

複数のオープンデータを利用する マルチモーダルな経路推薦システム構築に向けて

シン チャックロン† 横山 大作†

† 明治大学理工学部 〒 214-8571 神奈川県川崎市多摩区東三田 1-1-1

E-mail: †{ee67031,dyokoyama}@meiji.ac.jp

あらまし 現在, 世界ではマルチモーダルな経路推薦サービスの試みが進んでいる. 本論文では, マルチモーダルな経路推薦システムを複数のオープンデータを用いて作ることを目標とし, 実用的な経路が推薦できるかを確認することを目指す.

オープンストリートマップと駅データ.jp の 2 つのオープンデータを用いて歩行と電車の双方を考慮した最短経路探索システムを作成した. 関東の主要駅を対象に乗り換え可能な駅を求める実験をしたところ, 528 個の新しい歩行可能ルートが見つかった. しかし, 単純な手法では一部の場合に遠回りしすぎるルートが推薦されるという問題が判明した. この問題に対し, 直線距離と歩行ルート距離との差異の比較によって不適切な経路を削除する方法を検討した. 任意の二駅の組み合わせのうち 12.7%が不適切な経路であったが, 提案手法によってこのうち 37.5%を削除できた.

キーワード 経路探索, マルチモーダル, オープンデータ

1 はじめに

現在, 高密度な公共交通ネットワークにカバーされている日本の都市圏は, 移動の利便性が世界においても, 非常に優れている水準になっている. しかし, 利便性が高まるに伴い, 公共交通を利用する複雑さも高くなっている. 例えば, 東京都の鉄道ネットワークで, 同じ発着駅間では複数の利用可能な経路が存在する. このような複雑なネットワークから最適な移動経路を探す方法として, 一般的にはナビゲーションまたは乗換案内サービスを提供しているウェブサイトや, スマートフォンのアプリケーションなどを利用することが多い.

近年, 日本は「電子行政オープンデータ戦略」[1] に基づき, 積極的にオープンデータに取り組んでいる. 企業活動の効率化や新しいビジネスを生み出すことなどの目的で, 公共データの公開とその活用を促進している. 例えば, 鉄道やバスや道路などの公開データがあり, これらのオープンデータを利用して, 乗換案内システムを開発できるのかを検証しようと考えた.

本論文では, 最適な移動経路を推薦する乗換案内サービスを実現することを目指し, 複数のオープンデータを用い, 歩行及び鉄道の二つの移動手段を含めた最短経路探索システムを作成する. オープンストリートマップと駅データ.jp の 2 つのオープンデータを組み合わせ, このような最短経路探索システムを構築した. 東京都区部の道路と主な鉄道からなる交通ネットワークを用いてこの手法の有効性を検証したところ, 528 個の新しい歩行可能ルートが見つかった. しかし, 駅間の歩行可能な最短ルートを見つける際に, 求められたルートが遠回りしすぎる不適切なルートになる場合があることが判明した. この問題に対し直線距離との差異の比較によって不適切な経路を削除する方法を検討した. 任意の二駅の組み合わせのうち 12.7%が不適

切な経路であったが, 提案手法によってこのうち 37.5 %を削除できた.

本論文の構成は以下の通りである. 第 2 章では関連研究をしめす. 第 3 章では, 本研究で利用しているオープンデータについて説明する. 第 4 章では, 構築した経路探索システムについて, その構築手法を示す. 第 5 章では, 東京都内の道路と主な鉄道ネットワークを利用して, 提案システムの有効性を検証する. また, 発見された課題とその改善方法についても検証する. 第 6 章では課題の発生する原因について考察をする. 第 7 章でまとめを行う.

2 関連研究

2.1 マルチモーダル交通

マルチモーダル交通に関する研究はいくつか存在する. 日本の公共交通は鉄道, バス, タクシー等多様な移動モードから膨大な交通ネットワークで形成されている. 国土交通省は, 公共交通の利便性を向上させることと自動車への依存を減らすために, マルチモーダルな交通体系が必要であると考えており, 各交通モードの特性と, 人の行動と貨物の特性を考慮したマルチモーダル交通体系を構築し始めた [4].

吉井らは自動車利用者に公共交通の情報を提供するマルチモーダル情報提供システムを構築した [5]. また, 三輪らは, プロープカーデータと鉄道の情報を組み合わせてマルチモードの経路案内を行うシステム「PRONAVI」を開発した [6].

