

車いす走行時の振動を用いた筋活動量計測手法の評価

小林裕弥^{†1} 和泉信生^{†1} 森下功啓^{†2} 古賀元也^{†3} 松原誠仁^{†4}

概要: 我々は車いす移動時の負担を定量的に計測することを目的に走行時の振動計測システムの開発を行った。また、運動負荷計測として筋活動量を用いているが筋電計は高価で、取り付けが難しいため、振動計測装置を用いて筋活動量の推定を行う可能性について検討した。

キーワード: 医療・福祉支援、地理データベース・空間データベース、ユニバーサルデザイン

Evaluation of Muscle Activity Amount Using a Vibration at Wheelchair Traveling

YUYA KOBAYASHI^{†1} SHINOBU IZUMI^{†1} KATSUHIRO MORISHITA^{†2}
MOTOYA KOGA^{†3} SHIGEHITO MATSUBARA^{†4}

Abstract: We have developed a vibration measurement system during traveling for the purpose of quantitatively measuring the burden of wheelchair movement. In addition, we have been using the muscle activity as burden measurement. However electromyograph is expensive and difficult to equip. We studied possibility to estimate the amount of muscle activity by using the vibration measuring system.

1. はじめに

我が国では2006年に「高齢者、障害者等の移動等の円滑化を促進に関する法律」(通称バリアフリー新法)が制定され、全国的にも都市部を中心にバリアフリー化が進められている。東京では2020年に開催される東京オリンピック・パラリンピックに向けて、競技会場や多くの人が利用するターミナル駅のバリアフリー化が検討されている。

一方で、地方においては新設の郊外商業施設ではバリアフリー化がされており、車いす利用者が利用しやすい環境となっているが、旧来から様々な施設や商店が集積するまちなか中心部においては、整備状況にばらつきがあるのが現状であり、車いす利用者が行動しやすい環境であるとは断言できない。そのため、車いす利用者がまちなかで快適に活動できるための支援が必要である。

我々は、「自走式車いす使用者を対象とした身障者支援システム」の開発を行っている。このなかで、車いす走行時に経路区間から受ける負担を定量化することで、最も負担が少ないと考えられる経路を算出する手法[1][2]を検討し

ている(経路区間、経路は、グラフ理論における、辺、小道に該当する)。経路区間から受ける負担(以下、負担)は道の傾斜など単一の要因によってもたらされるものではなく、道幅、斜面、路面状態など、複数の要因が合成されたものと考えられる。

本研究ではこの要因の1つであると考えられる、車いす走行時の路面から受ける振動と車輪の回転速度を定量的に計測するための計測装置の開発、及び、計測データを数値化するシステムの実装を行った。また、筋電センサを用いて計測して腕の筋活動量をするには高価な装置と専門知識を持った実験者が必要となる[6]ため、計測装置による代替が行えれば有益であると考え、両者の相関関係の検討を行ったため、これらを報告する。

2. 既存研究と問題点

矢入らはICTを活用した身障者の移動支援研究を行っている[3][4][5]。そのなかで車いす走行時の振動計測に関して[2]、スマートデバイス(iPod touch)を用いて振動を計測[2]して、定量化を行った。ここでは複数のスマートデバイスを用いて車輪の運動と、車いすが受ける振動を計測している。しかし、スマートデバイスは内部時刻の同期を十分な精度で行うことが難しい、周波数特性がわからないため路面の細かい変化に影響される高周波の振動を計測するには適さない、OSのスケジューリングに影響され一定間隔での観測が難しいなど、計測装置として用いるには必ずしも適していない。また、街や都市などの広い計測範囲を対

^{†1} 崇城大学 情報学部 情報学科
Department of Computer and Information Sciences, Faculty of Computer and Information Sciences, Sojo University.
^{†2} 熊本高等専門学校建築社会デザイン工学科
Department of Architecture and Civil Engineering, National Institute of Technology, Kumamoto Collage
^{†3} 崇城大学 工学部 建築学科
Department of Architecture, Faculty of Engineering, Sojo University.
^{†4} 熊本保健科学大学 保険科学部
Department of Rehabilitation, Faculty of Health Science, Kumamoto Health Science University

