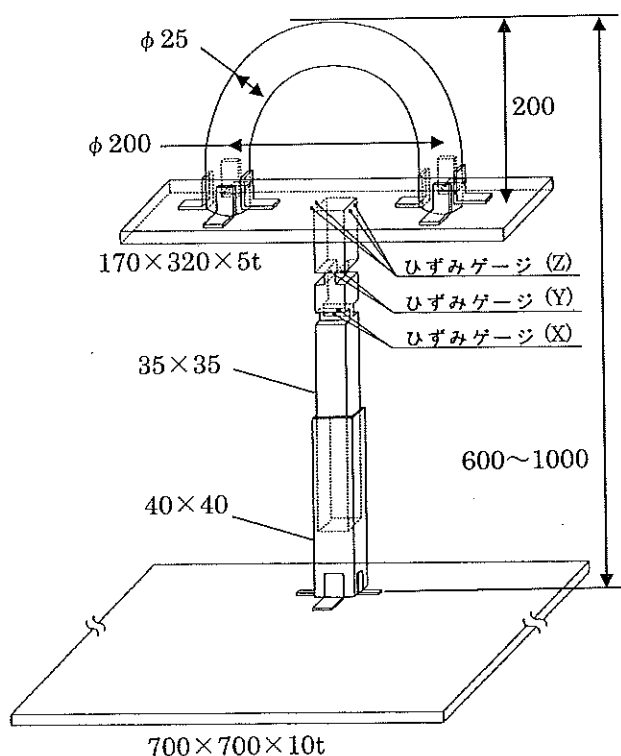


図 1. 上肢発揮力測定器の概要図



述べる測定時のグリップの位置ごとに、かつ X,Y,Z の方向ごとに行った。

### 3 測定実験

車椅子の座位姿勢において上肢が最大力を発揮することのできる操縦位置と方向を求めるため、種々の操縦位置において前後上下左右方向の上肢発揮力を測定した。まずグリップの位置は、図2に示すようにグリップアーチの点 P, Q, R の3箇所とした。これらはグリップ時の手首の角度の違いによって発揮力がどのように変化するかを検討するために設けた。上肢周辺の操縦位置として、図3(a)に示すように、右肩を中心として、A~F までの6箇所を設定した。被験者の体格によって体幹との相対位置が異ならないように、腕の寸法によって6点を決めた。すなわち肘を90度曲げ、手を前方へ向けた時の上腕骨部の内側上顆を原点とし、第三指部の第三関節までの長さを  $h$  とし、半径  $h$  の円周上に点 A,B,C,E を定める。また、点 F は肩より後方  $h/2$  のところとする。さらに操縦位置は、図3(b)に示すように、矢状面内で  $h/2$  間隔の上中下3箇所(upper, middle, lower)にも設定し、上肢周辺の合計18箇所に操縦対象がある場合について測定を行う。これら18

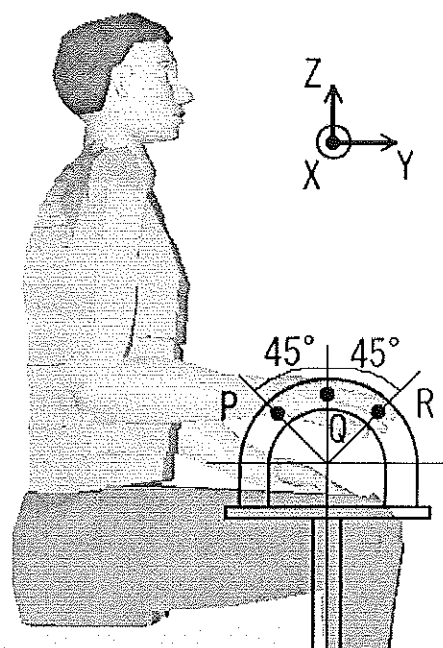
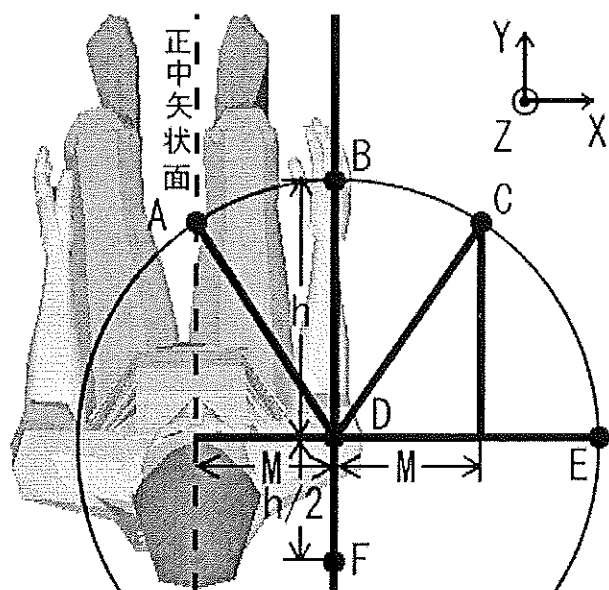
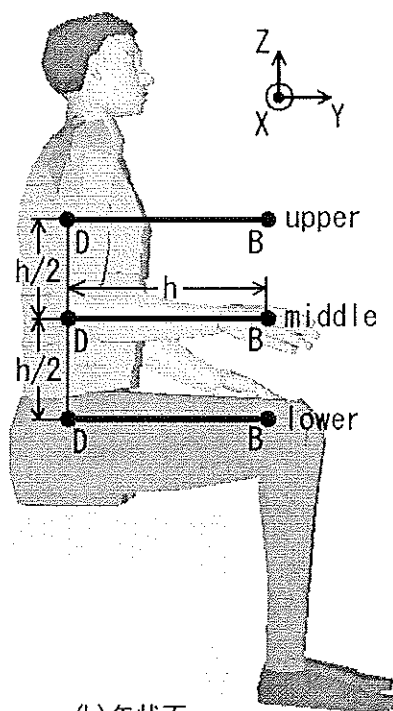


図2. グリップアーチのグリップ位置

箇所に図2の点 P,Q,R のそれぞれが来るように位置合わせを行って、それぞれ手首の3とおりの角度について測定を行う。したがって、54とおりの場合について測定を行うことになる。さらに、これらの各場合において、前後上下左右方向に発揮する力をそれぞれ測定するため、以上を合計して、測定件数は324とおりととなる。



(a) 水平面



(b) 矢状面

図3. 種々の操縦位置

以上の操縦位置と方向を図4に示すように表記することとする。

被験者は男子5名(年齢  $22.6 \pm 0.89$  歳, 身長  $173.2 \pm 5.17$ cm, 体重  $59.0 \pm 6.96$ kg, 握力  $42.5 \pm 6.21$ , アーム長  $h$   $34.9 \pm 2.61$ )

とした。測定件数が非常に多いため、被験者の内1名についてのみ上記の324とおりの全条件について測定を行った。また、疲れが生じないように休憩を取りながら、複数の日程で実施した。本研究の目的が、最大力を発揮する操縦位置を求めることであるため、この1名の被験者の結果から、発揮力の大きかった上位40とおりの位置と方向を選択し、残りの4名の被験者については、この40とおりの場合についてのみ測定を行った。

図5に上肢発揮力を測定している様子の一例を示す。この例では、操縦位置・方向はQ\_YP\_E\_lowerすなわち、グリップはQの位置で、Yのプラス方向(前方)に力を発揮している。操縦対象の場所はEで下段である。下肢の不自由な車椅子利用者のことを想定して、下肢から床反力を受けないように被験者は下肢を軽く浮かして測定することとした。また、測定は右上肢による発揮力について行ったが、両腕で操縦する車椅子を想定して、左手は左右対称の位置にある固定棒を把持して左右同時に力を発揮することとした。

#### 4 測定結果

図6に男性右腕の発揮力を測定した1例を示す。前述の40とおりの操縦位置と方向について測定した結果のうち、最大値から10とおりの場合をソーティングして示している。この被験者の場合、発揮力の最大値は、Q\_XM\_E\_upperの場合、すなわちグリップ位置が中央のQで、操縦対象の場所は右腰右方の上段、方向はX方向のマイナス側で体幹に引き寄せる方向の場合に現れている。大きさは42.3kgfであった。通常、車椅子を

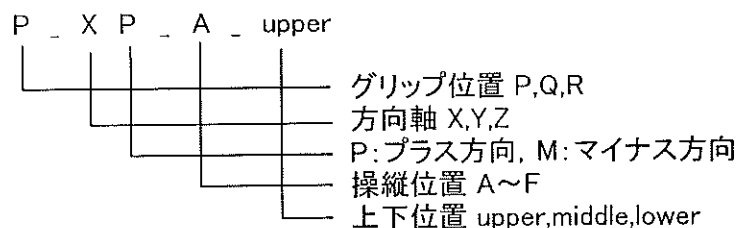


図4. 操縦位置と方向の表記法

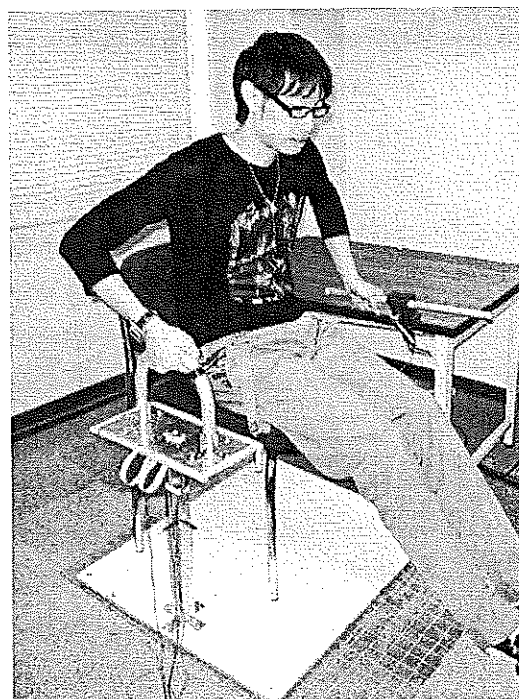


図5. 上肢発揮力の測定(操縦位置 Q\_YP\_E\_lower)

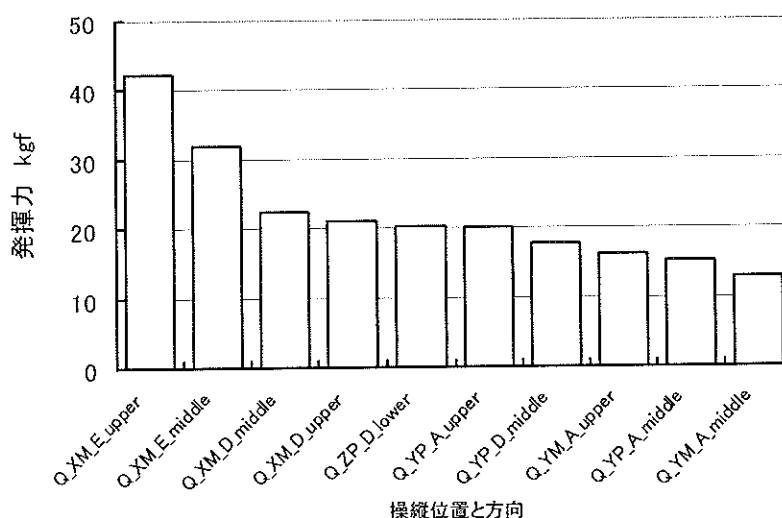


図6. 操縦位置・方向と発揮力の例  
(最大値から10箇所, 22歳, 男性, 右腕)

駆動するための Q\_YP\_D\_middle の位置では、発揮力は約 18kgf であり、側方から体幹に引き寄せる力より小さいことがわかる。

図 7 に被験者 5 名の発揮力の平均値を示す。ここでは、各被験者の最大発揮力を 100% として、基準化したものを 5 名で平均して、上位 10 とおりの場合をソーティングして示している。この図から、側方から体幹へ引き寄せる力が上位を占めていることがわかる。次に体幹正面（臍の前方）から腹部へ引き寄せる力が大きく、側方では下から上へ引く力が大きく出ている。この図からも車椅子を駆動する通常的位置では、発揮力は相対的に小さいことがわかる。

## 5 まとめ

車椅子利用者が座位姿勢において上肢により最大力を発揮することのできる操縦位置と方向を明らかにするため、3 軸方向の力測定器を用いて種々の位置・方向における右上肢の発揮力を測定した。その結果、体幹に引き寄せる方向の力や、下から上へ引き上げる力が比較的大きいことがわかった。このことから、通常車椅子の駆動位置と方向が人間にとって必ずしも力

を出しやすいわけではなく、それよりも大きな力を発揮できる位置と方向を採用した新しいメカニズムが考えられることが示唆された。今後、そのような新しいメカニズムを考案し、その場合の駆動効率や人間の疲労などについて検討する予定である。

## 参考文献

- 1) 車いす姿勢保持協会編:「車いす・シーティング」—その理解と実践—, はる書房(2005).
- 2) 佐々木 誠, 巖見武裕, 大日方五郎, 土岐 仁, 宮脇和人, 金城正治: 車いす駆動における上肢負荷の解析, 日本機械学会論文集 (C 編) 71 巻, 702 号, pp.654-660 (2005).
- 3) 佐々木 誠, 巖見武裕, 大日方五郎, 宮脇和人, 三浦弘樹, 島田洋一, 木口量夫: 上肢運動特性に基づく車いす操作性と手先力パターンの解析, 日本機械学会論文集 (C 編) 73 巻, 732 号 pp.2279-2286 (2007).

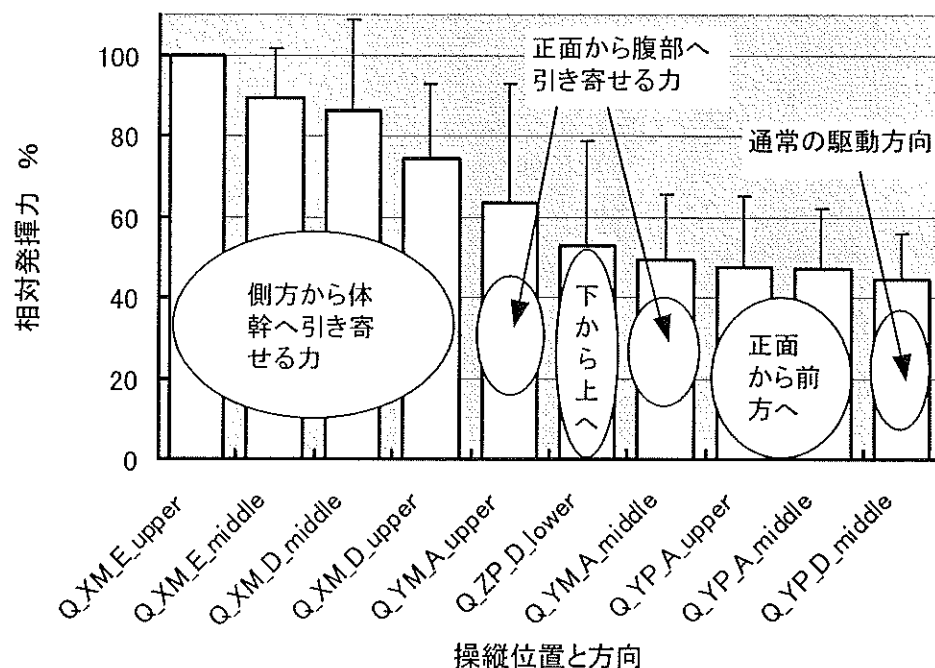


図 7. 操縦位置・方向と発揮力の関係  
(被験者 5 名の平均, 発揮力は相対表示)

# 子どもの身体寸法・能力に対する意識と実際の行動との関係性に関する研究

## A Study on the Relations between the Children's Cognitive Anthropometry and Physical Abilities, and Their Behavior

○中野江里子, 岡田明

大阪市立大学大学院 生活科学研究科

NAKANO Eriko, OKADA Akira

Graduate School of Human Life Science, Osaka City University

### 1 はじめに

この 20 年弱の間に、子どもの事故による死亡は大きく減少したものの入院及び外来は若干の減少にとどまり（厚生労働省）、日常発生している事故はあまり減っていないことが分かる。つまり、死亡率の減少は医療機関での治療方法など医学的進歩によるものが大きいと考えられ、一般における事故対策は必ずしも十分ではないと推測される。しかし、子どもの事故と発達は密接な関係を有しており、子どもの発達を理解し、それに対応することにより大部分の事故は未然に防ぐことができると言われている<sup>1)</sup>。

本研究では、子どもが自分自身の身体寸法や能力に対してどのような意識を持っているのか、また成長によるそれら意識の変化を明らかにすることを目的とする実験を試みた。

### 2 実験 1

#### 2-1. 目的と方法

自分の身体寸法（肩幅、頭幅、頭高、手の長さ）および身体能力（歩幅、垂直到達距離）に対する予測と実際の値の差を計測した。

身体寸法部位に関しては、本人の目からは見えない状態に設定し、各項目の幅や長さを予測してもらった。その後、実際の寸法を計測した。身体能力に関しては、あらかじめどの程度できると思うかを尋ね、それを予測値として記録した。その後、実際にその動作を行ってもらい、実測値として計測した。

予測値と実測値より、誤差率を導き出し、各項目の比較基準として用いた。誤差率の定義は以下に示す通りとする。

$$\text{誤差率} = (\text{予測値} - \text{実測値}) / \text{実測値} * 100$$

#### 2-2. 実験参加者

実験参加者は大阪府下の保育園に通う子ども計 14 名（5 歳児 10 名、4 歳児 4 名）とした。

#### 2-3. 結果と考察

全体的にばらつきは大きいものの、肩幅・頭幅・手の長さ・垂直到達距離において、4 歳児よりも 5 歳児の方が予測値と実測値の誤差が小さい傾向にあった。成長とともに、自分自身の身体寸法や能力に対して、より正確な予測ができるようになるのではないかと考えることができる。

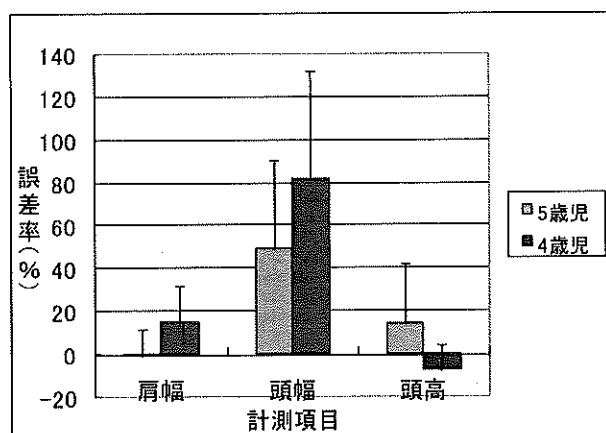


図 1：身体寸法の誤差率比較

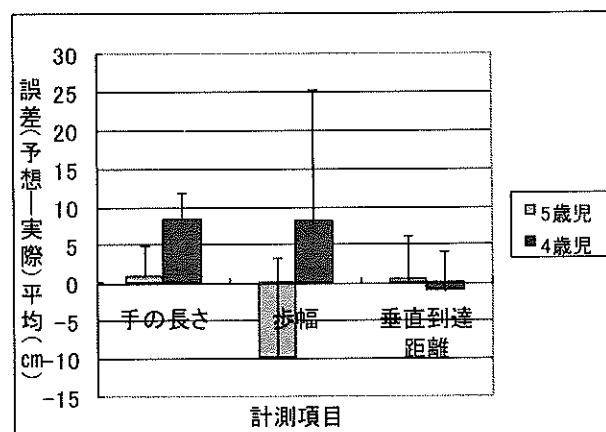


図 2：身体寸法と能力の誤差平均比較

### 3 実験2

#### 3-1. 目的と方法

実験1より、成長とともにより正確に自身の身体寸法・能力を予想できるようになると考えられたため、実験2では成人と子どもの比較を行った。また、垂直方向と水平方向での誤差率の比較を行うため、計測項目は上肢に関する項目に絞り、手の長さ、手の到達距離（垂直・水平）の計測を行った。

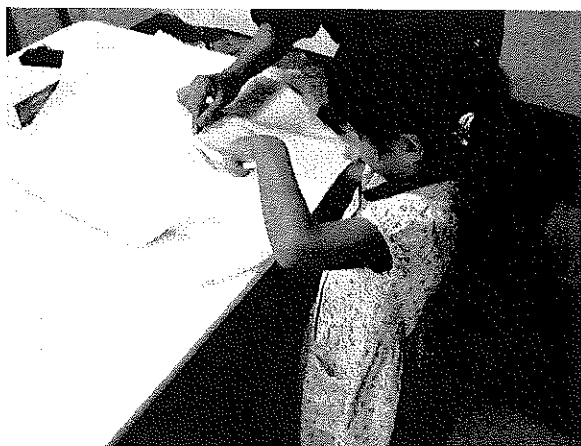


図3：実験風景（手の長さ・垂直到達距離）

#### 3-2. 実験参加者

実験参加者は大阪府在住の子ども計7名（3歳～8歳）、成人計7名（23歳～30歳）とした。

#### 3-3. 結果と考察

##### 【成人と子どもの比較】

水平到達・垂直到達において、成人よりも子どもの

方が予測と実際の誤差が大きく、自身の身体能力を過大評価する傾向にあった。この結果が、成人に比べて子どもが事故に遭いやすい一因となっていると考えられる。

##### 【各計測項目間の比較】

手の長さに関しては、成人と子ども共に誤差率は低かったが、成人の方が、短めに予測する傾向にあった。また、到達距離に関しては垂直到達よりも水平到達の方が、成人と子ども共に誤差率が大いという傾向があった。これは、垂直方向よりも水平方向に対して自分の身体能力の把握が難しいのではないかと考えることができる。

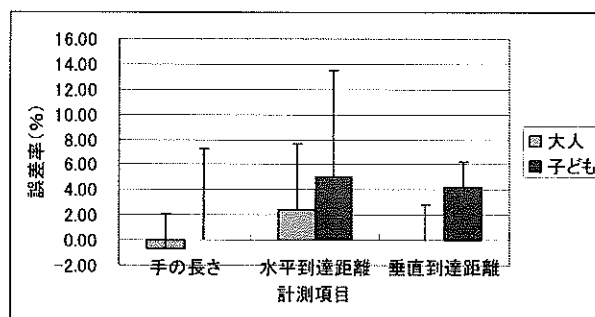


図4：誤差率の成人と子ども比較

### 4 まとめ

実験1および2より、以下のことが言える。

- ①成人よりも子どもの方が自身の身体能力を過大評価していること。
- ②垂直方向よりも水平方向への予測の方が、誤差率が大きくなる傾向にあること。

今後、さらにサンプル数を増やし、データの精度を高めるとともに、子どもの親に対して子どもの事故傾向を探るアンケートを行い、誤差率と事故の遭遇傾向との関連性も探っていきたい。

### 参考文献

- 1) 田中哲郎：母子保育事業のための事故防止指導マニュアル,2005
- 2) 根ヶ山光一, 伊藤俊彦, 森下活二：幼稚園児の身体図式と行動の関係性に関する実験的研究, 武庫川女子大学紀要, 37, 137-143, 1989

## 手動操作の習熟特性に関する基礎的研究（その 2）

－生理的データからの検討－

### Basic Research on Learning Characteristic of Manual Operation (part2)

－Analysis of physiological data－

○西岡基夫\*, 岡田明\*, 宮野道雄\*, 森一彦\*, 山下久仁子\*\*, 中山圭以\*\*\*

\*大阪市立大学大学院 生活科学研究科, \*\*大阪市立大学 研究支援課, \*\*\* (株)イトーキ  
NISHIOKA Moto\*, OKADA Akira\*, MIYANO Michio\*, MORI Kazuhiko\*, YAMASHITA Kuniko\*\*,  
NAKAYAMA Kei\*\*\*

\* Graduate School of Human Life Science, Osaka City University

\*\* Osaka City University, Research Support Department

\*\*\* Itoki Corporation

#### 1 はじめに

これまで、動作・姿勢の習熟に関する研究は産業人間工学の分野などで取り上げられ、負担の少ない産業労働環境を構築する基礎データに用いられている<sup>1) 2)</sup>。しかし既往研究では作業時間や成績などの結果から習熟度を判断するケースが多い。この方法は結果から習熟の到達度を確認するのに有効だが、「未習熟」から「習熟」への過程における変化を明らかにすることが難しい。また、日常生活で行われる動作で発生するヒューマンエラーの原因を考える上で、習熟に関する「モノの特性と人間の生理機能の関係」や、「習熟へ到達する人間の意識（＝方略）と習熟プロセスとの関連性」を考慮することは重要であるといえる（図 1）。

そこで本研究は習熟度が高くなる過程において、モノとヒトの動きがどのように変化するかを生理的・物理的に検討し、そのメカニズムを把握することにより習熟に影響を与える要因を解明することを目的とした。さらに方略の違いが習熟の達成にどのような影響を与えるのかについても検討する。

先行研究<sup>2) ~ 6)</sup>ではカートの引き操作を対象とし、習熟プロセスを速度・加速度などのパフォーマンスデータで一定のパターンに分類できる可能性を示唆した。本報では未習熟時と習熟時の身体機能の変化を生理的データから把握し、物理的データとの比較・検討を行った。

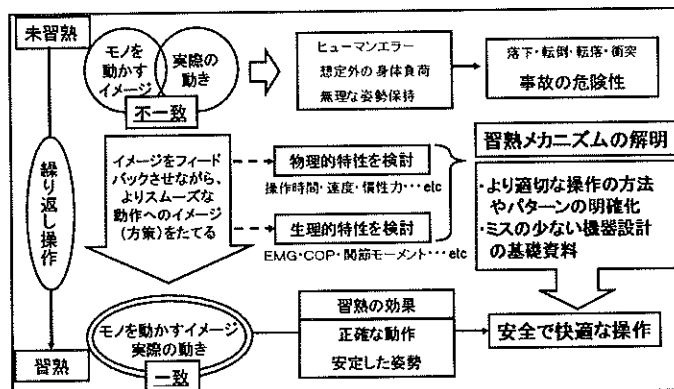


図-1 研究の概要

#### 2 方法

先行研究<sup>1)</sup>と同様に操作方向を前後方向に限定したカートの押引操作を想定し、実験装置を設定した。

スタート地点から予め定めたゴール位置に、「正確」かつ「すばやく」カートを停止させるタスクを被験者に課した。終盤でのタスクも緊張感を持って行ってもらうため、被験者に操作回数を伝えず、操作の成功回数が規定数に達するまで実験を行うよう指示した。正確に指定位置に停止したケースを「成功」とみなし、その成功回数の増加を、習熟した状態と仮定した。その上で、同一条件下でタスクを繰り返し行う際の習熟特性について筋活動量、床反力や作用点（COP）の移動量、動作解析などの生理的データから分析した。

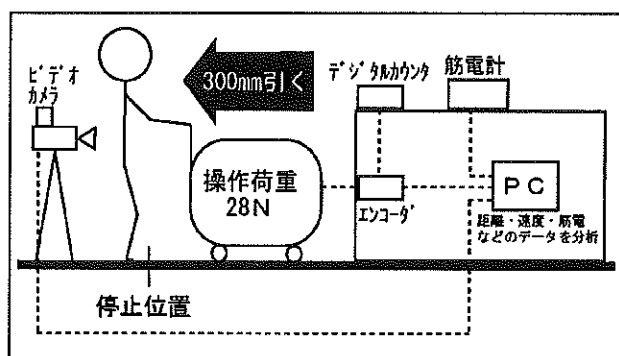


図2 実験装置概要

カートの移動距離や速度、加速度の計測にエンコーダ（ムトーエンジニアリング：DE-04）を設置した。被験者からは上肢や下肢、体幹などの筋部位（10～11箇所）の筋電図を導出した。さらにフォースプレート（日本キスラー（株）：Type9281B）から操作時の床反力およびCOPを計測した。また、三次元動作解析装置（Oxford Metrics社：Vicon370）を用いて、操作時の姿勢変化を記録した。

被験者は健康な若年者男性4名（年齢 $21.5 \pm 1.3$ 歳、身長 $169.5 \pm 4.8$ cm、体重 $57.0 \pm 2.0$ kg）および高齢者男性4名（年齢 $62.8 \pm 2.4$ 歳、身長 $166.0 \pm 8.8$ cm、体重 $68.3 \pm 4.6$ kg）とした。

### 3 結果と考察

#### 3.1 操作回数とEMG

各筋部位における平均筋活動量をタスク前半（1～50回）とタスク後半（51～100回）での平均値で比較した（図3・4）。タスク後半になると上腕三頭筋や長橈側手根伸筋など上肢の筋負担が減少する傾向がみられた。一方で僧帽筋や三角筋など、より上肢近位部の上肢帯や、ヒラメ筋などの下腿部の平均筋活動量で増加傾向が後半にみられた。習熟プロセスで、コントロールが難しい上肢での操作から、肩部の筋を主とした上肢近位部および体幹の筋への関与に推移した可能性がある。また、その操作を支持するために下腿の筋も活動したと考えられる。

年齢別では、高齢者はほとんどの筋部位で回数による活動の変化がみられなかった。

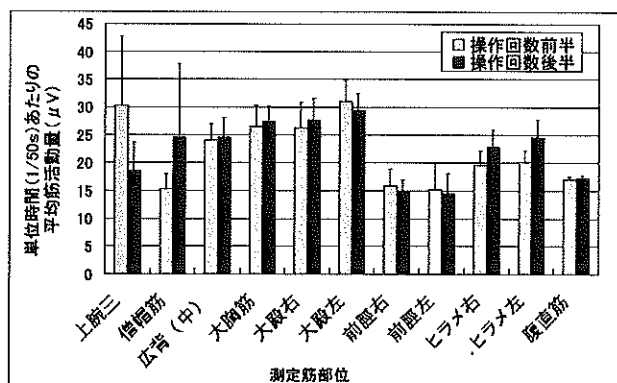


図3 操作回数別平均筋活動量（若年者のケース）

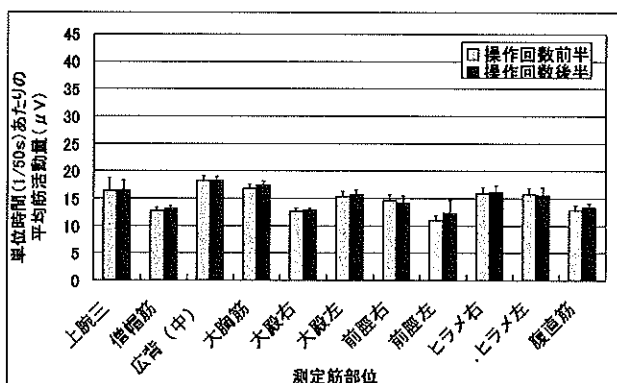


図4 操作回数別平均筋活動量（高齢者のケース）

#### 3.2 操作の成功・失敗とEMG

操作成功時における単位時間当たりの筋活動量を1とした場合の、失敗時での筋活動量を相対値で比較した。若年者のケースで、すべての部位において失敗時の筋活動量が成功時より増加していた（図5）。被験者ごとに操作方法が異なるために一概には言えないが、成功時の筋活動量が減少している、もしくは増加している筋部位の筋活動量の変化が習熟を知る指標になるのではないかと考えられる。

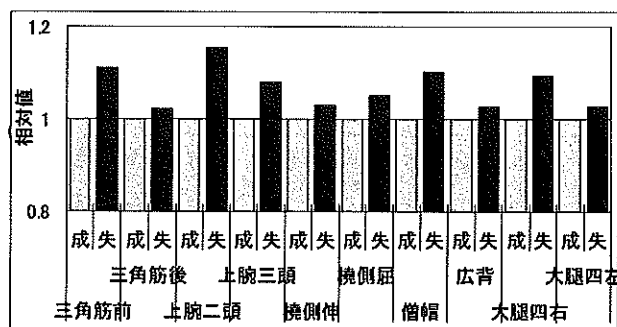


図5 成功・失敗時の筋活動量（若年者・相対値）

### 3. 3 加速・減速時のEMG

一連の引き操作では、カート（モノ）を動かすという動作（加速）とモノを止めるという動作（減速）が存在する。ここでは操作を加減速に分割し（図6）、それぞれの区間での筋活動量の違いを検討した。

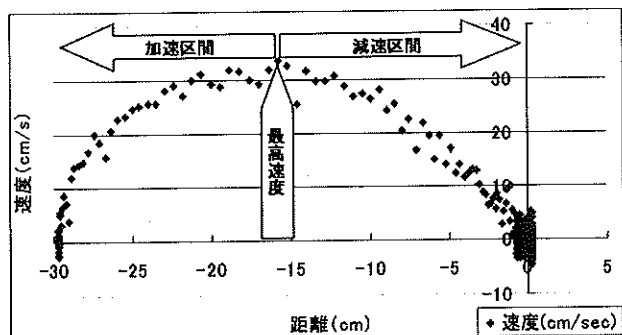


図6 加減速分類の概念図

加速操作時の平均筋活動量について、操作初期の活動量を1とした時の操作回数ごとの相対比較を行った（図7・図8）。体幹および上肢の活動について年齢別にみると、若年者は高齢者と比較して、上腕三頭筋・僧帽筋・広背筋をより積極的に活動させながら操作を行っている。また、40回付近以降から活動量が増加する特徴がみられた。高齢者は上腕三頭筋で若干の活動がみられるものの、殆どの部位で、最後まで操作回数による筋活動量の大きな変化はみられなかった。このことから、高齢者は常に同じ筋部位を活動させて操作を行う傾向があり、引き操作の方略で若年者との違いがみられた。

一方、下肢の活動について年齢別にみると、若年者は50回付近以降から大殿筋（左）の活動が低減し、ヒラメ筋（右）の活動が活発化した。操作初期ではカートを加速させるために各筋部位を活動させ、操作を行おうとしていたが、操作の習熟と共に体重を両足から利き足（右）側に移動させ、その体重移動に発生する力を加速に利用するなど、なるべく操作中の姿勢を保持した状態で操作を行ったのではないかと考えられる。高齢者については上肢同様、大きな変化はみられなかった。

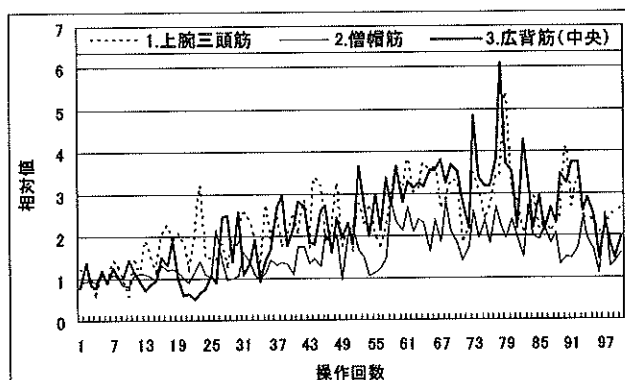


図7 加速時の筋活動量(若年・相対値)

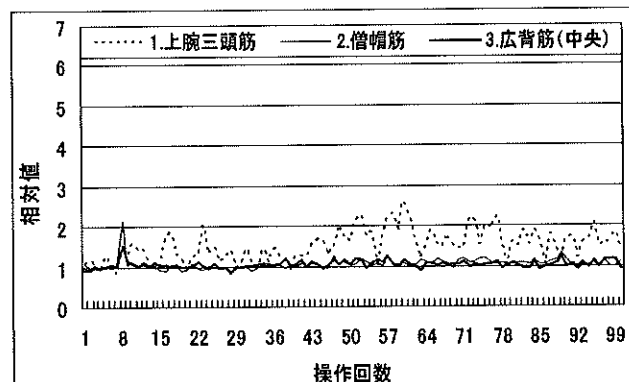


図8 加速時の筋活動量(高齢者・相対値)

加速時同様、減速時についても相対比較から検討した。体幹および上肢では、若年者は全ての筋に活動がみられ、上体を積極的に活動させながら引き操作を行っているといえる。40回以降の活動も顕著に活発化し、上体の活動をコントロールすることが習熟につながる可能性を示唆した。同様に高齢者も加速時以上に全ての筋での活動が一定で、筋活動量からの習熟は十分みられなかった。

下肢の活動についてみると、操作回数にかかわらず、筋活動量に変化はみられなかった。絶対値のデータから、大殿筋やヒラメ筋などは特に若年者で活動がみられることから、減速時の下肢の筋は上半身での操作をより安定して行わせるために終始活動していると推測できる。

減速時、特に停止直前付近での速度の微調整時に筋活動に特徴がみられると予測していたが、加速・減速による比較から、加速時に活動させる筋部位やその方略（≒体重移動）も関連性があることが示唆された。後述のCOP移動距離や操作姿



勢（体幹・下肢や上肢・体幹などの関節角度）を含めた解析が必要といえる。

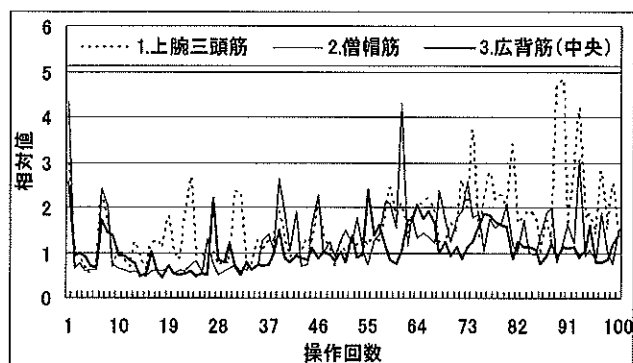


図9 減速時の筋活動量(若年・相対値)

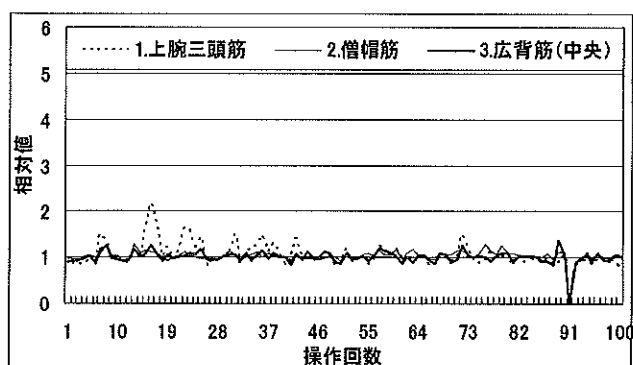


図10 減速時の筋活動量(高齢者・相対値)

### 3. 4 操作の成功・失敗とCOP

成功時のCOP（床反力作用点）の移動距離を基準に相対値で比較したところ、すべての被験者において、成功時より失敗時のほうがCOPの移動距離が増加する傾向がみられた（図11）。失敗時には目標位置に停止させるための細かい押引動作が増え、上肢だけでなく全身で操作を行い停止位置に戻そうとする動きが影響したと考えられる。

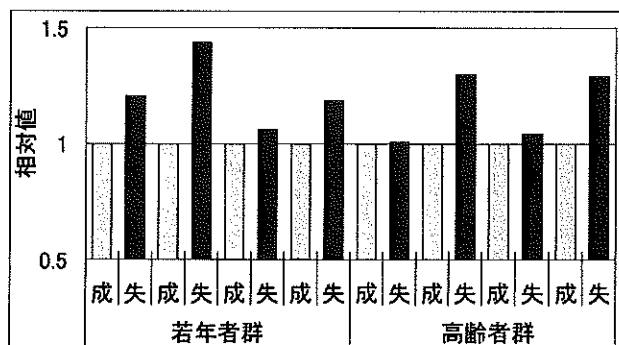


図11 成功・失敗時のCOPの移動距離

## 4 まとめ

従来の研究では「習熟したかどうか」の判定は出来てもそのメカニズムを把握することが難しい面があった。本報はタスク成績と各筋部位の筋活動量やCOPの移動距離の変化に注目することで、習熟特性を知るための指標となる可能性を示した。今後は加減速のCOP移動距離や成功・失敗と加減速の関係なども追跡する。さらに、操作時間に関するタスク（できるだけ早く）についても明示し、操作時間短縮による習熟と生理機能の関連性についても検討を行い、より詳細なデータ解析から習熟プロセスの体系化を進める。

## 文献

- 1) Don B. Chaffin, Gunnar B. J. Andersson, Bernard J. Martin: Occupational Biomechanics Third Edition, A Wiley-Interscience publication (1999).
- 2) (社)人間生活工学研究センター編：人間の動作などに係る動的特性の計測評価調査報告書, (2000).
- 3) 中山圭以他：「手動操作の習熟特性に関する基礎的研究」, 平成18年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集, pp. 27-30, 2006
- 4) 西岡基夫他：習熟プロセスにおける身体特性の変化に関する研究, 日本人間工学会48回大会講演集, pp. 244-245 (2007).
- 5) 西岡基夫他：操作姿勢の違いによる身体負担の評価方法に関する研究-押引動作での操作力・床反力からの検討-, 日本人間工学会41回大会講演集, pp. 584-585 (2000).
- 6) 西岡基夫他：押引動作の身体負担評価に関する研究-操作条件の違いによるCenter of Pressureからの検討-, 日本生理人類学会誌集44回大会要旨 pp. 76-77 (2000).

## 床面サインの視認性に関する研究

### A study on visibility of floor sign

○池島秀起, 岡田明, 山下久仁子

大阪市立大学大学院 生活科学研究科

IKEJIMA Hideki, OKADA Akira, YAMASHITA Kuniko  
Graduate School of Human Life Science, Osaka City University

#### 1. はじめに

近年、都市の拡大により、大規模で複合的な空間が増加している。このような公共の施設を利用する人にとって快適に移動し、目的の場所にたどり着くようにするためには、気づきやすく、わかりやすいサイン環境を整える必要がある。そのサイン環境の中で、近年、床面にデザインされたサイン（床面サイン）を見かけることが多くなってきた。しかし、床面サインに関するガイドラインや研究はあまり存在していない。

そこで本研究では、わかりやすい床面サインの視認性に関する実験的な検討を試みた。

#### 2. サインの特性

CIE (1988) は、サインが持つべき特性として、「①目立ちやすさ、②可読性、③理解のしやすさ、④標識の内容に対して持つ人間の主観的な信頼性」の 4 つを提案した<sup>2)</sup>。利用者にとって、サインはまず目立つことが必要である。今回の研究では、床面サインの目立ちやすさに着目し、研究を進めた。

#### 3. 予備調査

駅や公共施設に設置されている現行の床面サインを調査し、床面サインの目立ちやすさに影響を与える要因を抽出した。

##### 【結果と考察】

床面サインの目立ちやすさに影響を与える要因として、次の 5 項目があげられることがわかった。

- ①設置位置（見る角度、距離）
- ②大きさ（サイン全体や中の文字等の大きさ）
- ③サインの明るさと背景の明るさの関係
- ④サインの色と背景の色の関係
- ⑤他種のサインなどとの関係や影響

このような項目が影響し、床面サインの情報を短時間で認知することが困難になっている状況が多くある。目立ちやすさや見やすさの要素をさらに定量的に調べるために、シミュレーション実験によって検討を行った。

#### 4. 実験 1

床面サインまでの距離と角度によって、目立ちやすさや見やすさがどのように関係しているか、を調べた。

##### 4.1 方法

今回は、20m まで 2m 間隔の 11 種類の床面サインと正面からのサインを用いた画面上の仮想空間を設定した。設定したサインの大きさは 1m×2m で、文字の大きさは 80 mm×80 mm で、表示文字数は 50 字である。文字はカナ文字表記のみである。

##### 【実験協力者】

21～25 歳の健康な学生 10 名（男性 2 名・女性 8 名）が参加した。

##### 【タスク】

実験手順は以下のとおりである。

- ①画像に行き先を表示
- ②行き先の理解が出来たら、床面サインを表示
- ③サインを見て、行き先のある方向を回答する

床面サインが表示されてから回答するまでの時間の計測を行う。また、それぞれのサインごとに質問を行い、主観的な見やすさに関する評価も実施した。

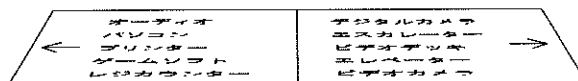


図 1. 実験 1 表示画面例

## 4.2 結果と考察

10m から回答時間が短くなり、さらに 4m から短くなる結果となった。また、実験協力者の主観評価でも、ほぼそれを支持する結果となった。

この結果から、10mあたりで、床面サインの内容を把握し始め、4m あたりからさらに近づくにつれ、内容を詳しく把握できると考えられた。見やすさと距離の関係について変曲点が存在する可能性が示唆された。

## 5. 実験 2

次のステップとして、表示形態の違いによる影響を検討するため、実験 1 の床面サインの表記をピクトグラムのみにして実験を行った。

### 5.1 方法

実験 1 と同様である。なお、ピクトグラムの意味はあらかじめ説明する。サインの大きさは、実験 1 同様に、1m×2m で、ピクトグラムの大きさは 240 mm×240 mmである。ピクトグラムの数は、8 つである。

#### 【実験協力者】

21～25 歳の健康な学生 10 名（男性 2 名・女性 8 名）が実験に参加した。

### 5.2 結果と考察

14m から大きく回答時間が短くなり、さらに 8m、4m で短くなる結果となった。また、実験協力者の主観評価でも、ほぼそれを支持する結果となった。

実験 1 の文字に比べ、ピクトグラムの方が、遠方からでも目立って見やすいと考えられる。

## 6. 実験 3

さらにサインの設置形態の違いにより、見やすい大きさがどの程度異なるか、を調べるため、吊りサインと床面サインを比較するシミュレーション実験を行った。

### 6.1 方法

交通エコロジー・モビリティ財団（2001）が提案するピクトグラムの大きさの目安<sup>3)</sup>と大きさを変えた床面サインを比較して、床面サインの大きさの目安を検討した。

#### 【実験協力者】

21～25 歳の健康な学生 7 名（男性 2 名・女性 5 名）が実験に参加した。

#### 【タスク】

実験手順は以下のとおりである。

①ピクトグラムの目安とされる大きさの吊りサインと大きさを変えた床面サインを同一画面に表示させた。

②実験協力者にどちらが目立っているか、また見やすいか、を比較して答えてもらった。

この作業を、床面サインの大きさを変えて、繰り返し行った。

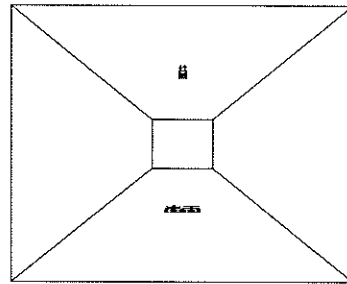


図 2. 実験 3 表示画面例

### 6.2 結果と考察

ピクトグラムにおいて、10m の視距離で必要な大きさは、吊りサイン 120 mm 角以上に対し、床面サインが同等以上に見やすいと感じられるためには、500～600 mm は必要だということがわかった。

## 7. まとめ

今回の実験で、目立ちやすさに関する視距離と大きさについてシミュレーション実験を試みた。しかし、実空間とは条件も違い、考慮すべき条件も多く、今後は、実空間での検証実験を含めた研究も行っていきたい。また、可読性や理解のしやすさについても実験を行い、床面サインについてさらに考察を進めていきたい。

## 8. 参考文献

- 1) Maki Ishihara : Effect of arrangement of designlements on recognition of the complex signs, The 10th Korea & Japan Joint Symposium on Ergonomics.
- 2) CIE (1988) : Roadsigns, Publication CIE No.74.
- 3) 交通エコロジー・モビリティ財団：ひと目でわかるシンボルサイン，交通エコロジー・モビリティ財団 2001.

## リーダーシップ行動の役割知覚アプローチ

### An Approach to Role Perception on Leadership Behavior

○前場健吾\*、泉井力\*

\*関西大学工学部

MAEBA Kengo\*, IZUI Tsutomu\*

Faculty of Engineering, Kansai University

#### 1. はじめに

QC サークル活動や自主管理活動などの小集団活動を充実、活性化させるための要因を実証的に検討する。

リーダーシップはリーダーとフォロアーとの相互作用を対人的な関係の中でとらえ、いかにして成員のモチベーションを喚起するか、そしてそれによって組織のパフォーマンスを得るかというのが主眼である。すなわち、リーダーシップはリーダー側の一方的な支配やコントロールないし服従を要請するものでなく、リーダーとフォロアーとの相互作用関係として捉えるものである。このようなリーダーシップ論の影響パラダイムによれば、リーダーシップは相互作用関係によって集団成員の行動と集団活動に決定的な影響を及ぼすものである。またリーダーとフォロアーとは個人の行動の集団活動への影響度に差があるのである。

リーダーシップを影響という概念で説明するとき、フォロアーの自発性、選好の変化、革新性を引き出す程度においてパワーという概念で説明するときとは違いがある。役割の立場の違いによる影響度の差が指摘されているが、行動の差についてはほとんど分析されていない。

役割知覚における主要な研究課題は次の通りである[1]。

- (1) 小集団活動の日常行動でリーダーとフォロアーとでは行動に差があるか。
- (2) 行動に差異があるとすれば、それはどのような次元か。
- (3) フォロアーがリーダーと同等に強い行動をとるものとしてどのような次元があるか。
- (4) リーダーがフォロアーと同等に弱い行動をとるものとしてどのような次元があるか。
- (5) 行動差のある要因の活動効果への影響度は役割で相違するか。

本研究で集団内における行動の違いに注目し、役割による行動の差を分析する。

#### 2. 研究方法

実証的研究を質問紙調査法で 1983 年から 2006 年に実施した。調査では主として製造業を対象に 4～7 社からそれぞれ 30 サークルの有効回答を得た。調査対象企業の規模は大企業または中堅企業であり、部門は製造部門に限定していない。調査票は各社ともサークルリーダーとメンバーから回収された。QC サークル活動ではリーダーとフォロアーが交代することがあるが、ここではリーダー経験のないフォロアーをメンバーと呼ぶ。ここで本研究のフレームワークを図 1 に示す。ここでは、リーダーとフォロアーの違いが活性化要因の知覚差に影響し、さらに活性化要因の効果にどのように影響を及ぼすかを研究する。

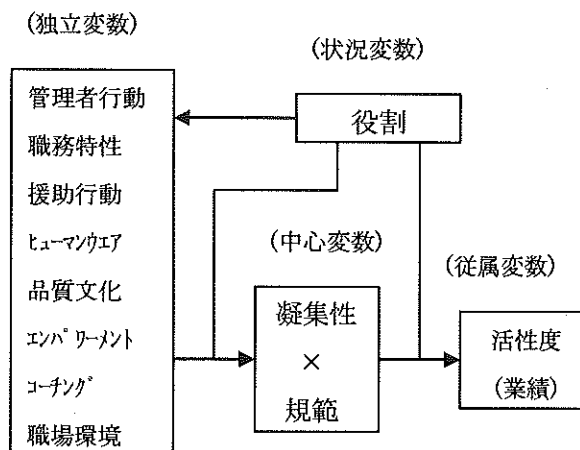


図1 研究のフレームワーク

### 3. 変数の測定

図1で示したフレームワークや上の研究課題群を検討するために以下のように各変数を測定する。

独立変数として検討してものは毎年違うが、中心変数と従属変数は一貫して同一の測定方法を用いた。ただし、中心変数や従属変数、状況変数に関連する分析は本論では一部にとどめる。

#### 3. 1. 従属変数

サークル活動の活性度を長町[2]や石川[3]に依拠して次の3変数で測定する。サークル活動の目的が企業によって異なることもあるが、次の3変数で概ね活性度を把握できるものとする。

##### 3. 1. 1. 自主性

メンバーが誰からも指示されることなく、どの程度自主的にグループ活動に参加しているかの尺度である。

##### 3. 1. 2. 職制との関係

上司とメンバーとの関係を示したものである。

##### 3. 1. 3. 成果

最近1年間の活動成果をサークルの年間提案件数、テーマ解決件数などによって計測する。

#### 3. 2. 中心変数

サークル活動の活性度の代用特性としてグループダイナミクスの知見を援用し、凝集性と規範の交互作用にて測定する

##### 3. 2. 1. 凝集性×規範

高い活性度を目指してメンバーが結集している程度である。

#### 3. 3. 状況変数

小集団活動の状況要因として業種、企業規模、所属部門を、サークルの属性として経過年数、編成人数、会合頻度を、また、サークルリーダーの特性をして性別、年齢、経験年数、仕事中心性、成長欲求などを測定したが、ここでは特に役割に注目する。

#### 3. 4. 独立変数

リーダーとフォロアーの行動を同一の測定尺度を用いて測定し、行動量の差異を分析する。

以下に調査実施年度順に従ってその測定方法の概要を示す。ただし、()内の数字は調査実施年度を示す。またここでは用紙の関係上すべての概要は書ききれないため、抜粋している。

##### a 管理者行動、圧力(1983)

管理者行動はサークルの成員から見た上司の行動を三隅[4]と蜂屋[5]に依存して3分類10項目で測定し、圧力は金井[6]などに依存して8分類を7項目で測定した。

##### b 職務特性(1985)

サークル活動が実施されているその職場がどのように職務設計されているかを調べる。田尾[7]、守島[8]などに依拠して、6分類22項目で職務特性を測定する。

##### c コミュニケーション構造(1986)

成員相互間のサークル活動におけるコミュニケーションのパターン構造と構造を特定する構造関連行動を測定する。狩野[9]などに依拠して、2項目と15項目でそれぞれ測定する。

##### d ヒューマンウェア(1993)

技術・技能の伝承現象を測定する。島田[10]を基本に寺本[11]などの組織学習を含める。9分類20項目を用いた。

##### e コーチング(2005)

伊藤[12]が提唱している、コーチングスキルを測定する。4分類22項目を用いた。

#### 4. 分析結果と考察

##### 4. 1. 小集団活動における役割による行動の差

表1 役割と環境設定における得点の分布

|    |           | 環境設定 |    |    |    |    | 合計 |
|----|-----------|------|----|----|----|----|----|
|    |           | 1    | 2  | 3  | 4  | 5  |    |
| 役割 | 1 (リーダー)  | 0    | 6  | 10 | 9  | 23 | 48 |
|    | 2 (フォロアー) | 0    | 4  | 5  | 0  | 5  | 14 |
|    | 3 (メンバー)  | 3    | 5  | 5  | 11 | 10 | 34 |
| 合計 |           | 3    | 15 | 20 | 20 | 38 | 96 |

表1は役割と環境設定における得点の分布である。これよりリーダーとメンバーの得点の分布に違いがあることがわかる。これも役割によって知覚差があることが考えられる。

表2-1 活性化要因として検討された要因に関する役割による知覚差と役割別の得点(\*:P<0.05)

| 検討した活性化要因              | 差 | Leader | Member |
|------------------------|---|--------|--------|
| <b>動機付け要因(83)</b>      |   |        |        |
| <b>管理者行動(83)</b>       |   |        |        |
| 知識技術教示                 |   | 4.14   | 4.29   |
| 課題遂行                   | * | 4.50   | 4.05   |
| 集団維持                   |   | 4.32   | 4.09   |
| <b>圧力(83)</b>          |   |        |        |
| 職務圧力                   |   | 4.62   | 4.35   |
| 質の圧力                   | * | 4.51   | 4.04   |
| 時間と質の圧力                |   | 4.55   | 4.35   |
| <b>集団内行動(84)</b>       |   |        |        |
| <b>職務特性(85)</b>        |   |        |        |
| 多様性                    | * | 3.47   | 2.55   |
| 見通し                    | * | 4.13   | 3.79   |
| 相互依存性                  |   | 3.64   | 3.58   |
| 親しくなる機会                |   | 3.82   | 3.95   |
| <b>コミュニケーション構造(86)</b> |   |        |        |
| 構造特性                   |   | 3.02   | 3.49   |
| 中心性                    | * | 3.54   | 2.80   |
| 課題特性                   | * | 3.95   | 3.73   |
| 組織発達性                  |   | 2.19   | 2.08   |
| 勢力行使性                  | * | 4.01   | 3.35   |
| <b>援助行動(89)</b>        |   |        |        |
| <b>会合雰囲気(90)</b>       |   |        |        |
| 同調                     |   | 2.29   | 2.16   |
| 啓発                     | * | 4.50   | 3.94   |
| <b>情報創造(90)</b>        |   |        |        |
| 生存領域                   |   | 3.34   | 3.13   |
| ニーズとシーズの結合             | * | 3.48   | 3.04   |
| <b>課題解決過程(90)</b>      |   |        |        |
| 情報分析                   |   | 3.43   | 3.49   |
| 尺度の明確化                 | * | 3.63   | 3.35   |
| 最終決定                   |   | 4.21   | 3.92   |

表2-2 活性化要因として検討された要因に関する

る役割による知覚差と役割別の得点(\*:P<0.05)

| 検討した活性化要因           | 差 | Leader | Member |
|---------------------|---|--------|--------|
| <b>意思決定(90)</b>     |   |        |        |
| <b>集団発達(91)</b>     |   |        |        |
| <b>集団形成(91)</b>     |   |        |        |
| <b>革新指向性規定因(92)</b> |   |        |        |
| 他職場コミュニケーション        | * | 2.73   | 2.59   |
| ミーティング定例化           |   | 2.95   | 3.03   |
| アイデンティティ            |   | 3.77   | 3.73   |
| フィードバック             |   | 3.69   | 3.80   |
| <b>集団機能(92)</b>     |   |        |        |
| <b>革新指向性(92)</b>    |   |        |        |
| <b>構造こわし(92)</b>    |   |        |        |
| <b>ヒューマンウェア(93)</b> |   |        |        |
| 問題意識                |   | 4.33   | 4.29   |
| ノウハウ                |   | 4.42   | 4.59   |
| 自己管理                |   | 3.93   | 3.83   |
| 職務構造                | * | 3.32   | 3.02   |
| 職場訓練                |   | 3.39   | 3.47   |
| 知恵授け                |   | 3.91   | 3.84   |
| 知識獲得                |   | 4.40   | 4.02   |
| 組織記憶                |   | 4.19   | 4.14   |
| 情報流通                | * | 4.00   | 4.13   |
| <b>品質文化(94)</b>     |   |        |        |
| <b>活動目的(94)</b>     |   |        |        |
| <b>品質文化(95)</b>     |   |        |        |
| 標準化                 |   | 4.30   | 4.15   |
| 品質重視                |   | 4.69   | 4.29   |
| 現場主義                |   | 4.21   | 3.62   |
| 自律性                 |   | 2.87   | 2.66   |
| 人間性尊重               |   | 4.27   | 4.07   |
| 責任分担                |   | 4.63   | 4.69   |
| 品質徹底                |   | 4.06   | 3.95   |
| <b>CS、ES(95)</b>    |   |        |        |
| 顧客満足                |   | 3.60   | 3.64   |
| 経営者の役割              |   | 4.18   | 4.10   |
| コミュニケーション           |   | 3.93   | 3.61   |
| 上下関係                |   | 4.32   | 3.98   |
| 現場の把握               |   | 2.60   | 2.51   |
| 満足感                 |   | 3.36   | 3.43   |
| <b>コーチング(2005)</b>  |   |        |        |
| 環境設定                | * | 4.04   | 3.63   |
| 承認                  |   | 4.35   | 4.46   |
| 質問                  |   | 3.86   | 4.11   |
| 傾聴                  |   | 4.14   | 3.91   |
| <b>職場環境(2006)</b>   |   |        |        |
| ビジョン                |   | 3.57   | 3.54   |
| 目標設定                |   | 4.57   | 4.57   |
| 現状把握                |   | 3.9    | 3.94   |
| コミュニケーション           |   | 3.95   | 4.17   |

表2-1、表2-2によれば、リーダーとメンバーとの間で活性化要因の知覚差が検出されたのは14次元であった。これら14次元の知覚の程度はリーダーがメンバーよりも高い得点を示し、リーダーが自らの役割を知覚したことによるものと考えられる。

表3 役割による知覚差が認められた要因のその役割別の活性化効果 (\*\*:P<0.01 \*:P<0.05)

| L:リーダー<br>M:メンバー | コーチング                     |                         |                          |                           |
|------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
|                  | 環境設定                      | 承認                      | 質問                       | 傾聴                        |
| モチベーション          | L 0.4309<br>M 0.0217 *    | L 0.0702<br>M 0.2537    | L 0.8592<br>M 0.0907     | L 0.1871<br>M 0.3084      |
| 内的満足             | L 0.0112 *<br>M 0.0902    | L 0.0162 *<br>M 0.0518  | L 0.3892<br>M 0.0528     | L 0.0081 **<br>M 0.0481 * |
| 外的満足             | L 0.7654<br>M 0.347       | L 0.7944<br>M 0.0942    | L 0.8842<br>M 0.2086     | L 0.839<br>M 0.1774       |
| 職務満足             | L 0.0369 *<br>M 0.1142    | L 0.1426<br>M 0.0522    | L 0.7325<br>M 0.0712     | L 0.1462<br>M 0.0499 *    |
| 凝集性              | L 0.009 **<br>M 0.1812    | L 0.0933<br>M 0.8754    | L 0.0965<br>M 0.0472 *   | L 0.2333<br>M 0.0185 *    |
| 規範               | L 0.3384<br>M 0.3705      | L 0.3364<br>M 0.9281    | L 0.5032<br>M 0.0451 *   | L 0.2746<br>M 0.143       |
| 凝集性*規範           | L 0.0273 *<br>M 0.3926    | L 0.2241<br>M 0.6612    | L 0.1602<br>M 0.0368 *   | L 0.2354<br>M 0.0585      |
| 自主性              | L 0.1251<br>M 0.0015 **   | L 0.2803<br>M 0.3203    | L 0.0125 *<br>M 0.0675   | L 0.0093 **<br>M 0.1835   |
| 職制との関係           | L 0.0005 **<br>M 0.0252 * | L 0.0043 **<br>M 0.4656 | L 0.0283 *<br>M 0.0464 * | L 0.0528<br>M 0.0156 *    |
| 成果               | L 0.213<br>M 0.7777       | L 0.2769<br>M 0.8787    | L 0.0953<br>M 0.6868     | L 0.4492<br>M 0.3945      |

表3は役割による知覚差が認められた要因の含まれるコーチングの影響を属性相関分析により検定したものである。これより知覚差が認められた環境設定の活性化効果は他の項目より有意な項目が多いことがわかる。そしてリーダーとメンバーとでは活性化効果に相違点があることがわかる。これから環境設定に知覚差があることが考えられる。

## 5. まとめ

本論文では小集団活動の活性化要因に関する行動がサークルリーダーとメンバーとでは行動量に差があることがわかった。また、小集団活動の活性化問題における科学的アプローチの1つの蓄積データを得た。本稿で得た主な仮説は次の通りである。

- (1) 小集団活動におけるリーダーとメンバーとの行動に差がある。
- (2) 役割は影響要因や影響要因の効果を規定する。

## 参考文献

- [1] 泉井力, 森健一: “小集団活動におけるリーダーシップの役割知覚アプローチ”, 日本経営工学会春季大会予稿集 pp260-261(1993)
- [2] 長町三生: “QCサークルの心理学” 海文堂, (1987)
- [3] 石川馨: “日本の品質管理—TQCとは何か” 日科技連出版社, (1981)
- [4] 三隅二不二: “リーダーシップ行動の科学”, 有斐閣(1978)
- [5] 蜂屋義彦: “リーダー行動と部下の反応との関係に影響を与える状況要因について.” 実験社会心理学研究, pp. 17-24, 第巻号, (1981)
- [6] 金井壽宏: “組織におけるリーダーシップと期待理論”, 国民経済雑誌, pp. 66-93, Vol. 143, No. 6, (1981)
- [7] 田尾雅夫: “課業の複雑さと内的動機付けの関係の及ぼす対人関係変数の仲介効果について”, 心理学研究, pp. 15-21, 第55巻1号, (1984)
- [8] 守島基博: “組織内ネットワーク分析—職務再設計論との関連で—”, 昭和60年度組織学会研究発表大会報告要旨, pp. 11-14, (1985)
- [9] 狩野素朗: “コミュニケーション・ネットワーク研究における理論的諸立場の整理”, 実験社会心理学研究, pp78-91, 第14巻1号(1974)
- [10] 島田靖雄: “ヒューマンウエアの経済学”, 岩波書店(1988)
- [11] 寺元義也, 中西晶, 土谷茂久, 竹田昌弘, 秋沢光: “学習する組織—近未来型組織戦略”, 同文館(1993)
- [12] 伊藤守: “コーチングマネジメント” Discover(2002)

# カテゴリー情報を考慮したクラスター分析に基づく協調フィルタリング

## Collaborative Filtering Based on Cluster Analysis Considering Categorical Information

本多克宏\*, ○荒木博道\*\*, 市橋秀友\*, 野津 亮\*

\*大阪府立大学大学院工学研究科 \*\*大阪府立大学工学部経営工学科

HONDA Katsuhiko\*, ARAKI Hiromichi\*\*, ICHIHASHI Hidetomo\*, and NOTSU Akira\*

\*Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University

\*\*Department of Industrial Engineering, Osaka Prefecture University

### 1 はじめに

ユーザやコンテンツ間の関連をもとに個人に特化した推薦コンテンツを探索する協調フィルタリング<sup>1)</sup>では、ユーザが多くのコンテンツを評価した評価値行列が与えられた際に、未評価のコンテンツのうちで高い評価値が得られると期待されるものを探索して推薦することが目的となる。したがって、評価値行列中の未評価値(欠側値)を予測する問題ともとらえられる<sup>2)</sup>。

線形ファジィクラスターリングで得られる局所的な線形モデルを協調フィルタリングにおける未評価値の予測問題に適用する研究がなされている<sup>3), 4)</sup>。本多らは、Fuzzy  $c$ -Varieties (FCV) 法<sup>5)</sup>のクラスターリング基準を要素ごとの近似に基づく最小 2 乗基準で定義することにより、欠側値の取り扱いを可能とし、近似行列の要素を用いた未評価値の推定法を提案している<sup>3), 4)</sup>。

従来の手法では、ユーザによる評価値のみを考慮して未評価値を予測していたが、ユーザはいくつかのカテゴリーに所属しており、カテゴリー情報を予測に反映させることで精度を改善できる可能性もある。そこで本研究では、多くの情報の中からユーザの嗜好に合ったものを選別する協調フィルタリングにおいて、ユーザの所属カテゴリーに関する情報を加味した嗜好度合いの予測モデルを提案し、映画推薦システムで収集されたデータにより、有効性を検証する。

### 2 線形ファジィクラスターリングを用いた協調フィルタリング

$n$  人のユーザが  $m$  個のコンテンツを評価した  $(n \times m)$  データ行列  $X = \{x_{ij}\}$  が与えられたときに、 $n$  人のユーザの特徴をよく表す線形モデルを推定し、未評価値

を予測する問題を考える。

Bezdek らの FCV 法<sup>5)</sup>は互いに独立な  $p$  本の単位ベクトル  $a_{c1}, \dots, a_{cp}$  により張られる線形多様体を第  $c$  クラスターのプロトタイプとし、プロトタイプからの距離の総和が最小となるクラスター分割を得る手法であり、以下の目的関数の最小化がはかられる。

$$L_{fcv} = \sum_{c=1}^C \sum_{i=1}^n u_{ci}^\theta \left\{ (\tilde{x}_i - b_c)^T (\tilde{x}_i - b_c) - \sum_{k=1}^p a_{ck}^T R_{ci} a_{ck} \right\} \quad (1)$$

$R_{ci} = (\tilde{x}_i - b_c)(\tilde{x}_i - b_c)^T$  (2)  
 $\tilde{x}_i$  は第  $i$  ユーザの評価値ベクトルであり、 $b_c$  は第  $c$  クラスターの中心を表す。 $u_{ci}$  は第  $i$  ユーザの第  $c$  クラスターへの所属度合いを表すメンバシップで、

$$\sum_{c=1}^C u_{ci} = 1, \quad i = 1, \dots, n \quad (3)$$

を満たすものとする。 $\theta$  はメンバシップのファジィ度を定める定数である。 $a_{ck}$  は一般化されたファジィ散布行列の固有ベクトルとなり、局所的な主成分ベクトルともみなされる<sup>6)</sup>。

一方、クラスターごとに  $p$  個の潜在変量を用いて  $X$  を低階数近似する問題と捉えることで、(1)式は、

$$L_{fcv} = \sum_{c=1}^C \text{tr} \left\{ (X - Y_c)^T U_c^\theta (X - Y_c) \right\} \quad (4)$$

のように書き換えられる<sup>3)</sup>。ただし、 $U_c$  は  $(n \times n)$  対角行列  $U_c = \text{diag}(u_{c1}, \dots, u_{cn})$  であり、 $\text{tr}$  は行列の対角の和(トレース)を表す。 $Y_c = \{y_{cij}\}$  は第  $c$  クラスターにおける  $X$  の低階数近似行列であり、主成分得点からなる  $(n \times p)$  成分得点  $F_c = \{f_{cij}\}$  と局所的



な主成分ベクトルを並べた  $(m \times p)$  主成分行列  $A_c$  を用いて,  $Y_c = F_c A_c + I_n b_c^T$  のように表せるものとする. ただし,  $I_n$  はすべての要素が 1 の  $n$  次元ベクトルである.