2.2 乗換案内

2.2.1 乗換案内サービスの影響

現在, 日本の都市部は非常に複雑な鉄道ネットワークが形成された. 出発地から目的地まで複数の利用可能な経路が存在し

ているため、鉄道の利用者は乗換案内サービスを多用している。乗換案内サービスサイトの利用者の実態に関する研究 [7][8][9] がある。河上らの研究 [8] によると、大部分の利用者はサイトから推薦された経路に従い、他の経路と比較することはない。その上に、河上らは混雑を避ける経路を推薦し、利用者の誘導による混雑軽減する研究 [9] により、大半の利用者が誘導に従った。この 2 つの研究から、乗換案内サービスは鉄道利用者が経路を選択する際に大きな影響を与えることがわかる。

2.2.2 経路探索

経路探索は乗換案内サービスの構成において一つ重要な要素である。加藤の研究 [10] では、道路網における探索を例として、いくつかの経路探索アルゴリズムを比較し、それぞれの特徴を述べた。ダイクストラ法の探索領域は出発点から同心円状に広がるため、効率が悪くなることがある。また、A* アルゴリズムは探索領域を限定する効果がある。しかし、加藤の研究によると、探索の範囲がとて大きくなれば（九州の南端から北海道の北端まで）、領域限定の効果が失われる欠点がある。加藤はこの欠点を無くすために、道路ネットワークを複数の領域に分けて、任意の 2 つの領域間の最適経路を計算してテーブル化し、そのルックアップテーブルにより探索領域を限定する方法を提案した。

また、池上らは正確かつ高速で最安運賃経路の探索について研究した [12]。距離や時間などではなく、首都圏内の複数の鉄道事業者の鉄道ネットワークを対象にして運賃計算用のネットワークを構築し、ダイクストラ法を用いて経路探索を行った。菊池らは列車と航空機の時刻表を考慮して、空間と時間を融合された動的ネットワークを用いて最適な乗換経路の探索の効率良い手法を提案した [11]。この手法は計算機のメモリ使用量を減少することができ、計算時間も短縮できる。

2.3 歩行者経路及び道路分析

竹内は歩行者の経路選択性向について研究した [13]。[13] によると、歩行者は必ずしも最短経路を選択するのではなく、道の樹木の多寡、店の有無、幅の広さなどの要素が歩行経路の選択に影響を及ぼすことがわかる。歩行者は最短経路より約 20% 長くなる迂回経路を選択することがある。歩行者の角度で経路を推薦する場合、最短経路だけではなく、道の環境を考慮すべきである。

本研究では、歩行経路を探索するときに遠回りルートが推薦された問題がある。その詳細は章 5.3 以降で説明する。森田らは、国内道路網の GIS データを用いて 2 地点間の直線距離と最短経路の距離の関係について研究を行った [14]。その方法は直線距離に対する最短距離の比が都市によってどのような変化になるかを調べることである。この研究の結果によると、主要 112 都市の直線距離に対する最短距離の比は平均 1.3035 である。また、最少は 1.126 であり、最大は 1.9235 である。本研究では、2 駅間の最短経路が遠回りルートであるかどうかを判断する際に、同じく直線距離に対する最短経路の距離の比を使って評価を行う。その結果、直線距離より 1.8 倍以上のルートは異常であると考えた。森田らの結果を見ると、これはある程度

妥当な数値であることがわかる。

3 オープンデータの利用

鉄道の乗換案内サービスを提供するには各路線駅の情報や駅間の徒歩連絡ルートなどの情報が必要になる。本論文では、二つのオープンデータを組み合わせて、公共交通ネットワークを作成する。

3.1 駅データ.jp

一つ目は「駅データ.jp」という日本の鉄道駅の情報を配布するサイトから公開のデータ（以下、駅データ）を利用する。本論文は 2019 年 4 月 5 日のデータを利用している。駅データには全国の各駅の名称、路線、経緯度、乗換可能な駅などの情報が含まれる。これらの情報を用いて駅の位置を特定することができ、駅たちの関係がわかるようになる。

本論文では、東京都区部の駅を対象として研究を行うため、まず全国の駅から東京都区部にある駅を全て抽出し、分析を行った。駅データによる東京都区部には 735 駅が存在する。しかし、そのうちには同じ名前でも路線だけ異なる駅が複数存在している。

