

I-22 乗換抵抗と運行ダイヤを考慮した地下鉄の最適経路算出システム

A Study on Developing Optimum Route Extraction System for Subway Transportation
Considering Transfer Resistance and Timetable Information

吉川 耕司 金森 俊樹
Koji Yoshikawa Toshiki Kanamori

【抄録】 本研究では地下鉄網を対象として、乗換駅の施設状況をもとに利用者の身体的条件に対応した乗換抵抗が算出でき、最短時間だけでなく移動エネルギー最小基準を取り入れて最適経路を求めることのできる「最適経路算出システム」を開発した。システムでは、階段等の設置位置と停車位置の関係から乗り換えの際の最適扉位置を推計して、算出する乗換抵抗値の精度を高めている。さらに、実際の運行ダイヤの情報を加味することで、乗換駅で多くの待ち時間が生じるケースの考慮も可能としている。そしてシステムを名古屋市営地下鉄に適用し、健常者と移動制約者の最適経路の乖離に関する分析等を行った。

【Abstract】 In this study, we develop the optimum route extraction system for subway transportation considering timetable information and transfer resistance, which is derived from individual movement speed and arrangement of vertical movement support facilities. In this system, we suggest the least energy consumption index as a standard of optimization in addition to shortest required time index. Then we apply this system to Nagoya municipal subway, and pick out each optimum routes for normal / elders / handicapped passengers, and also, employing two different standards above. Through the analysis of differences of each route, we clarify the importance of route information depend on personal attributes.

【キーワード】 地下鉄、公共交通、移動制約者、最適経路探索

【Keywords】 Subway, Public transportation, Handy-capped passengers, Optimum route extraction

1. 研究の背景と目的

地下鉄利用の際に、乗客の目的駅までの経路選択の判断材料は一般に路線図だけである。よって、路線図上での最短経路が通常は選択されると思われる。しかし乗り換えを伴う経路の場合、実際には乗換駅でのエスカレータ・エレベータの設置場所や、連絡通路の長さあるいは階段の段数等が駅により大きく異なるため、路線図上で遠回りに見える経路が、実は最短時間経路であることが起こりうる。

このこと自体は些細な問題であるとも言える。数

分数秒の所要時間の違いは、よほど特殊なケースでない限り大した問題でなく、わずかな所要時間の違いを求めることに意味があるのかといった批判もあり得るだろう。

しかしながら、我々は以下に述べる社会的背景を考慮する必要がある。

我が国でも高齢化の進行をうけ、またバリアフリーの観点から、高齢者や身体障害者といったいわゆる移動制約者のモビリティを確保していこうという動きが起こりつつある。移動制約者の生活圏・行動

範囲の拡大化にともなって、高齢者の交通事故も多発しており、都市部においては移動制約者が目的地まで、安全でかつ身体的負担の少ない手段で移動できるよう、施設の充実やきめ細かな情報提示を図ることが重要な課題の一つとなっている。

まず、彼らの歩行速度や階段昇降速度を考えてみよう。健常者にとっては時間的影響をさほど与えない連絡通路の距離や階段数が、無視できない時間的ロスとなる可能性がある。また階段の昇降が不可能な場合、エスカレータやエレベータの設置位置により大きく迂回を行わざるを得ないケースや、これらの施設のない乗換駅は選択不可能であるケースが起り得る。

さらに、彼らにとっての最適経路は最短経路のことであろうか、との疑問が残る。例えば、もっとも疲労度の少ない、すなわち最「楽」な経路が最適経路かも知れない。一口に最適経路といっても、何を最適として経路を選択するかは個人個人によって異なると考えられる。

本研究ではこうした着想をふまえ、地下鉄網を対象として、乗換駅の施設状況をもとに利用者の身体的条件に対応した乗換抵抗が算出でき、最短時間だけでなく、移動エネルギー最小基準を取り入れて最適経路を求めることのできる「最適経路算出システム」を開発した。本システムでは上記に加え、階段等の設置位置と停車位置の関係から乗り換えの際の最適扉位置を推定し、算出する乗換抵抗値の精度を高めている。さらに、実際の運行ダイヤの情報を加味することで、乗換駅での待ち時間の考慮も可能としている。

そしてこのシステムを名古屋市営地下鉄に適用し、健常者と移動制約者の最適経路の相違や、最適経路算定の基準を最短時間とする場合と最小消費エネルギーとする場合の相違等の分析を行った。

2. 従来の研究と本研究の特徴

ここでは、最適経路算出に関するシステムの側面と、本研究の適用対象である移動制約者の交通行動の両面から、従来の研究を概観し、本研究の特徴を述べる。

まず、公共交通網を対象とした最適経路算定については過去に多くの研究がなされたものの、最短経

路探索アルゴリズム等が一般化した現在では、道路網を対象としたものも含め、経路算定そのものに関する研究事例はほとんど存在しなくなった。そして、多くの交通案内端末に組み入れられ、いわゆる経路探索ソフトも数種が市販される等、完全に実用ベースの問題となっている。しかしこれらはすべて、最短距離あるいは最短時間を求める機能のみが実装され、本研究で示しているような、移動に関するエネルギーを最小化する経路を算定するものは存在しない。また乗換所要時間に関しても、健常者の歩行速度を前提とし、それに幾分のマージンを加えたものとなっており、移動速度に関する条件を詳細に変更できる機能は備わっていない。

