

I . 厚生労働科学研究費補助金 (障害者対策総合研究事業 (感覚器障害分野))

総括研究報告書

白杖歩行・盲導犬歩行・同行援護歩行に対応した

マルチモーダル情報処理技術に基づく訓練と評価の循環支援

研究代表者 蔵田 武志 産業技術総合研究所 研究チーム長

研究要旨

健常者の歩行者ナビ利用が一般的になり、その視覚障害者への普及も現実味を帯びている。歩行訓練カリキュラムや訓練現場もこの変化に適応していく必要がある。また、定量的な歩行評価指標の設計やその継続的な獲得、歩行結果の適切なフィードバック方法が不十分であるため、歩行スキルに応じた歩行者ナビからの情報提供や訓練カリキュラム提供には限界がある。さらに、訓練士自身の訓練スキル評価を客観的に行うことも難しい。これらの課題は決して独立ではないため、戦略的な取り組みにより複数の課題解決に同時に寄与することができる。

本研究では、歩行者ナビシステムを用いた歩行評価指標獲得やフィードバック方法の開発、さらにその歩行訓練への適用に関して、白杖歩行・盲導犬歩行を対象とした実証的取り組みを進める。

まず、歩行履歴記録、音声ガイド、振動による視覚障害者向けインタフェースと屋内外測位を特徴とする歩行者ナビシステムを開発し、実験時の生体センシング結果も併用しながら定量評価指標を設計する。当該システムや評価指標の訓練への導入を訓練現場起点で検討する。歩行者ナビの訓練への導入は、視覚障害者への歩行者ナビ普及に対して訓練現場が迅速に対応できるようにする、という点で意義深いものである。システムの訓練への導入は、システム利用履歴が自然と活用可能になるという別の利点ももたらす。そこで、その履歴に基づいた訓練の進捗や効果に関する定量評価の設計と、歩行結果のフィードバック方法の開発を行う。さらに、技術、評価指標、歩行結果のフィードバック方法の検証とそれらの改良をモニタ実験や訓練現場との連携を通じて推し進める。

これらの取り組みは、訓練の効率向上、訓練効果の指標化によるモチベーション向上、歩行スキルごとに効果的なカリキュラム策定等に寄与することが期待できる。長期的視野では、視覚障害者の自立と社会参加の促進、訓練の客観評価に基づく訓練士の地位向上にも貢献可能であると考えられる。

研究分担者

関 喜一・産業技術総合研究所・主任研究員
興相正克・産業技術総合研究所・主任研究員
石川 准・静岡県立大学・教授

A . 研究目的

スマートフォンの普及により健常者の歩行者ナビアプリ利用が国内外で一般的になりつつあるが、視覚障害者に適したインタフェースが搭載されれば、その視覚障害者への普及も現実味を帯びる。そのため、視覚障害者の外出歩行を取り巻く環境が大きく変化することが想定され

るが、歩行訓練カリキュラムや訓練現場もこの変化に適応していく必要がある。

筆者らは、視覚障害者の多様な歩行形態に対応した歩行訓練をそのような変化への適応を含めて支援し、訓練効果の定量評価、並びに訓練と評価との間での情報循環支援を実現することを目的として研究を進めている。図 1 は本課題の進め方を示した流れ図である。

昨年度、白杖歩行、盲導犬歩行の 2 つの歩行形態を対象とした視覚障害者向け歩行者ナビ（以下、「音声ナビ」と呼ぶ）を用いた歩行実験を実施した。歩行は、オリエンテーション（定

