

車椅子利用者の慣性・生体情報に基づく乗り心地推定

伊勢崎 隆司^{1,a)} 宮田 章裕¹ 渡部 智樹¹ 田中 智博¹

概要：近年、路面状態をバリア情報としてクラウドソーシングで収集する取り組みが盛んに行われている。しかしながら“バリア”は、通行可否や激しい段差といった物理的障壁だけでなく心理的障壁も含めて考慮されることが望ましい。例えば、“車通りの多い道”は物理的には移動可能であるが、恐怖感を感じる場合はユーザへの障壁が高い場所と考えられる。我々は車椅子利用者が移動時に感じる物理的障壁と心理的障壁を複合したバリア情報として“乗り心地”を収集することを目標とする。本研究は相互影響している物理的変動と心理的変動の相関特徴量を用いて“乗り心地”を推定するアプローチを採る。本稿では、乗り心地を変えたコースにおける慣性・生体相関特徴量を用いた乗り心地スコア推定手法について述べ、実験・結果・考察を報告する。

1. はじめに

人の移動能力は年齢、性別、病歴などに起因して多様である。それゆえ、健常者にとっては問題の無い段差や坂も、高齢者や子どもや車椅子利用者にとっては移動時の障壁となり得る。このような移動時の障壁をバリア情報としてユーザに提示することで、ユーザの移動を支援することが可能である。例えば、国土交通省の歩行空間ネットワークを用いると、歩道の段差有無、坂の傾斜などの情報を知ることができる [1]。このバリア情報は駅や公園といった施設の施設責任者が主に収集している。しかしながら、全ての施設でバリア情報の収集が行われている訳ではないため、多くの場所で情報収集が不十分、あるいは最新の情報でないという問題がある。多くのユーザの移動を支援するためには屋外のような場所のバリア情報を収集されることが望ましい。

このような背景を受け、段差や坂などの物理的な路面状態をバリア情報としてクラウドソーシングにより収集する取り組みが盛んに行われている。例えば、特定非営利活動法人 PADM のみんなで作るバリアフリーマッププロジェクトは、Google インパクトチャレンジのグランプリを取るなど社会的に注目が大きい [2]。しかしながら、内閣府の障がい者基本計画にて定義されているように、“バリア”は移動可否や段差といった物理的な障壁だけでなく、圧迫感や恐怖感といった心理的な障壁も含まれる [3]。例えば、物理的には移動可能であるが恐怖感を感じるような“車通りの多い道”といった場所は、ユーザへの心理的障壁が高い場

所と考えられ、バリアとして扱うべきである。現在行われている技術では物理的な路面状況が収集対象であるため、ユーザの心理的障壁は考慮されないことが懸念される。

物理的障壁と心理的障壁に関わる指標として、“乗り心地”が一般的に用いられる [4][5]。中でも澤田らは医療・福祉機関との共同研究により、車椅子利用者の乗り心地は“安心性”、“安全性”、“快適性”、“安定性”によって表せることを明らかにしている [4]。本研究は澤田らの知見に則り、車椅子利用者が移動時において“安心性”、“安全性”、“快適性”、“安定性”を感じる度合いを“乗り心地”と定義する。

以上より我々は、物理的障壁のみをバリア情報として収集している現状に鑑み、車椅子利用者の乗り心地をバリア情報として収集することを目標とする。本研究の取り組みにより、物理的な障壁だけでなく心理的な障壁を考慮することが可能となり、通行可否だけでなく乗り心地の良いナビゲーションが可能になると考える。

2. 従来研究

ユーザへの物理的影響や心理的影響を評価する指標として“乗り心地”に着目する研究が多数報告されている。劉らは、自動車走行における乗り心地の要因分析を行っている [5]。乗り心地は、空間の広さや騒音などの車内環境要因、振動強度や周波数成分などの振動刺激要因、体調や覚醒度などの生理的要因、気分や安定感などの心理的要因によって評価可能であるとし、これらの寄与率を検討した結果、振動刺激要因、生理的要因、心理的要因の3つが、乗り心地に大きく影響を与えていることを明らかにした。澤田らは医療・福祉機関との共同研究により、車椅子走行時における

¹ 日本電信電話株式会社 NTT サービスエボリューション研究所
NTT Service Evolution Laboratories, NTT Corporation.

