平成３０年度

日本人間工学会北海道支部大会

講演集

開催日：平成３０年９月１５日（土）

会　場：国立大学法人 小樽商科大学札幌サテライト

主　催：日本人間工学会北海道支部

平成 30 年度日本人間工学会北海道支部大会プログラム

開催日：平成 30 年 9 月 15 日（土）
会場：　国立大学法人小樽商科大学札幌サテライト
〒060-0005 札幌市中央区北 5 条西 5 丁目 7 番地　sapporo５５ビル３階
http://www.otaru-uc.ac.jp/hkyomu1/satellite/satellit6.htm

大会プログラム
12:50～　　受付開始

【支部総会】　支部長：平沢 尚毅
13:00～13:30　　日本人間工学会北海道支部総会

【支部大会】大会長：小林 大二（千歳科学技術大学）
13:40～13:45　　**開会の辞　大会長：小林 大二（千歳科学技術大学）**

13:45～15:15　　**一般演題　座長：平沢尚毅（小樽商科大学）**
１．手触りに異方性のあるボタンの有効性に関する研究
三浦 才輝、南條 頌貴、小林 大二（千歳科学技術大学）
２．自動走行システムにおける安全性評価と認証に関する研究
山田　敏弥、卓田　郁也、平沢　尚毅（小樽商科大学）
３．人工知能における Ethical issues に対する基本原則の考察
卓田　郁也、山田　敏弥、平沢　尚毅（小樽商科大学）
４．利用品質メトリクスワークショップの紹介
平沢　尚毅（小樽商科大学）

15:15～15:30　　**休憩**

15:30～16:55　**基調講演（PIE 研究部会協賛）**
心拍変動性スペクトル解析　－その手順と留意点－
三宅 晋司（産業医科大学産業保健学部）

16:55～17:05　　**人間工学専門家認定機構からのお知らせ**
17:05～17:10　　**閉会の辞**　大会長：小林 大二（千歳科学技術大学）

【懇親会】

18:00～

北海道料理 こふじ

http://www.kofuji.com/

北海道札幌市中央区北 2 条西 3 丁目 1-31 バックストーンビル　Ｂ１

TEL （０１１）２２１－１２６０

一 般 演 題

手触りに異方性のあるボタンの有効性に関する研究

○三浦 才輝，南條 頌貴，小林 大二（千歳科学技術大学）

Study on the effectiveness of applying anisotropic haptic texture to paired buttons for user interface

１．はじめに

携帯型電子機器が普及している現在も，機器のボタンは主要なユーザインタフェースの操作機器として多用され，ユーザには触感に頼ったボタン操作が求められる場面が増えている。例えば，図1のようなスマートフォンや携帯型オーディオプレイヤーの音量や曲を触感に頼って変更しようとすると，ユーザはポケットなどに入れた機器のボタンから，目的のボタンを手探りで選択し押す。このような場面では，自身の力覚や触覚を利用した能動的な状況・環境の把握が行われる。このような，能動的な力覚や触覚のことを能動的触覚(ハプティク)と言う。

図1　携帯型オーディオ機器のボタン

自動車のフロント／リア・フォグランプを点灯する場合も同様であり，ドライバーは運転中に前方を見ながら触力覚に頼ってフォグランプのボタンを探して操作することがある。大抵，ランプの操作は暗がりで行われるため，ボタンに付記された機能を表す視覚的シンボル，例えば，ピクトグラムは役に立たない。

このようにハプティクによるボタンの識別が難しい状況でボタンを間違えずに押すためには，ボタン選択の手掛かりとなる情報を利用者に提示する必要がある。

ハプティクによるボタン選択では，ボタンの配置も1つの手掛かりとなる。ボタンの配置と対応する機能に関しては，国際規格(ISO 1530)および日本工業規格(JIS Z 8907)の「対象物の変化と操作機器との整合のための対語」に基づいて設計することが推奨されている[1)]。しかし，この推奨事項を知らない利用者は，ハプティクによるボタン配置の手掛かりでボタン選択をすることは難しい。

視覚に頼らずにボタンを選択できるようにするためには，ボタンの配置による手掛かりに加えてボタン表面の触感に基づく情報を提示する方法が考えられる。

触感で把握できるボタン表面の形状とボタンの機能との関係については，アクセシビリティに関する日本工業規格JIS S0011:2013「高齢者・障害者配慮設計指針−消費生活用製品における凸点及び凸バー」で規定されている[2)]。しかし，この規格で適用可能なボタンの機能は限定的であり，近年販売されているスマート家電のような機器のボタンを見ても，規格が採用されているケースは少ない。さらに，この規格を適用するためには，ボタンの形状を設計する段階で決める必要があり，販売されている製品のボタンの形状を変更することは難しい。

そこで，ユーザがハプティクスによってボタンに割り当てられた制御対象および機能を把握できるようにする新たな方法を考案する必要がある。

ボタンの素材の触感とその触感に基づいてユーザが抱くボタンの機能または制御対象の位置に関するイメージとの関係性を調べた研究はある。先行研究においても，ボタンの触感の柔らかさや摩擦感の違いによって，ユーザが抱くボタンの機能のイメージとの関係性を調べた。しかし，機能のイメージはボタンに触れるユーザの知識・経験，想定される利用状況によって異なり，多様なユーザが利用する家電製品などの各ボタンの触感を一概に決めることは困難であることが判った。また，触感の異なる素材をボタンごとに適用すると，製造コストなどの経済的側面から考えた場合，現実的な方法とは言えない。このような課題を解決するためには，既存のボタンの表面に他の素材を容易に貼付して利用できるようにする必要がある。

本研究で採用したボタンの素材はバイオミメティクスの分野で注目されているサメ皮（鮫皮）である。一般に，鮫皮は尾びれから頭の方向へ向かって無数の微細な爪が斜めに突き出ている。このため，サメの頭から尾びれ方向への摩擦感は最も強く，その反対方向への摩擦感は最も弱い。以

下，摩擦感が最も弱い方向を木目に倣って「順目」，最も強い方向を「逆目」と呼ぶ。また，撫でる方向によって手触りが異なる摩擦感を以下，「異方的触感」と呼ぶ。

異方的触感を持つ鮫皮をボタンに貼付し，利用者がそのボタンを撫でると，ハプティクを利用できる利用者に対象が限られるものの，ボタン表面の摩擦感から，最も強い／弱い方向を把握できる。このことによって，ボタンの触感からユーザは「ボタンが示す方向」を把握できる。そこで，順目の方向，つまり，摩擦感が最も弱い方向をボタンの機能，または，ボタンによる制御対象の位置と規則付けることで，ハプティクによる触感から各ボタンの役割を把握できる可能性を高めることができる[3)]。

例えば，音量を上げるボタンには，順目の向きが上方向／前方になるように鮫皮をボタンに貼付し，音量を下げるボタンにはその反対向きになるように鮫皮を貼付することで，ユーザがそのボタンが音量調整の役割を持っていることを知っていれば，各ボタンのいずれが音量を増減させるボタンなのかを正しく選択できる可能性が高い。

このように，一対のボタンの触感から，上下，左右といった方向性を把握できる場合，ボタンの配置と相まってユーザにボタンに割り当てられた制御対象の位置や「増減」，「上げ下げ」といった制御の方向性を連想させることが容易になる。

さらに，日本工業規格「JIS Z 8907:2012 空間的方向性及び運動方向―人間工学的要求事項」に記載されている「対象物の変化と操作機器との整合のための対語」の規則を適用すれば，上下左右などの方向を手触りで示すボタンが，例えば「右回り左回り」などの操作機器の制御方向や操作機器の位置とを関連づけることができる。しかし，ユーザが日本工業規格の対語についての知識が無ければ，このような関連付けは困難である。

そこで，本研究では，ユーザが異方的触感による手掛かりから，一対のボタンに割り当てられた操作機器の様々な位置や様々な制御の方向性を正しく連想し，ボタンを選択できる可能性を調べた。

ただし，鮫皮を貼付したボタンの表面を撫でた場合，逆目あるいは順目の向きの，いずれが制御方向，あるいは制御対象の位置を指すのかの判断はユーザに委ねることになる。

そこで本報告では，触感が均質な一対のボタンと，鮫皮を貼付してボタンの機能および制御対象の位置をハプティクで提示したボタンの2種類について，ユーザが正しいボタンを選択できる正答率を調べた。

２．方法

被験者に提示した課題は，JIS Z8907に記載されている「対象物の変化と操作機器との整合のための対語」を参考にした表1に示す8問とした。

表1　被験者に提示した課題

No.	課題
1	明るくするボタンと暗くするボタンがあります。照明を明るくするボタンを選択してください
2	音量を上げるボタンと下げるボタンがあります。音量を下げるボタンを選択してください。
3	時間を進めるボタンと戻すボタンがあります。時間を進めるボタンを選択してください。
4	温度を上げるボタンと下げるボタンがあります。温度を下げるボタンを選択してください。
5	右を指すボタンと左を指すボタンがあります。右を指すボタンを選択してください。
6	前方を点灯させるボタンと後方を点灯させるボタンがあります。後方を点灯させるボタンを選択してください。
7	上の階に行くボタンと下の階に行くボタンがあります。上の階に行くボタンを選択してください。
8	加速するボタンと減速するボタンがあります。減速するボタンを選択してください。

被験者は，20～25歳の男子学生58人および22歳の女子学生2人の計60人とし，実験は30人を2グループに分けた被験者間計画のもとで行った。

実験では，まず，20～24歳の男性29人および21歳の女性1人の計30人に次の方法で鮫皮の逆目の方向を正しく知覚できることを確認した。

このテストでは，図2に示す2cm角の鮫皮を，図中の矢印で示す方向が逆目（図2右）になるように設置した刺激を（図2中央），各被験者に利き手の人差し指で撫でさせて摩擦感を最も強く感じる方向を口頭で回答させた。

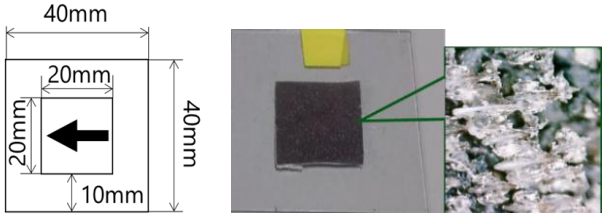

図2　逆目の方向の知覚を調べるための刺激

このテストで逆目の向きを正しく回答した被験者に図3の鮫皮を貼付した触覚刺激を図4に示すような被験者の正面に設置した場合，および，前方

に設置した場合の2条件のもとで，表1の8問をランダムに提示し，被験者に該当するボタンを押させた。被験者には，ボタンに貼付された鮫がわの「順目」の方向が，当該ボタンの制御方向または操作対象の位置を示すことをあらかじめ教示した。