象とする場合には、大量の実験データから経路区間走行部分を自動的に切り出し処理することが必要となるが、切り出し処理の自動化については実現されていない。

3. 振動計測システム

ここでは、車いす走行時の路面から受ける振動を車輪の回転速度を計測するための計測装置、及び、計測データを数値化するシステムについて述べる。

3.1 計測装置

車体の振動、及び、車輪の回転速度計測装置はマイクロコンピュータとして Arduino を用いて、GPS や無線モジュール、記録装置などを組み合わせて実装した。Arduino は比較的容易に様々なセンサを用いることのできるハードウェアとソフトウェアをベースとしたオープンソースの電子プラットフォームであり、入出力ポートを備えた基板、Arduino 言語とそれの統合開発環境から構成されるシステムである。図 1 に計測装置の概略図を示す。

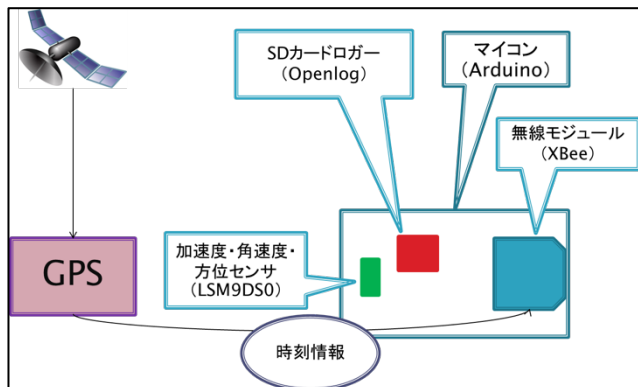


図 1 振動計測機（座席下）の概要図

振動計測機 3 つを図 2 のように車いすに取り付けて計測を行う。車いすの左右の車輪に角速度センサ、座席下に加速度・方位・角速度センサ、左輪には回転センサを取り付ける。また座席後ろにはGPS受信機を取り付けている。

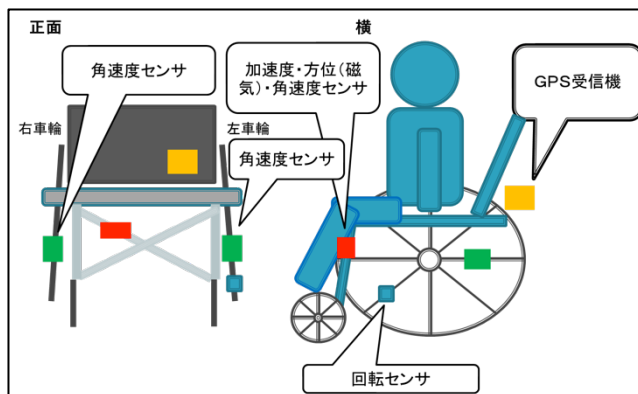


図 2 振動計測機を取り付けた車椅子の解説図

GPS 受信機は 1 つの計測器に接続されており、搬送波に同期しつつメッセージを解読し、4 つ以上の衛星までの疑似距離を基に測位計算を行い、受信機の位置座標と精度の高い時刻を取得する。受信した時刻情報を無線モジュールブロードキャストすることで残り 2 つの計測機に時刻を通知する。座席下の計測機は各 3 軸の加速、角速度、方位の計測値、左右の車輪にある計測機は 3 軸の角速度を、GPS 受信機から送信された UTC（協定世界時）の時刻情報とともに、SDカードに記録する。図 3 に振動計測機、図 4 に計測機を車椅子に取り付けた様子を示す。