^{a)} izezaki.takashi@lab.ntt.co.jp

乗り心地評価に関する検討を行っている [4][6]. “安定性”, “安心性”, “快適性”, “安全性” が車椅子乗車者の乗り心地の良さに係る要素であることを明らかにしている.

乗り心地に影響を及ぼすと考えられる路面状態の評価に関する研究も多数報告されている. 車椅子に装着した加速度センサやユーザアンケートに基づいて路面状態を評価する試みが古くから行われている [7][8][9]. この手法を応用し, 加速度・角速度センサを装着した車椅子で市街地を移動することで, バリアがある場所を発見しようとする試みがある [10][11][12][2]. [10] は SVM を用いて加速度データから段差・傾斜の有無を推定している. [11] は加速度変化から車椅子の角度を計算し, これに基づいて段差・傾斜の有無と大きさを推定している. [12] は加速度データを k 近傍法で分析して平坦・傾斜などの路面状態を 85 % の精度で推定している. [2] はアルゴリズムの詳細を明らかにしていないが, 加速度変化から路面の凹凸を検出するアプリケーションの開発を目指すとしている.

乗り心地に影響を及ぼすと考えられるユーザの精神的負荷を推定する手法に関する研究も報告されている. これまでに生体情報を用いてユーザの精神的負荷を推定する試みがあり, 生体情報を用いた精神的負荷の推定が一定精度にて可能である. 横山らは自動車運転時の疲労感を心拍の RRI から抽出する特徴量を用いて推定している [13]. 今井らは自動車運転時の眠気の大きさを心拍変動・呼吸変動・瞼開閉度・シートからの荷重変動の 4 つの異なるセンサを用いる手法を提案し, 82.4% の精度にて推定している [14].

3. 目標

1 章で述べたように, 物理的な障壁と心理的な障壁の両観点からバリア情報を収集する必要がある. 物理的障壁と心理的障壁に関わる指標として, “乗り心地” が一般的に用いられる [4][5]. 中でも澤田らは医療・福祉機関との共同研究により, 車椅子利用者の乗り心地は “安心性”, “安全性”, “快適性”, “安定性” によって表せることを明らかにしている [4]. 本研究は澤田らの知見に則り, 車椅子利用者が移動時において “安心性”, “安全性”, “快適性”, “安定性” を感じる度合いを “乗り心地” と定義する.

乗り心地を求めるためにはユーザからの回答を用いなければならない. しかし, 移動中に何度も車椅子利用者に対して乗り心地に関する回答を求めるのは, 車椅子利用者への負担が大きく現実的でない. したがって, 乗り心地をユーザの回答を必要とせず低負担で推定できることが望ましい. 本研究の目標は, 車椅子利用者に低負担で乗り心地を推定する方法を実現することである.

岡村らは, 乗り心地が凹凸などの路面状態に影響を受けることを前提として加速度センサを用いて路面状態の評価を行っているが, 乗り心地との関係性は明らかでなく, 実際に被験者がどのように感じているかは不明である [7]. 横山

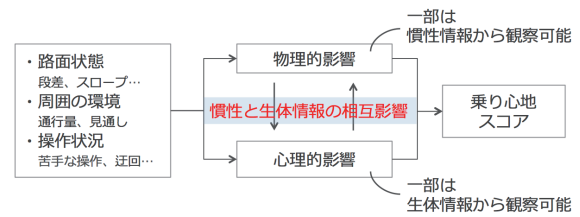


図 1 コンセプト

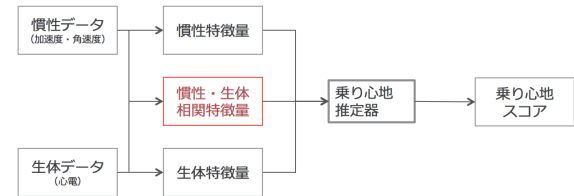


図 2 アプローチ

らや今井らは, 自動車運転時の疲労感・眠気レベルを生体情報を用いて評価しているが, これらと乗り心地との関係性は明らかでない [13][14]. よって既存手法では乗り心地を精度良く推定することはできないと考えられる.