ただし，被験者に提示する一対のボタンの向きが縦の場合，横の場合のいずれかによって，課題の難しさが異なる。例えば，一対のボタンを上下に並べた場合，上のボタンが「上」や「増加」などの意味に該当することは，比較的容易に想像できる。本研究は，このような一対のボタンの配置を手掛かりにボタンの機能や制御対象の位置を容易に把握できる利用状況ではなく，この場合で言えば，例えば，ボタンが横一列に並んでいた場合に制御対象を「増加」させるボタンを選択させるといった，ボタンの配置がボタン選択の手掛かりとはならない課題を作成した。各課題でのボタンの配置は，表2および表3に示す通りとした。

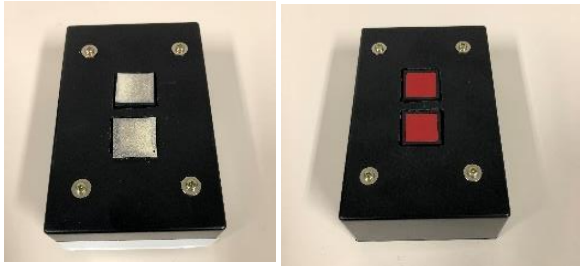

図3　鮫皮を貼付した触覚刺激（左）と

鮫皮を貼付していない触覚刺激（右）

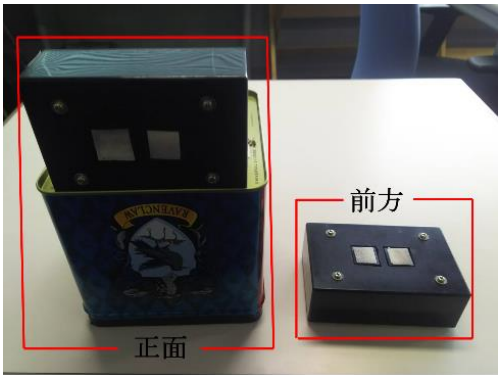

図4　触覚刺激の設置方法：

刺激を正面に設置した場合（左）と

前方に設置した場合（右）

次に残りの20～25歳の男子学生29人および22歳の女子学生１人，計30人に図3の右側に示した鮫皮を貼付していない触覚刺激を用いて鮫皮を貼付した先の実験と同様の方法で同じ課題を提示し回答させた。

測定項目は，被験者が選択したボタンと実験後に聴取したボタン選択の理由に関する口述内容とした。これらはビデオカメラを用いて記録した。

３．実験結果

鮫皮を貼付した触覚刺激を用いた場合，および貼付せずにボタンの触感が均一な触覚刺激を用いた場合の2条件について，被験者が正しいボタンを選択した割合（正答率）を算出した。同時に，正答率の95%信頼区間をAlan Agresti & Brian Caffo(2000)が提案した(1)式に則って算出した。

$$\mathrm{C.I.} = \hat{p} \pm Z_{\alpha/2}\sqrt{\frac{\hat{p}(1-\hat{p})}{\tilde{n}}} \quad \ldots (1)$$

疑似的な標本確率　$\hat{p} = \frac{(X+2)}{(n+4)}$

X ＝ある事柄が起こった回数

n ＝試行回数

$Z_{\alpha/2}$:標準正規分布の値＝1.96 (95%信頼区間を求める場合)

$\tilde{n}$:疑似的な標本数＝試行回数＋4

この結果について，触覚刺激を正面に配置した場合での結果を表2に，前方に配置した場合での結果を表3に示す。

表2および表3を見ると，課題1, 3, 8は，書着かんが均一なボタンを用いた場合においても正答率が高い。これらの課題は，我々が日常生活でよく利用しているボタン配置など，配置からボタンの機能をイメージしやすかったと言える。

一方，課題1, 3, 8以外の5つの課題では，触感が均一なボタンを提示した場合では，鮫皮を貼付したボタンの場合に比べて正答率は低い。これらのことから，ボタンの操作対象が上下あるいは前後に位置する場合，または，制御方向が増減あるいは上下の場合にボタンが左右に提示された状況，またはこの反対の状況では，鮫皮の異方的触感に基づいて正しいボタン選択ができることを確認できた。

4．まとめ

以上より，上下に動かすボタンが左右に並んで配置されている場合のように，我々が日常生活の中で利用する経験が少ないボタン配置において，鮫皮を貼付すると，ボタン選択の正答率が高まることが明らかとなった。

今後は，被験者に提示した課題を増やし，より多くの利用状況でボタンの異方的触感の有効性を確認する必要がある。

参考文献

1) JIS Z8907, 空間的方向性及び運動方向—人間工学的要求事項, 日本規格協会, 2012.
2) JIS S0011, 高齢者・障害者配慮設計指針–消費生活用製品における凸点及び凸バー, 日本規格協会, 2013.
3) Daiji Kobayashi and Yasuhiro Suzuki: “Study on Haptic Texture of Buttons for User Interfaces,” Proceedings of the 2nd Asian Conference Ergonomics and Design 2017, 568-571, 2017.

表2　刺激を正面に配置した場合の正答率

正面		触感が均一なボタン						触感に異方性のあるボタン						
No.	問題	ボタンの配置	答え	正	誤	下方信頼限界	上方信頼限界	ボタンの配置	答え	正	誤	下方信頼限界	上方信頼限界	$\chi 2$
1	照明を明るくする		上	29/30	1/30	0.82	1.01		上	30/30	0/30	0.86	1.02	0.31
2	音量を下げる		左	26/30	4/30	0.70	0.95		左	30/30	0/30	0.86	1.02	0.04
3	時間を進める		右	30/30	0/30	0.86	1.02		右	28/30	2/30	0.77	0.99	0.15
4	温度を下げる		左	27/30	3/30	0.73	0.97		左	30/30	0/30	0.86	1.02	0.08
5	右を指す		上	27/30	3/30	0.73	0.97		上	30/30	0/30	0.86	1.02	0.08
6	後方を点灯させる		左	24/30	6/30	0.62	0.91		左	29/30	1/30	0.82	1.01	0.04
7	上の階に行く		右	27/30	3/30	0.73	0.97		右	30/30	0/30	0.86	1.02	0.08
8	減速する		左	28/30	2/30	0.77	0.99		左	28/30	2/30	0.77	0.99	0.15

表3　刺激を前方に配置した場合の正答率

前方		触感が均一なボタン						触感に異方性があるボタン						
No.	問題	ボタンの配置	答え	正	誤	下方信頼限界	上方信頼限界	ボタンの配置	答え	正	誤	下方信頼限界	上方信頼限界	$\chi 2$
1	照明を明るくする		上	30/30	0/30	0.86	1.02		上	30/30	0/30	0.86	1.02	1.00
2	音量を下げる		左	27/30	3/30	0.73	0.97		左	30/30	0/30	0.86	1.02	0.08
3	時間を進める		右	30/30	0/30	0.86	1.02		右	27/30	3/30	0.73	0.97	0.08
4	温度を下げる		左	27/30	3/30	0.73	0.97		左	27/30	3/30	0.73	0.97	0.08
5	右を指す		上	26/30	4/30	0.70	0.95		上	30/30	0/30	0.86	1.02	0.04
6	後方を点灯させる		左	26/30	4/30	0.70	0.95		左	30/30	0/30	0.86	1.02	0.04
7	上の階に行く		右	23/30	7/30	0.58	0.89		右	30/30	0/30	0.86	1.02	0.01
8	減速する		左	28/30	2/30	0.77	0.99		左	28/30	2/30	0.77	0.99	1

自動走行システムにおける安全性評価と認証に関する研究

○山田　敏弥, 卓田　郁也, 平沢　尚毅,（小樽商科大学）

Safety Evaluation and Certification for Automated Driving System

Toshiya YAMADA、Fumiya TAKUTA, Naotake HIRASAWA, (Otaru-University of Commerce)

１．はじめに

交通事故の削減は、国際的に重要な課題とされており、我が国もその対策の一つとして自動走行システムが注目されている[1)]。この自動走行システムの実用化と普及に向けて、安全性に係る基準づくりの議論が行われている[2)]。例えば、安全を確保するために求められる走行環境や車両性能、評価試験の方法などが検討されている。安全性評価は、自動車の型式認証するうえで不可欠のものであり、様々な団体が国際標準規格となるための技術基盤を競っている状況である。一度、国際標準規格が策定されると、第三者による認証、取引における確認、開発者による自己適合宣言など、開発および販売に対して大きな拘束力を持つ。

周辺産業を含め産業規模が大きい自動車関連産業では、特に認証の仕組みによる波及性が高い。例えば、2011年11月に発行された、自動車用電気/電子システムの機能安全規格ISO 26262[3)]の場合は、規格への準拠が欧米系自動車メーカーへの部品の納入の際の必須要件になり、我が国の自動車産業及び部品メーカーへ多大な影響を与え続けている。

今後、我が国が自動走行システム分野における市場を獲得し、自動走行システムを社会に実装していくために、安全性に関連する認証の取り組みを事前に準備してゆくことは非常に重要と考える。

そこで、本研究では、今後、開発される様々な自動走行レベルに対して認証につながる可能性がある安全性評価にはどのようなものがあるかを調査することを目的とした。

２．自動走行レベルの定義

2.1　SAEによる定義

自動走行システムの安全について検討する上で、まず、運転操作の自動化の段階について考える必要がある。我が国ではSAEインターナショナルが2016年に発表した「自動運転のレベル定義」(SAE J3016）[4)]を基にして自動走行に関連する議論を進めている。SAEインターナショナルの定義によれば自動走行システムは、6段階のレベル（以降自動走行レベルと略す）に分類されるとしている。

レベル0は、手動運転の場合を示す。レベル1は、限られた条件内で縦方向もしくは横方向どちらかの運転操作を自動化する場合を示す。レベル2は、限られた条件内で縦及び横方向の運転操作を同時に自動化する場合を示す。レベル2までの自動走行レベルにおいて、ドライバーには常に監視責任が伴う。レベル3は、限られた条件内で縦及び横方向の運転操作を同時に自動化する場合を示す。システム作動中は、ドライバーには監視責任がないが、システムからの運転引継ぎ要請に応えられる状態になければならない。レベル4は、限られた条件内で縦及び横方向の運転操作を同時に自動化する場合を示す。システム作動中は、ドライバーには監視責任がなく、システムからの運転引継ぎ要請も発生しない。レベル5は、条件なく縦及び横方向の運転操作を同時に自動化する場合を示す。システム作動中は、ドライバーには監視責任がなく、システムからの運転引継ぎ要請も発生しない。これら6つの自動走行レベルは、次に示す3つの要素によって特徴づけられる。

