

子供用通学バッグの肩と背中の中の健康の快適さを改善する：

ダンパーショルダーストラップと人間工学的要因の検討

石原茂和¹、武田美奈子²、宮澤義治²

橋本達宏²、富樫晃²、藤原恵一²

小林勇喜²、奥田元信²、邊見充宏²、鈴木雄樹²、

今野秀一²

¹ 広島国際大学心理学科、〒 739-2695、 広島、日本

² 株式会社榮伸 中央区日本橋 〒 103-0006

要約

本稿では、日本でランドセルとして知られている子供用通学バッグのショルダーストラップにダンパー機構を実装する研究を紹介する。教科書の大型化やタブレットの持ち運びが必須となり、特に小学校低学年の児童にとって、こういった改善の必要性をさらに強調した。ダンパーストラップの有効性を評価するため、コンピュータービジョン追跡方法を採用した。被験者として6人の児童が選ばれ、ランドセルを肩に背負いながら現場でジョギングや歩行に従事するよう指示された。追跡を容易にするため、3つのマーカーが被験者の肩とランドセルの上下に配置された。その結果、従来のランドセルの設計では、現場でジョギングする際の被験者の身体の動きに応じて上下の動きが遅れたことが示された。身体が上向きに動いているときに肩が下向きに引っ張られ、身体が地面に降りたときに肩が上向きに引っ張られ、ジョギング歩行が妨げられるということとなった。対照的に、新しく発明されたダンパーショルダーストラップは体の動きと上下の動きのタイミングが同期され、身体の運動によるランドセルの動きの遅延時間が大幅に短縮された。

キーワード：通学バッグ、ショルダーストラップ、小児人間工学、コンピュータービジョン、トラッキング、振動、身体負荷の低減

序論

バックパック負荷の影響と小児の健康問題についてはいくつかの研究がなされている。

Chow、D.H.他(2006)は、思春期特発性脊柱側弯症(AIS)患者と正常な中学生女子の両方における圧力中心(COP)と胴体屈曲に対するバックパック負荷の影響を調べた。AISを患う被験者は、横方向のバランスが悪いことが示された。Tomal 他(2022)はバックパックの負荷範囲は7歳の男女の歩行には影響しないということを明らかにしている。歩行運動に影響を与えないためには体重の10%未満が推奨される。

Dockrell 他(2015)は、アイルランドの小中学校の子供の通学バッグを運ぶことによって引

き起こされる筋骨格系の不快感を調査した。そのうちの 89.7%が通学バッグを両肩に背負って持ち歩いていた。平均的なバックパックの重量は $4.8 \pm 1.47\text{kg}$ であり、体重 (BW) の平均パーセンテージは $12.6\% \pm 4.29\%$ であった。追加アイテムを運ぶ生徒の平均負荷は $18.3\% \pm 5.03\text{BW}$ であった。調査開始前の筋骨格系不快感の発生率は高く (63.4%)、通学バッグに関連した不快感は背部において (15%) よりも肩において (27.3%) 頻繁に報告された。

Goodgold 他 (2002) は、デンバーで 5 年生から 8 年生までの 345 人の子供を対象にアンケート調査を実施した。生徒のうち 3 分の 1 が背部痛の経験があると報告しており、すべての被験者のうち 55%は体重の 15%を超える負荷を背負っていた。年少の子供たちは、体重当たりでより重い負荷を背負っていた。5 年生は体重あたり 19%、6 年生は 21%、7 年生は 14%、8 年生は体重あたり 15%であった。

これらの文献は、バックパックの負荷が子供のバランスと歩行に及ぼす影響を明らかにしている。負荷重量と筋骨格系の快適さとの関係も大きな懸念材料である。

ランドセル

ランドセル (Ransel) とは日本の通学バックパックのことである。「ランドセル」という用語は、「バックパック」という意味のオランダ語の ransel に由来する。ランドセルの起源は、軍隊で砲弾や道具を運ぶための革製または厚手の布製のバックパックである。このデザインとコンセプトは、小学校制度が日本全土で実施された 19 世紀後半に日本にもたらされた。ランドセルは、頑丈で箱のようなデザインで知られている。伝統的には革製だが、現代では合成皮革で作られているものもある。金属の留金で固定されたクラムシェルフラップが付いている。このデザインは、子供の体重を均等に配分し、直立した姿勢を維持することを目的としている。しっかりとした側面によって、中身が保護され、書類や本が簡単に曲がったり損傷したりしないようになっている。子供たちは通常、小学校に上がる際にランドセルをもらい、6 年間の初等教育期間を通して同じバックパックを使用する。耐久性があるため、1 個のランドセルは 6 年間使用できる。耐久性を確保するために、厚手の合成皮革で作られており、製造には多くの段階が必要となる。生産段階の機械化は部分的には確立されているが、数多くの皮革部品を縫合するためにはまだ多くの段階で人の手を必要とする。このような生産上の困難のため、ランドセルの価格は 300~400 ドルとなる。