4. 慣性・生体情報の相関特徴量を用いた乗り心地スコア推定

段差やスロープといった路面状態, 通行量や見通しといった周囲の環境, 操作の慣れや迂回操作といった操作状況に影響を受けると考えられるとともに, そして, 路面状態, 周囲の環境, 操作状況はユーザに対して振動の強弱や周波数といった物理的影響と恐怖感や圧迫感といった心理的影響を与えると考えられる. 物理的影響で観測可能な部分は岡村ら [7] と同様に加速度・角速度センサから得られる慣性情報で, 心理的影響で観測可能な部分を横山ら [13] と同様に心拍変動といった生体情報でそれぞれ独立に推定が行える可能性がある. 以上のことを図 1 に示す.

一方で, 路面の凹凸が激しいと嫌悪感を感じる場合や, イライラしていると操作が荒くなる場合のように, 物理的影響と心理的影響は相互に影響を及ぼしあっていると考えられる. すなわち, 慣性情報と生体情報の相関関係の特徴量として用いると, ユーザの乗り心地を精度良く推定できる可能性がある. したがって, 本研究では図 2 に示すように, 加速度・角速度などの慣性情報から抽出する慣性特徴量と心電などの生体情報から抽出する生体特徴量に加え, 慣性情報と生体情報の相関特徴量を用いて乗り心地のスコアを推定するアプローチを採る.

5. 実装方法

提案コンセプトの実装方法について述べる. 本システムは車椅子と慣性センサと心電センサにて構成される. ユーザの運動を必要とする手動車椅子は心電情報に影響を与えられられるため, 電動車椅子を用いる. 慣性情報に関

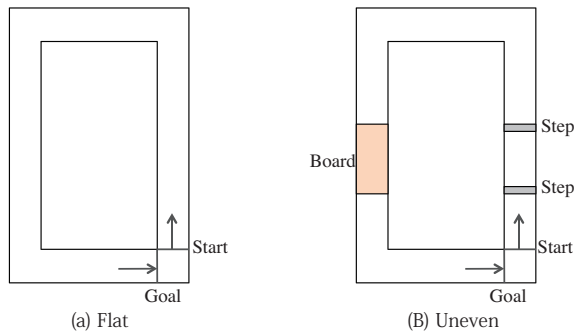


図 3 コース設計

しては、実利用を想定してスマートフォン (Sony: Experia A) を車椅子に固定し、スマートフォンに組み込まれている加速度センサ・角速度センサを用いる。心電情報については、市販の心電センサ (ユニオンツール社の myBeat) を用いる。

本研究では加速度情報、角速度情報、心電情報を 50Hz で取得する。加速度情報、角速度情報に対しては、考慮して静止状態の加速度・角速度情報を用いてキャリブレーションを行う。それぞれの情報に対して、平滑化係数を 0.1 とする指数移動平均を用いたノイズ処理を行う。具体的には、 i 番目の入力センサデータ: s_i , i 番目のノイズ処理後のデータ: Y_i , $i-1$ 番目のノイズ処理後のデータ: Y_{i-1} , 平滑化係数: α として下式を用いた。

$$Y_i = \alpha \times s_i + (1 - \alpha) \times Y_{i-1} \quad (1)$$

心電情報は心臓の拍動にともなって、パルスの形で波形に表出する。心電情報に対してピーク検出を行って心拍のタイミングを算出し、この心拍の時間間隔を時系列的に算出した RRI を得る。

本研究で用いる特徴量は、加速度の 3 軸それぞれの平均と標準偏差、角速度の 3 軸それぞれの平均と標準偏差、RRI の平均と標準偏差、RRI と加速度各軸の相関係数、RRI と角速度各軸の相関係数を用いる。これらの特徴量を説明変数として、主観評価によって得られる乗り心地のスコアを SVM により推定する。

6. 実験

本実験は、慣性特徴量と生体特徴量と慣性・生体情報の相関特徴量を用いて乗り心地を推定可能であることを検証することを目的として行った。提案手法の有効性を検証するため、慣性特徴量と生体特徴量と慣性・生体情報の相関特徴量を用いた提案手法を、慣性特徴量のみを用いた手法 ([7] のアプローチ) と比較した。