(1) 運転タスク

運転タスクとは、道路交通において車両を操作する際に、リアルタイムで行う必要がある全ての操作上及び戦術上の機能を指す。具体的には、６つのサブタスクがあるが、車両運動の持続的運転制御と、対象物及び事象の検知と反応のカテゴリーに分類されている。これらのタスクを担う主体が運転手かシステムかによってレベルを分類する。

表1 自動走行レベルの定義

レベル	名称	定義	運転タスク 車両の持続的運転制御	運転タスク 対象物・事象検知・反応	フォールバック	運行設計領域
運転者が全てあるいは一部の運転タスクを実施。						
0	運転自動化なし	・運転者による、全ての運転タスクの実施。（予防安全システムによって支援されている場合を含む）	運転者	運転者	運転者	n/a（適用外）
1	運転者支援	・運転自動化システムによる、持続的かつ運行設計領域の限定的な実施。 ・運転化自動システムは、前後・左右方向のいずれかの車両制御に係る運転タスクのサブタスクを実施。（両方ではない） ・運転者は、運転タスクの残りの部分を実施することを期待。	運転者とシステム	運転者	運転者	限定的
2	部分的運転自動化	・運転自動化システムによる、持続的かつ運行設計領域の限定的な実施。 ・運転自動化システムは、前後・左右方向の両方の車両制御に係る運転タスクのサブタスクを実施。 ・運転者は、対象物・事象検知・反応のサブタスクを完成させ、運転タスクの残りの部分を監視することを期待。	システム	運転者	運転者	限定的
自動運転システムが全ての運転タスクを実施（作動中）						
3	条件付運転自動化	・自動運転システムによる、全ての運転タスクに係る持続的かつ運行設計領域の限定的な実施。 ・予備対応時利用者は、自動運転システムの発する介入要求や、他の車両システムでの運転タスク実施関連のシステム故障に対して適切に応答することを期待。	システム	システム	予備対応時利用者（フォールバック中は運転者）	限定的
4	高度運転自動化	・自動運転システムによる、全ての運転タスクに係る持続的かつ運行設計領域の限定的な実施。 ・フォールバックにおいて、利用者が介入すべく応答することは期待されない。	システム	システム	システム	限定的
5	完全運転自動化	・自動運転システムによる、全ての運転タスクに係る持続的かつ無条件（すなわち運行設計領域限定的でない）の実施。 ・フォールバックにおいて、利用者が介入すべく応答することは期待されない。	システム	システム	システム	限定なし

(2) フォールバック

フォールバックは、動的運転タスクの作動継続が困難な場合の利用者または自動走行システムによる応答を指す。

(3) 運行設計領域

運行設計領域とは、自動走行システムが機能すべく設計されている特有の条件を指す。運行設計領域には、地理、道路、環境、交通状況、速度や一時的な限界を含み、さらに高速道路、低速交通など一つあるいは複数の運転モードも含まれる。

以上の要素を踏まえると、まず、実行する運転タスクの内容とその動作主体によってレベル分けができる。全ての運転タスクをシステムが実行する場合は、レベル３以降となる。レベル３以降はフォールバックの内容によって区別される。例えば、自動走行システムによる運転タスクの作動継続が困難な場合に運転手に介入の要求を出し、代わって、そのドライバーが全ての運転タスクを実行するような場合はレベル３に対応する(図1)。一方、緊急支援を自動要請する前に自動走行システムが自動的に衝突リスクを低減する状態を達成する場合はレベル４に分類される。ただし、レベル４におけるフォールバックは運行設計領域内のみという制限がある(図2)。運行設計領域の制限が無い場合はレベル５とされる(図3)。表1に自動走行レベルの概要を示す。

図1 レベル3におけるフォールバック

図2 レベル4におけるフォールバック

図3 レベル5におけるフォールバック

2.2　自動走行レベル2の細分化

レベル2の自動走行は、現行の道路交通法に適合し、早い時期に導入が可能となるため当面の開発ターゲットとして位置付けられている。導入に向けて、現在、国連自動車基準調和世界フォーラム(以降WP29と略す)において、自動車の自動操舵機能に関する国際基準「かじ取り装置に係る協定規則（第79号)」[5]が策定され、改定の議論が進められている。主な議論の項目は、7つのカテゴリーに分けられており、これらは自動走行レベル2を細分化するものである。これらのカテゴリーは、低速の自動操舵、車線維持自動操舵、運転手あるいはシステムによる自動車線変更、連続的な自動操舵、補正操舵、緊急操舵によって分類されている。WP29では、基準の中にある高度運転者支援ステアリングシステム（ACSF：Automatically Commanded Steering Function）という項目を修正する形で必要な安全基準を検討している。

３．安全性評価の現状

3.1　自動走行レベルに応じたリスク

自動車が発明されてから100年以上の歴史を経て、様々な危険事象が生まれ分析されてきた。一方、自動走行レベルが上がることは、これまで経験したことのないリスクが生じることになる。安全性を評価することは、想定されるリスクを回避できるかを確証することでもある。そのため、レベルに応じたハザードからリスクがどのようなものかを想定した。

(1) 故障(Failure)、エラー(Error)、フォールト(Fault)

故障とは、要求された機能を実行するシステム能力の停止を指す。エラーとは、計算、観測又は測定された値あるいは条件と、実際の指定された又は理論的に正しい値あるいは条件との不一致を指す。フォールトとは、システムあるいは車両の故障を引き起こす可能性のある、異常な状態を指す。車両の場合、フォールトの状態からエラーを生じ、結果として故障が起こる。この様な状況がハードウェア及びソフトウェアにおいて、全てのレベルで起こりうる可能性がある。

(2) 性能限界

自動車の制御には理論的な限界がある。例えば、自動ブレーキが作動するはずの車両が停止しないことがある。その原因には、対象物の距離、路面状況、天候などによる見通しを正しくセンシングできないことがある。他にも夜間や照明が極端に弱い地下駐車場などで光量が足りず、正しくセンサーが働かない場合がある。この様にシステム自体に故障がないものの、想定される性能を超えた状況をセンシングできない状態が生じ、結果としてシステム要求に応えられないことが生まれる。この状況は、車両に多くのセンサーが装着され、外界の情報を処理することが求められることによって増加することが予測できる。

(3) ミスユース

ミスユースとは、ユーザーが自ら行うべき課題を自動化システムに任せる際に自動化システムを過剰使用することなどを指す。例えば、自動車の自動ブレーキシステムは、状況によって正常に動作しない可能性があるにもかかわらず、システムを過信して全ての停止タスクを任せることがある。ミスユースの事例として、2016年に米国で起きた死亡事故がある[6]。テスラモーターズ社製電気自動車がオートパイロットモードで走行中、対向車線から左折した大型トレーラーに衝突しドライバーが死亡した事故である。NHTSAの調査では、事故原因は運転監視が求められる際に、ドライバーが自動走行システムに全ての運転操作を任せたためと報告されている。この様に完全ではない自動走行システムに運転全般を任せる結果、危険な状況に陥ることが想定される。

(4) 通信に関するハザード

自動車に通信ネットワーク技術が導入されて以来、様々な通信システムが開発されてきた。近年では、無線通信を活用して車両同士が情報をやり取りする車車間通信システム、車両が社会インフラと接続される路車間通信システムが期待されている。一方、通信が安全上の問題につながる可能性がある。実際に、サイバー攻撃による車両の鍵の開閉、エンジンの操作などが実証されている[7]。また、車車間通信を行う車両に偽の急ブレーキ情報が通知され、後続車が追突する危険性もある。路車間通信では、路側機から先行車と後続車に向けて矛盾する情報が送信されることも考えられる。この様に通信に問題が生じ、様々なリスクが発生

することが考えられる。

(5) システム失敗(System Failure)

システム自体に故障がないものの、人間にとって不都合な判断をシステムが行う状況が生じて、リスクが生じることがある。例えば、レベル2以降の自動走行中、ドライバーへ緊急の権限移譲が求められる状況でシステムが認識できず、ドライバーへ制御を引き渡さないことが考えられる。また、ドライバーか歩行者のどちらかの安全を確保しなければならない時、システムが適切な判断をできないことが生じる可能性がある(図4)。システムが設計通りに動いている場合でも、必ずしも人間の期待に沿わない自動走行が行われるリスクがある。

図4　自動走行における倫理上の課題の例
(出典：J. Christian Gerdes, AVS 2015)

(6) その他新たに考えられるハザード

自動走行システムから手動運転へ権限委譲される際に生じるリスクや、車両が他の車両のドライバーや歩行者と適切なコミュニケーションをとることができない場合に生じるリスク、レベル４以上のシステムで、ある故障が起こり、自動走行システムが機能しなくなった際に、搭乗者が直面する様々なリスクなど、これまでに経験したことのないリスクが生じる可能性がある(図5)。

3.2　安全性評価法

前述のように、自動走行システムが実現されることによって、これまで経験したことのない危険事象が生じる可能性がある。これからの安全性評価法には、これらの危険事象に対してどのような対策が適切にとられているか確認することが求められる。ここでは、現在、どのような安全性評価法があるのかを挙げる。

(1) 機能安全の評価

車両の電気/電子システムの機能安全に関する規格がISO 26262である。この規格では、ドライバー、乗員や交通参加者などへ害を及ぼす可能性のある故障や誤作動を起こすハザードを特定し、危害の重大度、発生頻度、回避可能性の観点からリスクの大きさを見積もり、許容可能なハザードのレベル（ASIL）を決定する。このレベルに基づいて電気/電子システムに故障が発生した際の安全機構を設け、ハザードを低減する安全設計の取り組みを評価するものである。

図5 自動走行システム導入時に想定されるリスクの例

(2) Safety Of The Intended Functionality（以降SOTIFと略す）

システムが設計の意図したとおり安全に作動することを評価するための考え方としてSOTIFがある。SOTIFに基づいて証明されると、システムの故障以外の性能限界や操作環境の変化による誤操作、ミスユースのようなハザードに対応できると考えられている。現在、この状況におけるハザードに対応していることを評価する安全評価法が、ISO/TC22/SC32において、ISO/PRF PAS 21448[8]として検討されている。

(3) サイバーセキュリティ対策

車両に関わる様々な通信ネットワークの安全性の確保がサイバーセキュリティ対策として検討されている[9]。例えば、外部通信により正しい情報が得られない場合や情報がなりすまされた場合に安全を確保する多層防御、フェールセーフ設計の方式が検討されている。

3.2 安全性評価法の可能性と限界

これらの安全性評価法が、前述のハザードから生じるリスクにどのように対応するかを整理した結果が表２である。一般的な車両システムの故障に関するハザードは、機能安全による対応で可能である。故障は、全ての自動走行のレベルに存在するため機能安全の対策は基本である。レベル２以降になると、性能限界やミスユースによるハザードが存在する。これは、現在、審議されている、SOTIFがカバーすることを期待できる。一方、通信関係による危険事象の影響度が自動走行のレベルが上がるに連れて大きくなることから、その評価方法も精度を上げる必要があり、今後も変化してゆくことが考えられる。そのため、通信システムへの安全性評価に基づく認証は今後の重要な課題になると考えられる。

