

マルチモーダル解析に基づく 視覚障害者の遠隔歩行支援の定量評価

加藤 直也¹ 神窪 利絵¹ 米谷 竜¹ 佐藤 洋一¹

概要：屋外における視覚障害者の安心かつ安全な歩行は日常生活に関わる重要な問題である。本研究では視覚障害者を遠隔から歩行支援する状況を考える。従来の研究において、遠隔支援を行うシステムは視覚障害者の軌跡情報及び遠隔支援者の指示といった要素を考慮せずにその有効性を評価されてきた。そこで本研究では、軌跡、音声及び映像というマルチモーダルな情報を基に、視覚障害者のための遠隔歩行支援の定量評価指標の検討を行った。そのために晴眼者に視覚障害者を決められた目的地まで遠隔から誘導する歩行支援タスクを依頼し、評価データを収集した。その結果、遠隔支援者の発話に基づいた評価指標が遠隔歩行支援の有効性や満足感を測る有益な手段の一つとして考えられることが示唆された。また遠隔支援の定量評価指標として、視覚障害者の速さ等の軌跡情報が必ずしも有効な指標とはなり得ない可能性がある。

キーワード：視覚障害者、遠隔歩行支援、定量評価、発話内容解析

1. はじめに

世界において、遠方視力に関して軽度の障害を持つ人が1億8000万人、重度の視力障害を持つ人が2億1000万人いると言われている [23]。また、日本における視覚障害者数は約31万人にのぼり、その中でも約20万人は単独歩行が難しい1-2級の障害を持っている [24]。

視覚障害者は多くの行動や行為が制限される。特に外出時の歩行移動において、交差点で曲がる場所や方角の間違い、交通事故等の危険が生じる。そうした不自由や危険を克服・回避するための支援ツールとして、白杖や近年ではGPSを使ったナビゲーションアプリケーションが提案されている [3]。また、支援方法の中でも晴眼者が付き添う同行援護は、見知らぬ場所でも安全で確実な移動を可能にしており、視覚障害者は頻りにガイドを利用したいことが報告されている [22]。しかしながら、同行援護のサービスを提供するガイドがいる一方で、日常生活の上で常に同伴者が援助することは極めて難しいという問題があった。

近年スマートフォンや通信技術が発達するにつれて、晴眼者から遠隔でも支援が受けられるアプリケーションやサービスが発展するようになった [2]。例えば、スマートグラス Aira があげられる。晴眼者は Aira に搭載されている前方カメラや GPS 機能を通して、視覚障害者の遠隔歩行

支援を行う。

実際、従来の研究で、これらの遠隔支援システムの有効性が確認されてきた。例えば、遠隔支援によって、視覚障害者が満足にいく歩行ができたり [4]、目標地点までのナビゲーションがより短い時間で行えることが評価実験から報告されている [10]。しかしながら、歩行体験に影響するであろう環境の要因や遠隔支援者が行う指示の質などを考慮した遠隔歩行支援の有効性の評価は行われていない。

そこで本研究では、視覚障害者の環境要因である壁との距離等や分類化した指示の使用傾向を考慮して、視覚障害者の遠隔歩行支援の定量評価指標の検討を行う。そのために晴眼者に視覚障害者を決められた目的地まで遠隔から誘導する歩行支援タスクを依頼した。タスク中遠隔支援者には視覚障害者の正面の様子を捕えた一人称視点映像が送られる (図2)。この映像とマップ情報 (図1) を基にして遠隔支援者は視覚障害者を決められた目的地まで誘導する。このタスクを通じて 1) 視覚障害者の歩行の軌跡情報、2) 遠隔支援者と視覚障害者間の音声情報、3) 視覚障害者の一人称視点映像を取得した。得られた情報を基に遠隔支援の有効性の評価に適すと考えられる特徴量を抽出し、以下の解析を行った。

(1) 出発点から目的地まで支援する歩行タスク全体で定量化される要素 (以後、大局的な特徴量と呼ぶ) の計算、及び各特徴量に対する遠隔支援の有効性の主観評価との相関係数の算出。

