

鉄道 OD 経路選択行動のマイクロ分析

Micro-Simulation of Railway's OD Path Selecting Behavior

楊 忠振*、林 良嗣**

YANG ZhongZhen, HAYASHI Yoshitsugu

1. 背景

土地利用や交通インフラ等の計画政策を作成及び分析するために、土地利用-交通モデルが必要である。交通需要の分析においてネットワークの OD 間所要時間を計算しなければならない。交通需要モデルが数学の方法で人間の合理的な交通行動をシミュレーションするといえる。このような交通ネットワーク問題を解くために最小交通費用経路を探す最短経路探索法は不可欠である。特に鉄道需要量の予測や容量制約のない交通量配分等に最短経路探索法は頻繁に使われている。Dijkstra 法やラベル修正法等は最短経路法の代表的なアルゴリズムで、道路ネットワークに使われているが、都市の鉄道は道路より密度が低いから、よく簡単な方法で駅間の最短所要時間を求め、利用者の鉄道経路選択行動をシミュレートする。例えば、鉄道会社の時刻表で駅間の時間を計算し、人間が最寄駅を利用すると仮定してゾーン間の所要時間を計算するのはごく普通である。モデルがゾーンを空間単位とする或いは都市に一つの鉄道会社しか存在しない場合にこの方法は便利かつ有効である。しかし、大都市における多くの場合、数社により多数の鉄道路線を経営しているので、鉄道の経路選択行動が複雑になり、人間が OD 間のいくつかの最短鉄道経路から最適な経路を選択すべきである。

鉄道ネットワークにおいて、交通の始終点に同じぐらい離れている駅がいくつかある時、利用者は行き先に従って最寄駅ではなく他の駅を利用することが十分に考えられる。そのため、同じ利用者でも目的地によりアクセスする駅はしばしば変化する。多くの場合、最寄駅の代わりに2、3番目の最

寄駅が利用されている。その上、鉄道ネットワークが数社の多線路により構成されると他社の線路に乗り換える時、料金計算制度が複雑になり、スムーズに次の列車につながらない場合もある。たとえば他社の線路に乗り換えると時間を節約しても、利用者は新しい線路の初乗り料金を払わなければならない。この料金は常に元線路を乗り続ける時の十何倍になる。結局、利用者はできるだけ一社の線路を利用するか、或いはもし残りの道が歩ける範囲だったら歩いて目的地に行く。都市鉄道ネットワークが数社の多路線により構成される時、鉄道会社の時刻表だけで OD 間の鉄道所要時間を計算する方法はとても不十分だと言える。さらに、従来の研究は交通ゾーンで人間の属性を同化するので、同じゾーンの人間に全く同じ交通属性を与える。だから、従来の方法で計算した OD 間交通時間は実際の鉄道 OD 経路を選択する行動の結果ではないともいえる。

本研究は、買い物交通を対象として精密な OD 間の鉄道交通時間を得るために、利用者の鉄道経路を選択する行動をシミュレートすることを目的とする。目的を達成するため、住宅と大型店舗を始終点としてマイクロ・シミュレーションで鉄道 OD 経路選択行動を分析し、経路の所要時間を計算する。この研究に基づく鉄道リンク毎の買い物交通量や鉄道経路選択に車輛の運行頻度と料金制度の影響等を詳細的に分析できる。

2. 研究方法

従来の交通モデルは一般的なデータベースに基づき、そのデータをマトリックスでインプットとアウトプットする。ネットワーク分析もマトリックス型のデータで行っている。このようなデータベースの欠点はデータ主体の空間属性を扱えないことである。そのため、データベースを構築する時マップによりゾー

Keywords : GIS、最短経路、ダイナミック鉄道 OD 経路

*非会員 工博 名古屋産業科学研究所

(E-mail: yang@nisri.moriyama.nagoya.jp)

**フェロー 工博 名古屋大学地圏環境工学専攻

(名古屋千種区不老町、

E-mail: yhayashi@genv.nagoya-u.ac.jp)

ン毎に利用可能な駅を与え、ゾーンの交通が一定な比例で各駅に流れると仮定しておく^{3),4)}。本研究は交通ゾーンの代わりに住宅や商店等を表す地点を空間分析単位とするので、大量のデータを収集、管理、加工しなければならないし、データ主体の空間関係を見つけなければならない。一般的なデータベースがこれらの機能を持っていないから、ここで GIS をデータベースの管理ツールとして利用する。