レベル３以降で想定されるハザードについては、リスクを想定すること自体が過程にあるため、安全性評価については未だ明確になっていないと考えられる。しかしながら、ドイツでは、国家的な戦略としてレベル３に対する安全性評価法を想定した、PEGASUSプロジェクト[10]が立ち上げられている。このプロジェクトはレベル３以降を目指した唯一の施策であると思われる。

4. まとめ

本報では、SAEが提唱している自動走行レベルを確認した上で、レベルに応じたハザードを想定し、それに対する安全性評価の現状を調査してきた結果を報告した。自動走行は、国家戦略に基づいた、国の将来を左右する巨大なプロジェクトとなっている。そのため、技術開発と並行して、社会に普及、定着させるには、安全性確保を前提として、社会的に安心感を醸成する必要がある。それ故に、適切で確実な安全性評価法の確立は必須事項である。そのためには、現段階からハザードを可能な限り想定してゆく必要ある。そのための効果的な方法を確立することが求められると考えている。

表2 ハザードから想定されるリスクと安全性評価

ハザード／自動走行レベル	故障/不具合	性能限界	ミスユース	通信関連			システム失敗	権限委譲	環境との相互作用	操作の許容
				車両の遠隔操作	車対車	車対インフラ				
安全性評価	機能安全	SOTIF		サイバーセキュリティ						
0:運転自動化なし	・ハードウェアの故障により機能が正常に作動しない。 ・ソフトウェアの設計ミスによるバグにより機能が正常に作動しない。	・摩擦係数の少ない路面でのカーブを曲がりきれない。 ・ミリ波レーダーが乱反射し、前走車ではなく別の対象物を認識する。 ・雪の付着や強い逆光でセンサーが働かない ・工事現場のパイロンを認識出来ず、回避しきれない	・ドライバーがシステムを理解できていない。 ・ドライバーがシステムを誤認識している。 ・ドライバーが複数の作動モードのうちのどのモードで作動しているのかが正しく把握できない。 ・ドライバーがシステムからの引き継ぎ要請に対応できない。	・第三者がドアを開錠する。 ・第三者がエンジンをスタートさせる。 ・第三者に制御が乗っ取られる。 ・電子制御が突然停止し、ドライバーに制御権が委譲される。	・緊急車両走行時に一般の自動走行車両が退避しない。 ・多数の車両が存在する中での通信到達率が下がる。	・通信が遅延し、車に情報が遅れて届く。 ・電波干渉が起き、車に情報が届かない。				
1:運転者支援										
2:部分的運転自動化							・判断の自動化に対して、コンピュータのロジックと人の倫理観が相容れない。 ・システムが誤解して、ドライバーへの制御引き継ぎの必要性を感じない。 ・高速道路合流時にドライバーが危険と判断したのに合流を続ける。			
3:条件付運転自動化								・ドライバーに制御引継ぎを要請する場合、十分な時間を確保できない。	・ドライバーが自動走行車両が何を考え、何をしようとしているのかわからない。 ・通行人が自動走行車両が何を考え、何をしようとしているのかわからない。	
4:高度運転自動化										・震災時など運行設計領域外でシステムを作動させることができない。
5:完全運転自動化										

参考文献

1) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議：“官民ITS構想・ロードマップ2018”, https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20180615/siryou9.pdf, 2018.
2) 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部・官民データ活用推進戦略会議：“自動運転に係る制度整備大綱”, https://www.kantei.go.jp/jp/singi/it2/kettei/pdf/20180413/auto_drive.pdf, 2018.
3) ISO26262:2011 Road vehicles-Functional safety-International Organization for Standard.
4) 内閣府：“戦略的イノベーション創造プログラム（SIP）自動走行システム研究開発計画”, http://www8.cao.go.jp/cstp/gaiyo/sip/keikaku/6_jidousoukou.pdf, 2018.
5) 国連欧州経済委員会自動車基準調和世界フォーラム：“協定規則第79号 かじ取装置に係る車両の認可に関する統一規定”, http://www.mlit.go.jp/common/001175116.pdf, 2017.
6) National Transportation Safety Board：“Collision Between a Car Operating With Automated Vehicle Control Systems and a Tractor-Semitrailer Truck Near Williston, Florida, May 7, 2016”, https://www.ntsb.gov/investigations/AccidentReports/Reports/HAR1702.pdf, 2017.
7) FRANCILLON, Aurélien et al：“Relay attacks on passive keyless entry and start systems in modern cars”, Proceedings of the Network and Distributed System Security Symposium, San Diego, California, USA, 2011.
8) ISO/PRF PAS 21448:2018 Road vehicles -- Safety of the intended functionality.
9) 経済産業省・国土交通省自動走行ビジネス検討会：“自動走行システムにおけるサイバーセキュリティ対策”, http://www.meti.go.jp/committee/kenkyukai/seizou/jido_soukou/pdf/sankou_002.pdf, 2018.
10) German Aerospace Center（DLR）：“PEGASUS RESEARCH PROJECT”, https://www.pegasusprojekt.de/en/home,（参照 2018-09-11）

人工知能のEthical issuesの基本原則に関する考察

卓田　郁也、山田　敏弥、平沢　尚毅（小樽商科大学）

A Discussion on Fundamental Principles for Ethical Issues of AI

Fumiya Takuta, Toshiya Yamada, and Naotake Hirasawa (Otaru University of Commerce)

１．はじめに

近年、人工知能技術が急速に発展してきている。人工知能技術の発展により、人工知能は人間と同等あるいはそれ以上の成果を出すことが増えてきた。例えば、人工知能を利用した画像認識の精度は劇的に向上した。また、将棋や囲碁などを専門とした人工知能が各分野のプロに勝利するといった事例も数多く発生している。こうしたことから、人間社会を大きく発展させる存在として、人工知能技術に一層の期待が寄せられるようになった。

一方で、新たな課題が浮き彫りになってきている。その一つが、「Ethical issues」と呼ばれる、人工知能の倫理問題への対処である。近年の人工知能技術を用いた人工知能の多くは、従来のものと異なり自律性の高い学習を行う。それにより、人工知能の判断基準はブラックボックス化し、完全には制御ができなくなった。実際に、米マイクロソフト社が2016年3月23日にTwitter上で公開した、ユーザと会話する人工知能「Tay」[1]は、開発者の意図に反して人種差別的発言を繰り返した。そして、Tayは公開翌日の公開停止を余儀なくされた。

従来の人工知能は、開発者や運用者が学習を含めた全ての挙動を制御しており、彼らが倫理的でさえあれば人工知能の差別発言といった倫理問題は発生し得なかった。そのため、従来の人工知能に関わる倫理原則は、その開発者や運用者を対象とするものが主であった。しかし、開発者の意図しない差別発言といった問題の発生によって、人工知能と倫理原則を取り巻くフレームワークが変化してきている。従来のフレームワークと新たなフレームワークを図１に示す。先述の通り、人工知能が開発者や運用者の意図しない挙動をするような事例が発生するようになっている。そのため、新たなフレームワークでは人工知能それ自体に倫理原則が適用される必要が出てきている。

２．研究目的

人工知能と倫理原則を取り巻くフレームワークの変化に応じて、実際にEthical issuesに関する原則やガイドラインを策定する動きが広まっている。将来的には対応する国際標準が制定されると予想されるが、現状では各組織が独自に原則・ガイドラインを打ち出すのみに留まっている。従って、それぞれの基本的な思想や指針が共有されず、倫理的な人工知能の具体的な設計や運用の方針が依然として定まっていない。そこで、本研究では国際標準の制定に先駆けて、現存するEthical issuesに関する原則・ガイドラインの分析を行い、共通項を明らかにする。そして、共通する思想、分野や立場における相違点を導き出し、具体的な設計や運用の応用の在り方を考察していきたい。その前段階として、今回は次のような点について整理

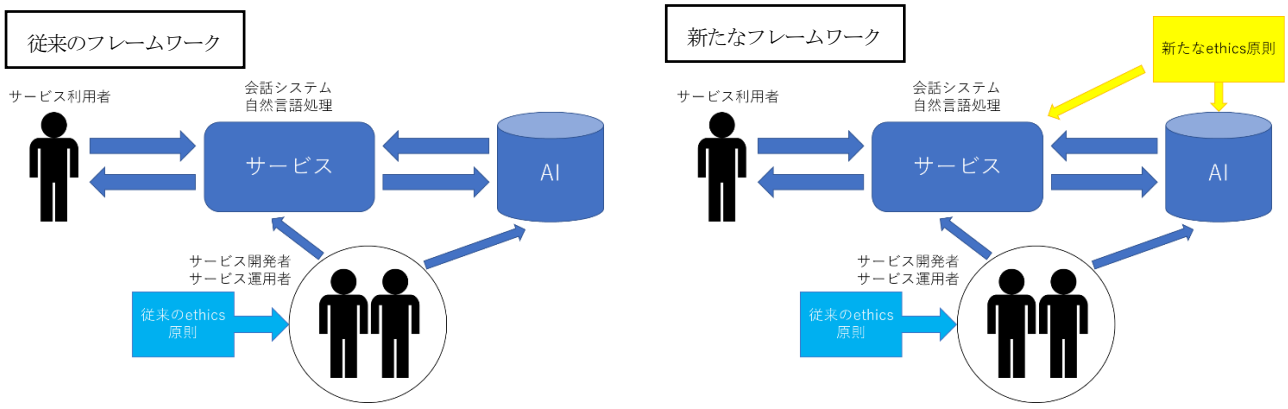

図１．AIサービスの従来のフレームワーク（左）と新たなフレームワーク（右）

する。

(1) 人工知能のEthical issuesについて、どのような事例が発生しているのか。

(2) 人工知能のEthical issuesに関わる原則・ガイドラインについて、どのような観点で議論されているのか。

そして、この結果をもとに今後の研究をどのように進めていくかの方針を定める。

3．人工知能におけるEthical issues

3-1　Ethical issuesの構成概念

本研究ではまず、今後取り扱っていく人工知能のEthical issuesの構成概念について整理する。人工技能技術の発展によって発生した(あるいは発生が予想される)新たなEthical issuesは、主に次のような要因から懸念されている。

(1) 開発者や運用者が、人工知能の判断基準を完全には制御しきれなくなるというリスクが懸念されるようになった[2)]こと。

(2) 人工知能の性能が向上したことで、人類にとって重要な意思決定に影響を与える可能性が出てきた[3)]こと。

(3) 人工知能がより幅広い領域で人間社会に浸透する[4)](浸透することが予想される)ようになったこと。

(1)から懸念されるEthical issuesの例としては、以下のようなものが挙げられる。

- 人工知能の開発者や運用者が倫理原則に従っていても、人工知能が倫理的な挙動をしない可能性がある。
- 人工知能が倫理的に問題のある判断をした場合、開発者や運用者がその判断の理由を説明できない可能性がある。

