

交通機関利用における接触を回避するための経路推薦手法の検討

田谷 瑛悟[†] 松田 裕貴[‡] 諏訪 博彦[‡] 安本 慶一[‡]
Eigo Taya Yuki Matsuda Hirohiko Suwa Keiichi Yasumoto

1. はじめに

現代社会において、公共交通機関は人々の生活を支える移動手段としての役割を果たしており、公共交通機関の維持は社会的な課題となっている [1]. 公共交通機関を維持するためにはユーザの満足度を向上させ、交通機関の利用を促進する必要がある [2]. ここでの満足度とは、交通機関利用前後におけるユーザのサービスに対する総合的な経験と定義されており、車内の清潔さや安全性、料金、定時運行性など、様々な要素から構成される。満足度向上のためには、清掃方法見直しによる車内の清潔さの向上やタイヤの見直しによる定時運行性の向上などのアプローチが考えられる。アプローチの1つとして、交通機関利用に必要な経路情報を十分に提供することが挙げられる [3]. 経路情報が不足すると、ユーザは目的地に移動するための適切な移動手段か判断できずに不安を抱き、利用を諦める場合がある。そのため、ユーザに対して適切な交通経路を推薦し、交通機関利用の不安を取り除く必要がある。

2019年11月に中国の武漢市で確認された新型コロナウイルスはその後爆発的に感染拡大し、2020年7月時点で人間社会に対して経済的・衛生的・社会的に深刻な問題を引き起こしている [4]. これを受け、世界中の人々が日常生活において他人と2m以上の物理的な距離を取る「ソーシャルディスタンス」を実施し、感染拡大防止に努めている。しかし、電車やバスのような、大勢の人が1つの車両に乗り降りする公共交通機関を利用する場合、乗客同士の物理的な距離を保つことは難しく、感染リスクがある。このような状況下において、ユーザは交通機関の利用に不安を抱き、利用を取りやめる可能性がある。今後も新型コロナウイルスによる影響が継続すると見込まれ、交通機関のユーザ減少を防ぐための解決策を模索することが急務となっている。我々は、その解決策の1つとして交通経路推薦が有効だと考える。感染のリスクは、他人と一定の物理的な距離を確保できない状態が15分程度継続することで高まる。そのため、他人と接触回数を減らせるような交通経路が分かり、その経路を利用して移動すれば感染リスクを抑えられる。これを実現

するために、接触回数を抑えながらできるだけ遅延や徒歩移動などの追加コストを少なくする経路推薦が必要である。

これまでに様々な交通経路推薦法が提案されており、各ユーザに対してパーソナライズした経路を推薦する研究 [5, 6, 7] や、車両の混雑度を基に経路を推薦する研究などが存在する [8, 9]. しかし、現在のコロナウイルス禍の状況下においては、交通機関を利用しても感染リスクの低い、安心な経路推薦が必要となるが、そのような経路推薦に関する研究は著者らの知る限り存在しない。

本研究では、遅延や徒歩移動などの追加コストを抑えつつユーザが接触を回避するための経路推薦手法を提案する。我々は交通機関利用時に感じる心理状態に着目する。ユーザは交通機関を利用して移動したとき、他人との接触が多いと感染の恐れから不安に感じると考える。そこで、移動に伴う他人との接触度合い（接触回数と時間）から安心度合いを定式化し、他人との接触回数を回避する経路を推薦する。推薦する経路は、接触を回避するために追加の乗り換えを含むため、一般的な経路推薦（たとえば最も早く目的地に到達できる）と比べて追加コスト（たとえば、遅延や徒歩移動）が生じる。追加コストが大きいと、ユーザは交通機関の利用を不快に感じると考える。そのため、本研究では、安心度合いに加えこの追加コストを快適度合いとして定式化し、安心度合いと快適度合いを考慮した経路推薦を行う。これにより、ユーザに対して最も安心・快適な経路を表示し、ユーザ数の減少を防ぐことを可能とする。

以降の章構成は以下の通りである。2. 章では、提案手法に関連した既存研究および既存研究の課題について述べる。3. 章では、提案システムの実現に向けた問題設定と満たすべき要件を示す。最後に、4. 章で本稿についてまとめる。

2. 関連研究

これまでに様々な交通経路推薦システムが提案されている。Verma らは、ユーザが持つスマートフォンのGPS情報とユーザの検索クエリに基づいて各ユーザに快適な交通経路を推薦している [5]. Liu らは、より個人に適した経路を推薦するために、天候や地理などの都市特有のデータとユーザの検索クエリを組み合わせることで各ユーザに快適な交通経路を推薦している [6]. Wang らは、各ユーザにパーソナライズした経路推薦に用いられ

