

## 高齢者や障害者向けのモビリティ技術開発

中村俊哉 小坂菜生 高見響 安藤悠 陳隆明

### 1 はじめに

現在、まち中を移動するにあたっては、公共交通機関の乗り継ぎや経路情報が簡易に得られる情報提供サービスが普及している。しかし、多くは「歩行者」「公共交通利用者」「車」などの代表的な移動形態による経路探索である。様々な身体レベルで運動機能に衰えのある高齢者や車椅子の利用者などに対しては、段差や坂道の勾配など移動能力の影響も考慮した情報提供が適切と考えられる。近年では様々なバリアフリーマップにより「エレベータの場所」「多目的トイレの有無」などが示されている。しかし既存のバリアフリーマップでは、エリアが限定的であったり、更新が滞っていたりするものも少なくない。また、目的となる施設のバリアフリー情報はあるものの、その経路上のバリアを示したものはない。

中でも経路上の坂道はその人の移動能力によっても通行の可否が異なる

当研究所では、これまでの研究成果として、車椅子のブレーキ力と坂道の角度の関係について明らかにした。

のことから、本研究ではまず、明らかにした車椅子のブレーキ力と坂道の角度の関係から、介助用ならびに自走用車椅子の利用者の能力に応じて、その経路にある坂道の難易度を示すシステムの開発を目指している。

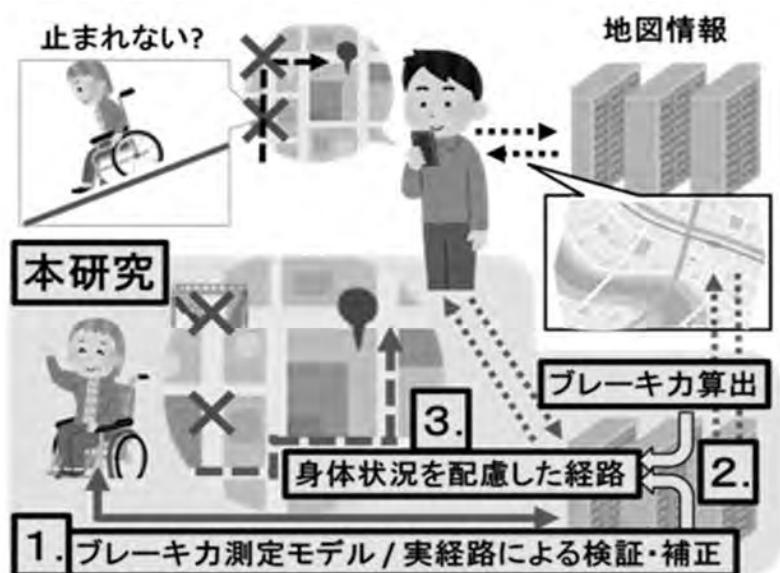


図1 車椅子使用者の安全移動経路提示に関する研究開発のコンセプト

令和3年度は、下り坂での車椅子のブレーキ力推定モデルの構築と、新たに見つけたバリア情報を精緻に且つ簡便に電子地図上に追加するための全球測位衛星システム（GNSS）を用いた検証を行った。

令和4年度については、車椅子使用者の移動能力に応じて坂道の勾配による難易度や危険度を示す経路案内システムの開発を行った。また、これまで坂道の下り勾配を中心に行ってきたが、車椅子使用者の移動能力に応じた経路案内システムの開発を行う上で、上り勾配についても検討する必要がある。特に上り勾配については、物理的に車椅子をある高さまで持ち上げる動作である事から、下り勾配に比べより駆動に強い力を発揮する必要がある。また、車椅子使用者にとっても、上り勾配の車椅子による駆動のほうが難しく、操作技術を習得すれば下り勾配のほうが通過しやすいとの意見もあることから、上り勾配と車椅子の関係の整理も合わせて行った。

## 2 車椅子使用者の能力と勾配との数理モデル

車椅子使用者が発揮できるブレーキ力は未知であるが、車椅子使用者の発揮できるブレーキ力のデータがあれば、これまでの成果である車椅子で坂道を下る際に危険と思われる角度や移動速度をパラメータとした数理モデルにより得られるブレーキ力とを比較できるようになる。実測結果から得られた数理モデルを使い、車椅子使用者の移動経路と発揮できる最大の駆動トルクまたはブレーキトルクを比較することで、身体能力に応じた移動経路マップを表示することが可能となる。