本研究で開発したシステムは、若干の工夫は行ったものの、算定方法としての新規性はそれほど高くない。しかしながら、高齢化社会の進展により、身体的条件を考慮した最適経路情報のニーズも日増しに高まっていることは事実であり、最適経路の新たな考え方を提示して実際に算定機能を実装したプロトタイプシステムを開発し、これを用いて、実際に条件によって最適経路が異なるケースが存在することを実証する社会的意義は大きいと考える。すなわち本論文は、現実的なニーズに合った実用システム開発を促そうとする意図を持つ。

次に、移動制約者の公共交通機関を用いた交通行動に関する従来の研究を概観する。これについては、金ら^{1~2)}が、駅前ペDESTリアンデッキにおける動線に着目して健常者と歩行困難者の比較を行うとともに、満足度に関する意識調査の結果を行動経路ごとに集計することにより、エスカレータ配置に関するサービス水準を設定している。また、田尻ら³⁾、夏目ら⁴⁾は駅空間の移動連続性の見地から、健常者と歩行困難者の移動経路を調査してその乖離を明らかにし、施設誘導情報を提示することの重要性を指摘している。

本研究は、健常者と移動制約者の経路・動線の相違を明らかにしようとする点ではこれらの研究と類似するが、単一施設や限定された空間内ではなく、起終点間を通した経路を対象として、その移動抵抗を総合的に算出しようとしているところに特徴がある。

また、実際の動線調査を行っての分析というアプ

ローチをとらず、逆に、交通施設や運行状況の調査をもとに、歩行速度や階段の昇降可能・不可能などの条件を設定して、とりうる動線・経路をシミュレートしようとしていることも、上記の研究と性格を異にする。これにより、条件を変化させての経路情報の算出を可能とし、様々な基準による最適経路算定を行うことができるわけである。

3. 研究の手順

本研究は図-1に示すような手順で行っている。以下、順にこれらの内容を示すことにする。

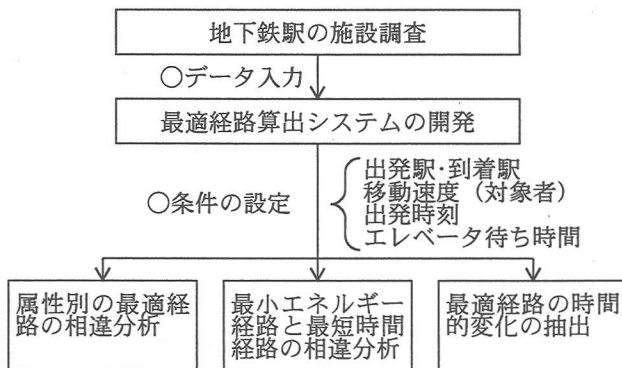


図-1 研究のフロー

4. 地下鉄駅の施設調査の概要

本システムの適用対象とした名古屋市営地下鉄は、図-2の路線図に示すように、5路線、76駅で構成されており、他路線との乗換駅は10駅ある。

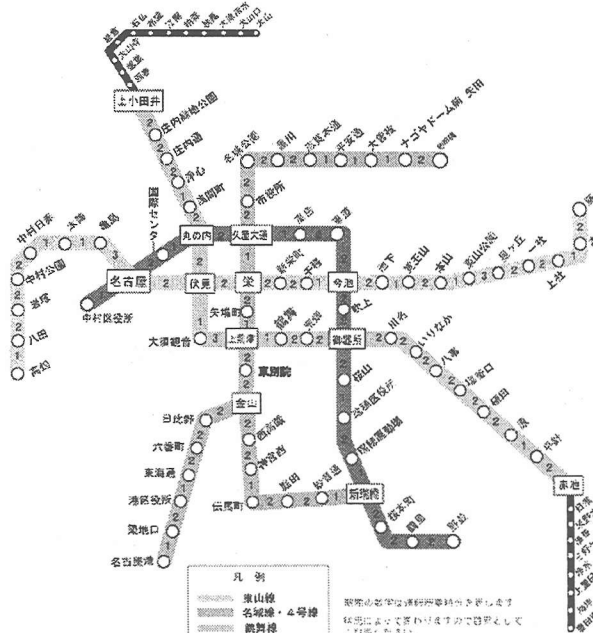


図-2 名古屋市営地下鉄の路線図

まず、健常者と移動制約者の動線及び移動抵抗に関する情報を得るため、名古屋市交通局のご協力のもと、全駅を対象に施設調査（平成11年12月15日、16日）を行なった。調査項目を表-1に示す。表中の項目は想定される乗り換え経路に沿った情報である。また、階段・エスカレータ・エレベータといったコンコースとホーム間のフロアを移動する施設を「階層移動媒体」と総称している（以下の記述も同様）。各駅の移動抵抗を定量的に一意に算出するための調査であることから、乗り換え経路が複数ある場合には、健常者と移動制約者を想定して、それぞれの移動抵抗が最小になると考えられる経路についてデータ収集を行った。

表-1 駅施設調査の項目

調査項目	説明
歩行距離	駅構内の歩行距離(m)
エレベータ乗車時間	エレベータに乗っている時間(秒)
エスカレータ乗車時間	エスカレータに乗っている時間(秒)
階段数	上り・下りそれぞれの段数
扉情報	・乗り換えの際、階層移動媒体に最も近い扉 ・乗り換え時のホーム到達地点から最も近い扉

