

(3) 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 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、経路案内と道路情報といった地図の情報提供サービスは日常生活に欠かせないものとなっている。エレベーターの設置場所や多機能トイレの有無といったバリアフリー情報が示されている地図も多くある。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ることや更新が滞っているものが多く、また、目的地である施設のバリアフリー情報はあるものの、目的地までの経路上のバリア情報を示したものは少ない。運動機能に衰えのある高齢者や車椅子使用者などの歩行に困難のある人にとって、階段や段差、坂道の勾配といった情報はその道の通行可能かどうかを判断する上で重要である。そこで当研究所は、坂道に着目し、自走用車椅子使用者の障害レベルに応じた経路上の難易度を示すシステムの開発を行った（図1）。



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

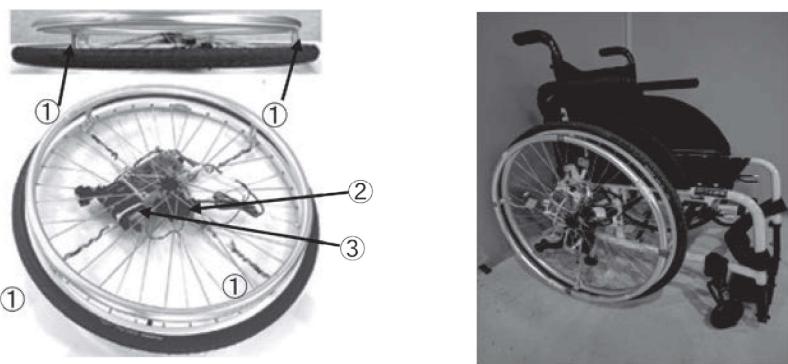
2 令和3年度・令和4年度の研究

当研究所では、令和3年度に車椅子使用者のブレーキ力と坂道の角度の関係式を明らかにした。昨年度は、令和3年度に明らかにした関係式から算出した勾配の難易度と、先行研究のレビューを基に、障害レベルから坂道の勾配の閾値を作成した。作成した閾値を用いて、自走用車椅子使用者の障害レベルに応じた経路上の難易度を示す地図アプリのプロトタイプの開発を行った。

2.1 車椅子使用者の能力と勾配との数理モデル

個々の駆動力やブレーキ力といった車椅子使用者が発揮できる力のデータと、弊所が解明した数理モデルから得られる勾配に必要な力のデータを比較することで、それぞれの車椅子使用者が通行可能な勾配を知ることができる。これらのデータを基に、経路上の勾配に必要な力とそれぞれの車椅子使用者の発揮できる力から難易度を算出し、移動経路に示した地図を表示させることは可能である。

なお、数理モデルの解明には、以前の研究で用いた計測用車椅子（図2）を使用し、坂道を下る際のブレーキトルクの実験を行った。



①歪みゲージ：ハンドリム取付部（爪部）に取り付けることで、ハンドリムにかかる力を計測
②加速度センサ：車輪に取り付けることで、車輪の回転数や車椅子の速度を計測
③バッテリ：モバイルバッテリを使用し、一般的な車椅子操作なら8時間連続で計測が可能

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¹⁾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。

2.2 アクセシビリティマップのプロトタイプの作成

◎システムの開発と実証実験

先行研究のレビュー^{1) 2) 3)}と車椅子を使用する当事者とセラピストの話から外出時の課題として、坂道情報、特に上り坂への懸念が強いことが分かった。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経路案内地図は、目的地のバリアフリー情報が中心であり、その経路が通行できるかどうかの情報は少ない。また、車椅子使用者設定のある地図、例えばGoogle Mapの車椅子機能の設定などは、「車椅子使用者」と一括りにされている。しかし、「車椅子使用者」といつても症状が様々で、発揮できる力や麻痺の状態などで車椅子を漕ぐ能力が変わることに注目されていない。そこで、坂道の勾配に着目したアクセシビリティマップの開発を行った。

ブレーキ力推定モデルでは個々のブレーキ力や駆動力を計測し、通行可能な坂道の勾配を推定することができる。しかし、個々のブレーキ力や駆動力を測定することには限界があるため、車椅子使用者が自身の障害レベルを基に、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システムとした。車椅子使用者が発揮できる力のレベルを設定するための基準値を設ける必要性があったため、今回の研究では、頸髄損傷者のZancolliの上肢機能分類⁴⁾を参考にした。頸髄損傷とは、手指や腕の運動を司る神経である頸髄を損傷することで、損傷部位により麻痺の範囲が変わる。一般的に自走式車椅子を漕ぐことができると言われている、第6頸髄損傷（C6）・第7頸髄損傷（C7）・第8頸髄損傷（C8）を基準値に設定した。