6.1 実験環境

本実験は安全性を考慮して、健康な被験者 (年齢 20 ~ 30 代) 3 名に対して実験を行った。本研究は走行時の心理的影響を捉えるために心電情報を用いる。ユーザの運動を必



図 4 実験環境

要とする手動車椅子は心電情報に影響を与えられられる。したがって、本実験では電動車椅子 WHILL [15] を用いた。WHILL は直感的な操作・機動力を備えたパーソナルモビリティであり、操作に特別な技術を必要としない。心電情報計測はユニオンツール株式会社の myBeat 心拍センサを用いた。慣性情報計測は将来的にユーザが携帯しているスマートフォンで慣性情報を収集することを想定しているため、スマートフォンを車椅子に設置し、加速度・角速度情報を計測した。

被験者の乗り心地を変えるため、コースと環境を 2 種類ずつ設定し、計 4 つの組み合わせのコース・環境にて走行実験を行った。設定したコースは図 3 に示すように、平坦な道と段差を含む道の 2 つのコースを設定した。段差を含む道は、車道と歩道間の段差や、点字ブロックの凹凸を想定している。設定した環境はコースから外れないように被験者に強いるための物理的制約の有無を設定した。物理的制約は、狭い道や人通りが多くて自由に移動できない状況を想定している。なお、コースから外れないようにするための物理的制約は、被験者の安全性を考慮して紙コップを配置することで設定した。実験で用いたコースの一例として、物理的な制約と段差のあるコースの風景を図 4 に示す。

6.2 実験手順

はじめに電動車椅子のレクチャを行い、通常操作を問題なく行えるようにした。その後、下記コース・環境の順番で 3 回ずつ走行する課題を課した。

- (1) 平坦な道・物理的制約無し
- (2) 平坦な道・物理的制約有り
- (3) 段差を含む道・物理的制約無し
- (4) 段差を含む道・物理的制約有り

被験者は走行ごとに、コース・環境に対する乗り心地に関するアンケートへの回答を行った。

1 回の走行ごとに乗り心地に関する主観評価をアンケートより得た。本実験では、澤田らの研究 [4] を基に、“安定性”、“安心性”、“快適性”、“安全性”の項目に基いて被験者

表 1 推定結果
相関特徴量あり 慣性特徴量のみ

推定精度	75%	72.2%
------	-----	-------

間で認識が統一できるように具体的な質問を下記のように作成して用いた。

安心性

- 緊張せずに走行できましたか？
- 恐怖を感じずに走行できましたか？

安全性

- 危険を感じずに走行できましたか？
- 慎重に操作しなくても走行できましたか？

快適性

- 本コースは気持ちよく走れましたか？
- 不快な揺れを感じずに走行出来ましたか？

安定性

- コースを簡単・滑らかに走行できましたか？
- コースを遵守できましたか？
- 走行は揺れが無く安定していましたか？

1 走行ごとに、コース・環境の評価をリッカート尺度にて上記各質問に対する回答を 0 から 6(6:非常に良い, 0:非常に悪い) のスコアで得た後、スコアの平均を用いて各走行の乗り心地スコアを算出した。本実験では、3 以上のスコアの試行に“乗り心地が良い”、3 未満のスコアの試行に“乗り心地が悪い”というラベルを付与した。

以上により、乗り心地ラベルと 5 章末で記載した慣性・生体特徴量からなるデータを 1 ユーザあたり 12 セット (4 コース 周) 取得し、3 被験者から計 36 セット取得した。このデータセットに対し慣性・生体特徴量を入力とし、乗り心地ラベルを出力する推定器を SVM で実現した。

6.3 結果と考察

6.2 にて構築した推定器を用いて 10-fold 交差検定を行った結果を表 1 に示す。慣性特徴量と生体特徴量と慣性・生体相関特徴量を用いて乗り心地スコアを推定した結果 (提案手法)、75%という精度であった。一方、慣性特徴量のみを用いて推定した結果 (ベースライン)、72.2%という精度であった^{*1}。手法の有効性を詳細に検証するためには、被験者数を増やして実験を行っていく必要がある。