(2)から懸念されるEthical issuesの例としては以下のようなものが挙げられる。

- 人工知能が倫理的に問題のある挙動をした場合、人間社会に致命的な影響を与える可能性がある。
- 人工知能が悪用された場合、人間社会に重大な損害を与える可能性がある。

(3)から懸念されるEthical issuesの例としては、以下のようなものが挙げられる。

- 人工知能が幅広く浸透した場合、人間の職を奪う可能性がある。
- 倫理的に問題のある人工知能が設計開発された場合、その影響が広範にわたる可能性がある。

こうした懸念は、従来の人工知能では存在していなかった。そして、図１にも示したように、こうしたEthical issuesに対処するため、人工知能そのものに倫理原則が適用される必要が出てきた。人工知能そのものに倫理原則を適用するということは、設計として人工知能に「倫理」を組み込むということである。ただし、対象が人間から人工知能となることで、従来の倫理原則で扱われてきた「倫理」とは大きく異なることに留意する必要がある。第一に、人工知能がEthical issuesに対応するためには、絶対的な正解がないと思われるようなEthical issuesに対してであっても、どのように対応すべきかを論理的に定めなければならない。第二に、論理的に導出されたEthical issuesへの対応を確実に実装するため、具体的な設計に踏み込んだ明瞭なガイドラインを定めなければならない。つまり、より論理性と具体性が求められると考えられる。

3-2　人工知能のEthical issuesに関係する事例

Ethical issuesに関係する事例は既に何例か発生している。その代表的な例としては、一章でも例として挙げた、人工知能による差別がある。米マイクロソフト社が開発した人工知能「Tay」は、反ユダヤ主義的な発言や白人至上主義的な発言を始めとする差別発言を繰り返した。他にも、かつてユダヤ人を迫害したアドルフ・ヒトラーを称賛する発言など、倫理的とは言い難い発言も繰り返している。

これに類似した事例として、米Google社が提供する写真・動画用クラウドストレージサービスの「Googleフォト」で発生した事例がある。Googleフォトには、アップロードされた写真の被写体を

図２．人工知能「Tay」のイメージ[1)]

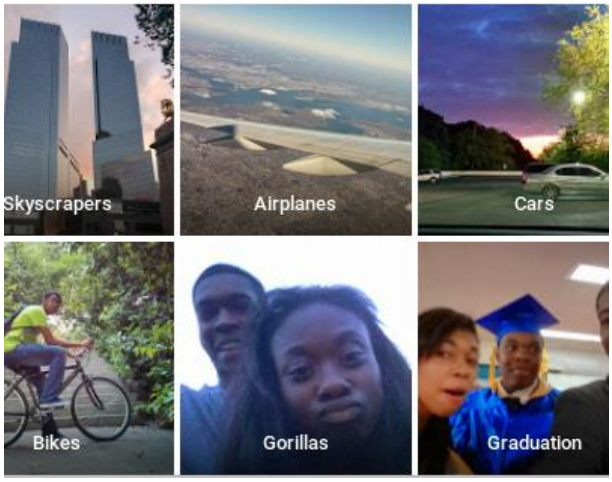

図３．Googleフォトによる差別的なタグ付け[5)]

人工知能が認識し、自動的にタグをつける機能がある。アフリカ系アメリカ人であるジャッキー・アルシン氏は、同じくアフリカ系アメリカ人である女性とともに撮影した写真をGoogleフォトにアップロードした。その際、Googleフォトの人工知能はその写真を「ゴリラ」というタグで分類した(図３)。その後、米Google社は同氏に謝罪し、機能の改善を約束した。

こうした人工知能の差別的な動作の他に、我々の生活に密接に関係する事例として、自動運転車による交通事故の事例が挙げられる。その主な例としては、米Uberテクノロジーズの自動運転車(図４)による交通事故がある。2018年3月18日夜10時(日本時間で19日午後)頃、米Uberテクノロジーズ社の自動運転車はアリゾナ州で歩行者をはね、死亡させた。同年5月24日に米運輸安全委員会(NTSB)が公表した暫定報告書[6)]によると、自動運転システムは、衝突の6秒前に歩行者を検知していたことがわかっている。しかし、Uberは車両の不規則な挙動を減らすため、自動運転中は緊急ブレーキを作動しない設定にしていたとされている。つまり、この自動運転車に搭載された人工知能は、歩行者がいることを認識していたことになる。その上で、緊急ブレーキを作動させないという、非倫理的な判断ができてしまう状態になっていたことがわかる。

４．現存する原則・ガイドライン

人工知能のEthical issuesに関わる様々な事例の発生及び予測に伴い、それに対処するための議論がされ始めている。特に大きな動きとして挙げられるのは「Partnership on AI」の結成である。Partnership on AIはAmazon、Apple、DeepMind、Facebook、Google、IBM、Microsoftという、人工知能テクノロジーをけん引する７企業を中心として設立された。Partnership on AIの公式サイト[7)]によると、Partnership on AIの目的は以下の四つである(2018年8月23日時点)。

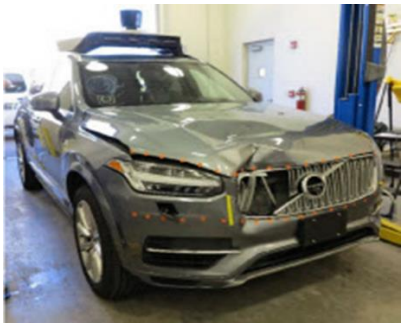

図４．事故を起こした自動運転車[6)]

- AIテクノロジーのリサーチ、開発、テスト、保守における、最善のメソッドとアプローチを開発及び共有すること。
- AIのコアテクノロジーや潜在的な利益及び費用を含む、多様な構成要素を通じた公的な理解を促進すること。
- AIの将来についての議論と関与のためのオープンで包括的なプラットフォームを提供し、重要なステークホルダーが知識、リソース、及び重要な議論に十分に参加するための全般的な能力を有することを保証すること。
- 社会的に善い実装をするために、AIについて深く追及すべきことを特定し、促進すること。

Partnership on AIはこれらの目的を達成するために重要な研究項目として、安全性や公平性、透明性といった倫理的な人工知能を設計するための項目を掲げている。Partnership on AIには2018年8月時点で71の組織が加盟しており、今後更なる活動の拡大が予想される。

世界各国で議論が進行する中、日本国内でも徐々に議論がされ始めている。総務省情報通信政策研究所は人工知能の開発原則・指針の策定に向けた検討を行う「AIネットワーク社会推進会議」をおよそ二年にわたり開催した。そして、表１のような十項目からなる原則[2)]を提案した。
他にも、このAIネットワーク社会推進会議を引き継ぐような形で、「人間中心のAI社会原則検討

表１．AIネットワーク社会推進会議の原則

（1） 適正利用の原則
（2） 適正学習の原則
（3） 連携の原則
（4） 安全の原則
（5） セキュリティの原則
（6） プライバシーの原則
（7） 尊厳・自律の原則
（8） 公平性の原則
（9） 透明性の原則
（１０） アカウンタビリティの原則

会議[8]」が内閣府によって発足され、現在も進行中である。

５．今後の展望

先に述べたように、本研究の最終目的は、Ethical issuesに対処するための、人工知能の具体的な運用の在り方を考察することである。そのために、現存するEthical issuesに関する原則・ガイドラインの分析を行い、共通する思想、分野や立場における相違点を導き出したい。今回はその前段階として、「人工知能のEthical issuesとは何なのか」、「人工知能のEthical issuesについて、どのような事例が発生しているのか」、「人工知能のEthical issuesに関わる原則・ガイドラインについて、どのような観点で議論されているのか」という三つの点について整理した。今回の結果をもとに、今後は以下のような手続きで研究を進めていきたい。

(1) 現存する原則・ガイドラインの収集を進め、基本思想及び指針を整理する。
(2) 原則・ガイドラインについて、多変量解析(クラスター分析等)を行う。
(3) (2)の分析結果をもとに、人工知能の開発プロセスの中で、どのように制御を行うかを考察する。
(4) (2)の分析結果をもとに、人工知能の運用プロセスの中で、どのように制御を行うかを考察する。

以上の結果をまとめ、人工知能の具体的な運用の在り方として報告を行う予定である。

参考文献

1) Microsoft: “TayTweets”, https://twitter.com/tayandyou
2) 総務省情報通信政策研究所：“AIネットワーク社会推進会議報告書2018”, http://www.soumu.go.jp/main_content/000564147.pdf, 2018.
3) Economou, N. : “A ‘principled’ artificial intelligence could improve justice”, http://www.abajournal.com/legalrebels/article/a_principled_artificial_intelligence_could_improve_justice, 2017.
4) 人工知能学会：“人工知能学会 倫理指針”, http://ai-elsi.org/wp-content/uploads/2017/02/%E4%BA%BA%E5%B7%A5%E7%9F%A5%E8%83%BD%E5%AD%A6%E4%BC%9A%E5%80%AB%E7%90%86%E6%8C%87%E9%87%9D.pdf, 2017.
5) Alcine, J. : “Google Photos, y’all fucked up. My friend’s not a gorilla. [Twitter post]”, https://twitter.com/jackyalcine/status/615329515909156865, 2015.
6) 米運輸安全委員会：“PRELIMINARY REPORT HIGHWAY HWY18MH010”, https://www.ntsb.gov/investigations/AccidentReports/Reports/HWY18MH010-prelim.pdf, 2018.
7) Partnership on AI: “FAQ - The Partnership on AI”, https://www.partnershiponai.org/faq/
8) 内閣府: “人間中心のＡＩ社会原則検討会議”, http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/humanai/index.html

利用品質メトリクスワークショップの紹介

平沢　尚毅（小樽商科大学）

Introduction of Workshop for Measuring Quality in Use

Naotake HIRASAWA　(Otaru-University of Commerce)

１．ワークショップの背景

一般に、システムのユーザビリティを評価する場合、対象システムおよび比較するシステムを評価し、相対的に結果を判定する。電車の乗り換えアプリケーションであれば、A社、B社、C社の乗換表示の理解しやすさなどを比較評価し、その結果を比較して判定する。

一方、比較評価ではなく、各アプリケーションを標準の方法で測定し、その測定結果を比較し評価する方法がある。NEM法[1)]がその例にあたる。これは、それぞれのシステムをエキスパートが利用した結果（例えば、利用に費やした時間）と、初心者が利用した結果の比をとることによって、そのシステムの使いやすさを数値表現している。NEM法で測られた結果は、各システムの固有の値であり、他のシステムとも比較できるため、品質の標準として管理することができる。