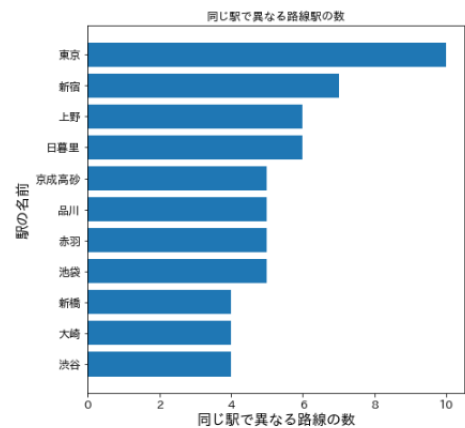


図 1 同じ駅で異なる路線の数

例えば、図 1 に示した東京駅を用いて説明する。東京駅では乗り入れ路線が 10 本ある。J R 山の手線や J R 横須賀線など違う路線の東京駅はそれぞれ独立し、735 駅に含められている。したがって、実験を行う際に重複した駅を計算しないように、最初から外す必要がある。東京都区部の駅から同じ名前でも路線だけ異なる駅を削除して、残した 576 駅を実験対象とする。

また、「駅データ.jp」によると、乗換可能な駅とは「同一改札内の駅」または「おおよそ改札間の距離が 200 メートル以内の駅」のことであるが、一部分の例外がある。この情報を使えば、極めて近い乗換駅についてはすでにリストアップされていると言えるが、もう少し長い距離を歩くことが許される状況であれば、このリストには掲載されていない乗換駅が存在する可能性がある。例えば、2018 年 3 月 17 日に東京メトロは新たな乗換駅を設定し、日比谷線の築地駅と有楽町線の新富町駅が乗換駅になった。しかし、この乗換駅はお互い 400 メートル以上

離れており、駅データの乗り換え可能な駅リストには含まれていない。

3.2 オープンストリートマップ

また、二つ目は「オープンストリートマップ」(以下、OSM)の地理情報データを用いる。OSMとは誰でも自由に閲覧、編集機能のある世界地図を作るプロジェクトである。OSMの地図データは無償で利用することができるから学術研究に多用されている。

本研究では、OSMnxを通して、東京都区部の道路網データをダウンロードし、駅データからの駅の位置情報と組み合わせることによって駅間の徒歩連絡ルートを探す。OSMnx[2]とは2017年にGeoff Boeingによって開発されたPython言語のパッケージのことである。このパッケージはオープンストリートマップを操作し、全世界の道路ネットワークのモデリング、分析、視覚化などをすることができ、都市の分析や計画などに使われている。

4 経路推薦システム

本論文では、公共交通を利用した、移動手段において比重が大きい鉄道と徒歩の情報を収集し、経路探索システムを構築する。一般的な経路推薦システムでは「移動時間」、「価格」、「乗換回数」などの複数の評価基準に基づいて経路を推薦することが多い。本論文では、最も基本的な「移動時間」についてのみ考慮して、最短経路を求めることにする。

駅データとOSMの地理情報の結合によって、東京都区部に運用している駅の間に徒歩で乗り換えが可能な経路を探し出すことを試みる。

4.1 乗り換え可能な歩行経路の発見

歩行と電車を考慮した経路推薦システムを作成する際に、以下の情報が必要になる。

- (1) 駅の情報(駅の位置、路線、乗換駅など)
- (2) 列車が各駅を通過する平均所要時間
- (3) 乗換の移動にかかる時間

これらの情報に基づいてネットワークを作成し、経路探索を行う。3の情報を得るためには、乗り換えで歩行できる経路を見つける必要がある。本研究では、駅データに掲載された乗換駅以外について、駅間の歩行移動が可能であるかを調べることにする。また、駅データに掲載された乗換駅についても、乗り換えに必要な時間は提供されておらず、何らかの方法で乗り換え経路を歩く時間を見積もる必要がある。現在の乗換情報を用いて、出発駅から終点駅までの間に、駅間を歩行して乗り換えることで早く到達できるルートがあれば、乗換可能な駅と判断すべきである。したがって、乗換駅の情報を集めるために、任意の二駅間の歩行可能な最短経路を見つけ出す必要がある。

歩行の最短経路の収集方法は以下の通りである。まず、駅データから出発駅と終点駅の緯度経度を取得する。OSMには駅のプラットフォームから外側の道までの経路が載っていないことが多い。よって、距離だけを考慮する単純な方法で、OSM