[†] 奈良先端科学技術大学院大学,
Nara Institute of Science and Technology

[‡] 理化学研究所 革新知能統合研究センター (AIP),
RIKEN, Center for Advanced Intelligence Project (AIP)

る「A*アルゴリズム」のコスト関数にニューラルネットワークを組み込むことで、大きく学習精度を向上させた [7]. Bajaj らは、車両の混雑度や遅延を用いて交通の不便さをモデル化し、ユーザの過去の検索クエリに基づいて経路を推薦している [8]. Handte らは、カーナビゲーションから着想を得て、「正しい車両に乗車しているか」、「降車までの時間はどれくらいか」といった、個々のユーザの動的なコンテキストに合わせた交通経路を推薦するシステムを提案している [9]. また、システムでは各車両の混雑度を取得し、より混雑していない経路を推薦できる. 著者らはアンケートによってシステムの有用性を評価した結果、システムの利用により、交通機関利用の意欲が向上したことを確認している.

以上の研究では、過去に収集した検索クエリなどを用いてユーザの嗜好に適した経路推薦手法や、混雑を避けた交通経路を推薦するシステムが提案されている. しかしながら、現在の新型コロナウイルス禍では交通機関を利用する際に、感染リスクの低い、安心な経路推薦が必要となるが、そのような経路推薦に関する研究は著者らの知る限り提案されていない. 本研究では、この課題に取り組む.

3. 問題設定

3.1 想定環境

本章では、本研究の想定環境について説明する. 国土交通省の調査によると、交通機関の利用は通学や通勤などの日常的な利用と、食事や観光などの非日常的な利用に大別される [10]. そこで本稿では、日常的な利用から (1) 通勤者、非日常的な利用から (2) 観光客、(3) 経路が複数候補ある観光客をペルソナとして設定し、提案システムのユースケースを検討する.

3.2 ユースケース 1 : 通勤者

通勤者のペルソナを表 1 に示す. このペルソナにおいては、会社から自宅へ電車を利用して通勤移動するシナリオを想定する. 鈴木太郎は、奈良県奈良市に住む、妻子持ちの 35 歳の男性である. 彼は毎日、自宅から会社まで電車を利用して通勤している. また、非常に几帳面な性格であるため、帰宅前には必ず自宅への到着時刻を調べ、奥さんにおおまかな帰宅時刻を連絡する. 鈴木は他人との接触を回避しつつ、できるだけ早く移動したいと考えているが、どのように移動すれば接触を抑えられるか分かっていない.

鈴木は、図 1 の移動経路で自宅に移動する. 図において灰色の円・楕円は電車が通過する駅を示し、白色の円は徒歩移動による出発地点、あるいは到着地点を示している. 鈴木は、会社から鶴橋駅まで徒歩で移動し、電車に乗車して大和西大寺駅へ移動した後、自宅まで徒歩で

表 1: 通勤者のペルソナ

属性	説明
名前	鈴木 太郎
性別	男性
年齢	35 歳
目的	会社から帰宅する
性格	几帳面
住まい	奈良県奈良市

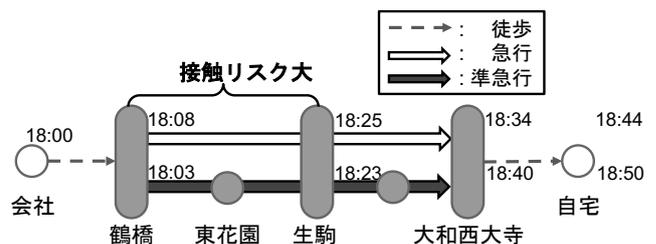


図 1: 通勤者の移動経路

移動する. 図 1 に示すように、急行に乗車すれば鶴橋駅から大和西大寺駅まで乗り換えることなく移動できる. しかし、鈴木が帰宅する時間帯において、急行での鶴橋駅-生駒駅間の車内は非常に混雑しており、他人との接触リスクが大きい. また、生駒駅で多くの人が降車するため、生駒駅-大和西大寺駅間の車内は閑散とし、他人との接触リスクは小さい. 一方で、準急行は急行と比べて移動時間を要するが、鶴橋駅-生駒駅間は混雑しておらず、接触リスクを抑えて移動できる.

ここで、鈴木が会社から自宅に移動するときに、どの経路を選択可能か考える. 接触を最小限に抑えるのであれば、鶴橋駅から大和西大寺駅まで準急行の電車で移動する経路が考えられる. しかし、移動区間の生駒駅-大和西大寺駅間においては、急行と準急行の接触リスクはほとんど同じで、急行の方が早く大和西大寺駅に到達できる. そのため、鶴橋駅-生駒駅を準急行で移動し、生駒駅-大和西大寺駅を急行で移動すれば、接触を回避しつつ、目的地に早く移動できる. 従って、システムは、目的地に移動するための経路の中から、接触リスクを最小化しつつ、できるだけ早く移動できる経路、すなわち鶴橋駅-生駒駅を準急行で移動し、生駒駅-大和西大寺駅を急行で移動する経路を推薦する.