要素ごと近似の性質を利用して, 本多ら<sup>3), 4)</sup> は欠測値やノイズを処理するための目的関数を, 以下のように定式化している.

$$L_{rfce} = \sum_{c=1}^C \sum_{i=1}^n u_{ci} \sum_{j=1}^m w_{cij} \left\{ \alpha \left( x_{ij} - \sum_{k=1}^p f_{cik} a_{ckk} - b_{cj} \right)^2 + (1-\alpha)(x_{ij} - b_{cj})^2 \right\} \quad (5)$$

$w_{cij}$  は  $X$  の  $i$  行  $j$  列の要素  $x_{ij}$  に対する重みを表す. 欠測値の処理が目的の場合は,  $x_{ij}$  が観測されていれば  $w_{cij} = 1$ , 欠測値の場合は  $w_{cij} = 0$  として対応する 2 乗誤差が無視される<sup>3)</sup>. (5) 式の目的関数では, 線形多様体からの距離だけでなくクラスター中心からの距離も考慮するために, クラスター中心(点)をプロトタイプとする Fuzzy  $c$ -Means (FCM) 法<sup>5)</sup> の目的関数との線形結合が用いられており, Fuzzy  $c$ -Elliptotypes (FCE) 法<sup>5)</sup> の発展となっている.  $\alpha$  が主成分分析と FCM 法との優先度を定める係数であり,  $\alpha$  が 1 に近づくにつれて局所的な主成分の抽出を重視して, 主成分軸の方向に広がりをもつ形状のクラスターとなる. ただし, 唯一の解を得るために,

$$F_c^T U_c F_c = I, \quad c = 1, \dots, C \quad (6)$$

$$F_c^T U_c I_n = \mathbf{0}, \quad c = 1, \dots, C \quad (7)$$

$$\sum_{c=1}^C u_{ci} = 1, \quad i = 1, \dots, n \quad (8)$$

および,  $A_c^T A_c$  が対角行列となる制約条件を付加する.

(5) 式の目的関数を最小とするパラメータを決定する際には, 標本データ中に要素ごとの欠測値が含まれているために, FCV 法のようにファジィ散布行列の固有値問題に帰着させることができないため, 交互最小 2 乗法に基づいて最適化が行われる. 最適性の必要条件から, それぞれのパラメータの更新則は, 以下のように求められる.

$$\tilde{a}_{cj} = (F_c^T U_c^q W_{cj} F_c)^{-1} F_c^T U_c^q W_{cj} (x_j - I_n b_{cj}) \quad (9)$$

$$b_{cj} = (I_n^T U_c^q W_{cj} I_n)^{-1} I_n^T U_c^q W_{cj} (x_j - \alpha F_c \tilde{a}_{cj}) \quad (10)$$

$$\tilde{f}_{ci} = (A_c^T \tilde{W}_{ci} A_c)^{-1} A_c^T \tilde{W}_{ci} (\tilde{x}_i - b_c) \quad (11)$$

$$u_{ci} = \left[ \sum_{j=1}^m \left( \frac{d_{ci}^2}{d_{hj}^2} \right)^{\frac{1}{\theta-1}} \right]^{-1} \quad (12)$$

$$d_{ci}^2 = \alpha (\tilde{x}_i - A_c \tilde{f}_{ci} - b_c)^T \tilde{W}_{ci} (\tilde{x}_i - A_c \tilde{f}_{ci} - b_c) + (1-\alpha) (\tilde{x}_i - b_c)^T \tilde{W}_{ci} (\tilde{x}_i - b_c) \quad (13)$$

ただし,  $\mathbf{x}_j = (x_{1j}, \dots, x_{nj})^T$ ,  $A_c = (\tilde{a}_{c1}, \dots, \tilde{a}_{cm})^T$ ,

$F_c = (\tilde{f}_{c1}, \dots, \tilde{f}_{cn})^T$ ,  $W_{cj} = \text{diag}(w_{c1j}, \dots, w_{cmj})$

および  $\tilde{W}_{cj} = \text{diag}(w_{c1j}, \dots, w_{cmj})$  である.

局所的な線形モデルが推定されると, それらを用いて未評価値を予測することができる<sup>3), 4)</sup>. 線形モデルの推定に用いられたユーザについては, メンバシップが最大となるクラスターにおいて, データの欠測値に対応する低階数近似行列中の要素の値を未評価値の推定値とする.

### 3 カテゴリー情報を考慮したクラスター分析に基づく協調フィルタリング

FCV 法をデータベースが名義変量を含む場合に拡張する手法が上杉ら<sup>7)</sup> によって提案されている.

おのおの  $K_j$  個のカテゴリーからなる質的な観測値が  $n$  個の標本データについて得られたとすると, 第  $j$  変量 (項目) に関する観測値は 2 値変量  $g_{jk}$  を用いて  $(n \times K_j)$  ダミー変数行列  $G_j = \{g_{jk}\}$  で与えられる. また, 第  $i$  個体の第  $j$  変量は観測値ベクトル

$\mathbf{g}_{ij} = (g_{i1}, \dots, g_{iK_j})^T$  により表される.

以下では,  $n$  個の標本データに関する  $m$  種類の観測値が得られた際に, はじめの  $(m-q)$  個が数値的変量であり, 残りの  $q$  個が名義変量であるとする.

名義変量の最適変換の手法と FCE 法を考慮することで, 最小 2 乗基準を用いた線形ファジィクラスタリングの目的関数を以下のように定義する.

$$L_{f_{ceos}} = \sum_{c=1}^C \sum_{i=1}^n U_{ci}^{\theta} \left\{ \alpha \left( \sum_{j=1}^{m-q} w_{cij} \left( x_{ij} - \sum_{k=1}^p f_{cik} a_{cjk} - b_{cj} \right)^2 \right. \right. \\ \left. \left. + \sum_{j=m-q+1}^m \left( g_{ij}^T q_j - \sum_{k=1}^p f_{cik} a_{cjk} - b_{cj} \right)^2 \right) \right. \\ \left. + (1-\alpha) \left( \sum_{j=1}^{m-q} (x_{ij} - b_{cj})^2 + \sum_{j=m-q+1}^m (g_{ij}^T q_j - b_{cj})^2 \right) \right\} \quad (14)$$

ここでは、 $g_{ij}^T q_j$  が名義変量  $g_{ij}$  の数量化に相当し、最適変換<sup>8)</sup>に基づいて数量的得点ベクトル  $q_j$  を求める。最適性の必要条件から、数量的得点ベクトルは以下のように更新される。

$$q_j = \left( G_j^T \left( \sum_{c=1}^C U_{ci}^{\theta} \right) G_j \right)^{-1} \left( \sum_{c=1}^C G_j^T U_{ci}^{\theta} (\alpha F_c \tilde{a}_{cj} + I_n b_{cj}) \right) \quad (15)$$

ただし、唯一の解を得るために、以下の制約条件を付加する。

$$I_n^T G_j q_j = 0 \quad (16)$$

$$\frac{1}{n} q_j^T G_j^T G_j q_j = \sigma^2 \quad (17)$$

(16)式は、数量化された名義変量の平均を0とするためのものである。また、(17)式における  $\sigma^2$  は分散パラメータであり、 $\sigma^2$  が大きいほど名義変量を重視した分析が行われる。

(14)式において、 $q_j$  を暫時既知として固定した場合には  $g_{ij}^T q_j$  を第  $j$  変量  $x_{ij}$  とみなすことにより、2章の更新則(9)–(13)式が適用でき、交互最小2乗法に基づく繰り返しアルゴリズムに、最適変換のステップを組み込んだものとなる。

## 4 数値実験

### 4.1 実験データと評価尺度

協調フィルタリングシステムとしての推薦能力の検証のために、MovieLens 映画推薦システムの web サイト<sup>9)</sup> で公開されているデータを用いて実験を行った。本実験ではデータに内在する共分散構造を考慮するために、各映画が少なくとも50人以上から評価され、かつ、各ユーザが少なくとも20種類の映画を評価している条件を満たすように、874人のユーザと598種類の映画を選び、計82,275件の評価値のみを用いた。

5CV法による比較の際の基準としては、予測モデル

としての性能を比較するためのMAE（平均絶対誤差）とVAR（絶対誤差の分散）、推薦器としての性能を比較するためのROC<sup>2)</sup>を用いた。ここでは、実際の評価値が4以上であったものを推薦すべき映画をみなし、4以上の評価値に3.5以上の予測値を与えた割合をROC-4と定義した。

### 4.2 カテゴリー情報

ユーザのカテゴリー情報から、性別、年代、職業の3種を使用して実験を行った。性別は男性、女性の2つに分類した。年代は10代、20代、30代、40代、50代以上の5つに分類した。職業に関しては、15人以下の6つの職業はすべて「その他」に分類し、全15種の職業をカテゴリーデータとした。

### 4.3 実験結果

名義変量（カテゴリー情報）の重要度（分散  $\sigma^2$ ）を1にして、カテゴリー情報を考慮しない場合、性別、年代、職業のそれぞれのカテゴリーを考慮した場合、さらに3つのカテゴリーから2つを考慮した3通りの場合、すべてのカテゴリーを考慮した場合の実験を行った。さらに重要度を0.5、1.5、3.0にして同様の実験を行い、重要度による予測精度の変化を調べた。収束条件は、 $\varepsilon = 0.0001$ とした。重要度1のときの推定精度の比較結果を表1に示す。

表1 重要度1のときの推定精度の比較

|       | MAE      | VAR      | ROC-4    |
|-------|----------|----------|----------|
| なし    | 0.725034 | 0.331158 | 0.788173 |
| 性別    | 0.727143 | 0.332133 | 0.786423 |
| 年代    | 0.727000 | 0.332171 | 0.786588 |
| 職業    | 0.727775 | 0.332378 | 0.785645 |
| 性別+年代 | 0.725269 | 0.331134 | 0.788607 |
| 性別+職業 | 0.725500 | 0.331119 | 0.788831 |
| 年代+職業 | 0.725442 | 0.331112 | 0.788583 |
| 3種すべて | 0.726695 | 0.332203 | 0.787642 |

表1より、2種のカテゴリー情報を考慮した3通りの場合には、従来のカテゴリーデータを考慮しない場合に比べて、VARとROC-4は良好な値となった。MAEが若干増加しているが、それ以上にROC-4が増加しているため、推定精度は改善されたといえる。ただし、カテゴリーを1種だけ考慮した場合と3種すべて考慮した場合においては、推定精度が下がっ

た。よって、2種のカテゴリーを考慮する場合は、重要度1は適当な値であったが、その他の場合には、重要度を1よりも大きくする（あるいは小さくする）必要があると考えられる。重要度を変更することによる推定精度の変化の例として、性別を考慮した場合の重要度1と3のときの比較を表2に示す。

表2 性別を考慮した場合の重要度による比較

|       | 重要度1     | 重要度3     |
|-------|----------|----------|
| MAE   | 0.727000 | 0.727125 |
| VAR   | 0.332171 | 0.332553 |
| ROC-4 | 0.786588 | 0.788714 |

表2では、重要度を3にすることで、重要度1のときよりも、ROC-4が上昇し、カテゴリーを考慮しない場合よりも高い値になった。よって、考慮するカテゴリーが1つの場合でも、重要度を適切に選択することで、推薦器としての性能が上がるといえる。ただし、MAE, VARはいずれも若干増加し、予測精度は下がった。表2の場合に限らず、重要度を大きくすると、MAEとVARが増加する傾向が見られた。これはユーザのカテゴリー情報を過度に考慮すると、予測値がカテゴリーデータに大きく依存し、元来の未評価値の推定という目的から離れていくためだと考えられる。

以上のことから、重要度を適切に選択することで、カテゴリー情報を考慮しない場合よりも推薦器としての性能が向上することが分かった。ただし、重要度によっては、予測精度 (MAE, VAR) が下がる場合もある。

## 5 おわりに

本研究では、従来は数量データしか考慮されていなかった協調フィルタリングにおいて、ユーザの所属カテゴリー情報を考慮する拡張手法を提案した。実験では、カテゴリー情報を考慮することで、推定精度を若干ではあるが改善できることが分かった。今後の課題としては、さらなる改善のために、データとより関わりのあるカテゴリー情報を見つけること、あるいは、カテゴリーの分類の仕方を変えることによって改善を目指すことなどが挙げられる。

なお、本研究の一部は科学研究費補助金(17700240)の助成に基づいて行われたものである。

## 参考文献

- 1) J. A. Konstan, B. N. Miller, D. Maltz, J. L. Herlocker, L. R. Gardon and J. Riedl: GroupLens: applying collaborative filtering to usenet news; *Communications of the ACM*, Vol. 40, No. 3, pp. 77-87 (1997)
- 2) J. L. Herlocker, J. A. Konstan, A. Borchers and J. Riedl: An algorithmic framework for performing collaborative filtering; *Proc. of Conference on Research and Development in Information Retrieval* (1999)
- 3) K. Honda, N. Sugiura, H. Ichihashi, and S. Araki: Collaborative filtering using principal component analysis and fuzzy clustering; *Web Intelligence: Research and Development*, LNAI2198, Springer, pp. 394-402 (2001)
- 4) K. Honda and H. Ichihashi: Component-wise robust linear fuzzy clustering for collaborative filtering; *Int'l J. Approximate Reasoning*, Vol. 37, No. 2, pp. 127-144 (2004)
- 5) J. C. Bezdek: *Pattern Recognition with Fuzzy Objective Function Algorithms*, Plenum Press (1981)
- 6) K. Honda and H. Ichihashi: Regularized linear fuzzy clustering and probabilistic PCA mixture models; *IEEE Trans. Fuzzy Systems*, Vol. 13, No. 4, pp. 508-516 (2005)
- 7) 上杉, 本多, 市橋, 野津: 線形ファジィクラスタリングに基づく混合データベースの局所的な主成分分析; 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol. 19, No. 3, pp. 287-298 (2007)
- 8) F. W. Young, Y. Takane and J. de Leeuw: Principal components of mixed measurement level multivariate data: an alternating least squares method with optimal scaling features; *Psychometrika*, Vol. 43, pp. 279-281 (1978)
- 9) MovieLens Web Page <http://www.movielens.org>

## 許容範囲測定法

### A measuring method of permissible range

○山本紗知恵, 富永彩容子, 山岡俊樹

和歌山大学システム工学部

YAMAMOTO Sachie, TOMINAGA Sayoko, YAMAOKA Toshiki  
Faculty of Systems Engineering, Wakayama University.

#### 1. はじめに

従来「スイッチの高さ」等の設計を行う際、「様々な制限からあと 5 cm 数値をあげたいが、ユーザにとって問題はないか」という疑問が生じる場合がある。このような場合、従来適当に寸法を決めていたが、その根拠がない。エンジニアやデザイナーにとって、ある限定した値ではなく、最適な範囲を知る方が設計作業を行う際、非常に有効である。

そこで今回、許容範囲測定法を考案したので、最適な範囲を求める方法を紹介する。

#### 2. 方法

##### (1)実験参加者の選定

身長や体重など、設計する際に必要な体の部位の数値から、代表として男性の 95 パーセンタイル値に相当する人、女性の 5 パーセンタイル値に相当する人に限定する<sup>1)</sup>。

##### (2)実験参加者の数

実験参加者の数は計測する対象により変える。

###### ① データにばらつきが無い場合

壁面に設置されたスイッチの最適な高さの範囲を求める場合など、人間の骨格の制約などから、それほどデータにばらつきが無いと考えられる場合は、実験参加者はそれぞれ 1 名ずつでもいい。

###### ② データにばらつきがある場合

文字の見易さなどかなり主観に依存する場合、実験参加者はそれぞれ 5 名以上欲しい。この場合、教示を厳密に行うとばらつきを低減することができる。

##### (3)比較刺激の提示

実験参加者に、実験者が用意した比較刺激全てを一

度提示し、どのような刺激があるのかを知ってもらう。これは、あらかじめ刺激を体感してもらうことで、より正確に実験参加者の許容範囲を求めること、直感的に判断する可能性を防ぐことを目的として行う。このとき用意する刺激は、実際の製品の設計時に利用できる程度の範囲で十分である。

##### (4)実験参加者ごとの最適刺激範囲を求める

実験参加者にあらためて刺激を比較してもらいながら、自分が最適だと思う刺激の範囲を決定してもらう。このとき、体感する刺激の順は実験参加者自身が決めることができ、何度でも繰り返し体感することができるものとする。じっくり吟味し、最適な刺激範囲を決定してもらうことが重要である。

##### (5)最適刺激範囲を求める

実験を行った実験参加者それぞれの許容範囲が重なった範囲が、全体の許容範囲となる。

##### (6)外れ値の取り扱い

ある実験参加者の許容範囲だけが全体の許容範囲に含まれないということもあり得る。この場合、その例外の基準は絶対ではないが、以下のように考える。

① 一目見て極端にずれている数値は外れ値とする。

② 上限、下限の平均値と標準偏差を求め、平均値  $\pm 2 \times$  標準偏差より大きく離れる数値を外れ値とする。

外れ値の判定は機械的に行うのではなく、データの深読みが大事である。例外とするならば、その範囲は無視して全体の許容範囲を求める。

### 3. 実験例

今回は、住宅用手すりの太さ(直径)に関する許容範囲の決定を行った。本実験では実験参加者が、どこまでなら住宅用手すりとして許されるか、といった上下の限界範囲を決定することを目的とした。

実験の条件を「条件1: 軽く手を添える場合」と「条件2: ある程度の体重をかけて使用する場合」の二つに設定し、それぞれの許容範囲を求めた。

#### (1)方法

実験参加者は、指長と手掌長<sup>2)</sup>を合計したもののデータにおいて女性の5パーセンタイル値に近い人3人(グラフでは(小)と記載)、男性の95パーセンタイル値に近い人3人(グラフでは(大)と記載)の計6人を選定し、それぞれ2つの条件について実験を行った。

手すりの太さは全部で8種類(直径mm:27.5, 30.0, 32.5, 35.0, 37.5, 40.0, 42.5, 45.0)用意し、配置する高さは800mm<sup>3) 4)</sup>とした。

実験参加者には「どこからどの範囲までなら手を添える場合の手すりとしてぎりぎり許せますか」と尋ね、手すりに触れてもらいながら範囲を決定してもらった。条件2も同様にして行った。

#### (2)結果

条件1: 軽く手を添える場合

図1に示すように6人の共通の許容範囲は35.0~40.0mmだった。手の大きい実験参加者と小さい実験参加者とは、許容範囲にほとんど差はなかった。

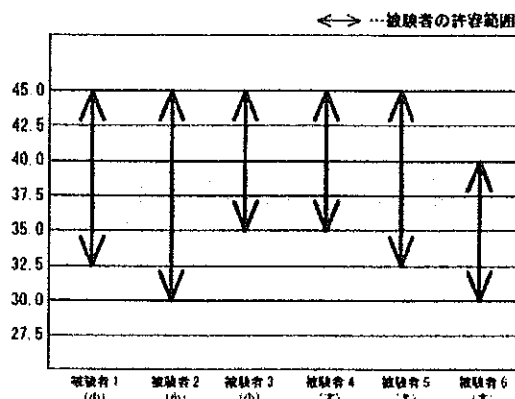


図1 手を添える場合

条件2: ある程度の体重をかけて使用する場合

図2に示すように6人の共通の許容範囲は37.5~40.0mmだった。条件1と比べると許容範囲は狭くな

ったが、手の大きい実験参加者と小さい実験参加者とは特に大きな差はなかった。

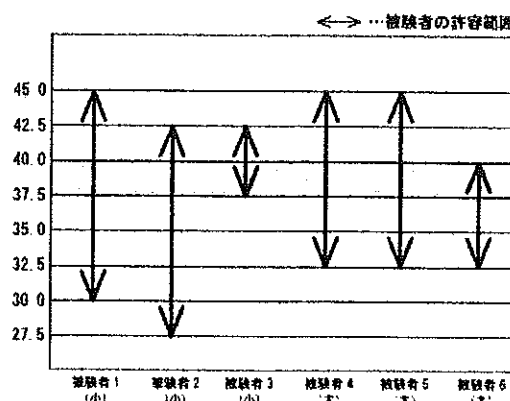


図2 ある程度体重をかける場合

#### (3)考察

条件1, 2を共に満たすような用途での手すりの太さの許容範囲は、それぞれの結果の共通範囲から37.5~40.0mmと求められた。

許容範囲を判定する上で、今回の実験では各実験参加者が決めた許容範囲がうまく重なって全体の許容範囲を求めることができた。

#### 4. まとめ

従来、主観評価などにより決めた数個の条件に対し、生理的方法などにより最適な条件を選定する場合が多い。しかし、そもそもこのような方法による特定した結果の妥当性に疑問が残る。これに対して、許容範囲測定法は、操作上許容できる上限と下限の範囲を求める方法で、扱いが容易なので誰でも行うことができるメリットもある。

#### 参考文献

- 1) 山岡俊樹 編著: 人間工学講義, pp.219-221, 武蔵野美術大学出版局 (2002).
- 2) 航空医学実験隊: 航空自衛隊の身体計測値 装備品等設計のための人間工学的資料 (1988).
- 3) 島啓史, 大島辰夫, 宇野英隆: 高齢化社会に対応する手すりに関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.673-674 (1995).
- 4) 今村恒一, 大須賀義裕, 三上史明: 住宅における手すり効果に関する人間工学的検証, pp.32-38, No.69, 松下電工技報 (1999).

## サービスの概念に対応した画面デザインの原則の提案

### Proposal of GUI design principle according to the concept of service

○吉田真由子\*, 山岡俊樹\*\*

\*和歌山大学大学院システム工学研究科      \*\*和歌山大学

YOSHIDA Mayuko\*, YAMAOKA Toshiki\*\*

\* Graduate School of Systems Engineering, Wakayama University, \*\* Wakayama University.

## 1 はじめに

近年、サービス化社会への転換と共に、サービスの提供方法の自動化が急激に進んでいる。顧客が自ら機器を操作しサービスを受けるセルフ型サービスである。

例えば、セルフレジやセルフガソリンスタンド、航空機のチェックインなどは自動化が進んでいる。

従って顧客操作型端末の画面デザインが、顧客の満足度を左右するサービスと顧客との重要な接点となる。従来のエルゴノミクスの視点をふまえ、さらに顧客への“効果”を考えなければならない<sup>[1]</sup>。

今後、サービス分野における顧客操作型端末の画面デザインは、端末が扱うサービスの特徴を理解し、従来、従業員（人）の行ってきた提供方法を的確に画面上へ反映しなければならない。

そこで本研究は、サービスと操作画面との関係を調査し、サービスの概念に対応した画面デザインを行うための指標となる原則モデルの提案を行う。

## 2 サービス・コンセプトの分類（調査1）

## 2.1 調査目的・方法

顧客がサービスごとに重要だと思う項目が何か探るため、アンケート調査を行った。顧客の体験から 18 種のサービスそれぞれについて、あらかじめ用意した項目の中から重要だと思うものにチェックをしてもらった。被験者社会人 61 名を対象に行った。

## 2.2 調査結果・考察

得られたデータに対して、コレスポンデンス分析とクラスター分析を行った。結果、サービスには3つの属性があることがわかった。

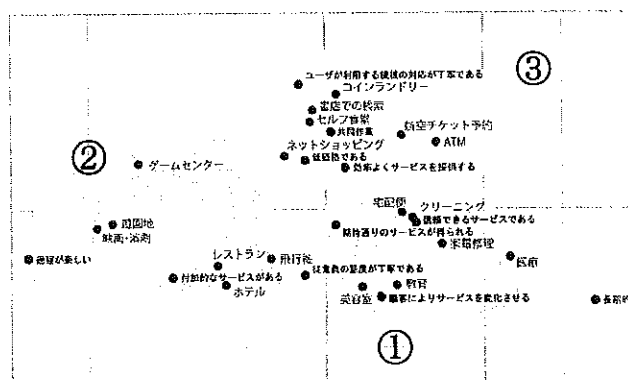


図1：分析結果を重ねたマッピング図

①「信頼性」重視グループ：信頼性と期待どおりのサービスを得られるかを重視。顧客によりサービスを変化させる個別性も求められる。長期的な関係性が望ましく、医療や教育、美容などのサービスが属する。

②「エンタテイメント性」重視グループ：その場・その時といった、サービス過程でのユーザの体験を重視し、雰囲気や、付加的サービスが重要である。さらに、従業員が丁寧であるなど、顧客が主役のサービス提供が求められる。遊園地やレストラン、ホテルなどが含まれる。

③「効率性」重視グループ：時間間隔と利便性が重視される。つまり、サービス提供の迅速性や、効率性が重要となる。また、価格面も重視される。このグループにはＡＴＭやセルフ食堂などが含まれる。

### 3 サービス・コンセプトの特徴の把握（調査2）

### 3.1 調査目的・方法

調査1で分類した各属性のグループについて、さらに詳しい特徴項目を抽出するため、各グループの



この図より、画面デザインの構成要素には、サービス全体に必要なという項目と、「信頼性」「エンタテイメント性」「効率性」それぞれのグループに（または2つのグループで）必要だといえる項目があることがわかった。また、現状の画面デザインでは、表現しきれていない項目もあることが分かった。例えば、「顧客が主役」とであるという効果をあたえる表現方法である。

この結果を、嶋口<sup>[2]</sup>の本質サービス（機能）と表層サービス（機能）の視点から考察する。

本質サービス（機能）とは、顧客が当然受けると期待しているサービスである。一方、表層サービス（機能）とは、必ずしも受けることが当然という訳ではないが、あれば顧客の満足度がより一層高まるものである。例えば、レストランで美味しい食事を客に提供することは当然であるが、誕生日を従業員が共に祝い、特別なデザートをプレゼントすることは、なくてもよいが、あれば顧客が喜ぶサービスである。

従って結果から、サービス全体に必要なと言える項目が本質サービスであり、それらに対して顧客は当然と思い期待している各属性共通の項目だと言える。次に、各グループで必要だと思われる個別の項目は顧客の満足度をより高める可能性のある表層サービスとして捉えることができる。つまり、これらの点に留意しデザインを行えば、サービスの概念に対応し差別化された、顧客満足度の高い画面デザインが行えると言える。

## 5 画面デザインの原則の作成

### 5.1 画面デザインの基本構造モデル

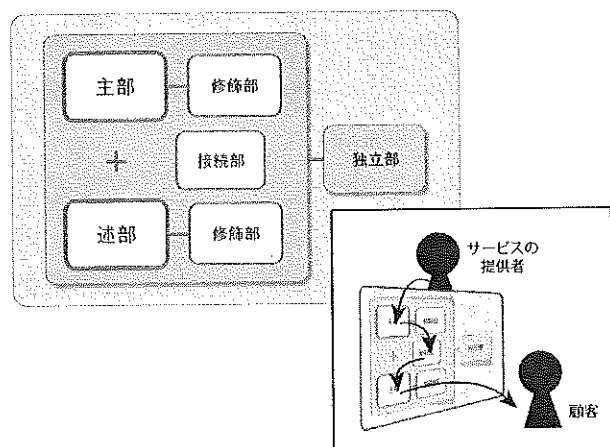


図3：画面デザインの基本構造モデル

表3：基本構造モデル各要素の役割

|     |                                          |
|-----|------------------------------------------|
| 主部  | サービスを提供する提供者。                            |
| 修飾部 | サービス提供者個性を表現する。                          |
| 接続部 | サービスの提供者と、提供するサービスを繋ぐ。提供者の姿勢や内容、質を明確化する。 |
| 述部  | サービスの内容、活動そのもの、ユーザの目標。                   |
| 修飾部 | サービスの手順や流れを提示、ナビゲートする。                   |
| 独立部 | メイン内容とは切り離せる独立した部分。                      |

以上の結果に基づいて、画面デザイン原則を作成した。この原則は、下村<sup>[3]</sup>の記号論に基づいた画面の構造のモデルをベースにして、画面デザイン全体を文の様に捉えた、サービスを扱う顧客操作型端末における画面デザインの基本構造モデルとして本研究で定義した(図3,表3参照)。

このように、サービスの提供者が、提供するサービスをコンセプトに沿って顧客の操作する端末の画面上に的確に文のようにデザインすると、顧客はそれらの情報を画面から読み取り、サービスを受けた後の効果につながる。

### 5.2 各サービス属性に対応する原則モデル

原則の基本構造モデルについて、属性それぞれに適した効果を与える画面デザインの原則モデルを作成するため、これまでの調査の結果と考察に基づき、各属性で重要視されと思われる構造モデルの各要素の、ウエイト付けを行った(次項図4)。

これらモデルを画面デザインの指標として利用することで、属性に対応した画面デザインができると言える。さらに、4.2で述べた構造化の図をあわせると、各属性におけるデザインのポイントが分かる。

### 5.3 原則モデルの概要

①信頼性重視の場合、接続部を重視する。つまり、サービス提供者と提供するサービスをうまく繋ぎ、確信性の高いデザインを行えば信頼性を得ることができる。例えば、サービス内容や質に関する情報を積極的かつ正確に顧客に提示すれば、顧客は商品や



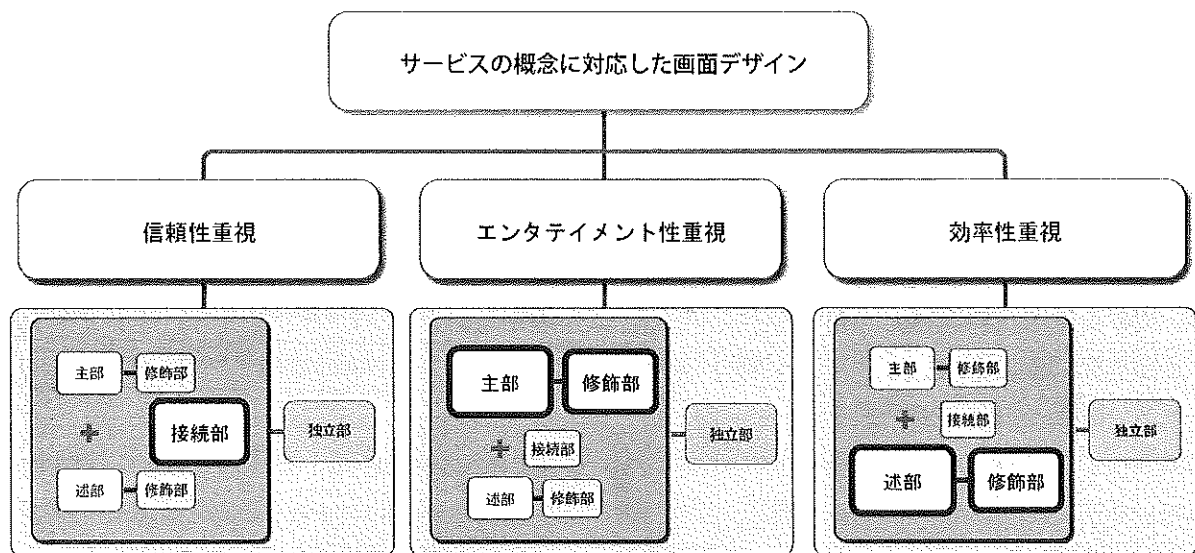


図4：サービスの概念に対応した画面デザイン原則の概観

サービスの選択・決定をする場面で、安心して行える指標になると思われる。

②エンタテインメント重視の場合、主部とその修飾部を重視する。提供者の個性を強調した表現を行うことで、世界観や雰囲気作りに繋がり、顧客がサービスを受ける過程（端末を操作する過程など）の体験重視の設計を目指す。触れてみたくなるインタフェースや、好奇心をそそられるような記憶に残る画面デザインをする効果的と思われる。

③効率性重視の場合、述部とその修飾部を重視したデザインを行う。顧客はサービスの結果を重視するため、いかに迅速に効率的に操作を行うことができるかがポイントである。目標までのナビゲートや、的確な指示、流れや手順の視覚化を行うとスムーズに操作できると思われる。

## 6 おわりに

本研究では、サービスの観点から画面デザインを捉え、顧客操作型端末においてサービスの概念に対応した画面デザインをするための指標となる原則の提案を目的とした研究を行った。サービスには3つの属性があることが分かった。

また、現状の画面デザインから、どの要素が顧客（ユーザ）にどのような効果を与えるか調べることで、画面デザインとサービスとの関係性を見ることができた。

この原則は、デザインプロセスの可視化の前段階、情報の構造化において利用することができる。デザイナーはこの原則モデルを使用することで、扱うサービスの属性から、どのような点に留意し、デザインをすれ

ばよいか、方針を立てることができる。

しかし今回提案した原則は概観的であり、画面デザインの表現と顧客（ユーザ）への効果の関係性についても、実証されていない。

従って今後の課題として、より詳細な顧客への効果と画面デザインの関係性の分析を行い、実際に可視化し実証実験を行うことで、原則を確立させる必要がある。

## 参考文献

- 1) Jeffrey.F.Rayport、Bernard.J.Jaworski、中瀬英樹（訳）：インタフェース革命、ランダムハウス講談社、P193-241、2006
- 2) 嶋口充輝：顧客満足型マーケティングの構図、有斐閣、P64-73、1994
- 3) 下村千草：ヴィジュアルデザイン、講座 記号論3 “記号としての芸術”、勁草書房、P229-234、1982

# C 会場 一般セッション

会場：1B-38 (B5 棟 1 階)

---

- 10:00 ～ 10:50 操作・作業  
座長：藤原 義久 (三洋電機(株))
- 11:00 ～ 11:50 視覚Ⅰ  
座長：小谷 賢太郎 (関西大学)
- 14:20 ～ 15:10 視覚Ⅱ  
座長：大森 正子 (神戸女子大学)
- 15:20 ～ 16:10 触覚  
座長：萩原 啓 (立命館大学)
- 16:20 ～ 16:53 脳機能  
座長：村井 康二 (神戸大学大学院)

## 浴室における掃除の負担評価と洗浄装置の効果検証

## Comparative study of stress with ordinary cleaning and using auto-cleaning equipment in a bathroom unit

○横山精光\*, 塩川満久\*\*, 大塚彰\*\*, 山岡俊樹\*\*\*

\*松下電工株式会社 \*\*県立広島大学 \*\*\*和歌山大学

YOKOYAMA Seiko\*, SHIOKAWA Mitsuhsa, OTSUKA Akira\*\*, YAMAOKA Toshiki\*\*\*

\*Matsushita Electric Works Ltd., \*\* Prefectural University of Hiroshima, \*\*\*Wakayama University

## 1 はじめに

住宅における清掃行為は欠くべからざる家事作業であるが、タイル仕上げの従来浴室に比較してユニットバスは比較的掃除がしやすくなっているものの、それでもユニットバスを選ぶ理由の中で掃除のしやすさが常に上位を占めている (図 1)。<sup>1)</sup>

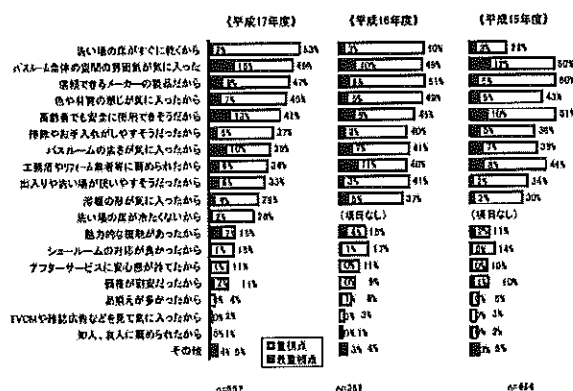


図 1 住宅・住宅設備に関するアンケート

浴室掃除は、浴槽、浴槽フタ、洗いの床、カウンター、壁、天井、ドア、排水口などいろんな箇所が対象になるが、一般的に毎日行う浴槽中心の掃除と1～2週間おきに行う浴室全体の掃除の2つに大別される。前者は比較的短時間で行われ、後者は時間をかけて行われる。浴室掃除作業において特に負担に感じている箇所は腰が最も多く、腕、膝の順に続く (図 2)。

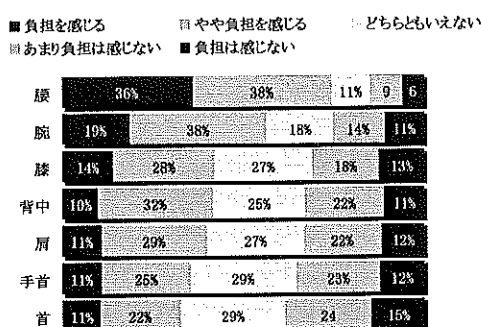


図 2 浴槽掃除の時に負担に感じる箇所

浴室での掃除は体全体を動かすかなりの重労働となるが、その負担度合いについての既往の研究は比較的少ない<sup>2) 3) 4) 5) 6) 7)</sup>。ここでは、浴室における清掃作業を軽減するために開発した浴室用マイクロバブル洗浄装置 (以下、洗浄装置と言う) について、筆者らはその効果を把握するための評価を実施した。

一般に、労働作業における既往の研究<sup>8)</sup>において、上肢を主体にする作業の負担については筋活動や心拍、関節トルク負荷、エネルギー代謝率などの評価で表されるが、作業姿勢によって負担を説明する特性項目の主体が分かれてくる。上肢を主体にした作業姿勢では筋活動や心拍、エネルギー代謝が、腰を使う作業姿勢については筋活動をよりもトルク計算の方が、全体を通じての作業姿勢では心拍、エネルギー代謝、筋活動が適していると判断される。そこで、浴室掃除作業の場合、作業時間が比較的短時間であり、上肢主体の作業姿勢では筋電図が、腰を使う作業姿勢では関節トルク計算が有効と推測される。

洗浄装置を開発するに当たり、通常の掃除と洗浄装置を使用した洗浄の場合の作業負担を比較して、その効果を表現する。まず、洗浄装置の概要を述べる (図 3 参照)。専用のハンドスプレーを準備してノズルの先を持ち、洗いたい箇所に噴霧して少し時間を置く、その後シャワーで洗い流すだけで表面の汚れが落ちる仕組みである。この装置は、浴室掃除用の洗剤を薄めた液に数ミクロンサイズの気泡を混入させることにより通常の洗剤による洗浄のときのようにスポンジなどでこすらずにでも汚れが落ちることが特徴で、掃除をする対象箇所に直接触れなくてもよいため腰を屈めたりして無理な姿勢をする必要がなく、また手が届きにくい隅や凹凸のある複雑な形状の箇所にも届くので、掃除の作業の負担が軽減されることが容易に想像できる。本研究では、筋活動の計測により洗浄装置の負担軽減効果の確認を実施した。

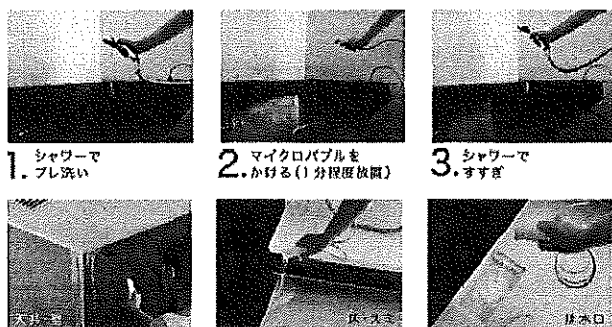
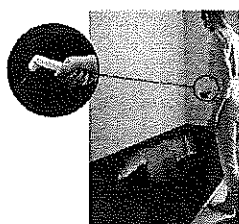


図3 洗浄装置の概要

## 2 研究の概要

### 2-1. 掃除作業動作の設定

社内で実施した浴室掃除実態調査結果から、毎日する浴槽の掃除（浴槽の外側から）と、1～2週間おきにする浴槽と浴槽フタ、カウンターや洗い場床と壁と天井の2つに分けられ、これらは時間にすると、それぞれ約3分25秒と10分間の動作となる。（図4参照）

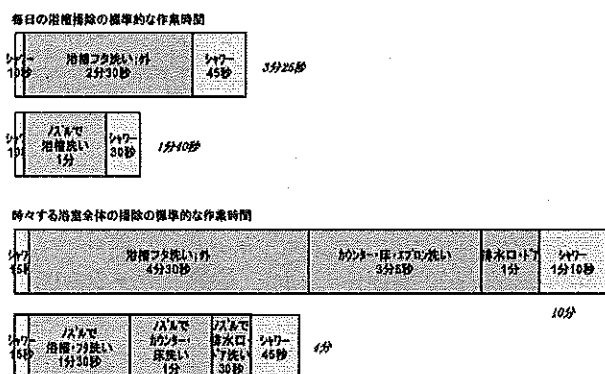


図4 浴室掃除の標準的な時間

| 区分   | 動作     | 時間                                     |
|------|--------|----------------------------------------|
| 浴槽洗浄 | 通常の洗浄  | 10sec<br>2m30sec<br>45sec              |
|      | 自動洗浄装置 | 10sec<br>1m<br>30sec                   |
|      | 通常の洗浄  | 10sec<br>4m30sec<br>4m30sec<br>1m10sec |
| 浴室洗浄 | 通常の洗浄  | 10sec<br>4m30sec<br>4m30sec<br>1m10sec |
|      | 自動洗浄装置 | 10sec<br>1m30sec<br>4m30sec<br>1m10sec |
|      | 通常の洗浄  | 10sec<br>4m30sec<br>4m30sec<br>1m10sec |

図5 各種掃除動作と時間

前記結果を参考にして、洗浄装置を使用した場合の動作について、それぞれ1分40秒と4分の掃除と仮定して比較実験を実施した（図5）。実験の都合上、水は使用しなかった。

### 2-2. 評価の方法

表面筋電法による筋電図の計測による評価を実施した。関節トルク計算による評価については次の機会に委ねる。被験者は健康な男女学生で、予備実験は6名で、本実験は3名で実施した。

表面筋電法計測は、メディカルシステム多用途テレメータ MT11（NEC 製）を使用し、計測点は予備実験では上肢を中心にして尺側手根伸筋、橈側手根屈筋、上腕三頭筋、三角筋、僧帽筋、広背筋群の6箇所を、本実験では上下肢の前頸骨筋、大腿直筋、三角筋、上腕三頭筋、指屈筋群、広背筋の6箇所を計測した。

## 3 結果および考察

実際の洗浄装置のノズルを使用し、浴槽及び浴室内全体の掃除についての評価を行い、浴室掃除の実態調査結果から得られた毎日の作業としての浴槽掃除と時々作業としての浴室全体掃除の2つのパターンについて、それぞれ通常の浴室掃除動作と、洗浄装置を使用した際の動作について動作をし、筋電位を計測し各部位の積分値を比較した。

総合的な筋活動量の比較

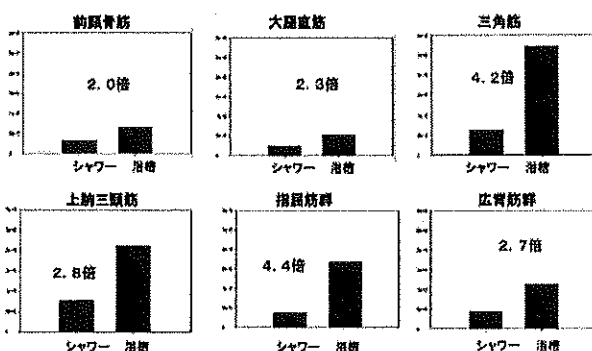
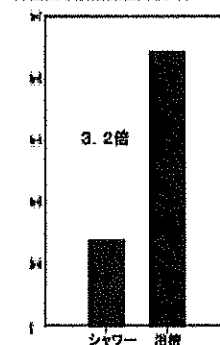


図6 浴槽掃除における洗浄装置の筋電図積分値比較

計測点は、予備実験の結果を見て下肢の測定を追加し、前頸骨筋、大腿直筋、三角筋、上腕三頭筋、指屈筋群、広背筋の6箇所とした。その結果、浴槽掃除の場合、前頸骨筋で約50%、大腿直筋で約57%、三角筋で約76%、上腕三頭筋で約64%、指屈筋群で約77%、広背筋群で約63%、6点の総和で約69%の筋活動の軽減が認められた(図6)。

これは、通常の浴槽洗浄が洗浄スポンジにより浴槽の遠底部まで手部を伸ばそうとする姿勢(図7左)をとるためにスポンジを抑える力に三角筋が、スポンジを動かす際に上腕三頭筋が活動しているのに比較して、洗浄装置による洗剤の散布はやや前傾した立位姿勢(図7右)にて行っている事による各筋肉の活動差が原因と思われる。

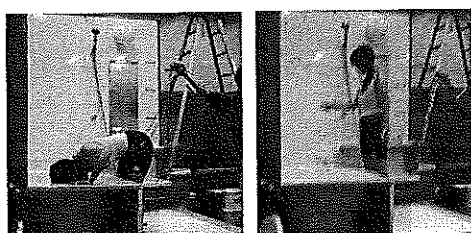


図7 通常浴槽掃除及び洗浄装置使用時の姿勢例

図8、図9はそれぞれ通常の浴槽掃除と洗浄装置を使用した時の各部位の筋電図例を表す。

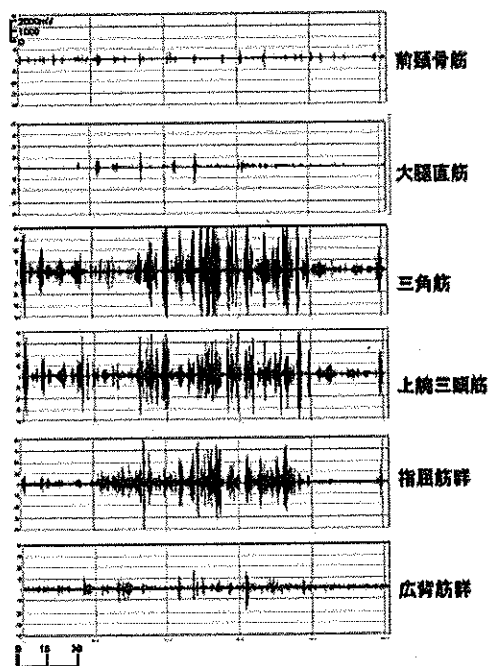


図8 通常の浴槽掃除における筋電図例

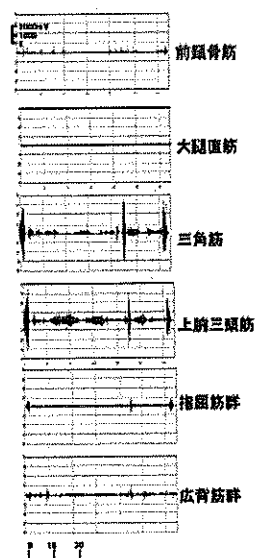


図9 浴槽掃除における洗浄装置使用の筋電図例

また、調査結果から得られた実際の浴室全体の掃除(浴槽、浴槽フタ、カウンター、洗い場床、エプロンなど)についても同様に実施し、洗浄装置を浴室全体に使用した場合との筋活動を比較した。その結果、前頸骨筋で約60%、大腿直筋で約60%、三角筋で約76%、上腕三頭筋で約77%、指屈筋群で約73%、広背筋群で約62%、6点の総和で約72%の筋活動の軽減が認められた(図9)。

総合的な筋活動量の比較

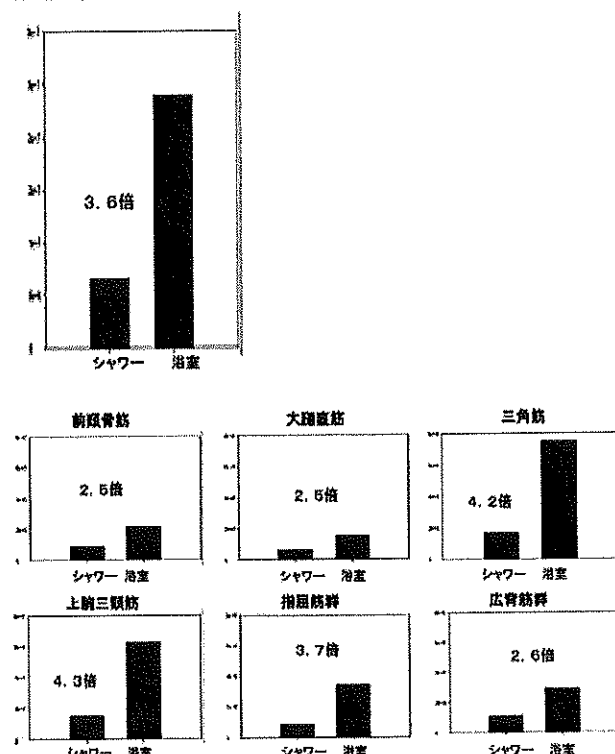


図9 浴室掃除における洗浄装置の筋電図積分値比較

これは、浴室内の掃除においては、浴槽や浴槽フタ、カウンター、床面などを広範囲に掃除する際に多様な姿勢をとるために、上体を動かす三角筋や上腕三頭筋、指屈筋が活動するもの考えられる（図 10）。

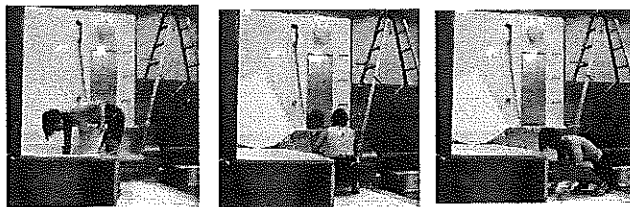


図 10 通常浴室掃除時の姿勢例

図 11, 図 12 はそれぞれ通常の浴槽掃除と洗浄装置を使用した時の各部位の筋電図例を表す

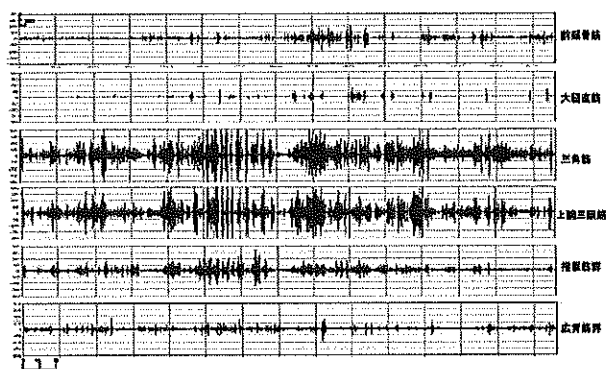


図 11 通常の浴室掃除における筋電図例

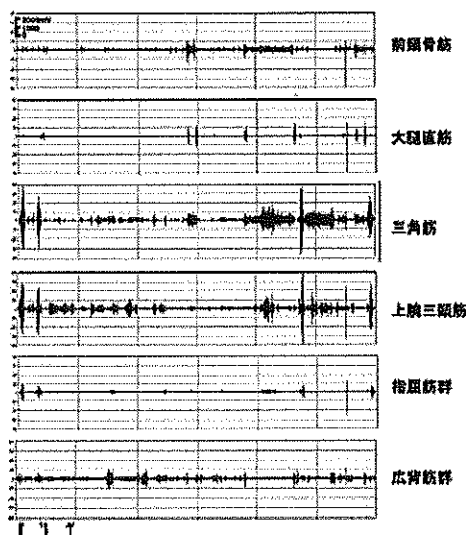


図 12 浴室掃除における洗浄装置使用の筋電図例

#### 4 終わりに

筋電位を計測した本研究では、洗浄装置を使用した場合に比べて、浴槽の掃除の作業負担は、前頭骨筋で約 50%、大腿直筋で約 57%、三角筋で約 76%、上腕三頭

筋で約 64%、指屈筋群で約 77%、広背筋群で約 63%、6 点の総和で約 69%の筋活動の軽減が認められた。また、浴槽、浴槽フタ、カウンター、洗い場床、エプロンなどの浴室掃除の作業負担は、前頭骨筋で約 60%、大腿直筋で約 60%、三角筋で約 76%、上腕三頭筋で約 77%、指屈筋群で約 73%、広背筋群で約 62%、6 点の総和で約 72%の筋活動の軽減が認められた。これにより、洗浄装置を用いると浴室内の掃除作業の負担が約 1/3 になることが分かった。

この洗浄装置は、単なる家事負担軽減だけでなく、掃除ブラシが届きにくい隅へも噴霧して清掃することができるため、非常に有効な設備である。今後は更に、姿勢からの関節トルク計算による負担面についても解析していく所存である。

#### 参考文献

- 1) 平成 17 年度経済産業省住宅・住宅設備に関する CS アンケート調査報告書：経済産業省，2005
- 2) 長澤夏子ら：腰部負荷からみた手をつく立ち上がり動作，日本建築学会計画系論文集，第 586 号，51-56，2004
- 3) 長澤夏子ら：腰部負荷からみた収納動作その 1，日本建築学会計画系論文集，第 605 号，71-77，2006
- 4) 大竹礼子ら：腰痛疾患者の住宅内での腰痛者率の高い動作筋電図関する研究，日本建築学会大会学術講演集，2006
- 5) 長澤夏子ら：腰部負荷からみた腰部負荷からみた収納動作その 2，日本建築学会大会学術講演集，2006
- 6) 竹原広実：高齢者の台所作業時の姿勢と身体負荷に関する研究，日本建築学会大会学術講演集，2006
- 7) 山本澄子ら：関節モーメントによる歩行分析，歯葉出版，Japan，28-31，1997
- 8) 財団法人高齢者雇用開発協会：職務再設計試行研究報告書，1982
- 9) 浴室清掃時における姿勢と作業範囲の関係：人間工学 第 43 巻特別号，2007

## 自転車運動におけるビンディングペダルの効果

Beneficial effect of Binding Pedal during cycling exercise

○牧 道太郎, 芳田 哲也, 常岡 秀行

京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科

MAKI Michitaro, YOSHIDA Tetsuya and TSUNEOKA Hideyuki

Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology.

### 1 緒言

自転車競技のレースやトレーニングでは, 一日に 100~200km の長距離を走り, クランクの総回転数は 2~3 万回転にも及ぶ. その為, いかにペダリングするかは, 勝敗を左右する重要な要素であり, 専用シューズとペダルを固定することで効率の良いペダリングが可能になるとされる Binding Pedal (BP) が広く使用されている. これまで, 自転車運動時のサドル高やシューズタイプの違いによる下肢筋活動パターンの変化<sup>1)</sup>や, 自転車競技者と非競技者のペダリングの特徴に関する報告等<sup>2,3)</sup>, ペダリング動作に関する先行研究は多くみられる. しかし, BP と Normal Pedal (NP) を比較し, BP の効果を検討した報告は見当たらず, BP がペダリング動作に与える効果の詳細は明らかでない. そこで本研究では, 自転車競技者 (CYC) が, BP と NP で自転車運動を行った際の, ペダルタイプの違いによる酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ ) 及び下肢の筋活動の差異を比較し, BP の効果を検討することを目的とした.

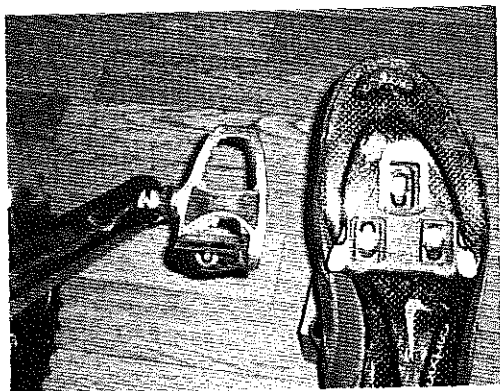


Fig.1 Photograph of Binding Pedal and cycling shoes

### 2 方法

#### 2.1 被験者

被験者は競技経験 2 年以上の自転車競技者 6 名とし, 本研究の目的と内容を十分に説明した上で参加の同意を得た.

#### 2.2 実験手順

自転車運動は自転車エルゴメータ (MONARK 社製 Ergomic828) を用いて行い, BP (SHIMANO 社製 PD-R600), NP (SHIMANO 社製) 両ペダルで各一回ずつ実験を行った. それぞれの実験は一週間以上の間隔をあけて別の日に行い, 回転数 (Cadence) 50, 100rpm において, 出力 150W の 2 条件を設けた. 実験は初めに, 60rpm で 60W のウォームアップを 5 分間行った後, 各条件をランダムに 5 分間ずつ漕いだ. 各条件間に 5 分間の休憩をはさみ, 水分は適宜摂取した. 自転車運動を行う際のサドル高とハンドル位置は BP, NP 両実験において同条件とし, 被験者の好みで合わせた. 実験運動中はガス分析器 (VISEMEDICAL 社製 METS-900) を用いて  $\dot{V}O_2$  を 1 分毎に測定し, EMG の測定は 5 分間の運動のうち, 安定した 4 分目から 4 分 30 秒目までの 30 秒間を記録した.

#### 2.3 筋電図測定

筋電図 (EMG) の測定は BIOPAC SYSTEMS 社製 MP100 を使用した. 測定に際し, Sampling Rate は 1000Hz とし, 自転車運動で主に使われる左下肢の前脛骨筋 (Tibialis Anterior, TA), 腓腹筋外側頭 (Gastrocnemius Lateralhead, GL), 外側広筋 (Vastus Lateralis, VL), 大腿二頭筋長頭 (Biceps Femoris Caput Longum, BF) の筋腹に表面電極

(Ag-AgCl 電極, 日本光電社製) を貼付し, 双極誘導法により活動電位を検出し, 増幅, 記録した. 電極間距離は約 3cm とし, 貼付前には十分な皮膚処理を行った. また筋電図の電極と同時に膝関節の可動部位(大腿部内側と脛部内側)にゴニオメータを装着し, 自転車運動中の膝関節の角度変化を同時に測定した.

#### 2. 4 EMG 解析

解析ソフトは BIOPAC Acqknowledge ver 3.8.1 を用い, 実効値 (Root mean square, RMS) 処理を行った. RMS 波形は 60 サンプル毎に移動平均し平滑化した. このように得られた 30 秒間の連続する RMS 波形から任意に 10 サイクルを抽出し, Cadence によって異なる 1 サイクルごとの時系列波形を 100 サンプルに規格化した. さらに, 規格化された波形を 10 サイクル間で平均した後, 各波形のピーク値に対する相対値として標準化し, 被験者 6 名の平均波形を導出した.