図2 新宿から新宿三丁目の最短経路

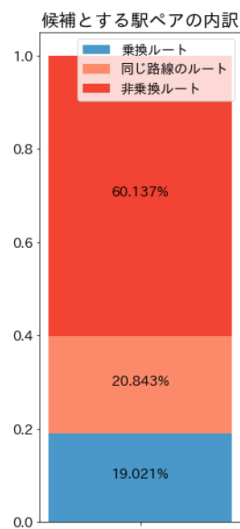


図3 候補とする駅ペアの内訳

からそれぞれ駅の最近傍の道路ノード(道路ネットワークを構成しているセグメントの端点)を取得する。これらの点を始点と終点とし、ダイクストラ法を用いて、道路ネットワークから二点間の歩行最短ルートを算出する。図2はOSMから求められた一つの最短ルートの例である。赤点と青点はそれぞれ新宿駅(JR東日本)と新宿三丁目駅(東京メトロ)の位置である。また、二つの緑点はそれぞれ駅の座標に対する一番近い道のノードである。歩行経路は赤い線で表している。

5 実験

上述した手法から求められた歩行ルートの有効性を評価するために、東京都区部で実験を行う。

5.1 採集した歩行ルートの構成

本論文では、球面三角法を用いて駅間の直線距離を計算し、距離が800メートル以内である任意の二駅の組み合わせを全て求め、その駅間について最短経路を求めることにする。このような駅間は878組であった。これらのルートを調べたところ、内訳は図3のようであった。

求められたルートを大きく二つに分ける。一つ目は出発駅と終点駅が「駅データ」において乗換が可能な駅として設定され

表 1 乗換ルートの直線距離

範囲 (m)	本数	直線距離の最短 (m)	直線距離の最長 (m)
200.0 以下	124	6.1	196.5
200.1 以上	43	202.8	442.1



図 4 天王洲駅から青海駅の検索結果 (Yahoo!路線情報による)

ているルート (以下, 乗換ルート) である。乗換ルートは 167 本あった。

二つ目は出発駅と終点駅が「駅データ」に定義された乗換駅に当たらない物 (以下, 非乗換ルート) である。非乗換ルートは 711 本あった。そのうち, 183 本が同じ路線にある駅間のルートである。例えば, 代々木駅 (JR 山手線) から新宿駅 (JR 山手線) までの歩行ルートはここに該当する。残る 528 本のルートは出発駅と終点駅は異なる路線に所属している。この 528 ペアの中には, 駅データではリストアップされていないが, 徒歩での乗り換えが可能で駅ペアが存在する可能性がある。そこで, この駅ペアについて以降でより詳細に検討していくことにする。

5.2 乗り換え可能な駅

本研究に必要な乗換経路情報は 2 種類に分けられる。駅データによる乗換可能な駅間の経路 (乗換ルート) と, 乗換駅として登録されていないが, 徒歩の時間が長くない駅間 (非乗換ルートの異なる路線部分) である。これらのルートを用いて交通ネットワークを構築し, 経路探索システムの作成に利用する。

5.2.1 乗換ルートの検証

上で述べたように, 乗換ルートは「駅データ」において乗換が可能で駅として設定されているルートである。駅データによる乗換可能な駅はおおよそ改札間の距離が 200 メートル以内の駅であることを検証する。乗換ルートは 167 本がある。そのうち, 124 本の直線距離が 200 メートル以内である。また, 残った 43 本は平均 273 メートルである。そして, 最短は 202.8 メートルであり, 最長は 442.1 メートルである。乗換ルートの中に, 直線距離が最長のルートでも, 歩行の移動時間は約 6 分くらいである。このことから, 駅データの乗換可能な駅について提案手法でも問題なく推定できたといえる。

表 2 乗換駅である可能性が高い駅ペアの例

出発駅	終点駅	距離 (m)	移動時間 (分)
東京	二重橋前	464.3	6.2
大塚	向原	461.4	6.2
赤坂	溜池山王	393.8	5.3
虎ノ門	霞が関	447.1	6.0
青海	東京テレポート	405.6	5.4



