

原著論文

高齢者向け経路嗜好推定モデルの個人適応のための
歩行履歴を活用したユーザ評価自動推定小須田 侑暉¹⁾, 古川 宏²⁾¹⁾ 筑波大学情報科学類, ²⁾ 筑波大学システム情報系Automatic estimation method of user evaluation using walking history for
personal adaptation of route preference estimation model for elderly peopleYuuki KOSUDA¹⁾, Hiroshi FURUKAWA²⁾¹⁾ College of Information Science, University of Tsukuba²⁾ Institute of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba

概要: 日本の高齢化の進行とモバイル端末の普及から、高齢者が外出時にナビゲーションシステムを使って歩行することはよくあると想定される。しかし、現在のナビゲーションシステムは最短経路を提供するものが多く、ユーザの身体状況や嗜好は加味されていない。高齢者は体力や嗜好に個人差が大きく、それぞれに適切な経路を提供するシステムが必要である。本研究では、先行研究で提案された経路探索手法においてモデル更新に必要なユーザの経路要因への評価を自動で推定する手法を検討した。高齢者を対象に歩行速度の変化や立ち止まった回数などの歩行中の情報と経路要因への評価を取得する歩行実験を行い、結果を分析して自動推定手法を検討した。

Keywords: navigation system, walking speed, individual differences, route evaluation, model improvement

キーワード: ナビゲーションシステム, 歩行速度, 個人差, 経路評価, モデル改善

1. はじめに

1.1 研究背景

近年、日本では高齢化が問題となっており、今後も高齢化は進んでいくとされている[1]。そして、内閣府の調査[2]では、高齢者の半分以上がほぼ毎日外出していることがわかっている。また、総務省の調査[3]では、インターネットを利用する高齢者の70%以上が、地図や交通情報などを得るための情報検索を目的としてインターネットを利用していることがわかっている。これらから、高齢者が外出時にナビゲーションシステムを使って歩行することは良くあると想定される。

ただ、高齢者には歩行時の障害が多いことも分かっている。階段や段差があることやベンチなどの休める場所が無いことなど様々な不安要素があることや、若者に比べて歩行時に疲れやすいといった体力の問題があることが挙げられる。しかし、現在提供されているナビゲーションシステムは、基本的に出発地点から目的地までの最短経路のみの提供で、ユーザ

の身体状況や嗜好は加味されていないものが多い。

高齢者ユーザの利用を想定した場合、最短経路だけでなく、利用者の状況や道路の状況を考慮して安全かつ快適に歩行できる経路を案内できるような仕組みが必要となる。

1.2 研究目的

本研究の目的は、高齢者を対象とした個人の嗜好を反映した経路推薦モデルにおいて、ユーザの経路要因に対する評価を自動で推定する手法を考案し、その手法の有用性を評価することである。後述する峰らの研究[4]では、ユーザの属性と希望する経路条件との関係性をモデル化し、歩行後のアンケートで得た経路要因に対するユーザの評価を用いてそのモデルをユーザにより適したものに改善していく手法を検討している。本研究では、自動で評価を推定する手法を考案することでユーザがアンケートで評価を回答する手間をなくし、ユーザの負担を減らすことを目指す。この目的を達成するために、歩行速度の変化や歩行中に止まった回数といった歩行中の情報とユーザの経路要因への評価を取得する歩行実験を行う。実験結果から、歩行中の情報とユーザ評価との関係性を分析し、評価の自動推定手法を検討する。

2024年3月1日受理。(2024年3月16日スマートライフ学会
2024年大会にて発表)

著者照会先: 〒305-8573 茨城県つくば市天王台 1-1-1
システム情報系 認知支援システム研 小須田 侑暉

2. 関連研究

2.1 本研究のベースとなる研究

2.1.1 遠回り許容時間

松田らの研究[5]では、歩行者の経路への嗜好性を反映した経路生成を目的とし、この支援に必要なデータの特定及び経路探索のコスト関数を構築するためのアンケート調査を実施した。そのなかで遠回り許容時間という指標を考案していた。遠回り許容時間について以下で説明する。

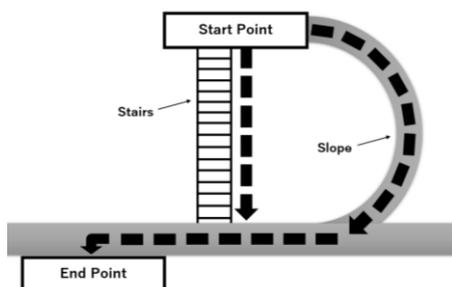


図 1. 遠回り許容時間の説明図

図 1 のように、出発地(Start point)から目的地(End point)までの経路に階段(Stairs)とスロープ(Slope)の 2 つの経路があるとする。階段の経路は最短の経路となっていて 10 分で目的地に到達でき、スロープの経路は少し遠回りになる緩やかな坂道となっていて 15 分で目的地に到達できる。ここで、もしユーザが遠回りになるとわかっている上でスロープの経路を選択した場合、ユーザにとって「階段を通る負荷」は距離に換算すると 1.5 倍になると言える。これが遠回り許容時間の考え方であり、遠回り許容時間を用いることで様々な経路要因の負荷を距離換算し、ユーザの嗜好性を単純な距離の値として表現することができるようになる。