以前の研究で計測用車椅子（図2）を用いて、坂道を下る際のブレーキトルクの実験を行い、数理モデルを明らかにした。

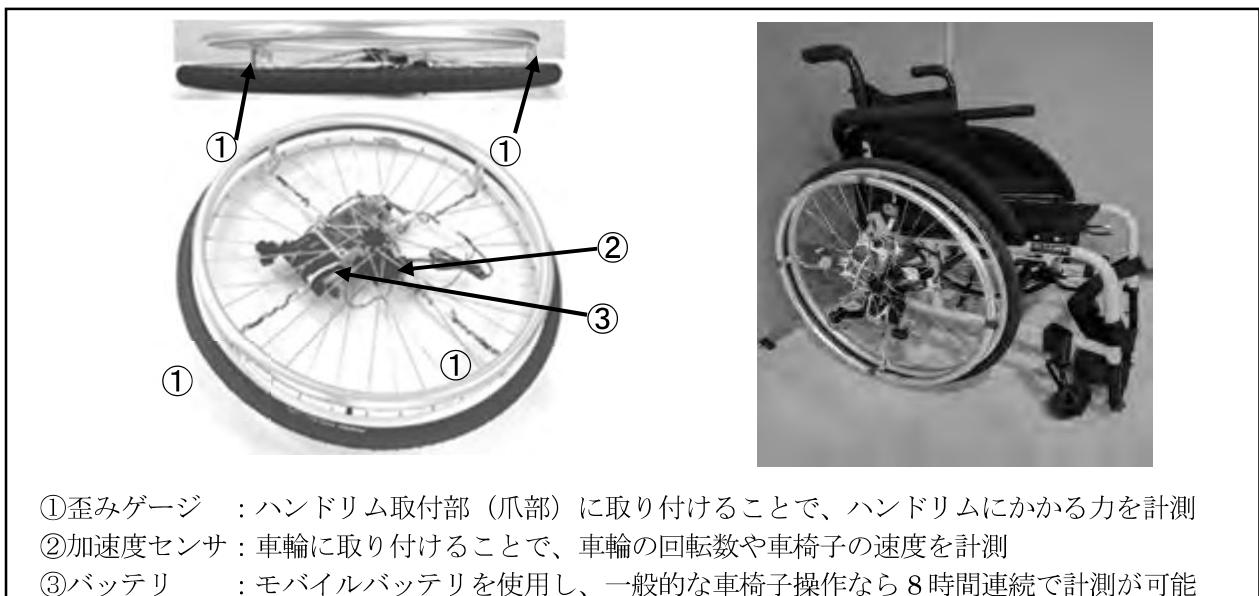


図2 計測用車椅子の計測装置を内蔵したホイール（左）とそのホイールを取り付けた車椅子（右）

また上り勾配については、下り勾配の計算モデルを応用し目安となる駆動トルク値を算出した。下り勾配では、ハンドリムに手で力をかけ続ける事でブレーキ力を発生させる。それに対し上り勾配の場合は、ハンドリムに力を加え駆動している時間（駆動期）とハンドリムから手を離し、腕を戻す時間（惰走期）がある。惰走期に車椅子が下がり出すと駆動し続けることが難しくなる事から、惰走期に十分に惰走できるように駆動する必要がある。先行文献のデータ<sup>1)</sup>から、計算モデルに係数を乗ずる事で駆動トルクの目安を算出する事とした。

また、この上り勾配及び下り勾配の計算モデルを基に、その人の発揮できるトルクと体重、道路の勾配を基に通行可能な経路を電子地図上に示すシステムとして特許出願を行った。

## 3 車椅子使用者の身体能力と勾配に着目したバリアフリーマップの開発

### 3.1 システム開発

バリア情報の地図への反映を目的にシステム開発を行った。システム開発の設計に先立ち、先行研究をレビューするとともに、車椅子を使用する脊髄損傷者と療法士から話を聞き、外出時の課題をまとめた。

- ・坂道は心理的負担も大きい<sup>2)</sup>
- ・上り坂で通行不可の道もある
- ・段差を避けるといった情報が必要

車椅子走行の訓練を受けた人にとってほど急勾配の下り坂でなければ、自身が出せるブレーキ力だけでなく操作技術を駆使することで減速もしくは停止が可能であることから、下り坂よりも上り坂への懸念が強いことが分かった。しかし、車椅子使用者であっても訓練を受けている人の割合は多いわけでは

なく、訓練していない車椅子使用者にとっての下り坂は十分危険といえる。

今回課題に挙がったことの中から、坂道に注目しシステム開発を行った。ブレーキ力測定モデルから自身の発揮できる力を測定できることを利用し、各勾配に必要な力と発揮できる力を比較することで経路上の道の通行の可否を表示させるシステムとした。本研究では、開発したシステムを「アクセシビリティマップ」とする。