¹ 東京大学生産技術研究所、Institute of Industrial Science, The University of Tokyo

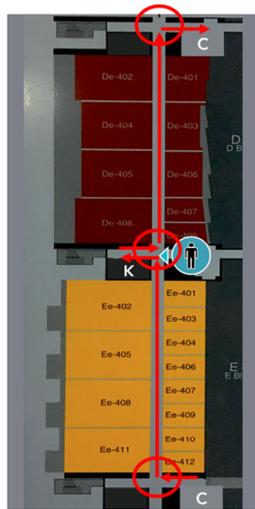


図 1 今回の歩行タスクにおけるルートを示す。K は給湯室、C はコピー機、赤い丸は交差点を表す。赤い矢印はタスク中の視覚障害者の歩行ルートを示す。

(2) 歩行支援タスク中における交差点等の限定的な場所やタスク中の一部を時間窓で取り出したときに関わる要素（以後、局所的な特徴量と呼ぶ）の計算、及び各特徴量を入力、遠隔支援の有効性の主観評価を出力とした分類。

上記の解析により、遠隔歩行支援の有効性の評価に寄与する特徴量を算出した。その結果、大局的な特徴量に基づく解析からタスク中の遠隔支援者の総指示回数が遠隔歩行支援の有効性の評価と関連していることが分かった。また、局所的な特徴量に基づく解析から、遠隔支援者の発話内容に基づいた特徴量が、遠隔での歩行支援の有効性の評価と関連していることが分かった。

本研究は研究者や開発者が遠隔歩行支援を行うシステムの有効性や満足感を測る際の一助となることを目的としている。具体的には、本実験の解析結果より、遠隔支援の有効性の評価は、遠隔支援者がどのような指示をするのか、また指示を何回しているのか等の発話内容情報と最も関連性が高いことが分かった。従来の研究 [4][10] では、遠隔歩行支援の有効性や満足感がアンケートやインタビューによる分析、及び目的地まで到達時間で評価されてきたが、本研究により遠隔支援者の発話内容情報に基づいた評価も遠隔歩行支援の有効性や満足感を測る有益な手段として、考えられることが示唆される。

また本研究は、従来の研究 [14][17] で、晴眼者が付き添う同行援護の歩行評価に使用された視覚障害者の速さ等の軌跡情報を考慮した。しかしながら、軌跡情報は本実験で得られた遠隔支援の有効性の主観的評価に大きな影響を与えていない。このことから、遠隔支援の有効性の評価において軌跡情報が必ずしも有効な指標ではない可能性がある。

将来発展が予想される遠隔歩行支援を行うシステムの有効性やその満足感を測る際に、上記の解析結果や考察が考



図 2 遠隔支援者に送られる視覚障害者の一人称視点映像。

慮されることで、遠隔歩行支援システムやアプリケーションの向上につながることを期待される。

2. 関連研究

2.1 視覚障害者の遠隔支援

従来より視覚障害者の日常生活を遠隔から支援するシステムやアプリケーションの開発が行われてきた。例えば、Bigam らは視覚障害者に彼らが撮った写真の情報を遠隔から音声で伝えるアプリケーション VizWiz, quikTurkit を開発した [6]。視覚障害者は写真を撮影し、本アプリケーションを通して遠隔支援者に質問する。それに対して遠隔支援者がほぼリアルタイムで返答することで、広範な支援を可能としている。また、計算・通信性能の向上に伴い、日常生活の中で遭遇する物体を識別する TapTapSee[13]、及びビデオ通話を通して支援する Be my eyes と呼ばれるアプリケーションが登場した。

上記のアプリケーションでは、視覚障害者が文章理解、物体認識できることを主目的としていた。その一方で、遠隔から視覚障害者の歩行支援を行った研究がある [4][10][9]。例えば、[4] では、指示者が遠隔から GPS で視覚障害者の位置を把握しながら、歩行支援を行うことを提案している。また、[10][9] では、視覚障害者へのインタビューを通して、遠隔支援が視覚障害者に安全性と快適性を提供し、更に視覚障害者自身が一人で歩いていることを自覚することによる達成感をもたらすことを報告している。他にも、[10] では、タスク遂行時間の優位性によって遠隔支援システムの有効性を主張している。具体的には、視覚障害者がある目的地まで到着するタスクにかかる時間を遠隔支援がある場合とない場合と比較し、遠隔支援がある場合の方が短い時間でタスクを終えられることを示している。

しかしながら、上記の研究では、ナビゲーションルートにおける交差点、障害物や目印等の要素や遠隔支援者が行う指示の良し悪しが考慮されてこなかった。そこで本研究では遠隔支援の有効性の評価につながる具体的な要因の同定を行うことで、従来の遠隔支援システム評価手法とは異なる手法の考案を目指す。