このように、システムのUIのある特性を測定し、その結果を標準の方法で計算し数値化できれば、UIの品質を客観的に管理することができるようになる。本報では、このUI品質を『測る』ことを目的として開催してきた、非特定営利法人『人間中心設計推進機構』ビジネス支援事業部における利用品質メトリクス委員会が主催しているワークショップを紹介する。

２．ワークショップの経緯

利用品質メトリクス委員会は、システムおよびソフトウェアの品質管理体系であるSquaRE (Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation)シリーズ[2)]にある、人間中心設計に関わる利用時の品質やユーザビリティを管理するために、これらを測定可能にすることを狙いとして、2013年に立ち上げた。利用時の品質を測定可能にするための研究から始め、ソフトウェアやサービス品質の基本を学ぶセミナーの開催を進めてきた。これらから得られた知見を踏まえて、2015年には上記の品質を測定するためのワークショップである、利用品質メトリクスワークショップを立ち上げた。

2015年当初は、総務省統計局の協力を得て、統計センターが提供する地図情報システム「jSTAT MAP」（PC版）の タブレット端末用アプリ「マップDe統計」を題材にしてワークショップを開催した。ワークショップは、3回に分けて開催した。第1回は、アプリケーションを理解し、その利用上の課題を抽出した。第2回は、課題からトップ５を選出し、それらを要求事項へと変換した。第3回は、抽出した要求事項から新たなUI設計案を作成することを通じて、どのような品質要求に対して何を具体的に設計変更したかを振り返った。設計変更した内容から、品質の属性として測定できるものは何であるかを考察した。

2016年、2017年は、ワークショップの題材として羽田空港サイトを提供いただき、このサイトの改善を通じて、ワークショップを進行した。進行にあたり、基本となる利用シナリオを提供すると共に、各ワークショップのグループ独自のシナリオを準備してもらい、サイトの課題を抽出することから始めた。

2018年は、新たに国内空港のスマートフォンサイトをワークショップの課題として展開する予定である。

３．ワークショップの特徴

（1）ワークショップの構成

利用品質メトリクスワークショップは、まず、①対象となるシステムを理解し、ユーザビリティ評価を実施し、その結果から②問題の背景にある、ユーザ要求事項を導出し、これに基づいて、③システム要求である機能要求と非機能要求を定義す

る、という前段階を行う。ここでの非機能要求とは、品質要求と制約条件などを意味する。この品質要求として、ユーザビリティの特性を定義する。例えば、飛行場でおみやげを買う場合は、サイトのおみやげ店の『場所がわかりやすく表示される』ことが求められる。

この要求定義に基づいて、④UI設計改善案を設計することになる。その際、どの部分を設計変更することによって、非機能要求事項を実現しているのかを洞察する。この設計変更した部分が、⑤ユーザビリティの品質属性の候補となる。前述の例であれば、地図情報をわかりやすく改善するために、他の要素と区別するために、色などのデザイン属性を変更するという基本的な方法もあれば、ランドマークとの関係を明示するという方法もある。属性を特定した後は、それを⑥どのように数量化し、測定するのかを決める。そして、実際に測定し、何を基準とするかを特定する。

以上の手順を1日半の日程で進めている。結果として、UIを設計する際に、何が品質属性となる可能性があるのかを体験的に理解できるようになる。このことは、開発プロジェクトを通じて、エンジニアがユーザビリティと設計との関係をより理解できることを促進できることにつながる。

（2）基本的な考え方

一般的に、UI設計を改善する場合は、設計対象をユーザビリティ評価し、その課題を抽出し、改善案を設計する。今回のプロセスであれば、①を実施し、④を遂行して設計案を導く。その結果、ユーザビリティに関する知識、経験のあるUI設計者は、経験知を蓄積してゆくことができるが、ユーザビリティを品質として組織的に管理することが難しい。経験のあるUI設計者を抱えることができれば、その要員に依存した開発体制を構築できるが、専門家が少ない我が国の実情を考えると、このような体制は構築することが難しい。

今回のアプローチでは、組織的にユーザビリティを品質として隈取り、測定可能な属性を発見し、共有するためのプロセスを作ったことになる。そのプロセスの重要な要素は、②～③のユーザ要求から品質要求を導く部分と、④のUI設計改善案を作成する過程を振り返りながら、品質属性の候補を洞察する部分である。

（3）成果

これまで3年の実績では、参加者の多くから、高い評価を得ることができた。日頃、開発プロジェクトにおいて、エンジニアと定量的に議論することが困難である課題に対して、道が開けたという意見もあった。また、組織にユーザビリティを定着する可能性を感じたという意見もあった。

一方、品質要求という考え方は、あまり根付いていないこともあり、初めて人間中心設計に触れる参加者からは難易度が高いという評価もある。また、ある程度、UI設計についての経験も必要となることから、ユーザビリティに関する経験が浅い場合や、エンジニアにはハードルが高いという意見もある。

また、ワークショップ開催後にあった質問の中には、測定した結果の基準値をどのように設定するかを教えて欲しい、あるいは基準値だけ教えて欲しいというものがあった。今回のワークショップは、測定方法を見つけることが目的であったので、基準値の設定までには至っていない。基準値の初期設定は、経験則に基づいて行うしかないが、測定結果が蓄積されることによって、基準値の設定方法の検討も可能になると考えている。

４．今後の展開

ワークショップを始めた当初は、UI品質だけではなく、サービス品質も対象に考えていた。しかし、今回のケースのように、UI設計プロセスを前提とすると、サービス品質へ転用することは簡単ではないことがわかった。今後、サービス品質については、その属性を導出できるワークショップを構築してゆきたいと考えている。

参考文献

1) 伊藤 泰久 他, NEM による地方自治体 Web サイトのユーザビリティ評価, ヒューマンインタフェース シンポジウム2010論文集. 2010

2) ISO/IEC25000(2014) :Systems and software engineering - Systems and software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) - Guide to SQuaRE.ndard.

基調講演

PIE 研究部会協賛

『心拍変動性スペクトル解析
ーその手順と留意点ー』

三宅 晋司
（産業医科大学産業保健学部）

心拍変動性スペクトル解析
ーその手順と留意点ー

〇三宅　晋司（産業医科大学産業保健学部）

Heart Rate Variability

-The analysis procedure and points to be considered-

Shinji MIYAKE (University of Occupational and Environmental Health, Japan, School of Health Sciences)

１．はじめに

1973年にSayers[1)]がメンタルワークロードによる心拍変動性（HRV）スペクトル成分への影響（0.1Hz成分の減少等）を報告した．それから10年ほど経った1980年代中頃にHRVスペクトル解析による自律神経機能評価に関する論文が多く発表され（例えば文献[2-3)]など），1990年代にかけてHRVスペクトル解析は大ブームとなった．それは，電位が大きくて，体表面上に貼り付けた電極から非侵襲的かつ簡単に測定できる心電図を用いることと，自律神経機能を交感神経と副交感神経にわけて評価できると解釈されていたことなどが要因だったのであろう．Sayersの論文は英国人間工学会の雑誌「Ergonomics」への掲載であったが，後の論文は生理学や循環器系の医学雑誌に多く掲載され，HRVスペクトル解析は臨床分野でも重宝されていた．

本講演ではこのHRVスペクトル解析手法を解説するとともに，そこから得られる指標の解釈と人間工学分野での応用を紹介する．

２．HRVスペクトル解析の手順

下記の手順はガイドライン[4)]に示されている．

1. 心電図を2 msec以下または500 Hz以上のサンプリングでA/D変換する（アナログ信号を数値列に変換）
2. 一拍毎にR波を検出（図1）し，RR間隔時系列（RR間隔トレンドグラム）を得る（図2a）
3. 不整脈等の異常値を修正する（図3，4）
4. 補間（3次スプライン関数等）により等時間間隔データへ変換し，再サンプリングする（図2b．この手順は必須ではない）
5. 基線変動成分を除去する（図2c．この手順も必須ではないが，自己回帰モデルによるスペクトル推定には大きく影響する）
6. スペクトル解析（周波数解析）を行い，0.04 - 0.15 Hzの低周波数（Low Frequency：LF）成分と0.15 - 0.4 Hzの高周波数（High Frequency：HF）成分を算出する．なお，HFの算出には1分以上，LFの算出には2分以上のデータが必要で，5分の定常記録が好ましい．

以上の手順のうち，3．の異常値の修正は必須である．健常者を被験者としても不整脈の出現は

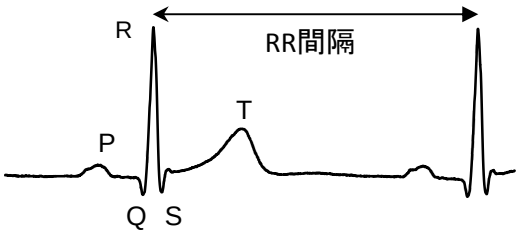

図1　心電図（典型的な波形）のR波位置を検出し，隣り合うR波同士の時間間隔を計測する

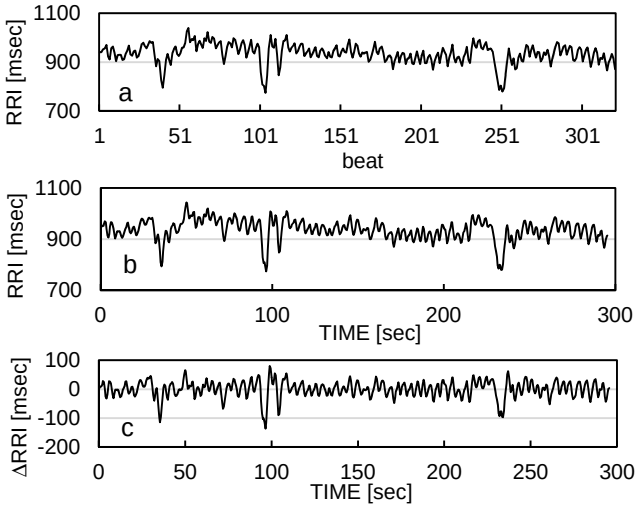

図2　a：RR間隔トレンドグラム（拍単位），b：スプライン補間による等時間間隔データ（秒単位），c：基線変動除去（振幅値が平均値からの差値となる）

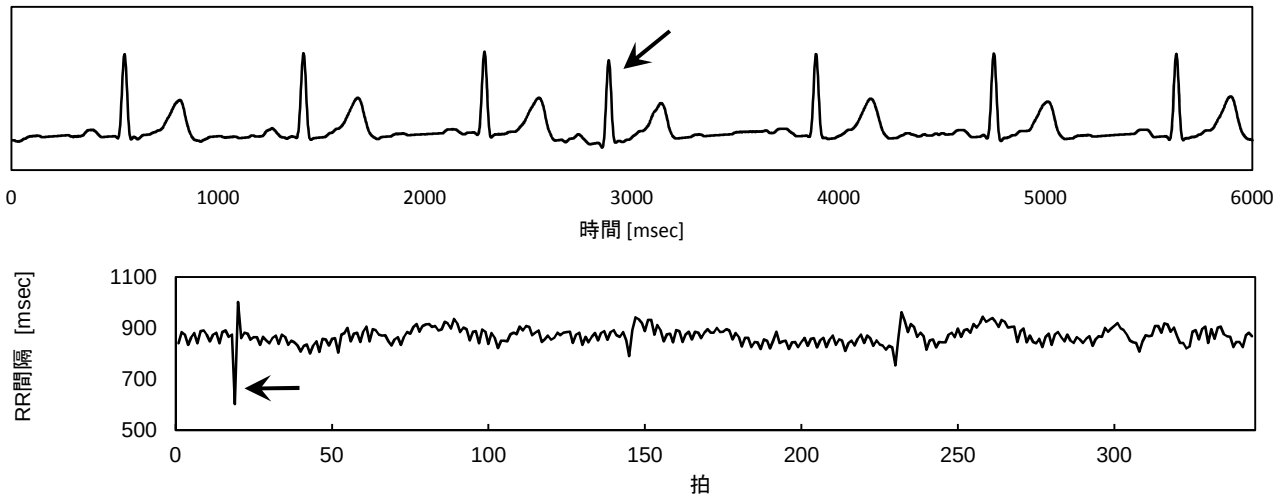

図3　心房細動不整脈のある心電図（一部拡大）とそのRR間隔トレンドグラム.