### 3 結果

#### 3. 1 ペダルタイプの違いにおける酸素摂取量の比較

50rpm における BP 着用時の  $\dot{V}O_2$  は  $2.82 \pm 0.27$  l/min (Mean  $\pm$  SD), NP 時は  $2.80 \pm 0.14$  l/min とペダルタイプの異なる両群間に有意差は認められなかった. 一方, 100rpm における BP 時は  $2.91 \pm 0.30$  l/min, NP 時は  $2.96 \pm 0.19$  l/min と 50rpm 時よりも高値を示したが, ペダルタイプの異なる両群間に有意差は認められなかった.

#### 3. 2 ペダルタイプの違いにおける下肢筋活動パターンの比較

Fig. 2a と b に BP, NP の両ペダルで 50rpm および 100rpm, 出力 150W で自転車運動を行った際の下肢 4 部位 (TA, GL, VL, BF) の筋活動パターンの比較を示す. 50rpm 時には, TA のクランク角 90~180 度付近においてペダルタイプによる筋活動パターンの違

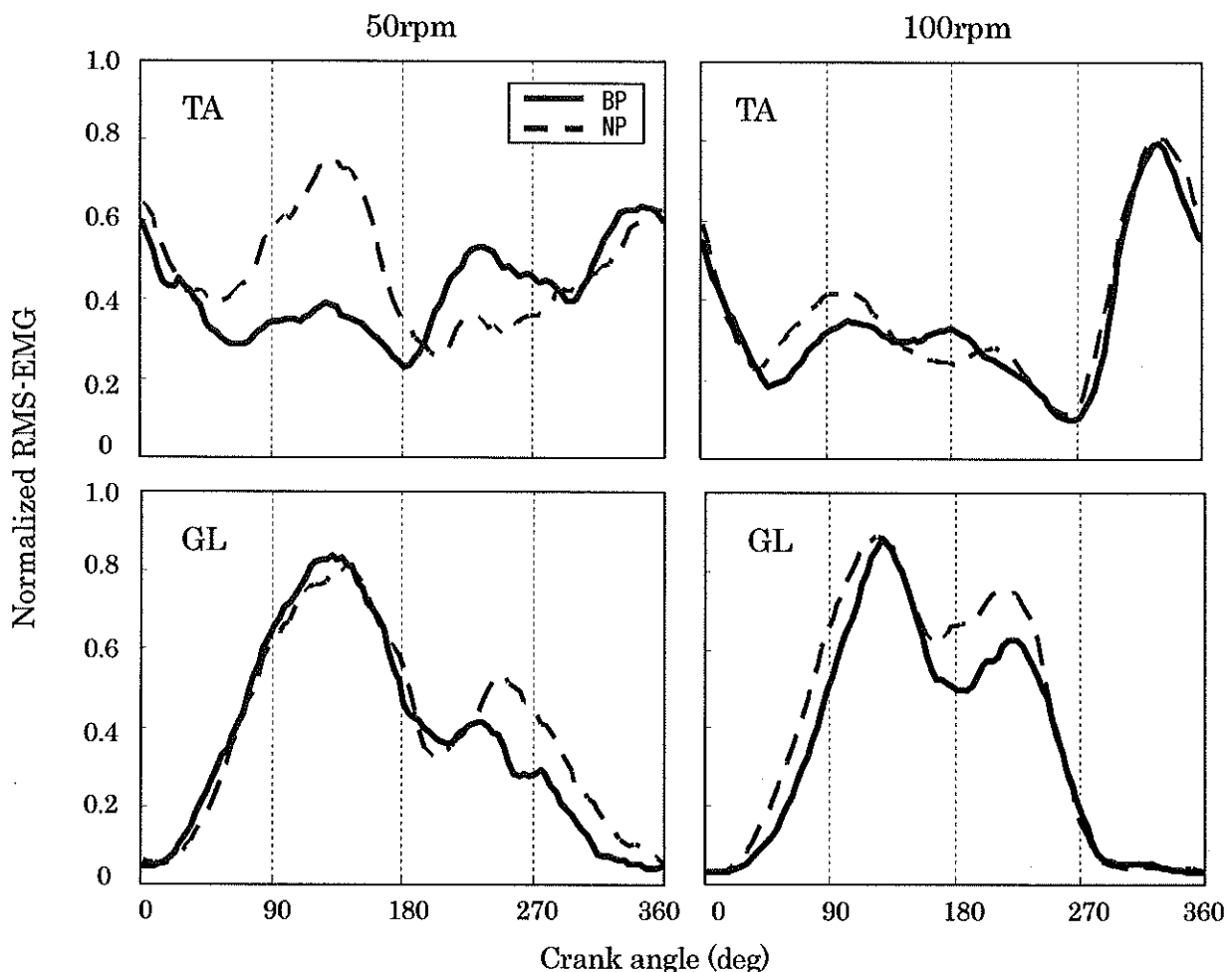


Fig.2a Normalized RMS-EMG patterns of leg muscles (Tibialis Anterior,TA; Gastrocnemius Lateralhead,GL) during 150W of pedaling rates (cadence) at 50rpm(left) and 100rpm(right). Each line indicates mean of six subjects.



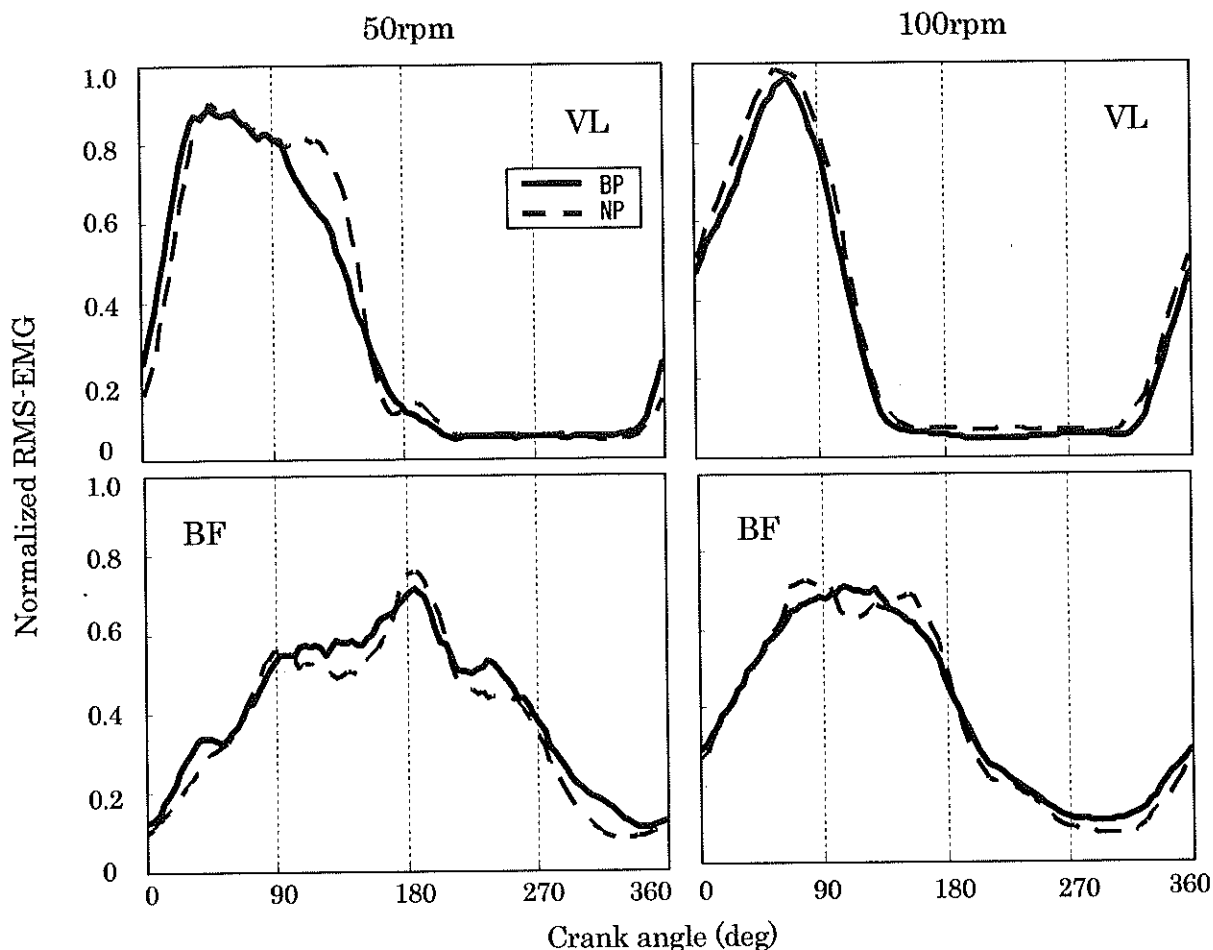


Fig.2b Normalized RMS-EMG patterns of leg muscles (Vastus Lateralis,VL; Biceps Femoris,BF)during 150W of pedaling rates (cadence) at 50rpm(left) and 100rpm(right). Each line indicates mean of six subjects.

いが見られたが、他の3部位においては顕著な差は見られなかった。また100rpm時においては、いずれの部位でもペダルタイプの違いによる筋活動パターンの顕著な差は見られなかった。

## 4 考察

### 4.1 酸素摂取量とペダルタイプ

本研究の結果からは、50、100rpmのいずれのCadenceにおいても、ペダルタイプの違いによる $\dot{V}O_2$ の値に有意差は認められなかった。この結果については、今回の運動時間が5分間であり、比較的短時間であったことが影響していると考えられ、より長時間の運動を行った場合の値を比較することが今後の課題である。また、本研究では、ペダルタイプの違いによらず、Cadenceの上昇に伴い $\dot{V}O_2$ の値も上昇した。この結果はTakaishiらの先行研究<sup>2,3)</sup>と

一致しており、エネルギー効率は高Cadenceでのペダリングは不利に働くと考えられる。

### 4.2 ペダルタイプと筋活動の関係

Jorgeら<sup>1)</sup>によると80rpmでの自転車運動時には、サドル高やシューズタイプ等のコンディションの変化は、下肢の筋活動レベルに影響するが、筋活動パターンにはあまり影響しないことが報告されている。本研究の結果も、100rpm時においては先行研究同様、筋活動パターンに顕著な差はなかった。このことは、本研究のプロトコルが5分間の短い運動時間かつ低負荷であった為、惰性で漕ぎ続けることが可能であり、NP着用時においても、CYCの高い自転車漕ぎ技術によって、BP着用時と同様のペダリングが可能になったことが原因のひとつと考えられる。一方、50rpmの比較的低Cadence、高負荷時においてはペダルタイプによって筋活動パターンが変化することが

明らかになった。特にクランク角 90~180 度付近で前脛骨筋の筋活動に顕著な違いが見られた。NP 着用時には、拮抗する TA と GL が共収縮を起こしているのに対し、BP 着用時には TA の活動レベルが低下し、おもに GL のみが活動している。このことにより、クランク角 0~180 度の down stroke 相からクランク角 180~360 度の up stroke 相への移行箇所にあたる下死点付近でのスムーズな足関節の底屈が可能になり、スムーズなペダリング動作につながったと考えられる。

#### 4. 3 自転車競技者のペダリングと BP

自転車競技者は普段のレースやトレーニングで、主として 80~100rpm の Cadence で漕ぎ続けるといわれ、実際に、本研究の被験者の中には、レース中の平均 Cadence が 100rpm 以上になる実業団レベルの選手も見られた。この高 Cadence ペダリングの有効性を示す根拠として、Takaishi らの報告<sup>2)</sup>から、50rpm などの低い Cadence 時よりも、80, 90, 100rpm 等の比較的高い Cadence 時において、積分筋電図値で示される活動筋の疲労度合が有意に低くなることが明らかにされている。これらのことから、高 Cadence 時においてこそ BP の効果は発揮されるべきであると考えられるが、本研究において 100rpm 時では、筋活動パターン、 $\dot{V}O_2$  ともに顕著な差は見られなかった。したがって、BP の着用は筋活動に直接影響を与えるだけでなく、他の生理反応や身体動作にも影響を与えることが考えられる。普段 BP を使用して感じる感覚的な効果として、「ソールの硬い専用シューズとビンディング機構によるペダルとの固定により、踏み込み時に安定して、しっかり踏める」という意見が被験者から聞かれたことから、BP はクランクへのスムーズなペダル踏力の伝達に貢献していることが推察され、その結果として、長時間自転車運動を行った際、消費エネルギーや筋疲労の低下に影響を与える可能性が考えられる。

また、これまで、BP の効果の通説として、シューズとペダルが拘束されることで、up stroke 相においてもクランクにトルクを発生させることが可能になると言われてきた。しかし、このことの有効性を示す報告はあまり見当たらない。膝関節は屈曲時よ

りも伸展時に大きな関節トルクが得られ、最大伸展トルクは膝関節角 90 度付近で発生する<sup>4)</sup>。自転車運動は、下肢においては左右が常に 180 度位相の異なる円運動を行っていることを考慮すると、up stroke 相における BP の有効性については疑わしく、その他の効果が推察される。

#### 5 結言

本研究の結果から以下の点が明らかになった。

- 1) 5 分間の短時間の自転車運動では、ペダルタイプの違いによる  $\dot{V}O_2$  の変化は見られない。
- 2) 5 分間の短時間の自転車運動では、100rpm 時には、ペダルタイプの違いによる筋活動パターンの顕著な差は見られない。50rpm においては、BP の着用によりクランク角 90~180 度付近で TA の筋活動パターンが変化する。

#### 参考文献

- 1) Jorge M and M.L.Hull: Analysis of EMG measurements during bicycle pedaling, J.Biomechanics, Vol.19, No.9, pp.683-694 (1986)
- 2) Takaishi T: Optimal pedaling rate estimated from neuromuscular fatigue for cyclists, Med.Sci.Sports Exerc, Vol.28, pp.1492-1497 (1996)
- 3) Takaishi T: Neuromuscular fatigue during prolonged exercise at different pedaling rate, Eur J Appl Physiol, Vol.69, pp.154-159 (1994)
- 4) 阿江通良: スポーツバイオメカニクス 20 講, pp12-13, 朝倉書店 (2002)

## 照明と建材の反射特性などが作業能率に与える影響

The influence that illumination and the reflectance of wall materials for work efficiency

○中濱 雄策\*, 藤原裕司\*, 酒井和昭\*\*, 梶井宏修\*\*

\*近畿大学大学院総合理工学研究科 \*\* 近畿大学理工学部建築学科

ONAKAHAMA Yusaku\*, FUJIWARA Yuji\*, SAKAI Kazuaki\*, KAJII Hironobu\*

\* Graduate School, Dept. of Science and Technology, KINKI University

### 1. はじめに

一般の建物では、照明された部屋で適度な空調がなされ、快適な作業空間が創られている。しかし、作業能率は使用している机の仕上げの光学的特性や壁面のグレアなど、の反射や分光特性の影響がある。色温度に関しては宇野、堀越らの研究がある<sup>1,2</sup>など。

近年、心理的に癒される空間でのインテリアにおけるカラーバランスが求められている。そこで、一般室で壁仕上げを変更した実験を行った。光学的には分光放射と照度測定を行った。今回、ボランティアの協力によって、作業能率、単純加算作業、温冷感、快適感の申告を含めた実験を行うことができた。作業中の心拍および脳波の検討を行ったので、ここに結果の一部を発表し、今後の研究の礎と考えたい。

### 2. 実験方法

実験は青年男子学生3名を対象に2007年秋期に近畿大学一般研究室で行った。室内は快適環境温度範囲で、個人の着衣状態を用いた。実験開始時刻より2時間前に食事をし、測定室内においてリラックスした状態で約30分間の椅座安静を保った。その間、左第4指に光学式の光電脈波形と血液酸素飽和度(SPO<sub>2</sub>)を測定するプローブを取り付けてもらった。脳波はFP1, FP2の相極誘導で信号は無線式ヘッドアンプを使用しPCで測定信号を記録した。温度条件に馴れた後、加算作業に着手した。図-1に壁材料と着席位置での正射影撮影写真を示す。図-2は壁材料の分光反射率を測色計(CM-2600D—コニカミノルタセンシング社)を使用し測定した結果である。壁仕上げ材料の杉板模様壁紙、白クロス模様、グレ

ープラスチックおよびベニヤ合板素地の4種を作業机の前壁として貼り付けた。座席位置での立体角を1とした天井面は0.07、壁面、0.57、パソコン、0.31および作業机、0.04となった。作業は50秒間の加算作業と10秒の休憩を1セットとして10回行い1条件とした。単純加算作業はテンキー入力とし、右手のみ使う実験を試みた。熱環境要素として室内の床上10cm、60cm、120cm、180cmの乾球温度、湿球温度、グローブ温度および風速の連続記録をした。被験者のプロフィールを表-1に示す。図-3に実験室平面図を示す。

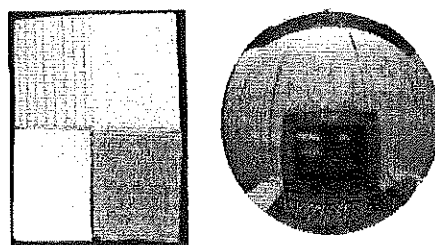


図-1 壁材料と着席位置での正射影撮影写真

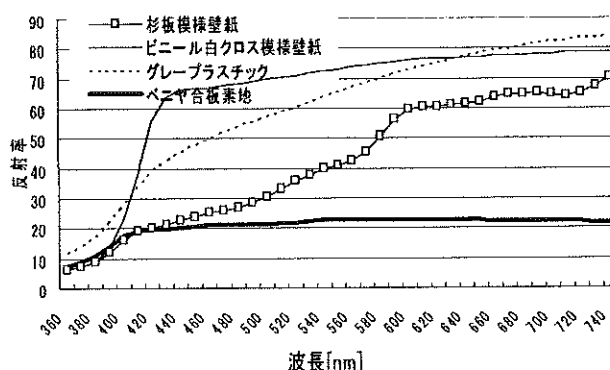


図-2 壁材料の分光反射率

表 - 1 被験者のプロフィール

| Sub. NO. | Age<br>[Year] | Sex<br>[M/F] | Height<br>[cm] | Weight<br>[kg] | %Fat<br>[%] | LBM<br>[kg] | B. S. A.<br>[m <sup>2</sup> ] | Fat<br>Unit<br>[kg/m <sup>2</sup> ] |
|----------|---------------|--------------|----------------|----------------|-------------|-------------|-------------------------------|-------------------------------------|
| Average  | 21.50         |              | 172.7          | 78.0           | 22.6        | 60.0        | 1.9                           | 9.2                                 |
| S. D.    | 0.71          |              | 2.08           | 12.49          | 4.72        | 5.81        | 0.15                          | 2.72                                |
| Sub. 1   | 22            | M            | 171.0          | 74.0           | 20.20       | 59.05       | 1.88                          | 8.0                                 |
| Sub. 2   | 22            | M            | 175.0          | 92.0           | 28.00       | 66.24       | 2.09                          | 12.3                                |
| Sub. 3   | 21            | M            | 172.0          | 68.0           | 19.50       | 54.74       | 1.82                          | 7.3                                 |

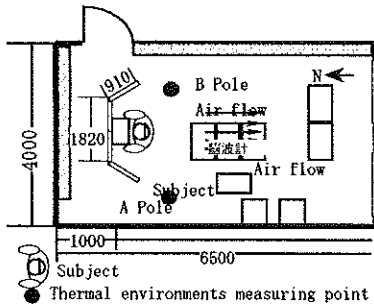


図-3 実験室平面図

### 3. 測定結果および考察

図-4に 7.5-13.125Hz の出現率とキー入力反応時間の関係を示す。補助蛍光灯が点灯され明るくなるとα波の出現率が上昇( $P<0.01$ )し、キー入力反応時間が長くなって作業能率が下がったと考えられる。一方消灯時には反応時間が長短にかかわらずα波の出現率の変化が少ない。

図-5は放射輝度と心拍による LF/(HF+LF) の関係である。補助蛍光灯の消灯により、放射輝度  $0.05[\text{w}/\text{sr}\cdot\text{m}^2]$  の状態では交感神経の活動指標である LF/(HF+LF) が低く示された( $P<0.01$ )。壁材を変更し放射輝度が5倍程度になると LF/(HF+LF) は15%の上昇が見られ、95%まで交感神経が亢進したと考えられる。補助蛍光灯が点灯され、さらに輝度が上昇すると LF/(HF+LF) が低下する傾向( $P<0.05$ )が認められた。明ると交感神経が抑制されて、適度な放射輝度が必要であると考えられる。

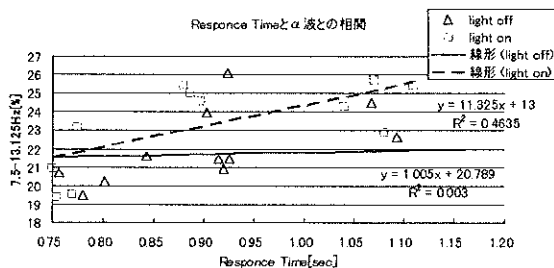


図-4 7.5-13.125Hzの脳波の出現率とキー入力反応時間の関係

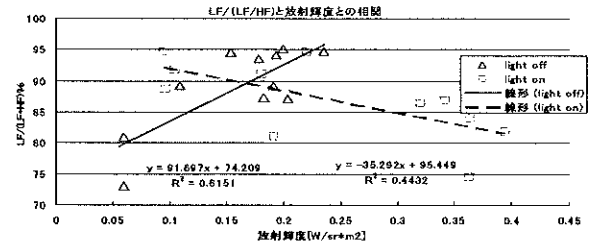


図-5 放射輝度と心拍による LF/(HF+LF) の関係

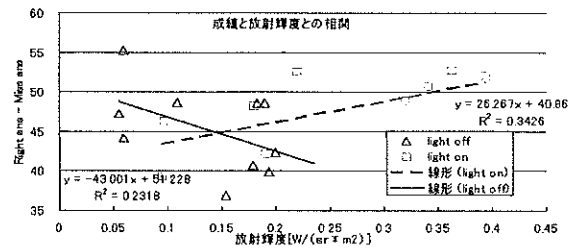


図-6 放射輝度と作業成績の関係

このことは、作業者にとって約 60%の視野を覆う壁面の放射輝度のピークは  $0.2[\text{w}/\text{sr}\cdot\text{m}^2]$  程度で最も交感神経が亢進したと考えられる。また、図-6は放射輝度と作業成績の関係である。放射輝度が  $0.2[\text{w}/\text{sr}\cdot\text{m}^2]$  程度のとき作業成績が低下した。

### 4. まとめ

- 1) 補助蛍光灯が点灯されるとα波の出現率が上昇しキー入力反応待ち時間が長くなって作業能率が下がる。
- 2) 放射輝度と心拍による LF/(HF+LF) の関係で、壁面の放射輝度のピークは  $0.2[\text{w}/\text{sr}\cdot\text{m}^2]$  程度で最も交感神経が亢進した。また、その同じ放射輝度のピークで作業成績が低下した。

### 参考文献

- 1) 照度と色温度の組み合わせ条件における人間の心理反応：宇野 勇治、堀越哲美：第 30 回人間-誠克環境系シンポジウム報告集，pp. 259-262 (2006)
- 2) 垣 鐸 直，茂吉雅典，中村 肇，稲垣卓造，堀越哲美：心理・生理反応から評価した好みの色温度と室温の組み合わせに関する実験的研究：その 2 照度が 200 ルクスの場合の好みの色温度の季節差，建築学会計画系論文集 NO. 532 PP. 87-94 (2000)

# あいまい図の視覚認識におけるカタストロフィ現象のカスプ面解析

## Cusp Surface Analysis for Catastrophe Phenomenon in Visual Perception of Ambiguous Figures

久米靖文

近畿大学理工学部機械工学科

Yasufumi Kume

Department of Mechanical Engineering, School of Science and Engineering,  
Kinki University

### 1 まえがき

カタストロフィ現象は連続的な現象中に発生する突然の不連続現象である。人間の視覚認識は対象物に左右され、あいまい図について、図から被験者までの距離、大きさ、詳しさが視覚認識与える影響をカスプ面解析で明らかにする。その結果、あいまい図において、距離と視覚認識、図の大きさと視覚認識、図の詳しさと視覚認識の間には、カタストロフィ現象が生じていることが明確にしている。

### 2 カタストロフィ理論とカスプ面解析

カタストロフィ理論はフランスの数学者 Rene Thom によって、自然における形態の展開を描写する数学的な手法として創始された[1]。この理論は特に徐々に変化する状況のもとで突然に発生する不連続現象を扱う。こうした不連続現象は状況が連続的であるため、おもいがけなく起こることから(catastrophe)と呼ばれ、自然における形態もこのカタストロフィを通して把握される。この理論は、微分トポロジーの分野に属し微分方程式の研究と関連が深く、カタストロフィ多様体などの幾何によって現象を直感的に把握できるので様々な分野で応用されている。Thom によって初等カタストロフィは7つの基本形態に分類することができる。カスプ面解析では、この中のカスプカタストロフィが統計的に扱われる。Thom のカスプカタストロフィモデルは

$$0 = a + by - y^3 \cdots (1)$$

で表される。この式は制御変数  $a$ ,  $b$  と状態変数  $y$  の関係を示す位相幾何学的なモデルである。制御変数  $a$ ,  $b$  はそれぞれ平常要因、分裂要因と呼ばれている。しかし、定性的で決定論的であるために、ヒューマンファクターが含まれる行動科学などの分野へ応用する場合、実際は決定論的な現象は少ないカタストロフィモデルを直接使用することは困難である。

カスプ面解析は Loren Cobb が提案したカタストロフィ理論[2]における統計的なモデルである。このモデルは従属変数  $Y$  といくつかの数からなる独立変数  $X_i$  からなる。

Cobb のカタストロフィモデルの式は

$$0 = A(\underline{X}) + B(\underline{X})[Y - C(\underline{X})] - D[Y - C(\underline{X})]^3 \cdots (1)$$

で表すことができる。このとき独立変数ベクトル  $\underline{X}$  のスカラー値関数は以下の3つの制御要因を定義する。このとき  $\nu$  は独立変数の数、

$$A(\underline{X}) = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2 + \cdots + A_\nu X_\nu$$

$$B(\underline{X}) = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + \cdots + B_\nu X_\nu \quad \cdots (2)$$

$$C(\underline{X}) = C_0 + C_1 X_1 + C_2 X_2 + \cdots + C_\nu X_\nu$$

$A(\underline{X})$ ,  $B(\underline{X})$ ,  $C(\underline{X})$  はそれぞれ非対称要因、分岐要因、線形要因である。ABCD のパラメータは最尤推定法を用いて推定する。上記のモデルは、(2)式における3次多項式を満たすカスプモデルに対して暫定的な

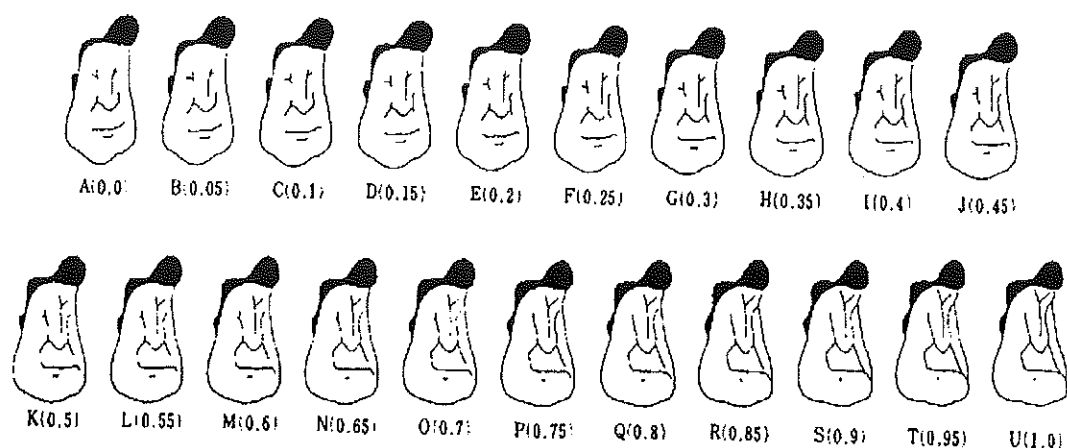


図 1 男性の顔または女性の姿の図の系列

結果を示す。観測値が双峰範囲にないことが起こりうる。この場合双峰範囲の位置は、与えられたデータのみからの推定によってわかる。推定が統計的作業においてあまり頼りにならないので、 $X$  の観測値が双峰範囲の内側で、もう一方でその他が外側にあるとするのが妥当である。非対称要因と分岐要因によって作られた範囲でのデータの推定分布を理解する際、双峰範囲の中に観測データのすくなくとも 10% を持つことが望ましい。これが第 3 の検定を構成する[3]。

つまり次の 3 つの条件全てを満たすなら従属変数  $Y$  と独立変数  $X$  はカスプカストロフィモデルの関係を示すといえる。

- 1)  $\chi^2$  検定は、カスプモデルの尤度がその線形モデルの尤度より有意に高いことをしめす。
- 2) 3 次の項の係数  $D$  と非対称要因  $A(X)$ 、分岐要因  $B(X)$  の係数のうち少なくとも 1 つが有意に 0 でない。
- 3) データの少なくとも 10% が、推定されたモデルの双峰範囲にある。

### 3. あいまい図と図との距離における視覚認識のカスτροφイ現象

カスτροφイ現象は連続的な事象の中で起こる不連続現象である。人間の視覚認識は対象物や認識する際の要素に大きく左右されるためヒューマンファクターを含んでいると言える。図 1 のようなあいまい図を含む男性の顔と女性の姿に認識できる 21

### 4. 図の視覚認識の測定方法

男性の顔、女性の姿に知覚することが等確率であることが示されている図 1 の K の図を Attneave によって明らかに男性の顔、女性の姿の図まで拡張された図を、さらに内挿した 21 種類の図を用いて被験者の視覚認識の測定を行う。

被験者に表示する図は図を貼り付けたパネルの大きさが 42.0cm×29.5cm のものを用いて測定を行う。図 1 の K あいまい図(男性の顔と女性の顔がほぼ等確率で知覚される図)を含む男性の顔から女性の姿への図の系列となる 21 種類の図に男性の顔から昇順で 1~21 の番号をつけ  $X_i$  とする。被験者と図までの

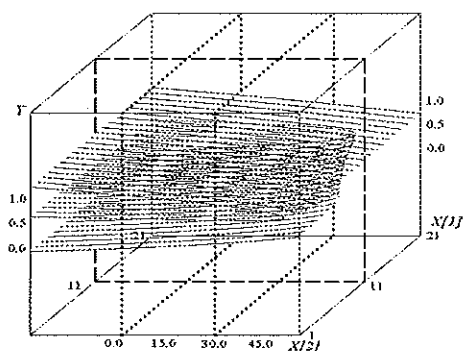


図 2 図との距離によるカスプモデル

距離  $X_2$  を 2m~30m の間で 2m 刻みの 15 通りの距離でランダムに被験者の視覚認識  $Y$  の測定を行う。そして、前の図の影響が残らないように  $X_1$  の図の種類もランダムで表示する。被験者の視覚認識を定量化するために表示したパネルが男性の顔に認識できれば  $Y=0.0$ 、何の図か分からなければ  $Y=0.5$ 、女性の姿と認識できれば  $Y=1.0$  として定量化された被験者の視覚認識  $Y$  の変化について考察する。その結果が図 2、図 3 に示されている。

#### 4. あいまい図と図の大きさを制御変数とした視覚認識のカタストロフィ現象

各種類の図の大きさを A3 から A7 までの 5 段階を準備する。被験者に表示するとき、図は書く大きさのパネルに貼り付けて用いる Fisher の図[4]を含む男性の顔から女性の姿への図の並びとなる 21 種類の図に男性の顔から順番に 1 から 21 の数値与え、 $X_1$  とする。図の大きさに関しては大きさに合わせて値をつけるのではなく図が小さくなるにつれて認識しにくくなるころを利用し、あいまい度と呼び  $X_2$  とする。あいまい度の値のは図の面積に反比例で各大きさに値に A3=1, A4=2, A5=4, A6=8, A7=16 を対応付ける。それらを被験者に見せて、男性の顔か何の図かわからないか、女性の姿か判断させた。ただし、図がはっきり見えない場合のみ何の図かわからないと答えさせる。この変化を定量化するため男性の顔を 0.0、何の図かわからないを 0.5、女性の姿を 1.0 として定量化された被験者の視覚認識レベル  $Y$  の変化について考察する。そして図の種類および大きさの順番は被験者が前図の認識の影響が残らないようにランダムに見せる。被験者の個人差と負担を軽減するために被験者とパネルの距離を視力によって調整し、チェックシートにマークをつけるのみにする。距離と視力の調整は 6m(視力 1.0 以上), 5m(視力 0.7 以上), 4m(視力 0.3 以上 0.7 未満), 3m(視力 0.3 未満)の 4 段階で行い、視力は実験前に両眼で視力検査を行っている。その結果が図 3 に示されている。

#### 5. あいまい図と図の詳しさを制御変数とした視覚認識のカタストロフィ現象

コンピュータ・グラフィックスにより Attneave の図の系列[5]で左端の男性の顔と右端の女性の姿のあいだにさらに多くの図を内挿した図の系列を作成した。そして内挿法を改良して図の詳しさの系列をもち男性の顔から女性の姿へと変化する連続な図の系列を描き、これを用いた実験によって双安定知覚現象

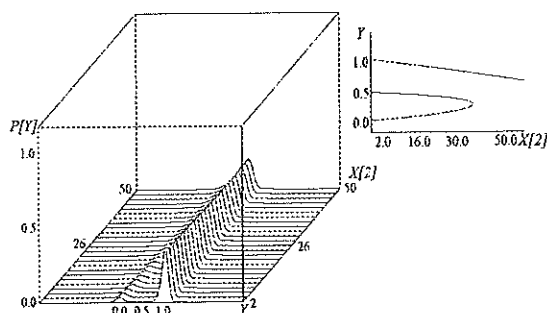


図 3 確率密度関数と 2 次元表示

を図の詳しさを分裂要因とし、男性の顔から女性の姿への図の変化を平常要因とするカスプカタストロフィでモデル化できるかどうかを検討している。内挿法を改良したプログラムによって描いた図を試料として用いた。図 5 のそれぞれの図の大きさは 4.0 cm × 2.2 cm である。図 5 には図の詳しさの系列が 15 個あるが、最上段の最も詳しい系列を 1、下段の系列を 15 とし、1, 3, 5, 7, 9, 11 の系列をとりあげて実験を行った。各被験者にランダムにそれぞれの図の系列を男性の顔から女性の姿の順に見せて知覚の変化が起こった図を判定させ、次に女性の姿から男性の顔の順に見せて知覚の変化が起こった図を判定させた。

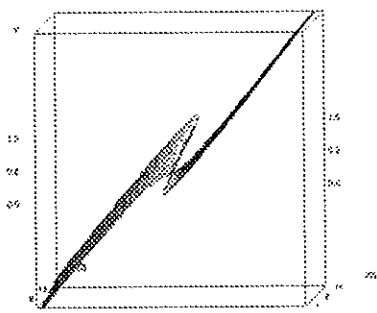


図 4 図の大きさのカスプモデル

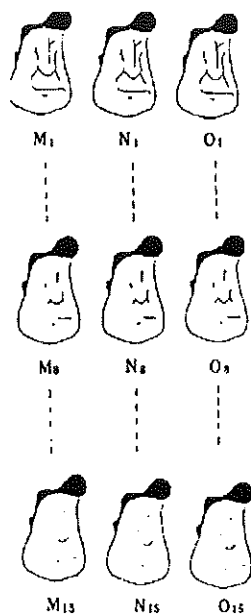


図5 詳しさを表す図の系列

## 6. 考察

カスプ面解析によって、(2)式のパラメータを推定して、(1)式の係数(B)である分岐要因の距離、大きさ、詳しさを不明瞭度とすると、(1)式を推定した結果、いずれの場合もこれらの要因が分岐要因となつて、カタストロフィ現象を発生する。したがって、非対称要因を図の種類(男の顔から女性の姿)分岐要因をそれぞれ、距離、大きさ、詳しさを不明瞭度とするカスプカタストロフィモデルを作成することができた。不明瞭度が高いとジャンプ現象が発生し、不明瞭度が低いと滑らかに変化する。したがって、不明瞭度がジャンプ現象を発生させる要因になる。

## 7. 結論

人間の視覚認識データの解析結果、カスプカタストロフィモデルを形成し、ジャンプ現象も確認できた。このように人間の視覚認識は明瞭度に関してカスプカタストロフィ現象が発生していることが分かった。

## 参考文献

[1] Thom, R.: Structural Stability and

Morphogenesis (1975)

[2] Loren, C.: " Stochastic Catastrophe Models and Multimodal Distributions , Behav. Sci., Vol.23 (1978)

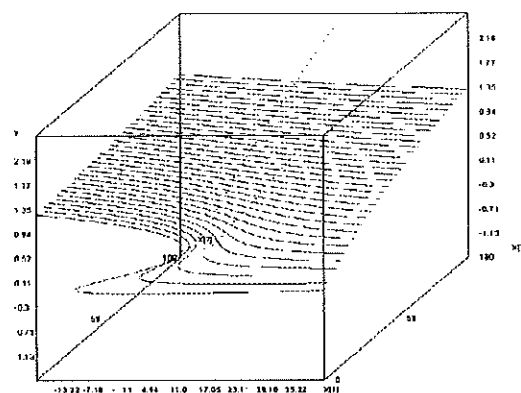


図6 図の詳しさによるカスプモデル

pp.360-374,.

[3]Loren Cobb,:: Cusp Surface Analysis User s Guide (1988)-

[4] Fisher, G. H.: Preparation of Ambiguous Stimulus Materials , Percept. Psychopys., Vol.2(1967) pp. 421-422.

[5] Attneave, F. : Multistability in Perception , Sci.Am.,Vol.225 (1971) pp.62-71.

[6] Poston,T. and Stewart, I.: Nonlinear Modeling of Multistable Perception , Behav. Sci., Vol.23 (1978) pp.318-334.



## ケータイ画面における画像文字と視認性について

## 一文字高さと視覚機能の検討一

Relation of Graphical Characters and Visibility  
on Liquid Crystal Display in Mobile phone

○大森正子\*, 松沼正平\*\*, 藤掛和広\*\*\*, 長谷川聡\*\*\*\*, 宮尾克\*\*\*

\*神戸女子大学 \*\*名古屋工業大学 \*\*\*名古屋大学 \*\*\*\*名古屋文理大学

OMORI Masako\*, MATSUNUMA Shohei\*\*, FUZIKAKE Kazuhiro\*\*\*,  
HASEGAWA Satoshi\*\*\*\* and MIYAO Masaru\*\*\*

\*Kobe Women's University, \*\* Nagoya Institute of Technology,

\*\*\* Nagoya University, \*\*\*\*Nagoya Bunri University.

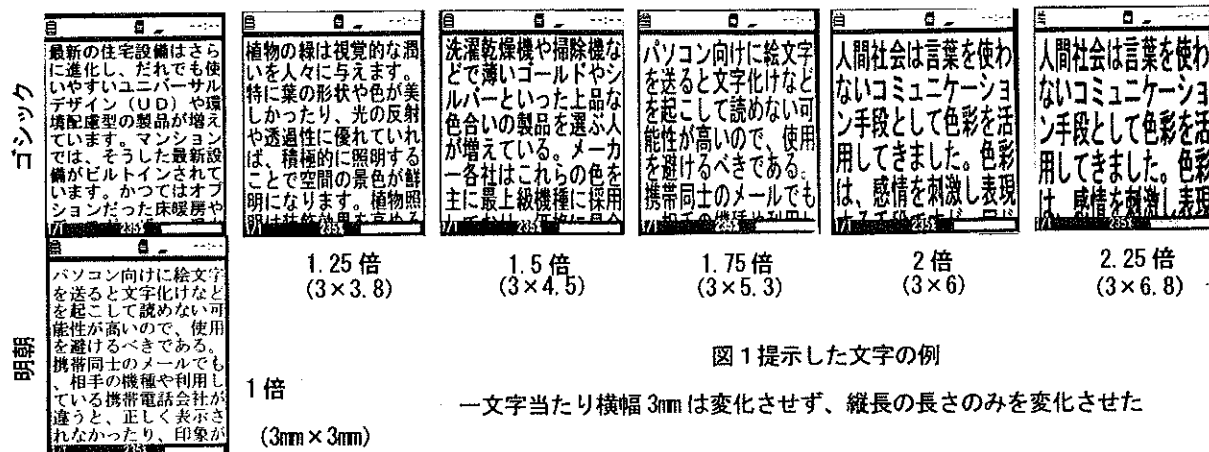
## 1 はじめに

携帯電話や PHS といったモバイル情報通信端末は、2007 年 1 月現在で契約数が 1 億件を越え、文字メールの利用も一般的となった。また文字情報だけでなく、Web へのアクセスや動画情報を扱う機会も増えつつあり、さらに災害情報<sup>1)</sup>や生活情報など文字情報のケータイへの配信も行われるようになってきた。以上のようなケータイの急速な普及に伴い、高齢者を含めてすべての人にとって使いやすいケータイ電話の検討は重要である。これまで、ケータイ・メールの視認性について文字サイズと視覚機能より検討を行い、文字高さ(縦の長さ)が影響することを明らかにしてきた<sup>2)</sup>。そこで本研究では、文字高さのみを変えて、それぞれに字体による視認性の違いについて検討を行った。

## 2 方法

図 1 に示すように、6 種類の文字高さの違う文章をそれぞれ、ゴシック・明朝の 2 種類で表した。文字は GIF

形式 (Illustrator CS2 作成) の画像文字でケータイ画面には PDF で表示した。実験には、240×320 dot の液晶画面をもつケータイ (Panasonic P903iX HIGH-SPEED) を画面の明るさ設定 2 (実測輝度  $218.8 \pm 5.1 \text{ cd/m}^2$ 、コントラスト比 18.9) として用いた。1 行 10 字を画像文字 (文字幅 3mm で文字高さ: 1 倍・1.25 倍・1.5 倍・1.75 倍・2 倍・2.25 倍) で作成し、ケータイの液晶画面の 1 画面内に (スクロールなし) で表示した。被験者は 20 歳から 80 歳 ( $46.7 \pm 16.5$  歳) の男女 38 名である。被験者は必要に応じて普段使用する近用眼鏡を装着し、椅子に座ってケータイを手に持ち、液晶画面の 1 画面内に表示された文章を視距離を固定せずに見やすい位置に調節できるようにして音読した。視認性を評価するため、読み上げ時間・誤読数・視距離を計測し、1 (大変読みやすい) から 5 (大変読みにくい) の 5 段階でよみやすさを評価してもらった。



### 3 結果

字体（明朝かゴシックか）と文字サイズを要因とし、速度（文字／秒）、視距離（cm）、主観評価を変数とした2元配置分散分析の結果、字体、文字サイズともにいずれの変数とも有意差は認められなかった。ケータイメールで利用されているゴシックについて視覚機能の水晶体白濁度と文字サイズを要因とし、速度（文字／秒）、視距離（cm）、主観評価を変数とする2元配置分散分析の結果を示す（図2・3・4）。

速度の結果では、文字サイズ（ $P<0.001$ ）と水晶体白濁度（ $P<0.001$ ）に有意差が認められ（図2）、文字サイズの下位検定の結果では、文字サイズ：1.5倍と2.25倍、1.75倍と2.25倍、2倍と2.25倍の間に有意差が認められた。また、水晶体白濁度では、0-99の層（ほとんど白濁なし）と100-159の層（やや白濁がみられる）（ $P<0.001$ ）、160-255（白濁がみられる）（ $P<0.01$ ）との間に有意差が認められた。視距離の結果では、水晶体白濁度（ $P<0.001$ ）に有意差が認められ、0-99の層と100-159の層の間に有意差が認められた（ $P<0.01$ ）（図3）。

つまり、水晶体白濁度の増加による速度の低下と視距離の延長が示唆され、文字サイズ2.25倍はいずれの白濁度数においても1倍より速度も遅く視認性が悪いことが示唆された。また、白濁度160以下の層では1.75倍がもっとも速度が速く、主観評価では白濁度160以上の層で1.5倍と1.75倍で評価が高かった（図4）。

### 4 考察とまとめ

表示画面の横幅に制約があるケータイでは、情報量を確保するために文字を縦長にして用いることは視認性を向上させる上で有効であるが、文字幅3mmで文字高さ2.25倍（6.75mm）は逆に視認性を低下させることが明らかとなった。また、ケータイの画像表示機能の向上により、文字種類の明朝体とゴシックに有意な差は認められなかったことから、現在ケータイでは文字種類ゴシックが主であるが、高齢者になじみのある明朝体も有効であることが示唆された。

### 参考文献

- 1) Hasegawa, S., Omori, M., Matsunuma, S., Miyao, M., Visibility of Graphic Text on Mobil Phones among Elderly People. Gerontechnology, 4, 4, pp.200-208, 2006.

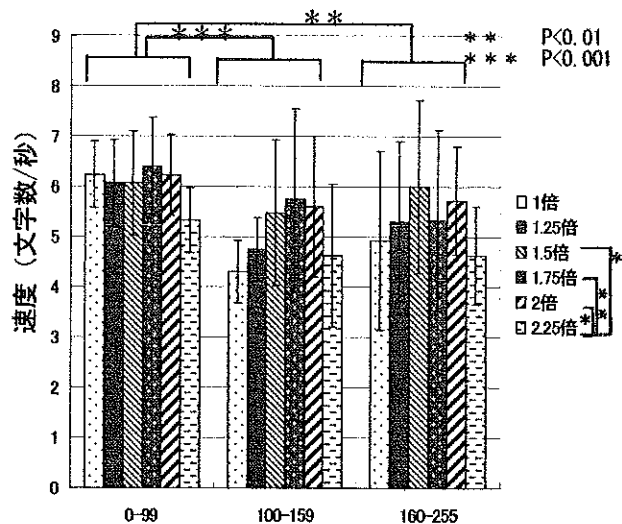


図2 速度（文字数/秒）の結果

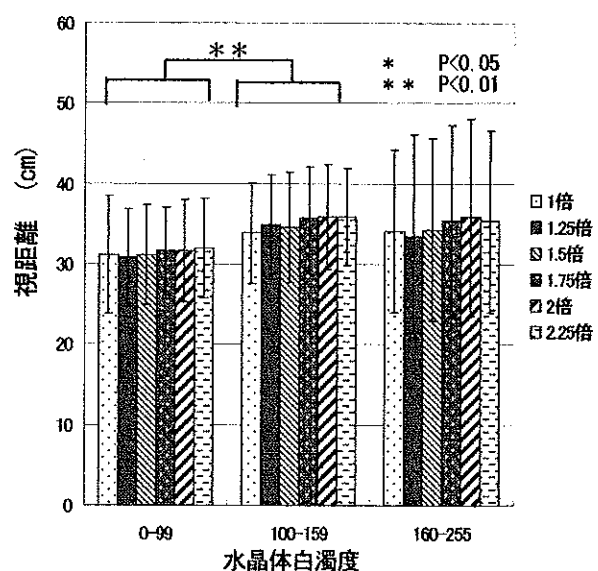


図3 視距離（cm）の結果

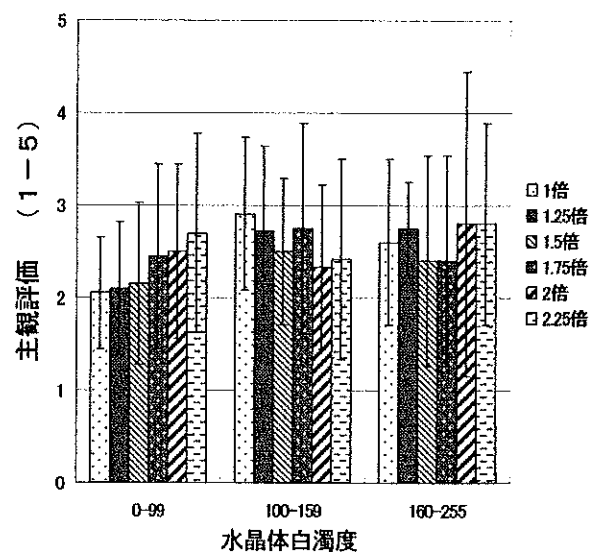


図4 主観評価の結果  
(1：大変読みやすい～5：大変読みにくい)

## 色が視覚探索に与える影響 ～単語からの想起色との関連性～

### An Effect of the Target Color on the Word Visual Search Task

○ 若林信吾\*, 伊丸岡俊秀\*\*

\*金沢工業大学大学院工学研究科 \*\*金沢工業大学心理情報学科

WAKABAYASHI Shingo\*, IMARUOKA Toshihide\*\*

\*Graduate School of Engineering, Kanazawa Institute of Technology

\*\*Department of Psychological Information, Kanazawa Institute of Technology

#### 背景・目的

視覚探索において、目標の顕著性を高くすることで、探索効率が高くなると言われている<sup>1)</sup>。日常生活に目を向けると、広告や掲示物などで単語を使用する際、情報を伝達するために形や色、大きさ、動きなど様々な次元における顕著性を高くすることで、他の情報よりも優先的に注意を向けさせようとしている。

そのような広告等で単語に色が用いられている時、単語の意味から想起される色を使用しているケースが多いことに気付く。この場合、色は探索効率に影響を及ぼしているのだろうか。本研究では、色に注目し、単語色と語の意味から想起される色の関係が、視覚探索にどのような効果を及ぼすか明らかにすることを目的とした。

#### 実験 1

実験 1 では、単語の意味から想起される色と文字色が探しやすさにどのように影響するかを検討した。それに先立って、単語の意味から想起しやすい単語、しにくい単語を調べるために予備実験を行った。

#### 予備実験

##### 方法

被験者は、正常な視力を持った学生 8 名（男性 6 名、女性 2 名）を対象に行った。

刺激は、天野・近藤（2003）<sup>2)</sup>より単語親密度、文字親密度が共に 7 段階中 6 以上の漢字 2 字からなる単語から無作為に 84 語を選択した。被験者には、黒色で呈示された単語から想起される色を PC 上で自由に作成するように求めた。

#### 結果

作成された色の RGB 値の被験者間 SD を算出し、SD が小さい上位 10 語を色連想容易語、大きい上位 10 語を色連想困難語と定義し、本実験において目標刺激として用いた。

#### 実験方法

##### 被験者

正常な視力を持つ大学生 16 名（男子 13 人、女性 3 人）、内 1 名は、結果の信頼性に疑問があったため除外した。

##### 刺激

目標単語として色連想容易語 10 語、色連想困難語 10 語を用いた。また妨害単語には、目標単語群と単語親密度、文字親密度がほぼ等しい 274 語からランダムに選択したものをを用いた。単語の色は、実験者が用意した 6 色（赤、緑、青、黄、水色、紫；非想起色）と各被験者が、目標単語から想起した色（想起色）の計 7 色で呈示した。

ただし、非想起色は目標単語の輝度に合わせて試行ごとに調整された。

### 手続き

実験に先立って被験者は、目標語のリストを見て、単語の意味から想起される色を予備実験と同様の手続きで作成した。その後実験者が想起色の輝度を測定し、実験が行われた。

まず目標となる文字が画面上に呈示され、次に妨害刺激を含めた文字刺激が呈示された。被験者には、その中に最初呈示された目標があるかないかの判断を出来るだけ速く正確に反応するように求めた。文字刺激数 20 単語、セットサイズ 4, 8, 12 種類の 3 パターン、色刺激 7 種類に目標の有無を加えた計 840 試行を行った。

### 結果

色連想容易語と色連想困難語に分け、Fig1,2 は、非想起色 6 色の平均と想起色の平均反応時間をセットサイズごとに表したものである。想起色の反応時間をセットサイズごとに表したものを示す。

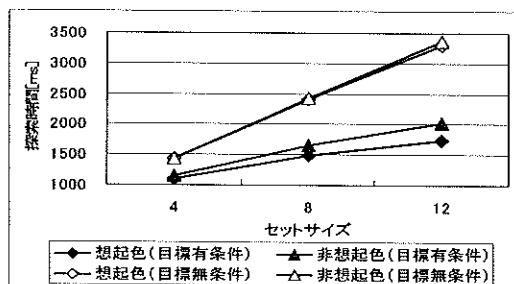


Fig.1 色連想容易語時の目標の有無

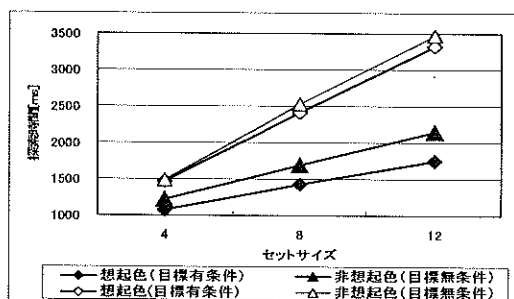


Fig.2 色連想困難語時の目標の有無

色連想容易語と色連想困難語、どちらも目標無条件の方が、目標有条件よりも探索時間が遅くなった。セットサイズが増加していくほど遅く、傾きも大きくなっている事から、色の付いた文字を探すという行為は、逐次的探索が行われていたことが分かる。またセットサイズ、想起色と非想起色の間に差が見られた。これら差に関して、4 要因 repeated measures 分散分析を実施したところ、目標の有無、色、セットサイズで有意な主効果が得られた。そして、目標の有無×セットサイズ、単語×色、色×セットサイズの 2 要因、目標の有無×色×セットサイズ、目標の有無×色×単語の 3 要因でそれぞれ有意な交互作用が得られた。

### 考察

想起色、非想起色のセットサイズごとの反応時間を見ると、色連想容易語は色連想困難語に比べて探索時間が長くなっている。これは、色連想容易語が非想起色で呈示された時に起こったものと考えられる。また目標の有無と単語と色で、有意な交互作用が得られた。語意味から容易に色を想起できる単語を用いたときには、単語から想起色を文字色として使用することで、探索効率が上がると考えられる。

このように実験 1 では、色が、探索効率に何らかの影響を及ぼしていることが分かった。しかし実験 1 では、想起色と非想起色間の比較によってのみ考察しているため、想起色と呈示色の一致による探索促進か、不一致による妨害か結論付けることは難しい。

従って、より直接的に調べるために、実験 2 では、色を付けない条件を加え、一致、不一致条件と比較することとした。

## 実験 2

実験 2 では、実験 1 で見られた単語から想起される色と文字色との差が、色による促進なのか妨害なのかを検証する。

### 実験方法

#### 被験者

正常な視力を持つ大学生 13 名（男性 10 名、女性 3 名）、高校生 1 名、計 14 名を対象に行った。また内 5 人は、実験 1 と共通の被験者であった。

#### 刺激

目標単語は、実験 1 で使用した色連想容易語、色連想困難語各 10 語。妨害刺激を 274 語からランダムに呈示した。色刺激は、実験者が用意した非想起色の 4 色（赤、緑、青、黄）と、各被験者が目標単語から想起される色を作成した想起色条件、そして色を付けない条件の黒色（単一色条件）を加えた計 6 色で呈示した。

#### 手続き

手続きは、以下に記した点を除き実験 1 と同様であった。

文字刺激は、色を付ける条件と単一色条件を別ブロックで行った。被験者は、実験を行う前に色連想容易語、色連想困難語の各 10 単語の想起色を作成した後各ブロックの実験を行った。ブロックの実施順は被験者間でカンウンターバランスした。文字刺激に色を付けた条件では、文字刺激数 20 単語、セットサイズ 4, 8, 12 種類の 3 パターン、色刺激 5 種類に目標の有無を加えた計 600 試行、単一色条件では、計 120 試行を行うように求められた。

### 結果

色連想容易語と色連想困難語に分け、非想起色、想起色、単一色の反応時間をセッ

トサイズごとに表したものを示す。

Fig.3 色連想容易語時の目標の有無

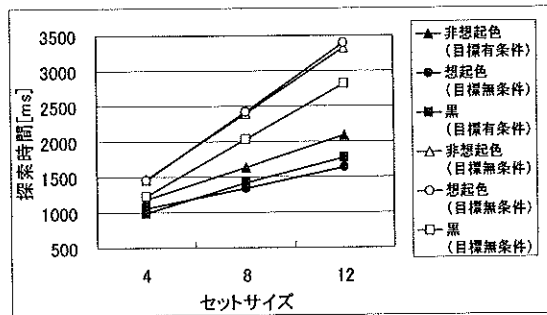


Fig.4 色連想困難語時の目標の有無

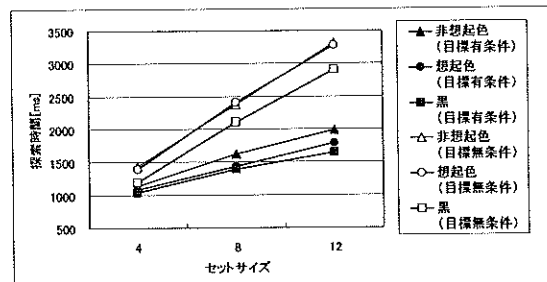


Fig.3,4 共に、実験 1 と同様、逐次的探索が行われていることが分かる。目標無条件では、想起色、非想起色に関係なく探索時間が同じような結果が得られた。そして目標の有無を問わず、ほぼ想起色、非想起色よりも単一色の方が、探索時間が速い結果となった。しかし、色連想容易語の目標有条件以外は、単一色条件の反応時間が最も小さい結果となった。

また Fig5,6 に、セットサイズ 12 の時の目標の有無による各色における色連想容易語と色連想困難語の違いについてまとめたグラフを示す。

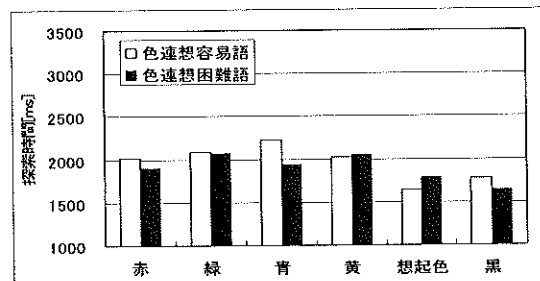


Fig.5 目標有条件下各色の色連想容易語、困難語の探索時間の違い

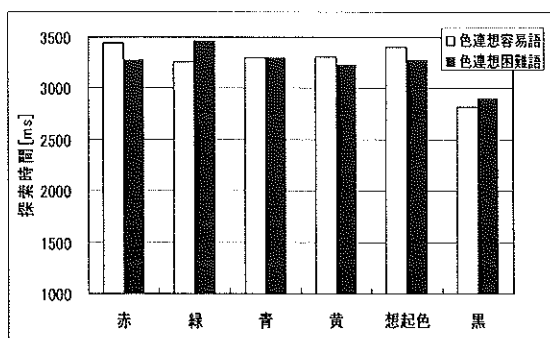


Fig.6 目標無条件で各色の色連想容易語、困難語の探索時間の違い

得られた結果の反応時間から、目標の有無、色に違いが見られた。これらの差に関して、4 要因 repeated measures 分散分析を実施したところ、目標の有無、セットサイズ、色で有意な主効果が得られた。そして目標の有無×セットサイズ、目標の有無×色、セットサイズ×色の 2 要因、目標の有無×セットサイズ×色の 3 要因でそれぞれ有意な交互作用が得られた。また目標の有無×単語×色、単語×セットサイズ×色の 3 要因、目標の有無×単語×セットサイズ×色の 4 要因でそれぞれ、10%水準で有意傾向が見られた。また 4 要因の交互作用の下位検定の結果、色連想容易語で目標有条件の場合の色を見た時、黒>想起色、色連想困難語で目標有条件の場合、想起色>黒という差があることが示された。目標有条件でセットサイズと色を見た場合、セットサイズ 12 で見られた単一色と想起色の差が、セットサイズ 4,8 では見られなかった。しかしセットサイズ 8 では、探索時間にセットサイズ 12 と似たような傾向が見られた。

### 考察

実験 1 で見られた、単語から想起される色と文字色との差が、色による促進なのか妨害なのかを検証した結果、目標の有無に

よりその効果に違いが表れた。目標無条件の場合では、色連想容易語、色連想困難語の間に差はほとんどなく、色に関しても単一色条件における反応時間が想起色、非想起色条件のいずれよりも小さかったことから、目標が呈示されていない時には、項目に色を付けることは探索を妨害すると言える。目標有・セットサイズ 12 条件では、色連想困難語では想起色よりも単一色条件の反応が速くなるのに対し、色連想容易語では、単一色条件よりも想起色に対する反応が速くなる事が示された。従って、単語から想起されやすい色を用いることで促進効果が得られ、視覚情報が増加するに伴い、その効果は顕著に高くなると考えられる。

### まとめ

本研究は、色が文字に与える影響は、視覚探索にどのような効果を及ぼすかということ为目的に実験を行った。結果、単語から連想されやすい色を使用した場合に、探索は促進されることが確認された。例えば広告などの場合、単語の色が、見えやすさだけでなく、単語から想起される色を使用した方が、注視されやすくなるということである。

### 参考文献

- 1) 熊田孝恒：視覚探索，心理学評論，vol.6(3)，pp426-443(2003)
- 2) 天野成昭・近藤公久：日本語の語彙特性 CD-ROM 版 第 I 期・第 II 期，三省堂 (2003)

## 視覚探索における若年者と高齢者の眼球運動特性の比較

### Comparison of Eye Movement Characteristics in Visual Search between Younger and Older People

○徐 小念、森本一成

京都工芸繊維大学 工芸科学研究科

XU Xiaonian and MORIMOTO Kazunari

Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology

#### 1 はじめに

情報機器の設計には、高齢者への配慮が益々要求される。そのため高齢者に配慮した情報環境の構築に際しては、彼らの身体機能等に関するデータが非常に重要になる。たとえば、機器操作における眼球運動特性は設計のために重要な要素である<sup>1)</sup>。筆者らはこれまでに高齢者の機器操作における戦略を眼球運動から解明しようとしてきた<sup>2)</sup>。しかし、まだまだ情報機器の設計に活用できるだけのデータを収集できていない。本研究では高齢者の情報処理特性の一端を明らかにし情報機器設計のための示唆を得るために、視覚探索実験を行い情報検索における若年者と高齢者の眼球運動特性を比較した。

#### 2 実験方法と条件

##### 2.1 実験方法

実験風景を図 1 に示す。被験者を椅子に座らせ、頭部が自由に動かないようにあご台を用いて固定し、目



図 1 実験風景

の高さの視線が画面の中央に来るようにした。被験者と呈示刺激間の距離は被験者が画面にタッチしやすい距離 (30~40cm) であった。

ディスプレイに呈示した文字列を被験者に観察させ、複数の刺激の中から目標刺激を探し出させるタスクを与えた。まず、目標刺激である文字列とスタートボタンならびにホームポジションを表す×印が画面上に呈示した。被験者は目標刺激である文字列を記憶した後スタートボタンを押す。すると、目標刺激とスタートボタンが消えて 1 秒後に目標刺激を含む複数の刺激が呈示された。被験者が目的刺激を選択すると全刺激が画面から消え、次の目標刺激とスタートボタンが呈示された。もし、被験者が目標刺激以外の刺激を選択した場合、選択し直しをさせないで次の目的刺激を呈示した。なお、ホーム、ポジションは消さないで常に呈示した。また、画面上の文字列を選択するとき以外は、ホームポジションに利き腕の指を置くように指示した。