図 5 OSM から求められた遠回り経路の例

5.2.2 非乗換ルートから乗換駅の抽出

非乗換ルートの部分から乗り換えが可能な駅ペアを抜き出すことが大切である。乗換駅の条件は以下のことが考えられる。

- (1) 既存の乗換駅より全体の所要時間が短縮できる駅ペア
- (2) 徒歩連絡の所要時間が長くない

また, 国土交通省都市局の調査 [3] によると, 都市圏の中に 1 キロメートル以下の距離であれば, 60 % 以上の人が徒歩で移動するが, この距離より長くすると, 他の移動手段を選択する人が多くなる。ここで, 今回の実験で候補として取り上げた駅間は直線距離 800 メートル以内であるが, 実際に歩行する距離はそれ以上の長さである可能性がある。実用的な乗換駅を探し出すために, 歩行する距離が 900 メートル以内のものを歩行可能であると考えことにする。この距離以内のルートは 326 本あった。表 2 に乗換駅である可能性が高い駅ペアの例を示す。表 2 の駅ペアは駅データの乗り換え情報には掲載されていない。その上に, 電車を利用する際の始点駅から終点駅までの所要時間は歩行より長くなっている。これらの駅ペアを乗り換えに利用すると, 旅行時間全体を短くできる可能性がある。例えば, 図 4 に示した「Yahoo!路線情報」サイトの乗換案内サービスで天王洲アイル駅から青海駅まで鉄道で移動する経路を検索すると, 最速の経路でも 20 分が必要になる。しかし, 見つけた歩行ルートによる東京テレポート駅から青海駅までの歩行時間は僅か 5.4 分である。そこから乗り換えれば, 全体の移動時間は約 9.4 分であり, 53 % の時間が短縮できる。したがって, この駅ペアは乗換駅として利用できる可能性が高いことがわかる。

5.3 遠回りルートの発見

求められた歩行ルートを分析したところ, 遠回りしすぎるルートが一部存在することが判明した。例えば, 図 5 に示す経路は OSM から求められた池袋駅 (JR) から池袋駅 (東京メトロ) までの最短経路である。しかし, 2 つ駅の直線距離は約 286 メートルなのに対して, 経路の距離は 1 キロ以上になった。この経路は明らかに遠回りであると考えられる。この問題に

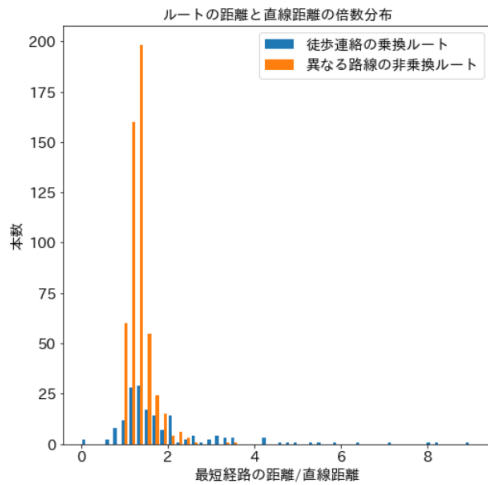


図6 歩行距離と直線距離の割合分布

対して、経路の歩行距離と直線距離の差異を利用して、実用的でない徒歩経路が求められている場合を検出する方法を提案する。まず、経路の歩行距離と直線距離の比を求めた。比の分布について図6に示す。695本のうち75%の歩行ルート距離は直線距離の1.485以下であり、平均は1.49倍である。また、図6より2倍以上のルートは極めて少ないことがわかる。したがって、正常のルートと問題があるルートの境界線を判明するために、1.5倍から2倍までのルートを注目し、詳細を調べる。

5.4 正常のルートと遠回りルートの分析

歩行距離に対する直線距離の割合と遠回りルート（以下、異常ルート）の関係性について調べた。対象は全てのルートである。そして、調査の範囲は距離の割合1.50倍から2.99倍までのルートだけである。1.50から1.99までのルートは0.1倍毎に分ける。それらの範囲にあるルートを全て可視化し、直接目で見てその正確性を確かめた。異常ルートとして判断する基準は二つ設定した。一つ目はルートを使用して移動する時に目的地へ直接向かっているかどうかである。図7を例として説明する。図中の赤マークと青マークはそれぞれ代々木駅（JR）と南新宿駅（小田急）である。このルートの一部分は目的地の方向へ進まず、無意味に迂回している。マップ上には明らかにこのルートより短い経路が存在している。そのため、異常ルートであると判断する。二つ目はGoogle Mapから求められた最短経

