

ジョイスティック入力を含む実環境・実ユーザ電動車椅子ライフログの 走行環境評価における有用性

Characteristic Evaluation of Driving Environment with Actual Power Wheelchair Users Including Joystick Operations in a Real Environment

○ 高本 健吾（国リハ研）， 硯川 潤（国リハ研）

Kengo KOMOTO, Rsearch Institute of National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities
Jun SUZURIKAWA, Rsearch Institute of National Rehabilitation Center for Persons with Disabilities

Abstract: To make a barrier-free map for wheelchair users' safety, quantitative characterization of pathway in a real environment is important. In previous studies, driving parameters logged for analyses were limited to ones related to wheelchair movement. However, to exhaustively figure out the interactions among driver, wheelchair, and environment, it is substantial to consider the joystick operation. In this study, we demonstrated that the joystick operation log can enrich the interpretation of activities with a power wheelchair when combined with long-term logging of wheelchair body acceleration. Evaluation results show that observing temporal variation of the joystick operation can extract the locations where the driver should respond to temporally varying environmental factors, like oncoming pedestrians and bicycles. These results indicate the effectiveness of long-term life-logging including joystick operation for pathway characterization of a power wheelchair.

Key Words: Power wheelchair, real environment, Life-log, joystick operation, pathway characterization

1. はじめに

安全で走行可能な移動経路を電動車椅子ユーザに提示することは、彼らの社会参加を促す手助けとなる。先行研究では、路面の状態に着目したバリアフリーマップの作成が試みられている^{(1),(2)}。これらは、GPS や加速度センサが組み込まれたスマートフォンなどの機器を車椅子に固定し、位置情報と車体に加わる加速度により、路面の粗さや段差の検出を試みている。しかし、車体に加わる加速度は走行速度の影響を受け正確な状態推定を妨げる。また、バリアフリーマップを車体の走行データをもとに作成する場合、莫大な規模の走行データが必要となり、収集手段の確保が課題となる。その解決策として、電動車椅子ユーザの実生活環境下の走行データを利用して走行路を評価する手法が提案されているが、実際に実環境・実ユーザの走行データを用いて分析・評価まで行った事例は少なく、長期間にわたり走行データを蓄積した事例は確認できない。

筆者らはこれまでに電動車椅子ユーザのジョイスティック操作に着目した走行評価から、制御機構の効果を検証できることを示してきた^{(3),(4)}。ジョイスティック操作には、ユーザの操作意志が直接反映されるため、傾斜路などの走行路面に対する補償操作や、人通りなどの環境要因に対する回避操作のような、走行環境への反応の推定に利用できる。従って本研究では、ジョイスティック操作を車体挙動に関連する走行パラメータに加えることで、ユーザ・電動車椅子・走行環境の相互作用を考慮した走行路面の評価を実現できると考え、実環境・実ユーザのライフログを収集・評価し、走行環境の把握が可能であるか検討した。

2. 方法

2.1 計測システム

実環境・実ユーザの電動車椅子の走行動態把握を目的に開発した電動車椅子ライフログシステム (WELL-Sphere, Wheelchair Everyday Life Log with a Smartphone based Electronic Recording Equipment) を用い、実環境・実ユーザ

の電動車椅子ライフログの取得を試みる^{(5),(6)}。ライフログシステムの概要とシステムの固定位置を図1に示す。本ライフログシステムは、大容量バッテリー、センサ、A/Dコンバータを含むCPUボード (ArduinoMEGA, Arduino LLC / Arduino SRL) とスマートフォン (Nexus5, Google Inc.) で構成される。スマートフォンはGPS座標をセンサの信号と同期させて記録し、通信機能を用いて記録終了時に記録データを専用のデータサーバへ送信する。本研究では、車体に加わる加速度 (以後、車体加速度と呼称) とジョイスティック操作量を加速度センサを用いて計測し、それらをライフログとして蓄積した。加速度センサは、車体下部 (図1(a))、ジョイスティック内部 (図1(b)) とその近傍の車体 (図1(c)) にそれぞれ固定した。加速度センサは全て25 Hz、GPS座標は1 Hzでサンプリングした。