3.3 ユースケース 2 : 観光客

観光客のペルソナを表 2 に示す. 本ペルソナにおいて、駅からバスを利用して観光地 (春日大社) に移動するシナリオを想定する. 田中晴子は、大阪府八尾市に住む 22

表 2: 観光客のペルソナ

属性	説明
名前	田中 晴子
性別	女性
年齢	22 歳
目的	友人と春日大社を観光する
性格	のんびり
住まい	大阪府八尾市

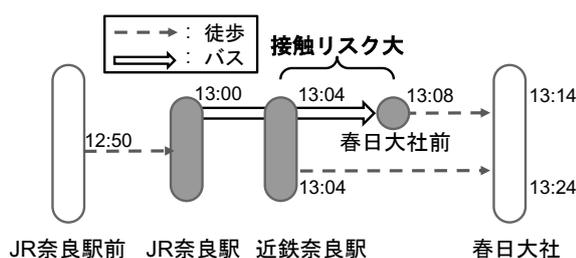


図 2: 観光客の移動経路

歳の女性であり、食事や観光のために友人と外出することを趣味としている。彼女は、のんびりした性格であるため、目的地に移動できれば、ある程度時間がかかっても良いと考えている。

田中は、図 2 の移動経路で観光地に移動する。図において灰色の円・楕円は、バスが通過する駅を示し、白色の円は徒歩移動による出発地点、あるいは到着地点を示している。田中は、電車で JR 奈良駅まで移動した後、バスに乗り換えて春日大社へ移動する。図 2 に示すように、JR 奈良駅から春日大社前までバスで移動すれば、目的地までの徒歩距離を抑えて移動できる。しかし、近鉄奈良駅から春日大社前は観光スポットが密集しているエリアであるため、車内は非常に混雑しており、他人との接触リスクが大きい。

ここで、田中が春日大社へ移動するとき、どの経路を選択可能か考える。JR 奈良駅から春日大社前までバスで移動すれば、徒歩の移動を最小限に抑え、楽に移動できる。しかし、近鉄奈良駅から春日大社前は混雑しており、乗車は避けるべきだと考える。システムは、事前に近鉄奈良駅から春日大社前が混雑していることを把握し、ユーザに徒歩移動を推薦する。

3.4 ユースケース 3: 経路が複数候補ある観光客

経路が複数候補ある観光客のペルソナを表 3 に示す。本ペルソナにおいて、駅からバスあるいは電車を利用して観光地（二条城）に移動するシナリオを想定する。本ユースケースのペルソナ井上健太は、京都府京都市に住

表 3: 経路が複数候補ある観光客のペルソナ

属性	説明
名前	井上 健太
性別	男性
年齢	40 歳
目的	1 人で二条城を観光する
性格	せっかち
住まい	京都府京都市

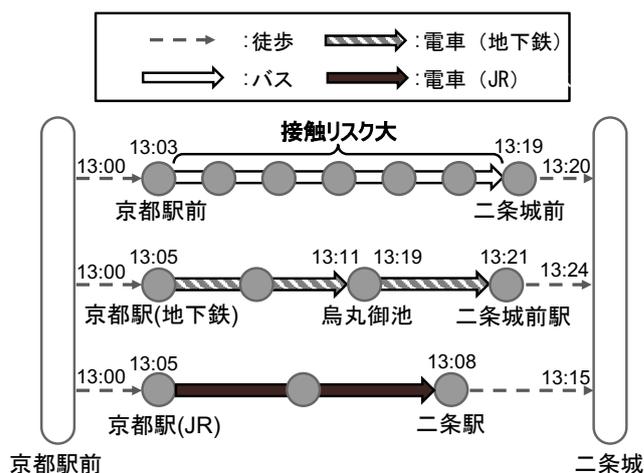


図 3: 経路候補が複数ある観光客の移動経路

む 40 歳の男性であり、日本史を趣味としているため定期的に歴史的建造物を観光しに出かける。彼は、せっかちな性格であるため、他人との接触はある程度抑えつつ、出来るだけ早く目的地に移動したいと考えている。しかし、京都駅から二条城へ移動できる移動手段は複数存在するため、井上がどの移動手段で移動すべきか判断することは困難である。