2.1.2 ユーザ個人に向けた経路改善手法

峰らの研究[4]では、高齢者ユーザの属性と希望する経路条件の間にある関係性をモデル化し、そのモデルをユーザ個人に向けて改善する手法を検討した。この研究では、松田らが考案した遠回り許容時間をもとに、ユーザの嗜好を反映したモデルの改善を行うことを試みた。峰は、個人に向けてコストを改善していくにはユーザがどういった要因を好みどういった要因を拒むのかといったデータが必要であると考えた。しかし遠回り許容時間は直感的に理解することが難しく質問内容を把握するのにある程度の時間がかかり、歩行ごとに各ユーザに様々な要因に対する遠回り許容時間を回答してもらうのは負担が大きいと考えられる。そこで、通行した経路中に存在した経路要因に対しての評価を図 2 のように 5 段階で取得し、その結果をユーザの遠回り許容時間に反映することでコストを改善することを試みた。



図 2. 経路要因の評価指標

コスト改善にあたり、1 回の評価では信頼性に欠けると考え、3 回歩行した時の評価の合計値を利用することにした。その 3 回の評価の合計値から遠回り許容時間を算出し、モデルの更新を行った。その後、提案したコスト改善手法の有用性を検証するために歩行実験を実施した。その結果、コストの改善前後で経路の評価に有意差は存在しなかった。ただ、いくつかの経路においてはほとんどの歩行者の評価が向上しており、コスト改善の成果が確実に現れていた。手法の有用性が示唆された一方で、課題として、歩行のあとに毎回経路要因への評価を行うことがユーザにとって大きな負担になっていることが挙げられた。

2.2 歩行速度と停止回数に関する研究

2.2.1 歩行速度と街路の魅力に関する研究

松本らの研究[6]では、街路空間の魅力度と歩行速度との間の関係を調べる実験を行った。その結果、街路空間の魅力が大きいと平均歩行速度は遅くなり、逆に街路の魅力が小さい空間では歩行速度は速くなること、街路空間の魅力と歩行速度の間には強い相関関係があり、歩行速度を説明変数とする回帰式で街路空間の魅力が説明できることがわかった。街路空間の魅力が歩行速度に影響を及ぼし、その歩行速度により街路空間の魅力を予測することができる、すなわち、歩行速度が街路空間の魅力の評価指標となりうると結論づけた。

2.2.2 歩行中の停止回数と空間要素に関する研究

長谷部らの研究[7]では、歩行速度と歩行空間の特性との関係を分析した。その中で、停止回数についてデータを取得し分析を行っていた。その結果、停止回数が多い道の空間特性として、「幅員 5m 未満の狭い歩道である」「舗装されている」「花壇・池・オブジェといった装飾的要素がある」などがあることがわかった。また、立ち止まって細部を注目されやすいオブジェや花壇は停止回数が多い傾向にあるが、形状の変化が少なく遠くから明白に見えやすい噴水は停止回数が多くないことがわかった。広場内や歩道沿いに花壇や池、オブジェがあったり地面に舗装が設けられていたりすると、散策中の停止や滞在が促されると考えられると結論づけた。

3. 本研究の位置づけと方針

3.1 本研究の位置づけ

峰らの研究[4]における手法は、有用性が示唆されたものの、課題として歩行のあとに毎回経路要因への評価を行うことは、ユーザにとって大きな負担になっていることが挙げられた。

松本らの研究[6]では、歩行速度を説明変数とする回帰式で街路空間の魅力が予測でき、歩行速度が街路空間の魅力の評価指標となりうると結論づけられた。峰らの研究における

遠回り許容時間の更新に用いられるユーザ評価は経路要因の魅力の評価しているともいえ、同じように歩行速度で予測が可能なのではないかと考えられる。

また、長谷部らの研究[7]からわかるように、歩行者が停止するときは経路上の要素に注目しており、歩行中の停止回数の情報は歩行者が歩いている経路をどのように感じているかを良く表していると言える。歩行速度の情報と合わせて停止回数情報も用いることでより精度よくユーザ評価の予測ができるのではないかと考えられる。

これらから、本研究では、高齢者を対象として歩行速度の変化や停止回数といった歩行履歴からユーザの経路要因への評価を自動で推定する手法の検討を行う。峰らが提案したコスト改善手法における、遠回り許容時間を更新するためのユーザの評価をアンケートで得ていたところを自動化することで、負担の軽減を図る。

3.2 開発する手法の基本方針

最終的な目標としては、本研究で提案する手法でユーザ評価を推定し、その推定評価を用いて峰らの手法で遠回り許容時間を更新し、モデルの改善を行えるシステムを目指す。なお、各経路要因への評価の初期値は、峰らの考案したユーザ情報(年齢や性別、外出頻度など)から遠回り許容時間を予測するモデルを用いて設定する。このナビゲーションシステムを利用して歩行を繰り返していくことで、よりユーザに適した経路が提案できるようモデルが改善されユーザは何の負担も感じることなく自身の嗜好が反映された経路提案を受けることができるようになる。