2.2 実験方法

日常的に電動車椅子を使用する頸椎損傷者1名を被験者とし、実生活環境下でのライフログを40日間記録した。実験期間中には、被験者に走行ログの記録の開始/終了操作、システムの充電操作を日常的に求めた。本実験は、被験者の同意を得た上で国立障害者リハビリセンター倫理審査委員会に承認されたプロトコルに従って実施した。

3. 解析方法

本研究では、全実験期間中のGPS座標をプロットし、最も座標が集積した被験者の生活圏内の走行路を解析対象とした。図2(i)に解析対象範囲の走行路を示す。解析対象内の走行路に、GPS座標の計測誤差を考慮したライフログの対応付けを行う。その後、走行路毎の車体加速度およびジョイスティック操作量の傾向を求め、走行路の状態を推定した。以下に、センサ計測値から車体加速度、ジョイスティック操作量の算出方法、GPS計測誤差の対処方法、走行路毎の特徴の求め方を示す。また、実生活環境下での実ユーザの走行動態を確認するために、車体加速度とジョイスティック操作量の関係を調べた。

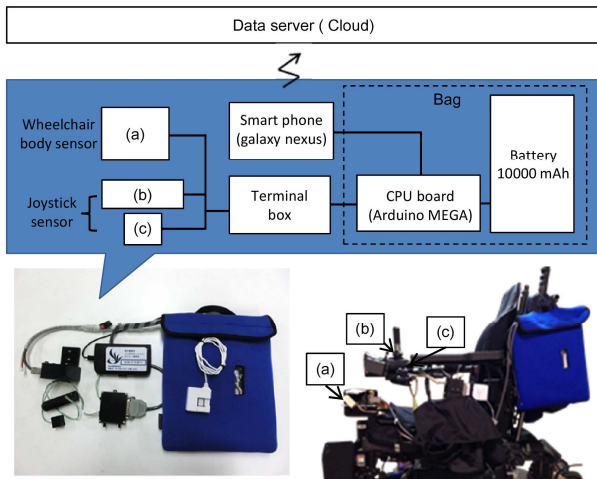


Fig.1 Configuration diagram and setup location of the life-logging system on the participant's wheelchair

3.1 車体加速度とジョイスティック操作量の算出方法

車体加速度は、車体に固定した3軸加速度センサの計測値の2乗和の平方根から重力のオフセットを減算し絶対値化し算出した。

ジョイスティックの操作量は、ジョイスティック内部 (図1(b))とその近傍 (図1(c))に固定した加速度センサの値を差分することで車体全体の傾きと車体挙動の影響を相殺し、スティック傾斜による重力加速度の変化として算出した。減算後に生じる衝撃加速度に起因する残差は、ローカルレベルモデルを適用したカルマンフィルタで平滑化した。

3.2 GPS 計測誤差の対処方法

走行路にライフログを対応付けるためには、走行路の領域を把握し、領域内に含まれるライフログを抽出する必要がある。そこでまず図2(i)に示すように、解析対象範囲を5m間隔で格子状に分割し、走行路の領域を定義した。走行路は分岐地点で13個に分割した。

次に、分割した区域(50×44)毎にGPS座標が含まれるか調べ、ライフログを該当区域に分配した。各区域に含まれた車体加速度、ジョイスティック操作量(前後/左右)の平均値、標準偏差を求め、その区域の特徴量とした。ただし、この分配は計測誤差を含むGPS座標に基づくため、特徴量に計測誤差距離を考慮した平滑化処理を行う。図2に示したように、平滑化方法は対象範囲内のデータ有無を考慮して、距離に従い影響が減少するカーネルを設計した。カーネルのサイズはGPSの計測誤差を考慮し、カーネル中心から±2個分(10m)の幅を持つ5×5とした。カーネル内の重みは図2(ii)に示したように中心からの距離の逆比とした。カーネルは、平滑化範囲内のデータの有無より作成したマスク行列(M)と重み行列(W)のアダマール積より求め、要素の総和が1となるように両行列のフロベニウス積で除算し補正することにより得られる。以上で求めたカーネルを用いて平滑化を行う。ただし、平滑化の中心区域にライフログの特徴量がない場合にはその区域は処理をせず、次の区域に移動し全領域を走査し平滑化を繰り返す。