ランドセルの革新的な改善

株式会社榮伸は 1984 年以來、ランドセルを製造し、自社ブランドで販売している会社である。榮伸は、身体への負荷を軽減するためランドセルデザインを研究しており、今回の研究において、私たちは榮伸の新プロトタイプデザインと従来製品とを比較した。

新プロトタイプデザインには、2 つの機構的イノベーションが含まれている。1 つは、ストラップの下部にあるダンパーである。ストラップを体にフィットさせ、ウォーキングやランニング最中のランドセルの振動を吸収するように設計されている。もう 1 つは、改良されたセカン (ストラップの上部をバッグに取り付ける金属ブラケット) である。改良されたセカンには内部にバネが入っており、ストラップをファスナーに向かって動かして、体へのフ

フィット感の緩みを防ぐことを目的としている。どちらも既に特許を取得している



図1：ストラップ下部のダンパー（上部）と改良されたセカン金属ブラケット（下部）

ジョギング中の垂直方向の動きを測定する方法

ランドセル：従来の製品と新しいプロトタイプにはダンパーと改良されたセカンがあり、2種類のランドセルが評価測定に使用された。これら2つの評価サンプルは、まったく同じ色（ライトブラウン）の合成皮革で作られている。ブラケットとダンパーのパーツを除いて、デザインはまったく同じであり、被験者がそれらを識別することはほぼ不可能である。

日本では、教科書やタブレットを詰めたランドセルの負荷は4.5～6 kgとなる。これは、ランドセル業界では一般的に認識されている重量値である。したがって、この実験ではランドセルに重しを載せることにより、ランドセルの負荷を6 kgに設定した。ランドセル自体の重量は、1,260 gであった。

肩掛けランドセルと現場でのジョギング: 被験者には、ランドセルを背負って現場で20～30秒間ジョギングしてもらった。測定時には、2つのランドセルの順番をランダムに設定した。ジョギングのペースは、自分の自然なペースとなるよう各被験者が決定した。被験者は小学生なので、体格は一樣ではなかった。被験者がランドセルを背負うたびに、専門のランドセルデザイナーが各被験者に合わせてショルダーストラップの長さを調整した。

高速動画測定: iPhone 13 Proの高速動画(120フレーム/秒)で、ランドセルを背負いジョギングした被写体を現場で録画した。解像度は1080(水平) * 1920(垂直)であった。ランドセルの左上側のリベットと、リベットの下20 cmの2箇所に赤い塗料マーカーを配置した。右肩峰(肩の最も高い部分を形成する肩甲骨の外端)にもマーカーが配置されている。図1を参照されたい。

現場でのコンピュータービジョンベースの分析: 私たちは、AI画像分析および認識ライブラリであるOpenCV(OpenCVチーム、opencv.org)を使用して、独自のマーカー追跡プログラムを開発した。

被験者: 小学3年生から6年生までの6名(女子2名、男子4名)が参加した。全員が両親に伴われ、両親も測定中には現場に居合わせた。両親は榮伸の従業員であり、測定時以前に十分に情報を得ていた。

測定結果

典型的な例を以下の行に示す。

被験者Aは、小学校6年生の男子で11歳。

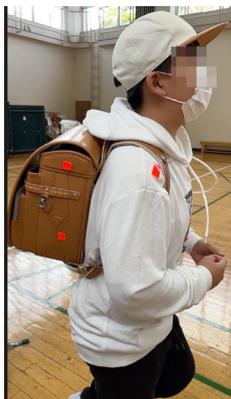


図2: 被験者A(6年生)が現場でジョギングしている様子

図3は、新プロトタイプランドセルと肩の動きを示している。X軸の単位はフレームに対応している。動画は120フレーム/秒で撮影されたため、グラフは200フレームを示し、持続時間は1.67秒であった。X軸の単位は8.33ミリ秒。次に、X=120は1000ミリ秒、X=100は833ミリ秒となる。

Y軸の単位はピクセルである。この測定では、200mm=380ピクセルで、1ピクセルは0.52mmとなる。オレンジ色の線は右肩峰（肩甲骨の端）に対応し、青色の線はランドセルの上側のリベットである。