##### 2.2 呈示刺激の種類

実験に使用した刺激 (文字列) は文字数が 3、5 ならびに 7 文字の 3 種類であった。文字種はひらがな、カタカナおよびアルファベットの無意味綴りと数字の 4 種類であった。

1 画面の呈示刺激数は、1 個の目標刺激を含む 6、12、18、24、30、36 個の 6 種類であった。文字色は黒色、背景色は灰色とした。

実験の 1 セッション内では呈示刺激数を一定として 10 試行の実験を行った。各セッションはそれぞれの文字数と文字種の組合せで行った。したがって、各被験者には全部で  $3 \times 4 \times 6 = 72$  セッションを課し

た。なお、被験者ごとにセッション順序はランダムとした。

## 2.3 実験装置

刺激呈示用ディスプレイのサイズは 17 インチ (1,280×1,024 ドット) で、画面上にタッチパネル (タッチパネルシステムズ社) が装着されていた。

視覚探索における眼球運動の測定には両眼眼球運動測定装置 (竹井機器工業) を用いた。眼球運動データ (座標値と時間) はコンピュータに保存され、ゴーグルに装着してあるカメラで撮影した画面はビデオデッキ (EV-S2200、SONY) に録画された。

## 2.4 被験者

被験者は 65 歳以上の高齢者が 10 名 (男性 7 名、女性 3 名) と 20 代の若年者 10 名 (男性 5 名、女性 5 名) であった。彼らは正常視力または正常な矯正視力を有する健常者であった。なお、高齢者の情報機器に対する日頃の考えをや、情報機器の使いやすさに関するアンケートをした結果、彼らは日常生活での視覚探索において困難と覚えることは比較的少ないということがわかった。

## 2.5 データ解析について

目標刺激と複数の妨害刺激が呈示されてから、目的刺激を選択するためにホームポジションから指を離すまでを探索動作とした。両眼眼球運動測定装置で測定した情報探索における眼球運動データを、眼球運動統計プログラム II (竹井機器工業社) を用いて解析した。解析項目は眼球の停留点と停留時間であった。また、ビデオデッキに録画した眼球運動の軌跡を解析し、探索行動の特徴を検討した。

## 2.6 停留点

眼球運動における停留点および停留時間は人の認知処理を理解する上で重要な手がかりとなる<sup>3)</sup>。一般的に視線の停留している間は停留点付近から視覚情報を取得して認知処理に用いる。一方、サッケードの間はほとんど視覚情報を得ることはできない。

眼球運動を解析するために注視点の定義が必要となる。注視点は視線の停留時間とサッケードの分離により、基準値を設定することにより定義づけることができる。タスクによって 5 (deg/sec) 以上または 10 (deg/sec) 以

上をサッケードとして定義する場合があるが、今回のタスクでは眼球運動が高速であるため 10 (deg/sec) でサッケードの分離を行った。つまり、10 (deg/sec) 以上をサッケードとし、それ未満を停留とした。

## 3 実験結果と考察

### 3.1 平均停留時間

サッケードは非常に高速で眼球運動の全時間の 10% を占めるにすぎない。一方、停留は全時間の 90% を占めると言われている<sup>4), 5)</sup>。したがって、停留は視覚探索に大きな影響を及ぼすと考えられる。そこで、高齢者と若年者の探索時における平均停留時間を解析し、呈示刺激数毎の文字数および文字種について比較した。

文字数の違いにおける平均停留時間について、図 2 に高齢者、図 3 に若年者の場合の結果を示す。高齢者の場合はどの文字種の場合も文字数が 7 文字になると平均停留時間は長くなる傾向があったが、若年者の場合は文字数による影響はそれほどないことがわかった。文字数が多くなると文字列自体が複雑になるため、高齢者は文字の照合に迷いを生じていると推測される。特に、アルファベットの時にその特徴は顕著に見られた。

図 4 に文字種の違いによる高齢者の平均停留時間を示す。文字種がアルファベットになると平均停留時間は長くなる傾向があった。一方、図 5 に示す若年者の場合の平均停留時間を見ると、文字の違いによる差はないことがわかった。これらは高齢者がアルファベットの識別に慣れていないためと推測される。

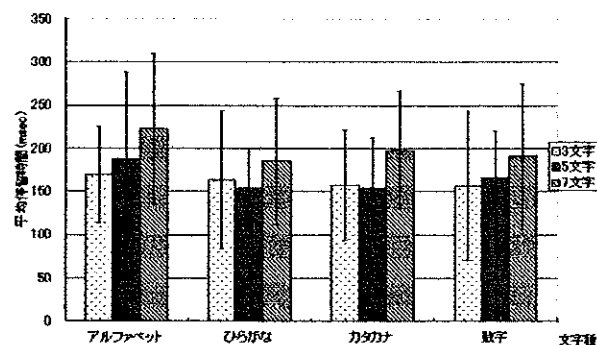


図 2 高齢者の平均停留時間の文字数間での比較



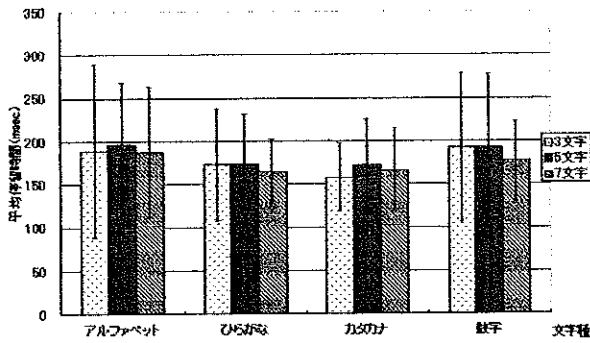


図3 若年者の平均停留時間の文字数間での比較

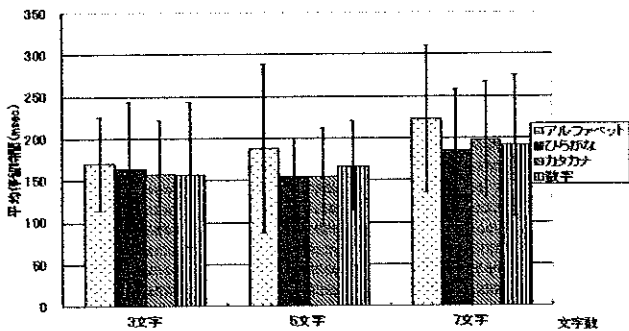


図4 高齢者の平均停留時間の文字種間での比較

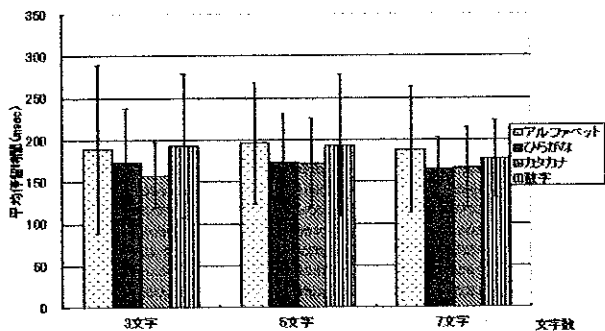


図5 若年者の平均停留時間の文字数間での比較

### 3.2 運動軌跡

次に運動軌跡を（付属の眼球運動統計プログラムⅡにより）解析した。その結果、高齢者の場合の視覚探索には停留位置と運動軌跡の違いにより5つのパターンのあることがわかった。以下に、それらを説明する。

パターン1は行の左端から右に順番に照合をして、その行の照合を終えたら、次の行の左端から順番に右へ照合を行うという戦略である(図6(a))

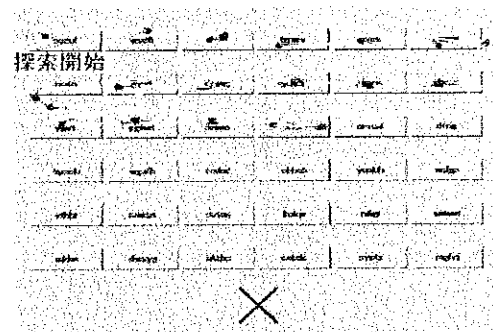
一方、パターン2は行の左端から横に順番に照合を行い、照合を終えたら次の行の右端から左方向に順番に照合を行う戦略である(図6(b))。

次に、パターン3は列の左端から縦に順番に照合を行い、照合を終えたら次の列の上から順番に照合を行う戦略である(図6(c))。

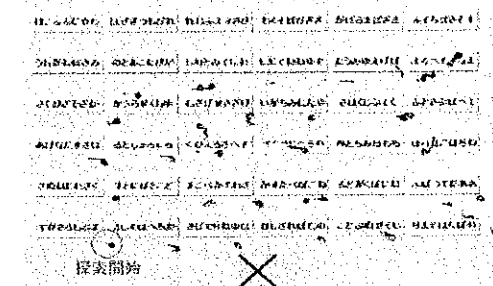
また、パターン4は列の左上から下に順番に照合を行い、照合を終えたら右の列の下から上方向に順番に照合を行う(図6(d))。

最後に、パターン5は画面が表示された時に見ていた視線の停留位置に近い刺激から照合を行い、まだ照合を行っていない場所をランダムに照合していく戦略である(図6(e))。

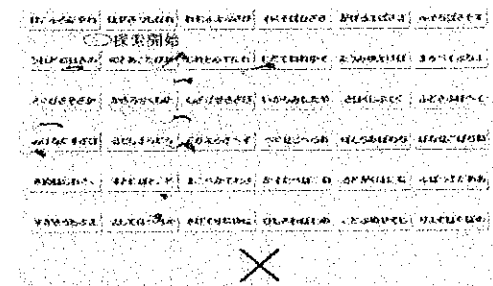
なお、これら5つのパターン以外はその他とした。たとえば、刺激が呈示されるといきなり刺激を見つけてしまいパターンが読み取れない場合などである。



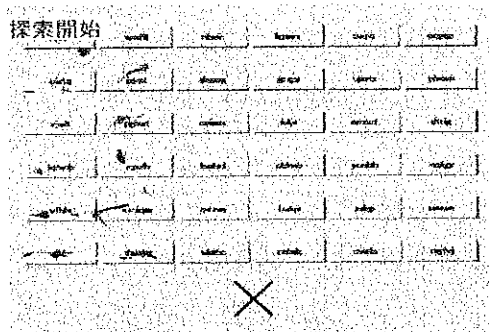
(a) パターン1



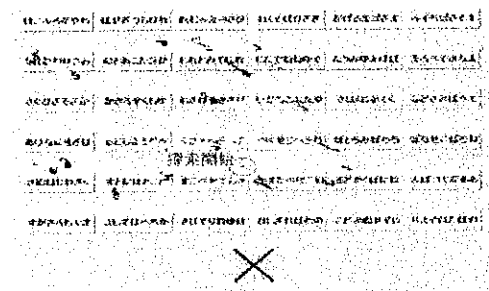
(b) パターン2



(c) パターン3



(d) パターン4



(e) パターン5

図6 眼球運動軌跡のパターン

次に、得られた高齢者と若年者における停留位置と運動軌跡の各パターンの割合を図7に示す。これからわかるように高齢者と若年者の両方で探索に用いられた戦略としてはパターン2が圧倒的に多かった。若年者のパターン2の割合が38%に対して、高齢者のそれは47%であった。このことより若年者より高齢者の方が順番に丁寧に探索する傾向があると言える。

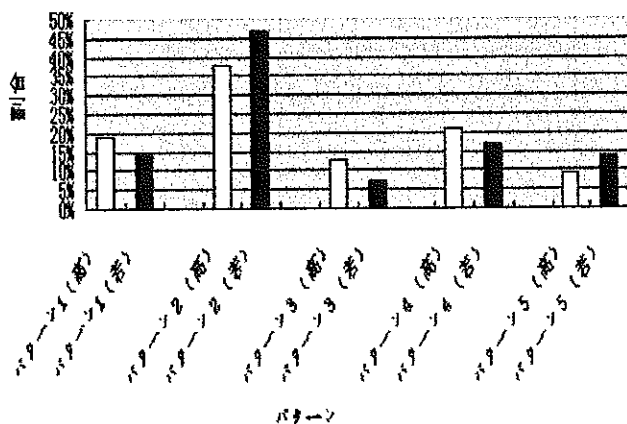


図7 視線移動パターンの割合

#### 4 まとめ

視覚探索における高齢者と若年者の眼球運動を測定し、平均停留時間、停留位置、ならびに眼球運動軌跡を検討した。その結果、高齢者は探索において刺激がアルファベットの場合では平均停留時間が長くなる傾向が見られた。また、文字数が多くなると平均停留時間が長くなる場合の多い傾向も見られた。

また、眼球運動軌跡からわかった視覚探索戦略には最低5つのパターンがあり、高齢者と若年者ともにパターン2の戦略をとる傾向が高かった。このことは、情報の呈示画面の設計において、効率的な情報探索を可能にするための一つの示唆を与えていると思われる。ただし、今回の実験で用いた視覚刺激は無意味綴り文字や数字であったため、意味を有する情報の探索でも今回と同じ傾向が現われるかについて実験による検討が必要である。

#### 参考文献

- 1) 福田、渕田：読みにおける高齢者と若年者の眼球運動の比較、照明学会第30回全国大会、pp. 1-2 (1997)。
- 2) 奥山、徐、森本、黒川：画面表示したオブジェクトの探索における高齢者の眼球運動特性、ヒューマンインターフェースシンポジウム、pp. 1-2 (2006)。
- 3) 大野健彦：視線から何が分かるか—視線測定に基づく高次認知処理の解明、日本認知科学会、『認知科学』9巻4号、pp. 1-4 (2002)。
- 4) 荻阪、古賀、中溝：眼球運動の実験心理学、名古屋大学出版会 (1993)。
- 5) 小松崎、篠田、丸尾：眼球運動の神経学、医学書院 (1985)。

# 「三角波状の運動視標追従に見られる運動反転時の学習特性」

## A learning characteristic in eye tracking triangler wave at the inversion motion

○笹山一樹\*, 堀井健\*\*, 小谷賢太郎\*\*

\*関西大学大学院 工学研究科, \*\*関西大学 工学部

Sasayama Kazuki\*, Horii Ken\*\*, Kotani Kentaro\*\*

\*Graduate School of Engineering, Kansai University,

\*\*Faculty of Engineering, Kansai University,

### 1 はじめに

脳内の情報処理を知る一手段として, 学習機構を取り入れた眼球運動モデルの構築がある<sup>1)</sup>. 中でも運動視標追従時の眼球運動は霊長類特有の眼球運動であり, 学習や予測といったヒトの高次な情報処理が反映される<sup>2)</sup>. ゆえに, その眼球運動モデルの構築が進められている.

運動視標が速度の不連続点を有する場合, その不連続点(運動反転時)において, 追従開始時には, 視標の運動反転位置を過ぎてしまい, その結果視標をとらえなおす急速な眼球運動(以下 saccade)が頻繁に認められる. そして, 追従を繰り返すと次第に無理のない滑らかな眼球運動(以下 smooth pursuit)となる.

眼球運動の軌跡を再現するためにどのような学習が行われるのかを, 学習機構を取り入れたモデル化によって示唆する研究は多数ある<sup>3)4)5)</sup>. しかしながら, 速度の不連続点を有する運動視標を用いた研究は少ないこともあり, 不連続点を有する場合に生じる smooth pursuit の学習機構については明らかにされていない.

そこで本研究では, 速度の不連続点を有する運動視標追従時の眼球運動モデル化を目標に, 三角波状の運動視標追従実験を行い, 速度不連続点における眼球運動特性を得ている.

### 2 実験

眼球運動計測装置を用い, 運動視標追従時の眼球運動を計測した.

#### 2-1 実験条件

被験者(矯正視力 0.8 以上の健常な大学生 4 名)は, 暗室中で椅子に座り, 視標提示用 PC の画面中央の基準注視点に眼球の高さを合わせた. そして, 視距離が 600 [mm] となるように顎のせ台と頭部支持台によって頭部を固定し, 運動視標追従実験を行った. 眼球運動計測装置は, SR Research 社の EyeLink (サンプリングレート 250 [Hz], 注視点誤差 0.5 [deg] 以下)を用いた.

#### 2-2 視標条件

視標(直径 2 [mm] の黒丸: 背景は灰色)の運動は速度の不連続点を有する三角波運動である. 視標の速度は 10, 20, 30 [deg/sec], 視標の振幅は 5, 10, 20 [deg] に設定した. 視標追従期間は 15 周期(予備実験により, 十分学習したと判断できる期間)である. また, 被験者の予測を含まないように, 速度値と振幅値は試行毎にランダムに振り分けた.

#### 2-3 解析方法

実験により得られたデータにはまばたきの部分やノイズが含まれる<sup>6)</sup>. 眼球軌跡データより, まばたきの部分を取り除き, 3 点の移動平均でノイズを除去(カットオフ周波数: 38 [Hz])した. 眼球運動軌跡からの saccade 抽出には, 堀井の提唱する saccade 抽出条件を用いた.

### 3 結果

視標の追従開始時および追従終了直前に得られた運動反転時の眼球運動軌跡例(速度 20 [deg/sec], 振幅 10 [deg])を図 1 に示す.

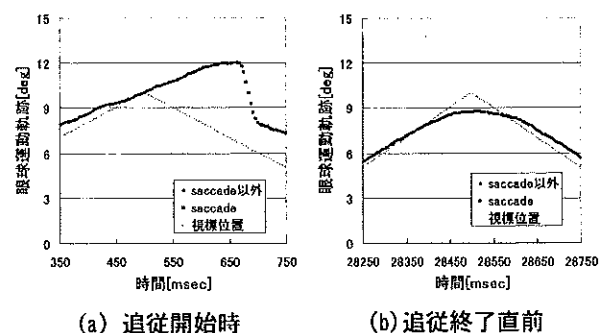


図 1 視標の運動反転時における視線と眼球軌跡

図 1(a)で, 眼球は視標の運動反転位置を過ぎた後, saccade で視標をとらえなおしている. これに対し図 1(b)で, 眼球は視標の運動反転位置まで追従していなく, その近傍で sin 波に近い形状の smooth pursuit をしている. 図 1(a)に相当する眼球運動軌跡は運動開始時に多くみられ, 追従が繰り返されるに従って 図 1(b)のような眼球運動軌跡となった.

#### 4 考察

追従期間中の各周期において、運動反転時に saccade が発現せず smooth pursuit だけで追従した回数を求めた。全試行回数に対するその割合を smooth pursuit 出現率として求めたのが図 2（値は全被験者の平均値を示す）である。視標速度が 30[deg/sec] の場合、追従開始時ならびに十分に追従が繰り返された後でも smooth pursuit 出現率がほとんど変化しないことがわかる。これは、視標の速度が速くなるほど運動反転位置における smooth pursuit の追従がむずかしくなり、学習による内部モデルの形成が困難になることを意味する。一方、速度 10[deg/sec] および 20[deg/sec] の場合、追従開始時の smooth pursuit 出現率は低い値を示しているが、追従が進むにつれて smooth pursuit 出現率が高くなる。このことより、ヒトは追従が進むにつれて、視標の運動反転位置を学習し、予測することで、smooth pursuit で追従するようになる。

上述のことをモデルへ導入をするには、ここで得られる sin 波形状の眼球運動軌跡を定量的に評価する必要がある。視標の運動反転時の運動特性として、sin 波形状の運動が維持されている時間、ならびに最大振幅が挙げられる。

視標の運動反転時近傍での眼球運動軌跡を見てみると、最初は一定速度の smooth pursuit であり、次いで sin 波形状の smooth pursuit が発現し、その後一定速度の smooth pursuit となる。それゆえ、sin 波の持続時間は眼球運動軌跡の加速度により求めた（図 3）。持続時間中における眼球運動軌跡の最大振幅と視標振幅の比を求めた。持続時間ならびに振幅比を図 4 に示す。

視標速度が速く、視標の運動振幅が小さくなるほど sin 波の持続時間が短くなり、眼球は視標の運動反転位置より手前で反転することがわかる。これらの特性を眼球運動モデルへ組み込むことで、速度の不連続点を有する場合の視標追従の眼球運動軌跡を再現できる。

#### 5 まとめ

- 速度不連続点を有する運動視標追従時において、その不連続点における運動特性を定量的に示した
- この運動特性を学習モデルとして眼球運動モデルへ組み込むことが可能と考えられる

#### 謝辞

本研究は文部科学省学術フロンティア推進事業（平成 18 年度～平成 23 年度）の援助を受けた。

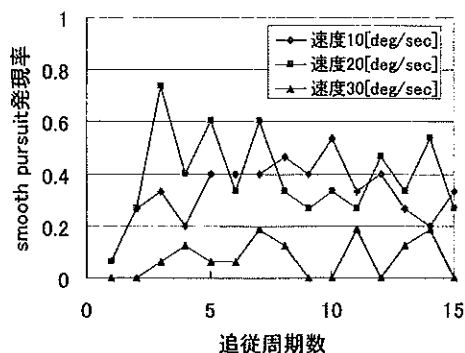


図 2 smooth pursuit 出現率

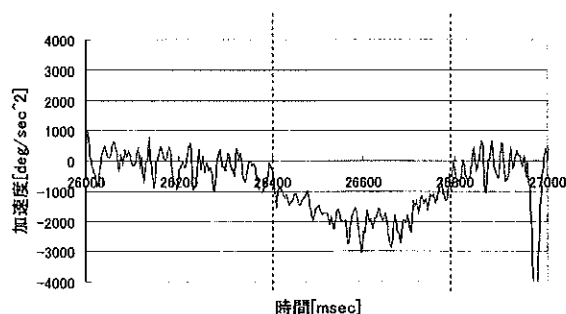


図 3 運動反転時の加速度

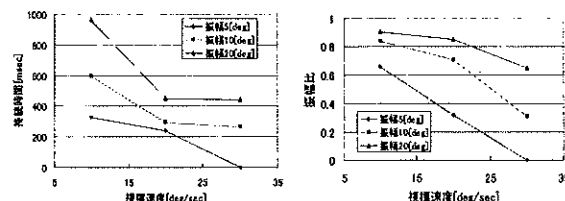


図 4 sin 波の構成要素

#### 参考文献

- 1) 川入光男：日本神経回路学会誌 Vol.9, No.2, Page132-139 2002.06.05
- 2) Ilg, U.J. : Smooth pursuit eye movements: From low-level to high-level vision, Progress in Brain Research, Vol.140, pp.279-298, 2002
- 3) Kettner, R.E. : Prediction of Complex Two-Dimensional Trajectories by a Cerebellar Model of Smooth Pursuit Eye Movement, Journal of Neurophysiology, Vol.77, No.4, pp.2115-2130, 1997
- 4) Burgi, P.Y., Yuille, A., and Grzywacz, N.M. : Probabilistic motion estimation based on temporal coherence, Neural Computation, Vol.12, No.8, pp.1839-1867, 2000
- 5) Shibata : A model of smooth pursuit in primates based on learning the target dynamics, Vol.18, Neural Networks, pp.213-224, 2005
- 6) B. L. Zuber, L. Stark & G. Cook: Microsaccades and the Velocity-Amplitude Relationship for Saccadic Eye Movements, Science, Vol.150 (702), pp.1459-1460, 1965.

## 幾何学的要素が渦巻き錯視図形に及ぼす影響の定量的表現

Quantitative expression of the influence that the geometric element gives to the spiral illusion

○金原英寛\*, 堀井健\*\*, 小谷賢太郎\*\*

\*関西大学大学院工学研究科 \*\*関西大学工学部

Hideo Kanehara\*, Ken Horii\*\* and Kentaro Kotani\*\*

\*Graduate School of Engineering, Kansai University, \*\*Faculty of Engineering, Kansai University,

## 1 はじめに

同心円が渦巻き状に見える錯視を渦巻き錯視といい、この時の図形を渦巻き錯視図形という。渦巻き錯視は長い間、角度錯視の1つであるフレーザ錯視図形から生じる特有のものと考えられてきたが、最近、基本図形である同心円に色々な角度錯視図形を付加することによって渦巻き錯視図形を作ることができることが明らかにされた<sup>[1]</sup>。この時の渦巻き錯視は、角度錯視図形自体がもたらす、主線の傾きという錯視現象によるものだと考えられる。すなわち、主線の傾きという錯視現象を生じさせる図形パターンそのものが要因であると推測される。一般に、角度錯視の場合は錯視量の定量的な測定が可能であるが、渦巻き錯視の場合には渦巻きの生起の判断のみであるゆえ、錯視量の定量的な測定は困難である。李らは渦巻き錯視の生起強度を定義し、それをもって渦巻き錯視の錯視量を評価するという方法を提案した<sup>[2]</sup>。そこで本研究では、ツェルナーの錯視図形により渦巻き錯視図形を作成し、李らの方法を用いて生起強度を求めた。そして、求めた生起強度とツェルナー錯視図形の主要因となる交差角との関係を調べ、渦巻き錯視の錯視量の定量的測定の確立を目指した。

## 2 実験方法

**刺激図形：**ツェルナー錯視図形によって構成した渦巻き錯視図形を用いた(図 1)。この図形は物理学的には同心円であるが、心理的には渦巻きに見える錯視図形である。ツェルナー錯視図形を用いて、主線の傾きという錯視量(以下、傾き錯視量と記す)の値が $1^\circ$ 、 $2^\circ$ 、 $3^\circ$ に知覚されときの各交差角を求めた(図 2)。同心円に対して交差角が一定となる性質を持つペルヌーイの螺旋により、上で求めた各交差角を与え、3パターンの渦巻き錯視図形を作成した。これらの3刺激図形の大きさはいずれも18cmであり、基本構成として、渦巻き図形の斜線は40本、同心円の数は11個に設定した。

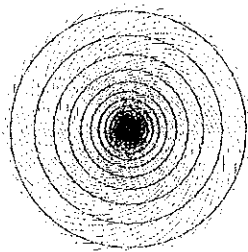


図1 刺激図形

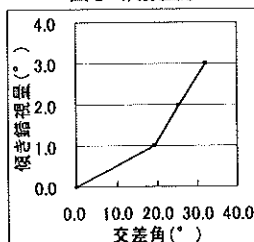


図2 交差角と傾き錯視量の関係

**刺激図形の提示：**渦巻き錯視の生起強度を求めるために、刺激図形を刺激提示装置(図3)の回転板に取り付け、被験者に静止状態または回転状態で提示した。回転の向きは右向き、左向きの両方向を取り、回転数の範囲は、10回/minのステップで、回転数0回/min(静止状態)から190回/minまでを取った。刺激提示の条件としては上昇系列と下降系列とを設け、系列の順序、左右回転条件、3種類の刺激図形の提示順序についてはランダムに設定した。

**刺激提示装置：**装置の主要部の平面図を図3に示す。

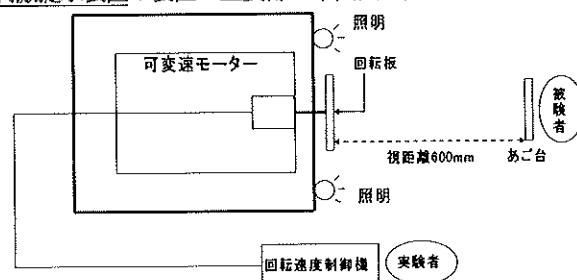


図3 刺激提示装置

被験者は、刺激図形より600mm離れた位置に固定されたあご台にあごを乗せて観察した。実験は暗室で行われた。刺激提示装置には図に示すように4個の40wの電球が取り付けられており、これにより刺激図形を照らした。

**生起強度の求め方：**観察した結果、刺激図形がどのように見えるかを、渦巻きに見えるか、同心円に見えるかという2つのカテゴリーについて実験用紙に記入させた。渦巻き知覚された回数、同心円知覚された回数をそれぞれ総試行回数で割り、この値を各反応頻度とした。渦巻き知覚の反応頻度が0になるときの回転数を生起強度とした。また、決められた2つのカテゴリーとは別に、被験者自身がいかに見えるかを自由に記入させた。

## 3 結果と考察

図4, 5, 6はそれぞれ傾き錯視量が $1^\circ$ 、 $2^\circ$ 、 $3^\circ$ の条件下で知覚された渦巻き錯視の結果である。青線は渦巻き知覚に関する反応を示し、赤線は同心円知覚に関する反応を示す。この2つの場合以外の反応はなかった。全実験を通じて、回転数が10回/minを越えたあたりから渦巻き知覚の反応頻度が下がり始め、40回/minでは0になっている。傾き錯視量の変化にもとづく違いは見られなかった。これらのことより、傾き錯視量が変化した場合でも回転数には変化がなく、渦巻

き錯視にはあまり影響がないという結果になった。しかし注目すべき点は 40 回/min の時点で反応頻度が 0 になっている点である。すなわち、これは 40 回/min 以降は渦巻き知覚が消失していることである。先行研究<sup>[2]</sup>の結果では、50 回/min から反応頻度は下がり始め、反応頻度が

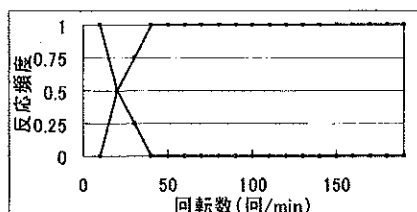


図4 回転数と反応頻度の関係(傾き1° 斜線40本)

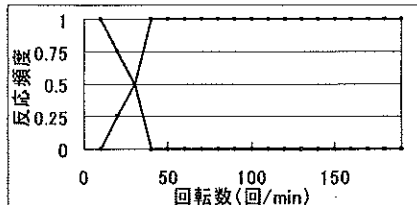


図5 回転数と反応頻度の関係(傾き2° 斜線40本)

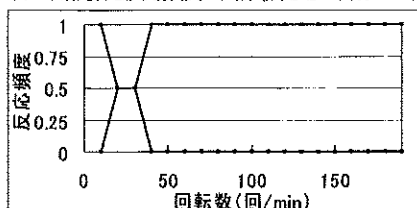


図6 回転数と反応頻度の関係(傾き3° 斜線40本)

0になるのは140 回/min のときである。先行研究との差は100 回/min もあるということになる。先行研究で使われている刺激図形はフレーザーの渦巻き錯視図形である。ここで、今回の実験で使用したツェルナーの渦巻き錯視図形とフレーザーの渦巻き錯視図形を比較してみると、図形を構成する錯視図形のパターンの違いはあるが、両図形とも渦巻きとして知覚することができる。渦巻きの生起強度を示す回転数の差がこのように明確に出るようなことは理解しがたい。

ツェルナーの渦巻き錯視図形とフレーザーの渦巻き錯視図形の間に、渦巻きの生起強度を示す回転数の明確な差が出た理由としては、図形を構成する背景模様の違いが原因であると考えられる。ツェルナーの渦巻き錯視図形は細かな線で構成されている。それに引き換え、フレーザーの渦巻き錯視図形は比較的大きな四角列で構成されている。すなわち、ツェルナーの渦巻き錯視図形は、構成される線が細かいことから、低回転数で背景模様が融合してしまい、斜線が灰色に見えてしまうために渦巻き錯視が消失してしまうものと考えられる。実際、被験者も低回転数で図形が融合し、同心円と灰色の背景しか見えなくなるとの回答であった。一方、フレーザーの渦巻き錯視図形は、構成される図形が大きいことから、図形が融合するのに必要な回転数が大きくなることは明らかである。このことにより、ツェルナーの渦巻き錯視図形よりフレーザーの渦巻き錯視図形の方が、生起強度を示す回転数が明らかに大きくなってしまったと考えられる。したがって、李らが提案した、渦巻き錯視の生起強度を測定する方法は、渦巻き錯視の生起強度を測定しているのではなく、図形が融合するときの回転数を求める方法であるということが今回の実験で示唆された。そこで、このことを実験的に検証することを試みた。提示図形としては、傾き錯視量を3°

に固定し、斜線を30本、20本に設定した2パターンの図形を用意し、再度実験を行った。実験方法は前回と同様である。ここで得られた実験結果を図7、8に示す。

先程示した傾き錯視量3°、斜線40本の結果も含めて考察する。ツェルナー錯視においては、斜線の数が多いほど傾き錯視量は大きくなると報告されている<sup>[4]</sup>。も

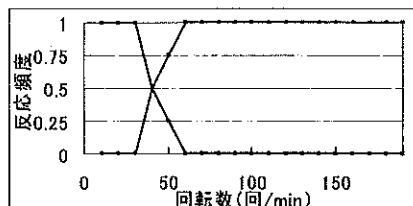


図7 回転数と反応頻度の関係(傾き3° 斜線30本)

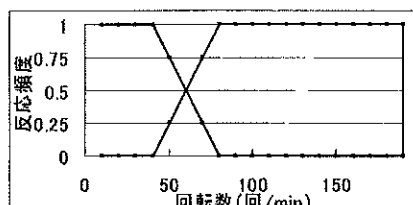


図8 回転数と反応頻度の関係(傾き3° 斜線20本)

し李らが提案した方法が渦巻き錯視の生起強度を測定する方法であるならば、斜線を少なくしたことから傾き錯視量が小さくなり、生起強度、つまり反応頻度が0になるときの回転数が小さくなると予想される。逆に、李らが提案した方法は、渦巻き錯視の生起強度を測定しているのではなく、単に図形が融合するときの回転数を求めているだけであるという仮説が正しければ、斜線を少なくすることで図形が融合するときの回転数、すなわち生起強度に相当する回転数は大きくなると予想される。生起強度に相当する回転数を見てみると、斜線40本では40 回転/min、30本では60 回転/min、20本では80 回転/min となり、斜線が少なくなるほど回転数が大きくなった。このことは、斜線を少なくするほど生起強度が大きくなることを示す。よって、李らが提案した方法は、渦巻き錯視の生起強度を測定しているのではなく、図形が融合するときの回転数を求める方法であるということが改めて示唆された。

#### 4 まとめ

- ・ 渦巻き錯視の錯視量を生起強度で評価するのは適切ではない
- ・ 渦巻き錯視の錯視量を求めるには、別の直接的な測定法が必要である

#### 5 謝辞

本研究は文部科学省学術フロンティア推進事業(平成18年度～平成23年度)の援助を受けた。

#### 参考文献

- [1] Kitaoka, A., Pinna, B. & Brelstaff, G.: New variations of spiral illusions, *Perception*, vol.30, pp.637-646 (2001).
- [2] 李 延福・今井四郎: Fraser 図形による位相幾何学的錯視に基づく動的な複合的錯視, *Reports from the Laboratory of Psychology, Hokkaido University*, vol.8, pp.1-28(1990).
- [3] Wallace, G.K. & Crampin, D.J.: The effect of background density on the Zöllner illusion, *Vision Research*, vol.9, pp.167-177(1969).

## 触覚の仮現運動における速度知覚の正確度

### Accuracy of speed perception in tactile apparent motion

○今江勇紀\*, 小谷賢太郎\*\*, 堀井健\*\*

\*関西大学大学院工学研究科 \*\*関西大学工学部

IMAE Yuki\*, KOTANI Kentaro\*\*, HORII Ken\*\*

\*Graduate School of Engineering, Kansai University, \*\*Faculty of Engineering, Kansai University

#### 1 はじめに

近年、皮膚感覚に対して情報提示を行う触覚インタフェースの研究が盛んに行われている<sup>1)</sup>。触覚インタフェースの主な研究例としては、パターンの提示を目的とするものと、テクスチャ感の提示を目的とするものが挙げられる。前者の先行研究例として、文字形状の提示を目的とした Optacon<sup>2)</sup>や図形パターンの提示を目的とした TVSS<sup>3)</sup>がよく知られている。後者の先行研究例としては、布の手触り感覚を提示する触覚ディスプレイや<sup>4)</sup>、弾性波動を用いて摩擦感を提示する触覚ディスプレイ<sup>5)</sup>など、様々な手法が提案されている。

以上のように、触覚に対して情報提示を行う研究には様々なものが挙げられる。しかしながら、未だに人間の触覚メカニズムに基づいた触覚インタフェースの設計指針は出揃っておらず、触覚情報統合の空間的範囲やリフレッシュレートと並んで、速度知覚メカニズムについての研究が必要であると指摘されている<sup>6)</sup>。実際、先に述べたパターンやテクスチャ感の提示を目的とした研究と比較すると、触覚に対して速度情報を提示する研究は明らかに少ない。そのため、触覚インタフェースにより提示される速度とヒトが知覚する速度にどの程度の差が生じるのかは明らかになっておらず、正確な速度提示は未だに困難であると言える。

触覚インタフェースにより速度感覚を提示することが出来れば、伝達できる情報の幅も広がるため、新たな利用価値を生み出すことに繋がる。よって、速度感覚の提示に適した刺激方法や、ヒトの触覚における速度知覚精度について明らかにすることは有用である。

そこで、本研究では触覚に対する速度情報の提示方法として、仮現運動に注目する。触覚の仮現運動とは、皮膚の離れた二点に時間差のある刺激を与えることによって、先行刺激点から後続刺激点に向かって、刺激が連続的に移動して知覚される現象である。過去の仮現運動に関する研究として、

Shimizu ら<sup>7)</sup>は手の平に対して、様々な提示モードで文字を提示した。その結果、仮現運動提示モードにおいて最も正答率が高かったと報告している。また、坂井ら<sup>8)</sup>は点字の伝達実験を行った結果、指腹部に仮現運動感覚を生じる提示条件において認識率が向上したと報告している。これらの研究例からも、触覚に対する情報提示において、仮現運動は有効であると言える。

仮現運動に関する研究は触覚よりも視覚の方が進んでおり、電光掲示板を移動する文字の表示や映画技術などに利用されている。このことから、ヒトは視覚の仮現運動による速度知覚を日常的に行っていると言える。よって、触覚の仮現運動による速度知覚の正確度が、視覚の仮現運動による速度知覚の正確度と同じか、それ以上であれば、触覚への速度情報提示は十分に実用可能であると言える。

速度知覚の正確度に影響を与える要因の一つには、時間分解能が挙げられる。視覚の時間分解能が数十 Hz であるのに対して、触覚の時間分解能は数百 Hz と格段に高い<sup>9)</sup>。このことから、触覚の方が視覚よりも正確に速度を知覚出来る可能性が考えられる。

よって、本研究では触覚と視覚の仮現運動における速度知覚の正確度を比較する事により、触覚に対する速度情報提示の可能性を評価することを目的とする。

#### 2 空気噴流による仮現運動の提示

触覚の仮現運動は振動刺激において明瞭に知覚できることが知られており<sup>10)</sup>、振動刺激素子を用いた研究例が多く、振動刺激以外による仮現運動提示の研究は少ない。しかし、振動刺激には長時間の提示によるストレスや<sup>11) 12)</sup>、振動ピンと皮膚との接触が保たれない場合があるといった問題点が指摘されている<sup>13)</sup>。

そこで、本研究では空気噴流刺激による仮現運動の提示

に注目した。空気噴流による触覚提示は提示部と皮膚が非接触の状態でも提示可能であるため、振動刺激の問題点を補うことが出来る。また、鈴木ら<sup>14)</sup>は空気を利用したインタフェースの利点として、提示領域を容易に拡張出来ることや、無拘束性、安全性の高さを述べている。

本研究で使用する空気噴流提示装置は、エアコンプレッサーにより生成された空気が精密レギュレータ、電空レギュレータ、電磁バルブを経由して、ノズルから噴射されるものである(図1参照)。提示圧力は電空レギュレータにより、1kPa単位で設定可能である。電磁バルブの開閉制御には、PCに組み込んだデジタル入出力ボードを利用した。

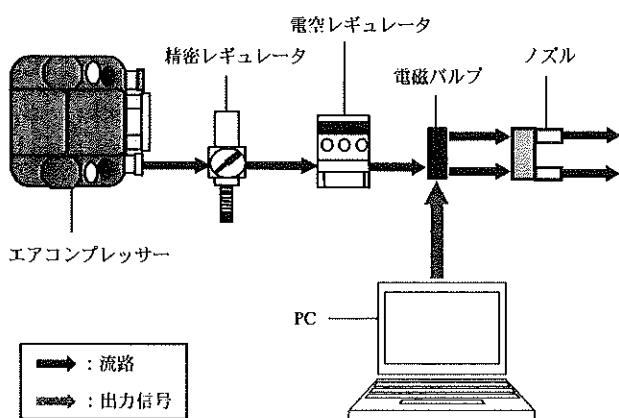


図1 空気噴流提示装置の構成

### 3 実験

#### 3.1 実験方法

##### ① 触覚実験：触覚の仮現運動による速度提示実験

被験者の非利き手示指の二点に対して、空気噴流刺激による仮現運動を提示する。被験者には提示された仮現運動の速度から、離れた位置に固定されているターゲットLEDに、刺激の移動が到達するタイミングでマウスのボタンをリリースしてもらった。仮現運動の先行刺激点からターゲットLEDまでの距離は45cmとした(図2参照)。

##### ② 視覚実験：視覚の仮現運動による速度提示実験

触覚実験の空気噴流刺激がLEDによる視覚刺激に変わっただけであり、実験方法は触覚実験と同じである。

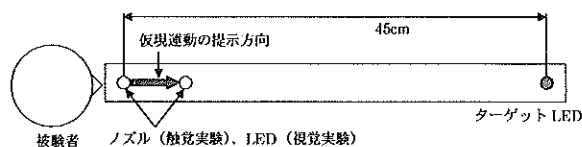


図2 ターゲットLEDの配置図

#### 3.2 提示刺激

提示する刺激は触覚実験、視覚実験ともに10パターンあり、それぞれDuration(提示時間)、ISOI(Interstimulus onset interval: 提示時間間隔)が異なっている。刺激10パターンは、仮現運動を明瞭に感じる刺激(以下、明瞭群)、仮現運動を感じにくい刺激(以下、不明瞭群)に分けている。明瞭群と不明瞭群に分けた理由は、仮現運動感覚が速度知覚の正確度を向上させるかどうかを検証するためである。明瞭群、不明瞭群の刺激パターンは、筆者らが行った仮現運動の明瞭性実験の結果<sup>15)</sup>から選定した。表1に、提示した刺激パターンの一覧を示す。

表1 提示刺激パターン一覧

(Duration [ms] \* ISOI [ms])

|      | 触覚実験      | 視覚実験      |
|------|-----------|-----------|
| 明瞭群  | 50 * 50   | 50 * 50   |
|      | 50 * 70   | 50 * 70   |
|      | 100 * 70  | 50 * 100  |
|      | 100 * 100 | 100 * 50  |
|      | 150 * 100 | 100 * 70  |
|      | 150 * 130 | 100 * 100 |
|      | 200 * 100 | 150 * 70  |
|      | 200 * 130 | 150 * 100 |
| 不明瞭群 | 250 * 50  | 50 * 200  |
|      | 150 * 200 | 150 * 200 |

#### 3.3 実験条件

表2 実験条件

|              | 触覚実験      | 視覚実験 |
|--------------|-----------|------|
| 被験者数         | 健常成人男性12名 |      |
| 刺激パターン       | 10パターン    |      |
| 試行回数         | 12回       |      |
| 刺激点間距離       | 30mm      |      |
| ノズルから皮膚までの距離 | 5mm       |      |
| ノズル径         | 1.0mm     |      |
| 提示圧力         | 約8gf      |      |



## 4 実験結果

以下に実験結果を示す。計測値とは、仮現運動刺激の提示開始時から、被験者がマウスのボタンをリリースするまでの経過時間である。理論値とは、各刺激パターンの Duration, ISOI から算出した、本来ターゲット LED に刺激の移動が到達している時間である。絶対誤差は理論値と計測値の差の絶対値を示す。

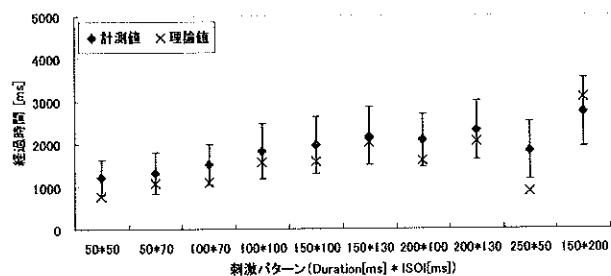


図3 触覚実験における経過時間の計測値と理論値

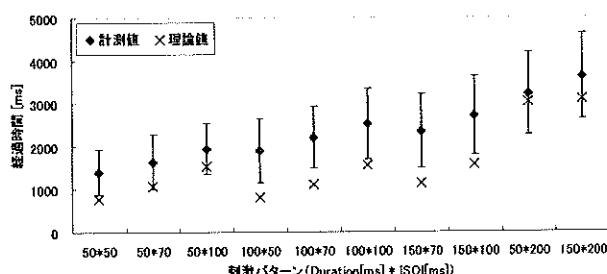


図4 視覚実験における経過時間の計測値と理論値

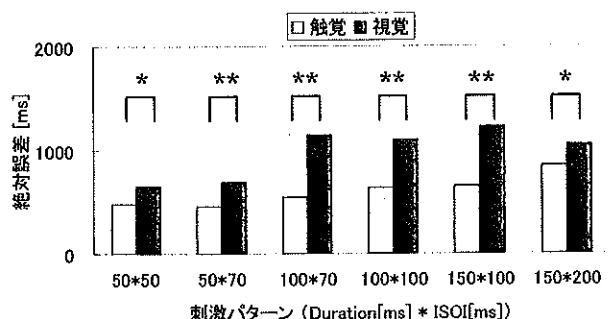


図5 触覚実験と視覚実験における絶対誤差の比較  
(\*:  $P < .05$ , \*\*:  $P < .01$ , U 検定による)

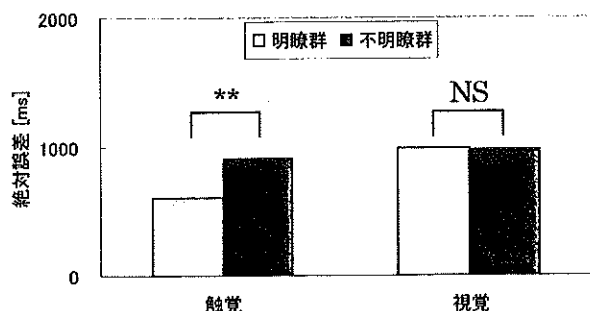


図6 明瞭群と不明瞭群における絶対誤差の比較  
(\*\*:  $P < .01$ , U 検定による)

## 5 考察

### 5.1 触覚実験と視覚実験の比較

図3、4を見ると、理論値と計測値は似た傾向を示している。このことから、触覚実験、視覚実験ともに、各刺激パターンの速度をある程度知覚できていることがわかる。

しかし、全体的に触覚実験の方が理論値との誤差が小さく、ばらつきも小さい。また、図5には触覚実験と視覚実験において、同条件の刺激を提示した際の絶対誤差を示している。この図を見ても、触覚の方が視覚よりも絶対誤差が小さいことがわかる。Mann-Whitney のU 検定の結果、刺激パターン 50\*50、150\*200 においては5%、それ以外の刺激パターンにおいては1%水準で有意な差が見られた。このことから、触覚は視覚よりも正確な速度知覚が可能であると考えられる。

このような結果が得られた原因の一つとして、触覚と視覚の時間分解能の差が考えられる。視覚の時間分解能は数十 Hz であるのに対して、触覚の時間分解能は数百 Hz と極めて優れている<sup>9)</sup>。そのため、触覚は各刺激パターンの Duration や ISOI といった、時間に関する要素情報を視覚よりも正確に感じ取ることが出来たのではないかと推測される。

### 5.2 明瞭群と不明瞭群の差について

図6は明瞭群と不明瞭群における絶対誤差の平均値を示している。この図を見ると、触覚においては明瞭群の方が絶対誤差は小さくなっているが、視覚においては明瞭群と不明瞭群の間に大きな差は見られない。U 検定の結果、触覚においては明瞭群の方が絶対誤差が有意に小さく ( $P < .01$ )、視覚においては明瞭群と不明瞭群の間に差が無い ( $P > .1$ )ことがわかった。

被験者の主観報告によると、触覚実験において12名中9名が仮現運動を明瞭に感じる刺激の方が速度を判断しやすかったと回答している。仮現運動という現象は刺激が連続的に移動していく感覚を与えるものであるため、被験者は刺激の移動速度を直感的に判断する事が出来たと考えられる。一方、仮現運動を明瞭に知覚出来ない 150\*200 のような刺激が提示される場合には、先行刺激の提示と後行刺激の提示の時間差から速度を予測しているため、刺激の移動は離散的に感じるという回答がある。これらのこと

から、触覚実験においては刺激の移動を離散的に感じる刺激パターンよりも、仮現運動のように刺激が連続的に移動していくと感じる提示条件の方が正確な速度知覚が可能であると考えられる。

しかし、視覚においては明瞭群と不明瞭群の間に有意差が無い。これは、視覚の空間分解能が触覚よりも優れているため、刺激の移動が離散的であっても、ある程度の速度判断が可能であり、触覚ほど大きな影響を受けないからだと推測される。

## 6 まとめ

以上の結果をまとめると、次のような事が言える。

- ・ 触覚は視覚よりも正確に速度を知覚出来る可能性が示唆された。
- ・ 触覚においては、仮現運動を明瞭に感じる刺激の方が正確な速度知覚が可能であり、仮現運動による情報提示はより速度感覚を生じさせやすいことが示唆された。

今後は、仮現運動感覚の強さや提示部位が触覚の速度知覚に与える影響について検討する予定である。

## 謝辞

本研究は文部科学省学術フロンティア推進事業（平成 18 年度～平成 23 年度）の援助を受けた。

## 参考文献

- 1) 山本晃生: 触覚ディスプレイの研究動向, 計測と制御, vol. 43 (2), pp.122-126 (2004).
- 2) Bliss J.C., Katcher M.H., Rogers C.H., Shepard R.P.: Optical-to-tactile image conversion for the blind, IEEE Transactions on Man-Machine Systems, vol. MMS-11 (1), pp.58-65 (1970).
- 3) Bach-Y-Rita P., Collins C.C., Saunders F.A., White B., Scadden L.: Vision substitution by tactile image projection, Nature, vol. 221, pp.963-964 (1969).
- 4) 昆陽雅司, 田所諭, 高森年, 小黒啓介, 徳田献一: 高分子ゲルアクチュエータを用いた布の手触り感覚を呈示する触感ディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol. 6 (4), pp. 323-328 (2001).
- 5) 奈良高明, 柳田康幸, 前田太郎, 館璋: テーパー膜上の弾性波動を用いた皮膚感覚ディスプレイ, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol. 4 (2), pp.467-474 (1999).
- 6) 林政一郎, 渡邊淳司, 梶本裕之, 館璋: 触知覚における運動残効現象の研究, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol. 11 (1), pp.69-75 (2006).
- 7) Shimizu Y., Saida S., Wake T., Nakamura A., Ohzu H.: Uses of computers in aiding the disabled, pp.383-391, North-Holland publishing (1982).
- 8) 坂井忠裕, 田崎大, 伊藤崇之: 触覚受容特性を考慮した受動的 6 指分散点字方式の最適刺激呈示評価—盲ろうや点字初心者への情報伝達システムに向けて—, 電子情報通信学会論文誌 D, vol. J90-D (3), pp. 742-753 (2007).
- 9) 赤羽歩, 佐藤誠: 触覚の構造と仕組み, 映像情報メディア学会誌, vol. 57 (11), pp.1417-1418 (2003).
- 10) Kirman J.H.: Tactile apparent movement: The effects of interstimulus onset interval and stimulus duration, Perception & Psychophysics, vol.15, pp.1-6 (1974).
- 11) 野嶋琢也, 船引浩平: 皮膚感覚を通じたパイロットへの飛行情報呈示に関する研究, ヒューマンインタフェース学会論文誌, vol.9 (1), pp.1-8 (2007).
- 12) 阿曾沼樹, 松本三千人, 和田親宗: 顔面への触覚刺激による方向呈示, ヒューマンインタフェース学会論文誌, vol.8 (4), pp.65-74 (2006).
- 13) Cohen J.C., Makous J.C., Bolanowski S.J.: Under which conditions do the skin and probe decouple during sinusoidal vibrations?, Experimental Brain Research, vol.129 (2), pp.211-217 (1999).
- 14) 鈴木由里子, 井原雅行, 小林稔: 風インタフェースにおける多次元力覚提示, 情報処理学会論文誌, vol.47(8), pp.2754-2763 (2006).
- 15) 今江勇紀, 小谷賢太郎, 堀井健: 空気噴流刺激による触覚の仮現運動特性, ヒューマンインタフェース学会研究報告集, vol.9 (2), pp.53-56 (2007).

## 視覚情報と触覚情報とによる「ざらざら感」に関する研究

### The relation between visual and haptic textures

○岡村友俊\*, 神宮英夫\*\*

\*金沢工業大学大学院工学研究科 \*\*金沢工業大学心理情報学科

OKAMURA Tomotoshi\*, JINGU Hideo\*\*

\*Graduate school of engineering, Kanazawa Institute of Technology,

\*\*Department of Psychological Informatics, Kanazawa Institute of Technology

#### 1. 序論

人は、五感情報から現実を認識している。一方、仮想現実(virtual reality, VR)の構成要件としては以下の 4 つの要素が必要とされる。体験可能な仮想空間(virtual world)の構築、五感(のうちのいくつか)に働きかけて得られる没入感(immersion)、対象者の位置や動作に対する感覚へのフィードバック(sensory feedback)、対象者が世界に働きかけることができる対話性(interactivity)である。後者の 3 要素については、入力系、出力系、仮想空間生成として構成する場合もある。この基準に照らせば、例えば小説には視聴覚による没入感が欠け、映画には対話性が欠けるため、VR とはみなされない<sup>1)</sup>とされている。

現実には五感情報全てが統合されて認識されるものであるため、仮想現実の中では、視覚的に明らかにそこにあるはずなのに実際には触れられないものがある、誰もいない室内の風景なのに騒音が常に聞こえるなどという場合がある。この原因として、仮想現実では情報の質や量などが現実と何らかの差があるため、マッチングにおいて情報が合わないことがあるためだと考えられる。本研究では、視覚情報と触覚情報の側面から、視覚情報と触覚情報がマッチングし、お互いの情報が合っていると判断するとき、どのようなパラメータによって情報が正しいと判断できるのか、差がどの程度までならば人間は現実のものと同じであると許容できるのかについて調査し、物理的な触覚と視覚的な触覚の間にどのような関係があるのか、マッチングの要因として何が効いているのかについて明らかにすることを目的とする。

#### 2. 実験

仮想現実感を得る際に、五感情報のうち視覚と触覚がどのようにマッチングするのかを明らかにするために実験を行なった。装置として触覚マウスを使用した。触覚マウスは、通常のマウスに 2 次元モーターとセンサーを組み込んだものであり、ディスプレイに表示された立体の凹凸感やうねり、振動などの動作をマウスの触覚呈示部と呼ばれる部分に擬似的に表現する<sup>2)</sup>ことが可能な装置である。

触覚マウスを使用することにより、視覚や聴覚と同じように数値で触覚情報を自由に作成し、参加者に与えることが可能となる。具体的な使い方としては、各パラメータを変化させることにより、画像の見た目とは異なる触感を付加したり、画像に触れてから指に触感が伝わるまでに時間差を発生させるといったことが可能である。

視覚的なざらざら感と触覚的なざらざら感との物理量の関係を調べるため、参加者 10 名に PC のディスプレイに表示した研磨紙の画像 8 種類を提示する。画像にはそれぞれ異なる触覚情報を付加しておき、触覚マウスを使用して実際に参加者に画像の触感を確かめてもらい、その後、参加者が最も画像に適当と感じられる触感と、画像の見た目から許容できる触感の範囲(上限と下限)を解答する。

実験条件として、提示した研磨紙の画像の粒度は P60, P100, P120, P240, P1500 の 5 種類を使用し、画像に付加した触覚情報は、力の中心値は 0、中心座標は 0、波形は矩形波、周期を 4、振幅を 10 から 80 まで 10 刻みで変化させたもの 8 種類とし、振幅以外の値は全

て一定とした。振幅のみを変化させる理由として、振幅は波動の振動の大きさを示すものであり、値が大きくなるとマウスの触覚呈示部が激しく揺れ動くことになるため、触覚刺激の粗さを調節することが可能のためである。なお、「振幅情報仮説」(宮岡, 2007a,b)<sup>3)</sup>から、ざらざら感の表現にとって振幅の重要性が指摘されている。

### 3. 実験結果

P60 の最適触感で最も多かった回答は振幅 60 であり、粒度番号が大きくなるほど、すなわち研磨紙の目が細くなるほど振幅は下がっていき、P1500 の最適触感で最も多かった回答は振幅 20 であった。許容できる触覚刺激の上限、下限はほとんどの回答が最適触感の $\pm 10$  以内であり、上限、下限が両方共に最適触感から 20 以上離れているという回答は 1 つもなかった。

画像に付加した触覚刺激の振幅の値と画像に使用した研磨紙の粒度の関係を図 1 に示した。また、粒度を決める条件である最大粒子径と振幅との関係を図 2 に示した。なお、図の値はすべて最頻値である。

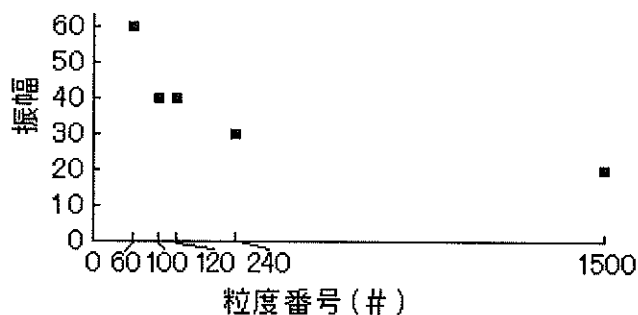


図 1 画像の粒度と触感の振幅の関係

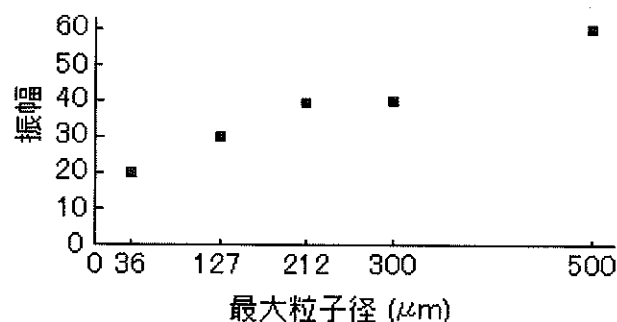


図 2 画像の最大粒子径と触感の振幅の関係

### 4. 考察

図 1 から、対数曲線に近い形となっているが、図 2 からは、結果はほぼ直線になった。画像を視覚で判断する場合、最大粒子径、すなわち見た目の粒の大きさを判断材料として、触覚が推定されるためだと考えられる。粒度と最大粒子径の関係は対数曲線に近く、振幅と粒度の関係も同じように対数曲線に近くなった。このことから、画像を一目見るだけで粒度が変化すると判別できるほど粗い場合は振幅(ざらざら感)も変化したと感じられるが、画像の粒度が細くなると見た目では粒度がどの程度なのか判別しにくく、値を大きく変化させなければ振幅に変化があると感じられないと考えられる。

### 5. 最後に

視覚と触覚の関係を調べるためにざらざら感を振幅で表し実験を行なったが、他の触覚マウスの物理的側面の対応可能性も十分に考えられる。振幅だけではなく、波形などの他の情報とのマッチングの可能性について調査する必要がある。

今回の実験において触覚情報として振幅を変化させたが、他にも中心座標や周期、波形の種類など、様々なパラメータが存在している。それらの中で振幅の影響が大きいことは明らかになっているが、他のパラメータを変化させることにより、触覚情報と視覚情報との対応に変化が生じることも考えられる。

### 謝辞

本研究で用いた触覚マウスは、富士ゼロックス株式会社の御提供によるものである。ここに感謝の意を表す。

### 参考文献

- 1) IT 用語辞典 <http://e-words.jp/>
- 2) 富士ゼロックス (2001) 「触覚マウス取扱説明書」
- 3) 宮岡 徹, 中村 敏男 (2007) 「触覚系テクスチャー弁別の感覚情報処理機構」 静岡理工科大学紀要

## 触覚フィードバックの大きさおよびタイミングの違いが操作感に与える影響

### Operation Feeling by Difference of Amplitude or of Timing on Haptic Feedback

○井ノ上将史\*, ○河合真大\*, 笠松慶子\*

\*金沢工業大学 情報フロンティア学部 心理情報学科

INOUE Masafumi\*, KAWAI Masahiro\*, KASAMATSU Keiko\*

\*Department of Psychological Informatics, College of Informatics and Human Communication,  
Kanazawa Institute of Technology

#### 1 はじめに

PC などの情報通信関連機器 (ICT) で扱う情報は、文字や画像などの視覚情報の割合が非常に多く、新たに触覚を対象とした情報を出力することにより、ICT の操作性の向上、視覚の負担軽減、また、視覚との相互関係を利用した情報理解の促進などの効用があると考えられる。

本研究では、2 次元アクチュエータ搭載の触覚マウス (富士ゼロックス株式会社) を用いて、視覚情報に対する触覚情報の大きさによる操作感の違いと視覚情報に対する触覚情報の出力のタイミングにズレを与え、そのタイミングによる操作感の違いを調べる。つまり、視覚情報と触覚マウスの振幅の大きさとの一致感と視覚情報と触覚情報の時間的一致感について検討し、ユーザにとって心地よい操作感を感じさせる視覚情報と触覚情報との関係について考察する。

#### 2 実験方法

##### 2.1 触覚情報の大きさによる操作感

触覚マウスにおける振幅の弁別閾を調べ、一画像に対して 5 種類の振幅刺激を与えその感性評価を行った。

###### 2.1.1 振幅刺激の大きさの弁別

振幅刺激のパラメータ値 80 を標準刺激とし、65 から 95 まで 3 間隔で 11 種類用意し、波形は矩形波、周期は 60 とした。振幅パラメータ値 10 は約 0.20mm に相当する。ディスプレイ上に表示される標準刺激及び比較刺激の画像の上に触覚マウスを合わせると、用意したパラメータの振幅で振動するものであった。比較刺激は、乱数表に従ってランダムに呈示された。参加者は 12 名 (男性 11 名、女性 1 名) であった。

###### 2.1.2 触覚情報の大きさ実験

視覚情報として鋭角の凹凸のある画像を対象とし、この画像に対して 5 種類の触覚情報を与えた。用意した触覚情報としては、振幅のパラメータ値 60 から 100 までの 10 間隔であった。マウスを画像の上に合わせると振動するものである。呈示順序はランダムに行った。また、参加者は 6 名 (男性 5 名、女性 1 名) であった。操作感に関する評価項目は、“違和感がある—ない”, “気持ちの悪い—良い”, “わざとらしい—さりげない”, “心地悪い—心地よい” など 21 項目であり、5 段階で評価した。

##### 2.2 触覚情報のタイミングによる操作感

触覚マウスからのタイミングに関する振幅刺激の弁別閾を調べるとともに、14 種類の振幅刺激を用いてそれらの感性評価を行った。

###### 2.2.1 振幅刺激のタイミングに関する弁別

振幅刺激は、触覚マウスの左ボタンを押し、ボタンが戻った時に振動することとした。比較刺激には、クリックしてから 0ms に振動するものから 330ms 後のものまで 30ms ずつタイミングをずらした 12 種類を用意し、波形は矩形波、周期は 40 とした。ディスプレイ上には 20 個の青と赤のボタンが配置されており、青ボタンを標準刺激、赤ボタンを比較刺激とした。参加者は 14 名 (男性 13 名、女性 1 名) であった。

###### 2.2.2 触覚情報のタイミング実験

触覚情報として用意した振幅刺激は 14 種類あり、ディスプレイに 14 個のボタンを 2 列に配置し、2 つの条件を設けた。条件 1 として 1 列目の 7 個のボタンは触覚マウスにより左ボタンを押し、ボタンが元に戻った時に振動し、条件 2 は 2 列目の 7 個のボタ

ンは左ボタン押下時に振動することとした。また、各列のボタンは振動が発生するまでのタイミングを 0 から 350ms まで 50ms 間隔でずらし、ランダムに配置した。参加者は、10 名（男性 9 名、女性 1 名）であった。操作感に関する評価項目として、表 1 に示す 7 項目について 7 段階で評価した。

表 1 触覚情報のタイミング評価項目

|          |         |          |        |
|----------|---------|----------|--------|
| 1 速い     | 遅い      | 4 刺激的な   | 刺激的でない |
| 2 気持ちの良い | 気持ちの悪い  | 5 違和感がある | 違和感がない |
| 3 ユニークな  | ユニークでない | 6 さりげない  | わざとらしい |
|          |         | 7 煩わしい   | 煩わしくない |

### 3 実験結果

#### 3.1 触覚情報の大きさによる操作感

振幅刺激の大きさの弁別閾については、パラメータ 80 を標準刺激とした場合、10.84 であった。従って、触覚マウスのパラメータ値を 10 間隔で 60 から 100 までについて操作感に関する評価を行った。

その結果、パラメータ 60 については、“さりげない”、“つまらない”、“一致感がない”、“軽々しい”、“曲線的な”、“しなやかな”、“ソフトな”、“細かい”などの評価が最も高かった。一方、パラメータ 80 と 100 について、“違和感がない”、“うきうきする”、“面白い”、“直線的な”の評価が同点で最も高かった。パラメータ 80 において最も評価項目の得点が高かったのが、“一致感がある”、“期待に添った”であり、パラメータ 100 においては、“心地よい”、“質感がある”、“かくかくしている”で評価項目の得点が高かった。“気持ち悪い—気持ち良い”、“好き—嫌い”などについてはパラメータによる違いは認められなかった。

#### 3.2 触覚情報のタイミングによる操作感

振動刺激のタイミングの弁別閾は、141.1ms であった。タイミング実験では、50ms 間隔で操作感を調べた。その結果、振動の“速さ”（図 1），“気持ちの良さ”（図 2），“刺激的”についてはタイミングが速くなると得点が低く、その度合いが上昇する傾向が見られた。

### 4 考察

視覚情報に対する触覚情報の大きさ実験の結果から、視覚と触覚の一致感についてみるとパラメータ 80 が最も高かったが、心地よさという側面からみるとパラメータ 100 が最も高かった。同じ画像であっても受け

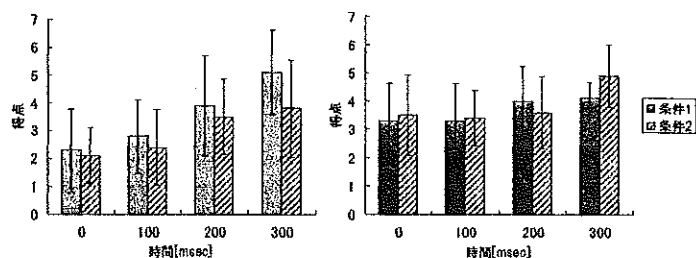


図 1 触覚刺激のタイミングと速

さの評価

図 2 触覚刺激のタイミングと気

持ちの良さの評価

取る触感覚が異なることから、使用する目的によりパラメータの大きさを決定する必要があると考えられる。視覚情報に対する触覚情報のタイミング実験の結果から、速さ、気持ち良さおよび刺激的な操作感を得るためには、タイミングの弁別閾以下にすることが有効であるといえる。これは、小峯ら<sup>2)</sup>の研究による視覚と触覚の同時知覚の成立には触覚情報が遅延することと一致する。

### 5 まとめ

2 次元アクチュエータ搭載の触覚マウスにおける視覚情報に対する触覚情報の大きさによる操作感の違いと視覚情報に対する触覚情報のタイミングによる操作感の違いを調べた。その結果、触覚の大きさにより同一画像でも受ける感じ方に違いがあること、タイミングのズレを約 140ms までに留めると一致感が効果的に得られることがわかった。本研究は、視覚情報を固定した条件下での結果である。今後は視覚・聴覚と触覚との共感覚について定量的に明らかにすることにより、触覚の効果的なフィードバックに関する知見を得ることが望まれる。

### 謝辞

本研究で用いた触覚マウスは、富士ゼロックス株式会社の御提供によるものである。ここに感謝の意を表する。

### 参考文献

- 1) 坂巻克己・塚本一之・竹内伸：指先誘導方式による触覚マウス，情報処理学会インタラクション集 2001，pp.33-34 (2001)。
- 2) 小峯立也・北島律之：感覚間の同時性，電子情報通信学会技術研究報告，HIP，ヒューマン情報処理 106(143)，pp.39-43 (2006)。

## fMRI データの FCM 識別器-パラメータの粒子群最適化

FCM Classifier of fMRI Data - Particle Swarm Optimization of Parameters

○市橋秀友, 本多克宏, 野津 亮, 服部 隆男

大阪府立大学

Hidetomo Ichihashi, Katsuhiko Honda, Akira Notsu, Takao Hattori

Osaka Prefecture University

## 1 はじめに

本研究では, fMRI の計測データから脳活動を判別する問題を取上げる. 画像提示 (視覚刺激) からの英文センテンス想起実験のデータからタスクの実行時か非実行時かの状態を識別することで, 血流量の変化からのブレインコミュニケーションの可能性を検討する.

fMRI データは脳の複数の断面上の 3mm 角のボクセル毎の計測信号で数秒毎に数十分間計測されるのできわめて高次元データとなる. 我々が提案している FCM 識別器 [1] は, ガウス混合モデルによる識別器のように, 判別のクラス毎にデータセットをファジィクラスターに分け, それらのメンバシップの重ねあわせで識別しようとするもので, 複数の可変パラメータを設定して識別性能を改善している.