3.3 走行路の特徴量算出方法

走行路毎に図2(i)に示した対応領域内の平滑化後の特徴量を集約し、その平均値を走行路の特徴量とする。つまり走行路はそれぞれ、平滑化後の車体加速度の平均値/標準

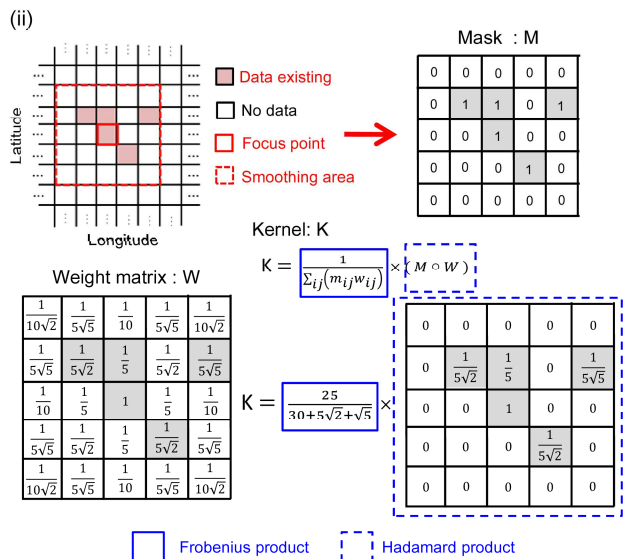
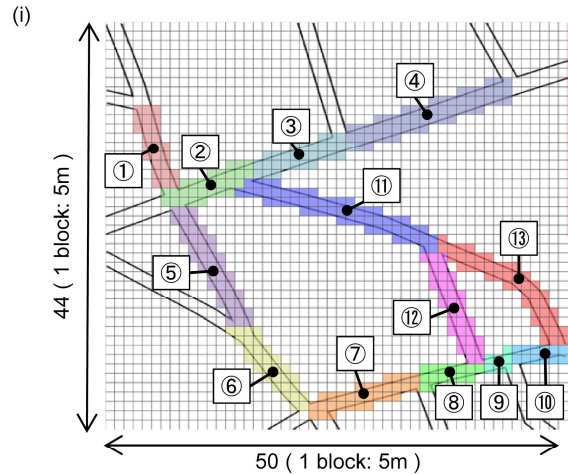


Fig.2 Pathways in subject's living area and proposed smoothing method, (i) Areas of divided pathways by branch locations, (ii) the method of calculating the kernel of proposed smoothing filter

偏差の平均、ジョイスティック操作量(前後/左右)の平均/標準偏差の平均、の6つの特徴量を有する。この特徴量を用いて、13個の走行路をワード法による階層クラスタリングで分類した。その際、それぞれの特徴量の値は、全走行路の特徴量の平均を基準に2値化し、差を顕著にした後クラスタリングを行い、分類結果と実際の走行路を比較した。

4. 実験結果と考察

解析対象範囲の車体加速度とジョイスティックの操作傾向を図3に示す。特徴量は全て正規化し、色の濃淡により値の大小を示す。ただし、図3(i)の着色されていない領域はGPS座標が計測されなかったことを示す。図3より、GPS座標は路面を中心に分布しているが、実際の計測座標は±10m以上走行路から外れている場所も多い。これは、被験者の日常生活を妨げないように、スマートフォンは記録開始/終了操作時以外はバッグの中にしまうように指示したことが原因で、バッグ内で最適なアンテナの向きが維持できなかった可能性が考えられる。