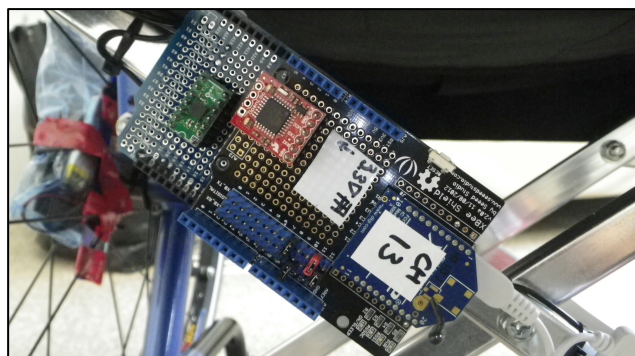


図 3 振動計測機（座席下）



図 4 振動計測機を取り付けた車いす（正面と側面）

```
120064,832,G,-27,12,-97,A,-4864, 6815, 1150,M,-4591,1699,6213,R,0
120072,683,G,-27,12,-97,A,-4850, 6784, 1152,M,-4523,1718,6207,R,0
$GPST,120102,2014-10-10,20141900
120104,375,G,-33,12,-93,A,-4859, 6811, 1142,M,-4480,1647,6167,R,0
120112,226,G,-35,9,-97,A,-4865, 6818, 1169,M,-4480,1796,6212,R,0
```

図 5 計測機が記録するデータの例

記録されるデータの例を図 5 に示す。マイコンがある時刻にセンサから取得した計測データと、GPS 受信機から送信されたデータが行ごとに記録される。計測データ（数値から開始する行）は、角速度を ω 、加速度を a 、方位を m で表すと、順に、起動からの時間[ms]、起動からの時間（1 ms 以下のマイクロ秒部分）[μs]、G（文字）、 ωx 、 ωy 、 ωz 、A（文字）、 $a x$ 、 $a y$ 、 $a z$ 、M（文字）、 $m x$ 、 $m y$ 、 $m z$ 、

R (文字), rotation (回転センサの検出状態)である。 ω , a, m に続く x, y, z は 3 方向の直行する軸を表している。文字と記述している要素は Ascii 文字であり、計測データではなく、後の処理に用いるデリミタである。また GPS 受信機から送信されたデータ (\$GPST で開始する行) は、起動からの時間[ms], 日付 (UTC), 時刻 (UTC) となる。時刻の最後の 2 桁は小数点以下の秒数である。GPS の時刻情報はそれぞれの計測機が記録するデータを比較する際に、内部時間が正確ではない問題を解決する。また、後に筋活動量との比較を行う際の時刻補正に用いるために、筋電計の値を記録する PC に無線モジュールを接続し、ターミナルソフトウェアで無線モジュールが受信した GPS 時刻と PC 時刻を対応付けて連続的に記録した (筋電計測定装置とソフトウェアは市販のものを用いており、それが測定値と PC 時刻を対応付けて記録するため)。

3.2 計測装置を用いた計測実験

この振動計測機を用いて熊本市下通り周辺にて筋活動量と振動等の計測を行った。この地域はこれまでに詳細な年調査を行った地域である[7]。図 6 にノード番号をプロットした実験対象地の地図を示す。実験走行経路区間は 213 個のノードをつないだ区間の往路・復路を合わせて 310 経路区間である。



図 6 実験対象地の地図 (熊本市下通周辺)



図 7 経路区間の例

実験では、車いすに乗った被験者 (30 代男性, 健常者) が 1 つの経路区間の始点ノードで右旋回をしてスタートし、終点ノードで左旋回を行ってゴールとした。スタートとゴール地点にはオレンジ色のマーカーを設置し、旋回は車体全体がマーカーの手前、及び、マーカー通過した状態で行った。経路区間を拡大したものを図 7 に示す。視点ノード 173 から終点ノード 175 に向かって走行し、往路 1 回の経路区間記録とし、復路も同様に行った。実験の様子を図 8 に示す。



図 8 実験の様子

3.3 計測データからの切り出し処理

収集された観測データより振動の観測値を切り出す手順は以下の通りである。

- (1) 角速度の座標系を変換し、鉛直方向に Z 軸を取る
- (2) Z 軸方向の角速度に対し、0.5 秒区間毎に観測データの平均と標準偏差を求める
- (3) 移動平均データを 2 値化し、右旋回と左旋回を明確化
- (4) 始点と終点で行った旋回イベントを検出
- (5) 旋回の開始時刻と終了時刻を左右それぞれで求める
- (6) 旋回の開始・終了時刻を基に、観測データを切り出す