先行研究のレビューから、同じ車椅子使用者であっても個々の力の差が大きいことが分かった。現状あるバリアフリーマップや車椅子使用者が使用できる車椅子用の経路案内地図、例えば Google Map の車椅子機能の設定など、車椅子使用者、と一括りにされているものであり、車椅子使用者といつても症状が様々で、使用できる筋肉の箇所、体幹機能の有無などで行動範囲が変わることに注目はされていない。

### 3.2 アクセシビリティマップの仕様

求められる機能を基に、実験向けのアクセシビリティマップアプリケーションのプロトタイプを作成した。プロトタイプでは、地図アプリに必要な経路情報や坂道を検知させるための標高情報を Google Maps API を使用し、Google Apps Script (GAS) により記述したプログラムより実装した。



図3 TOP画面



図4 設定レベルの設定画面



図5 損傷レベルC6の設定



図6 設定レベルの設定画面

スマートフォンアプリは、開発環境としてXcodeを用い、Swiftにより記述しプログラムを作成した。ブレーキ力推定モデルでは個々のブレーキ力を計ることができる。またブレーキ力から駆動力を求めることができる。しかし、システム開発において、現状、個々のブレーキ力を測定することは限定した車椅子使用者に限ってしまう。多くの人に勾配を基にした経路上の通行の可否を可視化するシステムを使用してもらうために、車椅子使用者自身が車椅子操作のために発揮する力のレベルを設定し、経路上の通行の難易度を可視化させることにした。

アプリを開くと「出発地」と「目的地」を記入する画面となる。そこから出発地と目的地を入力し図3の左上にあるハンバーガーアイコンという設定メニューを開くためのボタンをクリックすると、図4の設定画面が出る。図4の設定画面で自身の設定レベルをバーで調整する。本研究の対象者は車椅子使用者であるが、設定レベルの選択をする場合の目安となる基準を設ける必要があり、脊髄損傷者のZancolliの上肢機能分類<sup>3)</sup>を参考に基準を設定した。



図7 経路検索画面



図8 地図画面



図9 ルートの難易度表示画面

例えばC6の人であっても損傷部分により使用できる筋肉の部分の違いなどから上ることができる坂道が3%～6.5%と差がある。この差は先行研究のレビュー及び実際脊髄損傷者の外出訓練に同行した際のデータと聞き取り調査から設定を行った<sup>4)</sup>。図5のように例えば脊髄損傷者で損傷レベルがC6の場合、C6のアイコンのボタンを押すとバーが標準値の5.0を指す。しかし、同じC6であっても上腕三頭筋が動く場合とそうでない場合では同じC6でも通行可能な勾配が違う。そのため標準値は5.0に対し、下は1.0～上限6.5まで0.5ずつの単位で設定レベルを設定できる(図6)。そのほかC7は標準値7.0で上限7.5、C8の標準値は8.0で上限9.5という風にそれぞれの設定レベルの標準値と限界値を設定している。安全面を考慮し、バーはそれぞれ選択したアイコンの上限以上を選択できないように制限をかけている。

自身の設定レベルの選択を行い、サイドバー以外の部分(図7)を選択すると元の車椅子経路探索の出発地と目的地を記入する画面へと戻り、経路検索ボタンを押すと経路を表示する地図画面へと遷移する(図5)。自分が選択した設定のアイコンが左下に表示されており、表示部分を選択すると図5の設定レベルの設定画面へと遷移する。

最大3つのルートが提示され、それぞれのルート上に色付けがされる。赤色は通行不可、黄色は困難であるが通行可能、青色は通行可能といった形で表示される。大体10m範囲の勾配が表示される(図9)。

### 3.3 検証実験

障害者支援施設自立生活訓練センターの6名の脊髄損傷者を対象にプロトタイプを使用した実験を行った。損傷レベルC8が1名、その他5名が損傷レベルC6である。

実験では安全面を考慮し施設内の勾配を利用し行った。個々の設定レベルから敷地内の勾配を色分けした地図を紙で作成し経路を定め実際に走行してもらった。アクセシビリティマップのアプリでは敷地内の

標高は正確に測れないため、敷地内の勾配をデジタル傾斜計で測定し、設定レベル毎に色分けした紙の地図を用意した。

実際に地図を見て、設定レベルと表示される勾配の表示が適正かどうかを確認しながら走行を15分～30分行った。その後、30分～45分間インタビューを行い、アプリの評価及びバリアフリーマップへの要望の聞き取りを行った。