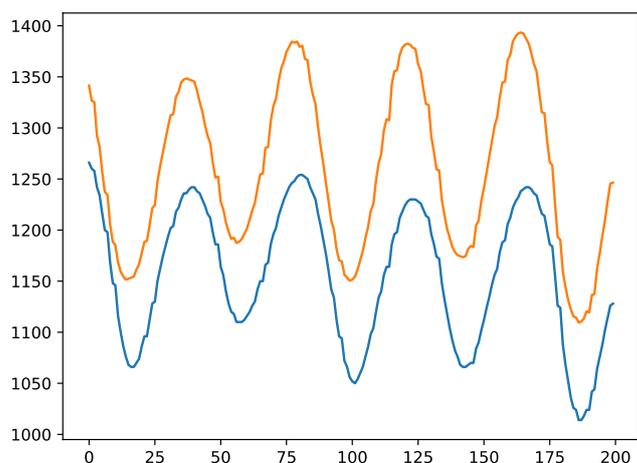


図3：新プロトタイプ（青い線）と被験者A（オレンジ色の線）の肩峰（肩）のマーカの動き。軸の単位はフレーム（8.33ミリ秒=1フレーム）で、y軸はピクセル（1ピクセル=0.52mm）

肩峰（オレンジ）の動きと新しいプロトタイプランドセル（青）の上部の動きとの間の遅延による偏差は小さい。測定データは、ピーク偏差が1~2フレーム、または8.3~16.6ミリ秒の遅延であったことを示している。これは小さな時間遅延であり、新プロトタイプは身体の動きに十分に追従できる。

新プロトタイプ（青）のマーカは、セクション全体にわたって肩峰（オレンジ）の高さより高くなること決してはない。つまり、新プロトタイプは跳ね返らないということである。

図4は従来のランドセルと肩の動きを示している。従来のランドセルの動きが、肩峰の動きによって遅れることは明らかである。下降期（例えば、20~40、60~80フレーム）では、ランドセルの上部マーカは肩峰の上であり、ランドセルが跳ね返っていることを示している。

図4の下のプロットは、単一の垂直方向の動きに焦点を当てており、通学ランドセルの下部

も濃い青線でプロットされている。肩のピークとランドセルの上部のピークは、6~7 フレーム、または 50~58 ミリ秒の時間でずれている。

肩がピークに達すると、ランドセルはまだピークに達しておらず、肩がピークから降下期に入ったしばらく後にランドセルの高さがピークに達する。

肩の高さが谷の底にあるとき、ランドセルはまだ底には達していない。肩の高さが上がり始めている間に、ランドセルは遅れて谷の底に到達する。つまり、ランドセルは身体の動きについていけず、身体の上下運動を妨げる。肩峰が下降期にある場合（このプロットのフレーム 23~37）、ランドセルのマーカは肩の高さよりも高く、通学バッグが跳ね返っていることを意味している。

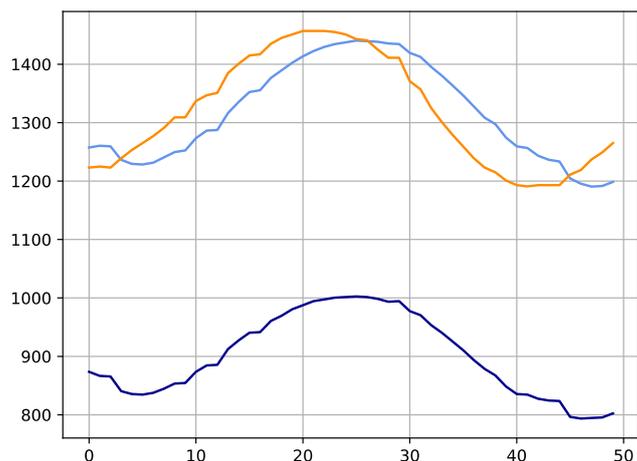
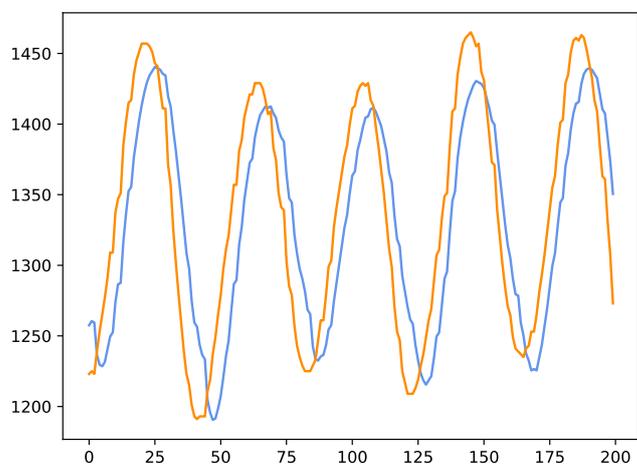