3.3 本研究の方針

本研究では、歩行実験を行うことで歩行履歴(歩行速度や歩行挙動)と、ユーザの経路要因への評価(階段などの経路要因が存在する道の通過を希望するか、可能か、あるいは回避を希望するか)を取得する。歩行ごとのユーザ評価の変化も分析するため、歩行は複数回行いデータを集める。実験後、歩行ごとの評価の変化と歩行速度や歩行挙動との関係性を分析する。歩行ごとに評価がどう変化するのか、経路要因ごとに変化に特徴はないか、歩行速度と評価に相関はないかなど、実験結果を比較し分析を行う。それをもとに、ユーザ評価推定手法を検討し、その有用性を評価する。

4. 歩行実験と結果分析

4.1 実験概要

歩行実験は2023年の12月1日から12月26日の間で実施した。流山市シルバー人材センターに協力をお願いし、高齢者10名に参加していただいた。本実験計画は、筑波大学システム情報系倫理審査委員会による審査を受け、承認され

た(審査承認番号 2022R689-1)。また、実験所要時間は3時間で、実験参加者には謝礼を支払った。

参加した高齢者は68歳~78歳の男女各5名で、平均年齢は72.4歳、標準偏差は2.69である。峰らの研究[4]を参考に、本実験では1人当たり2日間行い、1日3経路ずつの計6経路の歩行履歴を取得した。

この歩行実験により歩行速度や歩行挙動といった歩行履歴とユーザの経路要因への評価を取得し、得られたデータの分析を行い、分析結果をもとにユーザ評価の推定手法を検討する。

4.2 実験の流れ

歩行実験は、図3のような流れで行う。



図3. 歩行実験2日間の流れ

図3の各項目について詳細を説明する。

- ① 歩行前アンケート:「年齢」「性別」「日常の外出頻度」「休憩を希望する間隔」と各経路要因への事前評価を回答してもらい。「日常の外出頻度」は1週間のうち何日外出するか0~7を選択できるようにし、また、「休憩を希望する間隔」は0分~60分の5分刻みから選択できるようにした。60分以上の場合は、それ以上という選択肢を選択できるようにした。各経路要因への評価は5段階で評価してもらい、1が「通りたくない」で5が「通りたい」となるようにした。
- ② 歩行:スマートフォンのグーグルマップで実験地域の地図を表示し、地図では出発地、目的地、最短経路、現在地を表示する。歩行者には地図を見て自分の位置などを確認しながら、目的地に向かって好みの経路を自由に歩行してもらい、歩行中は、歩行者の様子を経路の状況を含めて後方からビデオで撮影する。
- ③ 歩行後アンケート:目的地まで歩行後、各経路要因に対する評価(歩行前アンケートの各経路要因への評価と同じ指標)を尋ねるアンケートを行う。その際、歩行中に撮影したビデオを見返して、回答の参考にしてもらう。その他、感想や気になったことを自由記述で回答してもらう。アンケートは必ず、公園のベンチなど座れる場所で行い、アンケート完了後も十分に休憩をとってから次の歩行に進む。

4.3 実験場所と経路要因

坂道が非常に多く、大通りや細い道も多くあり様々な情報が取れると考え流山セントラルパーク駅周辺の3経路と、平坦な地域だが公園や学校、川、線路沿いなど多くの経路要因が存在することから南流山駅周辺の3経路を実験経路とした。

また、今回の実験で評価してもらった経路要因は、峰らの研究を参考に図4の12項目とした。峰らの研究では、「階段」と「坂道」の項目が1つの経路要因になっていたが、この2つでは評価が異なる可能性があると考え、分けることにした。

- | | |
|----------------|-----------------|
| 1. 階段のある道 | 7. 交差点で信号がある道 |
| 2. 上り坂、下り坂が続く道 | 8. 公園の周りを通る道 |
| 3. 人通りの多い道 | 9. 学校の周りを通る道 |
| 4. 狭くて見通しが悪い道 | 10. 神社の近くを通る道 |
| 5. 歩行者専用歩道がある道 | 11. 水辺の近くを通る道 |
| 6. ガードレールがある道 | 12. コンビニが途中である道 |

図4. 評価を得る経路要因一覧

4.4 実験結果の分析

ユーザ評価の自動推定手法を検討するため、ユーザの経路要因への評価の変化と歩行履歴との関係を比較し、分析する。まず、各参加者の歩行ごとの評価を確認し、評価の変化における特徴を確認する。次に、経路要因ごとに参加者の評価と歩行速度を比較しそれらの関係を確認する。停止回数についても、同じように評価との関係を経路要因ごとに確認する。

4.4.1 各経路要因へのユーザ評価の変化

実験で得られた評価について一部の参加者の結果を表1と表2に示す。なお、実際に通った道に存在した経路要因には丸印を付けている。また、視覚的に評価の変化がわかりやすいように評価1~5に対してそれぞれセルに色を付けた。