FCM 識別器は, クラスター毎の共分散行列とその固有値分解を用いるために, 高次元データを取り扱うことができない. しかし, 内積の行列からクラスターリングを行う FCM 識別器では, 特徴抽出のための前処理なしで直接的に高次元データを扱うことができる. データ件数を  $N$ , 次元数を  $p$  とすると共分散行列の計算量が  $O(Np^2)$  であるのに対して内積の行列は  $O(N^2p)$  である.

パラメータの最適化には粒子群最適化 (particle swarm optimization, PSO) を用いる.

## 2 FCM 識別器

$$D(x_k, v_i; S_i) = (x_k - v_i)^T S_i^{-1} (x_k - v_i) \quad (1)$$

はデータベクトル  $x_k \in \mathbf{R}^p$  と第  $i$  クラスターの中心  $v_i \in \mathbf{R}^p$  とのマハラノビス距離で,  $T$  は転置を表す.  $S_i$  は第  $i$  クラスターの分散共分散行列で次のように得られる.

$$S_i = \frac{\sum_{k=1}^N u_{ki} (x_k - v_i)(x_k - v_i)^T}{\sum_{k=1}^N u_{ki}} \quad (2)$$

同じく  $v_i$  は

$$v_i = \frac{\sum_{k=1}^N u_{ki} x_k}{\sum_{k=1}^N u_{ki}} \quad (3)$$

となる. 基準化したメンバシップ  $u_{ki}$  を

$$u_{ki} = \alpha_i |S_i|^{-1/\gamma} \times \quad (4)$$

$$\left[ \sum_{j=1}^c \left( \frac{\nu + D(x_k, v_i; S_i)/0.1}{\nu + D(x_k, v_j; S_j)/0.1} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \alpha_j |S_j|^{-1/\gamma} \right]^{-1} \quad (5)$$

とする.

$$\alpha_i = \frac{\sum_{k=1}^N u_{ki}}{\sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^N u_{kj}} = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N u_{ki} \quad (6)$$

はクラスターの混合比率である.

教師なし学習としてのクラスターリングをクラス毎に行った後に, 新たなテストデータを各クラスに識別する.  $\pi_q$  をクラス  $q$  の混合比率, すなわち事前確率とする.  $k$  番目のデータ  $x_k$  のクラス  $q$  へのメンバシップ  $\tilde{u}_{qk}$  を次のように定める.

$$u_{qkj}^* = \frac{\alpha_{qj} |S_{qj}|^{\frac{1}{\gamma}}}{(D_q(x_k, v_j; S_j)/0.1 + \nu)^{\frac{1}{\gamma}}} \quad (7)$$

$$\tilde{u}_{qk} = \frac{\pi_q \sum_{j=1}^c u_{qkj}^*}{\sum_{s=1}^Q \pi_s \sum_{j=1}^c u_{skj}^*} \quad (8)$$

$c$  はクラス毎のクラスター数で,  $D(x_k, v_{qj}; S_{qj})$  は  $x_k$  とクラス  $q$  内の第  $j$  クラスターの中心とのマハラノビス距離の 2 乗である.

## 3 高次元データの FCM 識別器

$X_i = (x_1 - v_i, \dots, x_N - v_i)^T$  で  $M_i = \text{diag}(u_1, \dots, u_N)$  は, その対角成分が  $(u_1, \dots, u_N)$  である対角行列とする.  $x_k$  と  $v_i$  の次元は  $p$  である.

$P_i = (p_{i1}, \dots, p_{ir})$  は  $p \times r$  行列で  $p_{i1}, \dots, p_{ir} \in \mathbf{R}^p$  は  $S_i$  の正の固有値  $(\delta_{i1}^2, \dots, \delta_{ir}^2)$  に対応する固有ベクトルで  $p_{il}^T p_{il} = 1$  と基準化する.  $\Delta_i^2 = \text{diag}(\delta_{i1}^2, \dots, \delta_{ir}^2)$  は固有値の対角行列である. 特異値分解

$$(N\alpha_i)^{-\frac{1}{2}} M_i^{\frac{1}{2}} X_i = F_i \Delta_i P_i^T \quad (9)$$

より,  $x_k$  と  $v_i$  間のマハラノビス距離の2乗は

$$D(x_k, v_i; S_i) = N\alpha_i u_{ki}^{-1} f_{ki}^\top f_{ki} \quad (10)$$

ただし,  $F_i = (f_{i1}, \dots, f_{iN})^\top$  と書き換えられる.

$F_i$  と  $\Delta_i$  を求めるために  $N \times N$  行列  $K_i$  を

$$K_i = (N\alpha_i)^{-1} M_i^{\frac{1}{2}} X_i X_i^\top M_i^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

とする.  $X_0 = (x_1, \dots, x_N)^\top$  として,

$$X_i = (I_N - 1_N \bar{u}_i^\top) X_0 \quad (12)$$

で  $I_N$  は  $N$  次元単位行列.  $1_N$  は1のみからなる  $N$  次元縦ベクトルで,

$$\bar{u}_i = (u_{i1}/\sum_{k=1}^N u_{ki}, \dots, u_{iN}/\sum_{k=1}^N u_{ki})^\top \quad (13)$$

である.  $X_i X_i^\top$  は

$$\begin{aligned} X_i X_i^\top &= X_0 X_0^\top - X_0 X_0^\top \bar{u}_i 1_N^\top \\ &\quad - 1_N \bar{u}_i^\top X_0 X_0^\top \\ &\quad + (1_N \bar{u}_i^\top) X_0 X_0^\top (\bar{u}_i 1_N^\top) \end{aligned} \quad (14)$$

$K_i$  は式 (9) より次のように書き換えられるので,  $F_i$  と  $\Delta_i$  は  $K_i$  の固有値分解から求められる.

$$K_i = F_i \Delta_i^2 F_i^\top \quad (15)$$

1 件のテストデータ  $x_{k'}$  が与えられた場合は,  $l \in \{1, \dots, N\}$  について

$$\begin{aligned} (x_{k'} - v_i)^\top P_i \Delta_i^{-1} &= (n\alpha_i)^{-\frac{1}{2}} (x_{k'}^\top X_0^\top \\ &\quad + (x_l - v_i)^\top X_i^\top - x_l^\top X_0^\top) M_i^{\frac{1}{2}} F_i \Delta_i^{-2} \end{aligned} \quad (16)$$

である. ただし, 式 (14) を用いると  $v_i$  は陽に計算せずに内積の行列から式 (16) を計算できる.

$D(x_{k'}, v_i; S_i)$  を求めるためのテストデータとクラスター中心とのユークリッド距離 ( $\|x_{k':i}^{NEW}\|^2 = \|x_{k'} - v_i\|^2$ ) は,

$$\begin{aligned} \|x_{k':i}^{NEW}\|^2 &= (x_{k':0}^{NEW})^\top x_{k':0}^{NEW} - 2\bar{u}_i^\top X_0 x_{k':0}^{NEW} \\ &\quad + \bar{u}_i^\top X_0 X_0^\top \bar{u}_i \end{aligned} \quad (17)$$

である.

以上は, 識別器のトレーニング段階の計算であるが, トレーニング終了後に, 識別器を未知データに対して使用する段階では,  $v_i$  は式 (3) から計算できるので,  $P_i$  は  $F_i$  と  $\Delta_i$  とデータ行列から次のように事前に計算しておくことができる.

$$P_i = (N\alpha_i)^{-\frac{1}{2}} X_i^\top M_i^{\frac{1}{2}} F_i \Delta_i^{-1} \quad (18)$$

従って, 識別器を実稼働させる時は, マハラノビス距離を容易に求めることができる.

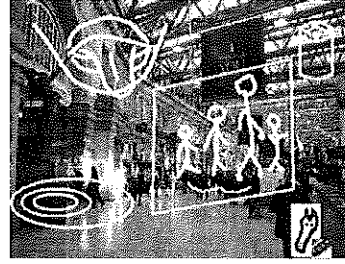


図 1: 視覚提示画像の例: 被験者は黄色の線で囲まれた箇所を手がかりとしてセンテンスを想起する.

## 4 粒子群最適化

FCM 識別器のパラメータ最適化には粒子群最適化 (PSO) を用いる. PSO は, 集団を構成する個体 (粒子) が情報を共有しながら進化する鳥や魚の群れの行動や人間の社会活動をシミュレートするメタヒューリスティックスであり, 最適化問題を解く簡便で有力な手法である. 現在までの多くの研究で, 連続型の多峰性関数の最適解または準最適解を求めるには遺伝的アルゴリズムよりも優れているとされている. 粒子と呼ばれる個体を解空間における位置として表現し, 各個体の最良の位置 ( $pbest$ ) と群全体の最良の位置 ( $gbest$ ) と前回の位置変化を表す速度ベクトル ( $veloc$ ) との線形結合によって新たな探索点を決定する. 個体の位置をベクトル  $posi$  とし,  $k$  回目の反復におけるベクトルの第  $d$  成分を添え字  $k$  と  $d$  で表すと, 更新則は

$$\begin{aligned} posi_d^{k+1} &= posi_d^k + veloc_d^{k+1} \\ veloc_d^{k+1} &= w_1 veloc_d^k + c_1 rand(pbest_d - posi_d^k) \\ &\quad + c_2 rand(gbest_d - posi_d^k) \end{aligned} \quad (19)$$

である.  $rand$  は単位区間  $[0, 1]$  の一様乱数とする.

## 5 実験

実験は Advanced Telecommunications Research Institute (ATR) の Brain Activity Imaging Center (BAIC) で行われた. 被験者は 58 歳右利き男性で筆頭著者である. 場所法でのメンタルリハーサルにより英文センテンスを記憶する研究を行ってきた. 今回は視覚刺激として液晶スクリーンに映される想起のための手がかりの画像から英文センテンスを想起する事象関連 fMRI 実験を行った. 約 25 分間の実験セッション 3 回から得られた計測データを用いた.

MRI による実験セッションでは, 図 1 の例のような画像 100 枚が液晶スクリーンに視覚提示された. 被験者は黄色の線で囲まれた箇所を手がかりとしてセンテ



ンスを想起する。図1の画像の中央の手がかりに対する想起すべきセンテンスは

I try to familiarize myself with the manners and customs of Thailand.

である。被験者の頭部はバイトバーで固定されているが、被験者は液晶スクリーンを鏡に反射させて見ることができる。29秒毎にランダムに画像が一枚ずつ提示され各25分間のセッションで約50回の画像提示が行われた。

セッション1：被験者は49枚の画像に対して黄色の線で囲まれた部分を手がかりとしてすべて想起した。

セッション2：被験者はセッション1と同じ49枚の画像に対して提示画像の中で黄色の線で上と中に指示されている場合は、センテンスを想起し、下に指示された場合は、受動的に見ているだけで想起は行わなかった。

セッション3：セッション1、2とは異なる46枚の提示画像の中で下に指示されている場合は、センテンスを想起し、上と中に指示された場合は、想起しない。実験中に中に指示された場合に誤って2件想起し、下に指示された場合に1件誤って想起したが途中で気づきその想起を中断した。

画像表示は各10秒で、その後19秒間は何も提示しない。合計29秒のブロックを繰り返した。各セッションの時間は約25分である。セッション1と2は同じ課題で、同じ画像が提示されたが、セッション3は別の約50件の画像が提示され想起するセンテンスも異なっている。

スキャンされた脳の構造画像はTalairach座標の $z=0$ の回りで幅140mmである。BOLD/EPIイメージが1.5TのShimadzu Magnex Eclipse systemから得られた。MRI画像は連続する20枚のスライスからなる。繰り返しの間隔を $TR=2s$ としたので、約50回の提示による一回のセッションで $3mm \times 3mm \times 3mm$ のvoxelの $64 \times 64 \times 20$ の行列が725回計測される。この計測信号に、前処理としてSPM2を用いた。各スライス画像はMNI (Montreal Neurological Institute) テンプレート標準脳に座標変換され、6mmのisotropic Gaussian kernelでスムージングされた。Talairach座標の $z=0$ が脳の鉛直座標の原点で前交連と後交連 (anterior and posterior commissures) の水平面である。SPM2で $95 \times 79 \times 34$ の2mm角のvoxelにされた725個のファイル (swua...img) から $z=-24$ のスライスを選択して用い

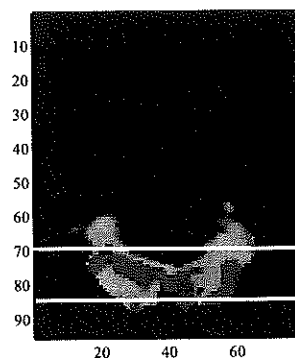


図2：セッション1の実験で後頭葉の活性化が認められる $z=-24$ のスライス



図3：セッション2の実験で後頭葉の $z=-24$ のスライス上の連続した79個のボクセルのブロック単位の平均応答波形

た。このスライスは、視覚野の反応が強く現れた部位である。

図2は、セッション1の実験で後頭葉の活性化が認められる $z=-24$ のスライスでの文献[2]の結果である。

図3はセッション2の実験で後頭葉の $z=-24$ のスライス上の図2の80行目の左端から連続した79個のボクセルのタスクブロック単位 (29秒間) の平均応答波形である。横軸はスキャンの回数を表している。図は左から右、上から下の順に表示している。図2の下図の80行目で両側の20ボクセルずつを除けば、ほぼ5スキャン目に大きなピークがあり、平均応答波形はブロックの前半で視覚刺激に対して想起が行われ、その後に休憩が行われていることを明確に示している。

図4は、図2の80行目の左から33番目のボクセル (図3では5行1列目の平均応答波形のボクセル) の

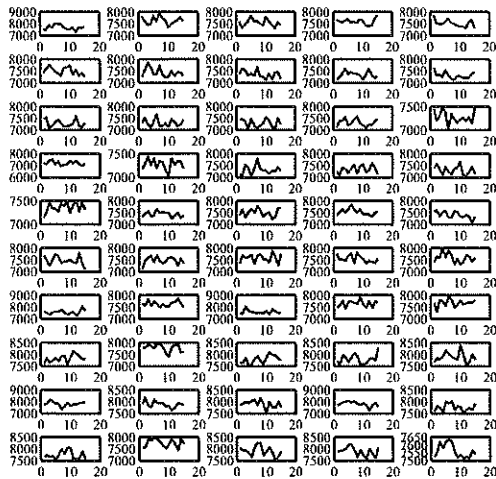


図 4: 図 3 の 5 行 1 列目の平均応答波形のボクセルの原信号

原信号を表示している。49 回の視覚提示に対する応答を左から右、上から下の順に表示している。最も右下のグラフはこれら 49 の応答を平均したもので、図 3 の 5 行 1 列目と同じである。原信号の応答波形はさまざまで、視覚刺激に対する応答から想起が行われているかいないかを平均されていない原信号から識別することは非常に困難と思われる。

セッション 2 の 49 回の提示に対して想起せずに休憩したのは以下の 20 回である。

1) 2) 3) 4) 9) 10) 15) 17) 24) 29)  
30) 32) 33) 34) 41) 42) 45) 46) 47) 49)

本研究の目的は、想起中と想起せずに休憩している状態を MRI の信号から識別することである。TR は 2 秒であるので、一枚の画像の提示（視覚刺激）に対応する 29 秒間のブロック毎に 15 回のスキャンとした。活性化が強く現れている後頭葉の、図 2 の 70 行目～85 行目（前から 140mm から 170mm）を抽出して識別に用いた。すなわち 1 枚のスライスで  $79 \times 15$  のボクセルがありそれが視覚刺激の提示毎に 15 回スキャンされるので提示 1 件に対するデータを 17,775 次元ベクトルとした。提示は三つのセッション合計で 144 回であるので、データ件数は 144 件で、ベクトルの次元数に比べて、件数の方が少ない。そこで内積の行列を用いる FCM 識別器を用いた。セッション 1 の 49 件をテストセットとし、その他の 95 件を訓練セットとしてテストセットの誤識別率を評価した。表 1 は多少の試行錯誤で選んだが、基本的には固定のパラメータである。表 2 は、PSO のパラメータである。 $m$ ,  $\gamma$ ,  $\nu$  の初期値はそれぞれ 0 ~ 2, 0 ~ 20, 0 ~ 200 内の乱数より設定

表 1: FCM 識別器のパラメータ (固定値)

| $c$ | $m^*$ | $r'$ | $r - r'$ |
|-----|-------|------|----------|
| 2   | 1.0   | 5    | 10       |

表 2: 粒子群最適化のパラメータ

| particles | $w_1$ | $c_1$ | $c_2$ | iteration |
|-----------|-------|-------|-------|-----------|
| 50        | 0.4   | 0.4   | 0.9   | 30        |

表 3: 選択された FCM 識別器のパラメータと誤識別率

| $m$    | $\gamma$ | $\nu$    | error rate |
|--------|----------|----------|------------|
| 1.6453 | 13.3107  | 142.6441 | 0.1806     |

した。また、負の場合は 0.001 として常に正の値を取るようにした。PSO を用いて最適なパラメータ値を探索した結果が表 3 である。テストセットに対する誤識別率は、0.1806 となった。この結果は現在最も高性能な識別器とされている、サポートベクトルマシンを用いた場合よりも大幅に改善された。

## 6 おわりに

本研究では、fMRI による実験データからタスク課題の識別問題の最も簡単な場合として、タスク実行時と非実行時の識別問題を取上げた。タスクは英文センテンスの想起で、毎回異なるのでその種類を識別するためには問題点が残されているが、近赤外線分光法を用いるなどの方策を検討している。

## 参考文献

- [1] H. Ichihashi, K. Honda, A. Notsu and T. Yagi, "Fuzzy c-Means classifier with deterministic initialization and missing value imputation," *Proc. of the 2007 IEEE Symposium on Foundations of Computational Intelligence*, Hawaii, April, 2007.
- [2] H. Ichihashi, K. Honda, A. Notsu and T. Kurokawa, "Exploratory approach to fMRI study with fuzzy clustering and general linear model," *Proc. of 2006 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, pp. 6276-6283, 2006.

## ミラーセラピーが運動機能回復に与える効果の検証 -脳磁界応答を用いた身体図式更新機能の検出-

Effects in recovery of motor function by mirror therapy  
-Detection of updating function of the body schema by neuromagnetic fields-

○作山努\*, 小谷賢太郎\*\*, 堀井健\*\*, 中川誠司\*\*\*

\*関西大学大学院 工学研究科, \*\*関西大学 工学部

\*\*\*独立行政法人産業技術総合研究所

SAKUYAMA Tsutomu\*, KOTANI Kentaro\*\*, HORII Ken\*\*, NAKAGAWA Seiji\*\*\*

\*Graduate School of Engineering, Kansai University, \*\*Faculty of Engineering, Kansai University,

\*\*\*National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

### 1 はじめに

近年、脳卒中片麻痺患者に対するリハビリテーション(以下リハビリ)としてミラーセラピー<sup>1)</sup>(以下 MT)が注目されている。MT はミラーボックスと呼ばれる中央を鏡で区切った箱に、鏡を挟んで健常な上肢と麻痺肢をそれぞれ配置し、健常な上肢の運動を鏡に写すことで、患者に対して麻痺肢があたかも運動しているかのような視覚的な錯覚を与えるリハビリである<sup>1)</sup>。

MT による片麻痺の回復を評価した先行研究は多数ある。例えば、手塚ら<sup>1)</sup>は MT を片麻痺患者に適用した結果、有意な麻痺の回復効果を報告している。また、松尾ら<sup>2)</sup>は、MT は 30 分程度の即時的な適応によって麻痺の回復効果が見られる可能性を報告している。この MT の回復原理は、現在 2 つの説が考えられている。

1 つ目の説は MT により運動イメージ想起を支援するというものである。運動イメージ想起はそれ自体にも麻痺の回復効果が報告されており、MT による視覚的な運動錯覚により、運動イメージ想起を支援することで麻痺が回復すると考えられている<sup>2)</sup>。この説については、松尾ら<sup>2)</sup>が心理時間測定法を用いて検証を行っている。その結果、MT により運動イメージの想起を支援する可能性があることが示唆されている。

2 つ目の説は、MT を行うことによって身体図式を修復するという説である。身体図式は自分の身体の大きさ、四肢の位置関係などを統合した身体に関する内的表象<sup>3)</sup>であると定義されている。ヒトはこの身体図式を基に運動の制御をしている<sup>4)</sup>が、脳卒中の後遺症により変容してしまう場合がある<sup>5)</sup>。Giroux ら<sup>6)</sup>は、この変容した身体図式を MT により健常な状態に更新す

ることにより、損傷した部位の可塑性が促進されると推測しているが、この推測を検証した報告は無い。

身体図式は自身の運動により起こる体性感覚と視覚を同時に与えられたとき、それらの情報を右上頭頂葉で統合し、更新されるものであることが Shimada ら<sup>7)</sup>によって報告されている。よって、MT で用いられる動作・鏡像観察を行ったとき、身体図式の更新が行われるならば、右上頭頂葉の賦活が見られるという仮説を立てることができる。

そこで、本研究では MT で用いられる動作・鏡像観察を行った際の右上頭頂葉の活動を捉え、この仮説を検証する。ただし、本研究で注目する上頭頂葉領域は、身体図式の更新以外にも、眼球運動、空間認識など様々な役割を持っている<sup>8)</sup>。そこで高い時間分解能を持つ脳磁計を用いて右上頭頂葉が活動する時間を捉え、先行研究の結果と比較することで身体図式の更新による活動を抽出し、MT の回復原理の全容を解明するために有効となる神経生理学的知見を得ることを目的とする。

### 2 実験

MT で用いられる動作・鏡像観察を行った際の脳磁界応答を計測し、その結果から脳活動を推定した。

#### 2-1 実験装置

脳磁界応答の測定を行う装置として、122ch 全頭型 DQ-SQUID 脳磁計 (Neuromag-122™, Elekta) を使用した。被験者は成人男性 5 名、右利きで矯正視力 0.8 以上とした。被験者は脳磁計の設置された

磁気シールドルーム内において座位の姿勢をとり、実験を行った。また、被験者が運動を行っていることを確認するために、筋電位計（Neurofax, 日本光電）を用いて実験中の被験者の短母指伸筋の筋電位を計測した。また、MT で用いられる動作・鏡像観察を行うために図 1 に示すミラーボックスを用いた。

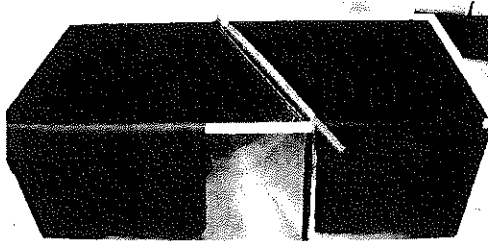


図 1 ミラーボックス

被験者が実験を行う際には、図 1 のように暗幕を設置することで被験者の両手を隠し、ミラーボックス内に設置した鏡に映った母指（鏡像）のみを注視できるようにした（図 2）。

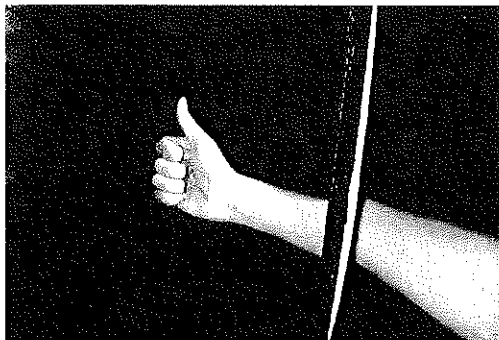


図 2 被験者から見た鏡像

## 2-2 実験手順

- ① 被験者は磁気シールドルーム内に入り、鏡像が自身のものに見えるように被験者正面に設置されたミラーボックスを調整する。また、被験者から自身の両手が見えず、かつ鏡像が視認できるように暗幕を調整する。
- ② 被験者は左手母指を伸展、右手母指を屈曲させた状態で待機する。
- ③ 実験者は、被験者正面に設置された視覚提示画面を用いて  $1.5 \pm 0.5 \text{ sec}$  の間隔で第一刺激を呈示し、第一刺激から 2sec 後に第二刺激を呈示するプログラムを起動する。

- ④ 被験者は鏡像を注視しながら周辺視により第一刺激を認識するとすぐに、左手母指の屈曲、右手母指の伸展運動を同時に行う。実際に片麻痺患者が MT を行う場合には、健常肢と麻痺肢の動作は異なるため、左右異なる運動を設定した。
- ⑤ 被験者は第二刺激を認識したとき、②の手順を行う。
- ⑥ ④、⑤の手順を 1 試行として、被験者は 70 試行を行う。
- ⑦ 実験中に注視する対象を鏡像から固視点に変更し、③から⑥の手順をもう一度繰り返す。

## 2-3 データ処理

実験で測定された脳磁界応答は  $0.03 \cdot 100 \text{ Hz}$  のバンドパスフィルタに通した後にサンプリング周波数  $400 \text{ Hz}$  で A/D 変換し、70 回試行の中から母指の伸展により生じる筋電信号をトリガとする 50 回の加算平均を行った。

筋電信号トリガ検出のための基準として、テンプレートマッチングを用いた。  $t(i)$  をテンプレートベクトル、  $s(i)$  を比較対象となるベクトル、  $i$  をテンプレートとして選択したサンプル数とするとき、以下の (1) 式を用いて各比較点のテンプレートフィルタ  $T$  を出力した。

$$T = \sum t(i) \cdot s(i) / \sqrt{\sum t^2(i)} \quad (1)$$

テンプレートベクトルは、計測された筋電位波形の中から代表的な波形を実験者が任意で選択した。そして、被験者ごとに任意に閾値を設定し、  $T$  値がその閾値に含まれ、かつ比較対象となるベクトル  $s(i)$  が第一刺激呈示後に存在したとき、サンプル数  $i$  の中間点を  $0 \text{ ms}$  として設定した。その上で、解析区間は  $-500 \text{ ms}$  から  $500 \text{ ms}$  とした。

さらに、加算平均後の波形を  $1 \cdot 30 \text{ Hz}$  のバンドパスフィルタに通し、  $-500 \text{ ms}$  から  $300 \text{ ms}$  間の波形の振幅を用いてオフセットを除去した。その後、注視対象を鏡像とした加算平均波形と注視対象を固視点とした加算平均波形の差分を取った。本研究で注目する右上頭頂葉は運動や運動に伴って生じる体性感

覚を受容したとき活動する<sup>8)</sup>。よって、左手の運動によって生じる運動関連脳磁界応答を除去し、それ以外の応答の様子を観察するためにこの処理を行うこととした。

また、本研究で検討する上頭頂葉領域のうち右半球の領域に当たる1箇所(計2ch, 図3参照)について、加算平均波形から二乗和平方根(Root Mean Square: RMS)を求め、RMSの大きさの変化から活動の様子を調べることにした。

### 3 結果

図3に被験者Aの加算平均波形を示す。今回の実験で注目する右上頭頂葉と、右手の運動に関連する領域である左運動野にも注目する。全ての条件において左運動野に顕著な活動が見られた(5/5名)。この活動は、注視対象が鏡像、固視点のとき、それぞれで0ms, 100ms付近に見られた。また、右上頭頂葉においては、両条件下で200ms付近に反応が見られた(3/5名)。

図4に鏡像を見たときの波形と、固視点を見ていたときの波形の差分結果を示す。図4の差分波形を見ると、左運動野、右上頭頂葉で、元となった加算平均波形よりも振幅が減少している傾向が見られた。差分結果を用いてRMS解析を行った結果を図5に示す。

RMS解析の結果、0msから500msの間に注目したとき、右上頭頂葉に20ms, 60ms, 250ms, 450ms付近で振幅のピークが見られた(3/5名)。

### 4 考察

左運動野において、注視対象が固視点、鏡像でそれぞれ加算平均波形の振幅の変動が見られた。それらの振幅を比較すると、鏡像を注視しながら運動したときの方が、固視点を注視したときより振幅が大きい傾向を示していた。運動野は運動を計画・実行する以外に運動イメージ想起に関わる領域として知られている<sup>4)</sup>。加えて、松尾ら<sup>2)</sup>は、MTが即時的に運動イメージの想起を支援することを報告している。以上より、加算平均の結果から見られた運動野の振幅の違いはMTで用いられる動作・鏡像観察によって、運動イメージ想起が支援されたことが一因と考えられる。つまり、本

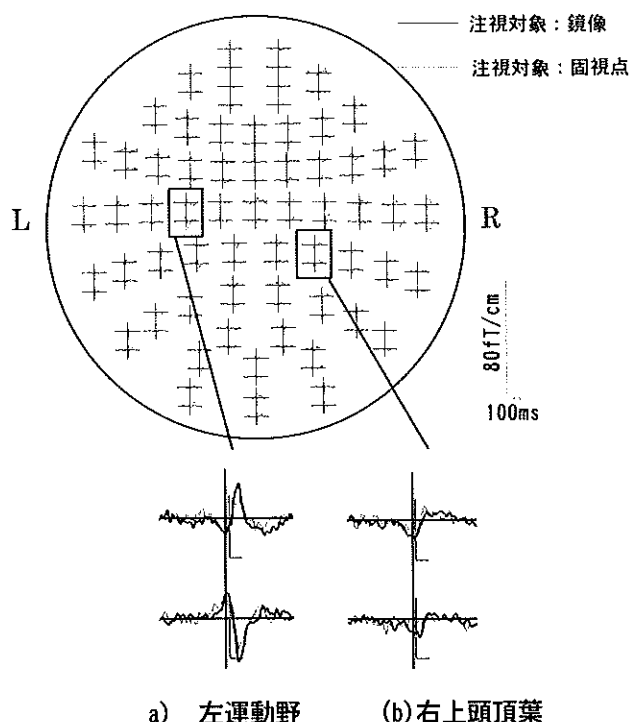


図3 122ch 加算平均波形(被験者A)

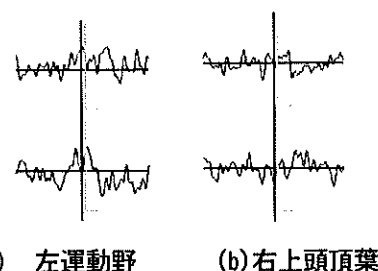


図4 加算平均波形の差分(被験者A)

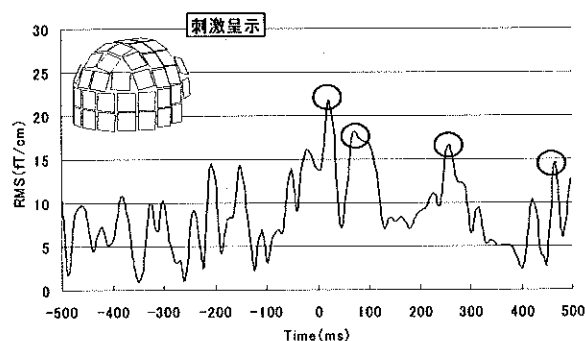


図5 右上頭頂葉のセンサを用いたRMS解析結果、(図中左上にRMS解析に用いた加算平均波形の計測された領域を示す(被験者A))

本実験では運動イメージ想起を被験者に指示していなかったにもかかわらず、MT で用いられる動作・鏡像観察によって運動イメージ想起が支援され、被験者は自然に運動イメージ想起が促されたと推測される。

RMS 解析の結果から、右上頭頂葉で 20ms, 60ms, 250ms, 450ms に振幅のピークが見られた。上述した考察より、この右上頭頂葉で見られた活動は運動イメージ想起に関連した活動である可能性がある。運動イメージ想起する際には運動を想起した手と対側の運動野、運動前野、頭頂葉領域が運動イメージ開始の合図から 200ms・300ms で活動することが報告されている<sup>9)</sup>。右上頭頂葉に 20ms, 60ms で見られた活動はそれぞれ刺激呈示から 200ms, 240ms であった。よって、右上頭頂葉に 20ms, 60ms で見られた活動は運動イメージ想起によるものであると考えられる。

差分波形の RMS 解析の結果、250ms, 450ms で右上頭頂葉に見られた活動は、上述した考察より運動イメージ想起に関連した活動であるとは言えない。その他の原因として考えられる頭頂葉の役割は身体図式更新の他に運動、運動イメージ想起、眼球運動、空間認識、運動観察が挙げられるが、これらの中でまず、運動に関連する活動は差分によって取り除かれている。また、眼球運動を行った場合、加算平均波形の前頭葉周辺に眼電位によるノイズが見られるが、それも見られていない。空間認識は実験中常に行っているため、加算平均によりノイズとして処理されることが考えられる。

これらのことから、運動観察によってこの活動が生じている可能性が考えられる。運動観察に関する脳磁界応答は刺激呈示後、約 500ms に見られると報告されている<sup>10)</sup>。筋電位波形は視覚呈示から 200ms 程度で立ち上がっていたため、250ms 付近で右上頭頂葉に見られた活動が運動観察によるものであると考えられる。身体図式の更新は視覚と体性感覚が統合されたときに行われるため、運動観察による活動である 250ms の後に 450ms で右上頭頂葉に見られた活動が身体図式更新機能を示していると考えられる。この結果は、MT の回復原理に身体図式更新機能が関連していることを示唆するものである。運動イメージ想起は身体図式に基づいて行われるため<sup>4)</sup>、MT により身体図式に影響

を与えることで、運動イメージ想起を支援する効果が現れるのかもしれない。

#### 4 まとめ

- MT で用いられる動作・鏡像観察により、被験者は運動イメージ想起が促されたと推測される。
- MT で用いられる動作・鏡像観察を行った際に右上頭頂葉で 450ms 見られた活動から、MT の回復原理に身体図式更新機能が関連していることが示唆された。

#### 謝辞

本研究は文部科学省学術フロンティア推進事業（平成 18 年度～平成 23 年度）の援助を受けた。

#### 参考文献

- 1) 手塚康貴, 松尾篤: 脳卒中片麻痺患者に対するミラーセラピー, 理学療法, Vol.22, No.6, pp.871-879, 2005.
- 2) 松尾篤, 庄本康治, 佐々木久登, 高取克彦, 柳野浩司, 岡真由美, 代智恵子, 肥田光正, 福島祐子: 鏡治療による上肢筋活動の即時的変化, 理学療法学, Vol.32, No.6, pp.368-373, 2005.
- 3) 内藤栄一, 定藤規弘: 身体図式 (ボディスキーマ) と運動イメージ, 体育の科学, Vol.52, No.12, pp.921-928, 2002.
- 4) 森岡周: リハビリテーションのための脳・神経科学入門, 協同医書出版社, pp.91-111, 2005.
- 5) 仁木千晴, 熊田孝恒: 頭頂葉もしくは前運動野損傷後の患者に見られた身体図式の変容, Technical report on attention and cognition, No.1, 2005.
- 6) P. Giraux, A. Sirigu: Illusory movements of the paralyzed limb restore motor cortex activity, NeuroImage, Vol.20, pp.107-111, 2003.
- 7) S. Shimada, K. Hiraki, I. Oda: The parietal role in the sense of self-ownership with temporal discrepancy between visual and proprioceptive feedbacks, Neuroimage, Vol.24, pp.1225-1232, 2005.
- 8) 甘利俊一, 外山敬介: 脳科学大事典, pp.120-126, 朝倉書店, 2000.
- 9) 杉原亮, 菊池吉晃, 川道拓東, 小早川達, 遠藤博史, 吉沢修治: Motor imagery における脳内処理の時空間構造, 電子情報通信学会, Vol.92, No.621, pp.21-28, 1998.
- 10) R. Hari, N. Forss, S. Avikainen, E. Kirveskari, S. Salenius, G. Rizzolatti: Activation of human primary motor cortex during action observation: A neuromagnetic study, Neurobiology, Vol.95, pp.15061-15065, 1998.

## D 会場 一般セッション

会場：1B-39 (B5 棟 1 階)

---

- 10:00 ～ 10:50 運転者特性  
座長：篠原 一光 (大阪大学大学院)
- 11:00 ～ 11:50 睡眠・覚醒  
座長：梶井 宏修 (近畿大学)
- 14:20 ～ 15:10 生理計測  
座長：大須賀 美恵子 (大阪工業大学)
- 15:20 ～ 16:10 ストレス・心的負荷  
座長：才木 常正 (兵庫県立工業技術センター)
- 16:20 ～ 16:53 人体形状・寸法  
座長：畠中 順子 ((社)人間生活工学研究センター)

## ドライバの姿勢変化が運転操作に及ぼす影響の解析

### Analysis of Driving Behavior Influenced by Driving Posture

○朝尾隆文\*, 小谷賢太郎\*, 堀井健\*

\*関西大学システム理工学部

ASAO Takafumi\*, KOTANI Kentaro\*, HORII Ken\*

\*Faculty of Engineering Science, Kansai University

#### 1 はじめに

運転行動は、1) 視覚による情報の認知、2) 認知した情報により次の操作を行うための判断、3) 判断した操作の実行、の繰り返しである。これら 3 フェーズのいずれかにおいてエラーが発生すれば、事故を起こす危険性が生ずる<sup>1),2)</sup>。

一方、認知、判断、操作のループに影響を及ぼすワークロード(負荷)は、以下の 3 つに分類される<sup>3)</sup>。すなわち、1) ビジュアルワークロード: 視覚探索等に関するワークロードで、交通環境の複雑化により増加する。また視覚情報提供装置の増加等によってそれらへの注視が増加し、見落としなどにより運転に必要な情報の欠落をもたらす。2) メンタルワークロード: 主に思考活動等に関する心理的ワークロードで、複雑な環境下での運転行動決定などにより増加する。さらに機器操作等に集中することにより認知、判断能力の低下につながる。3) エグゼキューションワークロード: 各種装置の操作行動に関わるワークロードで、操作行動の増加や複雑化により運転操作が不的確になる。以上のような各種ワークロードの運転行動に及ぼす影響については、従来より多くの研究が試みられているが、日常運転における物理的な操作タスクは複数のワークロードを複合的に増加させる可能性があるため、その影響を明確にすることが重要となる。

ここで自動車の運転は、鉄道、航空機、船舶などのように特別に訓練された専門の操縦者が行うものではないため、以下のような予測し難い危険行動を行うことが考えられる。例えば、運転中に助手席に置いてある鞆の中から何かを取り出すような動作が考えられる。この場合、まず視認により鞆の場所を把握する必要があるが、ビジュアルワークロードが発生する。次に鞆の中から目標物を選択する際にはメンタルワークロードが含まれる。また、片腕がハンドルから離れ運転姿勢が変化することからエグゼキューションワークロードが起こり、ドライバは運転上極めて不安定な行動をとることになる。したがって、そのような不安全運転を行うことがあるという前提でその危険性を啓発すると共に、それをサポートするシステムが必要と考えられる。

本報告では、姿勢変化を引き起こす一連のリーチング行動に着目し、それらが運転行動に及ぼす影響を解析した。ドライビングシミュレータによる運転模擬実験として、操舵によ

る緊急回避実験を行い、その結果としてリーチングターゲットが遠くなるほど操舵行動が不安定となることを示す。

#### 2 リーチング動作に関するアンケート調査

リーチング行動に起因する事故は日本の交通違反別事故分類において、安全運転義務違反、運転操作不適、動静不注視、安全不確認等に分類されてしまうため、まとまった情報が存在しない。そこで、運転免許所持者に対してリーチング行動に関するアンケートを行い、主に香川県在住の 67 名から回答を得た。30~40 歳代が主で 10 年以上の運転歴を持つ回答者は 80%であった。また、週に 2~3 回以上の運転頻度の回答者が 80%であった。なお、回答は該当する項目からの選択式とした。

各設問は以下のとおりである。リーチング動作に関する設問の回答を図 1 に示す。

設問 1) リーチング動作経験の有無

設問 2) リーチング動作経験なし対象者の理由

設問 3) リーチング動作経験者のリーチング動作課題を行う理由

設問 4) リーチング動作経験者のリーチング動作が原因のヒヤリハット経験

設問 5) リーチング動作経験者のリーチング動作が原因の事故経験

設問 6) リーチング動作による事故経験者に対しての事故の要因

実に 80%のドライバがリーチング行動をしたことがあると回答している。またリーチング行動を行う理由については、すぐ終わることだからと慢心している回答が 50%以上を占め、若干ながら危ないとは思わないという回答も見られる。したがってリーチング行動による危険性を明確化し、それをドライバに周知することは非常に重要であると言える。さらに有効回答の半数がヒヤリとした経験があると答えており、わずかながらリーチング行動が原因で事故を起こしたと回答している。

ここで、前述のとおり 3 つのワークロードがあるが、設問 6)では、前を見ていなかった、つまりビジュアルワークロードが主要因の事故がみられる。また、前は見ていたが



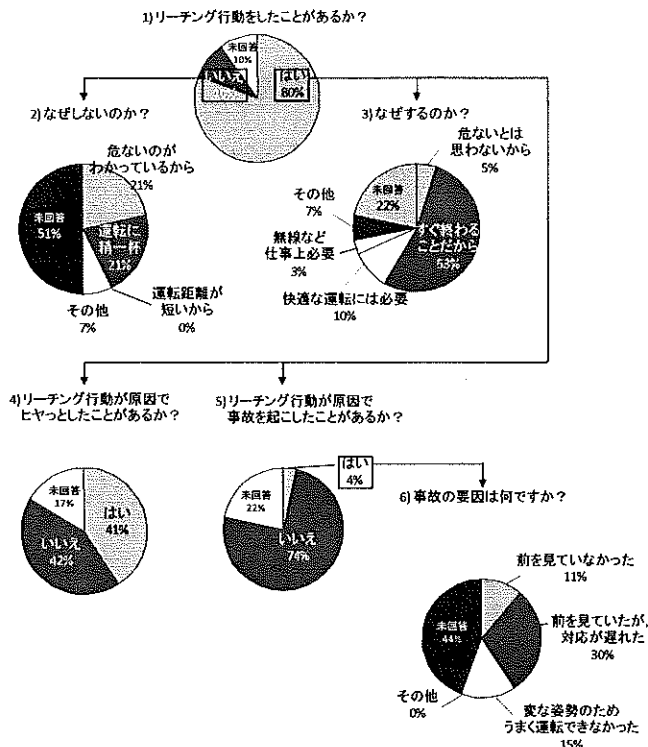


図1 リーチング動作の経験に関するアンケート結果

対応が遅れた、つまりリーチング動作に気をとられておりメンタルワークロードが多く、または意識の脇見により、対応が遅れたと考えられる回答も存在する。さらに、リーチング動作による不自然な姿勢のためにうまく操作できなかったという回答では、エグゼキューションワークロードによる姿勢変化そのものが運転操作に重大な悪影響を及ぼした結果である。以上の結果からも、ビジュアル、メンタル、エグゼキューションワークロードによる事故の防止は極めて重要であると考えられる。

### 3 リーチングタスクの設定

ドライバの付加的行動の観察をドライビングシミュレータ(以後DSと呼ぶ)およびアンケート調査により検討した。表1にそれらを分類、整理したものを示す。分類は体動、視線移動の大小またはその組み合わせにより、運転行動への影響が小さいと思われる順にレベル付けを行った。ここで分類の際に体動だけではなく視線移動も考慮した理由は、リーチング動作は体動のみならず、視線移動をも伴うためである。レベル0は運転行動そのものである。レベル1はドライバ自身に対して行う行動であり、運転行動への影響は比較的軽微であると考えられる。レベル2~4はドライバ周辺に対する行動であり、視線移動の大小、体動の有無により分類した。レベル5~6は運転姿勢を大きく崩すと考えられるものであり、その行動に対する慣れ等による視線移動の有無により分類した。

表1 ドライバの付加的行動の分類

|      |            |                                                                                                             |
|------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| レベル0 | 運転行動       | アクセル・ブレーキ・ハンドル操作、シフト操作、ウィンカー操作、ワイパー操作、目視による車両周辺の確認、 <b>ハザードスイッチの操作</b> 、エアコンスイッチ等の操作                        |
| レベル1 | ドライバ自身     | 目をこする、顔・髪等をさわる、鼻をかむ、煙草を吸う                                                                                   |
| レベル2 | 軽微な視線移動    | 各種スイッチ操作前のスイッチ位置の確認、カーナビ等の注視                                                                                |
| レベル3 | 軽微な体動、視線移動 | シートベルトをする、飲食、携帯電話等で話す、ドアトリムから地図を取る                                                                          |
| レベル4 | 大きい/長い視線移動 | 煙草に火を点ける、煙草を消す、ホルダーからコップ等を取る、オーディオ/カーナビ等を手で操作する、携帯電話を取る、CD等を交換する、 <b>助手席上の物を取る</b> 、アームレスト内から物を取り出す、本/地図を読む |
| レベル5 | 大きな体動      | (慣れ、予め位置が分かっている等による視線の移動を含まない)リアシート上の物を取る、 <b>ダッシュボード内の物を取る</b>                                             |
| レベル6 | 大きな体動、視線移動 | リアシート上の物を観て取る、足元に落ちた物を観て拾う、助手席の子供の世話をする、 <b>ダッシュボード内の物を観て取り出す</b>                                           |

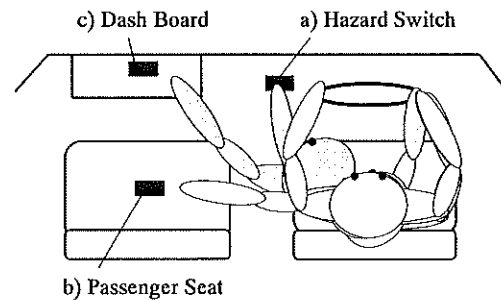


図2 リーチングタスクのターゲット

これらの行動の中からその度合いに応じ、実験時に課すリーチングタスク以下に示す3条件とした。図2に各リーチング・ターゲット配置の概略を示す。

- a) ハザードランプ
- b) 助手席(中央部)
- c) ダッシュボード(ノブ部)

### 4 操舵回避性能実験

#### 4.1 実験装置

本節では、リーチングタスクを課した際の姿勢の変化が車両の緊急回避性能に及ぼす影響を調査することを目的とし、操舵回避性能実験を行った<sup>4)-6)</sup>。実験には、図3に示す自作のDSを使用した<sup>7)</sup>。アクセル・ブレーキペダル、ステアリングシャフトにはそれぞれロータリーエンコーダが取り付けられており、カウンタボードを介してPCに接続されている。ドライバの操作量に基づいてPCで計算された車両の位置と角度から走行映像を作成し、ドライバ前方

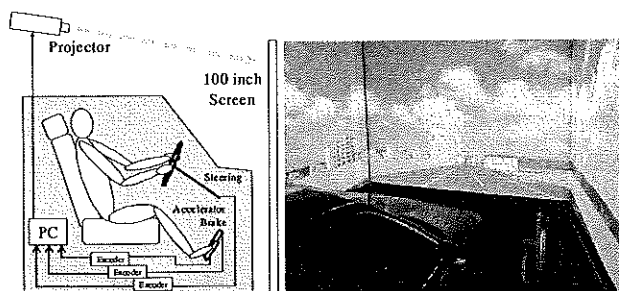


図3 ドライビングシミュレータの概要

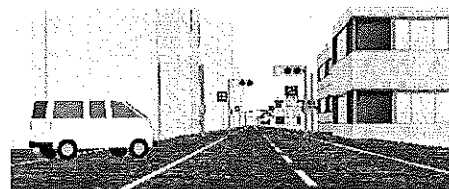
2.3 mにあるスクリーンに投影している。

#### 4.2 実験方法

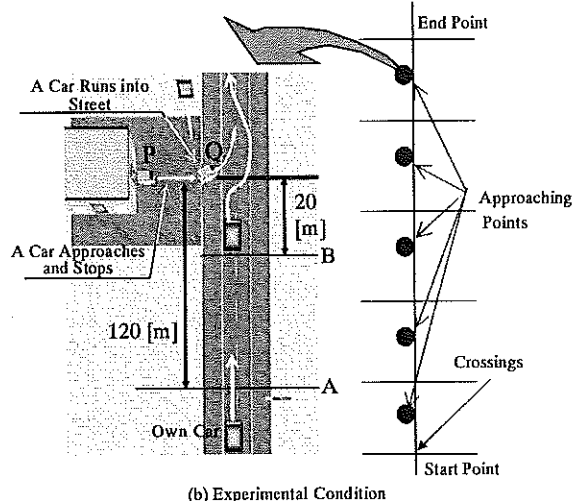
リーチングタスク付加時の操舵による回避性能を評価するために、車両が飛び出してくる緊急状況での実験を行った<sup>4)6)</sup>。緊急状況の視野画像の一部を図4(a)に示す。また、図4(b)に示すように、交差点を含む直線道路に、道路脇の駐車場から出ようと道路に近づいてくる車両が存在するポイントが5箇所あり、このうちランダムに1箇所のみで飛び出し車両が自車前方に割り込んでくる。以下、この条件について説明する。飛び出し車両が存在する5箇所全ての地点で、それぞれ自車がラインAを通過した後、飛び出し車両が点Pから移動を開始し点Qにて停止する。飛び出し車両に対する被験者の予測を抑えるため、5箇所のポイントのうちランダムに1箇所のみで、自車がラインBを通過後、飛び出し車両が自車進行中の車線に進入する。以上を1試行とし、4回ずつ計測を行った。このときの飛び出し車両からラインBまでの距離を20 mと設定した。自車の速度は60 km/h一定とし、回避条件はステアリングのみである。なお、対向車はないことを前提とし、右側に回避するよう指示した。リーチングターゲットは a) ハザードランプ、b) 助手席、c) ダッシュボードである。車両の飛び出し箇所をランダムとしているものの、被験者は車両の飛び出しポイントに近づくと車両の飛び出しに対して身構えるため、リーチング動作と車両の飛び出すタイミングを合わせることが困難である。したがって、リーチングタスクはそれぞれのターゲットに手を伸ばしたまま運転することとした。被験者は、18~26歳の学生7名である。なお、被験者の身体データの平均値(標準偏差)は、前方腕長: 81.1(7.0), 前方前腕長: 43.9(5.0), 肩峰・肘頭間距離: 34.0(3.7), 肩峰・転子距離: 50.1(5.1) cmであった。

#### 4.3 実験結果

図5(a), (b), (c)に自車がラインBを通過した時刻を基準とし、被験者毎に平均した緊急操作時の操舵角、ヨーレート、車両横変位を示し、さらにリーチングターゲット毎に整理した。加えて(d)にリーチングタスクを課さなかった場合のデータを示す。まず、飛び出してきた車両を回避するために右に操舵し、車両を回避した後、元のレーンに戻っている。被験者によりばらつきが見られるが、リーチング動作課題によ



(a) One Scene of Steering Avoidance



(b) Experimental Condition

図4 操舵回避性能実験概略

り回避終了後に操舵角のオーバーシュートが起こっており、リーチング動作対象が a), b), c) の順にオーバーシュート量が大きくなっている。また、オーバーシュートのピークの時刻を見比べると、リーチング動作課題により早くなっていることが分かった。ここで、車両横変位はターゲットによる顕著な差は見られないが、操舵角やヨーレートにおいて修正が多く行われており、波形が振動している。これらのことから、リーチングタスクにより不安定な操縦となっていると考えられ、その度合いはターゲットの距離が遠くなるほど顕著である。

図6 a) に運転経験の少ない被験者Aのリーチングタスクなしとターゲット b) 助手席の操舵角に対するヨーレートによる車両運動の収束具合をリサージュ波形で示す。同様に図b) に運転経験の多い被験者Bのリーチングタスクなしとターゲット c) ダッシュボードの操舵角-ヨーレートを示す。両被験者ともリーチング動作課題により波形が渦を巻き、振動が大きく長く続いていることが分かる。一方、被験者Bのリーチングタスクなしでは原点付近に集中しているのに対し、両被験者ともリーチングタスク時の波形は同程度である。これは運転経験の多い被験者においてもリーチングタスクによる影響が大きいことを示しており、リーチングタスク時の車両運動はリーチングタスクなし時に比べ車両挙動が不安定となり、回避行動に大きな影響を及ぼすことが分かる。

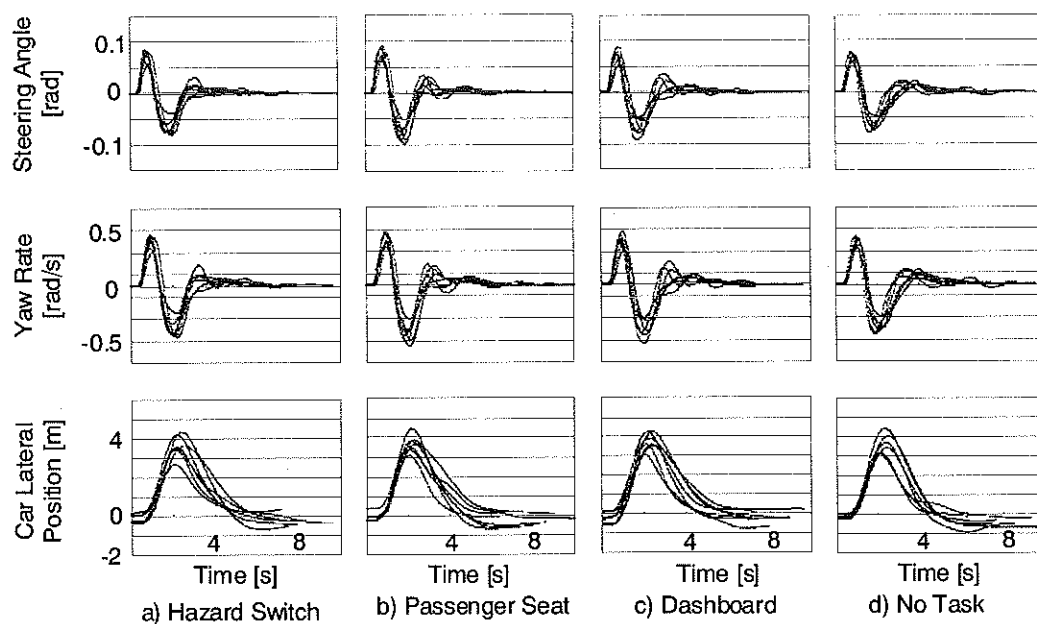


図5 操舵回避性能実験の車両挙動

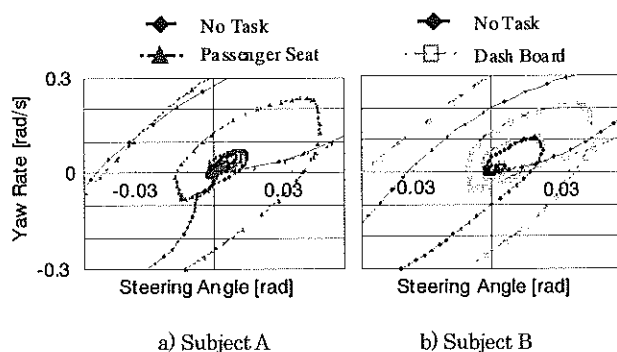


図6 操舵角とヨーレート

## 6 おわりに

本報告では、まずアンケート調査によりリーチング動作の危険性について示し、一般的なドライバが日常の運転において行ってしまうリーチング動作について整理を行い、3種類のリーチングターゲットによりタスクを設定した。リーチングターゲットは、a)ハザードランプ、b)助手席、c)ダッシュボードである。これらのリーチングタスクを課した際の運転行動を評価するため、DSによる操舵回避性能実験を行い、以下に示す結果を得た。

飛び出し車両の回避後の車線復帰時に操舵角のオーバーシュートが起こることが分かった。また、リーチングターゲットが遠くなるに従い、オーバーシュート量が多くなり、オーバーシュートのピーク位置が早くなることが分かった。また、リーチングターゲットが a)ハザードランプ、b)助手席、c)ダッシュボードの順に、操舵の振幅が大きくなることが明らかとなった。さらにリーチングタスクにより車両挙動が不安定になることを示した。

今後の課題として、より多くの被験者で実験を重ねる必要がある。さらにリーチングタスクの運転操作への影響を定量

的に評価することにより、リーチング動作による車両挙動への影響を軽減、警告する装置へと応用することが可能である。

なお、本報告は香川大学において行った研究の一部をまとめたものである。

## 参考文献

- 1) 吉川：ドライバーの注意と情報摂取，蓮花一己編：交通行動の社会心理学，北大路書房，p.28-35 (2000)
- 2) 松永：自動車の輸送量及び交通事故，松永勝也編：交通事故防止の人間科学，ナカニシヤ出版，p.1-13 (2006)
- 3) G. Christhard, et al.: State-of-the-art of the SNRA/JARI/BAST joint research on driver workload measurement within the framework of IHRA-ITS, Proc. of International Conference on ESV, Paper No.242-O (2003)
- 4) 朝尾ほか：フィジカルワークロードの自動車運転操作への影響，自動車技術会学術講演会前刷集，No.32-04，p.5-8 (2004)
- 5) T. Asao, et al.: The effect of physical workloads on driving performance, Proceedings of the 19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Paper Number 05-0435 (2005)
- 6) T. Asao, et al.: Influence of Physical Workloads on Driving Performance, Review of Automotive Engineering, Vol.27, No.2, p.361-364 (2006)
- 7) 朝尾ほか：簡易ドライビングシミュレーターの開発とそれを利用した運転行動解明の一事例，交通科学，Vol.37，No.1，p.13-20 (2006)