5. 最適経路算出システムの機能

最適経路算出システムの開発には、Visual BASICを用いている。図-3にシステムによる最適経路算出のフローを示す。なお本システムでは路線網の駅区間をリンク、駅をノードとするネットワークデータを用いている。

まず、計算条件と出発駅・到着駅を指定する。これらは単一の条件を与えて計算を行える他、出発時刻、OD、その他の設定値のそれぞれについて増分や繰り返し範囲を指定してループ処理による繰り返し計算も行うことができる。

次に、本システムでは様々な条件の変化による最適経路の違いを分析することを想定しているので、最初に全可能経路を抽出して、その経路情報を一時的に保管したうえで、あらかじめ設定した条件により主キーを変化させてソートを行い、最適経路を算出する計算手順としている。こうすることで、最適な順に複数の経路を抽出することができ、またそれ

それぞれの経路の経路情報、すなわち移動抵抗や乗り換え所要時間、到着時刻を出力することができる。

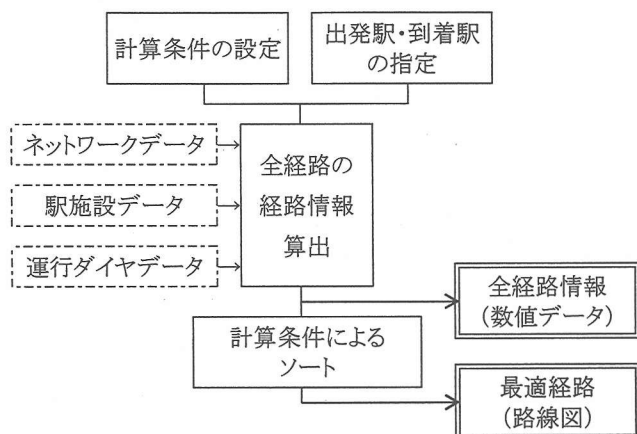


図-3 最適経路算出手順

(1) 計算条件の設定

まず最初に、

①乗客属性（身体的条件）

- ・ 歩行速度
- ・ 階段昇降速度（上り下り別）
- ・ 階段使用の可・不可

②出発時刻

③その他の条件

- ・ エレベータ待ち時間
- ・ 通過不能リンク、ノード（工事中を想定）

の設定を行う。図-4にエレベータの待ち時間設定の例を示す。この待ち時間に関しては、最もタイミングのよいケース（エレベータ前に到着すると同時に扉が開く）と悪いケース（到着直前に扉が閉まる）、及び期待値（両者の平均）の実測値をもとにした秒数を、選択することができる。

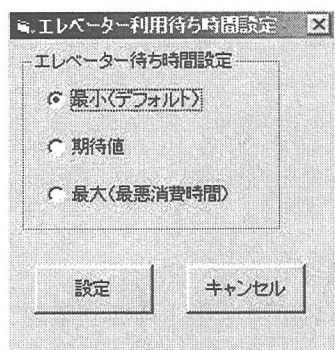


図-4 エレベータ待ち時間の設定

(2) 出発駅・到着駅の指定

図-5に示すインターフェイスを用いて対話的に指定を行う。

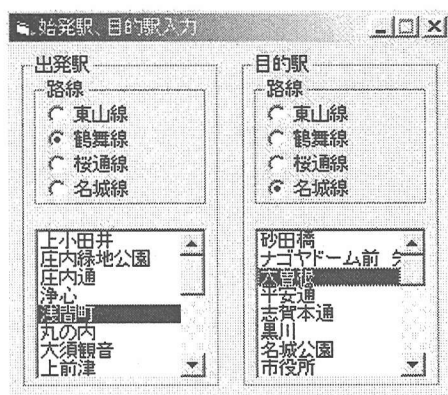


図-5 出発駅と到着駅の設定

(3) 全経路の経路情報算出

指定された出発駅（始点ノード）と到着駅（終点ノード）間で、選択可能な経路を全て抽出し、それぞれの経路について、駅間リンクではダイヤ情報を元にした所要時間等を、駅ノードでは、停車時間や乗り換えに要する時間（およびエネルギー）といった経路情報を順に付加していく。

本システムでは、選び得る全経路を抽出する必要があるため、最短ラベル法等の、最適ノード（とそれに至る経路）のみを順次探索していき、他の経路に関する情報を破棄していくアルゴリズムは用いることができない。そこで本システムでは再帰のアルゴリズムを用いることにした。

これは、始点ノードから順次、リンクで連結された次のノードを探索していくが、一度通過したノードにフラグを立て、そのノードは再度探索された場合の候補からはずすといった単純なものである。従来法に比べ計算量は増加するが、図-6の右上に示すような経路を抽出することができる。この図は、障害者を想定して階段使用不可の条件設定をした場合に、2番目に最短な経路として抽出されたものであり、現実により得る経路である。