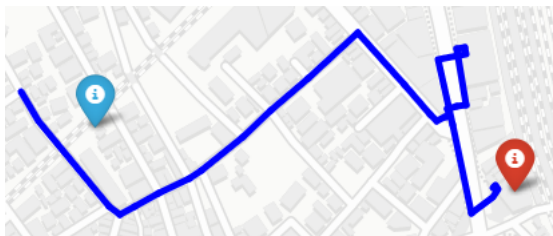


図7 直観的に判断できる異常ルートの例

路より100メートル以上長くなることである。ルートが異常かどうか直観的に判断できない時、同じ条件でGoogle Mapを用いて歩行の最短経路を検索し、比較する。その結果、求められ

表3 異常ルートの割合

倍数の範囲	全体	正常	異常	異常の割合
1.50-1.59	33	31	2	0.061
1.60-1.69	33	22	11	0.333
1.70-1.79	22	14	8	0.364
1.80-1.89	18	7	11	0.611
1.90-1.99	9	2	7	0.778
2.00-2.99	42	8	34	0.810

ている経路がGoogle Mapの結果より100メートル以上長くなる場合は異常ルートであると判断することにする。表2に調査の結果を示す。表2によると、経路の歩行距離に対する直線距離の割合が増えるに連れて異常経路の割合も高くなることがわかる。1.50-1.59倍の範囲にある異常のルートは僅か6.1%であるが、0.1倍だけ増えると異常の割合が33.3%増えてしまう。また、1.70-1.79倍から1.80-1.89倍にわたって、異常ルートの割合も急激に24.7%増加した。この調査の結果から、1.8倍以上の経路は約60%以上が異常ルートであり、この範囲の歩行ルートはあまり信用できないことがわかる。これは森田らの研究[14]とも合致する。

非乗換ルート部分の異常ルートはすべて削除することができる。しかし、乗換ルートの部分は実際に使っている乗換駅であるので、そのまま切り捨てることができない。したがって、この手法を用いることで、ルート全体の12.7%を占めている異常ルートのうち、37.5%だけを削除することができた。異常ルートを更に削減するためには、異常ルートが生成される原因と改善策を検討する必要がある。

6 考察

6.1 遠回りルート出現の原因

OSMから求められた歩行ルートが遠回りしすぎる場合の原因について考察する。

歩行ルートを求める際に、経路の構成は二つの要素に大きく左右される。一つ目は出発駅と目的地駅の位置である。「駅データ.jp」から提供された駅の経緯度はその駅全体の中心、または路線ごとのプラットフォームの中心である。もし、その位置が周りの道から遠く離れている場合、OSMのストリートネットワークから駅に近い道路ノードを求める際、大きなズレが生じる。また、歩道橋などの特殊な道路を最近傍として求めてしまい、遠回りする場合も確認できた。

例えば、図7に示した代々木駅から南新宿駅の異常ルートについて見ると、代々木駅の中心と道路が離れている。そのため、ストリートネットワークから適切な歩行開始ノードが求められなかった。他の地図などから駅の入り口の位置を見つけ、その緯度経度を駅の座標として利用することを試みると、意味不明な迂回部分が無くなった（図8）。経路の距離は666.7メートルから473.5メートルに減少した。

また、特殊道路については、利用している探索ライブラリの制限で、一部のリンクに限定して経路探索することができない。



図8 代々木駅西口から南新宿駅出入口まで

この問題を完全解決するために、道路属性を考慮した経路プログラムを作成すること、または自らダウンロードした道路ネットワークから特殊道路を削除する方法が考えられる。

二つ目はオープンストリートマップの道路ネットワークである。ネットワークに建物内部の道は含めてないことが多い。東京都区部では、近くに複数の駅が存在する場合、大部分は外側の道を通るのではなく、駅内の連絡通路から他の駅に乗り換えることになる。したがって、OSM から最短経路を求める時、元々直線距離が近い駅たちは連絡通路が選択できなく、駅の外側にある道を経由して乗り換えることになるから、歩行距離が長くなってしまう。