参加者の評価の変化を見てみると、参加者 E は評価の変化が頻繁に起こっている一方で、参加者 I は評価がほとんど変わっていない。他の参加者においても、変化がよく起きる人とほとんど起きない人の両方が存在した。評価が頻繁に変動した歩行者グループとあまり変動しなかった歩行者グループで属性(年齢、性別、日常の外出頻度、休憩を希望する間隔)や歩行後アンケートの感想を比較したものの、同一となる属性は見受けられず関連性がなく、それぞれのアンケートにも特徴的なものは存在しなかった。評価が頻繁に変動する人とならない人の違いについて、影響を与える具体的な要因を特定するためには、もっと多くのデータが必要であると考えられる。

歩行者が評価をする際に、実際に歩いた経路から受ける影響の大きさには個人差があると考えられ、評価を自動推定する手法ではこれを考慮する必要がある。具体的には、評価を予測する際に歩行前の評価も情報として取り入れ、歩行前の

表1. 参加者 E の評価結果

E	歩行前	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目
階段のある道	1	1	○3	○3	1	1	1
上り坂下り坂が続く道	3	○3	○3	○3	3	○3	3
人通りの多い道	1	○1	2	○2	○1	1	1
歩行者専用歩道がある道	5	○5	○5	○5	○5	○4	○4
交差点で信号がある道	3	○3	3	○3	○4	○4	○4
ガードレールがある道	4	○4	4	○4	○4	○4	○4
公園の周りを通る道	5	5	○5	5	4	5	○4
水辺の近くを通る道	5	5	5	5	○4	5	○5
狭くて見通しが悪い道	2	○2	2	○2	○1	1	○2
コンビニが途中である道	3	3	3	3	○4	3	3
学校の周りを通る道	3	3	3	3	3	○3	○3
神社の周りを通る道	4	4	○4	4	4	4	4

表2. 参加者 I の評価結果

I	歩行前	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目
階段のある道	3	3	○3	○3	3	3	3
上り坂下り坂が続く道	3	○3	○3	○3	3	○3	3
人通りの多い道	2	○2	2	○2	○3	3	2
歩行者専用歩道がある道	5	○5	○5	○5	○5	○5	○5
交差点で信号がある道	3	○3	3	○3	○3	○3	3
ガードレールがある道	5	○5	5	○5	○5	○5	○5
公園の周りを通る道	5	5	○5	5	5	5	○5
水辺の近くを通る道	5	5	5	5	○5	5	○5
狭くて見通しが悪い道	2	○2	2	2	○2	2	3
コンビニが途中である道	3	3	3	3	3	3	3
学校の周りを通る道	3	3	3	3	3	○5	3
神社の周りを通る道	4	4	○4	4	4	3	3

評価が予測に影響する割合を増減させることで、この個人差に対応できるかもしれない。

評価に変化が起こっている箇所注目すると、ほとんどに○がついていることがわかる。逆に、○が付いていないのに評価が変わっている箇所は少ない。よって、実際に通った道にその経路要因があれば評価が変わる可能性があり、実際に通った道にその経路要因がなければ評価は変わらないと考えられる。歩行履歴から評価を予測する際には、実際に通った道にあった経路要因について評価を予測し、通った道になかった経路要因については前回の評価を引き継ぐだけでよいと考えられる。

また、本研究では、先行研究とは違い「階段のある道」と「上り坂下り坂が続く道」に経路要因を分けた。実験の結果では、参加者 A,D,E,F,H,J と半数以上の6名が2つの経路要因に対して異なる評価をしている箇所があった。よって、この2つの経路条件は分ける必要があると考えられる。

4.4.2 ユーザ評価と歩行速度の関係

参加者の評価と歩行速度に関係はないか、経路要因ごとに比較を行う。今回の実験で全員が同じ道を通り、データを得ることができた歩行2回目の「階段のある道」、歩行5回目の「学校の周りを通る道」、歩行4回目の「水辺の近くを通る道(a)」、歩行6回目の「水辺の近くを通る道(b)」を対象に、参加者全員の歩行前後の経路要因への評価と歩行速度を調べ、評価や歩行速度がどのように変化しているか確認した。表3にその結果を示す。

速度比は「対象要因を含む経路の歩行速度」と「対象要因を含まない経路の速度」の商により求めた。例えば、学校の

表 3. 各歩行者の4経路での速度比と前後評価

階段のある道			学校の周りを通る道				
	歩行前	歩行後	速度比		歩行前	歩行後	速度比
A	3	3	0.412	A	3	4	0.810
B	3	3	0.431	B	3	3	0.966
C	3	2	0.460	C	5	5	0.941
D	4	1	0.399	D	3	4	0.978
E	1	3	0.369	E	3	3	0.906
F	3	4	0.475	F	2	3	0.899
G	3	3	0.446	G	3	4	0.851
H	3	1	0.527	H	5	5	0.818
I	3	3	0.446	I	3	5	0.786
J	3	1	0.468	J	3	3	0.922
水辺の近くを通る道(a)			水辺の近くを通る道(b)				
	歩行前	歩行後	速度比		歩行前	歩行後	速度比
A	4	3	0.791	A	3	4	0.570
B	5	5	0.680	B	5	5	0.977
C	5	5	0.902	C	5	5	0.781
D	5	4	0.676	D	4	4	0.576
E	5	4	0.782	E	5	5	0.998
F	5	5	0.840	F	5	5	0.620
G	5	5	1.036	G	5	5	0.959
H	5	5	0.922	H	5	5	0.838
I	5	5	0.818	I	5	5	0.870
J	3	5	0.717	J	5	5	0.528