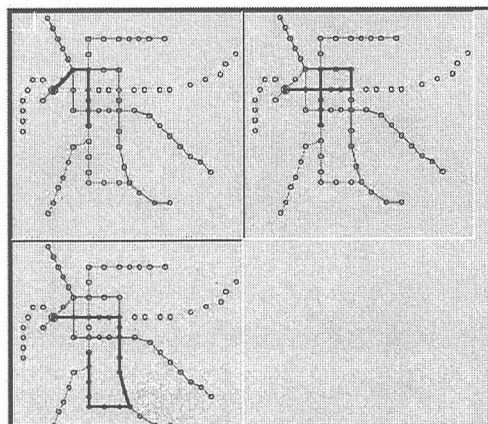


図-6
障害者の経路一覧図
(名古屋～東別院の例)

この段階で算出される経路情報を表-2に示す。

表-2 算出される経路情報

項目	説明
路線数	そのODの経路数
合計時間	対象経路の目的駅にいくまでの所要時間(秒)
ES	エスカレーター乗車時間(秒)
EV	エレベーター乗車時間(秒)
Str u	乗換駅での、上り階段数合計
Str d	乗換駅での、下り階段数合計
Pass	乗換駅での、歩行距離合計(m)
乗換数	乗換回数。
乗車時間	地下鉄車両乗車時間(秒)
乗換時間	乗換駅での乗換時間(秒)
待ち時間	始発駅、乗換駅での地下鉄待ち時間合計(分)
ホーム移動距離	始発駅から乗る際、乗換駅にての最適降車扉にて降車するためのホーム移動距離。また目的駅にて階層移動媒体に一番近い扉までの移動距離。
エネルギー	始発駅から目的駅までの消費エネルギー(キロカロリー)
総歩行距離	始発駅から目的駅までの総歩行距離(m)
総階段数	上り下りの階段数を加算した、目的駅までの総階段数
出発時刻	その時刻に始発駅のホームにいる時刻
到着時刻	その時刻に目的駅のホームの階層移動媒体にいる時刻

なお、乗換駅に関しては、地下鉄車両の乗車扉位置から乗り換え時のホーム歩行距離も推計している。これを移動抵抗に用いることで、より実態に近い正確な情報が得られる。扉情報算出のフローを図-7に、補足情報として得られる経路上の最適な乗降扉の表示例を図-8に示す。

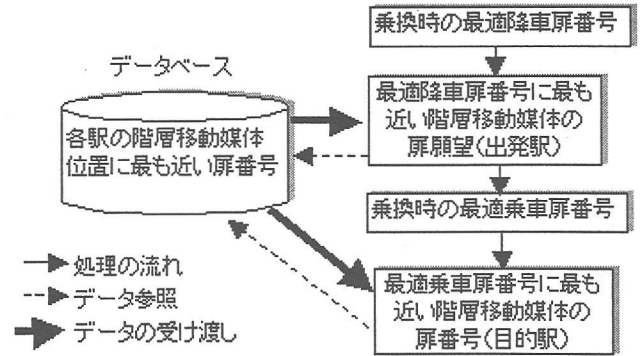


図-7 扉情報算出のフロー

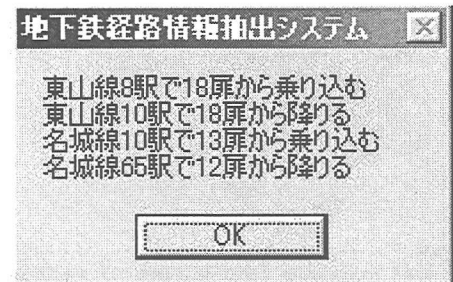


図-8 経路上の最適乗降扉の表示例

(4) 計算条件によるソートと最適経路の表示

ここまでで得られた経路情報をもとに、最短時間あるいは最小消費エネルギーの2種類の基準を主キーとして、候補となる経路をソートすることにより、設定した駅間の最適経路が得られる。図-9は、最適経路の表示例である。画面上の操作により、表示は第2最適経路、第3最適経路・・・といった切り替えができる他、すでに図-6で示したような一覧図も出力できる。また図のように、対応する経路について、(3)で示した経路情報も同時に表示される。