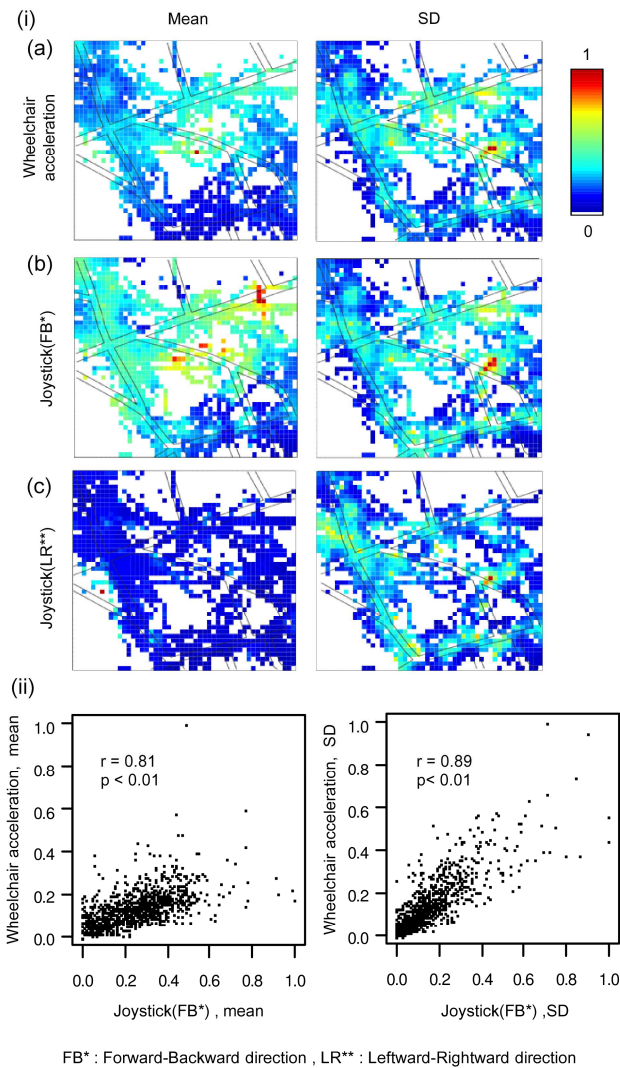


Fig.3 Colormap of Life-logs associated with subject's living area, (i) Tendency of power wheelchair Life-Logs in subject's living area, (ii) The relationship between acceleration measured by accelerometer installed on wheelchair body and the amount of joystick operation in forward-backward direction during a driving on pathway

図3 (i) (a) に、地図上に関連付けた車体加速の平均(左図)、標準偏差(右図)の傾向を示す。標準偏差の傾向では、走行路上に濃淡が確認できた。これは、通過する度に車体加速度が変化することを意味し、この結果は、1度の走行計測では正確な評価が困難であることを示唆する。

図3 (i) (b) に、地図上に関連付けたジョイスティック前後方向の操作傾向を示す。ジョイスティックの前後方向操作量は電動車椅子の移動速度の設定値である。平均と標準偏差の結果からわかるように、被験者は解析範囲で速度設定値を調整していることが確認できる。先行研究では、走行時被験者に速度を変えないよう指示したり、一定速度での走行を前提として路面の粗さや段差の検出を試みている(1),(2)。実環境・実ユーザのライフログを用いて走行環境評価を行う場合、走行速度変化は無視できない要素であることが示された。

図3 (i) (c) に、地図上に関連付けたジョイスティック左右方向の操作傾向を示す。左図は左右方向操作の平均を意

味する。分岐地点では方向転換操作が行われ、平均的にも大きな値が得られると想定したが、図3 (i) (c) 左図の平均値では、ほぼ一様な結果を示し走行路上での差は確認できなかった。これは、分岐地点で必ずしも旋回するわけではなく、直進も行われていたことが原因である。旋回操作が行われていた根拠は右図の標準偏差の結果から読み取れる。分岐路の近辺(⑥と⑦, ⑧と⑨, ⑩と⑬の間)には、標準偏差が相対的に高くなっている。この結果から、分岐路での操作内容に幅があったことが確認できた。

また、図3 (i) (a), (b), (c) 全ての平均で高い値を示さなかった走行路7～10の領域で、逆に標準偏差では高い値を示している。この走行路7～10の領域は商店街であるため、人通りや歩道上の駐輪や駐車などの走行阻害要因の有無が時間に依存して変化することが考えられる。本結果は、長期間のライフログ蓄積が、経時変化を伴う環境因子の検出可能性を示唆する。