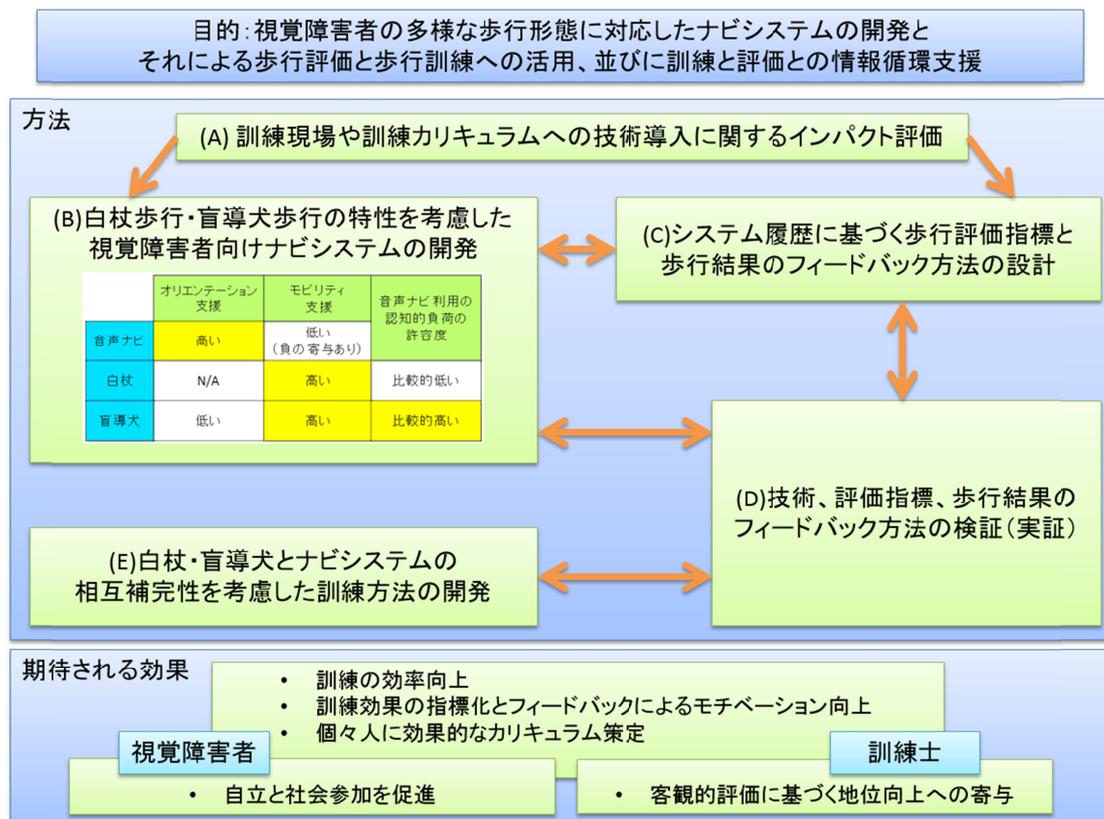


図 1：本課題の流れ図

位)とモビリティ(移動)から成り立っており、O&Mと呼ばれている。オリエンテーションには、地理的操作(ルート作成、行動計画)、環境(空間)認知という要素があり、モビリティには、路面状況や安全面の把握、身体制御、障害物回避等の要素がある。本実験により、音声ナビ、白杖歩行・盲導犬歩行との組み合わせやそれらとO&Mとの理解が深まり(表1)、携帯・装着型装置で得られる歩行中の各種センサーデータの履歴から歩行の定量評価につながる正確性、安全性、能率性、不安に関する指標がある程度得られることがわかった。

表 1：音声ナビと白杖、盲導犬との関係(O&M, 音声ナビ利用の認知的負荷)

	機能	オリエンテーション支援	モビリティ支援	音声ナビ利用の認知的負荷(音声ナビ導入時期に影響)	歩行速度(音声ガイドのタイミングと関係)
音声ナビ	*ルート案内 *PO通知 *検索	高い	低い (負の寄与)		
白杖	*障害把握	N/A	高い	比較的高い	比較的遅い
盲導犬	*障害把握 *既知ルート誘導	低い	高い	比較的低い	比較的速い

しかしながら、音声ナビには専用機を用い、歩行状況の計測やその履歴記録のためにも別途複数の機材を装着・携帯する必要があった。脳波や心拍の計測には電極の装着が必須であるが、歩行中の動きの計測や測位、音声ガイド自体の履歴記録等については、スマートフォンに集約することが技術的には可能である。本課題では、それら集約可能な機能を有するスマートフォンベースの音声ナビの開発を進めている。本稿では、それらの開発状況について報告する。また、その利用者(主には訓練生を想定)が歩行ルートを事前に把握すると共に、歩行履歴を振り返って偏軌やルートからの逸脱等を確認するための触地図、触軌跡の作成システムについても概説する。加えて、昨年度のデータを用いた歩行中の不規則動作と音声ガイドの関係の分析についても述べる。