2.2 既存の歩行支援の評価

従来の研究では、歩行支援の評価をする際に、歩行者の軌跡情報や、遠隔支援者の音声情報、交差点といった要素が利用されてきた。

多くの研究者が GPS から算出される視覚障害者の位置を基に、歩行支援を行ってきた [11][16]。例えば、[11] では、視覚障害者の歩行支援が正しく行っていない場合視覚障害者の軌跡が理想の軌跡と異なることに着目した。この研究では、歩行支援中における視覚障害者の軌跡が想定ルートと大きくずれていた場合、支援者に警告音を発することで歩行支援の向上を行った。

しかしながら、上記の研究で使用した、GPS から得た軌跡情報は実際に歩行支援を受けている視覚障害者の軌跡と比べて、5m から 10m 程度の測定誤差があることが報告されている [20]。そのため、軌跡情報を用いた解析は入り口や階段が含まれる環境、建物内などに適さないという問題があった。しかし、ビーコンを使用したアプリケーション Navcog[1] 及び Navcog3[20] や SLAM の自己位置推定精度の上昇 [15] 等により、ナビゲーション中における視覚障害者の軌跡がより高い精度で入手できるようになった。

この高い精度で軌跡を得られることを背景に、建物内でもより詳細な解析が行われるようになった。例えば、Kacorriらは Navcog3 を使用して建物内の階段や壁との距離が歩行支援を受けている視覚障害者の軌跡にどのような影響を及ぼすのか調査した [14]。

歩行者の軌跡情報に焦点を当てた研究のほかに、歩行者と支援者間における会話に着目し、どういった指示が使われているのかまたどういった指示が良いのかを明らかにした研究がある [8][3][7]。[3] では、視覚障害者の人が歩行支援を行うにあたって、マップ上における階段や目印等の環境要因を伝えることが一番の問題であることが報告されている。これにより、視覚障害者は上記のような環境要因を重要視していることが示唆される。[7] では、歩行支援者と視覚障害者間における会話を 11 種類の表現に分類した。その中でも”右へ曲がってください”といった方角を用いた指示や道や十字路といったマップ上の特徴を含んだ指示が多く使われていたことを報告している。

他にも、歩行支援中における交差点や左右に道が分かれる分岐点に着目した研究がある。交差点や分岐点にさしかかったとき、どのタイミングで指示を送るかが歩行支援に影響を及ぼすと考えられている [19][21]。また交差点を視認できるポイントは軌跡や音声情報からは判別が難しい。そこで、Giannopoulosらは、交差点における指示の最適なタイミングの場所を映像情報を用いて探った [12]。この研究は、歩行支援を受ける人が交差点を初めて視認できるポイントで最も指示を求める傾向があることを報告している。

以上のように従来の研究では、歩行者の軌跡情報や、遠隔支援者の音声情報、交差点といった要素が歩行支援の評

価に利用されてきた。本研究は、視覚障害者の遠隔歩行支援において上記の要素の中からどの情報を用いて評価するべきかを検討する。

3. データ収集

本章では、遠隔支援の有効性の評価に繋がる要素を同定するために本研究で行ったデータ収集の詳細について述べる。

3.1 実験環境と実験条件

今回は 8 人の視覚障害者（男性 4 人、女性 4 人）に遠隔支援の下で馴染みのない道を歩行してもらうことを依頼した。また遠隔支援者として、同行援護の専門家と大学の関係者の 2 グループを用意した。視覚障害者の援護に関する専門知識や実験環境を既に知っていることがタスク中における指示の違いを生み、遠隔支援の有効性の評価に違いが出ると考えたためである。

本実験は東京大学駒場リサーチキャンパスにある 7 階建ての建物の中で行われた。歩行支援を行うルートは 2m 幅の通路から構成される。また視覚障害者はタスク中に 2 つの直線廊下 (41m 程)、3 つの交差点 (3.6m² 程)、及び目印として 3 つのコピー機と 1 つの給湯室を通った (図 1)。

タスク中に視覚障害者は、カメラを通じて通信するシステムである Appear.in (図 2) を使用して、遠隔支援者とコミュニケーションをとった (図 3)。視覚障害者はスマートフォンを体の胸部の前方に着けて、目の前の景色をカメラを通して遠隔支援者のインターフェイス側に送信した。解析のためにタスク中の遠隔支援者のインターフェイス画面を録画し、遠隔支援者の音声情報と遠隔支援者から見える視覚障害者の視野の映像情報を同時に獲得した。遠隔支援の以前の研究 [5] と同様に、視覚障害者はベルトを着用をした (図 3)。またタスク中の軌跡情報を取得するために、視覚障害者の体後方側に Google 社が提供するアプリケーション Tango を起動させたスマートフォンを取り付けて実験を行った。Tango では SLAM ベースの RTAB-map が導入されており、自己位置推定と環境地図作成が可能のため、タスク中の視覚障害者の軌跡を記録できる。図 4 に RTAB-map で得られた視覚障害者の軌跡の例を示す。