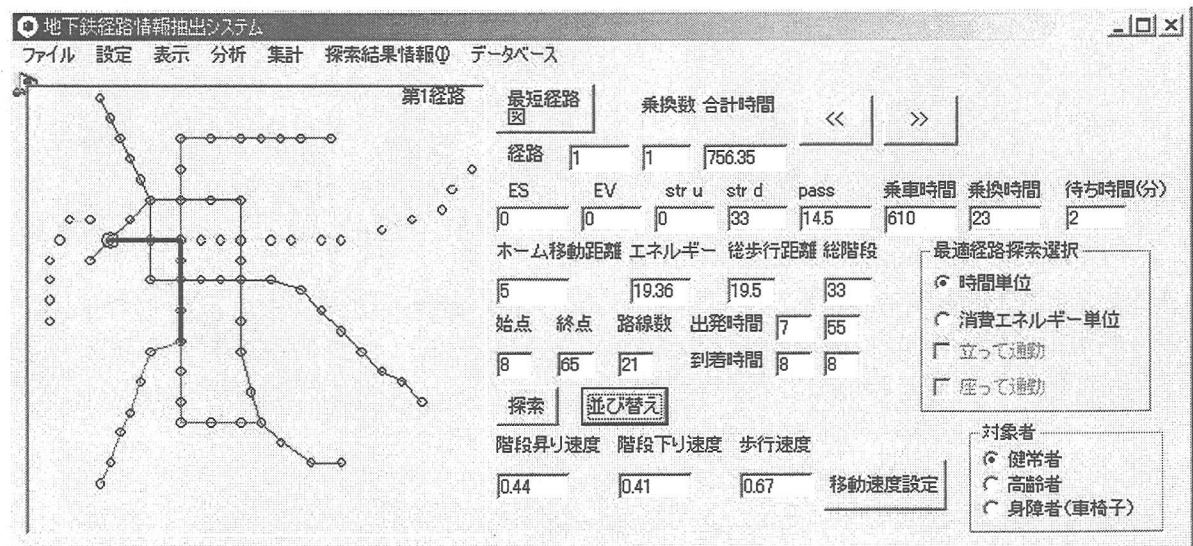


図-9 最適経路の路線図形式表示例

6. 乗客属性による最適経路の相違例の抽出

本節以降では、開発したシステムを用いて、名古屋市営地下鉄を対象に、最適経路の算出を行う。まず、健常者、高齢者、身体障害者といった身体的条件の違いにより、最適経路が異なる事例を抽出する。

(1) 移動速度に関する設定

システムでは、移動速度を元に所要時間を算出している。そこで、健常者と高齢者の移動速度を、歩行・階段上り・階段下りのそれぞれについて表-3のように設定した。健常者の移動速度は名城大学生10名の移動速度の平均から推計し、高齢者（ここでは70代と想定）の移動速度は高齢者白書から得た。なお、身体障害者については階段の利用が困難であるとの設定を行っている。

表-3 設定した移動速度

対象者	歩行速度 (m/秒)	階段上り速度 (段/秒)	階段下り速度 (段/秒)
健常者	1.50	2.27	2.44
高齢者	1.15	1.79	1.82

(2) 各属性の最適経路の算出結果

出発駅を浅間町駅、到着駅を平安通駅に指定し、

健常者、高齢者、身体障害者の最適経路（ここでは最短時間経路）を算出した例を図-10～図-12に示す。

これらの図から、設定した駅間では、身体的条件、特に歩行速度の違いにより、最適経路は異なることが明らかになった。

高齢者は健常者に比べ、移動速度が遅いことから乗換駅での乗り換え所要時間が大きくなる。多少乗車時間が長くても、乗り換え距離が短い駅で乗り換える方が、高齢者にとってはかえって早くなる経路が存在したわけである。

また身体障害者の場合は、乗換可能駅が限られるため、目的駅に行くためには大きく迂回する必要があるケースもあることが明らかになった。

もっともこうした例は、数の上では一部であり、健常者も身体障害者も同じ経路が最適である場合が多い。しかし、乗り換えが生じる場合には、ダイヤの影響が加わる、すなわち電車を1本「やり過ごす」ことが必要なケースも生じ、その所要時間が大きく異なることも頻繁に生じる。本稿では図示しなかったが、例えば妙音通駅～瑞穂運動場駅間では、健常者の所要時間4分に対して、身障者の所要時間は9分となっている。