B. 研究方法

筆者らは、歩行中の動きの計測や測位、音声ガイド自体の履歴記録等の機能を有するスマートフォンベースの音声ナビの開発を進めている。



図 2 : QZSS , GPS , PDR に基づく測位のためのハードウェア構成

そのハードウェア構成は図 2 に示す通り、3 軸の加速度、ジャイロ、電子コンパスからなる通称 9 軸センサーを内蔵するスマートフォン（例えば、サムソン製 GALAXY シリーズや Google 製 Nexus シリーズ等）と、準天頂測位 (QZSS) 対応受信機 QZNAV (コア社製) から成る。これにより、PDR (歩行者デッドレコーディング) による相対測位、GPS による絶対測位、QZSS による高精度絶対測位を統合した測位に基づく音声ナビが可能となる。ただし、現状では、QZSS 受信機を導入するとハードウェア構成が複雑になりコストも高くなる。また、QZSS の衛星の数の制約によりその適用可能な時間帯が限られるため、最低限、スマートフォンのみ、つまり、PDR と GPS の統合のみでも動作させることができるようにする。

ソフトウェア開発においては、開発後のソフトウェアの配布や普及促進を考慮し、本音声ナビや、次節で述べる触地図・触軌跡作成システムの開発には、地理空間情報システム (GIS) などの開発のためのフリーオープンソースソフトウェアである FOSS4G (Free Open Source Software for Geospatial) を活用する。また、地図の記述には可能な限り、OpenStreetMap (OSM) を用いることとする。

図 3 にソフトウェア構成を示す。地図情報やルート情報は、PostgreSQL を PostGIS により GIS 拡張したデータベース (PostGIS/PostgreSQL と記載) がサーバ側に構築され、そこに蓄積される。この PostGIS/PostgreSQL 上で動作するルート探索エンジンである pgRouting をスマートフォンから呼び出すことによって、スタート地点もしくはは現在位置から目的地までのルート探索を行う

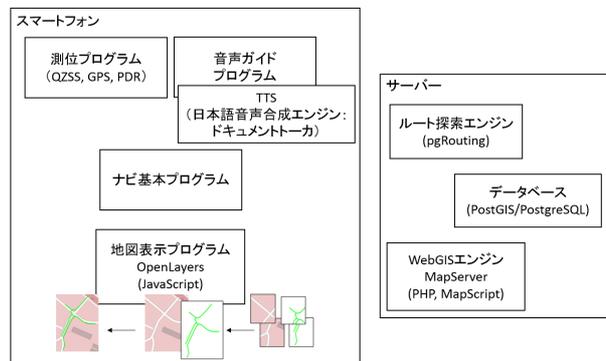
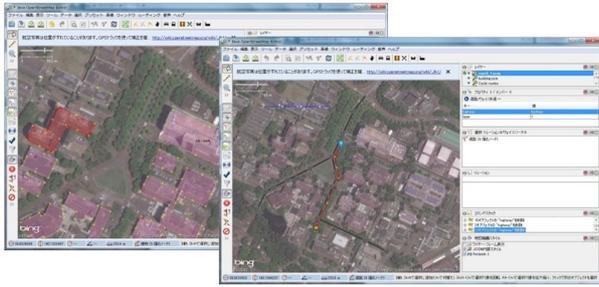


図 3 : スマートフォン音声ナビシステムとサーバのプログラム構成

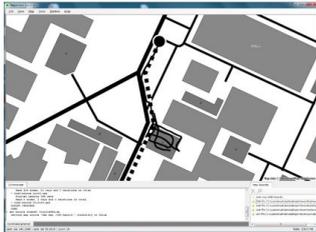
ことができる。WebGIS エンジンである MapServer と、Javascript で作成された地図表示用ライブラリである OpenLayers に基づく地図表示プログラムにより、地図の各レイヤのタイル画像生成や複数レイヤの重畳、タイル画像の連結等を行い、地図表示を実現する。

Android 標準 TTS (TextToSpeech) 用日本語音声合成エンジンとしては、クリエイトシステム開発社製のドキュメントトーカ for Android を用いる。音声ガイドプログラムは、pgRouting から得られるルート探索結果から音声ガイドの内容を作成し、TTS を制御することで、音声ガイドを実現する。測位プログラムでは、ハードウェア構成を述べた際に触れた PDR、GPS、QZSS の統合処理を行う。また、PDR の中間処理過程や統合後の軌跡に基づく歩行動作の計測も本プログラムにより行う。システム設定やシステム全体の制御等は音声ナビ基本プログラムが担う。