周りを通る道では、「学校の周りを通る道を経路要因に含む道の歩行速度」÷「学校の周りを通る道を経路要因に含まない道の歩行速度」となる。つまり、速度比が1より大きいときは、その経路要因があると普段より歩行速度が上がり、速度比が1より小さくなると、その経路要因があると普段より歩行速度が下がるということになる。

表 3 の学校の周りを通る道の結果を見てみると、評価が高い参加者ほど速度比が小さくなり、評価が 3 で普通だった参加者はあまり速度比が小さくなっていない。経路要因への評価と歩行速度との関係をより深く調べるため、4つの経路について歩行後の評価と速度比の相関を分析した。その結果を表 4に示す。

表 4. 各経路の歩行後の評価と速度比との相関

	相関係数	tの値	p値
階段のある道	-0.26334	-0.77211	0.462249
学校の周りを通る道	-0.48778	-1.58043	0.152663
水辺の近くを通る道(a)	0.313628	0.93421	0.377532
水辺の近くを通る道(b)	0.569662	1.960442	0.085599

どの経路においても、p 値が有意水準 0.05 より大きく、有意差は認められなかった。しかし、今回は実験参加者が 10 名とサンプルサイズとしては少なく、正確な分析ができていない可能性がある。

学校の周りを通る道について、歩行中の様子をビデオで見返してみると、歩行速度の下がっている参加者は校庭で体育をしている生徒たちや作業している生徒たちを眺めていた。また、歩行後アンケートの自由記述の欄でも「体育をしている子供たちが可愛くて癒された」という回答があり、評価も高かった。よって、学校の周りを通る道においては、歩行速度の低下と評価には少なからず関係があると言える。

4.4.3 ユーザ評価と停止回数との関係

4 つの経路において、停止した回数についても調べたとこ

ろ、階段のある道においては、停止した参加者はいなかった。学校の周りを通る道と水辺の近くを通る道(a), (b)においては、それぞれ数名の参加者が停止していた。停止した理由は、学校の周りを通る道については校庭で体育をしている生徒たちや作業している生徒たちを眺めていたからであり、水辺の近くを通る道(a), (b)については泳いでいる鳥などの生き物を眺めたり景色を眺めたりしていたからであると、撮影したビデオから判明した。

どの経路においても停止した参加者は全員 4 以上の高い評価をしており、歩行中に停止があった場合は、歩行者のその経路上の要因への評価は高評価になる可能性が高いと言える。また、学校の周りを通る道において、I は 2 回停止した結果評価が 5 になっている一方、A は 3 回停止したが評価は 4 だった。よって、停止した回数が多いほど評価が高いというわけではなかった。したがって、停止回数については、何回停止したかという「回数」よりも、停止回数が 0 回か 1 回以上かの停止の「有無」が情報として有用な可能性がある。

評価と停止回数には関係がある可能性が示され、評価推定の際の情報として役に立つかもしれないと考えたが、今回の実験では得られたデータの量が少なく正確な分析ができていない可能性があるため、停止回数の情報は評価推定手法には組み込まないこととした。

5. ユーザ評価自動推定手法の検討

ここでは、分析結果から作成した 2 つのユーザ評価の自動推定手法について述べる。また、この手法を実験で得られたデータに適用し、考察を述べる。4.4.3 節で述べたように、停止回数の情報は用いず、歩行速度の情報のみから評価を予測する手法を検討した。

5.1 提案手法①

5.1.1 提案手法①の詳細

学校の周りを通る道の分析結果から、歩行速度が下がるほど評価は上がるという特徴が見えた。また、4.4.1 節より、歩行者が評価をする際に実際に歩いた経路から受ける影響の大きさには個人差があると考えられるため、歩行前の評価をどれだけ引き継ぐか調整する必要がある。

そこで、速度比を評価値に変換して仮評価値とし、それを

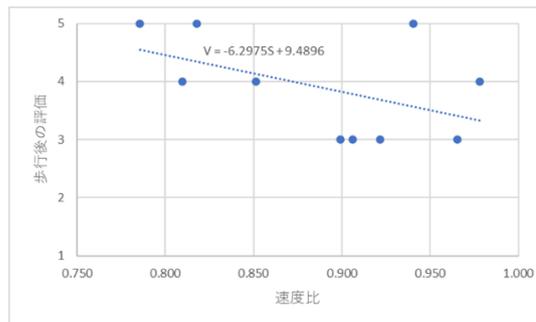


図 5. 学校を通る道の歩行後の評価と速度比の散布図

歩行前の評価値と一定の割合で足し合わせることで歩行後の評価値を予測する手法を検討する。

速度比を仮評価値に変換するために、歩行後の評価と速度比で散布図を作成し(図 5), そこから近似式を求めた。得られた近似式は以下ようになる。

$$V = -6.2975S + 9.4896 \quad (1)$$

式 1 の各文字の値は次の通りである。

V 速度比から算出される仮評価(1~5 の実数値)