実験は2月中旬から3月上旬にかけて実施した。実験協力者6名をA～Fとし、それぞれの特性を下表にまとめた。

	A	B	C	D	E	F
年齢	31	29	24	45	30	64
性別	男	男	男	男	男	男
損傷レベル	C8 完全	C6B2	C6B2	C6A/C6B2	C6B1/C6B2	C8A/C6B2
車椅子歴	2年9ヶ月	2年2ヶ月	2年6ヶ月	13年	4年6ヶ月	2年
外出頻度	週4～5回	週2回程度	週1回程度	週7回	週7回	週1回

#### アプリの評価：

アプリに関する使いやすさや、文字の大きさの適切さ、設定レベルの設定のわかりやすさ、出発地・目的地の入力のしやすさ、ルート選択の仕方などを「よい」「まあまあよい」「まあまあ悪い」「悪い」の4段階で評価を行った。全体的にこのアプリの使いやすさの問い合わせに対し66%が「まあまあ悪い」「悪い」と回答した。特に、設定レベルの設定をするバーについては、わかりにくくないと答えた人が多く、わかると答えた人も、説明を受けたからわかるが初見では難しいと答えた。また表記の方法については意見が分かれた。

このアプリを使って外出するイメージはわくか、という質問では実験協力者AとB以外は外出時、特に知らない場所に行くときに使ってみたいと、外出時に使うイメージができると述べた。実験協力者Bは、外出頻度も低く、行きたいところがないので調べることはあまりない、と述べた。しかし、今後行きたいところができれば使う可能性もあることも示した。

#### 考察：

実験を通して得た結果から下記3点に絞り考察を行う。

- ・ アプリのアクセシビリティ
- ・ その他の要望
- ・ 周知の方法

#### アプリのアクセシビリティ：

文字の大きさ、ボタンの配置、設定方法などのわかりやすさ、操作のしやすさと、それらの評価理由について質問を行った。文字の大きさは上記でも示したとおり、文字を大きくすることを望む声もあった。文字の大きさが適切だと答えた人は、スマートフォンを手に持ち、操作することを想定していた。文字をもう少し大きくと要望があった人は、手の麻痺などを理由に、スマートフォンを両手で操作することから、スマートフォンを膝において使用することを想定した。このように、スマートフォンを手元で操作する場合と膝に置き操作する場合の違いで文字の大きさに対する意見が分かれた。スマートフォンの操作の面で、地図アプリの多くはピンチイン、ピンチアウトといわれる拡大縮小を行うときの動作として、2本の指を使う。本アプリも拡大縮小の動作を2本の指で行うことを想定し作成していた。しかし、手に麻痺があるなど、2本の指先を使い操作を行うことが難しい方にとっては膝に置いて両手を使うなどの工夫を要する。そのため地図アプリなどを使う際は、片手で操作可能な仕様が良いという意見もあり、片手で操作可能なデザインが必要であることがわかった。



図 10 分数表記と%表記を合わせて表示した画面

バーの表記方法については、わかりにくいという意見が多く、それぞれ理解しやすい表記方法が異なることから、表記の仕方の工夫が必要であることがわかった。坂道の表記に関しては、分数で表す方法、%で表す方法、角度(°)で表す方法が考えられるが、キーをやっていると角度、運転をする人は%といったわかりやすい目安がそれぞれ違う可能性があることがわかった。質問項目として、現在プロトタイプで採用している%の設定レベル表記(図6)と角度や分数表記も併せて表示する画面(図10)を作成したものを、実験協力者に見せ、意見を伺った。実験協力者AとEは、全部の表記を載せるのがよいと答えたが、その他は現状ひとつの表記に絞って表示させることを選択した。どの表記にしても、坂道の難易度は想像しにくいこと、また慣れればどの表記でもいいのでは、といった意見があがった。解決策として、目盛りの表記を自己選択できるよう設定に設けること、表記は1つの表記のまま最初の設定時に自分の坂道の感覚と目盛りを合わせる工程をチュートリアルとして設ける、の2つを考えた。チュートリアルでは、誘導しながらアプリの利用者に体験をしてもらいながら設定を行う。その中で、実際アプリの利用者自身が通ったことがある坂道を検索し、その坂道を基準に設定レベルを設定するよう誘導するものを考えている。目盛りの表記を設定できることの難点として、設定工程数を増やしてしまうことによる負担があることから、チュートリアルでの設定を通してバーの調整を行うよう改善していくこととする。