昨年度の実験では、触地図は設定ルートの事前把握のために用いられた。また、触軌跡は歩行履歴を振り返っての偏軌やルートからの逸脱等を確認するために用いられた。特に、歩行履歴のフィードバックについては、歩行速度やルート追従の正確さなどを数値で伝えることは可能であるが、ミクロに結果を確認することは難しいと言える。過去のインタビューの結果、触軌跡によって、どこでどの程度、歩行の偏軌が起こったのかを直感的に知ることができるという意見が得られているため、歩行訓練結果の訓練生へのフィードバック手段の 1 つとして想定している。



(1) JOSMを用いた衛星写真からの地図・ルート作成



(2) Maperitiveを用いた地図・ルート・軌跡データ読み込みと触地図・触軌跡印刷用ビットマップ描画



(3) 立体コピー作成機による触地図・触軌跡作成

図4：触地図・触軌跡作成システムの構成

図4は、触地図・触軌跡作成システムの構成と大まかな作成手順を示している。まず、OSMのエディタであるJOSM (Java OpenStreetMap Editor)により、衛星写真をトレースして触地図用の建物や道路等のOSMデータを作成する。そのOSMデータや、GPSなどの測位データに基づく印刷用ビットマップの描画には、Maperitiveを用いる。得られたビットマップを、発泡剤が塗られたカプセルペーパーに通常のプリンタで印刷し、アメディア社製立体コピー作成機ピアフ(PIAF)により加熱することで、凹凸のある触地図・触軌跡が完成する。実装した視覚障害者向けナビシステム及び触

地図・触軌跡作成システムの動作確認及び有効性の評価のために、予備的な実証実験を実施した。なお、本実験からのフィードバックを踏まえて改良を重ね、来年度は本格的な実証実験を実施する予定である。

本実験では、全盲の視覚障害者2名(白杖歩行1名、盲導犬歩行1名)を被験者として実施した。ルートは昨年度と同じルート2種類を採用した。試行は2回行われ、各試行の内訳は昨年度と同等であった。具体的な内訳は以下の通りである。

まず、各被験者は、控室で触地図と音声ガイドによるリハーサルを行った。具体的には、触地図でルートをたどりながら、音声ガイドを順次再生させることにより事前にルートを把握していった。被験者自身が、リハーサルが十分だと認識したら、実験機材一式を装着し、実際に音声ガイドに従ってルートに沿って歩行した。歩行後、控室に戻り、インタビューを受けた。加えて、歩行後にスマートフォンに記録された測位ログを用いて触軌跡を作成した。

なお、本研究遂行のために産総研及と静岡県立大の双方が参加した会議及び実験等の日程は以下の通りであった。

全体会議

6月7日、7月17日、8月20日

1月15日

開発打ち合わせ

8月1日、9月3日

被験者実験

3月3日

(倫理面への配慮)

被験者実験を行うために、臨床研究に関する倫理指針に準ずる倫理審査の申請(産業技術総合研究所の人間工学実験計画申請)を行い承認を受けた。実際の被験者実験においては、それらの申請内容に沿って、倫理面等に関するすべての事項を厳格に遵守した。

C. 研究結果

実験の結果、音声ナビシステムのサーバ側、スマートフォン側の各機能は、基本的に正しく

動作した。ただし、初期設定などが煩雑で、主にヒューマンエラーによって正しく動作しないことがあった。また、PDRについては、スマートフォンの機種ごとのセンサー出力の特性が異なるため、その調整に時間を要した。準天頂衛星については、午前中しか信号を受けられなかったため、実験時間の制約を受けた。触地図・触軌跡作成システムを導入することにより、触軌跡を即時に提供できるようになった。

インタビューでは、以下のようなディスカッションがなされた。

- ・触地図と音声によるリハーサルは理解しやすい。

- ・画面のタップでなんでも音声ガイドを聞き返すことができる。また、次の分岐にどれだけ近づいたかが音声での距離に関する情報によってわかるので、安心感が高まる。ただし、タップによって違うモードに入ってしまうなどの誤動作がないようにする、もしくは、もしそうなくてもすぐに復帰できるようにするといったインタフェース設計が必要となる。