道路と違う鉄道リンクは明らかな Q-V 属性がないので最短経路探索法で OD 経路の選択行動をシミュレートできるはずである。しかし、鉄道運賃はその時間と道路交通のコストと違う。後ろの二つは累進であるが、鉄道運賃はジャンプ的に増える。例えば、乗客はある会社の線路から他社の路線に乗り換える時所要コストが大幅に増える。同じ会社の路線にも運賃がジャンプ的に増えて行く。例えば、1-3 駅間を利用する乗客が一種の運賃を払い、4-5 駅間を利用する乗客が他の一種の運賃を払う。本研究は、ダミーリンクで違う会社の線路の運賃問題を解決し最短経路探索法に同社の線路の運賃問題を統合する。最短経路を探る段階で経路をなるリンクの距離を会社毎に集計して、各会社の運賃制度に合わせて経路を延ばすに従ってその所要料金を計算する。ここで時間価値を利用して経路の所要時間と料金を統一して、経路の一般化所要時間を計算する。

OD 間の全経路を二つずつ比較する方法により二番や三番等近い駅を利用するかを判断する。具体的に GIS で起終点 (O と D) においてすべて利用できる駅を探したし、これら OD 駅間の最短経路の所要時間が最小のものは OD 交通の経路だと思う。図-1 はこのプロセスの説明にあたる。

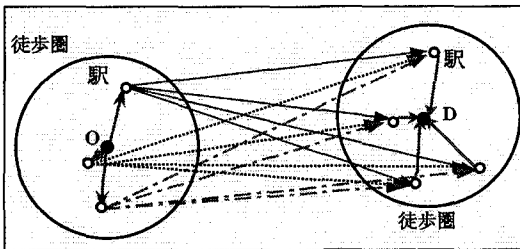


図-1 OD 間に全て利用可能な経路

GIS で O と D に徒歩距離を半径としてパーファを作り、O と D にはそれぞれ 3 と 4 個利用できる駅を見つけた。そして、この OD 間に全部 12 最短経路が

存在するが、その中で一般化所要時間が最小の経路は利用される経路になるはずである。同じように OD 間に鉄道を利用できるかどうか及び鉄道を利用するかどうか判断できる。まず、もし片方のパーファに一つの駅もなければその OD 間に鉄道を利用できないという。また、D が O のパーファに位置すればこの OD 間に鉄道の代わりに徒歩で交通を行うとも言える (本研究にはバス交通を考慮しない)

3. GIS データベースの構築

最初の必要なデータはトリップの発生集中地点情報であり、現実をより真実に反映するため発生集中地点を詳細的に把握すべきである。買い物交通を分析する時、世帯の立地場所や構成や購買力等が必要だし、商店の立地場所や営業面積や品揃えなども必要である。本研究は名古屋市の買い物交通対象としてデータベースを構築する。まず、建物のデータを収集する。建物データは、建物の場所や用途や階数などを含め、五年に一回調査されている。その中から住宅系の建物を抽出して買い物発生地点を表す GIS のレイヤーを得る。買い物交通の集中地がショッピングセンターと言える大型店舗 (営業面積 1000m²) と設定する。名古屋市商業統計マップで大型店舗の GIS レイヤーを作成する⁵⁾。図-2 はこの二つのレイヤーを示している。実際、人口と収入データを住宅レイヤーに追加できるが、それは買い物及び商店の立地行動を分析する時に使うので本研究では取り扱わない。ここで鉄道経路の選択に集中する。最後の GIS レイヤーは都市鉄道ネットワークであり、ポイントとポリラインに構成される。