3.2 実験手順

本実験では歩行支援のルートとして出発地点と終了地点が異なる 2 つのルートを用意した。視覚障害者と同行援護の専門家が知人である 3 つのケースを除いて、事前に視覚障害者に遠隔支援者のプロフィールや歩行支援経験情報は伝えられなかった。また遠隔支援者には、視覚障害者のプロフィール情報を伝えず、タスク開始時にナビゲーションマップを提供した。いずれのルートも同じ距離だけ歩き、目的地までに図 1 の真ん中付近にある給湯室とコピー機

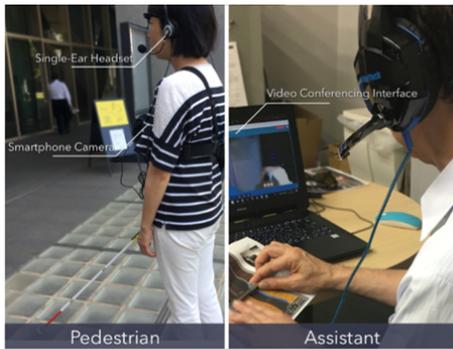


図 3 実験中における視覚障害者と遠隔支援者. 左図のように視覚障害者は体の胸部の前方にスマートフォンを付けて, 一人称視点映像を遠隔支援者に送信している. 右図は映像情報を見ながらヘッドホンを通して指示を行う遠隔支援者を撮影したものである.

という二つの目印を通ることを想定した. またタスク中は遠隔支援者と視覚障害者以外の会話を制限した. タスク終了後に, 視覚障害者にインタビューを行い, 遠隔支援が有効であった点やタスク中の指示の良し悪し等を尋ねた. また, 遠隔支援の有効性について1から7の7段階で主観的に評価付けをしてもらった. その結果を表1に示す.

表 1 視覚障害者による遠隔支援の有効性の主観的な評価

視覚障害者	同行援護の専門家	実験環境を把握した支援者
1	4	5
2	5	4
3	3	7
4	1	5
5	7	6
6	3	7
7	4	7
8	3	4

4. 遠隔支援の評価に使用した特徴量及びその解析

本章では, 前章のデータ収集で得られた主観評価結果をもとに, まず遠隔支援の有効性の評価に適すると考えられる特徴量を抽出する. 続いて, 抽出した特徴量が実際に遠隔支援の有効性の評価に適するかどうか, 主観評価との相関係数を求めることで比較する. 最後に, 抽出した特徴量を入力として主観評価スコアを出力するSVMを提案し, どの特徴量が遠隔支援の有効性の評価に適するかを算出する.

4.1 抽出した特徴量

4.1.1 軌跡情報を基にした特徴量抽出

従来の研究では, 歩行支援中における視覚障害者の状態, 即ち位置や歩行速度がナビゲーションの良し悪しに影響を与えるとされてきた. 例えば, Ohn-Barらはタスク中の視

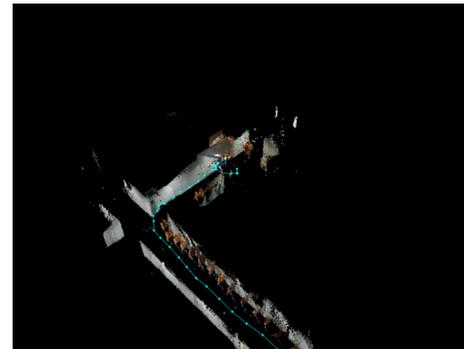


図 4 Tangoによる軌跡図. 水色のマーカー付き折れ線が歩行者の軌跡, 点群が壁などの実験環境を示す.