S 速度比

この仮評価Vと歩行前の評価を一定の割合で足し合わせることができ、またその割合を調整できるように以下の式を考案した。

$$V' = \frac{(\alpha - 1)V_0 + V}{\alpha} \quad (2)$$

式 2 の各文字の値は次の通りである。

V' 歩行後の予測評価(1~5 の実数値)

V 速度比から算出される仮評価(1~5 の実数値)

V₀ 歩行前の評価(1~5 の実数値)

α 定数(1 以上の実数値)

この予測手法では、近似式により速度比から求めた仮評価Vと歩行前の評価V₀を一定の割合で足し合わせることで歩行後の評価を予測している。定数αの値を調整することで、仮評価と歩行前の評価の影響度合いを変化させることができる。例えば、αの値を2にすると、1対1の割合で評価を足し合わせることになる。αの値を増やすほど、歩行前の評価の割合が増える。αの値が最小の1の時、予測評価は仮評価が100%の割合の値となる。また、1回の歩行で階段の要因がある道を2か所通ったなど、同じ要因を持つ道を複数回通った場合は、それぞれの道で予測評価を求め、平均した値をその歩行における経路要因の予測評価とする。

5.1.2 定数αと提案手法①の予測評価との関係性

学校の周りを通る道において、提案手法①を適用し、αの値を変化させ予測評価との関係性を調べた。歩行前の評価と仮評価を足し合わせる割合が(0:1, 1:5, 1:4, 1:3, 1:2, 1:1, 2:1, 3:1, 4:1, 5:1)になるようにαの値を(1, 6/5, 5/4, 4/3, 3/2, 2, 3, 4, 5, 6)として手法を適用し、得られた予測評価と実際の歩行後のユーザ評価との差分を図6に示す。

B, C, E, H, Jは歩行前後で評価に変化が無かった参加者である。αの値が大きくなるほど歩行前の評価の影響が大きくなるため、誤差が小さくなっていったと考えられる。この参加者たちの最適なαの値は無限大になってしまう。ただ、αが4の時点でB, E, H, Jは誤差が0.2以下に、Cに関しても0.4程度に抑えられていることから、ある程度の誤差(例えば0.5以下)になったらそれを最適なαの値としてよいかもしれない。

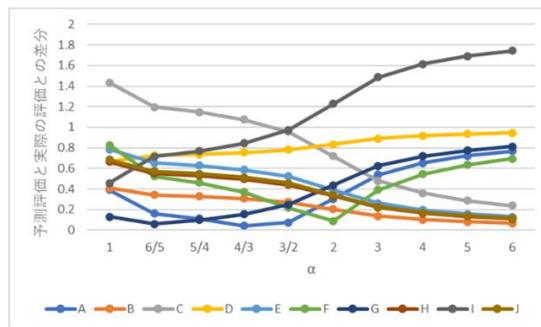


図 6. 学校を通る道における手法①適用時の評価の差分

A, F, G の 3 名は α が 1~6 の範囲で最適な α の値が存在し、A は α = 4/3 の時、F は α = 2 の時、G は α = 6/5 の時に誤差が最も小さくなった。

D, I に関しては、α の値が大きくなるほど誤差も大きくなるという結果になった。この場合、最適な α の値は最小値の 1 となるが、それでも I は 0.4~0.5 程度、D は 0.6~0.7 程度誤差がある。α が 1 の時は、予測評価は仮評価が 100% の割合となるので、仮評価の精度を上げることで誤差を減らすことができると考えられる。仮評価の精度の改善には、より多くのデータを集めて近似式を更新していく必要がある。

5.2 提案手法②

5.2.1 提案手法②の詳細

提案手法①では、速度比を仮評価値に変換し歩行前の評価と足し合わせることで予測していたが、提案手法②では速度比を直接、歩行前の評価にかけ合わせることで歩行後の評価を予測する方法を採用する。

以下に示す式が、2 つ目のユーザ評価の自動推定手法である。

$$V' = V_0 \times \alpha \left(\frac{1}{S}\right) \quad (3)$$

式 3 の各文字の値は次の通りである。

V' 歩行後の予測評価(1~5 の実数値)

V₀ 歩行前の評価(1~5 の実数値)

S 速度比

α 定数(正の実数値)

この予測手法では、速度比の逆数を歩行前の評価に乗算することで歩行後の評価を予測している。逆数にすることで、速度比が小さくなる、つまり歩行速度が落ちるほど歩行前の評価より評価が高くなる。定数αの値を調整することで、速度比が歩行前の評価に与える影響を変化させることができる。