7 まとめと今後の展望

本論文では、複数のオープンデータを用いてマルチモーダルな経路推薦システムを作成することを目指し、歩行と電車を組み合わせた移動を考慮した最短経路探索システムを構築した。オープンストリートマップの道路網と駅データを用いて検証したところ、関東の主要駅を対象に駅データに無い新たな歩行可能ペアが528個見付かった。しかし、遠回りしすぎるルートが探索されるという問題が判明した。この問題に対し、求められた歩行ルートの距離と直線距離との差異の比較によって不適切な経路を削除する方法を検討した。その結果、任意の二駅の組み合わせのうち12.7%が遠回りしすぎる不適切な経路であったが、提案手法によってこのうち37.5%を削除できた。また、遠回りルートの生成原因を考察し、駅から歩行に移行する道路の位置の求め方を変更することによって改善できる可能性を示した。

マルチモーダルな経路推薦システムを実現するために、いくつかの課題がある。今回不適切な経路を削除する手法を用いて一部分の異常ルートを削除できたが、今後の課題として、より多くの遠回りルートの問題を解決する手法を検討する必要がある。例えば、オープンストリートマップの道路網から駅間の歩行経路を探索するアルゴリズムを変更し、遠回りルートの出現をさせないことが一番望ましい。

また、本研究で作成した経路探索システムは、一般的に使われているナビゲーションサービスなどと異なって、最短経路しか推薦できない。このシステムをさらに実用化するためには、列車で移動する運賃と乗換回数など、複数の評価基準を考慮して経路を推薦することが考えられる。移動時間だけではなく、

価格や乗換回数などの要素を含めて探索アルゴリズムに評価させる必要がある。

さらに、本研究では「駅データ.jp」の駅情報とオープンストリートマップの道路網データを用いて経路探索システムを構築した。もし、ほかの交通機関（バスなど）のオープンデータを組み合わせることができれば、考慮する移動モードの拡充によりシステムの利便性が向上できると考えている。

文 献

- [1] 高度情報通信ネットワーク社会推進戦略本部，“電子行政オープンデータ戦略”，平成24年7月4日
- [2] Boeing, G. (2020). Urban Street Network Analysis in a Computational Notebook. Region, 6(3), 39-51.
- [3] 国土交通省都市局都市計画課 都市計画調査室，“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～”，p.62, 2015.
- [4] 国土技術政策総合研究所，“マルチモーダル交通体系の構築に関する研究”，国総研プロジェクト研究報告，No.19, 2008.
- [5] 吉井稔雄，池田直隆，北村隆一，“公共交通利用促進を目的としたマルチモーダル情報提供システムの構築ならびにその効果検証”，土木計画学研究論文集，Vol.22, pp.575-582, 2005.
- [6] 三輪富生，森川高行，山本俊行，藤田貴司，中田貴之，竹内純一，“プローブカーデータを用いたマルチモード経路案内システム「PRONAVI」の開発と今後の展開”，土木計画学研究・講演集，Vol.31, p.202, 2005.
- [7] 寺部慎太郎，重里光佑，内山久義，“鉄道経路探索 web サイトに関する利用実態の特徴分析”，土木計画学研究・論文集，Vol.26, No.3, pp.569-574, 2009.
- [8] 河上翔太，寺部慎太郎，葛西誠，“鉄道経路検索 Web サイト利用者の交通行動分析”，土木計画学研究・講演集，Vol.44, No.279, pp.1-3, 2011.
- [9] 河上翔太，寺部慎太郎，葛西誠，“鉄道経路検索 Web サイトによる利用者の誘導可能性”，土木計画学研究・講演集，Vol.47, No.198, pp.1-6, 2013.
- [10] 加藤誠巳，“経路探索問題とその応用”，IPSJ Magazine, Vol.39, No.6, pp.552-557, 1998.
- [11] 菊池新，高木啓三郎，加藤誠巳，“動的ネットワーク表現に基づく列車・航空便の最適乗継系列探索の手法とその実際への応用”，情報処理学会論文誌，Vol.38, No.4, pp.915-926, 1997.
- [12] 池上敦子，森田隼史，山口拓真，菊地丞，中山利宏，大倉元宏，“鉄道運賃計算のための最安運賃経路探索:複数の鉄道会社を含む場合”，日本オペレーションズ・リサーチ学会和文論文誌，Vol.51, pp.1-24, 2008.
- [13] 竹内伝史，“歩行者の経路選択性向に関する研究”，土木学会論文報告集，Vol.1977, No.259, pp.91-101, 1977.
- [14] 森田匡俊，鈴木克哉，奥貫圭一，“日本の主要都市における直線距離と道路距離との比に関する実証的研究”，GIS-理論と応用 Vol.22, No.1, pp.1-7, 2014.