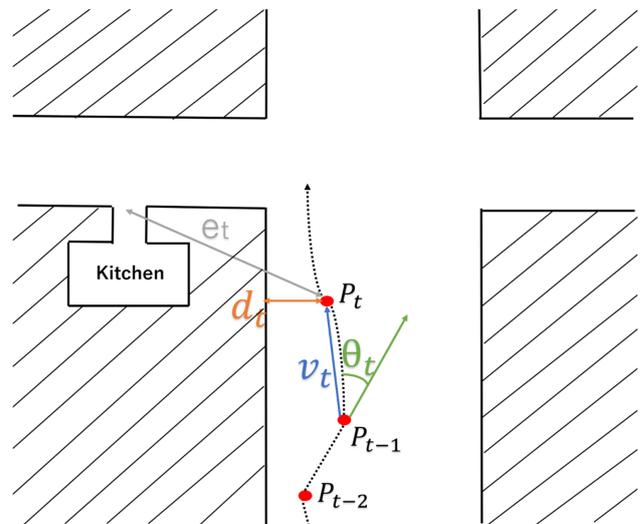


図 5 本研究で用いた軌跡情報

覚障害者の速度や角度の変化を特徴量として使用している [18][17]. また [14]では, 視覚障害者の位置と柱や壁との距離が軌跡に影響を及ぼすことを報告している. そこで, 本研究でも視覚障害者の軌跡情報を特徴量として用いる.

まず Tangoの自己位置推定機能により得た, タスク中における視覚障害者の位置を二次元平面上に投影する. 時刻 $t(t = 1, 2, 3, \dots, T)$ における視覚障害者の位置を $P_t \in \mathbb{R}^2$ と定義する. 更にタスク中における壁と思われる点群を MeshLabで取り出し, 二次元平面上に対応する壁の直線の方程式を算出する. 本研究では RANSACを用いて算出した. 得られた視覚障害者の位置と壁の式から以下の量 $v_t \in \mathbb{R}$, $\theta_t \in \mathbb{R}$, $d_t \in \mathbb{R}$, $e_t \in \mathbb{R}$ を計算する (図5).

v_t は時刻 t における視覚障害者の速さを表す. θ_t は時刻 t における視覚障害者の移動方向の変化量を表す. d_t は時刻 t における視覚障害者の位置 P_t と壁との最短距離を表す. e_t は時刻 t において視覚障害者の位置 P_t と4つの目印(コピー機, 給湯室)との距離を計算し, それをバイナリ値として表現したものである. 具体的には, 4つの目印の座標を $E_p(p = 1, 2, 3, 4)$, X を閾値としたときに,

$$e_t = \begin{cases} 1 & (\exists p \in \{1, 2, 3, 4\} s.t. |E_p - P_t| < X) \\ 0 & (otherwise) \end{cases} \quad (1)$$

とする。

4.1.2 発話内容を基にした特徴量抽出

本小節では、タスク中における遠隔支援者と視覚障害者間の会話が遠隔支援の有効性の評価にどのような影響を与えているかを考える。歩行支援における会話の大半は遠隔支援者による視覚障害者への指示である。そこで遠隔支援者による指示について考える。まず詳細な解析を行うために、Balataの研究[3]をもとに、表2のように3種類に分類する。ここでは、“曲がってください”、“進んでください”といった発話を指示、“給湯室があります”等の目印を描写した発話を目印を使った会話、また指示とは関係ない“大丈夫ですか”といった視覚障害者に対する配慮や確認を呼びかけと定義している。

更に、Bradleyらの研究[7][8]を参考に、上段落で指示と分類された会話の細分化を行う。今回は表3のように、4種類に分けて解析を行う。その理由としては[8]で、視覚障害者が晴眼者よりも“3m先まで進んでください”等の数字を使った指示、“壁沿いを歩いてください”等の環境要素を描写した指示の方が使用頻度が高いと報告されていたからである。これらの指示回数が多い歩行支援を視覚障害者は支持すると思った。本研究では、それに加えて“画像が早すぎるので止まってください”といった遠隔支援特有の指示を加えて分類した。

表2 遠隔支援者の会話分類表

会話分類	例
指示	数 m 先を右に曲がってください 45度左に曲がってください 壁沿いを歩いてください 画像が早すぎるので止まってください
目印を使った会話	この先給湯室があります コピー機に到着しました
呼びかけ	大丈夫ですか？

表3 遠隔支援者の指示分類表

指示分類	例
数字を使った指示	数 m 先を右に曲がってください 45度左に曲がってください
環境要素を使った指示	壁沿いを歩いてください 十字路を右に曲がってください
遠隔支援特有の指示	画像が早すぎるので止まってください
その他、通常の指示	右に曲がってください 止まってください