ここで、(4)の旋回イベントの検出においては、以下の(ア)～(イ)のルールを適用し、同じ旋回方向を束ねて「左旋回」や「右旋回」とみなした。これにより、被験者の実験に対する不慣れが原因で生じた観測の不安定さを排除できた。

- (ア) 3.5 秒以下の旋回停止区間を無視
- (イ) 1.5 秒以下の旋回は無視

ところで、旋回を明確に 2 値化するために十分に高い閾値を用いると、旋回イベントの境界付近では角速度が十分に落ちない。そこで、(5)の旋回の開始時刻と終了時刻の検出においては、Z 軸方向の角速度を移動平均した値が十分に落ちた時点を実験イベントの開始もしくは終了時刻とした。

4. 振動と筋活動量の相関の検証

振動から筋活動量を求めるために振動と筋活動量において比較を行った。振動は計測区間において一定間隔で計測した3軸方向の加速度から求めた合成ベクトルを、データを小さい順に並べた時のIQR（4分位数の75%値と25%値の差分）を値としている。筋活動量は、各計測部位毎の筋電位の合計値を計測区間距離で割り、さらに計測部位（右三角筋、右上腕三頭筋、右上腕二頭筋、右腕橈骨筋、左三角筋、左上腕三頭筋、左上腕二頭筋、左腕橈骨筋）8箇所合計値を用いた。振動と筋活動量の相関を表計算ソフトExcel（エクセル）を用いて確認した。結果、相関係数 $r=0.368$ となり、相関はほとんど見られなかった。図9に振動と筋電位の散布図を示す。縦軸が振動、横軸が筋活動量である。

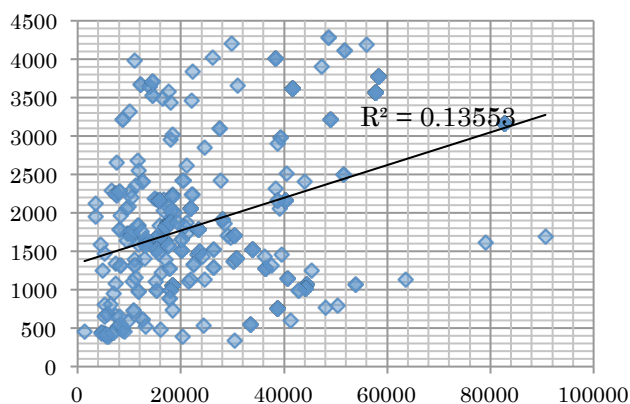


図9 振動と筋活動量の散布図

この結果を踏まえ、振動から筋活動量を求めるためにノイズの原因として考えられる、坂による影響と筋活動量の定量性を調べた。

4.1 坂による影響

実験対象地では必ずしも平坦ではなく、上り坂や下り坂がある。しかし、結果の値には坂による影響が考慮されていない。それを踏まえて実験対象地において振動と筋活動量は坂の影響を受けるか調べた。対象経路が坂であるかの判別は、実験対象地の計測区間におけるの始点ノードと終点ノードの標高の高低差によって判断する。標高は、国土交通省国土地理院の地理院地図用いて得られたノードの緯度・経度座標に基づいて求めた。

4.1.1 坂と振動・筋活動量の比較

ノードの標高の差から求めた坂が振動・筋活動量に影響があるかを確認した。図10に高低差と振動の分布、図11に高低差と筋活動量の分布を示す。振動には坂による影響は見られないが、筋活動量では下り坂の時に増えている区間がある事がわかる。