図3 (ii) に、車体加速度と走行速度設定値である前後方向ジョイスティック操作量の関係を示す。左図は車体加速度の平均値とジョイスティック前後方向操作量の平均値の散布図で相関係数は $r = 0.81$ ($p < 0.01$)、また両者の標準偏差の散布図で相関係数は $r = 0.89$ ($p < 0.01$) であった。以上の結果から車体加速度と前後方向ジョイスティック操作量は非常に強い相関関係にあるといえる。この結果は、車体加速度のみで路面状態を推定した場合、粗い路面や段差の有無の正確な検出が困難であることを示す。ただし、本解析結果は実環境・実ユーザのライフログを取り扱った結果であり、先行研究の否定ではない。また、実ユーザの生活圏内を対象としたため、普段通りなれた安全で舗装された走行路のライフログが集った結果、車体加速度が単純に走行速度に依存した可能性が考えられる。

分岐地点に基づき13区分した走行路を、6つの特徴量を用いてクラスタリングした結果を図4に示す。図4 (i) 左側はクラスタリング結果の樹形図で、右側は分類結果に対応した走行路の6つの特徴量(2値化)を意味する。図4 (i) (a), (b), (c) は、クラスタリング結果をもとに、分類後のグループ間の差が大きくなる特徴量を用いて描画した散布図である。散布図には2値化前の特徴量を用いた。図4 (i) (a) より、走行路は車体加速度の平均値が大きいグループ(2, 1, 5, 6, 11, 3, 4)と小さいグループ(10, 7, 9, 8, 13, 12)の2グループに分類できる。(b) より、車体加速度の平均値が大きいグループは、ジョイスティック操作(前後/左右)を頻繁に行うグループ(1, 2, 5, 6)とジョイスティックを最大に倒したまま細かい操作を行わないグループ(11, 3, 4)に分類できる。走行路2, 5は、実験当時道路が工事中で歩道は狭められ、人通りが多い場合は細かい操作が必要であった。走行路1の近くには大型のスーパーがあり人通りは多く、同様に走行路6は商店街との接点であり、比較的人通りが多いことから、走行路1, 2, 5, 6では速度調整や回避行動が必要になる可能性が高い。一方で走行路11, 3, 4では、歩道も十分広く走行速度や回避操作をほぼ行う必要がないため、ジョイスティックの前後/左右方向の標準偏差が小さかった。これらの走行路では、被験者が大胆に電動車椅子を操作した結果、車体加速度が比較的大きく計測されただけであり、実際の路面は粗くない(図4 (ii))。

次に車体加速度の平均値が比較的低かった走行路は図4 (i) (c) より、ジョイスティックの操作頻度で分類でき、操作頻度が比較的多いグループ(10, 7, 9, 8)と、少ないグループ(13, 12)に分類できる。走行路7, 8, 9, 10は商店街であり、人通りも多く、歩道上の駐輪自転車も多い。その