図6 今回の実験で交差点を視認できる例を示す。左図では交差点を視認できないが、右図では交差点を視認できる。

4.1.3 交差点を利用した特徴量抽出

先行研究において、歩行支援中において指示を求めるタイミングは交差点を視認した後が最も頻度が高いことが報告されている[12]。また交差点を視認できるポイントを軌跡や音声情報から算出することは難しい。そこで本研究でも映像を利用して交差点を視認できる場所を考慮する。本研究では、交差点を視認できる地点は先行研究[12]に習う。図6の右図のように給湯室とコピー機を出た場所と廊下の中央を交差点を始めて視認できる地点とする。遠隔支援者に送られる視覚障害者の一人称視点映像によって、交差点を始めて視認できる地点を確認し、その時間を t_a とする。更に、遠隔支援者が交差点に到達するまでの時間 t_b を計測し、交差点を視認してから交差点にたどり着くまでの時間 $t_b - t_a$ における視覚障害者の軌跡情報や遠隔支援者の発話内容を調べる。

4.2 解析

以下では、大局的な特徴量による解析、時間窓の部分区間抽出による解析、交差点における解析を順を追って説明する。

まず、大局的な特徴量による解析について説明する。前節で抽出した軌跡情報 (v_t, θ_t, d_t, e_t) のタスク中の平均、標準偏差をそれぞれ計算する。発話内容情報に対しても同様である。前節で分類した指示の種類について、それぞれ使用頻度を求め、特徴量として使用する。またタスク中における遠隔支援者の総指示回数も計算し、特徴量として用いる。交差点を利用した特徴量に関しては、交差点を初めて視認してから到着までの時間 $t_b - t_a$ の平均値を求める。以上のようにして得られた軌跡情報、発話内容情報、交差点を利用した特徴量を大局的な特徴量と考える。抽出した特徴量が実際に遠隔支援の有効性の評価に適するかどうか、データ収集で得た主観評価との相関係数を求めることで比較する。

次に、時間窓を用いた部分区間による解析について説明する。一定の時間内における軌跡情報 (v_t, θ_t, d_t, e_t) の平均、標準偏差、最大値、最小値及び発話内容情報から各指示使用回数、総指示回数を特徴量として考慮する。これらの特徴量を入力、データ収集で得られた主観評価スコアを出力としてSVMによる7クラス分類を行う。

最後に、交差点を利用した解析について説明する。時間

表 4 軌跡情報と遠隔支援の有効性の主観的評価間の相関係数

要素	相関係数の値
速さの平均	0.62
速さの標準偏差	0.71
角度の平均	-0.32
角度の標準偏差	-0.28
壁との最短距離の平均	0.21
壁との最短距離の標準偏差	0.01
目印範囲内の割合	0.14

軸で解析した部分区間を交差点を初めて視認してから到着までの時間 $t_b - t_a$ の区間と置き換える。 $t_b - t_a$ 間の軌跡情報と発話内容情報から得られる特徴量を入力，データ収集で得られた主観評価スコアを出力として SVM による 7 クラス分類を行う。

評価手法としては，leave-one-out 交差検証法を用いた。評価指標としては，データ収集で得た主観評価スコアと SVM の出力として得た主観評価スコアの平均誤差を採用した。また SVM を構築する際に，精度向上のために Gridsearch によるチューニングを行った。

今回は時間窓の間隔を 5, 10, 20 秒として行った。時間窓の間隔が 5, 10, 20 秒のときのサンプル数はそれぞれ 704, 399, 219 サンプルであった。交差点での解析を行う場合は，軌跡情報が 39 サンプル，発話内容情報が 41 サンプルであった。

5. 結果及び考察

最初に，前章で説明した大局的な特徴量を基にして解析した結果を表 4, 表 5, 表 6 に示す。遠隔支援の有効性の評価との相関係数の絶対値が一番高かったのはタスク中の遠隔支援者の総指示回数であった。負の相関であるから，指示回数が少ないときほど遠隔支援の有効性の評価が高いと考えられる。また，タスク中の視覚障害者の速さの平均や標準偏差と遠隔支援の有効性の主観評価との相関係数が高い。正の相関であるから，タスク中の視覚障害者の速さが大きい方が遠隔支援の有効性の評価が高く，これはタスク遂行時間の優劣を遠隔支援の有効性の評価に用いた既存の研究 [10] と一致している。一方で，本実験では視覚障害者と壁との距離は遠隔支援の有効性の評価との関連性が最も低かった。これは本実験環境において開けた場所がないことが影響している可能性が考えられる。