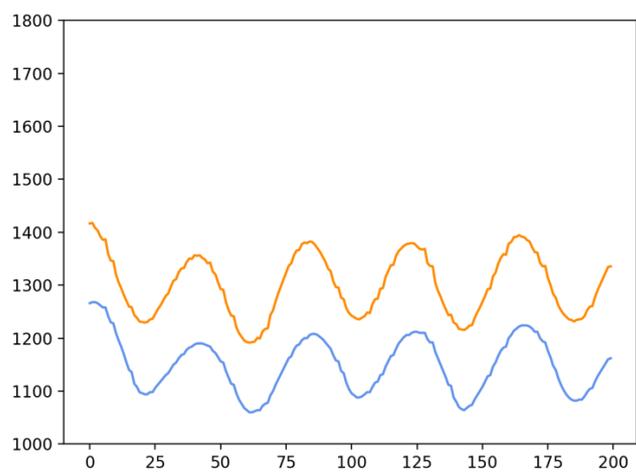
図 4：上部：従来のランドセル（青い線）と被験者 A（オレンジ色の線）の肩峰（肩）のマーカの動き。下部：最初の 50 フレームのクローズアップ。濃い青色の線は、底（上部マーカの下 20 cm）の動きを示している。

被験者 B は女子、小学3年生、8歳。

図6は、被験者 B の新プロトタイプランドセルと肩の動きを示している。ピーク偏差はわずか1~2フレーム、8~16ミリ秒である。



図5：被験者 B（3年生）が現場でジョギングしている様子



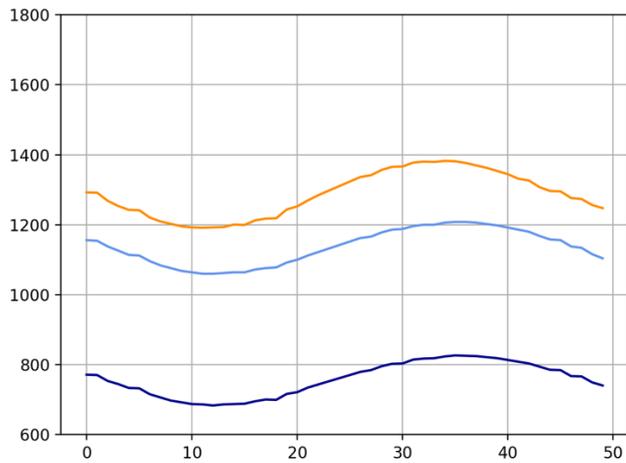
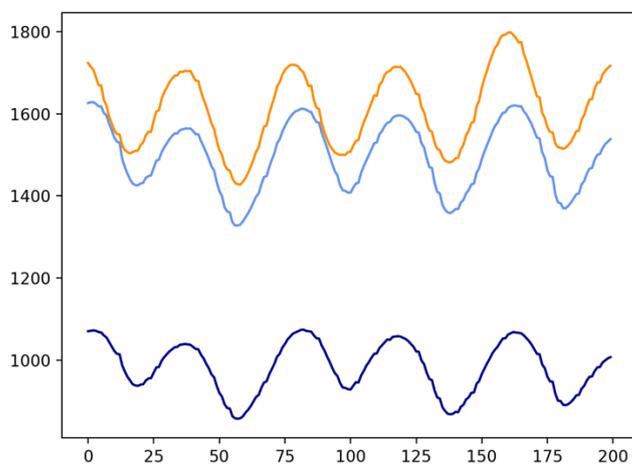


図 6：上部：新プロトタイプ（青い線）と被験者 B（オレンジ色の線）の肩峰（肩）のマーカーの動き。下部：最初の 50 フレームのクローズアップ。濃い青色の線は、底（上部マーカーの下 20 cm）の動きを示している。

従来のランドセルでは、ピークに 5 フレームの偏差がある。これは 41.6 ミリ秒の偏差である。

肩のピークの動きとランドセルの上部との間の時間ギャップは、時間軸（横方向）の方向に 2 つの波の間のギャップが広くなったり狭くなったりすることによって示される。身体の上昇期と下降期間のオレンジと青の波の間の y 軸ギャップの変化は、ランドセルが跳ね返っていることを示している。