井上は、図 3 の移動経路で観光地に移動する。京都駅から二条城へ移動できる経路の候補は 3 つ存在する。1 つ目は、京都駅前から二条城前までバスを利用して移動する経路である。井上が移動する時間帯は、この区間を多くの観光客がバスを利用して移動するため、非常に車内が混雑し、接触のリスクが高い。2 つ目は、地下鉄の京都駅から二条城前駅まで電車で移動する経路である。この経路はバスの移動経路と比べて車内は混雑しておらず、接触リスクが低い。しかし、烏丸御池で電車乗り換える必要があるが、井上が移動する時間では接続が悪いため、二条城に到達する時間が最も遅い。3 つ目は、JR 京都駅から二条城前駅まで JR が運行する電車で移動する経路である。この経路は電車（地下鉄）の経路と比べて、接触リスクは同程度だが二条城に到着する時間は早い。

ここで、井上が二条城に移動するためにどの経路を選択すべきか考える。接触を最小限に抑えるのであれば、電車（地下鉄）か電車（JR）が経路の候補となる。しかし、それぞれの経路は、移動に伴う接触のリスクが同程度で、電車（JR）の方が目的地に到着する時間は早い。井上の性格を考慮すると、システムは接触リスクを少なくしつつ、早く移動できる経路、すなわち京都駅から二条城まで電車（JR）で移動する経路を推薦する。

3.5 システム要件と前提条件

本節で説明した各ペルソナシナリオに基づき、システムが満たすべき要件と、前提条件について説明する。システムは他人との接触を回避できる経路を推薦できる必要がある。しかし、推薦経路は接触を回避することにより、追加コスト（遅延と徒歩時間）が大きくなりすぎてはいけない。従って、システムは接触度合いと追加コストのトレードオフ関係を考慮し、交通経路を推薦する必要がある、

システムを利用するときは、ユーザが出発地、目的地、出発時刻（あるいは到着時刻）を入力することを前提とする。また、経路推薦に必要な交通経路情報（たとえば経路、時刻情報）は既知であることを前提とする。また、任意の時刻での各経路での他人との接触度合いは、スマートフォンアプリが取得する接触情報や各交通期間が提供する情報から継続的に取得可能であることを前提とする。

4. おわりに

本稿では、追加コストを抑えつつユーザが接触を回避するための経路推薦手法について検討した。提案手法によって、ユーザに対して最も安心・快適な経路を表示し、交通機関利用に対する不安を和らげ、ユーザ数の減少を防ぐことが可能になると考えられる。今後は、検討した要件に基づいて問題を定式化するとともにアルゴリズムを考案し、システムを構築する予定である。また、シミュレーションによる評価を実施し、提案手法の有効性を評価することを計画している。

参考文献

- [1] 国土交通省. 令和 2 年版 国土交通白書. <https://www.mlit.go.jp/hakusyo/mlit/r01/hakusho/r02/pdf/kokudo.pdf>. Accessed: 2020-07-07.
- [2] Dea van Lierop, Madhav G. Badami, and Ahmed M. El-Geneidy. What influences satisfaction and loyalty in public transport? a review of the literature. *Transport Reviews*, Vol. 38, No. 1, pp. 52–72, 2018.
- [3] T. D. Camacho, M. Foth, and A. Rakotonirainy. Pervasive technology and public transport: Opportunities beyond telematics. *IEEE Pervasive Computing*, Vol. 12, No. 1, pp. 18–25, 2013.
- [4] World Health Organization. Coronavirus disease (covid-19) pandemic. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019>. Accessed: 2020-07-15.
- [5] Rohit Verma, Surjya Ghosh, Mahankali Saketh, Niloy Ganguly, Bivas Mitra, and Sandip Chakraborty. Comfride: A smartphone based system for comfortable public transport recommendation. 2018.
- [6] Hao Liu, Yongxin Tong, Panpan Zhang, Xinjiang Lu, Jianguo Duan, and Hui Xiong. Hydra: A personalized and context-aware multi-modal transportation recommendation system. 2019.
- [7] Jingyuan Wang, Ning Wu, Wayne Xin Zhao, Fanzhang Peng, and Xin Lin. Empowering a* search algorithms with neural networks for personalized route recommendation. In *Proceedings of the 25th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery Data Mining, KDD'19*, pp. 539–547, New York, NY, USA, 2019. Association for Computing Machinery.
- [8] G. Bajaj, G. Bouloukakis, A. Pathak, P. Singh, N. Georgantas, and V. Issarny. Toward enabling convenient urban transit through mobile crowd-sensing. In *2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems*, pp. 290–295, 2015.
- [9] M. Handte, S. Foell, S. Wagner, G. Kortuem, and P. J. Marrón. An internet-of-things enabled connected navigation system for urban bus riders. *IEEE Internet of Things Journal*, Vol. 3, No. 5, pp. 735–744, 2016.
- [10] 国土交通省. 都市における人の動きとその変化～平成 27 年全国都市交通特性調査集計結果より～. <https://www.mlit.go.jp/common/001223976.pdf>. Accessed: 2020-07-16.