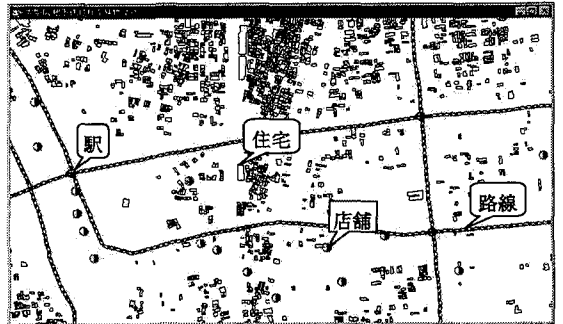


図-2 住宅、大型店舗と鉄道のレイヤ

本研究の鉄道ネットワークは四社の線路によりなり、それぞれの会社が独自の運賃システムも持っている。線

路と駅の空間データ以外に、線路名や駅名や区間時間や停車時間や所属会社等の属性データも GIS に追加される。

4. マイクロ分析のため鉄道ネットワークの変形

上述のような鉄道ネットワークはマップのデジタル化したイメージに過ぎない。最短経路探索法を応用する時、幾つか処理し難いことが出てくる。例えば、たくさん線路が交わる場所に路線数と同数の駅があるはずだが、マップ上で一つの代表的な点しかない場合もある。これはここで乗り換えの時間とコストを計算するのに困難を生じる。さらに、時にはある駅の徒歩圏にいくつかの駅があるが、間に線路がないからコンピュータはこの乗り換えを無視している。これらの問題を解決するのにデジタル化したネットワークを変形しなければならない。

まず、線路が交わる場所に線路と同数の駅を作りダミーリンクでこれらの駅をつなぐ。このダミーリンクは他のリンクと違い、距離属性がなく所要時間や所要コストや方向等の属性を持っている。所要時間は線路間の乗り換え時間を表し、その値を現地調査で取得する。所要コストは前方線路の初乗り料金であり、前方線路が同じ会社の場合はこのコストがゼロである。図-3は一つの駅を分割する例であり、ここでは路線数に合わせて一つの駅を五つに分けた。

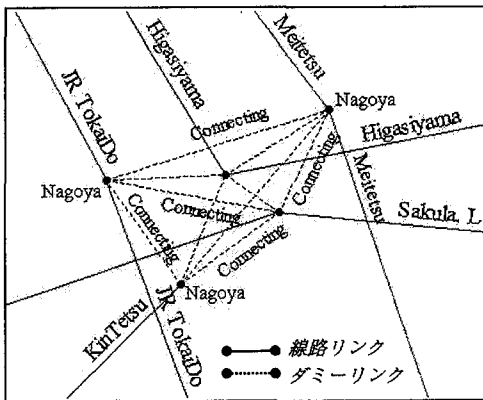


図-3 総合駅の分割

次に、駅ごとに徒歩圏における他線路の駅を検索し、ダミーリンクでこの駅と検索された駅につなぐ。ここに徒歩圏は800mと仮定される。図-4が示したように西神宮駅の徒歩圏に二つの他社の駅が見つかる。

乗客は地下鉄4号線からJR東海道線と名鉄名古屋本線へ乗り換えられ、逆も成り立つ。GISのプログラミングでこれらの分割や検索や路線作成等の作業がすべて自動化できる。

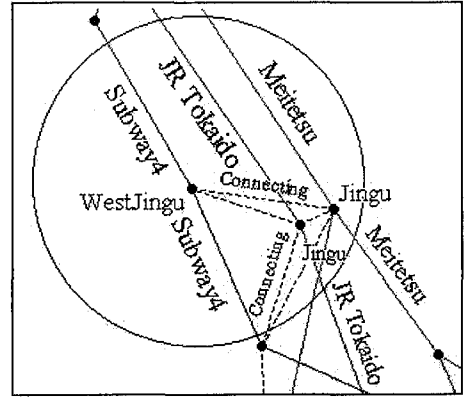


図-4 徒歩圏に他路線駅の検索

5. ケーススタディー

まず変形したネットワークに基づく最短経路探索法で全て二駅間の最小の一般化時間を計算する。ここで時間価値が43円/分/人と設定されている。研究地域における約40万棟住宅と195個大型店舗と159個駅があり、全部7千8百万OD経路がある。しかし、GISで21万住宅から133個の大型店舗へ鉄道でいけることが判明した。それ以外のOD交通は鉄道を利用しない及び利用できないことになっている。我々は二つの方法で名古屋市における全部28百万最短鉄道OD経路を計算していった。その一は本件研究が開発した方法で、その二は最寄りの駅を通して鉄道に乗る方法である。図-5は2.3万個一般化経路所要時間を比較したものである。その中には最寄り駅で計算した6,700個OD一般化時間が本研究の方法で計算した時間より大きく、残りが同じ値を持っている。