# 先行車追従時に見られる攻撃的運転の規定因

## Determinant Factors of Aggressive Driving While Following

○中井 宏\*\*\*, 臼井 伸之介\*

\*大阪大学大学院人間科学研究科 \*\*日本学術振興会

NAKAI Hiroshi\*\*\*, USUI Shinnosuke\*

\*Graduate School of Human Sciences, Osaka University

\*\*Japan Society for the Promotion of Science

### 1 研究目的と仮説

自動車運転において、“aggressive driving”という言葉は古くからあり、現在でも特に問題視されている<sup>1),2)</sup>。アメリカの調査では、安全に対する最も重大な関心事として、「飲酒運転」がわずか 11%だったのに対して、39%もの回答者が「暴走族・攻撃的運転」を挙げた<sup>1)</sup>。

運転中の攻撃行動は、高速走行や狭い車間距離、追い越し、クラクションなど、「他のドライバーや歩行者の動きを妨害する行為」と定義される<sup>3)</sup>。これらの行動は、若年者に見られやすいこと<sup>4),5)</sup>、女性よりも男性に多いこと<sup>5),6)</sup>、車種に依存すること<sup>7)</sup>が知られている。一方で、交通量との関係についても多くの研究が行われているものの、渋滞状況が攻撃的運転と関連することを示した研究<sup>8),9)</sup>だけでなく、関連がないとした研究<sup>10)</sup>もあり、その関係性は明確でない。

この理由として、ドライバーの運転は、元来個人がもつ攻撃性だけに規定されるのではなく、外的要因にも作用される<sup>11)</sup>ことが挙げられる。つまり、攻撃性がさほど強くないドライバーでも、状況次第では車間を縮め、高速で走行することがある一方で、攻撃性が強いドライバーであっても、渋滞等で仕事をサボれると思えば、むしろ渋滞を歓迎することもある。

ここでFig. 1は、ドライバーの運転行動について、一連のスキーマが形成されるまでの過程と、外的要因の影響を受けて、自分のもつスキーマを変容させる過程に関するモデルである。これに従えば、外的要因によって、自身のもつ運転スキーマを場面に合うように修正するものの、どの様に修正するかについては、個人の安全意識に依存する。しかし先行研究<sup>11)</sup>はドライバーの行動面だけに焦点を当てており、意識面の測定が行われていなかったため、モデルは仮説の域を出ない。

そこで本研究では、先行車追従課題において、先行車の速度変化に伴う行動変容を確認するとともに、前車の低速走行によって攻撃性が強まるドライバーの安全意識を検討した。安全意識の中でも、特に安全態度および運転技能の自己評価の観点から検討し、モデルの妥当性を検証することが研究目的である。

本研究の仮説は「安全態度の悪いドライバーや運転技能を過大評価するドライバーほど、よりリスクなスキーマに基づく行動を行う」、「外的要因の影響を受けて、形成されたスキーマの修正が求められる状況では、安全態度の悪いドライバーや運転技能を過大評価するドライバーほど、リスクな行動変容を伴う」という2つである。

### 2 方法

#### 2.1 実験機材

(株)三菱プレジジョン製の研究用シミュレータを用い、プログラムは第一著者が Visual C++によって作成した。3つの液晶プロジェクタを用いて前方のスクリーン(約 120cm×90cm)に前景を投影し、ドライバーからの視野角は約 96度×19度であった。

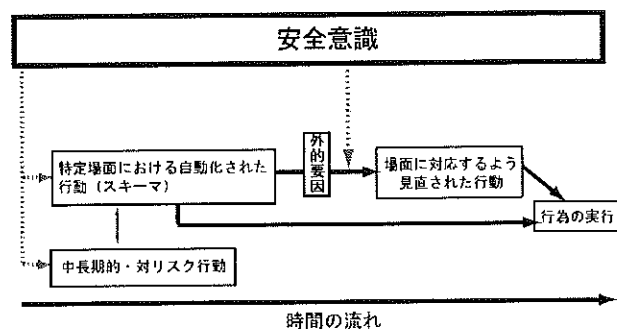


Fig. 1 安全意識ベース運転行動スキーマモデル<sup>11)</sup>

## 2.2 実験参加者

実験参加者は普通免許を所持し、少なくとも週 1 程度の運転頻度をもつ男性 19 名であった。平均年齢は 25.7 歳( $SD=4.89$ , 19 - 35 歳)、平均運転経験年数は 4.8 年( $SD=3.01$ , 1 - 11 年)であった。

## 2.3 手続き

走行ルートは Fig. 2 のような直線路で、両端は無限にループした。シナリオ説明の便宜上、スタート地点から右端まで走行し、左端へループして再度スタート地点に戻るまでを 1 周目、以下同様にスタート地点を通過する度に 2 周目、3 周目と数えることにする。

交差点 A 以外に信号機を表示し、信号機 C、E の現示は常に青に設定した。また交差点 A では、標識によって一時停止が義務付けられていた。

走行ルートとなる直線路の制限速度は 40km/h であったものの、走行中はスピードメーター等の計器類を表示しなかったため、実験参加者は自身の走行速度を知ることができなかった。代わりに、「道路に見合った速度で走行するよう」教示した。

「不安全な態度や過大評価があるドライバーほど、リスクな運転スキーマを形成する」という仮説を検証するためには、同一シナリオで反復して走行する必要があった。予備実験から、このような単純な直線路では、遅くとも 3 週の走行によって、ブレーキ踏力やアクセルストロークが一貫することが示されたため、同じイベントが発生する周回を 3 周繰り返すようシナリオを作成した(2 から 4 周目と 5 から 7 周目は同一イベントが発生する)。

次に「不安全な態度や過大評価があるドライバーほど、外的要因の影響により行動を修正する段階で、より不安全な行動変容を伴う」という仮説を検証するため、実験途中で先行車両の速度を変化させた。変化前後の行動指標を比較することにより、各ドライバーが

外的要因の変化にどの程度敏感に反応し、その行動変容がどの程度安全であったかを知ることができる。

## 2.4 実験シナリオ

全周回において、交差点 A への到達予想時間が 6 秒となった時点で、他車両が自車前方に進入した。信号機 B は自車両到達の 15 秒前に青から黄に現示を変え、これにより他車両の後ろで青になるまで待つ必要があった。その後区間Ⅲ、Ⅳでは他車両を追従し、他車両のみが交差点 D で左折した。このとき、先行車の速度には 65km/h または 40km/h の 2 条件があり、実験参加者ごとに 1 から 4 周目、5 から 7 周目のどちらかに割り当てた。

## 2.5 質問紙

実験時には、自身の運転技能を問う質問紙<sup>12)</sup>と安全態度を訊ねる質問紙 SAS592<sup>13)</sup>に回答を求めた。

過大評価度を測定する質問紙は、13 の運転技能要素に関する 2 つの間で構成されていた。「自身の運転と日本人ドライバー全体の平均の比較(5 件法)」を求めた問 1 への素点から、「自身と同属性のドライバー(同性・同年代・運転経験が同程度)の運転と日本人ドライバー全体の平均を比較(5 件法)」するよう求めた問 2 に対する素点を引いた得点(問 1 - 問 2)を、その技能要素における過大評価度と定義した。質問項目は「高い課題要求下での運転(Driving on High Task Demand situations, 以下 DHTD)5 項目」、「手技的操作 4 項目」、「配慮 4 項目」という 3 因子構造であった。得点が高いほど、自身の運転技能を過大評価していると考えられる。

一方 SAS592 には、他者迷惑行動要素を検出するための感情高揚性 9 項目、自己顕示性 7 項目、他者排除行動要素検出のための攻撃性・非協調性 8 項目ずつ、計 32 項目が用いられている。本研究では 5 件法での回答を求め、得点が高いほど不安全である。

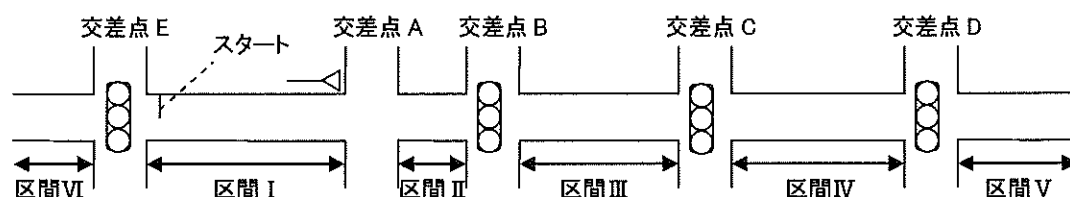


Fig. 2 シミュレータ実験走行コース説明図

また、フェイスシートでは年齢や運転経験年数、年間走行距離等の個人情報を訊ねた。

## 2.6 分析方法

分析に用いた指標は、両条件において平均速度(区間VおよびVI、交差点E)、前車との車間距離(追従中平均・追従中最小・信号Bでの停止時最小)、車間時間(追従中平均・追従中最小)である。区間V、VIおよび交差点Eは、先行車や信号機の影響なく自由に走行できる区間であることからこの区間を選定した。

さらに、外的要因の変化による行動変容の個人差を分析するために、それぞれの指標について比を算出した。行動変容の安全度については、変容前と変容後の指標の差を用いることもできるが、変容前の行動の安全度そのものに大きく依存する。例えば、65km/hの先行車追従時の平均車間時間が5秒だったドライバーと3秒だったドライバーが、それぞれ40km/hの先行車追従時には4秒、2秒に変化した場合、差を用いて表すと両者ともに-1秒であるが、比を用いるとそれぞれ1.25、1.5となる。このとき、後者のドライバーのほうが危険な行動変容と考えられるため、差よりも比を指標とするほうが妥当であると考えた。

## 3 結果

行動変容の安全度を示す比については、(65km/hの先行車を追従時の指標/40km/hの先行車を追従時の指標)によって算出しているため、速度の比は値が大きいほど、車間距離や車間時間の比は値が小さいほど、より安全に行動を変容したと考えられる。

まずドライバー属性との相関を分析したところ、年間走行距離が長いドライバーほど、交差点Bでの信号待ち時に、先行車との距離が長い(65km/h条件で $r=.567$ ,  $p<.05$ 、40km/h条件で $r=.471$ ,  $p<.05$ )ことが示された。ただし、年齢や運転経験年数と行動指標との間には有意な相関は見られなかった。

次に、過大評価度との分析結果をTable 1に示す。運転技能を過大評価するドライバーは、40km/hの先行車を追従した後の走行速度が有意に高く、車間も狭いことが明らかとなった。ただし、先行車の速度が65km/hの条件では、それほど明確な関連は見られなかった。行動変容については、特に速度に関して過大評価ドラ

イバーほど危険な行動変容を伴うことが示唆された。

Table 1 過大評価度と行動指標の相関

|                 |                 | DHTD    | 手技     | 配慮      |
|-----------------|-----------------|---------|--------|---------|
| 65km/h<br>(19名) | 区間Vの平均速度        | .239    | .303   | .256    |
|                 | 区間VIの平均速度       | .329    | .305   | .290    |
|                 | 交差点Eの平均速度       | .312    | .256   | .234    |
|                 | 走行時の平均車間距離      | -.140   | -.070  | -.225   |
|                 | 走行時の平均車間時間      | -.135   | -.052  | -.233   |
|                 | 走行時の最短車間距離      | -.202   | -.341  | -.332   |
|                 | 走行時の最短車間時間      | -.395†  | -.506* | -.486*  |
|                 | 交差点Bでの停止時最短車間距離 | -.341   | -.237  | -.229   |
|                 | 交差点Bでの停止時最短車間時間 | -.476*  | .555*  | .522*   |
| 40km/h<br>(19名) | 区間Vの平均速度        | .664**  | .494*  | .739*** |
|                 | 区間VIの平均速度       | .713**  | .541*  | .763*** |
|                 | 交差点Eの平均速度       | -.563*  | -.454† | -.509*  |
|                 | 走行時の平均車間距離      | -.615** | -.486* | -.517*  |
|                 | 走行時の平均車間時間      | -.395†  | -.375  | -.372   |
|                 | 走行時の最短車間距離      | -.431†  | -.364  | -.372   |
|                 | 走行時の最短車間時間      | -.587** | -.522* | -.448†  |
|                 | 交差点Bでの停止時最短車間距離 | -.189   | -.208  | -.219   |
|                 | 交差点Bでの停止時最短車間時間 | -.486*  | -.271  | -.656** |
| 比<br>(19名)      | 区間Vの平均速度        | -.527*  | -.323  | -.677** |
|                 | 区間VIの平均速度       | .184    | .226   | .067    |
|                 | 交差点Eの平均速度       | .100    | .164   | -.022   |
|                 | 走行時の平均車間距離      | .001    | -.059  | -.136   |
|                 | 走行時の平均車間時間      | -.103   | -.196  | -.187   |
|                 | 走行時の最短車間距離      | .479*   | .521*  | .484    |
|                 | 走行時の最短車間時間      |         |        |         |
|                 | 交差点Bでの停止時最短車間距離 |         |        |         |
|                 | 交差点Bでの停止時最短車間時間 |         |        |         |

†:  $p<.1$ , \*:  $p<.05$ , \*\*:  $p<.01$

Table 2 安全態度と行動指標の相関

|                 |                 | 感情高揚性  | 自己顕示性  | 攻撃性   | 非協調性  |
|-----------------|-----------------|--------|--------|-------|-------|
| 65km/h<br>(19名) | 区間Vの平均速度        | .371   | .350   | .152  | .292  |
|                 | 区間VIの平均速度       | .390   | .428†  | .209  | .353  |
|                 | 交差点Eの平均速度       | .380   | .402†  | .239  | .376  |
|                 | 走行時の平均車間距離      | .008   | -.175  | .260  | -.017 |
|                 | 走行時の平均車間時間      | .011   | -.117  | .263  | .005  |
|                 | 走行時の最短車間距離      | -.156  | -.361  | -.112 | .089  |
|                 | 走行時の最短車間時間      | -.269  | -.422† | -.200 | -.083 |
|                 | 交差点Bでの停止時最短車間距離 | .040   | .094   | .141  | .080  |
|                 | 交差点Bでの停止時最短車間時間 |        |        |       |       |
| 40km/h<br>(19名) | 区間Vの平均速度        | .291   | .666** | .275  | .355  |
|                 | 区間VIの平均速度       | .439†  | .565*  | .388  | .400  |
|                 | 交差点Eの平均速度       | .455*  | .598** | .464* | .454† |
|                 | 走行時の平均車間距離      | -.489* | -.181  | -.199 | -.268 |
|                 | 走行時の平均車間時間      | -.455† | -.329  | -.228 | -.398 |
|                 | 走行時の最短車間距離      | -.086  | -.262  | .054  | -.036 |
|                 | 走行時の最短車間時間      | -.145  | -.283  | .059  | -.130 |
|                 | 交差点Bでの停止時最短車間距離 | -.169  | .002   | -.113 | -.013 |
|                 | 交差点Bでの停止時最短車間時間 |        |        |       |       |
| 比<br>(19名)      | 区間Vの平均速度        | .205   | -.362  | -.051 | -.019 |
|                 | 区間VIの平均速度       | -.087  | -.364  | -.162 | -.133 |
|                 | 交差点Eの平均速度       | -.078  | -.383  | -.214 | -.175 |
|                 | 走行時の平均車間距離      | .232   | .029   | .420† | .192  |
|                 | 走行時の平均車間時間      | .197   | .039   | .403† | .181  |
|                 | 走行時の最短車間距離      | -.208  | -.179  | -.192 | -.119 |
|                 | 走行時の最短車間時間      | -.204  | -.202  | -.245 | -.108 |
|                 | 交差点Bでの停止時最短車間距離 | .337   | .289   | .437† | .203  |
|                 | 交差点Bでの停止時最短車間時間 |        |        |       |       |

†:  $p<.1$ , \*:  $p<.05$ , \*\*:  $p<.01$

また、安全態度との分析結果をTable 2に示す。前車速度が40km/hの条件では安全態度の悪いドライバーほど不安全的な行動が生じており、先行車が左折した後に、より高速で走行することが示された。また、攻撃性の強いドライバーほど車間の比が大きい傾向があり、65km/hの先行車追従時に比べて40km/hの先行車追従時の車間距離や時間がリスクであることが示唆された。

## 4 総合論議

急ぐ必要が全くない実験室内にもかかわらず、低速の先行車を追従する際に車間を縮め、その後の区

間で速度を上げるドライバーが存在した。質問紙との相関分析の結果、そのような不安全行動は、安全態度や運転技能の自己評価と関連していることが示された。

ただし、不安全な態度をもつドライバーや過大評価傾向のドライバーにおける危険性は、65km/hの先行車追従時には明確でなかったことから、その関連性は単純ではないと推察される。40km/hの低速条件では、自身の思い通りの速度で走行できないことから、攻撃的運転が生じやすくなったと考えられる。つまり、過大な自己評価の悪影響は、フラストレーション等を含めた他の要因との相互作用によって増長される可能性が指摘できる。

また、本研究の結果に関して安全意識ベース運転行動スキーマモデルの観点から考えると、Fig. 3に再掲したモデル中の矢印①および②の仮説はいずれも支持された。また、安全態度が高いことと、自己評価が高いことは、行動指標に与える相関が全く逆であったことから、安全意識の構成要素について加筆した。交通安全を考える上では、普段の運転は安全であっても、状況次第では攻撃的運転が生じる可能性がある(①の段階には問題がなくとも②に問題があるケースもありうる)ことを理解しておく必要がある。

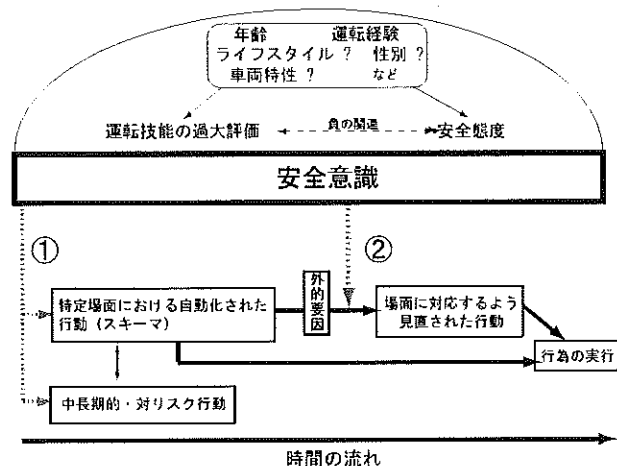


Fig. 3 安全意識ベース運転行動スキーマモデル(一部改)

## 5 今後の課題

本研究では、ドライバー個人がもつ攻撃性だけでなく、新たに「外的要因の変化を、安全の観点からどのように捉えて行動を変容させるかという感受性」も扱った。この「感受性」を表す指標としては、先述のように、差よりも比のほうが適当であると考えられる。

しかし比を用いても、外的要因変化前の安全水準に依存するため、意図した側面を測りきれていない可能性もある。比を用いた場合、65km/h条件での車間が6秒だったドライバーが40km/h条件で3秒になることと、4秒だったドライバーが2秒になることは、同一の行動変容となる。しかし速度比が同じ2になっても、前者のほうが感受性は高いと考えられるため、行動変容を表す係数の定義については更なる議論が必要である。

## 謝辞

本研究で使用した、過大評価度測定質問紙の開発に際して、大阪交通科学研究会より研究助成を受けました。ここに記して感謝の意を表します。

## 引用文献

- 1) Bureau of Transportation Statistics, 2000. Omnibus Household Transportation Results, August 2000. U.S. Dept. of Transport., Office of Statistical Programs, Washington, D.C.
- 2) Bureau of Transportation Statistics, 2005. *Journal of Transportation and Statistics*, U.S. Vol. 8, No. 3 U.S. Dept. of Transport.
- 3) Shinar, D. & Compton, R., 2004. Aggressive driving: an observational study of driver, vehicle, and situational variables. *Accid. Anal. Prev.* 36, 429-437.
- 4) Jonah, B. A., 1997. Sensation seeking and risky driving: a review and a synthesis of the literature. *Accid. Anal. Prev.* 29, 651-665.
- 5) Dejoy, D. M., 1992. An examination of gender differences in traffic accident risk perception. *Accid. Anal. Prev.* 24, 237-246.
- 6) Groeger, J. A. & Brown, I.D., 1989. Assessing one's own and others' driving ability: influence of sex, age, and experience. *Accid. Anal. Prev.* 21, 155-168.
- 7) Ellison, P. A., Govern, J. M., Petri, H. L., & Fingler, M. H., 1995. Anonymity and aggressive driving behavior: a field study. *J. Social Behav. Personal.* 10, 265-272.
- 8) Lajunen, T., Parker, D., & Summala, H., 1999. Does traffic congestion increase driver aggression? *Transport. Res. Part F* 2, 225-236.
- 9) Underwood, G., Chapman, P., Wright, S., & Crundall, D. 1999. Anger while driving. *Transport. Res. Part F* 2, 55-68.
- 10) Parker, D., Lajunen, T., & Summala, H., 2002. Anger and aggression among drivers in three European countries. *Accid. Anal. Prev.* 34, 229-236.
- 11) 中井宏・臼井伸之介, 2006. 運転場面におけるリスクテイキング行動の一貫性検証. *応用心理学研究*, 32, 1-10.
- 12) 中井宏・臼井伸之介, 2007. 運転技能の過大評価傾向とドライバー特性の関連. *日本交通心理学会第 72 回大会発表論文集*, 15-18.
- 13) 大塚博保・鶴谷和子・藤田吾郎・市川和子, 1992. 安全運転態度検査 SAS592 の開発. *科警研報告交通編*, 33, 45-51.

## ドライバーの覚醒状態評価再考

### Reconsideration on the assessment of driver's arousal states

○大須賀美恵子\*, 鎌倉快之\*, 井上裕美子\*,

野口祥宏\*\*, Roongroj Nopsuwanchai\*\*

\*大阪工大, \*\*旭化成(株)

OHSUGA Mieko\*, KAMAKURA Yoshiyuki\*, INOUE Yumiko\*,

NOGUCHI Yoshihiro\*\*, NOPSUWANCHAI Roongroj\*\*

\*Osaka Institute of Technology, \*\*Asahi Kasei Corp.

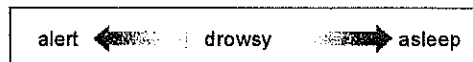
#### 1 はじめに

ドライバーの覚醒状態評価は古くからの課題であり、様々な取り組みがあるが、本格的な実用化には至っていない。しかし、ここ数年、ITS や ASV の進歩により、様々な形でドライバー支援が現実のものとなり、(半)自動運転など過小負荷によるドライバーの覚醒低下の問題が再燃し、またドライバーの状態に合わせた支援という観点からも、ドライバーの覚醒状態を的確に捉えたいというニーズが高まっている。一方では、車載 CCD カメラや高能力のマイクロプロセッサなどセンサー面の進歩もめざましく、顔画像のリアルタイム解析を含む機器を市販車に搭載することも現実的な目標となってきた。そこで、顔画像を用いたドライバーの覚醒状態評価を目標にして、眼電図で検出した瞬目分類に取り組んでいる<sup>1)</sup>。その中で、覚醒状態の捉え方や評価の仕方を再考し、瞬目と覚醒状態の関係を検討したので報告する。

#### 2 覚醒状態の捉え方

ドライバーの覚醒状態変化は、高覚醒から居眠り状態まで一次元的なものではなく、眠気に対抗した生体の覚醒努力がなされることに特徴がある。ドライバーの覚醒努力は、ドライバーの行動だけでなく、各種生理指標に影響を与えられられる。また、ドライバー自身が覚醒低下を自覚して覚醒努力をしているのかどうかを知ることはドライバー支援の方策を決めるためにも重要である。そこで、ドライバーの覚醒状態を覚醒水準と覚醒努力という 2 次元のモデルで捉えることとした (Fig. 1)。

#### a) Conventional drowsiness transition model



#### b) Two dimensional model

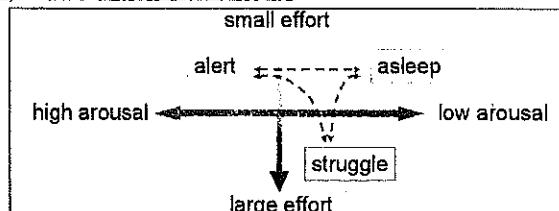


Fig.1 Models on driver's arousal states

#### 3 瞬目カテゴリーと覚醒状態

##### 3.1 データ収集

様々な覚醒状態のデータ収集を目的として、ドライビングゲームを用いた単純な模擬運転と単純反応課題を課す実験を行った<sup>2)</sup>。被験者はインフォームドコンセントを得た 20~60 歳代の健常成人 59 名 (男性 28 名, 女性 31 名) であった。模擬運転は 50 分間とし、垂直・水平眼電図 (v-EOG, h-EOG)、後頭部脳波 (EEG)、胸部心電図 (ECG)、指尖の皮膚コンダクタンス (SC)、呼吸曲線 (resp) などを計測し、被験者の正面とバックミラー位置からの顔映像を記録した。

##### 3.2 瞬目波形分類

v-EOG の瞬目波形から得られるパラメータより、独立性などを考慮して 3 つの特徴パラメータを抽出した<sup>1)</sup> (Fig. 2)。T1 は瞬目開始から v-EOG のピーク

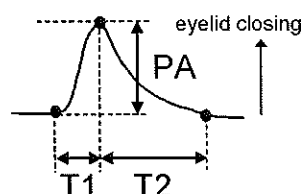


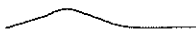
Fig2. Extracted parameters from v-EOG waveform



までの時間, T2 はピークから瞬目終了までの時間, PA は v-EOG のピーク高である。

この 3 つの特徴パラメータを基に K-means 法によるクラスタ分析を行い, 12 クラスに分類し, 誤検出を多く含むクラスを除去した後に, 8 クラスに再分類した。瞬目波形の重畳グラフと発生頻度の時間推移のグラフの観察より, 瞬目クラスは, 5 つのカテゴリーに分けられることがわかった (Table 1)。表の右欄に発生頻度の時間推移の典型的な例を示す。

Table 1 Blink categories

| blink categories |                                                                                   |                                     | typical temporal changes                                                          |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| A                |  | standard                            |  |
| B                |  | large PA and/or long (T1 and/or T2) |  |
| C                |  | small PA                            |  |
| D                |  | not large PA & long (T1 and/or T2)  |  |
| E                |  | small PA & short (T1 & T2)          |  |

### 3.3 瞬目カテゴリーの判定

各瞬目クラスに属する瞬目の 3 つの特徴パラメータのメディアン値を用いて, カテゴリー判定を行った。はじめに, 波形 (T1, T2 が小さく PA が大きい) と発生頻度の時間分布 (模擬運転開始時や後半で覚醒したときに多く見られる) を勘案して, 基準とする瞬目クラスを視察により決定した。基準クラスの特徴パラメータの中央値を基準とし, 各クラスの特徴パラメータの中央値とこの基準を比較して, T1, T2 は 20% 以上, PA は 10% 以上の変化があるものを有意な変化とし, 3 つのパラメータの大, 中 (基準と同等), 小を判定した。これらの組み合わせを基に, Table 1 の定義に準じてカテゴリー判定を行った。このようにして判定した結果と, 視察による判定結果を比較した。

対象としたのは, シミュレータ酔いのような症状を示し実験の途中で取りやめた 7 名と, 瞬目波形の変化が小さすぎるか, 基準となる瞬目の決定ができなかった被験者 5 名を除いた 47 名である。カテゴリーが未定義のパラメータ変化の組み合わせが生じたのは 352 クラス (8 クラス × 47 名分) の中で 9 クラスであり, カテゴリー定義の妥当性が示された。カテゴリーの自動判定と視察判定の結果が一致したのは 18 名, 8 クラス中,

未定義か不一致が 1 クラスでその他は一致したのが 25 名, 2 クラス以上の未定義か不一致が生じたのが 5 名となり, 判定ロジックが概ね良好に働くことがわかった。判定不一致が多かったのは, B と D, C と D, C と E であった。

### 3.4 瞬目カテゴリーと覚醒状態の関係

他の生理指標の変化や表情・行動から推定される覚醒状態と瞬目カテゴリーの関係を視察により検討し, Table 2 のような仮説をたてた。今後, 定量的な解析による検証を行う予定である。

Table 2 A hypothesis on the relationship among arousal states, blink categories and other measures

| states indices            | alert                | low arousal without effort          | battle against drowsiness                                |
|---------------------------|----------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| dominant blink categories | A                    | C, D                                | B, D, (E)                                                |
| blink rate                | neutral              | decrease                            | increase                                                 |
| EEG                       | $\beta$              | increase in $\alpha, \theta$        | increase in $\beta$                                      |
| SC                        | High SCL             | low SCL without SCR                 | elevation in SCL frequent SCR                            |
| resp                      | neutral              | slow & large                        | irregular                                                |
| HR                        | neutral              | (decrease)                          | (increase)                                               |
| HRV                       | neutral              | large HF                            | increase in MF                                           |
| steering                  | neutral              | rare                                | frequent                                                 |
| performance               | small RT no omission | frequent large RT frequent omission | frequent large RT Large variance in RT frequent omission |

## 4 おわりに

本報告で提案した手法は, 瞬目分類, 特徴パラメータの基準値ともに取得したデータに依存している。今後, これを個人や電極装着位置によらず決定できる方法を検討する必要がある。なお, 車載カメラで撮影した顔映像から得た特徴パラメータを入力とする HMM (Hidden Markov Model) に v-EOG 波形による瞬目クラス分類を学習させる試みを並行して行っており, ある程度成功している<sup>3)</sup>。瞬目クラスではなくここで報告したカテゴリーの学習に変更することで, 判別成績の向上が期待される。

## 参考文献

- 鎌倉他：ドライバの覚醒水準評価をめざした瞬目の分類について, 自動車技術会論文集, vol.38,(4), pp.173-178 (2007)。
- 大須賀他：ドライバの覚醒状態評価—瞬目分類と各種生理指標を用いて, 自動車技術会学術講演前刷集, No.5-07, pp.1-4 (2007)。
- 野口他：映像によるまばたき分類識別からのドライバー覚醒状態評価検討, 平成 19 年電気学会産業応用部門大会抄録集 vol.2, pp. II143-II146 (2007)

## $\alpha$ 波成分の周波数推移による覚醒度評価の検討

### Evaluation of Arousal Level by Frequency Changes of Alpha Wave

○稲本辰巳, 金倉智行, 萩原啓

立命館大学 情報理工学部 知能情報学科

INAMOTO Tatsumi, KANAKURA Tomoyuki, HAGIWARA Hiroshi

College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

#### 1 はじめに

現代社会は高度情報化社会を迎えている。先進国の一例として日本に目を向けると 2004 年末時点でのインターネット利用者数は約 8000 万人となり、人口普及率は 60%を超えている<sup>1)</sup>。そのようなインターネットの利用拡大に代表される急速な情報化により、昼夜なく情報が世界中を飛び交いマーケットも時間、国境を超えてグローバル化を加速させている。その流れは現代人の生活リズムの乱れを引き起こし、個人の快適な生活が危ぶまれている。

一方で、現代社会は物質的に豊かになったため、人々は新たな価値基準として精神的な快適性を求める傾向にある。その中、高度高齢化社会を迎え、今後この志向はより一層強まっていくと思われる。そのような事象を背景に現在、我々の快適な生活を支援する多種多様な機器・手段が各種研究機関、メーカーにより考案・開発されている。

それゆえ、快適な生活を支援する手段の研究・開発段階において、個人の快適さと密接な関係にある覚醒度を計測・評価することが必要となってくる。

そこで、手軽にかつ容易に人間の覚醒度を測定できる手法・評価指標を作成することは、このような研究を進めるにあたり極めて有益であると考えられる。

現在、覚醒度の定量評価方法の一つとして、 $\alpha$  波減衰テスト、すなわち AAT (Alpha Attenuation Test) を利用した覚醒度の定量化手法がある<sup>2)</sup>。

AAT は閉眼安静時の  $\alpha$  波出現量と開眼による  $\alpha$  波の減衰が個人の覚醒度に対応して変動する特性を利用するものである。具体的には、覚醒度が高い場合、閉眼時と開眼時との  $\alpha$  波の出現量の変化が大きいという一般的な  $\alpha$  波の出現の特徴を利用する。

本研究では、現行の測定方法と新たに考案した測定方法の比較検討を行うことで、より容易な覚醒度の定量化の方法を考案することを目的としている。

#### 2 計測方法

被験者の頭部に電極を装着し、C3、C4、O1、O2、A1、A2 (国際式 10-20 法) より導かれる脳波を、多用途脳波計 (「EEG-1100」日本光電) により計測する (図 1)。

心電図の計測には、左右の鎖骨 2 箇所と左の肋骨の下から 2 番目にあたる箇所に電極を装着する。

なお、ノイズ軽減のため皮膚と電極との抵抗は  $10k\Omega$  以下になるようにし、実験を行う。

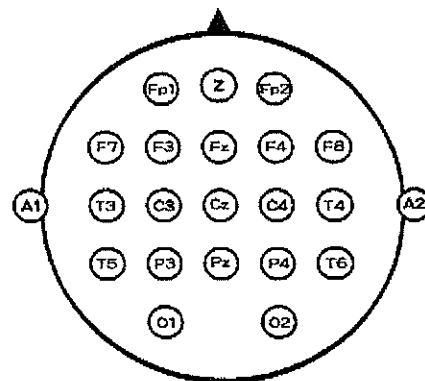


図 1 電極装着位置

#### 3 実験方法

##### 3.1 実験準備

本実験では健康な成人 4 名 (男 4 名、女 0 名) を被験者として測定を行った。計測に先立って被験者にはインフォームドコンセントを得ている。

はじめに脳波・心電図計測用電極を被験者に装着する。その後、椅子に座り安静を保つ。

##### 3.2 実験プロトコル

まず、被験者を着座姿勢にて実験装置を装着する。次に、前レストとして閉眼 30 秒・開眼 30 秒を 1 組として 3 回、閉開眼を繰り返す。その後、主観評価 RAS シート記入を 1 分間で行う。次に上記と同内

容の AAT を 13 回行う。その後、再度主観評価 RAS シートを記入する。最後に後レストとして閉開眼 3 回行い、計測を終了する。

なお、継続した閉開眼による覚醒度の推移を計測するために従来からの AAC の推移を 10 試行分以上もとめるために閉開眼を 13 回行った。

RAS は、実験の開始時と終了前に主観評価の計測として疲労・覚醒主観評価指標 RAS (Roken Arousal Scale) を実施する。RAS とは精神的作業負担の主観評価法のひとつである。眠気に限定した主観評定尺度 KSS (Kwansei Gakuin Sleepiness Scale) を因子分析にかけ、「眠気」「全般的活性」、「リラックス」、「緊張」、「注意集中困難」、「意欲減退」の 6 つの因子を採用し、短時間で評定できるよう各因子 2 項目、計 12 項目の評価語からなっている。評価方法は、各因子に属する 2 項目の平均評定値によって評価する。

#### 4 解析方法

健常成人の安静・閉眼・覚醒時の脳波には  $\alpha$  波 (8 ~ 13Hz) が後頭部優位に出現するため、解析には O1-A2 (国際式 10-20 法) の脳波を用いる。

AAT を行い、計測した脳波を高速フーリエ変換により、 $\alpha$  波成分のパワースペクトルを算出する。その後、閉開眼毎の  $\alpha$  波成分 (8~13Hz) のパワースペクトルの平均を求め、閉眼時の平均パワーと開眼時の平均パワーの比を覚醒度の指標値、 $\alpha$  波減衰係数 (AAC: Alpha Attenuation Coefficient) と定義する。

$$\alpha \text{ 波減衰係数 (AAC)} = \frac{\text{閉眼時平均パワー}}{\text{開眼時平均パワー}}$$

覚醒度が高い場合、閉眼時の  $\alpha$  波の出現量が多く、また開眼時の  $\alpha$  波の減衰が大きくなり、AAC の値がおおきくなる。一方、覚醒度が低い場合、閉眼時の  $\alpha$  波の出現量が少なく、開眼時の  $\alpha$  波の減衰が小さくなり、AAC の値が小さくなる。

現行では、閉眼を 30 秒、開眼を 30 秒として脳波を計測する。かかる閉開眼を各 3 回行い、上記式より AAC を算出する (AAC3to1)。

本研究においては従来からの AAC (AAC3to1) を求めるとともに、閉開眼 1 回ごとの閉眼時平均パワーと開眼時平均パワーの比を各閉開眼ごとに算出す

る (AAC1to1)。

なお、閉眼から開眼へ、又は開眼から閉眼へ移行する前後 2 秒間における脳波には乱れが生ずるため、 $\alpha$  波のパワースペクトル解析には用いない。すなわち、閉開眼が各 30 秒の際には、26 秒間が閉開眼 1 回あたりの解析時間となる。

各閉眼時、開眼時における  $\alpha$  波中心周波数を求める。 $\alpha$  波中心周波数は、 $\alpha$  波のパワースペクトルを加重平均したものであり、加重平均により一定時間内に出現する  $\alpha$  波成分を統合して示すことができる。

加重平均は以下の式で表される。

$$\text{加重平均} = \frac{W_i X_i + \dots + W_n X_n}{W_i + \dots + W_n}$$

具体的には、データ  $X_i$  を周波数 (Hz)、重み  $W_i$  を各周波数のパワースペクトルとして用いる。

上記の解析方法より求められた AAC の値と  $\alpha$  波中心周波数の変化の相関を以下で、検討する。

#### 5 結果

##### 5.1 RAS 結果

主観評価アンケート (RAS) の各被験者のデータを加算平均し正規化した後、比較した。実験前と比べ、「眠気」「意欲減退」の項目が増加し、「全般的活性」「リラックス」「緊張」「注意集中困難」「意欲減退」の項目が減少した。これは、実験タスクが被験者の眠気を誘発し、緊張や疲労を引き起こしていることを示している。

##### 5.2 AAT 解析結果

各閉開眼における  $\alpha$  波パワースペクトルの推移を表したものが図 2 である。

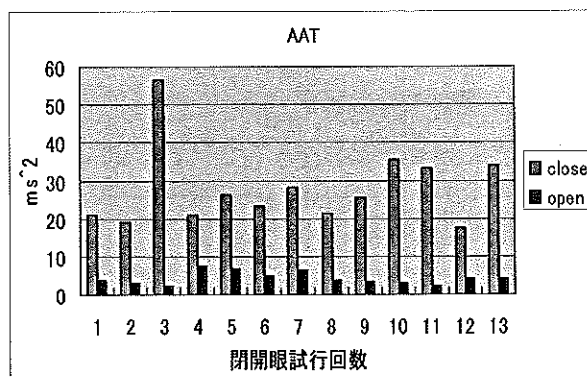


図 2 閉開眼試行時の  $\alpha$  波パワースペクトルの推移

図 2 におけるパワースペクトルから求められる従来の AAC 推移を 11 試行分示したものが図 3 である。具体的な AAC の算出方法は、閉開眼各 3 回分のパワースペクトルを加算平均する。これによれば、AAT 試行回数 1~4 回まで AAC の値が減少している傾向が見て取れる。さらに、AAT 試行回数 5~9 回まで AAC が増加している傾向が見て取れる。その後 AAC の値が再度減少している傾向が見て取れる。

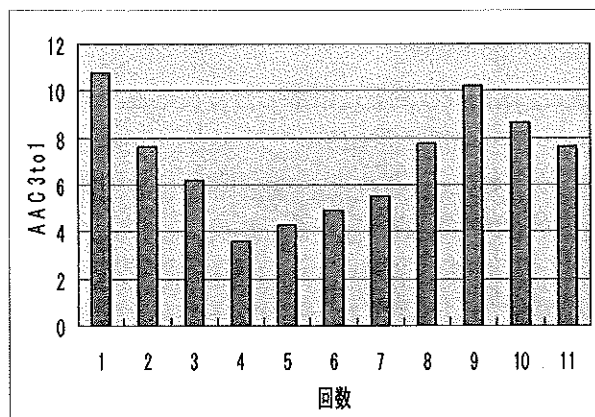


図 3 AAC 3to1

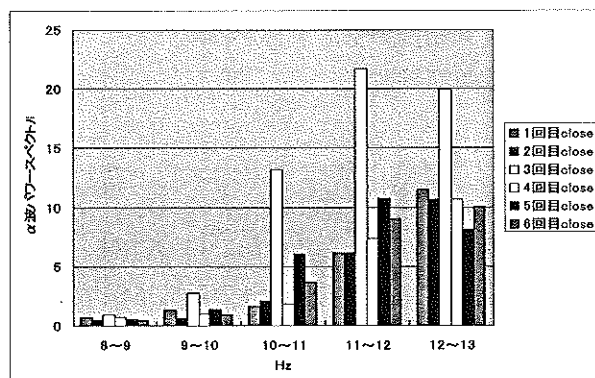


図 4 α波パワースペクトルの推移

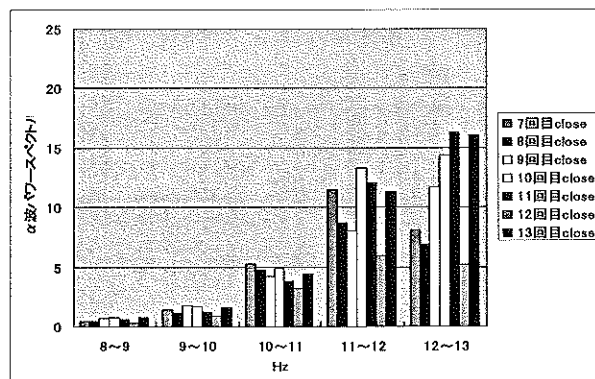


図 5 α波パワースペクトルの推移

被験者に閉開眼を 13 回試行し、脳波を計測した各閉眼における α 波パワースペクトルを 8~13Hz の間で 1Hz ごとに算出したグラフが図 4 及び図 5 である。

図より、11~12Hz の α 波パワースペクトルの値が他の周波数領域に比べ、最も大きい値となっている場合がある。また、12~13Hz の α 波パワースペクトルの値が他の周波数領域に比べ最も大きい値となっている場合もある。具体的には、他の周波数と比較して、12~13Hz における α 波パワースペクトルが最も大きくなっているのは閉開眼試行回数が 1、2、4、6、9、10、11、13 回目である。また、他の周波数と比較して、11~12Hz における α 波パワースペクトルが最も高い値を示すのは、閉開眼試行回数が 3、5、7、8、12 回目である。

閉開眼を 1 回行った AAC1to1 を各閉開眼ごとに算出したグラフが図 6 である。

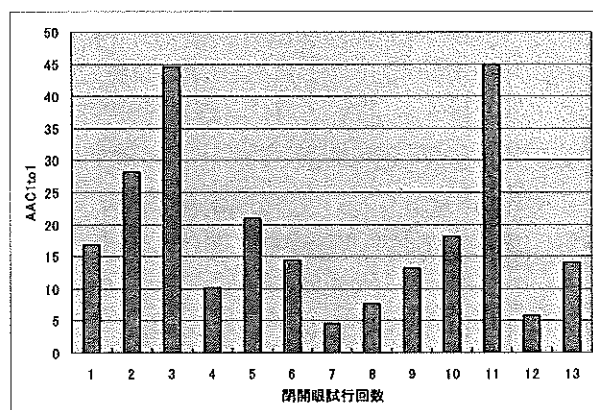


図 6 AAC 1to1

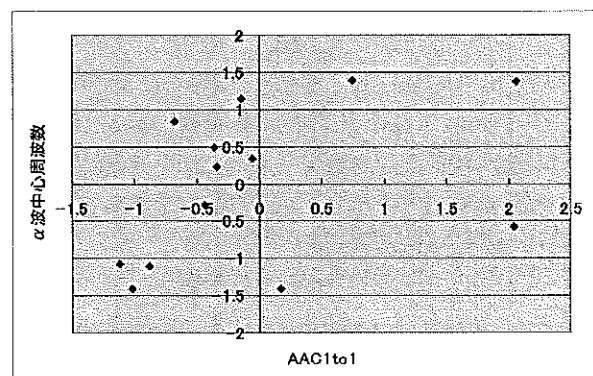


図 7 AAC 1to1 と α 波中心周波数

閉開眼を繰り返し行うことにより AAC1to1 の値が下がり、覚醒度が下がっているのが示されている。また、一旦 AAC の値が上昇したあと、減少し、再度

上昇、減少を繰り返し、覚醒度が随時変化している様子が示されている。

図6のデータで示すAAC1tolを横軸に、各閉眼における $\alpha$ 波中心周波数を縦軸にとり、それぞれの値を正規化し、プロットしたものが図7である。

## 6 考察

図3より、1~4回までAACが減少していることから覚醒度が下がる傾向が見て取れる。その後、5~9回までAACが増加していることから覚醒度が上昇し、その後再度AACが減少し、覚醒度が下がることが見て取れる。

したがって、AATを何度も繰り返すことで覚醒度が下がるだけではなく、一定の試行回数を重ねると上昇することがわかった。

また、図4~6から覚醒度が上がると $\alpha$ 波周波数帯域(8~13Hz)において高周波数成分のパワースペクトルの値が大きくなる傾向にある。

$\alpha$ 波パワースペクトルの成分とAAC1tolとを図4~5より比較する。図6において閉開眼試行回数2回目、3回目、11回目においてAAC1tolの値がAAT13回中大きな値を示している。閉開眼試行回数2回目、3回目、11回目において閉眼時における $\alpha$ 波周波数成分を見てみると、大きな値は12~13Hzの領域に2つ、10~11Hzの領域において1つある。

一方で、閉開眼試行回数7回目、8回目、12回目においてAAC1tolの値が、閉開眼13回中小さな値を示している。閉開眼試行回数7回目、8回目、12回目において閉眼時における $\alpha$ 波周波数成分を見てみると、大きな値は11~12Hzの領域に3つある。

以上の結果から、AAC1tolの値が大きい値を示すと、より高周波数成分を有する $\alpha$ 波が多く現れること傾向がわかる。一方で、AAC1tolの値が小さな値を示すと、より低周波数成分を有する $\alpha$ 波が多く現れる傾向がわかる。

AAC1tolと $\alpha$ 波中心周波数の関係を図7から考察するに、特異的に大きな値が見られる3回目の閉眼時のパワースペクトルを含めた相関係数は0.4であったが、3回目の閉眼時のパワースペクトルを除いた相関係数を算出したところ、相関係数は0.621であり、5%水準の有意性が見られ、AAC1tolと $\alpha$ 波中心周波数に正の相関が認められる。

したがって、AACの値が小さい場合に $\alpha$ 波中心周

波数が減少することが推認される。すなわち、AACの値が減少すれば、覚醒度が下がることを意味するところ、 $\alpha$ 波中心周波数も減少する相関が見られる。本研究の結果は、 $\alpha$ 波中心周波数を計測することによって覚醒度を評価できる可能性があることを示している。

## 7 おわりに

今後の検討課題として被験者の数を増やして統計的な相関を明確にすることが必要である。

また、本研究において計測した $\alpha$ 波周波数成分をFFTの刻み幅が非常に粗いため結果は正確性に乏しいといえる。そのため、 $\alpha$ 波周波数成分の解析度を上げて解析を行う必要がある。

さらに、本研究において $\alpha$ 波中心周波数はデータを周波数(Hz)、重みを各周波数のパワースペクトルとして用いる加重平均を用いて現した。しかし、この評価方法が最適な方法とはいえない。したがって、たとえばゼロクロス法による $\alpha$ 波平均周波数により計測を行い、本研究で定義する $\alpha$ 波中心周波数を用いた計測データと比較検討し、どの方法が覚醒度変化とより相関があるか否かの検討をすることが今後の課題である。

## 参考文献

- 1) 総務省：情報通信統計データベース
- 2) 萩原啓，荒木和典，道盛章弘，斎藤正己：覚醒度の定量的評価方法とその応用に関する研究；精神神経学 vol. 99No1, pp. 23-34(1997)
- 3) トランスナショナルカレッジ・オブ・レックス：フーリエの冒険，言語交流研究所ヒッポファミリークラブ(2005)
- 4) 市原清志：バイオサイエンスの統計学，南江堂(1990)

## 種々のセンシング手段による睡眠時体動の特徴の明確化

### Clarification of Feature of Body Movement while Sleeping by Various Kinds of Sensing Techniques

○城和男\*, 緒方康博\*, 小西謙作\*, 若林春樹\*\*, 萩原啓\*

\*立命館大学情報理工学部 \*\*立命館大学理工学研究科

JO Kazuo\*, OGATA Yasuhiro\*, KONISHI Kensaku\*,  
WAKABAYASHI Haruki\*\*, HAGIWARA Hiroshi\*

\* College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

\*\*Graduate School of Science Engineering, Ritsumeikan University

#### 1 はじめに

現代の日本では、社会の 24 時間化に伴う夜勤・交代勤務の増加によって世の中全体が忙しく活動おり、睡眠が犠牲になる傾向がある。そして、睡眠不足が原因となり、疲れが蓄積され、居眠りによる事故を起こしたり健康の不調や知的活動の妨げになっている。NHK 放送文化研究所が 5 年ごとに実施している国民生活時間調査の「2005 年国民生活時間調査報告書」によれば、1995 年の有職者の平均睡眠時間は 7 時間 15 分であったが 2005 年には 7 時間 5 分と減少している。1970 年以降一貫して減少傾向にあるため 5 年後の 2010 年の調査でも睡眠時間は減少傾向になるものと思われる。

このような状況の中、睡眠の重要性が見直されており様々な研究が行われている。睡眠研究の際、生理指標として脳波の計測が必要であるが、多数の電極を装着しなければならず、被験者に負担がかかる。また、体動によって電極が外れてしまい計測不能になってしまうという問題点もある。

そこで本研究では睡眠時の体動を主な生理指標として、センシング手法の違いによる睡眠時体動の特徴を明らかにし、新しい睡眠深度の評価手法を検討した。

睡眠時の体動は、自然睡眠において、寝返りなどの体動は従来考えられていたよりも多く出現することが判明している。睡眠中に出現する体動は、Rechtschaffen & Kales の睡眠段階国際判定基準における運動時間、運動覚醒や中途覚醒の判定の重要な指標であり、また睡眠と覚醒を粗大な体動の出現の有無で判別することも試みられている<sup>1)</sup>。

著者らの先行研究<sup>3)</sup>において睡眠時の体動が脳波から判定される体動と加速度センサを用いて計測される体動の 2 種類の体動で検討された。この 2 種類のセンシング手段によって得られる体動を比較する

ことによりそれぞれの体動の特徴が詳細に検討された。その結果、睡眠深度が深くなっていく過程では脳波から判定される体動(脳波 BM)は発生していないことが確認されたが、手首に装着された加速度センサの出力から判定される体動(手首加速度 BM)では睡眠深度が深くなっていく初期の課程では体動が認められた。

また、REM 期での脳波 BM と手首加速度 BM を比較すると手首加速度 BM が多く発生する事がわかった。REM 期では手首に代表される四肢が脳波に影響を与えない程度のレベルで動いていると考えられる。

さらに、睡眠深度が深いところから浅いところに変化するところでは脳波 BM 及び手首加速度 BM が共に認められ、体動と睡眠深度が深い所から浅い所へと変化させる引き金となっていることがわかった。

引き続き、著者らの先行研究<sup>4)</sup>において睡眠時の体動が脳波から判定される体動と加速度センサを用いて計測される体動、さらに赤外線センサから得られる体動(NapVIEWBM)の 3 種類の体動で検討された。この際加速度センサは従来非利き腕の手首に装着するものであるが、体全体の動きを調べるため両手首、両足首、体幹部に装着された。

その結果、脳波 BM、身体 5 箇所の加速度 BM、NapVIEWBM の 3 種類とも睡眠深度が深くなっていく過程ではほとんど検出されていないことが確認された。さらに、睡眠深度が深いところから浅いところに変化するところでは 3 種類共に体動が認められた。

また、REM 期において脳波 BM と NapVIEWBM は加速度 BM と比較して体動発生の検出頻度が共に少ないことがわかった。NapVIEWBM と非手首加速度 BM の比較においては脳波 BM と非手首加速度 BM と同じ違いが得られた。

睡眠中の全時間帯においても脳波 BM と NapVIEWBM がほぼ同じ状況であるとわかった。



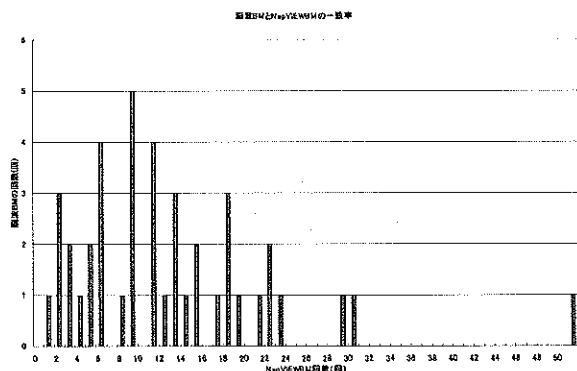


図1 脳波 BM と NapVIEWBM の体動有り回数

表2 脳波 BM と NapVIEWBM の一致率

| パターン | 脳波 BM | NapVIEWBM | 合計時間              |
|------|-------|-----------|-------------------|
| A    | 体動無   | 体動無       | 347               |
| B    | 体動有   | 体動無       | 0                 |
| C    | 体動無   | 体動有       | 31                |
| D    | 体動有   | 体動有       | 42                |
|      |       |           | $(A+D)/420=0.926$ |

### 3.2 非手首加速度 BM と体幹部加速度 BM の一致率

被験者 Y.M の非手首加速度 BM と体幹部加速度 BM を表2と同じように4種類のパターンに分けて1エポック1分で詳細に解析した。その結果、非手首加速度 BM がより多くの体動を検出されるが一致率は0.717であった(表3)。

表3 非手首加速度 BM と体幹部加速度 BM の一致率

| パターン | 非手首加速度 BM | 体幹部加速度 BM | 合計時間              |
|------|-----------|-----------|-------------------|
| E    | 体動無       | 体動無       | 190               |
| F    | 体動有       | 体動無       | 83                |
| G    | 体動無       | 体動有       | 36                |
| H    | 体動有       | 体動有       | 111               |
|      |           |           | $(E+H)/420=0.717$ |

被験者 Y.M の非手首加速度 BM の回数を X 軸に体幹部加速度 BM の回数を Y 軸として散布図に表した(図2)。多くの体動は一部分が動くのではなく身体全体の動きであり非手首加速度 BM も体幹部加速度 BM も同時に発生するが時には非手首加速度 BM だけ、または体幹部加速度 BM だけが発生している場合もあった。そこで片方の体動だけが発生している時間帯を睡眠深度別に分けて解析した。

非手首加速度 BM だけが発生している時間帯と体幹部加速度 BM だけが発生している時間帯との睡眠深度を比較した結果、睡眠深度4を除く深度で非手

首加速度 BM だけが発生している時間帯が多い(表4)。

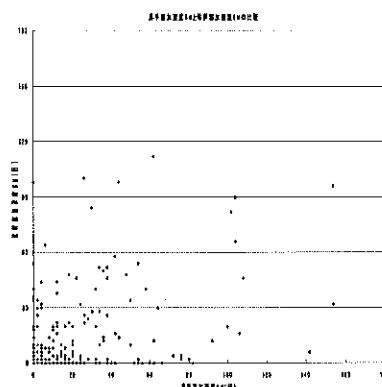


図2 非手首加速度 BM と体幹部加速度 BM の散布図

表4 睡眠深度別非手首加速度 BM と体幹部加速度 BM の比較

| 睡眠深度                      | 0 | 1  | 2  | 3 | 4 | REM | 合計 |
|---------------------------|---|----|----|---|---|-----|----|
| パターンFの時の非手首加速度 BM の発生した時間 | 9 | 35 | 19 | 4 | 1 | 15  | 83 |
| パターンGの時の体幹部加速度 BM の発生した時間 | 1 | 22 | 8  | 1 | 1 | 3   | 36 |

### 3.3 NapVIEWBM と体幹部加速度 BM の比較

被験者 Y.M の NapVIEWBM と体幹部加速度 BM を表2と同じように4種類のパターンに分けて1エポック1分で詳細に解析した。パターン J, K を比べてみるとパターン K、つまり体幹部加速度 BM だけが発生している時間が多くみられた。一致率は0.740とであった(表5)。

表5 NapVIEWBM と体幹部加速度 BM の一致率

| パターン | NapVIEW BM | 体幹部加速度 BM | 合計時間              |
|------|------------|-----------|-------------------|
| I    | 体動無        | 体動無       | 258               |
| J    | 体動有        | 体動無       | 20                |
| K    | 体動無        | 体動有       | 89                |
| L    | 体動有        | 体動有       | 53                |
|      |            |           | $(I+L)/420=0.740$ |

被験者 Y.M の X 軸を NapVIEWBM の回数、Y 軸を体幹部加速度 BM の回数として散布図に表した。(図3)。散布図として NapVIEWBM の回数と体幹部加速度 BM の回数を見てみると、打点が図の左よりになっており同じ時間帯でも NapVIEWBM がより多く回数が発生していることがわかる。また、NapVIEWBM だけが発生



している場合があった。そこで片方の体動だけが発生している時間帯を睡眠深度別に分けて解析した。

NapVIEWBM だけが発生している時間帯と体幹部加速度 BM だけが発生している時間帯の睡眠深度を比較した結果、睡眠深度全体を通して体幹部加速度 BM がより多くの体動を検出していることがわかる。また、REM 期では体幹部加速度 BM が多くの割合を占める結果となった (表 6)。

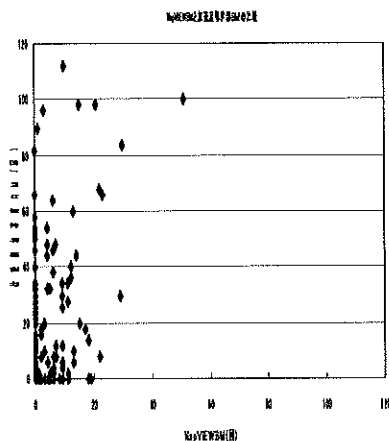


図 3 NapVIEWBM と体幹部加速度 BM の散布図

表 6 睡眠深度別 NapVIEWBM と体幹部加速度 BM の比較

| 睡眠深度                         | 0 | 1  | 2  | 3 | 4 | REM | 合計 |
|------------------------------|---|----|----|---|---|-----|----|
| パターン J の時の NapVIEWBM の発生した時間 | 0 | 12 | 5  | 1 | 0 | 2   | 20 |
| パターン K の時の体幹部加速度 BM の発生した時間  | 0 | 28 | 17 | 5 | 4 | 35  | 89 |

#### 4 考察

脳波 BM と NapVIEWBM を比較した結果、睡眠時間 420 分において約 93% と非常に高い一致率であった。この結果から非接触で計測可能な NapVIEWBM を用いて脳波 BM に対応する体動を計測できる可能性が得られた。またこの結果から非接触で睡眠深度が浅い深いかの判別、または睡眠深度自体がわかる可能性も得られた。

非手首加速度 BM と体幹部加速度 BM の一致率は睡眠時間 420 分において約 72% の一致率であった。先行研究<sup>3, 4)</sup>と同様に睡眠深度が深くなっていく過程でほとんど体動は認められず両者の睡眠深度による明確な差はなく、体動検出頻度の多い体幹部加速度 BM が頭部を除く代表的な検出部位ではないかと考えられる。

NapVIEWBM と体幹部加速度 BM の一致率は睡眠時間 420 分において約 74% の一致率であった。体幹部加速度 BM だけが発生した時間帯が 89 分と多く見られた。また、この 89 分を睡眠深度別に分類した結果、先行研究<sup>4)</sup>と同様に REM 期に多く見られたことから REM 期には頭部の体動の発生が少ないものと考えられる。

#### 5 おわりに

本研究において NapVIEWBM と体幹部 BM を睡眠深度別に比較してみると誤差のほとんどが REM 期であったことからこの 2 種類のセンシング手段を用いることで睡眠時の REM 期の判定も可能であると考えられる。この結果から今後体幹部の計測方法として被験者に非接触な感圧シートを用いることにより被験者を無拘束で睡眠深度の計測を実施していく予定である。さらに現在の体動と睡眠深度との関係把握は睡眠の経時過程を考慮せずに解析を行ってその対応を求めているが、睡眠深度変化の経時的特徴を考慮して体動と睡眠深度との関係を求めていく予定である。

#### 参考文献

- 1) 日本睡眠学会: 日本睡眠学ハンドブック, pp460-461
- 2) 萩原啓, 荒木和典, 道盛章弘, 斎藤正己: 覚醒度の定量的評価方法とその応用に関する研究, 精神神経学, 99 (1), pp23-34 (1997)
- 3) 若林春樹, 堀 夏葵, 福井貴行, 谷田陽介, 萩原啓: 睡眠時体動のセンシング手法の違いによる特徴抽出, 日本人間工学会関西支部大会講演論文集, Vol. 2005, pp61-64 (2005)
- 4) 若林春樹, 池田典央, 竹内謙志, 谷田陽介, 萩原啓: センシング手法の違いによる睡眠時体動の特徴抽出, 生体・生理工学シンポジウム論文集, Vol. 2006, pp89-92 (2006)

## 脳波を生理指標とする覚醒度変化と重心動揺との関連

### Relationship between Center of Gravity Sway and Arousal Level

○金倉智行\*, 稲本辰巳\*, 萩原啓\*

\*立命館大学 情報理工学部 知能情報学科

KANAKURA Tomoyuki\*, INAMOTO Tatsumi\*, HAGIWARA Hiroshi\*

\* College of Information Science and Engineering, Ritsumeikan University

#### 1 はじめに

21 世紀は「こころの時代」だと言われている。近年の高度情報社会化の到来は、労働時間の変化を引き起こし、人々の生活の乱れやストレスを生み出す大きな要因となっている。

内閣府が平成 18 年に実施した「国民生活に関する世論調査」では、62.9%の人が「物質的にある程度豊かになったので、これからは心の豊かさやゆとりのある生活することに重きをおきたい」と答え、30.4%の人が「まだまだ物質的な面で生活を豊かにすることに重きをおきたい」と答えた。このように、人々は物質的な豊かさよりも精神的なこころの豊かさを求める傾向にあり、この志向は年々強まっている。

こういった背景から、現在人々の快適な生活を支援する機器や手段の開発が必要視されてきている。そのような手段の研究・開発段階にあたり、個人の快適さと密接な関係にある覚醒度を計測・評価することは極めて有益であると考えた。

現在、覚醒度の定量評価方法の 1 つとして、覚醒閉眼時の特徴的な脳波である  $\alpha$  波帯域を利用した「Alpha Attenuation Test (AAT)<sup>1)</sup>」が考案されている。しかし AAT は、詳細なデータを得られる一方、被験者に脳波電極を装着してもらう必要性があり、容易に計測できるとはいえないのが現状である。

本研究では、計測が比較的簡便である重心動揺計を用い、人の姿勢制御能力を利用して覚醒度を定量評価できないかと考えた。人の姿勢制御機能には脳神経系が深く関与している。そのため、覚醒の変動が姿勢維持能力に影響を及ぼす可能性が考えられる。もし、互いに強い相関が認められれば従来の覚醒度テストよりもより簡易的に測定できることが期待で

きる。今回、重心動揺計測と併せて AAT を行い、その関連性を検討した。

#### 2 実験

##### 2.1 概要

開眼時と閉眼時の  $\alpha$  波出現量の変化を利用した覚醒度変化テスト「Alpha Attenuation Test (AAT)」と重心動揺計測を 780sec 併せて行いその関連性を検証した。また、実験の前後に主観評価アンケート (RAS) を実施した。