4.2 筋活動量の定量性

坂による影響の検証から筋活動量の定量的な計測が行えているかの疑問が得られたため、実験対象地での計測実験に筋活動量の定量性があるかについて追加調査を行った。

4.2.1 筋活動量の定量性検証実験

経路区間(169-134)での筋活動量の計測結果3回分の筋電位8箇所を対象に比較を行った。観測スタート時から10000個のデータをKruskal-Wallis検定（有意水準 $5\%-p<0.05$ ）で比較をする。Kruskal-Wallis検定（クラスカル-ウォリス検定）はノンパラメトリック検定（データ分布に依存しない検定法）のひとつであり、1要因で3つ以上の母集団の差を検定するものである。この検定は統計分析に利用されるRを用いて行った。Rはフリーで配布されている統計分析ソフトウェアで、高水準の統計計算やグラフ表示を行うことができる。

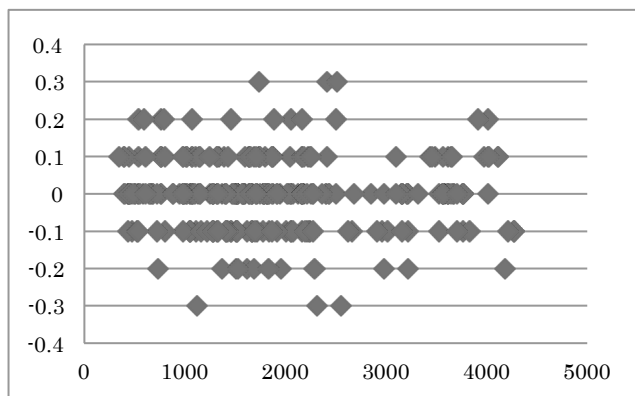


図10 高低差（縦軸）と振動（横軸）

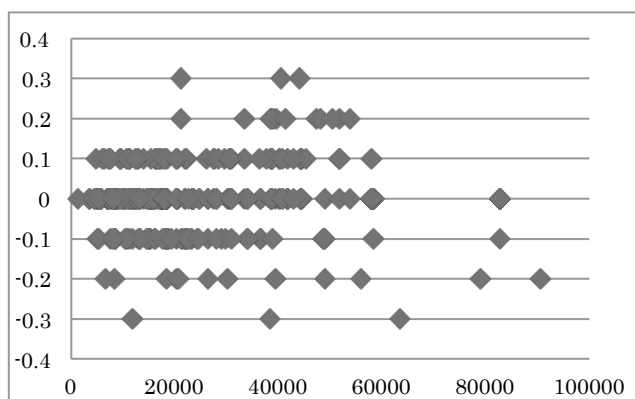


図11 高低差（縦軸）と筋活動量（横軸）

4.2.2 筋活動量の複数回測定の検定結果

先の経路区間における筋電位のKruskal-Wallis検定は表1のようになり、8箇所全ての筋電位において $p<0.05$ となった。検定結果として同区間での筋活動量は異なり、実験対象地では筋活動量に定量性がないという結果となった。

表 1 筋電位の Kruskal-Wallis 検定

筋電位計測部位	検定の p 値
右腕橈骨筋	0.00398
右上腕二頭筋	0.00225
右上腕三頭筋	0.00263
右三角筋	0.0156
左腕橈骨筋	0.0016
左上腕二頭筋	0.01
左上腕三頭筋	0.01
左三角筋	0.01

5. 考察

実験と検定の結果より、振動と筋活動量の両方において、坂の影響によって増減しているわけではないという結果となった。しかし、筋活動量は下りで極めて増えている区間があったため、その実験区間について検討を行った。対象の実験区間(65-3,62-4,103~155)で実験時の様子(図 11, 12, 13)を確認すると、工事中や段差の乗り降り、視覚障害者誘導用ブロックのある道であった。このことから筋活動量は坂による影響よりも走行路面の状態に影響されると考えられる。

また、筋活動量に定量性が見られなかった原因として、同一の区間でも観測データ数が異なっていることが原因と考えられる。比較するデータ数が多いため、今回は観測スタート時から 10000 個のデータを用いて比較した。しかし同区間 3 回分の各観測データの個数はそれぞれ 30001 個、64001 個、74001 個である。これは車いす移動速度が異なるためである。したがって、車椅子走行時の速度の違いにより腕の筋活動の状況が変わったために筋活動量に統計的な差が見られたと考えられる。