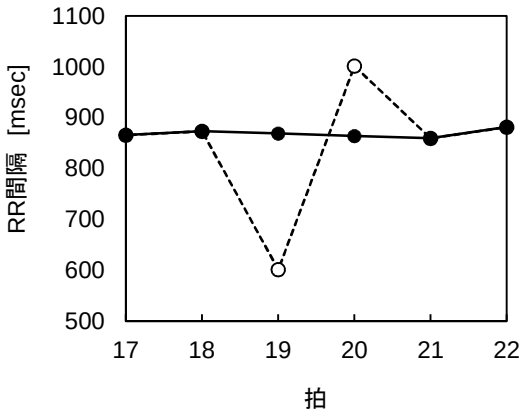

図4　RR間隔異常値の補正．不整脈等による異常値（不整脈の場合は通常逆N字型になる）は，前後の点を結ぶ直線補間を行う．この補正は等時間間隔への補間の前に行う.

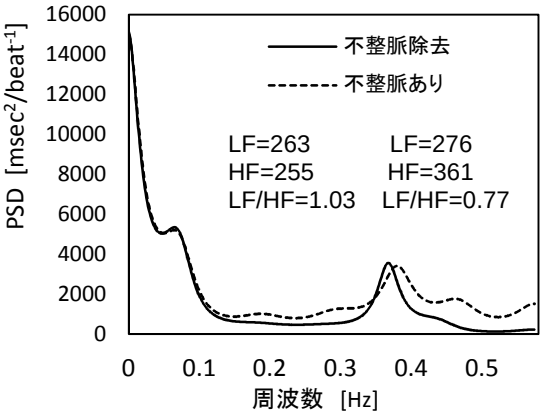

図5　図2の不整脈の補正の有無によるスペクトルの差異

多く，RR間隔データのその部分を修正しないままスペクトルを算出すると，高域側の成分が増加するのでHFへの影響が大きい（図4）.

手順4の等時間間隔への変換をしない場合は，RR間隔時系列の時間単位は[拍]となり，それから得られるスペクトルの周波数軸の単位は[1/拍]（cycle/beat）となる．その場合，平均RR間隔をサンプリング間隔とみなし，1 cycle/beat = 1/(2Δt)（ただし，Δtは平均RR間隔）により，Hz単位に換算できる.

３．HRVスペクトル解析の指標

上記解析で得られたLFは副交感神経活動と交感神経活動の両者が関わっており，HFは副交感神経活動のみが関与していると解釈されている．そこからLF/HFを自律神経バランスの指標，あるいは交感神経活動の指標として利用されるようになり，どちらの解釈であってもストレスの指標としての利用もされている．しかし，2010年頃からこのような解釈への疑問を投げかける論文が散見されるようになった[5-7]．それらの主張は，「自律神経系の交感神経と副交感神経は，片方が上がると，もう片方は下がるという拮抗的反応をするという前提からLF/HFが生み出されているが，現在ではそのような拮抗作用は支持されていない」ことや「LFへの交感神経系の寄与は少なく，副交感神経活動（圧受容体反射）の影響が大きい」というものである．そうするとLF/HFは分子も分母も副交感神経活動を反映しており，LFとHFの比というのは意味をなさなくなる．メンタルワーク

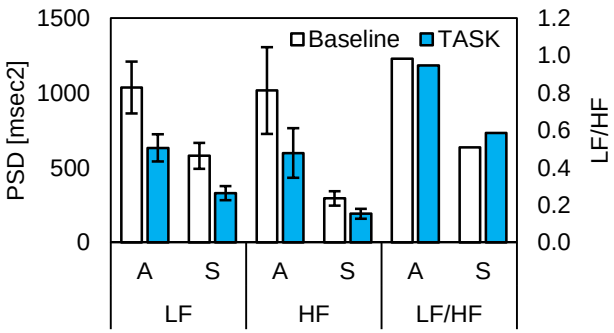

図6　暗算課題によるHRV指標の変化[5].
A：運動をよくするもの，S：運動をしないもの
LF/HFは図中のLFとHFの平均値から算出

ロードの生理的評価に関する多くの報告では0.1 Hz成分，すなわちLFの低下が報告されており[8]，メンタルワークロードによる副交感神経活動の抑制が示唆されている．副交感神経活動の抑制が起きれば，HFも減弱するため，LF/HFは分子も分母も減少し，その結果，この指標は不定となる．実際に，暗算による変化では，心拍数の上昇（RR間隔の減少），LFとHF両者の減少が報告されており，LF/HFは不変となっている（図6）[5].

4．疲労とストレス評価におけるHRV指標

Togo and Takahashi[9]が看護師，交代性勤務者などの実作業者のHRV指標の動態についてレビューしている．その中のHF，LF，LF/HFの3指標について変化の傾向をまとめると，HFは多くの作業において有意差なし（n.s.）か低下を示しており，LFの低下の例も多く，LF/HFは不定である（表１）.

表1　実作業時のHRV指標の動態[9]

指標（例数）	低下	上昇	n.s.
HF（22）	13	0	9
LF（16）	6 全てHFも低下	2	8
LF/HF（16）	2	6	8

5．感覚取入型課題とパターン２反応

鏡映描写課題（MT．図7）のような感覚取入型課題[10]では心拍低下を生じる．図8は暗算課題（MA）と鏡映描写課題遂行時（各5分）の心拍数の安静時からの差値を示したもので，MT時に

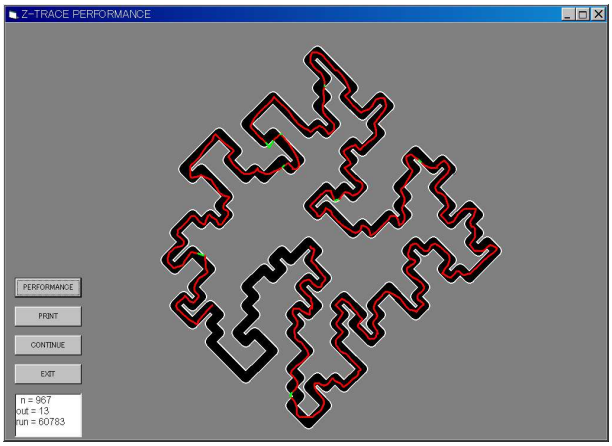

図7　鏡映描写課題．PC画面に表示された屈曲路をマウスを用いて辿る課題．ただし，マウスのX軸とY軸の入れ替え等の操作がしてある．

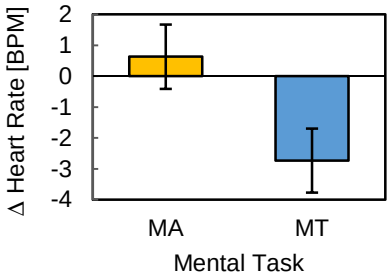

図8　暗算（MA)と鏡映描写課題（MT）時の安静時からの心拍数変化（n=18，m±SE）

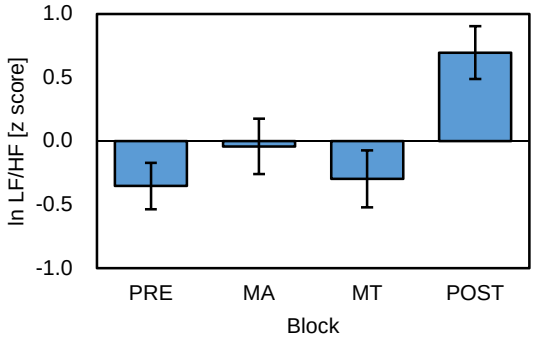

図9 安静（PRE，POST），暗算（MA），鏡映描写（MT）時のLF/HF変化（対数化し，４ブロックで標準得点化，n=17，m±SE）

有意な心拍低下が認められる．前後の安静（PRE, POST）を含めて，4ブロックのLF/HF（対数化）の標準得点にはブロック間の有意差は認められなかった[11]（図9）.