##### 2.2 被験者

20 歳から 24 歳までの健常な大学生 4 名 (男性 4 名) で十分なインフォームドコンセントを得た後、実験を行った。

##### 2.3 実験手順

被験者の頭部、胸部に多用途脳波計 (「EEG-1100」日本光電) の電極を装着後、それぞれの状態の脳波と心電図を計測する。セッション間には 180sec の休憩を設け、「前 AAT」を 180sec 座位で行った後、休憩の間に重心動揺計に移ってもらい、立位で重心動揺計測と AAT を同時に 780sec 行った。その後、また休憩中に座位の状態に戻ってもらい「後 AAT」を実施した。また、実験の前後に心理評価アンケート (RAS) に答えてもらった。

##### 2.4 「Alpha Attenuation Test (AAT)」について

本研究では、重心動揺計測と同時に覚醒度変化テスト「Alpha Attenuation Test (AAT)」を併せて行う。

AAT とは覚醒閉眼時の特徴的な脳波である  $\alpha$  波 (8 ~ 13Hz) の出現量、及び開眼による  $\alpha$  波の減衰量が覚

醒水準の動揺に応じて大きく変化することを利用して安静状態で閉眼と開眼を交互に反復することにより覚醒度を定量的に評価する方法である。

健康成人の安静・閉眼・覚醒時の脳波には $\alpha$ 波(8~13Hz)が後頭部に出現する為、解析には O1-A2(国際式 10-20 法)の脳波を用いた。本研究では、反復閉開眼の間隔を 30 秒としている。実験タスク前後に行う「前 AAT」、「後 AAT」を座位の状態 で 180sec、重心動揺計に乗りながら行う AAT を立位の状態で 780sec 行った。(図 1)

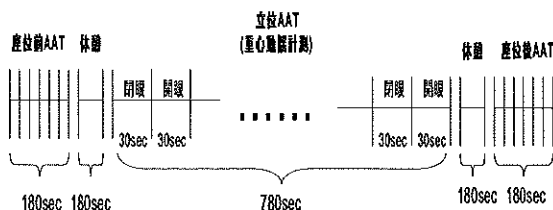


図1 実験タスク

また、閉開眼毎の $\alpha$ 波成分(8~13Hz)のパワースペクトルの平均を求め、閉眼時の平均パワーと開眼時の平均パワーの比を覚醒度の指標値、 $\alpha$ 波減衰係数(AAC: Alpha Attenuation Coefficient)と定義する

$$\alpha \text{ 波減衰係数(AAC)} = \frac{\text{閉眼時平均パワー}}{\text{開眼時平均パワー}}$$

## 2.5 RAS

実験の開始時と終了前に主観評価の計測として疲労・覚醒主観評価指標 RAS(Roken Arousal Scale)を実施する。

RAS とは精神的作業負担の主観評価法のひとつである。眠気限定した主観評定尺度 KSS(Kwansei Gakuin Sleepiness Scale)を因子分析にかけ、「眠気」「全般的活性」、「リラックス」、「緊張」、「注意集中困難」、「意欲減退」の6つの因子を採用し、短時間で評定できるよう各因子2項目、計12項目の評価語からなっている。

## 2.6 実験条件

被験者には前夜に十分な睡眠をとってもらい、前夜以降の暴飲・暴食は控えてもらった。重心動揺計の上には裸足で足をほぼ平行にそろえるような形で乗り、計測中はできるだけ動かないよう被験者に指示した。重心動揺計の上に乗せる両足間の距離は、

先行研究<sup>2)</sup>において、両足間の間隔を8cm以内、両足はできるだけ平行にそろえるようにと指示している。これは、被験者への実験タスク中の負担を配慮した姿勢である為、本研究においてもこれを採用した。開眼時の静止立位姿勢時は、重心動揺計の先から正面水平方向に100cm、高さ150cmに掲示した半径3cmの黒い円を注視するようにしてもらい、実験中の両手は体側に保持するように指示した(図2)。

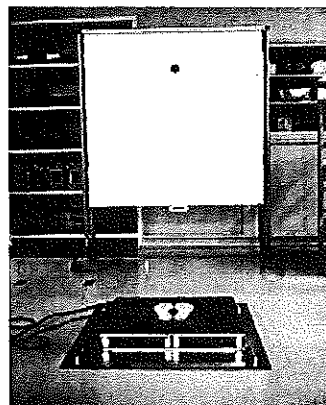


図2 重心動揺計

## 3 解析方法

### 3.1 脳波データ

多用途脳波計(「EEG-1100」日本光電)で脳波を500Hzのサンプリングレートで計測した後、多用途生体情報解析プログラム BIMUTAS II(キッセイ・コムテック)で、ノイズ除去、FFTした後に $\alpha$ 波含有量を求めた。また、解析には閉眼と開眼の切り替わり時における前後2秒をカットした。つまり、本実験では各26秒データを用いて解析を行った。

### 3.2 重心動揺データ

重心動揺計の各センサから100Hzのサンプリングレートで得られた荷重データより合成荷重中心を求めた。その後、重心動揺の一項目である重心動揺実効値面積をAATの開閉眼各30secから前後2秒をカットした26sec毎に求めた。重心動揺実効値面積(RMS AREA) Sの算出式(1)は以下の通りである。

$$RMS\ AREA = \left( \frac{\sum_{n=1}^N (X_i - X_{mean})^2 + (Y_i - Y_{mean})^2}{N} \right)^{\frac{1}{2}} \times \pi \quad (1)$$

n: サンプル個数

X1, Y2: 合成重心の座標値

X<sub>mean</sub>, Y<sub>mean</sub>: 開閉眼各 26sec ごとの合成重心の平均

## 4 実験結果

### 4.1 RAS 結果

まず、主観評価アンケート(RAS)の各被験者のデータを加算平均し正規化した後、比較した。実験前と比べ、「眠気」「意欲減退」の項目が増加し、「全般的活性」「リラックス」「緊張」「注意集中困難」「意欲減衰」の項目が減少した。この事より、実験タスクが被験者の眠気を誘発し、緊張や疲労を引き起こしていることがわかった。

### 4.2 重心動揺結果

4 人の被験者の重心動揺実効値面積を加算平均したものが以下のグラフである(図 3)。閉眼時のほうが開眼時に比べて、比較的高い値を示した。8 回目開眼時(510~540sec 間)は動揺が大きい被験者が 2 名いた為、高い値を示している。1 回目閉眼から 8 回閉眼(0~510sec 間)まではゆるやかな減少を示しており、重心動揺が徐々に減少していることがわかる。特に 1 回目の閉眼時(0~30sec)はほとんどの被験者が比較的大きな動揺を示した。8 回閉眼(0~510sec 間)以降はまた増加傾向にあり、動揺が高くなってきている。このように実験タスク中は重心動揺の上昇下降を繰り返していることがわかる。

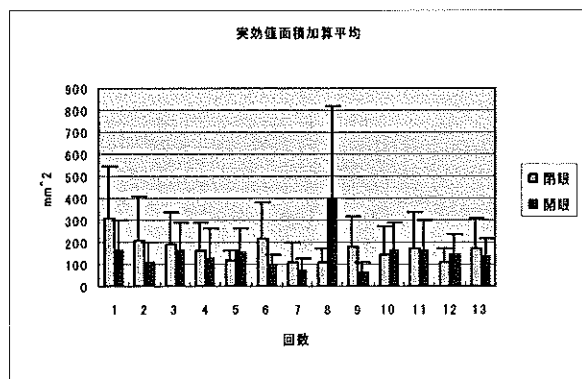


図 3 実効値面積加算平均

### 4.3 覚醒度と重心動揺との関係

以降、一例として被験者 A の結果をあげていく。AAT から算出した AAC のグラフを以下に示す(図 4)。AAC の算出方法であるが、AAT で求めた開閉眼各 3 回分のパワースペクトルを加算平均し 11 回分の AAC を求めた。

被験者 A の AAC の値は 1 回目の高い値から回数を重ねるごとに低いレベルへシフトしている。これにより、実験タスク中は徐々に覚醒度が低下していることがわかる。

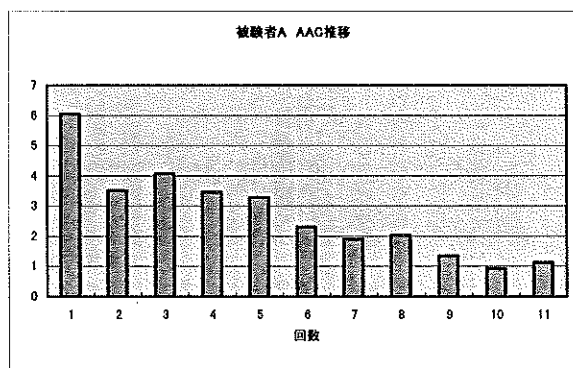


図 4 AAC stand 推移(被験者 A)

次に、重心動揺実効値面積と、同時に計測した AAT の  $\alpha$  波帯域パワースペクトルを比較する。比較し易いように、各データを閉眼時と開眼時にわけてグラフ化した。以下に閉眼時と開眼時の AAT パワースペクトルと実効値面積の各グラフを示す。(図 5~図 8) 時系列的に見ると開眼時は 8 回目あたりまでは、両グラフ共減少傾向にあり同じような変化を示している。9 回目以降、動揺はまた増加傾向にあり AAT の値と逆の動きを示した。開眼時は、3 回目までは逆の動きを示し、それ以降は各グラフ共、一度減少してまた増加するという傾向を示した。

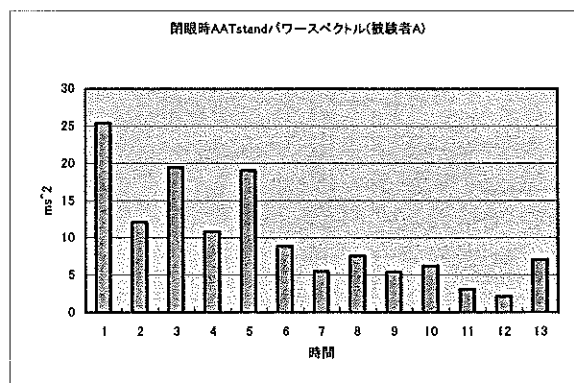


図 5 閉眼時 AAT stand パワースペクトル(被験者 A)

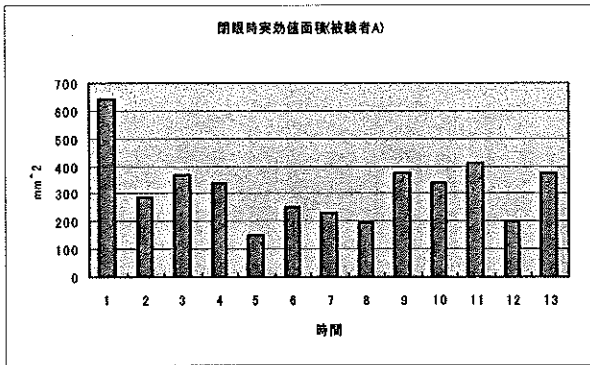


図 6 閉眼時実効値面積(被験者 A)

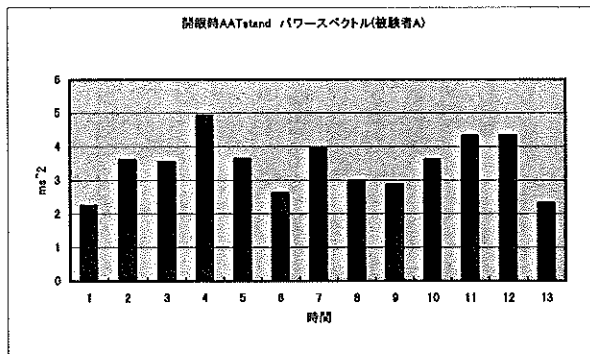


図 7 閉眼時 AAT stand パワースペクトル(被験者 A)

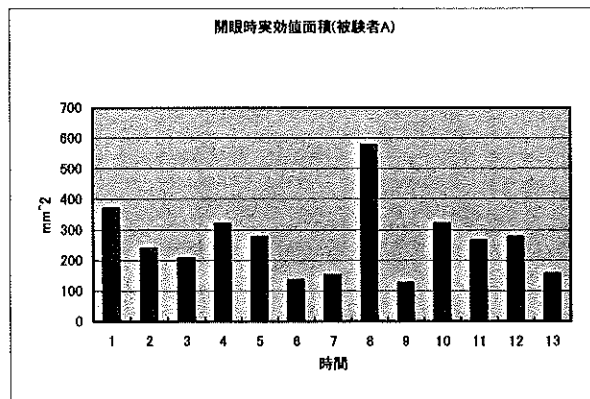


図 8 開眼時実効値面積(被験者 A)

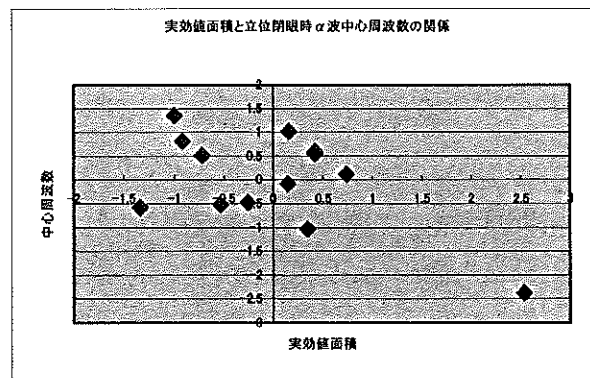


図 9 実効値面積と立位閉眼時  $\alpha$  波中心周波数の関係  
(被験者 A)

次に閉眼時の AAT パワースペクトルから 26 秒ごとの  $\alpha$  波帯域中心周波数を 13 回分求めた。算出された  $\alpha$  波中心周波数とそれに対応する時間帯の重心動揺実効値面積をプロットしたものが図 9 である。グラフからわかるように中心周波数が高くなるにつれて、重心動揺実効値面積は低い値を示していることがわかる。相関係数は -0.58 で 5% 有意で相関が認められた。他の被験者においても、相関係数は負の値を示しており同じような傾向があった。

## 5 結論

結果から、閉眼時  $\alpha$  波帯域中心周波数が高くなるにつれ重心動揺が低くなる傾向にあることが推測される。 $\alpha$  波帯域のパワースペクトルと重心動揺実効値面積との比較は、 $\alpha$  波帯域が高いと重心も高い傾向があるが被験者ごとにばらつきがあった。

## 6 考察

AAC は閉開眼の  $\alpha$  波帯域含有量の比率で覚醒度を表している為、実効値面積との比較が難しく、時系列的に比較できる  $\alpha$  波中心周波数のほうがより向いているのではないかと考えた。 $\alpha$  波帯域のパワースペクトルと重心動揺実効値面積との比較は、解析方法を改善しより信頼性のあるものにする必要がある。

## 7 おわりに

今後の課題として被験者の数を増やして統計的な差異を明確にすることが必要である。また、重心動揺の一指標として重心動揺実効値面積を用いたが、今後は軌跡長等の他の指標とも組みあわせて解析していく予定である。

## 参考文献

- 1) 萩原啓, 荒木和典, 道盛章弘, 斎藤正己 : 覚醒度の定量的評価方法とその応用に関する研究; 精神神経学, 99(1), pp23-34 (1997)
- 2) 山本和彦, 野本洋平, 梅沢淳, 高野千尋, 太田祐治, 井野俊一, 伊福部 達, 小山裕徳, 川澄正史: SDA 法を用いた高齢者の姿勢制御能の評価, 生体医工学, vol45, 121-128

映像および動揺台による船体横揺れ模擬方法別の身体的応答評価

Evaluation of Body Response to Artificial Ship Rolling by Visual or Motion Platform

○小嶋真司\*, 村井康二\*\*, 岡崎忠胤\*\*\*, 才木常正\*\*\*\*, 三友信夫\*\*\*\*\*, 林 祐司\*\*

\*神戸大学海事科学部, \*\*神戸大学大学院海事科学研究科, \*\*\*東京海洋大学,

\*\*\*\*兵庫県立工業技術センター, \*\*\*\*\* (独)海上技術安全研究所

KOJIMA Shinji\*, MURAI Koji\*\*, OKAZAKI Tadatsugi\*\*\*, SAIKI Tsunemasa\*\*\*\*, MITOMO Nobuo\*\*\*\*\*,  
HAYASHI Yuji\*\*

\*Kobe University, Faculty of Maritime Sciences, \*\*Kobe University, Graduate School of Maritime  
Sciences, \*\*\*Tokyo University of Marine Science and Technology, \*\*\*\*Hyogo Prefectural Institute of  
Technology, \*\*\*\*\*National Maritime Research Institute

1 はじめに

一般商船を対象とした教育・訓練に用いられる操船シミュレータに関して、船体動揺を再現する動揺台は設置されていない。つまり、現在のシステムで可能な船体動揺模擬方法は映像による視覚的なものとなる。船舶は海上に浮かんでいるために“動揺”は付き物である。しかしながら、商船教育において船体動揺模擬の必要性および Trainee への影響についての検討は未だ行われていないと考える。また、著者らは過去の研究において、視覚的な船体横揺れに対して、“酔い”を生起させる程の影響があることを確認している 1),2)。

本研究では、船体動揺を映像および動揺台の 2 手法により模擬し、その身体的応答を身体重心動揺 (以下、重心動揺) により評価する。

船体運動としては、Pitching および Rolling の 2 種類が大きな要素 3)であり、本研究では Rolling のみに対する船体動揺模擬に限定して評価を行う。

2 船体動揺実験

2.1 実験概要

船体動揺実験は、動揺台および映像による船体運動模擬機能を装備した (独)海上技術安全研究所の操船リスクシミュレータ (以下、操船シミュレータ) を用いて、6 人の被験者に対して行った。図 1 には操船シミュレータの概要を、表 1 には被験者について示す。

実験海域は Open sea とし、映像は海面、空 (曇り) および自船船首イメージのみとした。自船は、General Cargo Ship, 針路 180 度、速力 15.2 ノットで一定と

した。模擬した最大 Rolling 角は、0.0, 0.1, 0.4, 0.8, 1.5, 3.0, 4.0, 6.0 度の傾斜なし (水平) を含み 8 段階とした。また、映像に対する Rolling 模擬は波高を 0~7 メートルまで 1 メートル間隔で制御することにより行った。

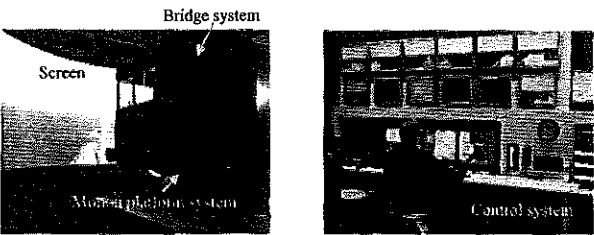


図 1 操船シミュレータの概要

表 1 被験者

|        | A   | B  | C  | D  | E   | F  |
|--------|-----|----|----|----|-----|----|
| 性別     | 男   | 男  | 男  | 男  | 男   | 男  |
| 年齢     | 22  | 37 | 40 | 25 | 22  | 24 |
| 乗船経験年数 | 1/4 | 1  | 1  | 1  | 1/4 | 1  |

2.2 実験手順

実験の手順としては、まず被験者がスクリーン径の中心に設置された重心計検査台の上に直立し、自船前方の“見張り”作業に従事する。映像および動揺台による Rolling 模擬を 1 セットとして、最大 Rolling 角をランダムに決定し、Rolling を模擬する。各 Rolling に対する重心動揺のデータ測定間隔は 90 秒、サンプリング周波数 10Hz である。各 Rolling 間

には、Rolling 角 0 度を挿入する。したがって、被験者は合計 15 回の重心動揺測定を連続して受ける。

### 3 データ解析

測定された重心動揺の解析は以下のとおり行う。

- 1) 変動幅：身体前後方向および身体左右方向の最大、最小値の差を求める。
- 2) 標準偏差：身体前後方向および身体左右方向の標準偏差を求める。
- 3) 相関：身体前後方向および身体左右方向の測定重心動揺データと模擬 Rolling 角の相関係数を求める。

### 4 結果および考察

Rolling 角 0.0 度、6.0 度（映像）、6.0 度（動揺台）に対して得られた重心動揺測定結果を図 2a から図 2c に示す。

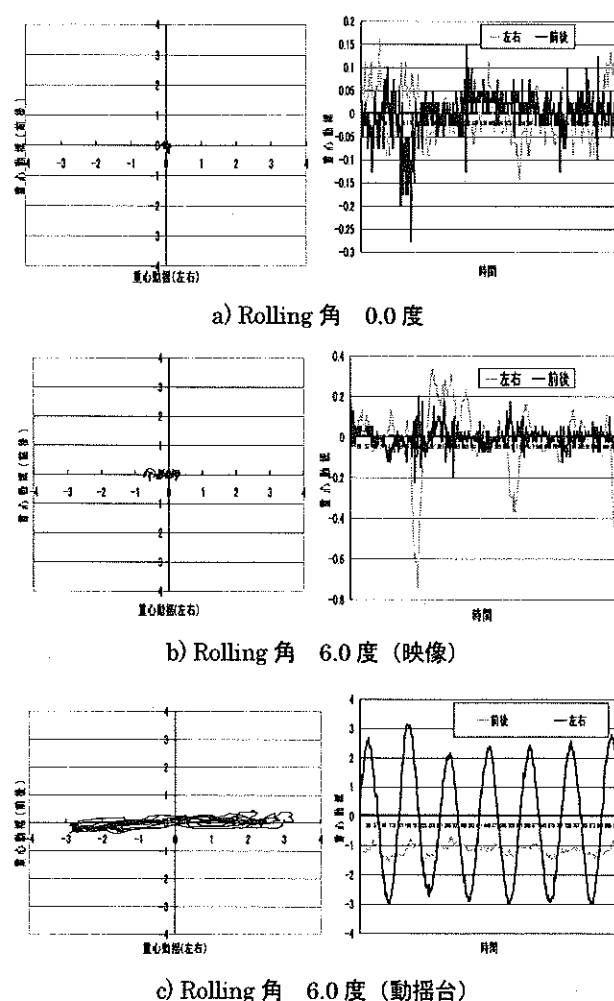


図 2 重心動揺結果

図 2 より、映像および動揺台による Rolling により重心動揺が身体左右方向に身体を支持するために生じていることがわかる。そして、映像模擬と動揺台模擬を比べると、物理的に横傾斜を模擬する動揺台に対する重心動揺の方が身体前後方向への影響を殆ど含まず、身体左右方向のみの影響となっていることがわかる。また、相関係数は映像模擬 0.21（左右）・0.16（前後）、動揺台模擬 0.65（左右）・0.33（前後）となり、上述の結果を支持する。

### 5 おわりに

本研究では船体横揺れ（Rolling）の模擬方法別による重心動揺の応答に関する差異について検討し、以下のことが明らかとなった。

- ・ 物理的な横傾斜を行う動揺台による場合の方が、映像による場合に比べて、動揺方向に対する応答が顕著であると考えられる。
- ・ 傾斜角の小さな場合、映像による影響は殆どないと考えられる。
- ・ 映像による傾斜角は、4.0 度以上程度から重心動揺への影響が生じると考えられる。

今後の課題としては、Pitching に対する傾向および操船判断等を必要とする場合の重心動揺への影響等について、解析を進めていく必要がある。

### 参考文献

- 1) 村井康二，三好雄一：シミュレーターによる視覚と身体応答の関係に関する基礎研究-Rolling の模擬と身体応答-，日本航海学会論文集，103 号，pp. 167-173 (2000)。
- 2) Koji Murai and Seiji Inokuchi: The Body Sway of Human Navigator in Ship's Bridge Simulator, Proceedings of 2003 IEEE international Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.4184-4189 (2003)。
- 3) 木村暢夫，川島利兵衛：船体運動と人体の応答に関する基礎研究-I，日本航海学会論文集，69 号，pp. 67-75 (1983)。

## 心拍変動の粗視化スペクトル解析による高速旅客船の乗り心地評価

Evaluation of Ride Comfort of High-Speed Passenger Craft  
by Coarse Graining Spectral Analysis of Heart Rate Variability

○脇水俊行\*, 有馬正和\*

\*大阪府立大学大学院工学研究科

WAKIMIZU Toshiyuki\*, ARIMA Masakazu\*

\*Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University,

## 1 はじめに

船舶の乗り心地を正しく推定・評価することは、旅客船の設計や運航計画において非常に重要な課題である。近年、船舶の高速化が図られ、欧州を中心に数多くの高速旅客船が就航しているが、特に高速双胴船では従来の排水量型船舶とは異なる流体力特性を示すことから予想もしなかった運動特性が現れ、乗り心地の悪化や船上活動能力の低下が指摘されるようになってきた。

そこで高速旅客船の乗り心地評価手法を確立するために、大阪湾を就航する高速双胴船において船体運動および被験者の心理的・生理的反応の計測を実施した。そして、高速双胴旅客船では左右加速度の影響が大きく、現行の国際規格 ISO2631-1 や日本工業規格 JIS B7760-2 で提案されているような上下加速度のみによる評価手法では不十分であることを指摘し、左右加速度の影響を考慮した新しい乗り心地評価指標 RCI (Ride Comfort Index) を提案して、その妥当性・有効性を明らかにした<sup>1)</sup>。この評価指標は、排水量型船舶においても有効であることを確かめている<sup>2)</sup>。

また、そのときの気分を定量的に調べるために開発された「ムード・チェック・リスト」によって得られた被験者の心理的反応を解析し、満足感を高める工夫やさわやかな雰囲気を創り出すことが乗り心地の改善に有効となり得ることを示した<sup>3)</sup>。

本研究では、もう一つの生理的指標として計測した心電図を CGSA 法 (Coarse Graining Spectral Analysis; 粗視化スペクトル解析法) によって解析し、心拍変動性指標による乗り心地の評価を試みた。

## 2 心拍変動の解析

## 2.1 心拍変動

心臓は交感神経と副交感神経の活動によって調節され、自律的に活動している。交感神経と副交感神経の活動は互いに拮抗しあい、交感神経優位で脈拍は速くなり、逆に副交感神経優位で脈拍は遅くなる。心電図の R 波と次の R 波の間隔を R-R 間隔と言い、この間隔は常に変動

している。この変動を心拍変動という。計測した心電図および心拍変動の例をそれぞれ図 1, 2 に示す。

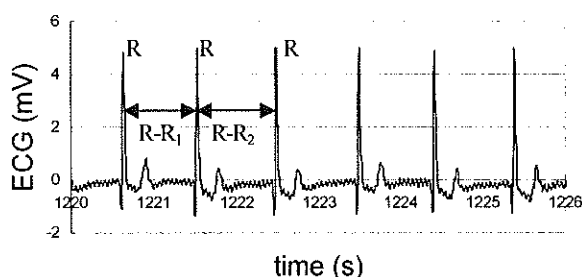


図1 実験で計測された心電図の一例

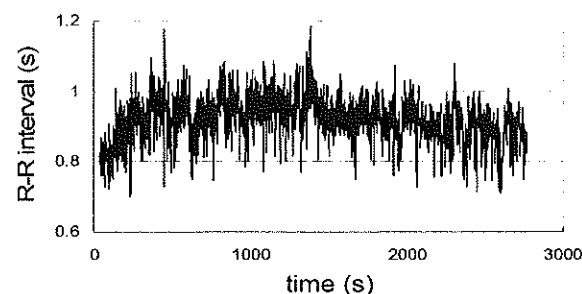


図2 心拍変動の一例

最近の研究により心拍変動には周期成分だけでなく、フラクタル成分が存在することが明らかとなってきた。CGSA 法は、非定常変動のモデルであるフラクタルブラウン運動と規則的変動とを分離する方法である。

## 2.2 CGSA 法

CGSA 法は、原時系列信号  $X(t)$  とそれを粗視化した時系列信号  $X_A(t)$ ,  $X_{1A}(t)$  とのクロススペクトル  $S_{XX}(\omega)$ ,  $S_{X_{1A}X}(\omega)$  の位相を計算すると、前者では時間の経過とともに規則的に変化するのに対して、後者では不規則に変化するという性質を利用している<sup>4)</sup>。(1) 式に示すように 2 つのクロススペクトルの幾何平均をフラクタル成分のスペクトルとし、 $X(t)$  から求めたスペクトル  $S_{XX}(\omega)$  から



フラクタル成分のスペクトル  $S_{xx_1}(\omega)$  を除いたものを周期成分のスペクトルとする。図3にフラクタル成分のスペクトルと  $X(t)$  から求めたスペクトルの例を、図4に周期成分の算出の様子を示す。

$$\bar{S}_{xx_{1/2}}(\omega) = \sqrt{\|S_{xx_{1/2}}(\omega)\| \cdot \|S_{xx_2}(\omega)\|} \quad (1)$$

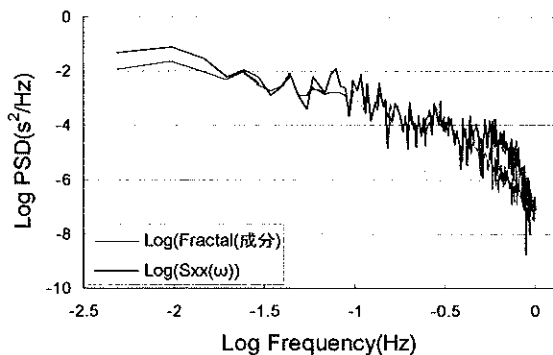


図3 心拍変動とフラクタル成分のスペクトル

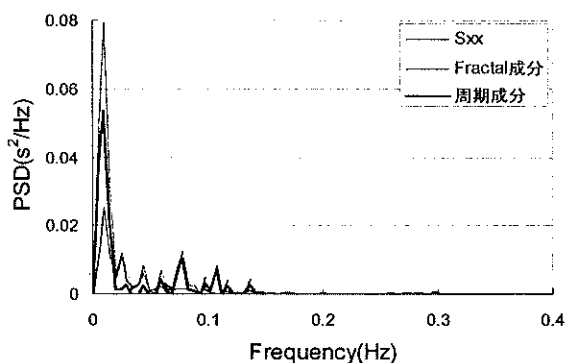


図4 周期成分の算出

### 2.3 心拍変動のスペクトル

心拍変動のパワースペクトル密度関数は、0.04～0.15 Hzの低周波成分 (LF) と 0.15～0.40 Hzの高周波成分 (HF) に分けられる。HFは副交感神経が優位のときに増加し、LFは血液のフィードバック調節による交感神経と副交感神経の活動の変調に影響される。そこで、(2)、(3)式の交感神経活動指標 (SNS) と副交感神経活動指標 (PNS) を導入して、心拍変動の評価を行うことにした。また、(4)、(5)式に示すように全周波数域のパワーの合計から0.04Hz以下のパワーの合計を除いたものをtotal powerとし、LF、HFをtotal powerで割ったものをそれぞれ  $LF_{norm}$ 、 $HF_{norm}$  とした。

$$SNS: \sum LF / \sum HF \quad (2)$$

$$PNS: \sum HF / (\sum LF + \sum HF) \quad (3)$$

$$LF_{norm}: \sum LF / total\ power \quad (4)$$

$$HF_{norm}: \sum HF / total\ power \quad (5)$$

### 3 高速船における実船実験

本研究では、株式会社 淡路開発事業団のご理解とご協力を得て、淡路島洲本港 (兵庫県洲本市) と関西空港 (大阪府泉佐野市) を結ぶ洲本パールラインの高速旅客船『パールブライト2』において平成16年6月29日 (火) から平成17年2月24日 (木) にかけて8往復16便で実船実験を実施した。解析に用いたデータは、出港時から入港直前まで計測した心電図である。計測項目は、船体運動と心電図、表情および乗り心地に関するアンケート調査である。本研究では、心電図とアンケートのデータを用いて乗り心地の評価を試みた。『パールブライト2』の主要目を表1に、航路を図5に示す。

表1 「パールブライト2」の主要目

|                                         |           |                           |
|-----------------------------------------|-----------|---------------------------|
| Ship's Name                             |           | Pearl Bright 2            |
| Gross Tonnage                           |           | 73 ton                    |
| Length × Breadth × Depth                |           | 26.50m × 6.20m<br>× 2.35m |
| Max. number of persons allowed on board | Passenger | 120                       |
|                                         | Crew      | 3                         |
| Service Speed                           |           | 32.4knot (60km/h)         |

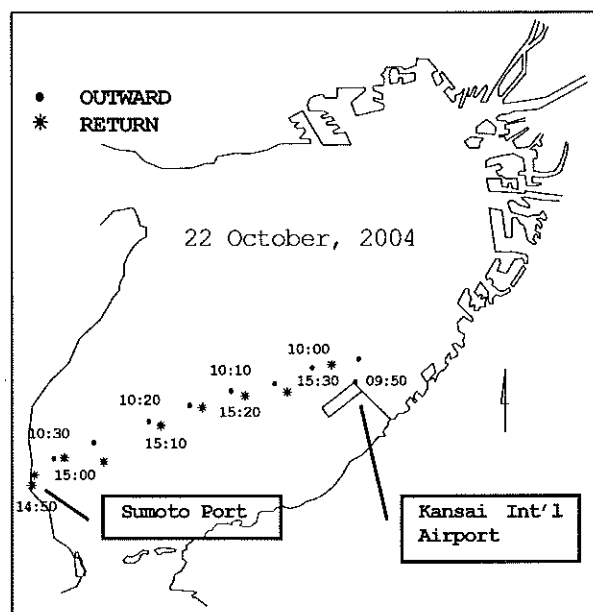


図5 「パールブライト2」の航路

#### 4 心拍変動による乗り心地の評価

##### 4.1 乗り心地に関するアンケート調査

被験者の乗り心地を定量的に把握するために、5 分ごとにアンケート調査を行った。乗り心地評価には、快適性指標と乗り物酔いレベルの2種類を用いた。図6に示す快適性指標 (C.I.) は、そのときの気分を「非常に快適: -3」から「非常に不快: 3」までの7段階で示したものである。また、図7に示す乗り物酔いレベル (MSL) は、乗り物酔いの発症程度を「快適: 1」から「吐いた: 8」の8段階で示したものである。

あなたの今の気分を以下の該当する数字に○印をつけて表してください。

|       |       |      |    |      |       |       |
|-------|-------|------|----|------|-------|-------|
| 非常に快適 | かなり快適 | やや快適 | 普通 | やや不快 | かなり不快 | 非常に不快 |
| -3    | -2    | -1   | 0  | 1    | 2     | 3     |
| 快適    |       |      |    |      |       | 不快    |

図6 快適性指標のアンケート調査項目

現在の気分は下のどれに相当しますか？ □内に印をお入れ下さい (一ヶ所のみ)

- ☐ 快適
- ☐ 気分は良好
- ☐ 普通
- ☐ ちょっと気持ち悪い
- ☐ 不快
- ☐ 非常に気持ち悪い
- ☐ 吐きそう
- ☐ 吐いた

図7 乗り物酔いレベルのアンケート調査項目

##### 4.2 心拍変動性指標による乗り心地の評価

解析は1分ごとに行い、その前後約3分半の心電図データ ( $N=2,048$ ) を用いて解析範囲を1分間ずつ移動させた。乗り物酔いを発症した被験者 A, B と発症しなかった被験者 C について、2.3 で述べた SNS, PNS と快適性指標、乗り物酔いレベルの時間変化をそれぞれ図8-10に示す。

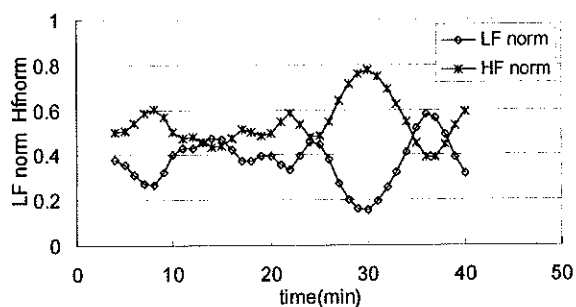


図8(1)  $LF_{norm}$  と  $HF_{norm}$  の時間変化 (被験者 A)

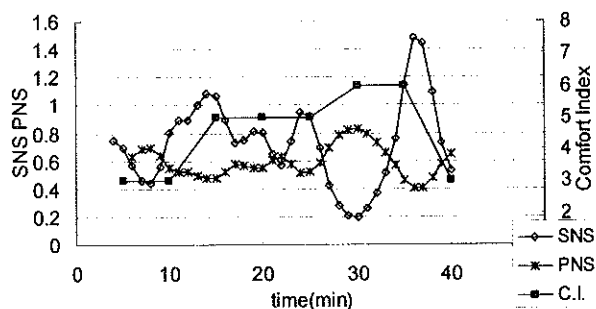


図8(2) SNS, PNS と MSL の時間変化 (被験者 A)

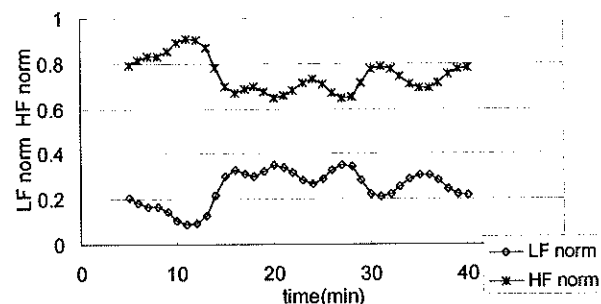


図9(1)  $LF_{norm}$  と  $HF_{norm}$  の時間変化 (被験者 B)

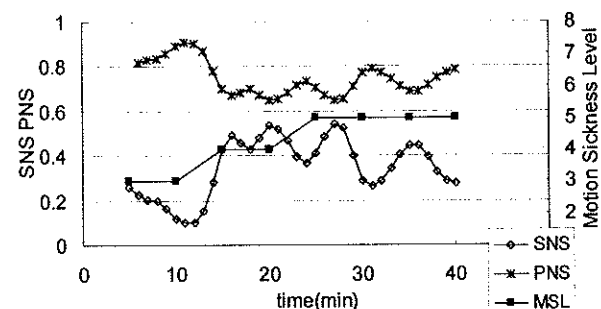


図9(2) SNS, PNS と MSL の時間変化 (被験者 B)

図8(2)を見ると、被験者 A は酔いの発症と共に短時間に交感神経と副交感神経の活動が増減しその振れ幅も徐々に増加している。酔いがもっとも進行した時には、交感神経の活動は抑制、副交感神経の活動は亢進した状態で安定というような特徴が現れた。

図9(2)からも、酔いの進行と共に交感神経が亢進している様子が示されている。これは医学的見地からの報告にある、酔いの最初は交感神経系の興奮が起こり、その後副交感神経の活動が高くなり、嘔吐の直前には両者の活動が亢進するという結果とも一致している<sup>9)</sup>。また被験者 A, B ともに  $HF_{norm}$  が  $LF_{norm}$  より大きいという特徴が現れ、これは他の酔いを発症した被験者にも共通した。しかし、この特徴は酔いを発症していない被験者14名中の5名にも見られた。

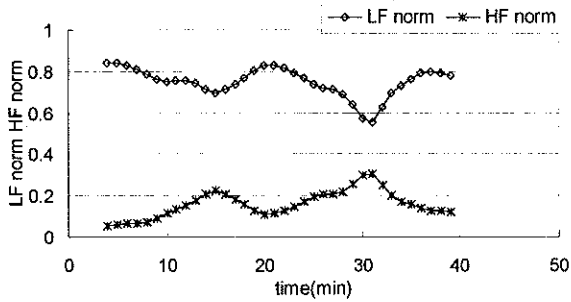


図 10(1)  $LF_{norm}$  と  $HF_{norm}$  の時間変化 (被験者 C)

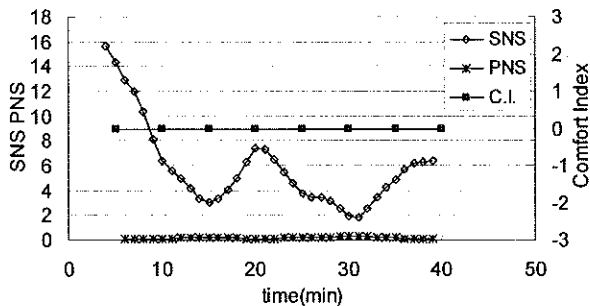


図 10(2) SNS, PNS と MSL の時間変化 (被験者 C)

図 10 は、酔いを発症していない被験者 C についての解析結果である。図 10(1) から高周波帯域に比べ低周波帯域のパワーが大きいということがわかる。また、図 10(2) において乗船直後の SNS の値が大きく、その後減少し続けている様子が示されている。酔いを発症しなかった被験者 13 名の内、出港時や入港時の SNS が増加している被験者が 8 名いた。これは出港時 (もしくは実験開始時) の緊張感によって交感神経が亢進したものと推測できる。SNS は、不安や緊張感などのストレス状態で増加するため、SNS と PNS から被験者の緊張状態や乗り心地を推定することが可能であると言える。

## 5 おわりに

本研究では高速双胴旅客船で計測した心電図データを CGSA 法によって解析し、心拍変動の周期成分による乗り心地の評価を試みた。そして、周期成分から求めた交感神経活動指標 (SNS) と副交感神経活動指標 (PNS) の変化から被験者の緊張状態や乗り心地・乗り物酔いの発症を推定・評価することが可能であることが明らかとなった。しかしながら、今回の実船実験では、乗船時間が短いために乗り物酔いを発症して嘔吐に至った被験者はいなかった。今後は、さらに多くの被験者の協力を得

て、さまざまな航路を就航する数多くの高速旅客船において実船実験を行い、そのときの体調や気分、乗り心地の評価を定量的に表現できるようなヒューマン・モニタリング手法の確立を目指したいと考えている。

近年、公共交通機関や大型エネルギープラントでヒューマン・エラーに起因する事故が多発しており、「予防安全型技術」のひとつとしてヒューマン・モニタリング手法の確立が望まれているが、本研究が対象とした心拍変動性指標は有効な指標になり得ると考えられる。

## 謝辞

本研究は、株式会社 淡路開発事業団のご理解とご協力を得て実施することができた。平成 19 年 8 月 5 日で航路の廃止に至ったことは大変残念であるが、森脇 明宏 部長および『パールブライト 2』の乗組員の皆様、関係各位に心より感謝申し上げます。

## 参考文献

- 1) 有馬正和, 田村裕貴: 高速旅客船の乗り心地評価に関する研究 (第 1 報) —船体運動の計測と解析—, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol.2, pp.211-215, (2005).
- 2) 田村裕貴, 有馬正和: 旅客船の乗り心地評価のためのアンケート調査 (第 1 報) —船体運動と乗り心地・乗り物酔いの関連—, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol.4, pp.185-192, (2006).
- 3) 有馬正和, 田村裕貴: 高速旅客船の乗り心地評価に関する研究 (第 2 報) —心理的反應の計測と解析—, 日本船舶海洋工学会論文集, Vol.3, pp.177-181, (2006).
- 4) 山本義春: 生体のフラクタルゆらぎとその機能  
[http://www.p.u-tokyo.ac.jp/~yamamoto/jres\\_6/jres\\_6](http://www.p.u-tokyo.ac.jp/~yamamoto/jres_6/jres_6)
- 5) 例えば, 石井正則: 乗り物酔いホームページ  
<http://homepage3.nifty.com/motion-sickness/>

## 緊張ストレス環境における生理的反応の計測と解析

### Measurement and Analysis of Physiological Responses in a Mental Stress Environment

○馬場祐太\*, 能見光司\*, 脇水俊行\*\*, 有馬正和\*\*

\*大阪府立大学工学部

\*\*大阪府立大学大学院工学研究科

UMABA Yuta\*, NOHMI Kohji\*, WAKIMIZU Toshiyuki\*\*, ARIMA Masakazu\*\*

\* College of Engineering, Osaka Prefecture University

\*\* Graduate School of Engineering, Osaka Prefecture University

#### 1 はじめに

本研究の最終目標は、「ヒューマン・モニタリング・システム」を構築して、船舶をはじめとする公共交通機関や各種プラントの運転・操作をする者の体調管理や心理推定をすることによってヒューマンエラーを未然に防ぐことである。本システムは、船酔いなどの快適性評価にも役立てることができると考えている。

平成 17 年 4 月の西日本旅客鉄道 (株) 福知山線における列車脱線事故は、多数の犠牲を出す大惨事となった。その後も航空分野における人的ミスや機材の不具合に起因するトラブルなど、昨今、公共交通機関における重大事故やトラブルが続発している。交通機関の高度化や交通の高密度化によって今後もヒューマン・マシン・システムの高度化・複雑化は加速すると考えられる。国土交通省は、「予防安全型技術」の必要性を訴えて「公共交通に係るヒューマンエラー事故防止対策検討委員会」を設置し、平成 18 年 4 月に最終報告書を公表している。その中で、運転者の心身状態の兆候を検出して、評価・予測するモニタリング手法の研究開発が喫緊の課題であると纏めている。

本研究では、時間切迫感のある緊張ストレス環境における人体の生理的・心理的反応を計測・解析・評価することによって、客観的な生理指標を用いた緊張やストレス感の評価手法の確立を目指す。ストレス負荷により起こる生理的反応として血流と心電図を計測・解析することで、ストレス状態を客観的・定量的に評価することを試みた。

#### 2 生理データの計測と解析

##### 2.1 血流の計測

血流の計測は、(株) Hadeco 社製超音波血流計 ES-1000SPM を用い、8MHz の貼付型プローブを左手首の動脈上にテープで固定して行った。計測は 1 分間隔でおこない、最大流速 (PK) と平均流速 (MN)、脈拍 (HR) の 3 項目が出力される。出力用紙の一例を図 1 に示す。

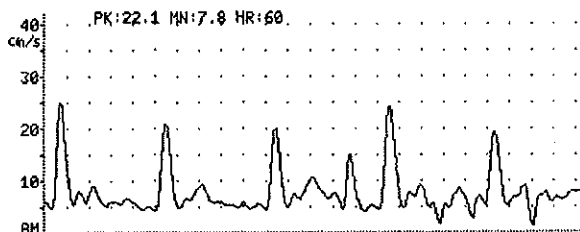


図 1 血流データの一例

##### 2.2 心電図の計測と解析

心電図は、左鎖骨の中程から下に約 5cm 下ろした部位に 1 点、左右の第 5 肋間と鎖骨の中程から降ろした線の交点の各 1 点にディスポ電極を装着し、サンプリング周波数 200Hz で計測した。実際に計測した心電図の例を図 2 に示す。心電図波形のピーク位置を R 点といい、R 点と次の波の R 点の間隔を R-R 間隔という。R-R 間隔は常に変動しており、これを心拍変動と呼ぶ。この心拍変動のパワースペクトル密度関数を求めると、図 3 のようなグラフが得られる。心拍変動のパワースペクトル密度関数は、0.04

～0.15 Hz の低周波成分 (LF) と 0.15～0.40 Hz の高周波成分 (HF) に分けられる<sup>2)</sup>。HF は副交感神経が優位のときに増加し、LF は血液のフィードバック調節による交感神経と副交感神経の活動の変調に影響される。解析では、心拍数・心拍変動の標準偏差・副交感神経の活動指標 HF・(1)式の交感神経の活動指標 SNS の 4 項目で被験者の緊張ストレス状態を評価した。

$$\text{SNS} : \sum LF / \sum HF \quad \dots (1)$$

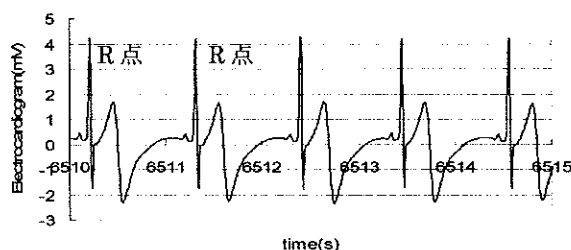


図2 計測した心電図の一例

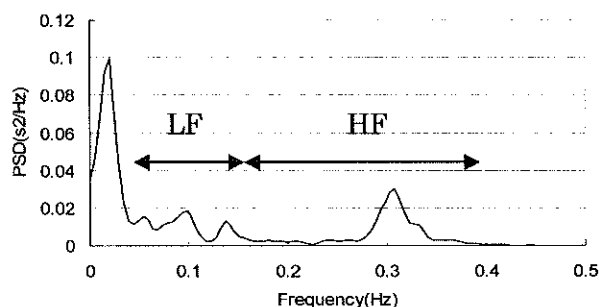


図3 心拍変動のパワースペクトル密度

### 3 緊張ストレス環境の実験

被験者には実験の目的や内容をよく説明し、インフォームド・コンセントが得られた男子大学生 15 名を対象として実験を実施した。実験は、安静とストレス負荷の 2 つの状況下で血流と心電図を計測するもので、ストレスの負荷には図 4 に示す内田クレペリン検査<sup>3)</sup>を用いた。内田クレペリン検査とは、時間切迫感のある長時間連続加算作業で、前半 15 分、休憩 5 分、後半 15 分の合計 35 分間行われる。実験は 20 分間の安静状態のあと、35 分間の内田クレペリン検査、15 分間安静状態の合計 70 分間で行った。また、内田クレペリン検査中の休憩時と終了時に図 6 のようなストレスの程度を尋ねるインタビューを行い、被験者のストレスの状態を 0～4 の 5 段階で表して評価に用いた。

|   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 7 | 9 | 4 | 6 | 3 | 8 | 6 | 7 | 5 | 0 | 8 | 5 | 6 | 3 | 0 | 7 | 4 | 8 | 9 | 3 | 7 |
| 3 | 8 | 5 | 0 | 8 | 7 | 8 | 5 | 4 | 0 | 6 | 8 | 3 | 7 | 9 | 8 | 4 | 5 | 8 | 6 | 7 |
| 3 | 7 | 4 | 9 | 8 | 4 | 7 | 3 | 8 | 5 | 9 | 8 | 5 | 6 | 7 | 3 | 8 | 9 | 4 | 7 | 5 |
| 4 | 7 | 8 | 6 | 5 | 3 | 9 | 5 | 8 | 4 | 5 | 6 | 7 | 9 | 8 | 4 | 6 | 5 | 7 | 8 | 3 |
| 8 | 3 | 5 | 9 | 4 | 8 | 7 | 5 | 3 | 8 | 4 | 5 | 8 | 7 | 6 | 8 | 9 | 7 | 5 | 3 | 9 |

図4 内田クレペリン検査用紙

内田クレペリン検査を受けてどれほどストレスを感じましたか？

該当する数字でお答えください。

- 0 まったくストレスを感じなかった
- 1 ややストレスを感じた
- 2 すこしストレスを感じた
- 3 かなりストレスを感じた
- 4 非常にストレスを感じた

図5 ストレスの程度を尋ねるインタビュー

### 4 ストレス状態の評価

#### 4.1 血流によるストレス状態の評価

被験者 15 名のうち有効な値を計測することのできた 14 名の最大流速 (PK)、平均流速 (MN) の値を調べた。実際に計測された血流の計測データの一例を図 6 に示す。図の横軸は時間、縦軸は血流速度を示しており、実線の PK 値と破線の MN 値から内田クレペリン検査中に血流量が減少するという傾向が見いだされる。このような反応を示した被験者は多く、実験開始直後の 20 分間と実験終了直前の 15 分間の安静状態の合計 35 分間を「安静中」、休憩を除いた内田クレペリン検査の 30 分間を「検査中」として、それぞれの PK 値、MN 値の平均を算出することでメンタルストレスと血流速度の定量的な関係の評価を行った。被験者 A～N の計 14 名の解析結果を表 1 に示す。表に示すようにストレスの負荷によって血流速度は減少するという反応を示した被験者が多く存在した。このうち統計的に有意な差を示した被験者は、安静中の PK と MN それぞれの平均と比べて検査中の PK の平均が小さい被験者 12 名のうち 11 名、検査中の MN の平均が小さい被験者 13 名のうち 10 名、また上記の 2 つの場合両方に当て

はまる被験者が9名であった。

PK, MN の平均値と図5のインタビューによって5段階で表されたストレス状態に関して、安静中と検査中のPK, MN 値の両方に有意差を示した被験者9名のデータを平均すると、検査中の血流速度は安静中に比べてPKが約3割, MNが約4割減少するという結果が得られた。また、インタビューによる検査中のストレスの度合いの平均値は1.9であった。

反対にPKとMNの両方の値が検査中に有意に増加した被験者が1名いた。この被験者Dのストレスの度合いは前半が3、後半が4であり、今回行った実験の被験者15人の中でもっともストレスを感じていた。よってストレスを受けた場合血流速度は減少するが、ストレスがより大きくなると血流速度は増加に転じるとも考えることができる。

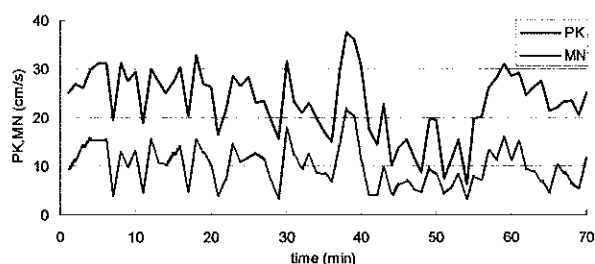


図6 計測した血流データの一例

表1 血流の平均値の比較

| 被験者 | PKの平均 (cm/s) |      | MNの平均 (cm/s) |      |
|-----|--------------|------|--------------|------|
|     | 安静中          | 検査中  | 安静中          | 検査中  |
| A   | 49.4         | 44.8 | 22.1         | 20.2 |
| B   | 25.5         | 11.6 | 8.5          | 4.2  |
| C   | 23.2         | 26.1 | 7.6          | 7.2  |
| D   | 24.1         | 31.1 | 8.1          | 9.4  |
| E   | 16.5         | 15.7 | 4.7          | 2.3  |
| F   | 16.7         | 14.2 | 4.6          | 3.0  |
| G   | 30.0         | 18.6 | 14.6         | 7.1  |
| H   | 26.3         | 18.4 | 10.8         | 8.2  |
| I   | 21.3         | 19.3 | 7.9          | 7.7  |
| J   | 22.3         | 12.5 | 5.6          | 2.4  |
| K   | 16.8         | 13.4 | 5.2          | 3.1  |
| L   | 32.7         | 22.5 | 15.7         | 10.6 |
| M   | 34.0         | 26.3 | 11.4         | 6.7  |
| N   | 23.6         | 10.9 | 7.7          | 3.1  |

## 4.2 心拍変動によるストレス状態の評価

心拍変動は、1分ごとにその直前約3分半(N=1,024)のデータを用いて解析・評価を行った。計測されたデータの中には被験者の身体が動いて電極が外れたことなどが原因で計測に失敗した区間もあったが、その区間のデータは使用せずに、残りのデータを利用した。解析結果の一例として、心拍変動、心拍数と心拍変動の毎分の標準偏差の値、SNSとHFの時間変化の様子をそれぞれ図8(1)-(3)に示す。

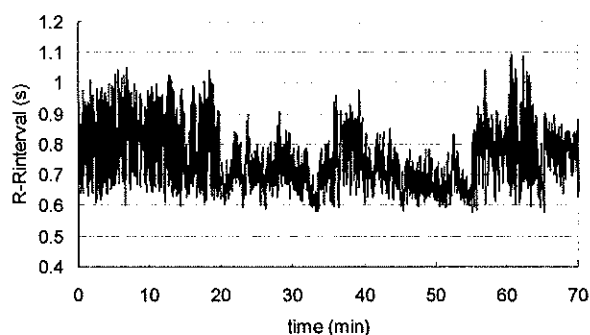


図8(1) R-R intervalの時間変化

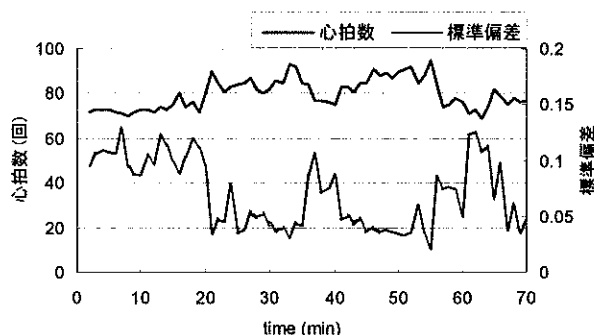


図8(2) 心拍数と標準偏差の時間変化

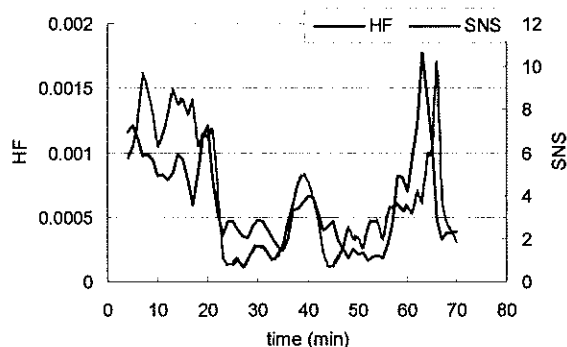


図8(3) HFとSNSの時間変化

図 8(1)のグラフの横軸は時間、縦軸は R-R 間隔であるが、このグラフより内田クレペリン検査中に R-R 間隔は短くなり、変動の間隔も狭くなるという傾向のことがわかる。そして、心拍数と標準偏差の値を 1 分毎に算出して図 8(2)のようなグラフを得た。また、この被験者の安静時・内田クレペリン検査時の心拍数と標準偏差の平均値を求めると表 2 のようになった。

表 2 心拍数と標準偏差の値の状況別平均値

|       | 心拍数  | 標準偏差  |
|-------|------|-------|
| 前半安静時 | 73.6 | 0.105 |
| 検査前半時 | 85.3 | 0.045 |
| 休憩時   | 77.8 | 0.085 |
| 検査後半時 | 87.5 | 0.040 |
| 後半安静時 | 76.1 | 0.078 |

表より、内田クレペリン検査によってストレスが負荷されると心拍数が上昇し、標準偏差の値、つまり R-R 間隔の値のばらつきが減少する傾向のあることが明らかとなった。解析を行うことのできた被験者 14 名のうち、初めの安静時に比べて内田クレペリン検査中の標準偏差の値が統計的に有意に減少するという結果の得られた被験者は 13 名で、心拍数が有意に上昇した被験者は 11 名であった。図 5 に示すストレスの度合いを尋ねるインタビューに検査の前半と後半で異なる回答を示した被験者 8 名の内、よりストレスを感じた方の検査中に心拍数が大きくなった被験者は 1 名だけであったが、標準偏差が小さくなった被験者は 5 名であった。つまり、被験者のストレス状態は、心拍数ではなく標準偏差の減少により現れると考えられる。

図 8(3) に示すように、副交感神経の亢進状態を表す HF は、安静中に比べて内田クレペリン検査中に低下するという結果が得られた。心拍変動の解析ができた 9 名の被験者の内、この様な傾向を示した被験者は 8 名であった。インタビューにおいて検査の前半と後半でストレスの感じ方が異なると回答した被験者 5 名の内、主観的なストレスの度合いと HF の値が対応するのは 2 名だけであった。これは 9 名中 6 名が後半の内田クレペリン検査時の HF の方が、前半の値よりも低いということから、内田クレペリン検査によって心

理的なストレスだけでなく、身体的なストレスも加わったという可能性も考えられる。

一方、交感神経の活動指標である SNS は、内田クレペリン検査中に減少していることがわかる。しかし、被験者 9 名のうち内田クレペリン検査中に SNS が統計的に有意に減少したのはこの被験者だけで、有意に増加した被験者は 3 名であった。今回の実験ではストレス負荷によって SNS の変化に明確な特徴を示した被験者が少ないため、SNS とストレスとの間の関連を定量的に明らかにすることはできなかった。

## 5 おわりに

本研究では、緊張ストレス環境における血流と心電図を計測・解析することによって内的なストレス状態の評価を試みた。内田クレペリン検査を用いた実験の結果、ストレスの負荷によって血流速度が減少する傾向のあることが、また、心電図においては心拍変動の標準偏差の低下および副交感神経の亢進状態を表す HF の低下が起こることがわかった。

今回の実験では心拍に影響を及ぼす呼吸の制御を考慮していないため、今後は呼吸や姿勢等の影響も考慮して、さらに実験データを増やして血流や心電図とメンタルストレスの定量的な関係について詳しく調べていきたいと考えている。本研究が目指すヒューマン・モニタリング手法の開発において、血流と心電図が有効な指標になりうると考えられる。

## 参考文献

- 1) Task Force : Heart rate variability : European Heart Journal, pp.354-381 (1997).
- 2) 有馬正和, 脇水俊行 : 船舶の乗り心地評価のための心拍変動性指標の解析, 日本船舶海洋工学会講演会論文集, No.4, pp. 359-362 (2007).
- 3) 内田クレペリン検査 : (株) 日本・精神技術研究所ホームページ  
<http://www.nsgk.co.jp/service-company/uk/>.