続いて，時間窓による部分区間解析の結果を表 7 に示す。全ての時間窓の間隔においても，発話内容情報に基づく特徴量を入力とした場合の方が，軌跡情報に基づく特徴量に比べて平均誤差が小さかった。これにより，時間窓による部分区間抽出に基づいた分析では発話内容情報が軌跡情報より遠隔支援の有効性の評価に適することが示唆される。また発話内容情報に基づく特徴量を入力とした場合，時間窓の間隔が長いほうが，精度が高かった。時間窓の間隔が

表 5 発話内容情報と遠隔支援の有効性の主観的評価間の相関係数

要素	相関係数の値
数字を使った指示の割合	-0.29
環境要素を使った指示の割合	-0.05
遠隔支援特有の指示の割合	-0.55
通常の指示の割合	0.53
目印を使った会話の割合	0.04
呼びかけの割合	-0.38
指示回数	-0.90

表 6 交差点を視認してから到達するまでの時間と遠隔支援の有効性の主観的評価間の相関係数

要素	相関係数の値
交差点を視認してから到達するまでの時間	-0.61

表 7 時間窓の部分区間抽出による分類結果

時間窓の間隔	軌跡情報	発話内容情報
5 秒	2.19	2.10
10 秒	2.27	2.05
20 秒	2.30	1.97

表 8 交差点での解析による分類結果

軌跡情報	発話内容情報
3.21	3.24

長いほうが，多くの種類の指示が含まれる可能性が高い。従って，多様な指示が含まれるように特徴量を設計することが遠隔支援の有効性の評価に適することが示唆される。

最後に，交差点での解析の結果を表 8 に示す。軌跡情報に基づく特徴量の方が発話内容情報に基づく特徴量に比べてわずかに平均誤差が小さかった。時間窓による部分区間の解析結果と比較すると，いずれの場合も交差点での解析の方が精度が悪かった。交差点の視認から到達までかかる時間は人によって大きく異なるため，軌跡や発話内容からは遠隔支援の有効性を評価できないことが示唆される。

6. まとめと今後の課題

本研究では，視覚障害者の位置と壁との距離といった環境要因や分類化した指示の使用傾向を考慮して，視覚障害者の遠隔歩行支援の有効性の定量評価指標の検討を行った。遠隔支援を通して晴眼者に視覚障害者を決められた目的まで支援する歩行タスクを行ってもらい，視覚障害者の軌跡や遠隔支援者の発話内容から特徴量を抽出した。大局的な特徴量，及び局所的な特徴量を基に解析した結果から，遠隔支援者の発話内容を基にした評価指標が遠隔歩行支援の有効性の評価に適することが示唆された。

今回歩行支援中に視覚障害者が人と遭遇する状況や開けた場所等本実験とは異なる環境下は考慮されておらず，遠隔歩行支援の定量評価結果に影響することが考えられる。そのため今後は人と遭遇する状況，開けた場所での歩行情