6. まとめ

今回開発した振動計測システムを用いることで、GPS が取得する精度の高い時刻に同期した、車椅子走行時の振動計測が可能となり、先行研究における問題点を解決することが出来た。しかし、筋活動量を振動計測によって代替するという目的は、計測環境に不足の事由の多い屋外であることの影響で、統計解析の結果として、再現性のある内容を得ることは出来なかった。

測定した振動量に基づいて算出した振動最小経路(図 15)は車いす利用者が通行したいと考えるユーザ経路と高い一致度を得ることは出来なかった。車いすの振動は移動負担の 1 つではあるが、それだけで大きな影響があるものではない。今後は他の要因との組み合わせで用いるなどを検討していきたい。



図 12 舗装がされていない歩道



図 13 工事中の経路区間での走行の様子



図 14 視覚障害者誘導用ブロックのある経路区間

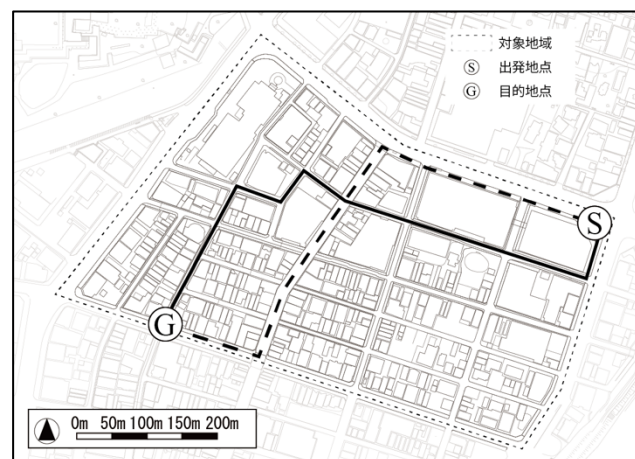


図 15 ユーザ経路(破線)と振動最小経路(実線)

謝辞 本研究は JSPS 科研費基盤研究 (C) 26350031 の
助成と公益財団法人三菱財団の研究助成を受けたものです.

参考文献

- [1] 稲田好恵, 和泉信生, 古賀元也, 松原誠仁, 森下功啓, まちなかでの車椅子利用者の移動経路の再現に関する研究, 情報処理学会第 77 回全国大会, 4-889-4-990, 2015
- [2] 稲田好恵, 和泉信生, 古賀元也, 松原誠仁: 福祉のまちづくりのための整備案検討支援システム -車いす使用者の最適移動経路の再現-, 火の国情報シンポジウム 2014, 2014, 3
- [3] 矢入郁子, 快適な車いす利用に向けた乗心地指標化のためのパーソナルセンシング・動的測量技術, 立石科学技術振興財団助成研究成果集(第 22 号), 2013
- [4] 矢入郁子, 猪木誠二, 高齢者・障害者の自立的移動を支援する Robotic Communication Terminals(2). 人工知能学会論文誌, Vol.17, No.2, pp.170-176, 2002
- [5] 矢入郁子, 猪木誠二, 高齢者・障害者の自立的移動を支援する Robotic Communication Terminals(3). 人工知能学会論文誌, Vol.18, No.1, pp.29-35, 2003
- [6] 梶山大志, 古賀元也, 和泉信生, 松原誠二, 瀬口裕也, 曲金彦: 福祉の街づくりに向けた身障者支援システムの試験的開発 (その 3)-身障者支援システムの試験的開発-, 日本建築学会九州支部研究報告第 53 号(佐賀), 2014, 3
- [7] 梶山大志, 古賀元也, 和泉信生, 松原誠二, 瀬口裕也, 曲金彦: 福祉の街づくりに向けた身障者支援システムの試験的開発(その 2)-身障者の身体負担に着目したまちなか空間の基礎調査-, 日本 建築学会九州支部研究報告第 53 号(佐賀), 2014,