# 鼻部皮膚温によるブリッジチーム員の心的負荷評価に関する基礎研究

## Basic Study on Mental Workload of Ship's Bridge Teammates by Nasal Temperature

○村井康二\*, 林 祐司\*

\*神戸大学大学院海事科学研究科

MURAI Koji\*, HAYASHI Yuji\*

\*Graduate School of Maritime Sciences, Kobe University

### 1 はじめに

船舶の操縦者（操船者）に対する心的負荷評価として、鼻部皮膚温を指標として用いることが有効であることを著者らは明らかにしてきている<sup>1)~3)</sup>。しかしながら、その評価を実施した操船状況は、“連続した操船判断を短時間内に多く必要とする出入港操船”のみであり、通常航海等、他の操船状況に対する評価は行っていない。また、船舶の操縦は、操船者（当直航海士、船長、水先人等）のみで行うことは少なく、チームによって実行されており、操船者以外のブリッジチーム員に対する評価も必要である。

本研究では、鼻部皮膚温による出入港操船以外の操船状況における操船者の心的負荷評価および、ブリッジチーム員（操舵手）に対して得られた知見について報告する。

### 2 実験概要

実験は、神戸大学大学院海事科学研究科附属練習船「深江丸」の航海に対して行った。鼻部皮膚温の測定実験は、“深江ポンド出入港”，“土佐沖夜航海（2回）”，“長崎港出入港”，“長崎沖航海（2回）”，“小部湾揚投錨”，“高松港入出港”の12種類の操船状況に対して行った。実験海域の概要を図1に示す。

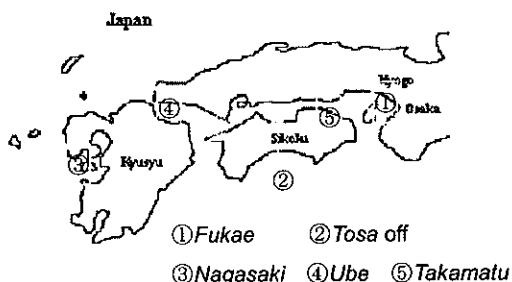


図1 実験海域の概要

さらに、実験ではビデオカメラによる船橋内の行動記録、ワークサンプリングによる行動観察、ICレコーダーによる音声収録、心拍計によるR-R間隔測定を同時に行った。各操船状況に対する被験者は、出入港操船及び揚投錨操船；船長または操舵手、通常航海（昼間、夜間）；一等航海士である。

### 3 データ解析

鼻部皮膚温は、被験者から1メートルの位置に設置したサーモグラフィーにより顔面皮膚温を測定することで得られる。そして、本研究では実船上での測定を行うために、測定場所である船橋内の温度制御は困難であり、鼻部皮膚温（N）および前額部皮膚温（F）の差（N-F 皮膚温差）を評価に用いる。鼻部および前額部皮膚温は、各部位の1センチメートル四方領域の平均値を用いる。(1)式にN-F 皮膚温差の計算式を示す。ここで、「N-F 皮膚温差 < 0」の場合に心的負担がかかっていると考える<sup>4),5)</sup>。

$$N-F \text{ 皮膚温差} = \text{mean (鼻部皮膚温)} - \text{mean (前額部皮膚温)} \quad (1)$$

鼻部および前額部の測定領域は、メガネのフレームを利用することで決定する。鼻部および前額部の測定領域について、図2に示す。

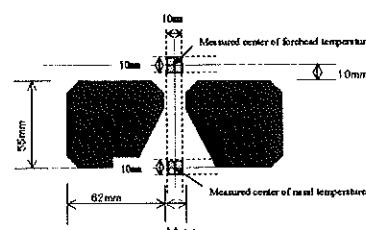


図2 鼻部および前額部の皮膚温測定領域



次に、鼻部皮膚温の測定領域とした  $1\text{cm}^2$  領域における最大値、平均値および最小値の一例（入港時）について図3に示す。

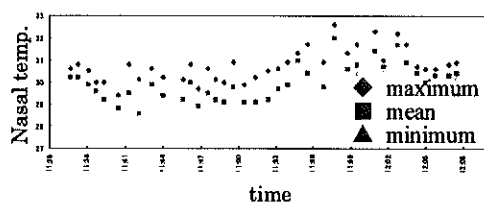
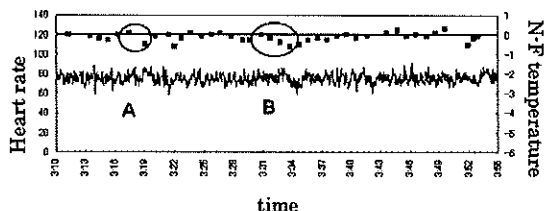


図3 鼻部皮膚温（最大値、平均値、最小値）の一例

図3より、最大値、平均値および最小値の間には、温度差として、顕著な場合で1度程度あるが、変化傾向については同傾向を示していることがわかる。本研究では、実船上での測定環境を考慮し、温度変化を安定して得られる値としては、平均値を採用することが妥当であると考ええる。

#### 4 結果および考察

夜間の通常航海（当直航海士）および入港操船（操舵手）時に測定したN-F皮膚温差の結果をそれぞれ図4、図5に示す。



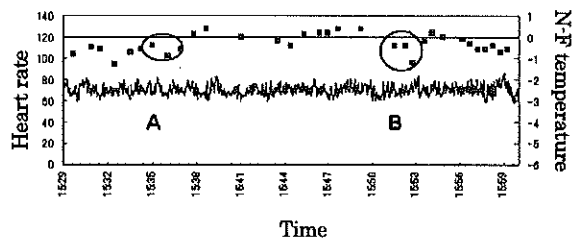
A：他船舶の情報を確認

B：他船舶の確認および避航操船

図4 N-F皮膚温差（夜間、当直航海士）

両図のA、Bはイベント、点（■）および曲線は順にN-F皮膚温差、心拍を示す。

図4、図5より、操船判断時（図4）および多くの作業が短時間内に集中し、確実な操作を求められる時（図5）にN-F皮膚温差が低下していることがわかる。これらの結果から、鼻部皮膚温は入出港操船のみではなく、ブリッジチーム員を対象とした一般的に有効な評価指標であると考えられることができる。



A：S/B Engine

B：機関およびスラスターの複数回利用

図5 N-F皮膚温差（入港、操舵手）

#### 5 おわりに

本研究では、通常航海時（昼間、夜間）の当直航海士および出入港時の操舵手に対する鼻部皮膚温の応答について検討し、以下のことが明らかとなった。

- ・ 見合い関係が生じた場合の操船判断時に温度が低下する。
- ・ 短時間の多くのオーダーを確実に実行する時に温度が低下する。
- ・ 鼻部皮膚温は、全体的な傾向を示す。

#### 参考文献

- 1) 村井康二，林 祐司，瀬井裕子，井口征士：操船シミュレータの水平視野角と現実感の関係－重心動揺と鼻部皮膚温の計測－，日本航海学会論文集，106号，pp. 131-138 (2002)。
- 2) 村井康二，岡崎忠胤，林 祐司：鼻部皮膚温による操船者の心的負荷評価に関する基礎研究，平成18年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集，pp. 69-70 (2006)。
- 3) 林 祐司，竹原 隆，村井康二，矢野吉治：顔面皮膚温による操船者の心的負荷の定量的評価，日本航海学会論文集，116号，pp. 213-218 (2007)。
- 4) 坂本涼，野澤昭雄，田中久弥，水野統太，井出英人：顔面熱画像によるドライバーの覚醒評価－周辺温度と風量の影響－，IEEJ Trans. EIS, Vol. 126, No. 7, pp. 804-809 (2006)。
- 5) 岩田洋太：サーモグラフィを利用した知的作業の定量評価，計測自動制御学会論文集，Vol. 24, No. 2, pp. 1-5 (1988)。

## 唾液アミラーゼによる操船者のストレス評価

- 操船シミュレータによる入港操船 -

### Evaluation of Ship's Navigator Stress Using Salivary Amylase: In Case of Arriving Port by Ship Handling Simulator

○北口 卓\*, 村井康二\*\*, 脇田慎一\*\*\*, 宮道 隆\*\*\*, 福士恵一\*\*, 林 祐司\*\*

\*神戸大学海事科学部、\*\*神戸大学大学院海事科学研究科、\*\*\*（独）産業技術総合研究所

KITAGUCHI Takashi\*, MURAI Koji\*\*, WAKIDA Shin-ichi\*\*\*, MIYADO Takashi\*\*\*,

FUKUSHI Keiichi\*\*, HAYASHI Yuji\*\*

\*Kobe University, Faculty of Maritime Sciences, \*\*Kobe University, Graduate School of Maritime Sciences, \*\*\*National Institute of Advanced Industrial Science and Technology

#### 1 はじめに

船舶の操縦者（操船者）に対する心的負担や操船技能の評価を行うために心拍、鼻部皮膚温等の生理指標が有効であることを明らかにしてきている<sup>1),2)</sup>。そして、実船舶（実船）およびシミュレータ（操船シミュレータ）を用いた学生実習に対する教育・訓練評価には、評価結果を短時間でその場で提示できることが必要となる。本研究では、評価対象者に常時センサー等の装着を必要とせず、簡単な測定で安定した結果を得られると考えられる評価指標として、唾液アミラーゼ活性を用いる。そして、唾液アミラーゼ活性がまずは経験豊富な操船者のストレス評価指標として確かに有効であるか否かについて検討することを目的とする。

唾液アミラーゼは、交感神経系の直接神経作用とノルエピネフリン作用の両作用で分泌され、ストレス定量評価のバイオマーカーとされている<sup>3),4)</sup>。また、交通システムの一つである自動車の運転者に対するストレス評価に有効性を示すことが報告されている<sup>5)</sup>。

#### 2 唾液アミラーゼ活性測定実験

##### 2.1 実験概要

実験は、被験者への様々な外的影響を制御しやすい実験環境とするために実船ではなく、操船シミュレータを用いることにより行った。使用した操船シミュレータは、スクリーン型で水平視野角 240 度、垂直視野角 40 度の操船環境映像を投影可能な国際的にも一般的な仕様を有する。実験シナリオは、名古屋港の入港

操船（出船右舷着および入船左舷着）であり、外乱である風潮流の影響はない状態とした。また、シミュレータ室の室温は、実験中  $25 \pm 0.5$  度とした。被験者は、乗船経験年数 8.5 年の船長経験者（男性）である。図 1 に入港操船実験海域の概要を示す。

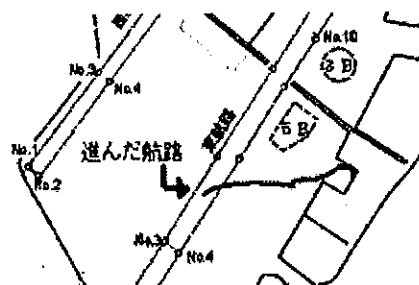
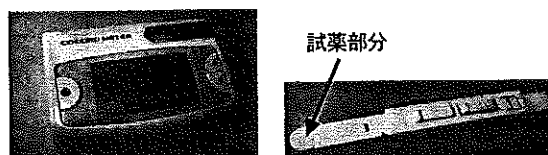


図1 入港操船実験海域の概要

次に、唾液アミラーゼ活性の計測には、ニプロ(株)製 COCORO METER を使用した。本体の大きさは幅 130mm、高さ 40mm、奥行き 87mm とコンパクトな装置であり、実船上やシミュレータ室において取扱いが容易であり、実用的である。また、30 秒程度で唾液アミラーゼ活性の測定結果がわかる(単位: KU/l)。図 2a, 2b に本体およびマーカーを示す。



a) 装置本体

b) マーカー

図2 唾液アミラーゼ活性計測装置の概要

また、ストレス度合いの参考値としては、「0-30：ない」「31-45：ややある」、「46-60：ある」、「61 以上：だいぶある」とされている（個人差あり）。

被験者は、唾液採取に際し、専用試薬（図 2b）を舌下に 30 秒くわえる。舌下は、唾液の分泌線があり、計測に十分な唾液量を獲得するために良好な場所として考えられる。さらに、操船者は自船舶を制御するための操船号令を出すため、言葉を発することができる状態が本実験では必要条件であった。

## 2.2 実験方法

以下に、本実験方法の手順について示す。

1. 実験者は、被験者を 5 分間座位で安静とし、2 分 30 秒毎に 3 回唾液を採取する。そして、唾液アミラーゼ活性値の最低値を操船前における安静値とする。
2. 被験者は、入港操船をシミュレータにより行う。刺激入力から分泌にいたる唾液アミラーゼの応答時間は 1～数分と言われているため、計測はシミュレーション開始後 1 分後をはじめとし、以後 5 分間隔で実施する。
3. 実験者は、操船者が自船舶のラインを岸壁にとり着岸が完了した時点でシミュレーションの終了とする。そして、操船終了後、操船前と同様に操船者を 5 分間座位で安静とし、2 分 30 秒毎に 3 回唾液を採取し、操船終了後の変化を確認する。

## 3 結果および考察

着岸時に自船舶を一回転回頭させる必要がある出船右舷着けのアミラーゼ活性計測結果を図 3 に示す。また、入港操船開始前の計測結果を表 1 に示す。

表 1 より、操船開始前の最低値は、23KU/l であることがわかる。これを操船中のストレス評価を行うための相対的な基準値（参考値）とする。

表 1 操船開始前のアミラーゼ活性値

| 時間(分)   | 0  | 2.5 | 5.0 |
|---------|----|-----|-----|
| 値(KU/l) | 23 | 25  | 23  |

図 3 より、操船中は 35KU/l 前後の値をとっており、操船開始前よりもやや大きな値であることがわかる。

この状態は、良い緊張状態を保っているものと推測できる。着岸前（20 分）では、自船舶の着岸操船のための支援として、タグボートを使用する準備を整えた時点で大きく値が減少（26KU/l）している。操船終了後は、アミラーゼ活性値が急激に減少しており、ストレス状態から開放されたと考えることが出来る。

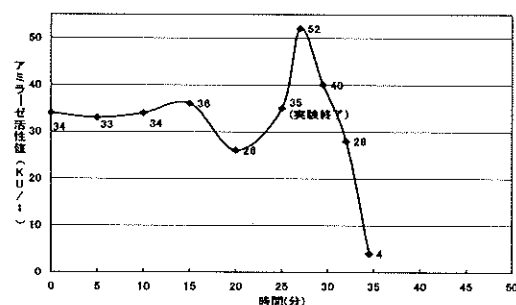


図 3 アミラーゼ活性値

## 4 おわりに

本研究では、唾液アミラーゼ活性を用いた操船者のストレス評価を行い、ストレスがかかる操船状況に対して、その応答を確認することができたと考ええる。今後は、基礎データを蓄積し、本指標による教育・訓練評価の手法を確立していく必要がある。

## 参考文献

- 1) K.Murai, Y.Hayashi, N.Nagata and S.Inokuchi: The Mental Workload of a Ship's Navigator using Heart Rate Variability, Journal of Interactive Technology and Smart Education, Vol.1, No.2, pp.127-133 (2004).
- 2) K.Murai, Y.Hayashi and S.Inokuchi: A Basic Study on Teammates' Mental Workload among Ship's Bridge Team, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E87-D, No.6, pp.1477-1483 (2004).
- 3) 山口昌樹：唾液マーカーでストレスを測る，日薬理誌，Vol.129, pp.80-84 (2007).
- 4) 山口昌樹：ストレスの定量評価，臨床栄養，Vol.107, No.7, pp.801-809 (2005).
- 5) 出口満生，若杉純一，池上達也，難波晋治，山口昌樹：ドライビングシミュレータを用いた運転ストレスの試験方法，電気学会論文誌 E, Vol.126, No.8, pp.438-444 (2006).

## 操船シミュレータを用いた鼻部皮膚温・心拍変動による操船者

### の心的負荷評価

#### Evaluation of Navigator's Mental Workload by Nasal Temperature and Heart Rate Variability

○達見和記\*, 村井康二\*\*, 岡崎忠胤\*\*\*, 疋田賢次郎\*\*\*\*, 三友信夫\*\*\*\*, 林 祐司\*\*

\*神戸大学海事科学部, \*\*神戸大学大学院海事科学研究科, \*\*\*東京海洋大学,

\*\*\*\*(独)海上技術安全研究所

TATSUMI Kazuki\*, MURAI Koji\*\*, OKAZAKI Tadatsugi\*\*\*, HIKIDA Kenjiro\*\*\*\*, MITOMO Nobuo\*\*\*\*, HAYASHI Yuji\*\*

\*Kobe University, Faculty of Maritime Sciences, \*\*Kobe University, Graduate School of Maritime Sciences, \*\*\*Tokyo University of Marine Science and Technology, \*\*\*\*National Maritime Research Institute

#### 1 はじめに

操船者の心的負担を評価するための一つの指標として心拍 R-R 間隔変動(心拍変動)の周波数成分を用いた SNS (LF/HF) 値が提案<sup>1)</sup>されている。そして、著者らもその有効性を操船者のみならずブリッジチーム員(操船者; 船長, 航海士, 操舵手)およびそのチーム行動に対して認めている<sup>2),3)</sup>。さらに, 評価指標として鼻部皮膚温が応答性の良いものとして期待できる結果を得ている。鼻部皮膚温は, 非接触で計測可能なため被験者への計測負担が小さいという大きな利点も持つ。しかしながら, 鼻部皮膚温による評価実験は, データサンプリング間隔が数分と粗く, 心拍変動データとの時間的な整合性に問題があった<sup>4)</sup>。

本研究では, 被験者にノイズの入力が少ない実験環境を整えるために操船シミュレータを用いた操船実験を行う。そして, 鼻部皮膚温および心拍変動の計測データに時間的な整合性を持たせて, 操船者の心的負荷評価を行うことを主目的とする。操船環境には短時間内に多くの操船判断を必要とする入港操船を選択する。

#### 2 実験概要

鼻部皮膚温および心拍変動による心的負荷評価実験は, (独)海上技術安全研究所の操船リスクシミュレータ(操船シミュレータ)を用いて行った。スクリーン; 水平視野角 240 度, 半径 6.5 メートル。入港操船実験

のシナリオは, 自船舶を 6,000TEU のコンテナ船(70,000G/T)とし, 神戸港のハーバーリミットから六甲アイランド RC5 岸壁にタグ 2 隻を用いて着岸する入港操船とした。図 1 に入港操船海域の概要を示す。被験者は, 乗船経験年数 8.5 年の船長経験者(男性)とし, 同実験を 3 回実施した。

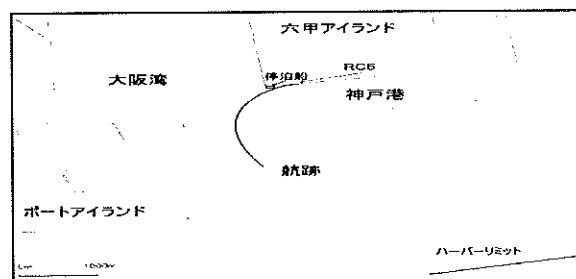


図1 入港実験海域の概要

#### 3 評価方法

##### 3.1 心拍変動

心拍 R 波の時間間隔(R-R 間隔)を 1,000ms の分解能で測定し, スプライン補間後, MEM (Maximum Entropy Method) により得られた LF 値および HF 値から SNS 値<sup>1)</sup> ( $SNS = LF / HF$ ) を求める。ここで, LF 値は 0.04Hz 以上 0.15Hz 未満, HF 値は 0.15Hz 以上 0.40Hz 以下の周波数成分である。本研究では, 30 秒毎の SNS 値を求める。

##### 3.2 鼻部・前額部皮膚温差

顔面皮膚温を熱画像カメラによりサンプリング間

隔 1 秒で測定する。そして、前額部皮膚温および鼻部皮膚温の差を鼻部・前額部皮膚温差として求める。

鼻部皮膚温および鼻部・前額部皮膚温差はストレス等を受けて、「不快」感を得ると温度が低下し、「快感」を得ると温度が上昇すると言われている<sup>5),6)</sup>。

鼻部および前額部のデータ測定位置の特定は、被験者に装着させた眼鏡のフレーム長から行う。図 2 に測定位置の概要を示す<sup>7)</sup>。

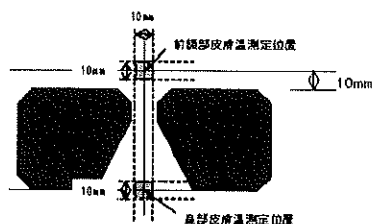
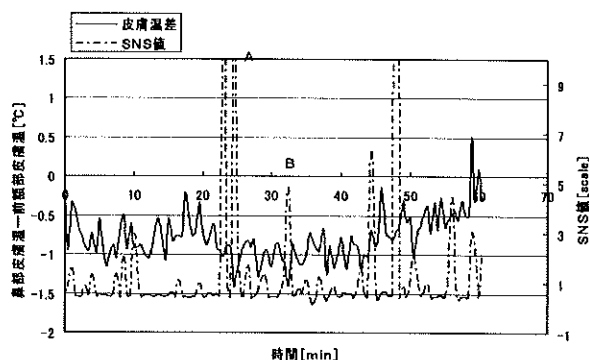


図 2 鼻部および前額部皮膚温の測定位置の概要

#### 4 結果および考察

操船シミュレータによる入港操船実験から得られた SNS 値および鼻部・前額部皮膚温差の結果を図 3 に示す。図 3 中に示す A, B は鼻部・前額部皮膚温差が最低値を示したイベントである。



A (24.5 min) : 防波堤通過 (バースへのアプローチ)

B (32.5 min) : バースへのアプローチ (右転, 頻繁な周囲距離および自船舶速力の確認)

図 3 SNS 値および鼻部・前額部皮膚温差の結果

図 3 より、鼻部・前額部皮膚温は、最低値を示しているイベント A, B において、SNS 値が顕著に増加していることがわかる。イベント A, B は、入港に際するバースへのアプローチを開始する時機および、実際に自船舶をコントロールする時機であり両指標ともに

操船者の心的状態を良く表現できていると考えることができる。また、鼻部・前額部皮膚温差はバース着岸において正の値をとり上昇傾向を示している。これらの結果から、鼻部・前額部皮膚温差は全体的な傾向を評価する指標として特に有効であると考えられる。

#### 5 おわりに

本研究では、操船シミュレータを用いた入港実験を行い、操船者の心的負荷を心拍変動 (SNS 値) および鼻部皮膚温を指標として評価した。そして、次の結果を得た。1) SNS 値は、時間的ポイントを捉えることができる。2) 鼻部皮膚温は、全体的な傾向を捉えることができる。SNS 値および鼻部皮膚温の同時評価は、操船者の心的状況をより良く評価できる手法であると考えられる。

#### 参考文献

- 1) 小林弘明, 仙田晶一: 心拍変動データによる操船者の知的負担の研究, 日本航海学会論文集, 98 号, pp.247-255 (1998).
- 2) Koji Murai, Yuji Hayashi, Noriko Nagata and Seiji Inokuchi: The Mental Workload of a Ship's Navigator using Heart Rate Variability, Journal of Interactive Technology and Smart Education, Vol.1, No.2, pp.127-133 (2004).
- 3) Koji Murai, Yuji Hayashi and Seiji Inokuchi: A Basic Study on Teammates' Mental Workload among Ship's Bridge Team, IEICE Transactions on Information and Systems, Vol.E87-D, No.6, pp.1477-1483 (2004).
- 4) 林 祐司, 竹原 隆, 村井康二, 矢野吉治: 顔面皮膚温による操船者の心的負荷の定量的評価, 日本航海学会論文集, 116 号, pp.213-218 (2007).
- 5) 岩田洋太: サーモグラフィを利用した知的作業の定量評価, 計測自動制御学会論文集, Vol.24, No.2, pp.1-5 (1988).
- 6) 坂本涼, 野澤昭雄, 田中久弥, 水野統太, 井出英人: 顔面熱画像によるドライバーの覚醒評価—周辺温度と風量の影響—, IEEJ Trans. EIS, Vol.126, No7, pp.804-809 (2006).
- 7) 村井康二, 岡崎忠胤, 林 祐司: 鼻部皮膚温による操船者の心的負荷評価に関する基礎研究, 平成 18 年度日本人間工学会関西支部大会講演論文集, pp.69-70 (2006).

# 人体形状モデルを用いた日本人女性の体幹部形状の分析と分類

## Analysis and Classification of Trunk Shape of Japanese Women by Using the Human Body Shape Model

○中村顕輔\*, 黒川隆夫\*\*

\*京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科 \*\*大阪大学大学院基礎工学研究科

NAKAMURA Kensuke\*, KUROKAWA Takao\*\*

\*Graduate School of Science and Technology, Kyoto Institute of Technology,

\*\*Graduate School of Engineering Science, Osaka University

### 1 緒言

人体の体形を構成する形状因子の解明は人体計測学の大きな課題の一つである。筆者らは特に、衣服のサイズフィット性、着用感や審美性に対する消費者の要求が高い部位として、女性の体幹部形状に焦点を当てて各種の研究を行ってきた。体形分析の研究に関しては人体寸法値や写真画像、シルエットを用いる 1, 2 次元的手法が広く行われているが、体格やプロポーションを捉えやすい一方で、3 次元空間に広がる体形の総体を表現できない問題がある。

そのため人体の 3 次元計測の普及に伴って 3 次元体形を分析する試みが行われつつある (Azouz et al. 2006)。筆者らも 3 次元人体形状モデル (黒川 1997) の形状データ (制御点座標値) を用いて 3 次元体形を主成分分析法により分析する手法を提案し、女性の乳房部 (崔 他 2006) と腹部 (鄭 他 2006) の分析結果および体形分類を示した。

本研究では、さらに体幹部全体の体形分析とそれに基づく体形分類を試みる。しかし体幹部全体の体形データは 2000 個以上となり、主成分分析には適しない。そこで相関分析によって体形データを縮約する手法を提案し、その結果を利用して体形分析を行う。体形分析の結果を用いれば、これまでデザイナーの経験や勘に頼っていた衣服設計に着用者の体形を正確に効率良く反映させることができ、サイズ適合性だけでなく姿勢補整や着心地などの機能性向上にも役立つと期待できる。体形分類についてはこれまでの結果を報告する。

### 2 体形分析法

#### 2.1 体形データ

体形分析の対象となるのは、2000 年に集団計測された 19 歳から 63 歳までの日本人成人女性 560 名の 3 次元計測データであり、実際に分析するのはこれに 3 次元人体形状モデルをフィッティングして得られる形状データである。

黒川らによって提案された人体形状モデルは 3 次元計測された体表計測データをモデル化する手法の

ひとつであり、体表上の基準点を用いて正規化した円筒状双 3 次 B-spline 曲面の制御点によって体表面形状を記述する (黒川 1997)。筆者らはこのモデルの制御点を用いれば平均体形の算出、身体サイズ値の推定、ブラジャー装着シミュレーション等が可能であることを示した (中村 黒川 2006, 崔 他 2005)。

人体形状モデルで頸部を除く体幹部の右半身を記述するのに必要な制御点は図 1 に示す周 ( $u$ ) 方向に 18 点、高さ ( $v$ ) 方向に 23 点である。身体の左右に体形上の統計的差異が存在すると考える根拠はないので、本研究ではこの制御点の  $x, y, z$  座標値  $18 \times 23 \times 3 = 1242$  個を個々の被験者の体形データとする。

なお体形の分析に重点を置くために、図 1 (a) のクロッチ点 (人間工学的計測点ではなく、画像上での設定点) の  $x, y$  座標値、(b) の頸椎点の  $z$  座標値を組み合わせて原点と定義した。さらに分析にサイズ因子が混入するのを防ぐため、図 1 (c) に示す第七頸椎点とクロッチ点の  $y$  座標値の差で体形データの全座標値を正規化した。

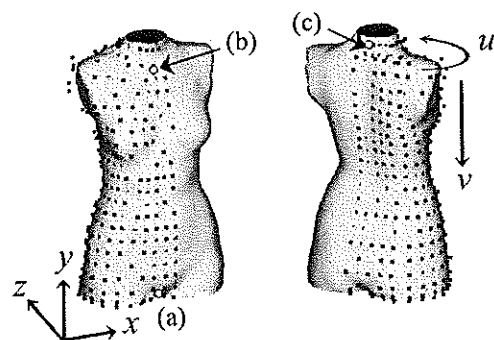


図 1 人体形状モデルの右半身制御点  $18 \times 23$  点  
位置座標軸  $x, y, z$ , 曲面座標軸  $u, v$   
(a) クロッチ点, (b) 頸前点, (c) 第七頸椎点

#### 2.2 体形データの縮約

体形データとなる制御点座標値数は右半身に限っても 1242 個と多く、そのままでは主成分分析法を適用することは適切でない。そこで本研究では以下のように冗長な座標値の集合を 1 つの座標値で代表さ

せることにより体形データの縮約を行った。

図2(a)は制御点マップ上に、ある制御点と他の制御点との座標値の相関を示した例である。制御点マップは体形データの制御点 18×23 個を格子状に並べたもので、(u, v)=(2, 1)のマスは第七頸椎点、(u, v)=(17, 23)はクロッチ点の位置にほぼ対応する。この制御点マップ上で(i)各座標について任意の制御点から u, v 方向に±2 マスの矩形範囲内でかつ相関係数が 0.80 を越える制御点の数を、中心の制御点で説明可能な制御点の数とする。そして(ii)x, y, z 座標の説明可能な制御点数の和が最も大きい制御点を選択する。(iii)選択した制御点(代表制御点)およびその制御点で説明可能な制御点(被説明制御点)をマップから除去する。以上(i)~(iii)を反復することで分析データの絞込みを行った。

選択された代表制御点を図2(b)に×印で示す。図の黒いマス目は説明可能な制御点が0の独立性が強い制御点を示す。本研究では体幹部全体の形状分析を目的としているので、独立座標値は分析対象から除いた。結果として、絞り込み前の座標値の92%をカバーする111の代表座標値を得た。この方法による縮約率は約91%である。

表1 主成分の寄与率と累積寄与率

| 主成分番号 | 寄与率%  | 累積寄与率% |
|-------|-------|--------|
| 1     | 17.34 | 17.34  |
| 2     | 11.37 | 28.70  |
| 3     | 9.81  | 38.51  |
| 4     | 9.20  | 47.71  |
| 5     | 8.58  | 56.29  |
| 6     | 7.48  | 63.77  |

## 2.3 主成分分析

被験者560名の体形データの代表座標値111個を分析対象として主成分分析を適用し、形状因子を抽出した。主成分分析では分散共分散行列を用い、バリマックス回転を行った。

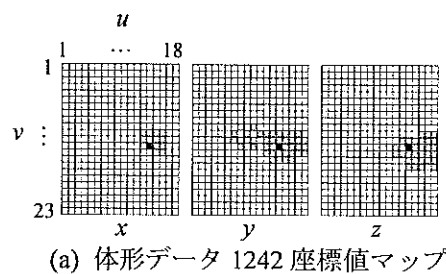
## 3 体形分析の結果

### 3.1 主成分分析の結果

体幹部の形状因子であると明瞭に解釈できたのは第6主成分までであった。残りの主成分の中には頸部や肩、上下腹部の形状を表すと解釈できるものも含まれていたが、表現する部位が狭くまた寄与率も低いので体幹部全体の形状因子ではないと判断した。

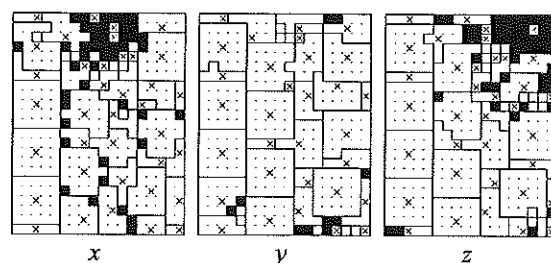
主成分の寄与率および累積寄与率を表1に示す。因子負荷量のグレー濃度マップ表現および、各主成分得点で被験者を3群に分けたときの各群平均モデルのモアレ画像を図3に示す。図3のグレー濃度マップ表現では、因子負荷量が±0.4を越えた代表制御

点とその被説明制御点を同じグレー濃度に塗って制御点マップ上に表現した。こうすることにより各主成分が体表のどの部分の形状を主として記述しているかが読み取り易くなる。また3群平均像では第*i*主成分(*i*=1, ..., 6)の被験者*j*(*j*=1, ..., 560)の主成分得点を $P_{i,j}$ 、標準偏差を $\sigma_i$ とすると、 $P_{i,j} \leq -\sigma_i$ なる被験者をI群、 $-\sigma_i < P_{i,j} \leq +\sigma_i$ をII群、 $+\sigma_i < P_{i,j}$ をIII群に分類した。各群に含まれる被験者のモデルの各制御点座標値を平均すれば平均像が得られる。



(a) 体形データ 1242 座標値マップ

相関係数が 0.8 を越える座標値を灰色で示した例



(b) 代表座標値 111 個 (×印) と説明範囲 (実線枠)

図2 制御点座標値マップ

### 3.2 主成分分析結果の解釈

因子負荷量および3群平均像(図3)を用いて各主成分の解釈を行った。また分析対象ではないが、必要な場合は左半身の形状も解釈の参考とした。

第1主成分は前後方向の傾斜を表すと解釈できる。図3(1)因子負荷量マップより、体幹下半分のz座標値が強く正に負荷している。これは主成分得点が高くなると、体幹下半分が体の厚みを保ったままz方向に移動し、さらにその移動量は体幹部の低い位置ほど大きいことを表す。分析範囲に下肢が含まれないため正確な解釈はできないが、I群は脊柱が伸展した反身体、III群は猫背の屈身体を表すと思われる。

第2主成分は乳房の高さを表す。主成分得点が高くなると上腹部およびウエストの制御点が上に移動し、体幹部に占めるこの部位の割合が増す。この変化を直感的に解釈すれば、体幹部に対する乳房の相対的な位置が上に移動していると考えられる。またこれに伴ってウエストにくびれが生じ、腰の厚みが薄くなるなど瘦身の体形に近づく。

第3主成分は左右方向の傾斜を表す。画像上で左半身も参考にすれば、主成分得点が負のI群被験者は右肩側に傾斜し、主成分得点が正になるIII群は左

に傾斜すると解釈できる。Ⅱ群も被験者全体の平均体形を反映しわずかに左傾斜を呈する。

第4主成分は乳房の大きさを表す。主成分得点が増すと乳房および上腹部の膨らみがなくなる。この際ややネコ背になる。また正面から見てウエストにくびれが生じ、上胸部の形状が平らになる。逆転項目としてⅢ群からⅠ群へ解釈すれば、乳房の大きさ成分と読み取ることができる。

第5主成分は肩の形状を表す。Ⅰ群からⅢ群へ撫で肩から怒り肩へと変化する。これに伴って乳房や肩甲骨等も持ち上げられる。

第6主成分は体形の豊かさを表す。主成分得点が増すと体幹部の胸部以下の厚みが増し、各群の左半身も参考にすればウエストの横径も増すことがわかる。すなわち体幹部全体が豊かになるにつれて形状自体も変化する様子を表す。Ⅰ群は瘦身体形、Ⅲ群は肥満体形である。またこの主成分は第6成分まで

で唯一、年齢との相関係数に有意性が認められた( $R=0.39$ ,  $p=0.00<0.01$ )。

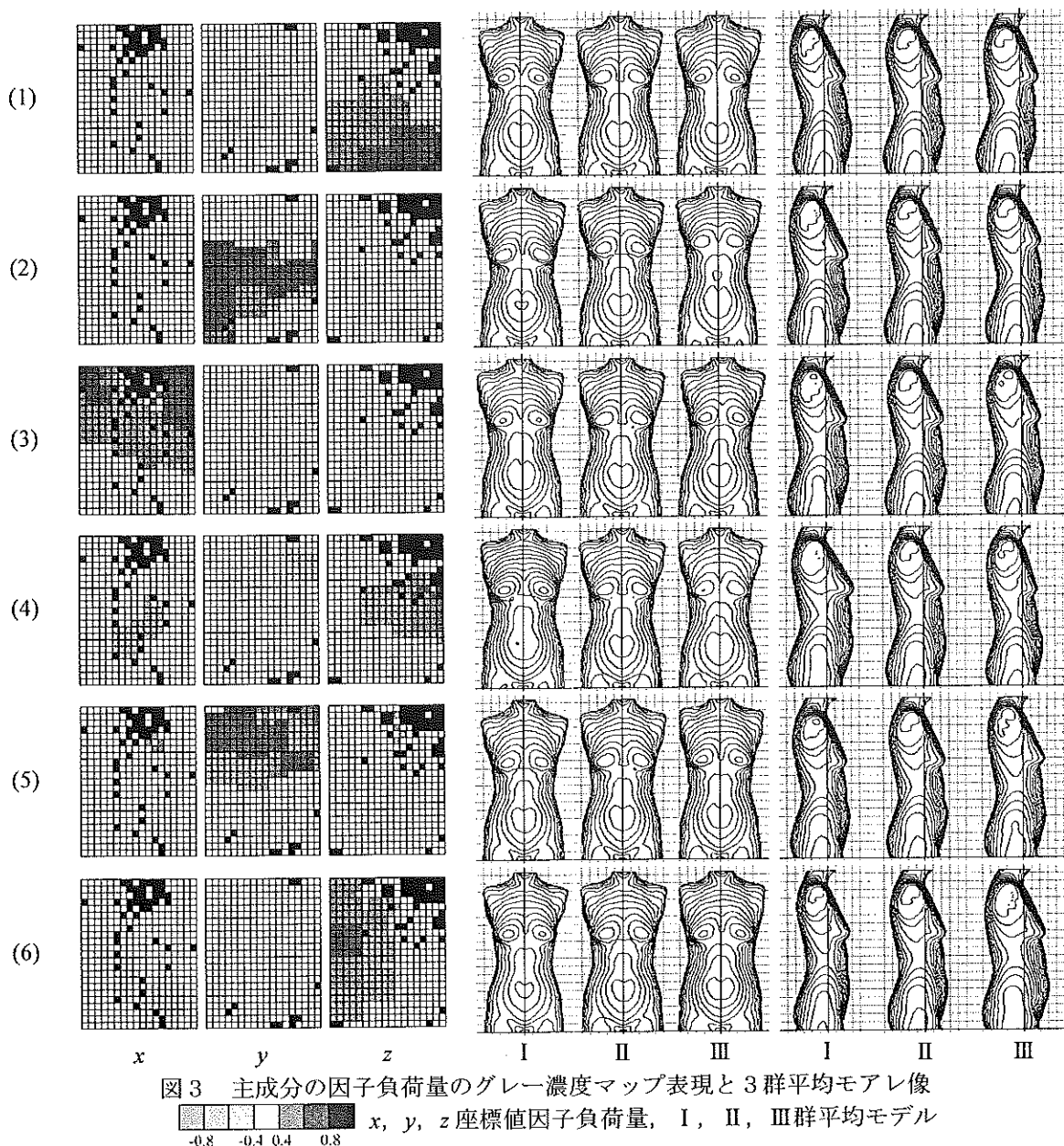
## 4 体形分類

### 4.1 体形分類の方法

体形分析で得られた第1～6主成分の主成分得点を対象データとしてクラスタ分析を適用し、被験者560名の体形を少数のクラスタに分類する。クラスタ分析では平方ユークリッド距離を用いたWard法を採用し、デンドログラムから適当なクラスタ数を決定した。また各主成分得点の分散は体形を構成する因子として意味を持つと考え、主成分得点の正規化は行わなかった。

### 4.2 体形分類の結果

デンドログラムよりクラスタの数を5つに決定した。各クラスタに分類された被験者数とデンドログ





ラムを図4に示す。また得られた5クラス C1～C5に分類された被験者の平均像を図5に示す。

#### 4.3 体形分類結果の解釈

図5より各クラスターの体形の特徴を解釈する。

C1はやや前傾姿勢を示す。属する被験者が5クラスターの中で最も多い。C2は屈身体でやや右傾斜し怒り肩である。C3は乳房の位置が低く、痩身である。C4は乳房が大きく高い位置にあり、怒り肩で肥満型である。C5は反身傾向が顕著で、乳房はやや小さい。

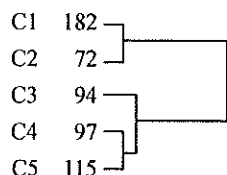


図4 各クラスターの被験者数とデンドログラム

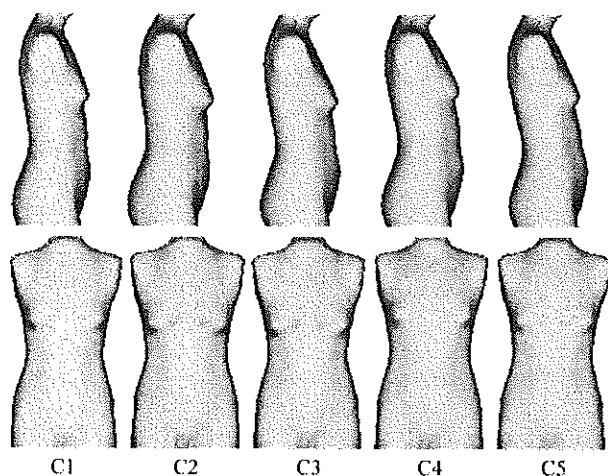


図5 クラスター別平均像

### 5 考察

#### 5.1 体形分析結果に関する考察

体幹部右半身の体形情報の63.77%を表現できる6つの主成分が抽出できた。体形情報には個別部位の形状情報も含まれているので、本研究が目的とする体幹部全体の形状は抽出した主成分で十分要約可能であると考えられる。

6つの主成分は1,2次元の体形分析法の結果や仕立て技術の知見と一致する点が多く見られる。これまで経験的、部分的にしか捉えられなかった女性の体幹部の体形因子を定量化できたと言える。

各主成分の主成分得点あるいはそれを成分とするベクトルは、個人の体幹部の体形指標として用いることができる。ただし、第1,3主成分は主に姿勢に関連していると考えられるため、フィット性を重視した衣服の設計では他の主成分に重みを置くなど、用途に応じた主成分の選択や重み付けの検討が必要であると考えられる。

#### 5.2 体形分類結果に関する考察

体幹部右半身形状を5つのクラスターに分類した。より細かい分類も可能であるが、実際の衣服設計ではサイズ値のバリエーションも考慮する必要があり、分類数はこの程度が適当ではないと思われる。

しかしながら体形分類結果には以下のような問題がある。第1に、主成分得点をそのまま用いたため第1主成分が結果に大きく影響している。第2に、機械的に分類を行ったために特異な体幹部形状を持つ被験者もいずれかのクラスターに分類した可能性がある。この2点に関しては乳房分析でいくつかの手法を検討しており(崔 他 2006)、体幹部に対しても検討が必要である。第3として、体幹部形状の主成分得点空間で被験者の分布が正規性を持つことを示唆する結果を得ている。この場合、体形分類そのものが意味を持たなくなるためこの点の分析にも着手している。

### 6 結言

本研究では人体形状モデルと日本人女性560名の3次元計測データを用いて、体幹部の体形分析と分類を行った。

#### 謝辞

日頃、データの提供などご協力を頂いている(株)ワコール人間科学研究所と、貴重な意見を多く頂いた京都工芸繊維大学ベンチャーラボラトリーの崔童殿氏に感謝する。

#### 参考文献

- Azouz, Z. B., Rioux, M., Shu, C., Lepage, R. (2006) Characterizing human shape variation using 3D anthropometric data, Visual Comput (2006), Vol.22, pp.302-314, DOI 10.1007/s00371-006-0006-6
- 崔, 中村, 黒川 (2005) 重回帰モデルによるブラジャー着装シミュレーションとその評価, 日本繊維機械学会誌, vol.58, No.6, pp.T68-T75
- 崔, 中村, 黒川 (2006) 人体モデルを用いた乳房の3次元形状の分析と分類, J. of Textile Engng., Vol.52, pp.243-251
- 鄭, 若林, 中村, 黒川 (2006) 女性の腹部3次元形状の分析と分類, ヒューマンインターフェース学会, 第10回ノンバーバルインターフェース研究会/第7回ヒューマンメディア研究会合同研究会講演予稿集, pp.63-66
- 黒川 (1997) 身体形状の計測・記述とその応用, 計測と制御, Vol.36, pp.77-83.
- 中村, 黒川 (2006) 人体形状モデルと遺伝アルゴリズムを組み合わせた身体サイズ値推定, ヒューマンインターフェース学会, 第10回ノンバーバルインターフェース研究会/第7回ヒューマンメディア研究会合同研究会講演予稿集, pp.18-25

# 人体寸法計測 2004-06 の結果報告

## Japanese Body Size Data 2004-2006

○柳浦真美子, 藤原祐子

人間生活工学研究センター 研究開発部

YANAURA Mamiko, FUJIWARA Yuko

Research and Development Division, Research Institute of Human Engineering for Quality of Life.

### 1 はじめに

人体寸法・人体形状データは、生活環境を取り巻くあらゆる工業製品の寸法や形状を決定するための最も基本となるデータである。また高齢社会における安全・安心で快適な生活の実現のためにも、人間特性に関する基盤的データの整備と充実が求められている。

このような観点から、社団法人人間生活工学研究センター（HQL）では、経済産業省からの委託事業“人間特性基盤整備事業”（2004 年度から 2006 年度）として、20 歳から 79 歳の日本人約 6,700 人の人体計測事業（愛称：size-JPN 2004-06）を実施した（報告書ダウンロード <http://www.hql.jp/research/before/063.html>）。本学会においてすでに計画概要<sup>1)</sup>および途中経過<sup>2)</sup>を報告したが、事業を終了し結果をまとめたので、その内容を報告する。

### 2 人間特性基盤整備事業の概略

HQL では、1992 年から 1994 年にかけて、日本人 34,000 人の人体寸法（178 項目）と当時世界初の 3 次元人体形状の計測事業を実施した（HQL データベース 1992-1994：<http://www.hql.jp/project/size1992/>）。しかしこの事業から 10 数年が経過し、日本人の体格や形状に変化があると予想されること、また産業界からも新たな人体寸法データへの期待が高まったことから、今回新たに計測事業を実施した。本計測事業における計測の概略を表 1 に示す。また年齢層別被計測者数を図 1 に示す。

### 3 計測項目と計測方法

#### 3.1 人体寸法の項目

計測項目の選定にあたっては、以下の 6 つの規格等から必要な項目を検討し、さらに産業界からの要望の高かった項目を加えた（表 2）。

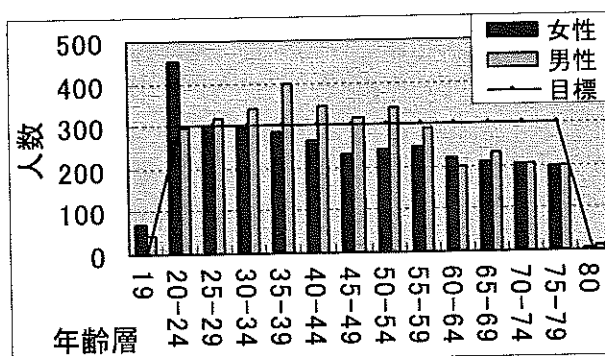


図 1 年齢層別被計測者数

表 1 size-JPN 2004-06 における計測の概略

|         |                                                             |
|---------|-------------------------------------------------------------|
| 計測実施期間  | 2004 年 10 月～2006 年 10 月                                     |
| 被計測者数   | 6,742 人<br>男性：3,530 人、<br>女性：3,212 人                        |
| 年齢層     | 20 歳～79 歳                                                   |
| 寸法項目数   | 240 項目<br>手計測：155 項目、<br>計算：8 項目、<br>3D 形状データから算出：<br>77 項目 |
| 3D 形状計測 | 全身 3 姿勢、足部、手部                                               |
| 計測所要時間  | 約 70 分/人                                                    |
| 計測地域    | 東京、大阪、神戸                                                    |

- ①日本人の体格調査報告書（1978-81）
- ②JIS/L0111 衣料のための身体用語-1983(2003 確認)
- ③ISO/3635 Size designation of clothes  
—Definitions and body measurement procedure
- ④ISO/7250 第 1 版 1996-07-15 工業デザインのための基本人体測定項目
- ⑤JIS/Z8500：2002（JES/JSA）人間工学—設計のための基本人体測定項目
- ⑥日本人の人体計測データベース 1992-1994(HQL)

表2 寸法計測項目

| 規格     | ①                             | ②  | ③  | ④  | ⑤  | ⑥   | 企業 |
|--------|-------------------------------|----|----|----|----|-----|----|
| 項目数    | 59                            | 64 | 13 | 56 | 85 | 126 | 58 |
| ⑤までの合計 | 136 項目／規格全 159 項目中<br>(重複を除く) |    |    |    |    |     |    |
| ⑥までの合計 | 167 項目／規格全 239 項目中<br>(重複を除く) |    |    |    |    |     |    |
| 合計     | 240 項目 (重複を除く)                |    |    |    |    |     |    |

### 3.2 寸法計測方法

計測着衣については、後述する。

計測に際しては、約 100 箇所の解剖学的特徴点をアイライナーでマークした。

寸法は、以下の 3 方法で取得した。

i 手計測 (伝統的な方法) : マルチン式人体計測器 (アントロポメータ、桿状計、滑動計、触角計、巻尺等) を用いて 155 項目を手計測した。計測姿勢は立位姿勢 (頭部は前方に向け耳眼水平、上肢は自然下垂、足は踵をつけて立ちつま先を自然に開く) を基本とし、必要に応じて他の姿勢を被計測者に指示した。

ii 計算 : 手計測項目から計算より 8 項目を算出した。

iii 3 次元形状計測データから寸法算出 : 全身の 3 次元形状計測データの各解剖学的特徴点の座標から寸法を算出した (40 項目)。足部と手部の 3 次元形状計測器からは、装置の寸法自動算出機能により寸法を取得した (各 13 項目、24 項目)。

### 3.3 3 次元形状計測

手作業による身体各部位の寸法計測の他に、3 次元形状計測器を用いて全身、手、足の表面形状を計測した。全身は、(株)浜野エンジニアリング VOXELAN LPW-2000FW、足部は(株)アイウェアラボラトリー INFOOT Compact、手部は(株)プレックス立体計測機 BC-01、をそれぞれ用いた (図2)。全身と足部の計測に際しては解剖学的特徴点をシールでマークした。

また全身の計測は 3 姿勢で行った。図3に 3 姿勢を示す。姿勢1 : 正立位。姿勢2 : 上肢・下肢外転立位 (ISO 20685<sup>3)</sup> 推奨姿勢)。姿勢3 : 座位。

## 4 信頼性の確保

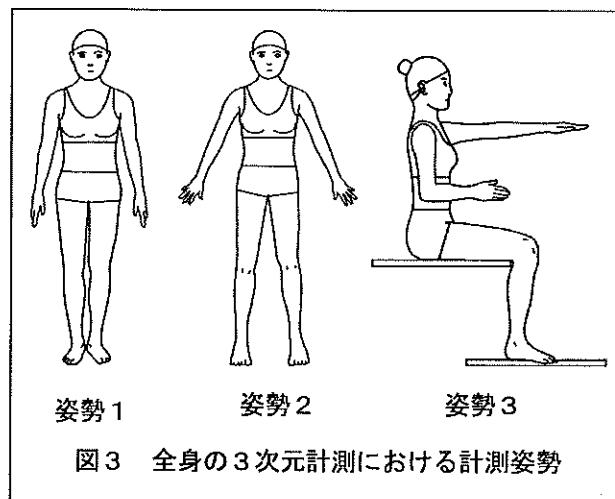
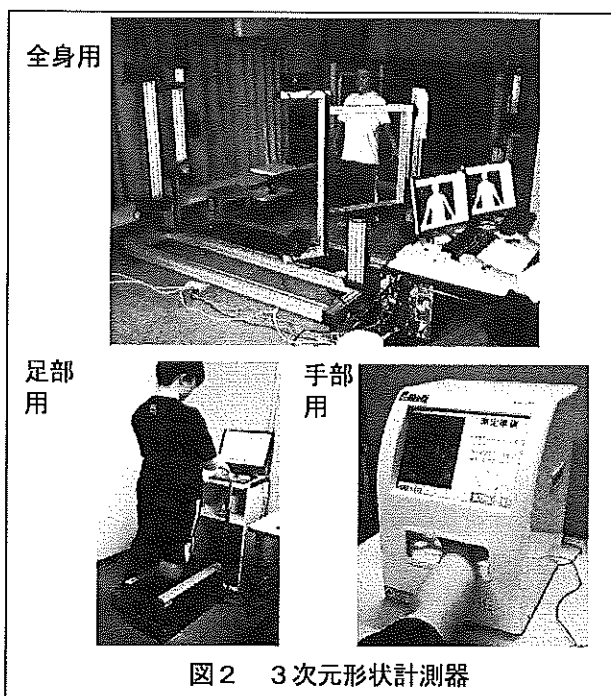
### 4.1 計測者

本事業のために 6 名の計測者を養成した。計測者に関し、1) 各計測者とエキスパートとの差 (正確さ)、

2) 計測者間および各計測者内でのバラツキ (精密さ) をできるだけ小さくするために、計測期間中随時計測技術レベルのチェックを行い、計測値の精度の確保に努めた。

### 4.2 計測着衣

計測着衣は、1) 人体の本来の形を変えず、ヌードに近い状態で体を包む、2) 女性のブラジャーは (バストの下垂が見られる場合を考慮し) バストを本来あるべき位置に支え本来あるべき形に整える、ことを基本要素とし、これを満たす既製品を調査・検討した。その結果、ゲンゼ製ボタナブリーフ改良品 (男性)、ワコール製マイクロピプス (ボーイングス、女性ショーツ) とウエキング用ハーフトップ改良品 (女性ブラジャー) を使用した (図4)。



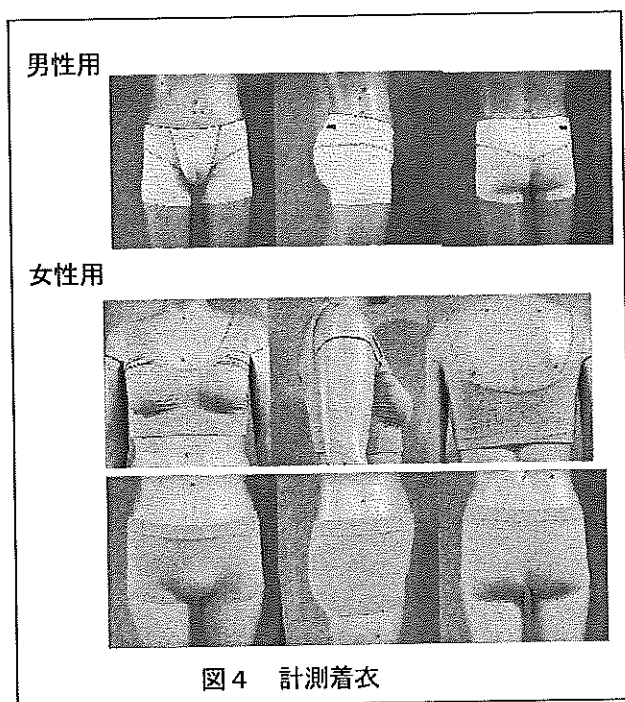


図4 計測着衣

#### 4.3 人体寸法データの処理

計測された寸法データは、ISO 15535<sup>4</sup>に基づき、散布図を用いてデータ編集及び異常データ削除を行っている。また、全身の3次元形状データから算出した寸法項目については、ISO 20685<sup>3</sup>に基づき手計測値との差異を検証した。

#### 4.4 被計測者の体格

被計測者の体格に偏りがないか、文部科学省調査 ([http://www.mext.go.jp/b\\_menu/toukei/001/index22.htm](http://www.mext.go.jp/b_menu/toukei/001/index22.htm)) の身長・体重平均値と比較した。その結果を図5に示す。男性 20～24 歳の年齢層を除いて、両者に大きな差異は認められず、体格に偏りがないことを確認した。男性 20～24 歳は文部科学省調査に比べ、身長平均値は同程度であるが、体重平均値が約 3kg 軽かった。

#### 5 12 年前との体格比較

約 12 年前 (1992-94 年) の HQL 計測データと本事業データを比較し、日本人の体格変化を確認した (図6)。

身長は若い年齢層では大きな差はないが、35 歳以上で 12 年前より高くなった。体重は、男性は 30 歳以上で重くなり、女性は 12 年前と同程度であった。BMI は、男性は 30 歳以上で高く、女性は低くなった。すなわち 12 年前と比較し、中年以上の男性は太り、女性は

細くなったといえる。

バスト囲、UB 囲、臀突囲は体重あるいは BMI と同様の傾向を示した。

なお男性の 20 歳前半の被計測者は、図 5 から明らかなように、文科省データと比較して体重が低い傾向が観察され、体重に偏りがあったと考えられる。図 6 (b),(c),(d),(f)において、男性 20 歳前半の平均値が 12 年前より著しく小さいが、この体重の偏りが影響したと考えている。

#### 6 おわりに

2004 年から 2006 年に実施した人間特性基盤整備事業の結果を述べた。本事業で取得したデータのうち、寸法データと全身の 3 次元形状データ (顔面平滑化処理済み) は HQL により公開 (有償) している。はじめに述べたように人体寸法・人体形状データは、生活環境を取り巻くあらゆる工業製品の寸法や形状を決定するための最も基本となるデータである。ぜひ活用願いたい。

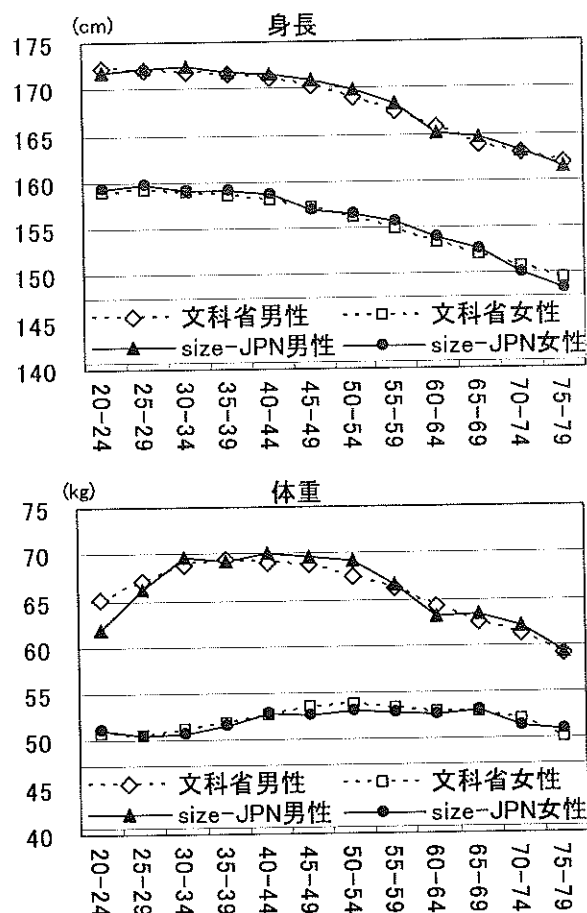


図5 文科省データとの身長・体重平均値  
上段：身長、下段：体重 (年齢は満年齢)

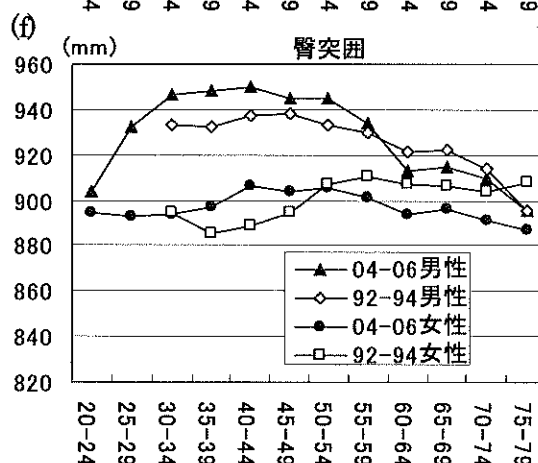
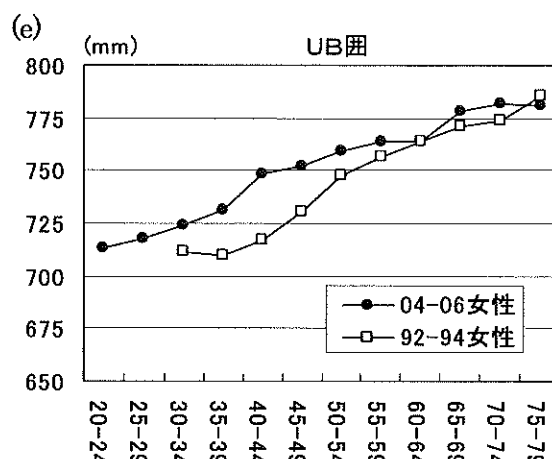
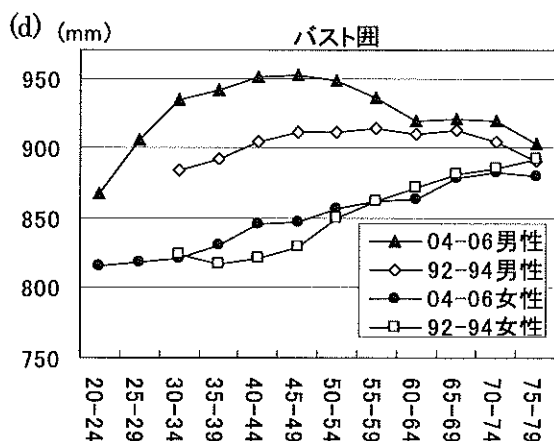
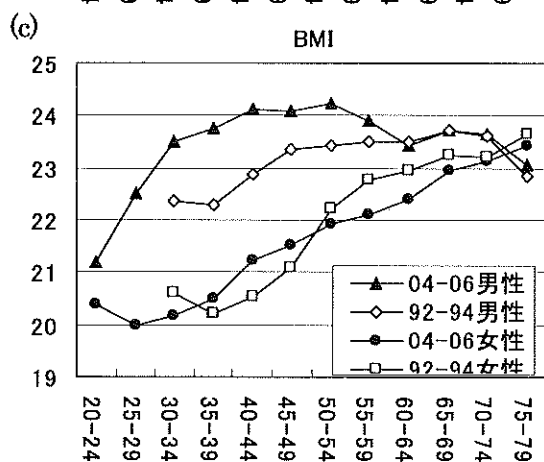
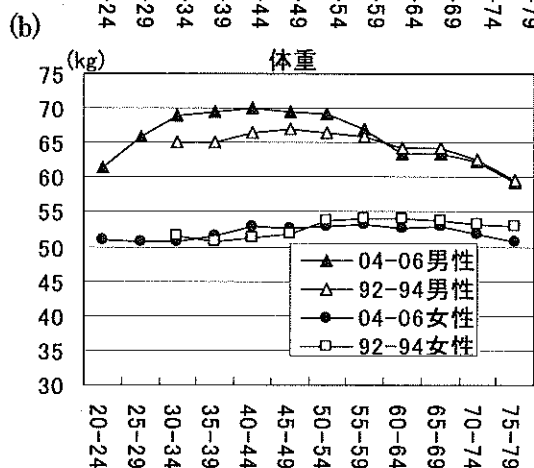
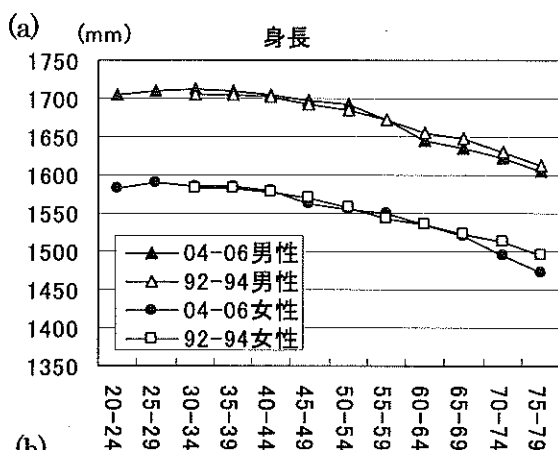


図6 12年前のHQL計測データと比較  
(a) 身長、(b) 体重、(c) BMI、(d) バスト囲、  
(e) アンダーバスト囲、(f) 臀突囲

#### 参考文献

- 1) 平田多津子、今岡春樹、間壁治子、河内まき子: 日本人の体格調査実施計画について、平成 16 年度 日本人間工学会関西支部大会講演論文集, pp.74-75 (2004).
- 2) 中井隆洋、今岡春樹、間壁治子、持丸正明、河内まき子: 日本人 7,000 人の人体計測事業(size-JPN 2004-06), 日本人間工学会・関東支部第 36 回大会講演集, pp.139-140 (2006).
- 3) ISO 20685: 2005 3-D scanning methodologies for internationally compatible anthropometric databases (国際的互換性のある人体計測データベースのための 3D スキャニングの方法)
- 4) ISO 15535: 2003 General requirements for establishing anthropometric databases.

## 平成 19 年度 日本人間工学会 関西支部大会

### 大会長

市橋 秀友（大阪府立大学・大学院工学研究科・知能情報工学分野 教授）

### 事務局長

有馬 正和（大阪府立大学・大学院工学研究科・海洋システム工学分野 准教授）

### 大会実行補佐

本多 克宏（大阪府立大学・大学院工学研究科・知能情報工学分野 助教）

野津 亮 （大阪府立大学・大学院工学研究科・知能情報工学分野 助教）

荒木 博道，池淵 卓郎，市橋 伸理，馬場 祐太，太田 圭一，能見 光司，

守田 昌弘，柳田 康太，義平 真昭，吉村 昂大，脇水 俊行，和田 英樹

## 平成 19 年度 日本人間工学会 関西支部大会 講演論文集

発行日 2007 年 12 月 1 日

発行者 平成 19 年度日本人間工学会関西支部大会事務局

〒599-8531 大阪府堺市中区学園町 1-1

大阪府立大学・大学院工学研究科・海洋システム工学分野・有馬研究室内

Tel 072-254-9342（ダイヤル） Fax 072-254-9914（分野事務局）

Email jeskb19@arima-labo.jp

大会ホームページ <http://arima-labo.jp/jeskb19/>

印刷所 株式会社 春日