澤田[12]は，HRVスペクトル成分について，下記のモデルを提案している．

$$LF = F(S_\alpha \times (v+S_\beta))$$
$$HF = F(V(R))$$

S_α：αアドレナリン作動性血管交感神経活動
S_β：β1アドレナリン作動性心臓交感神経活動
v：心臓迷走神経活動（副交感神経活動）
V(R)：呼吸パターンの影響下にある迷走神経活動
$V(R) > v > S_\alpha, S_\beta$　安静時

このモデルの仮定$V(R) > v > S_\alpha, S_\beta$より，安静時に$V(R) = 4$，$v = 2$，$S_\alpha, S_\beta = 1$とすると，

$$LF = S_a \times (v+S_b) = 3$$
$$HF = V(R) = 4$$
$$LF/HF = 0.75$$

となる．

先に述べたメンタルワークロードにより迷走神経の抑制が起こり，Vとvが半分になったとすると，V(R)=2，v=0.5であり，

$$LF = 2$$
$$HF = 2$$
$$LF/HF = 1$$

となる．すなわち，交感神経活動が不変でも，LF/HFは増加する．

末梢血管収縮が起きるパターン2型反応[13,14]においては血管交感神経活動S_αが高まり，迷走神経が亢進する（それぞれ安静時の倍）と仮定すると，$V(R) = 8$，$v = 4$，$S_\alpha = 2$，$S_\beta = 1$（不変）となり，

$$LF = S_\alpha \times (v+S_\beta) = 10$$
$$HF = V(R) = 8$$
$$LF/HF = 1.25$$

となる．このとき，迷走神経の亢進により，HRは低下している（または不変）と考えられるが，LF/HFは安静時（0.75）より大きい値を示す．図10に示したHRとLF/HFの変化はこのモデルで説明できるが，そもそもLF/HFの指標としての妥当性が低いので，HRとの相関も不定となる．

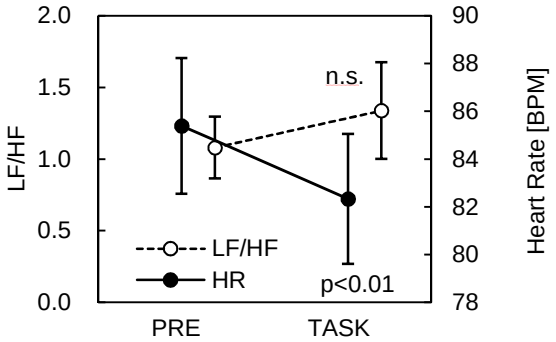

図10　安静時（PRE)と鏡映描写課題遂行中（TASK)の心拍数とLF/HFの変化（n=17．平均値±SE)

図11は安静時と，異なる複数の精神課題遂行中のRR間隔の変化を示しており，上段と下段は異なる被験者で，課題の順序を入れ替えたものである．既に前節で述べたように，ZTRACE遂行時は安静時に比べてRR間隔の増加（心拍の低下）が見られ，この傾向は多くの被験者で観察された．このデータについては，まだHRV解析やその他の生理信号の解析は行っていないが，心拍を低下させる感覚取入型作業時の生理反応は興味深い．

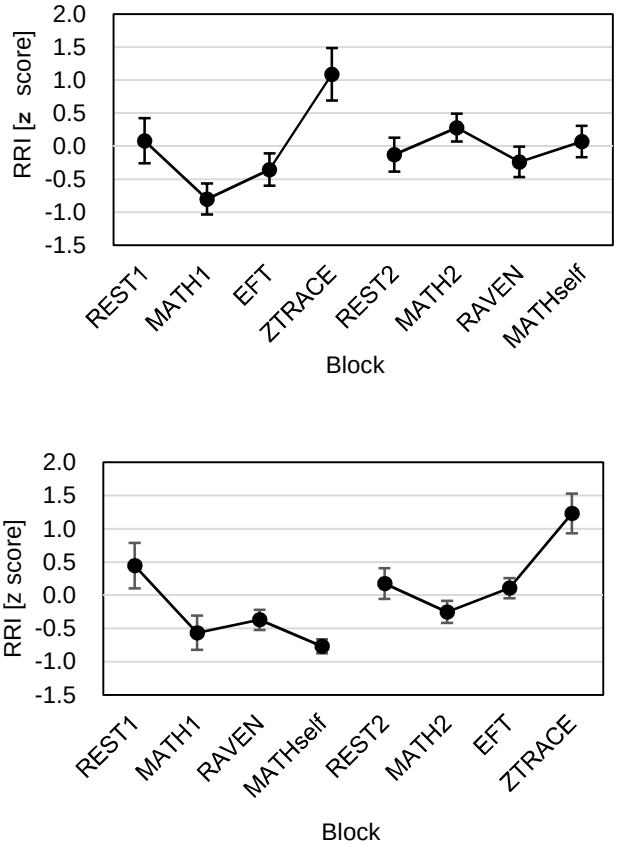

図11　異なる精神課題遂行中のRR間隔変化．REST1，REST2：安静，EFT：埋め込み図形テスト，MATH 1，MATH2：マシンペース暗算課題，MATHself：セルフペース暗算課題，ZTRACE：鏡映描写課題（図7)，RAVEN：レイブンマトリックステスト．
上段：n=10，下段：n=11．8ブロックの標準得点の平均値±SE．

６．時間領域解析

スペクトル解析に代表される周波数領域の解析では先の手順に示したように，極めて煩雑な処理が必要で，また一定以上のデータ長が必要である（手順6参照）．一方，RR間隔時系列の単純な標準偏差（SDNNという）や変動係数（CV-RR．標準偏差を平均値で割ったもの）も変動の大きさの指標として用いることができる．

また，Poincaréプロット（図13）を用いた様々な解析も時間領域の指標として有用かもしれない．Poincaréプロットとは図12に示すようなRR間隔データに対し，隣り合う2つの値をそれぞれX値（RR_i）とY値（RR_{i+1}）とする散布図であり，この分布の特徴量（例えば，楕円の長軸Lと短軸Tの長さ等）から算出される指標が自律神経活動と関係しているという報告がある[15]．また，$y = x$の対角線に対する対象性も指標として提案されている[16]．この手法は特にデータ点数の制限がないことと，エクセルなどの表計算ソフトで簡単に指標が算出できる利点がある．

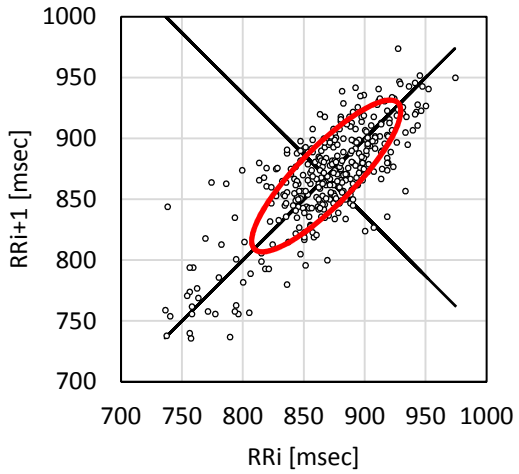

図13 Poincaréプロットの例（図12のデータ）．楕円は「目安」として表示したもので，正確な分布を示したものではない．

７．まとめ

近年，ウェアラブル心拍計やスマホなどで簡単に心拍を計測することができ，そこから「ストレス指標」が算出されている．HFのみを用いているものもあるが，LF/HFを用いているものは，指標としての信頼性が低いことを理解しておく必要がある．ウェアラブル装置によるものだけでなく，実験室実験でのHRV解析でも同様であることはいうまでもない．

RR間隔データから得られる指標は数十種類に及ぶ．それらは同じデータから得られているわけであるから，相互に関連しており，高い相関を示すものもあるが，複数指標を同時に検討し，かつ他の生理指標（循環器系以外）も用いた多次元的な検討が望ましい．

文献

1) Sayers B M: “Analysis of heart rate variability”, Ergonomics, 16 (1), pp.17-32, 1973.
2) Pomeranz B, et al. : ”Assessment of autonomic function in humans by heart rate spectral analysis”, American Journal of Physiology, 248 (1 Pt 2): H151-153, 1985.
3) Pagani M, et al.: “Power spectral analysis of heart rate and arterial pressure variabilities as a marker of sympatho-vagal interaction in man and conscious dog”, Circulation Research, 59, pp.178-193, 1986.
4) Task Force of the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology: “Heart Rate Variability, Standards of Measurement, Physiological Interpretation, and Clinical Use”, Circulation, 93, pp.1043-1065, 1996.
5) Goldstein D S, et al.: “LF power of heart rate variability is not a measure of cardiac sympathetic

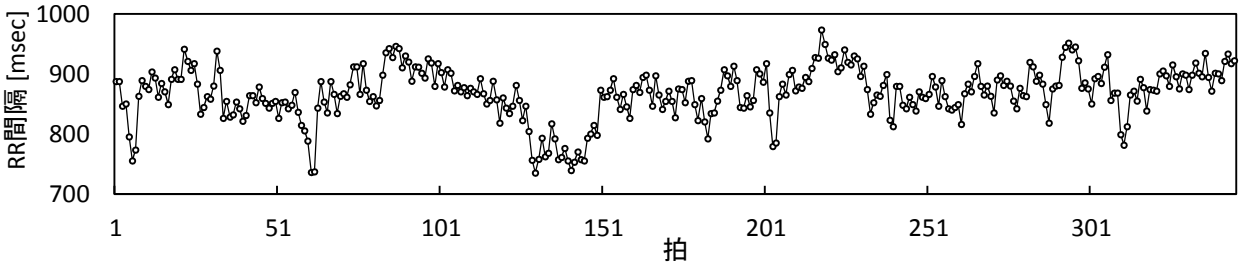

図12　RR間隔データの例

tone but may be a measure of modulation of cardiac autonomic outflow by baroreflexes", Experimental Physiology, 96 (12), pp.1255-1261, 2011.

6) Reyes del Paso, et al.: "The utility of low frequency heart rate variability as an index of sympathetic cardiac tone: A review with emphasis on a reanalysis of previous studies", Psychophysiology, 50, pp.477-487, 2013.

7) Billman G E: "The LF/HF ratio does not accurately measure cardiac sympatho-vagal balance", Frontiers in Physiology, 20 February, 2013.

8) Boucsein W and Backs R W: "Engineering Psychophysiology as a Discipline: Historical and Theoretical Aspects", In Richard W Backs and Wolfrum Boucsein (eds.): Engineering Psychophysiology, pp.3-30, Lawrence Erlbaum Associates, 2000.

9) Togo F and Takahashi M: "Heart Rate Variability in Occupational Health - A Systematic Review", Industrial Health, 47, pp.589–602, 2009.

10) Williams J R, et al.: "Cardiovascular and neurophysiological correlates of sensory intake and rejection. I. Effects of cognitive tasks". Psychophysiology, 12 (4), pp 427-433, 1975

11) Kuraoka H, et al.: "Effects of a sensory intake task on heart rate and heart rate variability", Proceedings 19th Triennial Congress of the IEA, 2015

12) 澤田幸典："交感活動対迷走活動". 日本生理人類学会計測研究部会編：人間科学計測ハンドブック，技報堂出版株式会社，pp.415-420，1996

13) 澤田幸典："血行力学的反応パターン". 藤澤清，柿木昇治，山崎勝男編：新 生理心理学，pp.182-195，北大路書房，1998

14) Williams R B: "Patterns of Reactivity and Stress". In Karen A Matthews, et al. (eds.): Handbook of Stress, Reactivity, & Cardiovascular Disease. pp.109-125, Wiley, 1986

15) Allen J J B, et al.: "The many metrics of cardiac chronotropy: A pragmatic primer and a brief comparison of metrics", Biological Psychology, 74, pp.243–262, 2007

16) Piskorski J and Guzik P："Asymmetric properties of long-term and total heart rate variability", Medical & Biological Engineering & Computing, 49, pp.1289‑1297, 2011

平成 30 年度日本人間工学会北海道支部大会講演集

発行日：2018 年 9 月 15 日
発行者：一般社団法人日本人間工学会北海道支部
大会長：小林 大二（千歳科学技術大学）