図3 初期のレベル設定画面



図4 初期の地図画面

作成した初期版プロトタイプを使用し、障害者支援施設自立生活訓練センターに入所している6名の頸髄損傷者を対象に、実験協力者それぞれの損傷レベルから設定した道の難易度の表示が適正であるかの確認とアプリの操作性利便性に関するインタビューを行った。その結果、利便性は高かったものの、操作性に課題があることが分かった。インタビューを通じ、得られた意見からレベルの設定画面（図3）と地図操作画面（図4）の改良を行った。なお、以降本研究では作成したアクセシビリティマップを「なび坂」と称する。「なび坂」は現在、商標登録出願中である。

3 令和5年度の成果

令和3年度に明らかにした車椅子使用者の発揮できるブレーキ力と坂道の角度の関係式を基に、令和4年度に車椅子使用者の障害レベルから経路上の坂道の難易度を表示した「なび坂」のプロトタイプの開発を行った。令和5年度には、昨年度行った実証実験とインタビュー結果を踏まえ、改良を行った。その後、改良前後の比較調査を行い、最終版プロトタイプ「なび坂」の開発に至った。

3.1 改良版プロトタイプ「なび坂」の作成

1回目の実験を基に改良版プロトタイプ「なび坂」の作成と聞き取り調査を実施した。

◎改良版プロトタイプ「なび坂」の作成

1回目の実証実験とインタビューで明らかになったインターフェースの課題に対し設定画面の改良を行い、改良前と改良後の設定画面の操作性についての聞き取りを行った。実験協力者は1回目の実験協力者のうちの3名である。

◎インタビューの内容と結果

初期版プロトタイプ「なび坂」（初期版）と改良版プロトタイプ「なび坂」（改良版）の比較を行い、初期版を100点としたときの改良版の点数の聞き取りを行った。その結果聞き取りを行った3名全員が改良版のほうを110点～150点と初期版より10点～50点高く評価した。レベル設定ボタン「C 6」「C 7」「C 8」「アスリート」が大きくなり、他のボタンへの誤タップしにくい点が高い評価へつながった。

3.2 最終版プロトタイプ「なび坂」の作成

1回目と2回目の聞き取り調査から、新たに改良を行い、令和5年夏に最終版プロトタイプ「なび坂」（最終版）を完成させた。

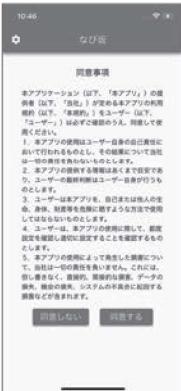


図5 同意書画面

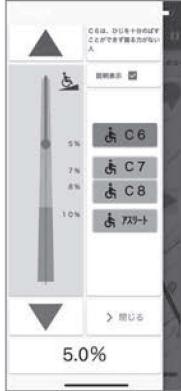


図6 レベル設定画面



図7 経路検索画面



図8 地図画面

最終版のアプリの画面は「同意書画面」「レベル設定画面」「経路検索画面」「地図画面」の4つで構成されている（図5～8）。同意書画面（図5）には注意事項等を示している。レベル設定画面（図6）は、2回目の聞き取り調査において、レベル別に色分けされているとわかりやすいといった意見を考慮した。レベル設定をし、設定を閉じると出発地と目的地を経路検索画面（図7）へと遷移する。出発地と目的地を入力し「経路をさがす」ボタンを押すと地図画面（図8）へと遷移する。地図画面の初期版からの大きな変更点の一つとして、地図画面上に上下左右の移動ボタンと拡大縮小ボタンを配置したことである。初期版では地図の移動や拡大縮小は2本指での操作が必要であった。しかし、手指に麻痺がある頸髄損傷者にとっては、地図の移動や拡大縮小の操作には両手を使わなければならなかった。片手で操作ができるようになると良いとの意見から、地図上に上下左右の移動ボタンと拡大縮小のボタンを配置した。

また、地図を拡大することで、経路上の「黄:通行できるが困難」と「赤:通行不可」の箇所に対し、坂道が上り坂なのか下り坂なのかとその坂道の勾配（%）を表示させた（図9）。