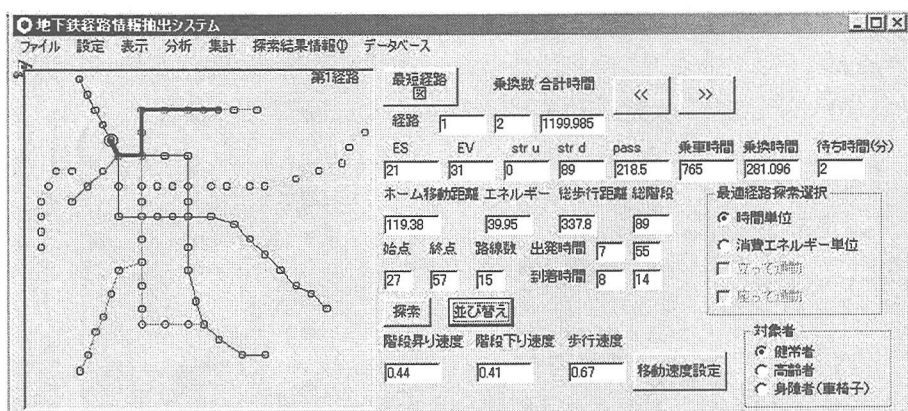


図-10 健常者の最短時間経路

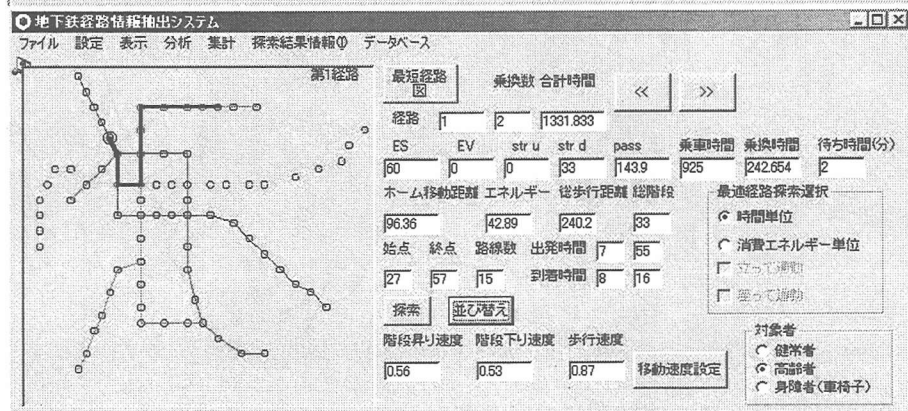


図-11 高齢者の最短時間経路

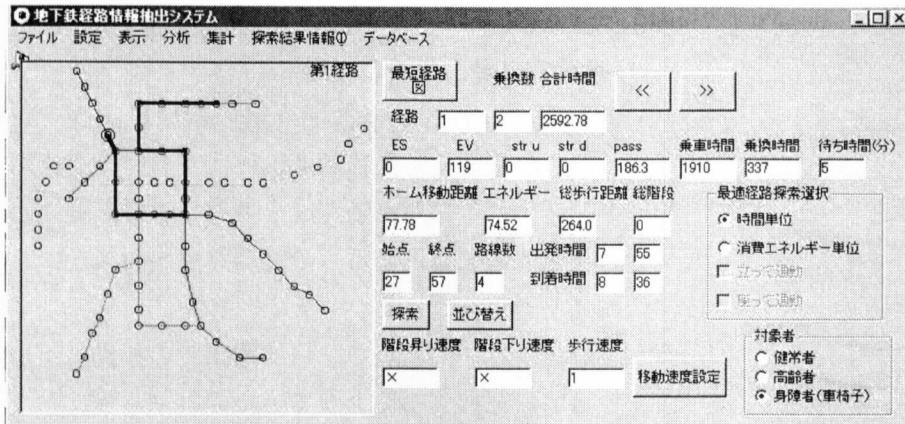


図-12 身体障害者の最短時間経路

7. 最短時間経路と最小消費エネルギー経路の

相違例の抽出

さて、図-13と図-14は、最小消費エネルギーの経路と、最短時間経路が異なる例である。すなわち、一般には最短時間経路が最適経路と見なされるが、これが必ずしも消費エネルギーの観点からは最適経路と見なすことはできないことが明らかになった。

何が「最適」かの判断基準はTPOに応じて異なるであろうが、現に算出基準により異なる「最適」経路がある以上、今後の高齢者の外出行動の増加に対応し彼らの立場に立った検討を進めるうえでも、こうした価値判断の視点を取り入れることも必要になってこよう。

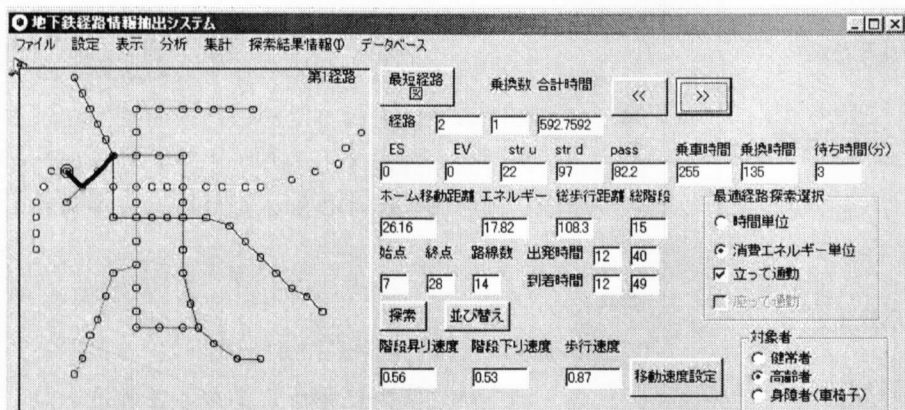


図-13 最小消費エネルギー経路

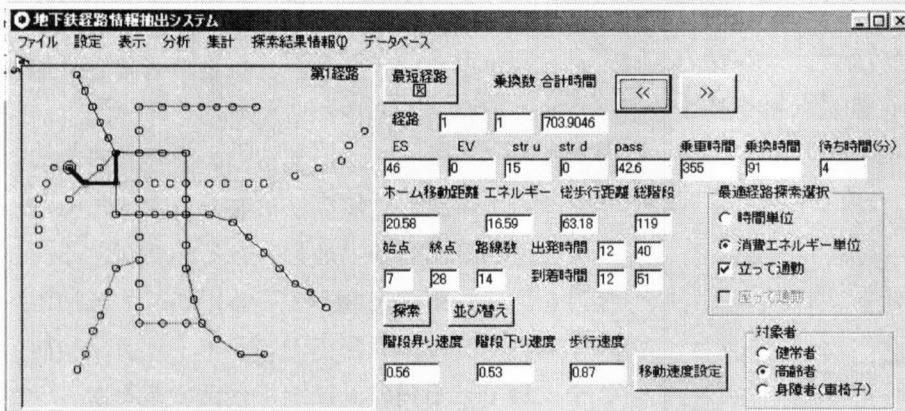


図-14 最短時間経路

8. 最適経路の時間的変化の分析

本システムでは運行ダイヤに関する情報もとりにこんで、乗り換え時の電車の待ち時間も考慮している。

さて、出発時刻によって乗換駅での待ち時間が異なるため、これが影響して最適な経路が時間により変化する場合がありますと考えられる。

そこで、単位時間ごとに最適経路を算出して、この種の時間的な「ぶれ」を検証することにした。

具体的には健常者を対象として、図-15に示すように、対象ODを指定し、6時から24時まで1分単位での最短時間経路の算出を行なった。庄内通駅～今池駅間に関する分析結果を図-16に示す。