#### その他の要望 :

アプリを使って外出するイメージがわくかという問い合わせに対し、実験協力者C～Fはイメージがわくと答えた。実験協力者Cは、特に初めて行く場所に対して怖さがあることから、事前に道の困難さを確認できることは便利であると述べた。また他の意見としてより簡単な道の提示をしてほしいといった要望や、交通機関も一緒に出してほしいといった要望が挙げられた。実験協力者Aは、脊髄損傷レベルがC8であり、またスポーツをしており普段からトレーニングを行っていることもあり、他の実験協力者と比べて坂道に対して懸念点がなかったことなどから、現状の坂道を知ることができるアプリという機能だけではアプリを使うことはないと述べた。しかし、外出時のトイレや水分補給のための経路上のコンビニの表示があれば使いたいと意見があった。他の実験協力者もトイレやコンビニの情報、雨宿りができる場所の表示といった意見が多く出た。

#### 周知の方法 :

本アプリを使いたいと述べる実験協力者はいたものの、現状バリアフリーマップといったものを何か使っているかという質問では、全員何も使っておらず、またその存在自体も知らないとのことだった。バリアフリーマップの認知度を上げることへの工夫も必要であることがわかった。はじめて行く場所に対して坂道情報やバリアフリー情報があることが望ましいと意見があったことから、観光協会などと協働し観光

地におけるバリアフリー情報を取り入れる地図アプリにしていくなどが考えられる。その他にも、介助者、作業療法士など、車椅子使用者に関わる方々にアプリを知ってもらうことでリハビリのトレーニングに活用してもらうなど幅広い可能性を令和5年度に向けて考慮していく。

#### 4 介護ロボット・移動支援機器の県下企業による開発・製品化・改良の支援

令和3年度に引き続き一般社団法人神戸市機械金属工業会の航空機部品メーカーの集まりである神戸エアロネットワーク（KAN）の企業と共同で軽量な障害児スポーツ・日常兼用車椅子の開発を進めた。

この車椅子は、障害児が使用する安価かつ超軽量なスポーツ導入用車椅子を目指しており、それを実現するために、KANの航空・宇宙技術で培った炭素繊維強化プラスチック（CFRP）の成形技術や金属3Dプリンタ技術を活用した3Dデジタル最適設計と当研究所の臨床で培った福祉用具開発や適合のノウハウを持ち寄ることとしている。本年は試作機の開発を行い、令和5年3月に行われるしあわせの村ユニバーサルフェスタにて、来場者による試乗体験を行った。

#### 5 おわりに

令和4年度は、これまでに獲得した技術をもとに、坂道での駆動・ブレーキトルクと勾配との数理モデルの整理を行った。また、その数理モデルを用いて、車椅子使用者の駆動・ブレーキトルクや体重などから、地図上の目的地までの経路とその経路上の勾配から通行の困難度を示すシステムとして特許を出願した。

また、Google Maps APIにより位置情報や標高情報を取得、経路上の勾配計算するための手法を確立した。なお、株式会社DOWELLとの共同研究により、Google Mapを用いて車椅子使用者の身体能力毎の目的地までの経路及び経路上にある勾配の難易度を示すアプリの開発を行い、第一段階の検証実験を実施した。

これらをどのようにソフトウェアとして社会実装していくかが次年度に向けた課題である。これらの成果は研究所の強みとして活用でき、本研究開発の取り組みと相まって、実用的なシステムへと成長していくと考えている。

#### 謝辞

検証実験にあたり、障害者支援施設自立生活訓練センターのスタッフ、実験に参加いただいた入所者に協力及びご助言いただきました。また、株式会社 DOWELL との共同によりアプリ開発を進めました。記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 米田郁夫（2005），手動車椅子走行操作の負荷要因に関する研究徳島大学大学院工学研究科エコシステム工学専攻博士論文
- 2) 三上ゆみ，中村孝文，田内雅規. 健常者の車いす下り坂走行時の動作と心理に及ぼす身体動作制限の影響. 労働科学. 2017, vol. 93, no. 5, p. 148–159
- 3) 神奈川リハビリテーション病院 編, 脊髄損傷者リハビリテーションマニュアル, 第1章脊髄損傷の疫学, 医学書院, 2019 , pp. 12
- 4) 糟谷佐紀(2006). 車椅子使用者の駆動力と住環境整備に関する研究：車いす駆動力簡易判定法とスロープ勾配決定手法, 徳島大学大学院工学研究科エコシステム工学専攻博士論文