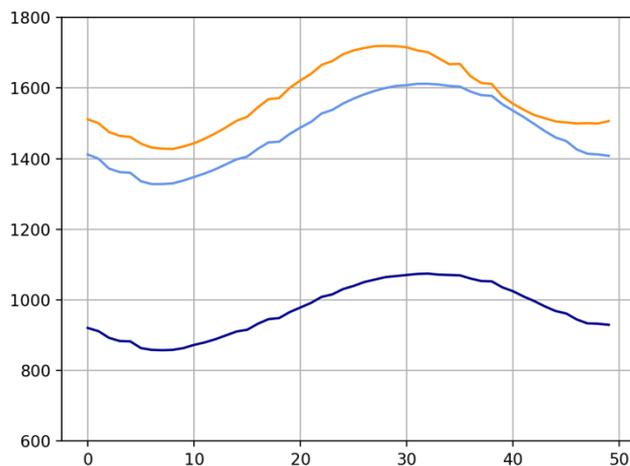


図 7：上部：従来のランドセル（青い線）と被験者 B（オレンジ色の線）の肩峰（肩）のマーカーの動き。下部：最初の 50 フレームのクローズアップ。濃い青色の線は、底（上部マーカーの下 20 cm）の動きを示している。

連結結果

表 1 は、すべての被験者が現場でジョギングしている間のランドセルの身体からの垂直移動遅延を示している。

表 1. 現場でのジョギング中のランドセル垂直移動の測定遅延（単位：ミリ秒）

被験者	従来品	新プロトタイプ
A、6 年生、男子	54	12
B、3 年生、女子	42	12
C、3 年生、男子	42	20
D、3 年生、女子	37	12
E、4 年生、男子	50	25
F、4 年生、男子	33	17
平均	43.0	16.3
標準偏差	7.8	5.4

従来品は、垂直方向の動きと身体（肩峰）の動きの間の平均遅延が 43.0 ミリ秒であることを示している。新プロトタイプは、16.3 ミリ秒を示し、2.6 倍の短さとなっている。

従来の製品と新しいプロトタイプとの間の従来の製品との平均遅延差を、対応のある t 検定で検証した。新プロトタイプは、有意に短い遅延時間 ($t=7.4214, df=5, p \text{ 値} = 0.0006997$) を示している。時間差の 95%信頼区間は、17.4 から 35.90 である。平均値の差は 26.67 であ

る。

運動学的には、従来の製品では、すべての被験者に、身体の動きの上昇期および下降期で、青線(ランドセル)とオレンジの線(身体)との間に距離の違いがあることが示されている。これはつまり、ランドセルの下向きの動きが体の下向きの動きによって遅れるということだ。これは、従来のランドセルが跳ね返り運動をしているということである。

新プロトタイプは、青線とオレンジの線との間にほぼ同じ距離がある。これは、新プロトタイプの改良がランドセルの跳ね返りを抑制しているということである。

結論

多くの研究者が、子供の通学バッグの負荷について人間工学的な懸念を表明している。教科書のサイズが大きくなり、タブレットを持ち運ぶ必要があるため、負荷が重くなる。本研究では、日本の小学校のランドセルのショルダーストラップの新しいストラップブラケットとダンパー機構の実装について調査した。

身体の動き、および従来もしくは新しいプロトタイプデザインのコンピュータービジョンに基づいた分析により、身体の動きによって引き起こされる遅延の大幅な減少が明らかとなっている。

この考察において、私たちは主に動力学における評価を研究してきた。続く研究では疲労評価を行うこととなる。

プロトタイプをベースにした新しいランドセルは、2023年春に発売され、良い評価を受けている。

謝辞

すべての子供の被験者とその両親は、測定前には十分に情報を得ていた。参加に対し心からの謝意をお伝えしたい。

参考文献

- Chow, D. H.他(2006) 青年期の特発性脊柱側弯症と正常なコントロールを有する女子生徒の立位姿勢とバランスに対するバックパックの重量の影響. *Gait & Posture*, 24(2), 173-181
- Dockwell, S., Simms, C., & Blake, C. (2013). 小学生の通学バッグの運搬と通学バッグ関連の筋骨格系の不快感. *応用人間工学*. 44(5), 799 -805
- Goodgold, S., Corcoran, M., Gamache, D., Gillis, J., Guerin, J., & Coyle, J. Q. (2002). 子供のバックパック使用. *小児理学療法*. 2002, 14 (3), 122 -131
- Tomal, P., Fryzowicz, A., Skorupska, E., Dworak, L.B. (2022) 変数としての通学バッグの負荷による 7 歳児の歩行運動に対する影響. *国際環境研究公衆衛生ジャーナル*. 2022 19(7): 3843
<https://doi.org/10.3390/ijerpf19073843>