報を解析し、評価指標の検討を行う必要がある。

謝辞 本研究は JST CREST (課題番号 JPMJCR14E1) の支援下で実施されています。

参考文献

- [1] Ahmetovic, D., Gleason, C., Ruan, C., Kitani, K., Takagi, H. and Asakawa, C.: NavCog: a navigational cognitive assistant for the blind, *Proceedings of the 18th International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, ACM, pp. 90–99 (2016).
- [2] Aira: Aira, <https://aira.io/>, accessed 2018-01-29.
- [3] Balata, J., Mikovec, Z. and Maly, I.: Navigation problems in blind-to-blind pedestrians tele-assistance navigation, *Human-Computer Interaction*, Springer, pp. 89–109 (2015).
- [4] Baranski, P., Polanczyk, M. and Strumillo, P.: A remote guidance system for the blind, *e-Health Networking Applications and Services (Healthcom), 2010 12th IEEE International Conference on*, IEEE, pp. 386–390 (2010).
- [5] Baranski, P. and Strumillo, P.: Field trials of a tele-assistance system for the visually impaired, *Human System Interactions (HSI), 2015 8th International Conference on*, IEEE, pp. 173–179 (2015).
- [6] Bigham, J. P., Jayant, C., Ji, H., Little, G., Miller, A., Miller, R. C., Miller, R., Tatarowicz, A., White, B., White, S. et al.: VizWiz: nearly real-time answers to visual questions, *Proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology*, ACM, pp. 333–342 (2010).
- [7] Bradley, N. A. and Dunlop, M. D.: Investigating context-aware clues to assist navigation for visually impaired people, *Proceedings of Workshop on Building Bridges: Interdisciplinary Context-Sensitive Computing*, University of Glasgow (2002).
- [8] Bradley, N. A. and Dunlop, M. D.: An experimental investigation into wayfinding directions for visually impaired people, *Personal and Ubiquitous Computing*, Vol. 9, No. 6, pp. 395–403 (2005).
- [9] Bujacz, M., Baranski, P., Moranski, M., Strumillo, P. and Materka, A.: Remote guidance for the blind — A proposed teleassistance system and navigation trials, *Human System Interactions, 2008 Conference on*, IEEE, pp. 888–892 (2008).
- [10] Bujacz, M., Baranski, P., Moranski, M., Strumillo, P., Materka, A., Sharkey, P., Lopes-dos Santos, P., Weiss, P. and Brooks, A.: Remote mobility and navigation aid for the visually disabled, *Proc. 7th Intl Conf. on Disability, Virtual Reality and Assoc. Technologies with Art ArtAbilitation*, in PM Sharkey, P. Lopesdos-Santos, PL Weiss & AL Brooks (Eds.), pp. 263–270 (2008).
- [11] Chang, Y.-J.: Anomaly detection for travelling individuals with cognitive impairments, *ACM SIGACCESS Accessibility and Computing*, No. 97, pp. 25–32 (2010).
- [12] Giannopoulos, I., Jonietz, D., Raubal, M., Sarlas, G. and Stähli, L.: Timing of Pedestrian Navigation Instructions, *13th International Conference on Spatial Information Theory (COSIT 2017)*, Vol. 86, Schloss Dagstuhl, Leibniz-Zentrum für Informatik GmbH, p. 16 (2017).
- [13] Holton, B.: A review of the taptapsee, camfind, and talking goggles object identification apps for the iphone, *AFB AccessWorld Magazine*, Vol. 14 (2013).
- [14] Kacorri, H., Ohn-Bar, E., Kitani, K. M. and Asakawa, C.: Environmental Factors in Indoor Navigation Based on Real-World Trajectories of Blind Users, *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, ACM, p. 56 (2018).
- [15] Labbé, M. and Michaud, F.: RTAB-Map as an open-source lidar and visual simultaneous localization and mapping library for large-scale and long-term online operation, *Journal of Field Robotics*.
- [16] Ng, J. and Kong, H.: Not All Who Wander Are Lost: Smart Tracker for People with Dementia, *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, ACM, pp. 2241–2248 (2016).
- [17] Ohn-Bar, E., Guerreiro, J., Ahmetovic, D., Kitani, K. M. and Asakawa, C.: Modeling expertise in assistive navigation interfaces for blind people, *23rd International Conference on Intelligent User Interfaces*, ACM, pp. 403–407 (2018).
- [18] OhnBar, E., Kitani, K. and Asakawa, C.: Personalized dynamics models for adaptive assistive navigation systems, *Conference on Robot Learning*, pp. 16–39 (2018).
- [19] Ross, T., Vaughan, G. and Nicolle, C.: Design guidelines for route guidance systems: Development process and an empirical example for timing of guidance instructions, *Ergonomics and safety of intelligent driver interfaces*, pp. 139–152 (1997).
- [20] Sato, D., Oh, U., Naito, K., Takagi, H., Kitani, K. and Asakawa, C.: Navcog3: An evaluation of a smartphone-based blind indoor navigation assistant with semantic features in a large-scale environment, *Proceedings of the 19th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, ACM, pp. 270–279 (2017).
- [21] Williams, M. A., Galbraith, C., Kane, S. K. and Hurst, A.: Just let the cane hit it: how the blind and sighted see navigation differently, *Proceedings of the 16th international ACM SIGACCESS conference on Computers & accessibility*, ACM, pp. 217–224 (2014).
- [22] Williams, M. A., Hurst, A. and Kane, S. K.: Pray before you step out: describing personal and situational blind navigation behaviors, *Proceedings of the 15th International ACM SIGACCESS Conference on Computers and Accessibility*, ACM, p. 28 (2013).
- [23] WorldHealthOrganization: Blindness and vision impairment, <https://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs213/en/>, accessed 2018-01-29.
- [24] 厚生労働省: 平成 18 年身体障害児・者実態調査結果, <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/shintai/06/dl/01.pdf>, accessed 2018-01-31.
- [25] 森 大輝, 入江英嗣, 内原正一, 荒川明宏, 坂井修一: リアルタイム経路生成と振動通知による視覚障害者の歩行支援システム, インタラクティブシステムとソフトウェアに関するワークショップ (WISS) (2018).