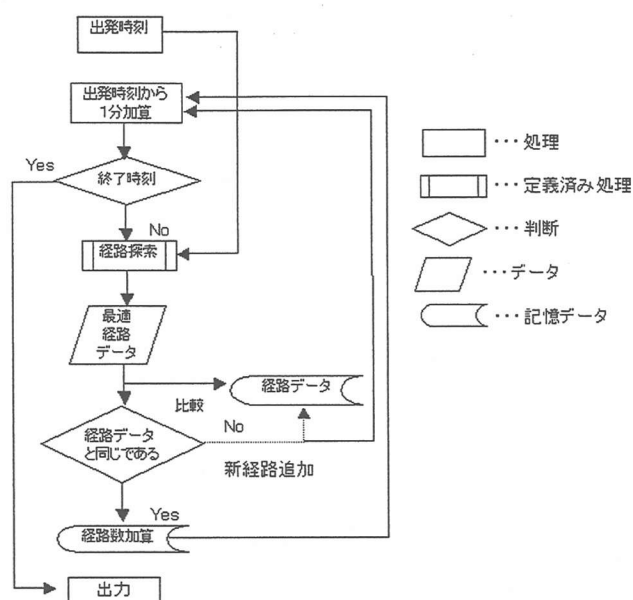


図-15 最適経路に関する時間的変化の分析フロー

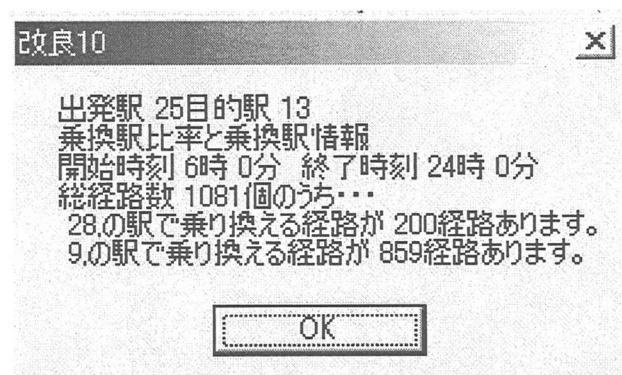


図-16 最適経路の時間的変化の分析結果

これらの駅間では、延べ1081ケースについて算出した結果、丸の内駅で乗り換えた方が早い図-17のケースが200回、伏見駅で乗り換えた方が早い図-18のケースが859回生じている。なお、回数合計が総数1081に満たないが、これは終電近くの時間において目的駅まで到達できなかったケースである。

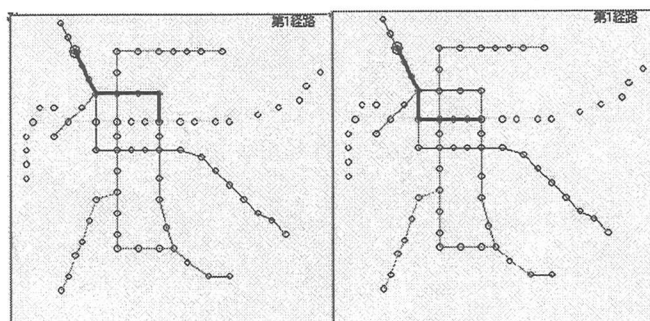


図-17 丸の内経由のケース 図-18 伏見経由のケース

9. おわりに

(1) 研究の成果と今後の課題

本研究では名古屋市営地下鉄の駅施設調査を行い、これから得られた移動抵抗に関するデータを用いて、運行ダイヤや移動速度を考慮して最適経路とその経路情報を算出する「最適経路算出システム」の開発と適用を行った。

これにより、出発駅から目的駅までの移動抵抗値を定量的に把握することができたのみならず、

- ①健康者・高齢者・身障者といった身体的条件の違いにより最適経路が異なるケース
- ②最短時間・最小消費エネルギーといった算定基準の違いにより最適経路が異なるケース
- ③運行ダイヤの影響により、出発時間により最適経路が異なるケース

が存在することを示した。

本研究で明らかにした事項そのものは、いわば「反例」の抽出にとどまっており、全体のODのうち、こうしたケースがどれくらい存在するのか等、総体的に交通機関の評価を行うための情報の抽出を試みることが最優先の課題であろう。また、こうしたケースが生じた要因に関する詳細な分析も今後必要となる。

さらに、

- ①本研究での経路探索はホーム～ホームであり、地下鉄に実際に乗るにあたっての地上から改札、改札からホームまでの移動抵抗は加味されていない。今後、これらの情報を付加したより精密な分析が望まれる。
- ②利用者の立場からは、都市内の公共交通機関をすべて考慮して移動抵抗を分析すべく、バス交通も算出対象に取り入れる必要がある。
- ③最も大きな隘路となっているポイントを抽出することで、施設整備のプライオリティ検討を支援できる情報を抽出すべきである。

といったように、算出値の精度と情報レベルを高めることも今後の課題としてあげられる。

しかしながら、今まで疑問なく用いられてきた「最適経路＝最短時間経路」という概念だけでなく、最小移動エネルギー、すなわち最「楽」な経路は、高齢化社会における公共交通利用の増進を図るうえで重要であるとの考え方を提示し、実際に、判断基準