5.2.2 提案手法②における最適なαの決定

手法②では、今回の実験で2経路データを取得できた水辺の近くを通る道に適用し、個人ごとに最適なαの決定を試みる。手法②の適用結果が図7,8である。

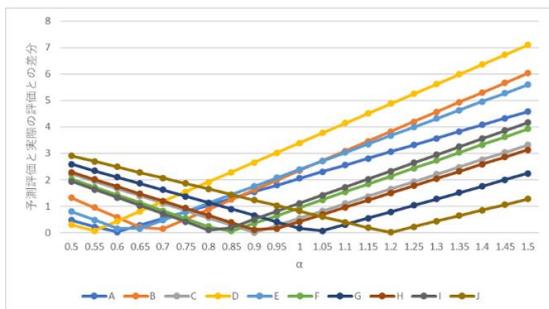


図 7. 水辺の近くを通る道(a)における手法②適用時の評価の差分

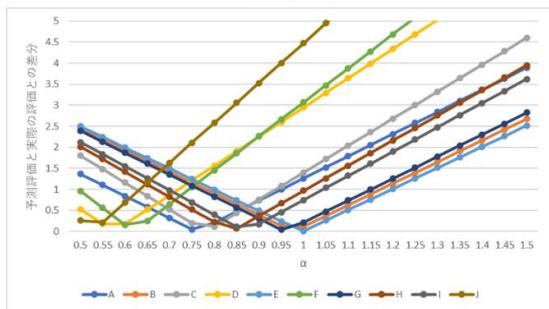


図 8. 水辺の近くを通る道(b)における手法②適用時の評価の差分

水辺の近くを通る道(a),(b)の誤差を個人ごとに見ていくと、D は 0.55 付近、H は 0.85~0.90 付近、I は 0.80~0.85 付近のように、最適な α の値がかなり近い人が存在している。彼らは、水辺の近くを通る道においてはこの付近の α が最適な値と言える。ただ、J のように(a)と(b)で最適な α の値がかなり離れている人もいる。そこで、2 経路の合計誤差が最も小さい値をその経路要因における最適な α とする。各参加者の α ごとの誤差の合計と、各参加者の誤差が最も小さくなった α を図 9 に示す。

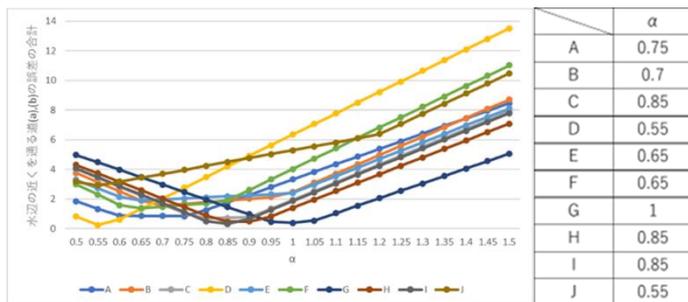


図 9. 水辺の近くを通る道(a)(b)の各参加者の α ごとの誤差の合計と合計誤差が最小になった α

図 9 の誤差が最も小さくなった α を参加者それぞれの水辺の近くを通る道における最適な α の値として(a),(b)に適用した結果が表 5 になる。

C, D, G, H, I に関しては、どちらの道も誤差が 0.5 より小さくなっており、うまく予測できていると言える。ほかの参加者は、片方の道ではうまく予測できたもののもう片方の道の予測が大きく外れてしまっていた。J の(a)に関しては、実際の評価が 5

表 5. 各参加者の最適な α を用いて手法②を適用した結果

	(a)			(b)		
	歩行後評価	予測評価	差分の絶対値	歩行後評価	予測評価	差分の絶対値
A	3	3.7914	0.7914	4	3.9468	0.0532
B	5	5.1498	0.1498	5	3.5819	1.4181
C	5	4.7143	0.2857	5	5.4414	0.4414
D	4	4.0699	0.0699	4	3.8225	0.1775
E	4	4.1576	0.1576	5	3.2568	1.7432
F	5	3.8674	1.1326	5	5.2451	0.2451
G	5	4.8277	0.1723	5	5.2143	0.2143
H	5	4.6115	0.3885	5	5.0727	0.0727
I	5	5.1963	0.1963	5	4.8868	0.1132
J	5	2.3001	2.6999	5	5.2112	0.2112

だったのに対し予測評価は 2.3 と、とても予測できているとは言えない。両方の道の誤差を少なくするために、もっと多くの水辺の近くを通る道の歩行データを集め、最適な α の値を更新したり、手法②の評価予測式(3)自体を修正したりしていく必要がある。

6. まとめと考察

6.1 本研究のまとめ

本研究では、高齢者を対象とした個人の嗜好を反映した経路推薦モデルにおいてユーザの経路要因に対する評価を自動で推定する手法を検討すること目的とし、歩行実験を行ってユーザの評価と歩行履歴、特に歩行速度との関係性を分析した。分析結果から 2 つの推定手法を提案し、歩行実験で得られたデータに適用し予測評価と実際の評価との誤差を調べた。

歩行実験では、10 名の協力者にいくつかの目的地に向かって自由に歩行をしてもらい、歩行速度や停止した回数などの歩行中のデータと、峰の研究における経路改善手法で用いられた歩行ごとの各経路要因への評価を取得した。

実験で得られたユーザ評価について分析したところ、歩行ごとの評価の変化には個人差があることが確認された。また、学校の周りを通る道の分析から、ユーザの歩行速度と歩行後の評価の間には、有意差はなかったものの、相関があることが確認できた。歩行中の停止回数についても、経路評価との関係がある可能性が確認できた。