- ・タップしなくてもより適切なタイミングで音声ガイドが提供されるとよい(が、

正確な状況把握が必要とされるため、技術的には難しい課題となる)

- ・途中で立ち止まっているときは、ルートの把握をしている可能性が高いので、

(例えば、ある程度の時間立ち止まり続けたら)音声ガイドを自動的に提供するとよいかもしれない。

- ・片耳のヘッドフォンを用いた音声ガイド提供であったが、骨伝導ヘッドフォンを用いて、

耳をふさがないようにしておいた方がよいかもしれない

- ・測位エンジンに不備があり、ルートから外れたと音声ナビが伝えてきたため、

戸惑った。信用してよいかどうか不安になる場面であった。

音声ナビの安全性について、昨年度、音声ガイド直後の不規則動作について調べたが、「直後」の定義が曖昧であったため、今回、同じデータを用いて改めて「音声ガイド中」の不規則動作について調査した。本実験中においては、歩行

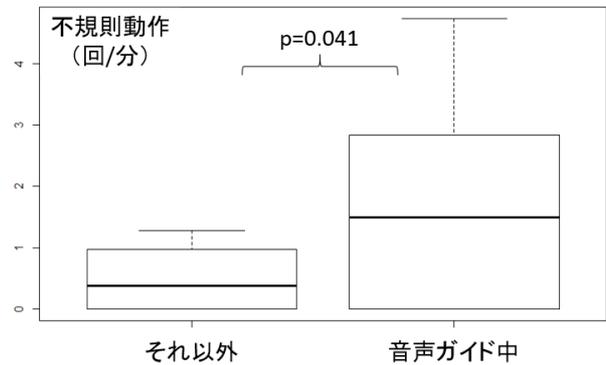


図5：音声ガイド中の不規則動作頻度

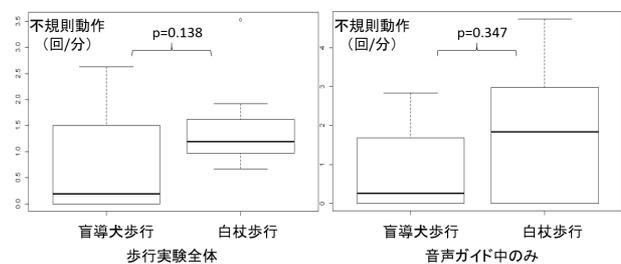


図6：盲導犬歩行と白杖歩行での不規則動作

時間に占める音声案内の割合は約40%であった。

「歩行の向きを急に変える」、「立ち止まる」、「歩行がふらつく」、「歩行が遅くなる」、「障害物に接触する」の5種類を不規則動作として、目視でそれらの回数をカウントした。その結果、音声ガイド中の不規則動作の頻度は1.6回/分、それ以外が0.5回/分となり、有意な差が見られた(Wilcoxonの符号付順位検定、 $p=0.041$)。このことから、本実験では、音声ナビがモビリティに負の寄与を与えていたことが再確認された(図5)。

表1にも示したが、昨年度のインタビュー調査では、白杖歩行の場合のモビリティ確保の負荷や環境・反射音の寄与が盲導犬のそれらよりも高いため、音声ナビ使用の認知的負荷も高いことが確認された。一方、盲導犬歩行の方がモビリティのための認知的負荷が相対的に低く、音声ナビを扱うための認知心理的余裕が大きいと考えられる。そこで、不規則動作の頻度を確認したところ、図6のように、白杖歩行と盲導犬歩行とで有意な差は見られなかった(Mann-WhitneyのU検定、歩行実験全体で

p=0.138、音声ガイド中のみで p=0.347)。盲導犬歩行の方が、不規則動作頻度が低い傾向があるように見受けられるが、データ数を増やすなどの必要があるであろう。

D．考察

CSUN2014 では、上述の不規則動作の分析を含む、昨年度の成果に関して発表した。発表後のディスカッションでは、盲導犬歩行と白杖歩行との間で音声ガイドがないときの歩行で不規則動作に差があるかどうか確認した方がよいという意見が得られた。