を変えると最適な経路が異なる場合が存在することを実証できたことが、本研究のもっとも大きな意義だと考えている。

また上記の①、②については、本システムの枠組みに変更を加えることなく拡張を図ることができ、データの収集範囲を拡大することで対応が可能である。この意味で、本システムは地下鉄を対象としたものにとどまらず、公共交通を対象としたシステムと考えてもよい。

(2) システムの利用可能性

最後に、今後のあるべき公共交通の姿を考えると、本研究で提案したようなシステムは、バリアフリー施策、あるいは情報提供施策と関連させて適用を進めていくべきであることを指摘したい。

最初に述べたような社会的背景を踏まえ、「高齢者、身障者等の公共交通機関を利用した移動の円滑化の促進に関する法律」、いわゆる「交通バリアフリー法」が平成12年11月より施行されており、今後は公共交通機関における施設整備が急ピッチで進められ、移動制約者の社会参加が一層促進されるものと期待される。しかし現状では、こうした施設整備は、ともすれば整備率や施設数の増加が目標とされ、交通行動の連続性が考慮されているとは言い難い側面もあることを指摘せざるを得ない。

例えば、発駅・着駅には地上からホームへのエレベータが完備されていたとしても、乗り換えが必要な途中駅等、経路上に一カ所でも隘路となる場所が残っていれば、移動制約者にとっては、その経路を用いた交通行動は全く不可能となる。あるいは、駅構内のエレベータについても、通常の乗客の動線から大きく離れた位置に設置されていることが少なからずあり、本来移動制約者のための施設であるにもかかわらず、彼らの歩行距離が、迂回を強いられることでかえって長くなってしまう。もちろん、駅空間の構造上の制約や経済面から設置場所が限られる事情は理解できるものの、移動の連続性の観点からは、施設整備が十分な効果を発揮しているとは言えないだろう。

本研究で行ったように、とり得る経路を具体的に示し、また実際の移動抵抗値を定量的に算出することで、交通機関の連続性や最適性の現状を明確にすることができ、ボトルネックの効果的な解消策の検

討等をはじめとする施設整備の優先順位決定といった計画策定に有用な情報が提供できると考える。

また、乗客への適切な情報提示に関しても、本研究の試みは、今後検討すべき方向を示していると思う。

我々は、地図や時刻表といった書籍や、券売機上部に掲示されている路線図により、(しばしば無意識にはあるが)発駅から着駅への最短経路を読みとることで、乗換駅等の重要な情報を得ている。しかし高齢者や身体障害者にとっては路線図から想定した経路が最「楽」経路でないばかりでなく、しばしば最短時間経路でもないことを、本研究では明らかにしたわけである。ただし筆者の立場は、目的駅まで迂回を強いることを問題とするのではなく、迂回してでもいけるという情報を提示することであり、これは利用者にとっても重要な情報であると考ええる。現実には、高齢者、身体障害者を対象とした情報が乏しいゆえに、公共交通機関の利用が避けられているといった側面があるだろう。例えば目的駅までのもっとも身体的負荷の少ない経路が明確に情報提供される環境を整えば、潜在交通需要を顕在化させることができる可能性は高く、この種の情報提示の重要性を指摘したい。そして今後は、本研究で開発したプロトタイプシステムを参考に、実際の場で、それぞれの人の条件、属性にあった情報を示すことができる実用システムの開発が望まれるところである。

以上の考察からは、本研究の成果は、算定値そのものとともに、システムの開発と適用を通して明らかにしてきた最適経路に対する概念の提示、収集すべきデータの例示も含めた実際の算定手法にあるとすることができる。ここでの知見が、例えば案内システムへの実装につながれば幸いである。

また、研究を始めるにあたり市販のGISの利用も検討したが、迂回を考慮したり消費エネルギーを最適基準とするといった条件設定が不可能であったり、選択可能経路を複数算出する仕様となっていないことから利用を断念した経緯がある。本システムは、分析のニーズにあった機能と仕様を持ち、しかも最小限のデータから経路情報を算定できることが大きな特徴であることはすでに述べた通りである

が、一方で、既存のGISも、交通系の分析に必要な機能を見極め、実装が進むことを望みたい。

謝辞

最後になったが、本研究を進めるにあたり、黒野正裕氏をはじめする名古屋市交通局の諸兄には、駅施設調査の許可や、ダイヤ情報等の貴重な資料の提供など、多大なご協力をいただいた。ここに記して感謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 金 俊昭, 北村直輝, 近藤 勝, 山田 稔(2000), 「歩行困難者を考慮した階段とエスカレーターの経路選択構造に関する研究」, 都市計画学会論文集, No.35, pp. 583~588
- 2) 金 俊昭, 山田 稔, 近藤 勝(1999), 「上下移動施設の配置に着目した駅前ペDESTリアンデッキの歩行困難者動線に関する研究」, 交通工学, Vol.34, ,pp11~19
- 3) 田尻 要, 伊達志日流(1998), 「公共交通施設におけるバリアフリー化を目的とした移動連続性に関する調査」, 都市計画学会論文集, No.35, pp.205~210
- 4) 夏目浩次, 若林拓史(2000), 「障害の属性を考慮した駅空間における移動容易性に関する研究」, 土木計画学研究・講演集 No.23(2), pp.871~874