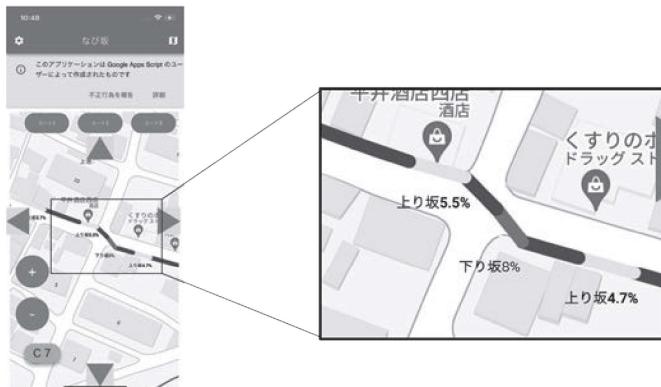


図9 アプリ上での地図の拡大表示画面(左)と、部分拡大図(右)

3.3 モニタ評価実験

令和5年度に作成した最終版のモニタ評価実験を行った。兵庫頸髄損傷連絡会の協力の基、遠隔地に居住するC 6～C 7の自走式車椅子使用者と簡易電動式車椅子使用者の4名に対し、最終版のアプリを配布した。その後、モニタ参加者に生活の中で2週間～1カ月間使用してもらい、アンケートに回答いただいた。4名中3名が通行できない上り坂や下り坂に出くわしたことや、坂道があることで目的地に予定どおりにつかないなど、これまでに坂道に関する困りごとがある

と答えた。また困りごとがあると答えた3名全員が「なび坂」によって困りごとの解決になりうることを示した。坂道の数や難易度がわかることで車椅子での走行の判断ができることや、事前に移動計画が立てやすいといった意見があった。「なび坂」が使いやすかったという意見もあったが、「精度を上げてほしい」「段差の確認ができるようにしてほしい」といった要望もあり、坂道だけではないバリアの表示の必要性も示唆された。

3.4 特許取得

令和4年度のブレーキトルクの実験から明らかにした数理モデルを基に、車椅子使用者の発揮できるトルク・体重と経路上の勾配情報を基に通行可能な経路を電子地図上に示す特許を、2023年6月 第7291305号【経路案内システム、経路案内方法及び経路案内プログラム】として取得した。

3.5 周知

◎記者発表

事業化に向けての周知を目的に、令和5年9月「なび坂」のプロトタイプ完成の報告として記者発表を行った。その結果、神戸新聞、読売新聞、日本経済新聞・佐賀新聞等に掲載される（地方紙を含む11新聞社を確認）とともに、NHK総合「おはよう日本」、KBS京都「ほっかほかラジオ」等で取り上げられた。

◎展示会等への出展

事業化に向けての周知とともに、なび坂のモニタ評価実験を実施する際のモニタ評価者を募ることを目的に、2023年 全国頸髄損傷者連絡会・総会「兵庫大会」や第50回国際福祉機器展（H.C.R.2023）での出展を行った（図10）。



図10 第50回国際福祉機器展(H.C.R.2023)での展示

周知の結果、事業化に関する問い合わせを複数社からいただいた。その内の1社より、自社のアプリに「なび坂」の機能を搭載したいとの申し出があり、現在交渉中である。

4 おわりに

昨年作成したアクセシビリティマップの初期版プロトタイプの改良を進め「なび坂」の最終版プロトタイプの開発に至った。その「なび坂」の最終版プロトタイプを用いて遠隔地に居住の頸髄損傷者によるモニタ評価実験を実施し、当初考えていた有効性が確認できたと考えている。

なお、自走用車椅子の使用者を対象とした「なび坂」の開発は一定の目処が立ったことから、次年度以降「なび坂」の技術を応用了したシステムの開発を考えている。

また、最終版プロトタイプ「なび坂」が完成したことにより、社会実装を行うため「なび坂」を事業化可能な企業や法人を見つけるべく、記者発表や展示会など「なび坂」の周知に努めた。現在のところ、1社より自社のアプリに「なび坂」の機能を搭載したいとの申し出があったが、アプリとしての「なび坂」の事業化には至っていない。

「なび坂」の社会実装においては課題は残るもの、本システムの構築と実証研究で得られた結果は研究所の強みとして今後の活用及び展開が可能であり、実用的なシステムへと成長していくと考えている。

謝 辞

実証実験にあたり、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。モニタ評価実験にあたり、全国頸髄損傷者連絡会、兵庫頸椎損傷者連絡会ならびに実験に参加いただいた頸髄損傷者に協力、助言をいただきました。

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) 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
- 4) 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