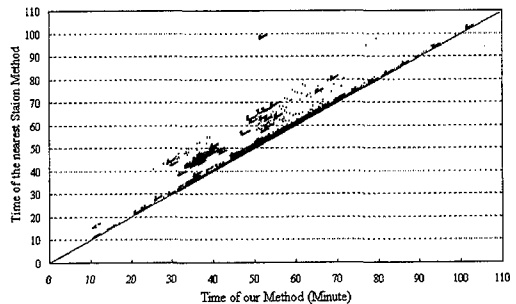


図-5 違う方法で計算した一般化OD所要時間の比較

表 1、2、3 は計算結果からランダムに抽出した例である。表 1、2 を見ると住宅 43,386 と 43,884 の最寄駅はそれぞれ駅 65 と 107 であり、大型店舗 53 と 62 の最寄駅はそれぞれ駅 36 と 27 であることが分かった。しかし、表 3 は示したように O43,386 - D62 は駅 65 と 154 を利用し、O43,884 - D62 は駅 142 と 27 を利用し、O43,386 - D63 は駅 108 と 130 を利用する。最寄駅の代わりに目的地に従って同じ住宅中の乗客は利用する駅が変わることが分かった。もし乗客は最寄駅を利用すれば、一般化 OD 所要時間は表 4 のとおりである。最寄駅を利用すると時にはより長い時間がかかることが明らかになってきた。本研究の方法でこの 2 千 8 百万一般化 OD 所要時間の平均値は 48.5 分計算されるが、最寄駅方法でこの値は 54.6 分計算される。

表 1 住宅の徒歩圏内の駅とその距離(2例)

住宅	最寄駅	距離(m)	二番目駅	距離(m)	三番目駅	距離(m)
43,386	65	499	110	550	108	629
43,884	107	176	142	230	62	522

表 2 大型店舗の徒歩圏内の駅とその距離(2例)

店番号	最寄駅	距離(m)	二番目駅	距離(m)	三番目駅	距離(m)
53	36	364	40	534	150	607
62	27	335	154	413	21	640

表 3 OD 間の所要時間と利用駅(3例)

住宅	店	発駅	着駅	時間(分)
43,386	62	65	154	41.7
43,884	53	62	150	28.7
43,884	62	142	27	36.8

表 4 OD 間の所要時間と利用駅(3例)

住宅	店	最寄駅	最寄駅	時間(分)
43,386	62	65	27	42.1
43,884	53	107	36	46.8
43,884	62	107	27	37.5

6. まとめ

本研究はマイクロ分析で大都市における鉄道 OD 経路を選択するアルゴリズムを開発した。徒歩時間や待ち時間や乗換え時間とコスト等を考慮しながら利用者のダイナミックな経路選択行動をシミュレートした。住宅と大型店舗の立地点が交通の発生と集

中単位として使われているから、本研究はより真実な鉄道 OD 経路選択を再現し、計算された 2 千 8 百万個一般化所要時間が精密に利用者の交通抵抗を反映すると言える。本方法で得られたリンク交通量は各会社の市場の占有率を表せる。本方法は時間短縮や運賃調整や車輛の頻度等の効果を分析するのに非常に価値があると思う。

本方法で OD 間の所有時間を計算するため、長時間が必要である。2 千 8 百万個所要時間を計算するのに Pentium II の 400MHz コンピュータで約 4 日間かかった。しかし、従来の方法で得た結果との差を考えると従来の方法の代わりに本研究の方法を使う価値がある。コンピュータの進歩にしたがって計算の時間が大幅に短縮されることは間違いない。

参考文献

- 1) 土木学会. 交通ネットワークの均衡分析—最新の理論と解法—, 1998
- 2) Michael G.H. Bell, Yasunori Iida. *Transportation Network Analysis*, JOHN WILLEY & SONS, West Sussex, 1997
- 3) M.G. McNally. An Activity-Based Micro-Simulation Model for Travel Demand Forecasting, *Activity-Based Approaches to Travel Analysis*. Pergamon, 1997, pp37-54.
- 4) 浅見 均等: 鉄道と都市の計画支援システムとして有効な新しい需要予測法, *土木計画学研究・講演集 No. 21 (2)*, pp309-312.
- 5) 家田 仁等: 勤務制度の多様化に伴う通勤者の行動の変化を考慮した大都市圏鉄道需要の時刻集中特性の予測手法の開発, *土木計画学研究・講演集 No. 21 (2)*, JSCE, pp881-884.
- 6) 名古屋経済局: 名古屋地域商業データブック, 1999.
- 7) 複数の高速道路経路選択を考慮した均衡配分モデルに関する研究, *土木計画学研究・講演集 No. 21 (2)*, JSCE, pp761-764.