実験結果の分析をもとに 2 つの評価推定手法を考案し、実験で得られたデータに適用した。2 つの提案手法のどちらにおいても、 α を調整することで一部の参加者の評価をうまく予測できることが確認できた。一方で、 α を調整してもあまり予測精度が上がらない参加者も存在した。

本研究により、歩行速度の情報を用いてユーザ評価を行うことができる可能性が示された。また、課題やさらなる発展の可能性を見出すことができた。

6.2 提案手法の考察

提案手法①では、 α の値を適切に調整することで、一部の参加者の評価をうまく予測できることが確認できた。一方で、

α の値を調整してもあまり精度が上がらない参加者も存在した。これは、 α の調整では対応しきれないほど、速度比から求められる仮評価の精度が悪いと言える。また、提案手法②では、半数の参加者は 2 つの水辺の近くを通る道それぞれで誤差 0.5 未満に抑えられ、うまく予測できていた。一方で、片方の道ではうまく予測できたもののもう片方の道の予測が大きく外れてしまっていた参加者もいた。

提案手法①の仮評価を求める式と提案手法②の評価予測式どちらにおいても、予測が大きく外れた原因は、歩行速度が小さくなるほど予測評価が高くなるという反比例の計算式にしたことである。多くの参加者にはこれが適用できたが、歩行速度が下がらなかったのに評価が高かった参加者には適用できない。歩行速度が下がらなかった原因としては、同じ経路要因を持つ道でも景色の良さに差があり人によって興味を持つか持たないか異なったり、交通量が多く留まらなかったりした可能性がある。また水辺を通る道 2 経路は同じ日にデータをとっており、1 回目の水辺を通る道で景色などを見て満足し、2 回目の水辺を通る道は特にとどまらず通過してしまったことも原因となった可能性がある。これらのような場合にも対応するため、同じ経路要因でも、景色の良さや交通量の情報を追加して歩行速度が変化しやすいかで分類したり、似たような経路要因を短い間隔で連続して通った場合の評価について、新しく予測の手法を検討したりする必要があるかもしれない。

以下に今後の課題を述べる。

本研究の歩行実験参加者は 10 名と少なく、あまり詳細な分析を行えなかった。もっと多くのデータを得ることができれば、ユーザ評価と歩行速度との間の特徴が新たに見えてきたり、仮評価を算出する近似式の改善や歩行中の他の情報の追加により予測式の精度をより高くしたりできるかもしれない。単純に参加人数を増やして実験を行うか、一人当たりのデータ取得回数を増やし、より多くのデータを集める必要がある。

そして、本研究では歩行中の停止回数情報を予測に取り入れることができなかった。こちらもデータの少なさが関係しているが、ユーザ評価と停止回数には関係性があると考えられるため、予測精度の向上のためにもこの要素を取り入れた推定手法も併せて検討すべきである。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP20K12074, JP23K11330 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 内閣府 令和 5 年版高齢社会白書(全体版)(PDF 版)
https://www8.cao.go.jp/kourei/whitepaper/w-2023/zenbun/05pdf_index.html

(最終閲覧日 2024 年 02 月 27 日)

- [2] 内閣府 令和4年 高齢者の健康に関する調査結果(全体版)
https://www8.cao.go.jp/kourei/ishiki/r04/zentai/pdf_index.html
(最終閲覧日 2024 年 02 月 27 日)
- [3] 総務省 令和 4 年通信利用動向調査の結果
https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/statistics/data/230529_1.pdf
(最終閲覧日 2024 年 02 月 27 日)
- [4] 峰,古川:歩行履歴を活用し個人属性への適応性を高めた高齢者向け経路探索手法の検討,情報処理学会第 82 回全国大会, 2020(1), pp.365-366 (2020).
- [5] 松田,杉山,土井:歩行者の経路への嗜好を反映した経路生成,電子情報通信学会論文誌 A, vol.J87-A(No.1), pp.132-139 (2004).
- [6] 松本,櫻木,東,伊藤:街路の魅力と歩行速度の関係,日本建築学会計画系論文集, 77(678), pp.1831-1836 (2012).
- [7] 長谷部,徐,小林,西出:都市公園における散策歩行実験による研究(その 1):歩行速度と空間特性との関係,日本建築学会計画系論文集, 87(799), pp.1677-1687 (2022).

著者紹介

小須田 侑暉(学生会員)



2024 年筑波大学情報学群情報科学類卒業, 学士(情報工学). 2024 年同大大学院修士課程在学中. 現在はハイブリッド画像を用いた, モバイル端末のログイン認証におけるセキュリティの強化手法に

関する研究に従事。

古川 宏(正会員)



1990 年東北大学工学部原子核工学科卒業. 1995 年東北大学大学院工学研究科博士課程修了, 博士(工学). 1996 年日本原子力研究所博士研究員原子炉安全工学部人的因子研究室. 1998 年筑波大学電子情報工学系講師を経て, 現在, システム情報系准教授に至る. ヒューマンマシンインタラクション, 認知的インタフェース, 空間認知とナビゲーション支援. メンタルモデルの獲得に関する研究に従事. 2003 年アメリカカンソリック大学認知科学研究室客員研究員. 2016~2022 特定非営利活動法人モバイル学会理事長および学会長.