7. おわりに

本研究では、車椅子利用者の乗り心地を反映したバリア情報収集の実現を目指し、慣性特徴量と生体特徴量に加えて慣性・生体情報の相関特徴量を用いた乗り心地スコア推定手法を提案した。本稿では、実世界で生じうるシーンを模した 4 種のコース・環境を構築して実験を行った。乗り心

地スコアを上記特徴量で SVM により推定した結果 75%の推定精度となり、慣性特徴量のみを用いた場合の推定結果よりも優れていることを確認した。手法の有効性を統計的に検証するためには、被験者数を増やして検証する必要がある。また、コース・環境のバリエーションを増やして実験を行うとともに、屋外における実験も取り組んでいく。

参考文献

- [1] 国土交通省: バリアフリー経路探索, 入手先 <http://www.hokoukukan.jp/routesearch/areaselect.html> (2015.04.08).
- [2] 特定非営利活動法人: みんなでつくるバリアフリーマップ (online), 入手先 http://enigata.com/data/minna_bmap.pdf (2015.04.08).
- [3] 内閣府: 障がい者基本計画 (online), 入手先 <http://www8.cao.go.jp/shougai/suishin/kihonkeikaku.pdf> (2002).
- [4] 澤田知之, 小島洋一郎, 近藤崇, 古崎毅: 車椅子操作と乗車者の乗り心地に関する感性評価への基礎的研究, 苫小牧工業高等専門学校紀要, Vol. 39, pp. 81–85(2004).
- [5] 劉建中, 久保光徳, 青木弘行, 鈴木邁, 後藤忠俊: 自動車走行における乗り心地評価構造: 階層化ファジィ積分モデルによる定量化, デザイン学研究, Vol. 41, No. 1, pp. 43–50 (1994).
- [6] 松尾優子, 小島洋一郎, 大橋智志, 国崎翠, 三宅紋子, 澤田知之: 車椅子走行における乗り心地と乗車者の重心移動について: - 平坦路・段差路走行時の重心移動 - . 日本感性工学会論文誌, Vol. 12, No.1, pp. 1–5(2013).
- [7] 岡村美好: 車いすの乗り心地に着目した歩行者系舗装の性能指標に関する一考察. 土木学会舗装工学論文集, Vol.14, pp.189–194 (2009).
- [8] 石田真二, 亀山修一, 岳本秀人, 姫野賢治, 鹿島茂: 車椅子の走行負荷に基づいた歩道の路面凹凸評価方法. 土木学会論文集 E, Vol.62, No.2, pp.295–305 (2006).
- [9] 牧恒雄, 竹内康, 松田誠: 歩道の凹凸評価方法に関する研究. 第 1 回舗装工学講演会論文集, pp.151–158 (1996).
- [10] 岩澤有祐, 矢入郁子: 多次元時系列データ解析によるアクセシビリティ可視化システムの開発. JSAI'14 (2014).
- [11] 隅田康明, 松永勝也, 合志和晃, 志堂寺和則: 車いす使用者向け経路探索のための路面の傾斜及び段差測定システムの開発. 信学技報, Vol.114, No.357, WIT2014-64, pp.63–68 (2014).
- [12] Noriaki Kuwahara, Masaharu Nishiura, Yuto Shiomi, Kazunari Morimoto, Youko Iwakaki and Naoko Nishida: A Study on a Ubiquitous System for Collecting Barrier-free Information of Evacuation Centers for Wheelchair Users. CASEMANS'10 (2010).c
- [13] 横山清子, 高橋一誠: 心拍変動時系列による自動車運転時の主観的疲労感推定の基礎的検討. 電子情報通信学会論文誌, Vol. 96, No. 11, pp. 756–762(2013).
- [14] 今井章博, 小栗宏次: 覚醒低下の段階変化を考慮したドライバの眠気レベル推定. 電子情報通信学会技術研究報告, Vol. 110, No. 469, pp. 47–52(2011).
- [15] WHILL, 入手先 <http://whill.us/jp/> (2015.04.08)

^{*1} この比較は全被験者のデータをマージして行ったものであるが、1 被験者ごとに行った比較でも同様の傾向がみられた。