また、歩行速度（能率性）については、白杖歩行より盲導犬歩行の方が早いというデータが得られているが、サンプル数が少ないため、個々人の基準速度をあらかじめ計測しておいた方が妥当であろうという議論もなされた。

触地図は実験や歩行訓練前にあらかじめ作成しておけばよいが、触軌跡は歩行した後でしか準備ができない。そのため、その作成に時間や工数がかかると、即座に歩行結果をフィードバックすることが困難となる。本システムはそのような課題の解決や軽減に寄与するが、その効果は予備実験では十分には評価できないため、来年度の本格的な実証実験により評価を行う予定である。

E．結論

本稿では、スマートフォンベースの音声ナビと、触地図・触軌跡の作成システムの開発状況について報告した。また、昨年度のデータを用いた歩行中の不規則動作と音声ガイドに関する分析結果についても述べた。

音声ガイドの内容の構造や構成、提供タイミングと、その効果との関係に注目して設計・開発を進めることが今度ますます重要となっていくものと考えられる。例えば、「道なり」などのルートの形状に関する歩行者自身の感覚と、音声ナビでの表現、盲導犬の感覚のすり合わせが必要とされる点は、盲導犬歩行特有で、白杖歩行とは異なるというコメントが過去のインタビューから得られている。また、分析の結果から、音声ガイドと不規則動作とは深く関係するという仮説を立てることができる。これらのことから音声ガイドの内容の構造や構成、提供タイ

ミングの重要性を再認識することができる。

PDRやQZSS測位での不規則動作の自動検出が可能かどうかも検討課題の1つである。これが実現すれば、不規則動作と音声ガイドとの関係の分析を効率的にすることが可能となる。現在は、分析支援ツールを開発し（図7）各ログと映像等を同期して分析を進めているところである。

各システムを用いた本格的な実証実験も行う計画である。その中で、正確性（局所・大局）、安全性、能率性（局所・大局）、不安に関する指標設計を進めると共に、それら指標と触軌跡とを組み合わせた歩行結果のフィードバック方法の設計を進める計画である。

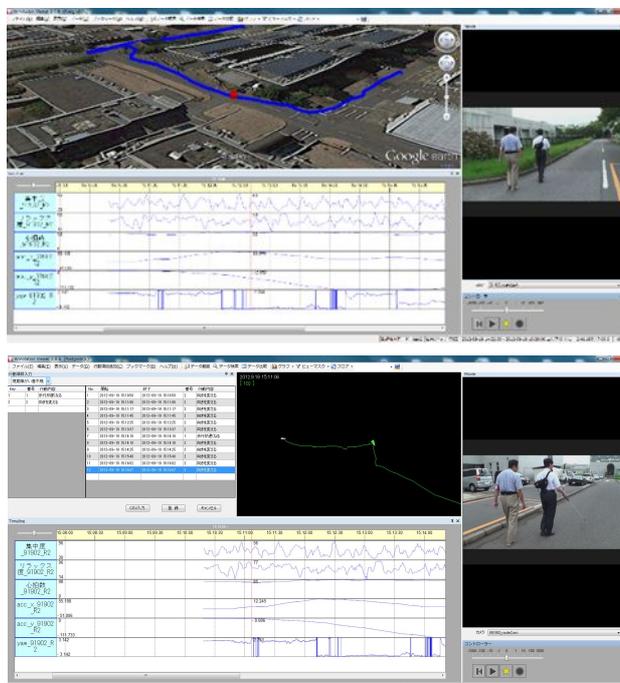


図7：開発した分析支援ツールによる各ログの同期再生の動作事例

F．健康危険情報 特になし。

G．研究発表 1. 論文発表 なし

2. 学会発表
蔵田武志, 関喜一, 興梠正克, 石川准, "歩行訓練支援のためのスマートフォン音声ナビと触軌跡作成システムの開発", 第39回感覚代行シ

ンポジウム, pp.23-26 (2013)

Takeshi KURATA, Yoshikazu SEKI, Masakatsu KOUROGI and Jun ISHIKAWA, "Roles of Navigation System in Walking with Long Cane and Guide Dog", The 29th Annual International Technology and Persons with Disabilities Conference (CSUN2014) (2014)

H . 知的財産権の出願・登録状況
(予定を含む。)
特になし。