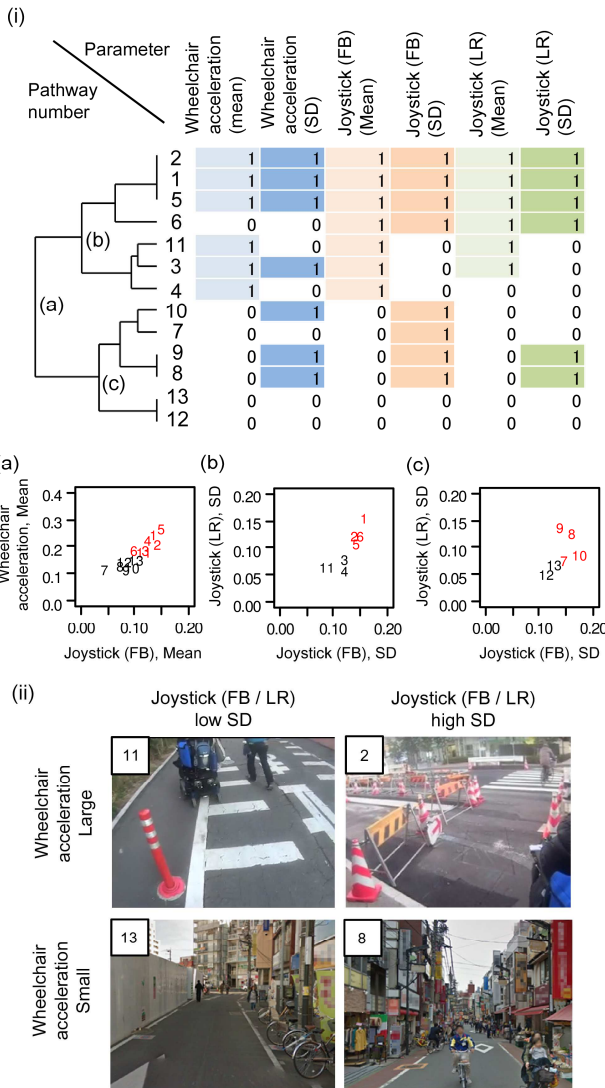


Fig.4 Clustering results of the pathways in subject's living area. (i) Clustering result and parameters of pathways, (ii) Example of actual pathways classified by the wheelchair acceleration and joystick operation amount

ため、走行速度の調整や回避行動が必要になると考えられる。走行路 13, 12 は走行路 2, 5 と同様に実験当時工事が行われており、歩道の片側が塞がれていた (図 4 (ii))。また、反対側の歩道も店舗前の駐輪自転車により塞がれていることがあり、歩行者とすれ違う場合には相手によけることになる。そのため、走行速度も遅めで回避操作も行えない。

図 4 (ii) に車体加速度の平均の大小とジョイスティック操作頻度の多さで走行路を分類した場合の実際の走行路を示した。以上の結果より、分類結果は実際の走行路の特徴を反映しており、妥当な結果であった。

本研究報告では被験者が 1 名と少なく、得られた結果から汎用的な主張は困難だが、長期間のライフログ蓄積により、商店街のように人通りの多い走行路や、車道と歩道間に段差がないバリアフリーな走行路のような走行環境を、ライフログをもとに推定可能であることが示された。

5. おわりに

本研究では、実生活環境下での電動車椅子実ユーザーのライフログを長期間収集し、得られたライフログから走行路の状態の推定が可能であることを確認した。ライフログとして記録した項目は、走行中に車体に加わる加速度 (車体加速度) とジョイスティック操作量であり、これらの算出値を走行路に対応付けた。地図に関連づけたライフログを用いて走行路の状態を評価した結果、車体加速度だけでは正確な評価が行えず、車体加速度とジョイスティック操作量を合わせて評価することで実際の走行路の特徴を反映した分類結果が得られた。

以上の結果から、走行路評価を行う際に車体挙動に加えてジョイスティック操作量を考慮することの有用性を示せた。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 15H01623 の助成を受けて実施した。

参考文献

- (1) 岩澤有祐, 矢入郁子: 「車いす走行ライフログの時空間解析による路面状況推定システム」, 人工知能学会全国会論文集 (CD-ROM), (2013)
- (2) 岡本拓哉, 伊興田光宏: 「加速度センサによる路面状態の把握とバリアフリー検知への利用」, 情報処理学会第76回全国大会講演論文集, pp.721 - 723 (2014)
- (3) Suzurikawa J, Kinoshita T, Kamo M, Iida N, Iwata K, Matsumoto and O, Inoue T: "Estimation Method of Joystick Input Changes Induced by a Downhill Turning Prevention Control Mounted on a Powered Manual Wheelchair.", journal of Life support Eng., vol 24, pp 128 - 134, (2012)
- (4) Suzurikawa J, Kinoshita T, Inoue T, Kamo M, Iida N, Iwamoto K, and Matsumoto O: "Evaluation of Changes in Power Wheelchair Maneuver Induced by a Downhill Turning Prevention Control on Cross Sloped Surfaces.", IEEJ Trans. Electr. Electron. Eng., in press
- (5) Komoto K, Suzurikawa J: "Feasibility Test and Characterization of Wheelchair Everyday Life Log with a Smartphone based Electronic Recording Equipment.", IEEE/SICE 2012, pp 176 - 181, (2012)
- (6) Komoto K, Suzurikawa J: "Estimation of wheelchair states during movement using WELL-SphERE for evaluation of power wheelchair safety", EMBC 2014 35th annual international conference of the IEEE, pp 2499 - 2502, (2013)