

公共交通機関における移動制約者の最適経路情報の算定*

A Study on Extracting Optimum Route for Handy-capped Passengers on Public Transportation*

金森俊樹**・吉川耕司***

By Toshiki KANAMORI**・Koji YOSHIKAWA***

1. 研究の背景と目的

我が国でも、高齢化が進行し、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・行動範囲の拡大に伴って、高齢者の交通事故也多発しており、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。

こうした背景を踏まえ、「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月に施行された。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、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。

例えば、発駅・着駅には地上からホームへのエレベーターが完備されていたとしても、乗り換えが必要な途中駅等、経路上に一か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。

同様にそれぞれの駅構内についても、駅のエレベーターは、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。

本研究はこうした問題意識をふまえ、実際に乗換駅にはどれだけの移動抵抗が存在するのかを明確にしようとしたのが端緒である。そして考察を進めるうちに、健常者と移動制約者では移動抵抗の算定基準が異なるのではないかと、その結果、最適経路も異なってくるのではないかと考えるに至り、様々な身体的状況に対応した移動抵抗の算出と、それに基づいた最適経路の算定を行うことにしたわけである。

具体的には、名古屋市営地下鉄を対象として、様々な算定基準のもとでの移動抵抗値と最適経路を算出できる「経路情報算出システム」を開発し、これを用いて、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ている。

2. 従来の研究と本研究の特徴

移動制約者の公共交通機関を用いた交通行動に関する研究については金ら^{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移動制約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・伊達³⁾、夏目・若林⁴⁾は、駅空間の移動連続性の見地から、健常者と移動制約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、上記の研究のように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。これにより、様々な条件によ

*キーワード：公共交通、移動制約者、最適経路探索

**学生会員、修士課程、名城大学大学院都市情報学研究科

(〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3, Tel 0574-69-0100

Fax 0574-69-0155, e-mail: c7011003@urban.meijo-u.ac.jp)

***正員、博士(工学)、名城大学都市情報学部都市情報学科

(〒509-0261 岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3, Tel 0574-69-0133

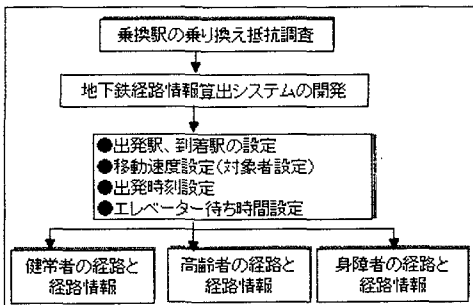
Fax 0574-69-0155, e-mail: mail@yoshikaw.com)

る経路情報の算出を可能としている。例えば、一般には「最短時間経路＝最適経路」という判断がされるが、本研究では、高齢者にとってはむしろ「最『楽』経路＝最適経路」ではないかと考え、移動エネルギー最小を基準とした最適経路算定も取り入れている。

3. 研究の構成

(1) 研究のフロー

本研究は図－1で示す手順で行っている。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

(2) 移動抵抗値の算出方法

すでに述べた目的をふまえ、発駅・着駅間の移動に要する時間あるいはエネルギーの合計値を、本研究で求める「移動抵抗」の値とし、次式を用いて算出した。

$$\text{移動抵抗値} = \text{①発駅での移動抵抗値} + \text{②着駅での移動抵抗値} + \text{③} \sum (\text{乗車中の移動抵抗値}) + \text{④} \sum (\text{乗換駅での移動抵抗値})$$

乗車区間数 乗換駅数

ただし、時間に関する移動抵抗値の場合には、

- ①(階層移動媒体～乗車扉間の歩行時間) + (ホームでの待ち時間)
- ②降車扉～階層移動媒体の歩行時間
- ③対象駅間の運行ダイヤ上の所要時間
- ④(降車扉～乗車扉間の移動所要時間) + (ホームでの待ち時間)

となり、また、エネルギーに関する移動抵抗値の場合には、

- ①階層移動媒体～乗車扉間の移動消費エネルギー
- ②降車扉～階層移動媒体間の移動消費エネルギー
- ③ = 0 (エネルギー消費なし)
- ④降車扉～乗車扉間の移動消費エネルギー

となる。

また、駅では、

- ・ 乗車駅：代表的な改札（あらかじめ設定）に最も近い階層移動媒体→乗車扉（＝乗換駅・着駅での最適降車扉）
- ・ 降車駅：降車扉（乗車扉と同じ）→扉に最も近い階層移動媒体
- ・ 乗換駅：降車扉（乗車扉と同じ）→扉に最も近い乗換前ホーム～コンコース間の階層移動媒体→最も近いコンコ

ース～乗換後ホーム間の階層移動媒体→乗車扉（＝次の乗換駅・着駅での最適降車扉）

といった動線をとるものとし、ホーム歩行時間（または消費エネルギー）や、階層移動媒体間のコンコースの歩行時間（または消費エネルギー）を合算していく。

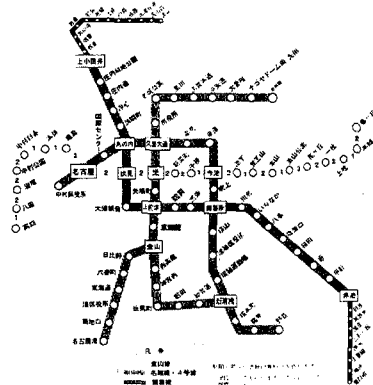
なお「階層移動媒体」とは、階段・エスカレーター・エレベーターの総称であり、個人属性に応じてどれを利用するかは、次の（3）に示す条件による。

(3) 算出対象とする個人属性の設定

本研究では算出対象を、健常者、および移動制約者として高齢者、身障者の3つの属性とした。高齢者については、歩行速度や階段での昇降速度を健常者より低く設定する。身障者については、ここでは車椅子利用者を想定し、歩行速度については高齢者と同等とし、階段・エスカレータの利用を不可能と設定する。

(4) 乗換駅の施設調査の概要

本研究の対象とした名古屋市営地下鉄（図－2）は、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。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、全乗換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。調査結果をもとに、階層移動媒体～ホームや乗換えの経路が複数ある場合には、健常者と移動制約者のそれぞれについて、移動抵抗が最小になると考えられる経路をあらかじめ定めた。



図－2 名古屋市営地下鉄の路線図

表－1 施設調査の項目

調査項目	説明
歩行距離	駅構内を歩く歩行距離(m単位)
エレベーター乗車時間	エレベーターに乗っている時間(秒)
エスカレーター乗車時間	エスカレーターに乗っている時間(秒)
上り階段数、下り階段数	階段段数
扉情報	乗り換えする際、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) 地下鉄経路情報算出システムの開発

本研究では、Visual BASIC 言語を用いた地下鉄経路情報算出システムを独自に開発した。システムの構成と操作手順は図-3に示すものであり、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経路情報を算出する。始点ノードと終点ノードを指定すると、目的ノードに到達する経路を全て抽出し、それぞれの経路について(2)で示した移動抵抗値を計算するわけである。そして、こうして得られる各経路の所要時間や消費エネルギーを主キーとしてソートすることによって最適経路と、その経路に関する情報を算出している。表-2に算出される経路に関する情報の一覧を示す。

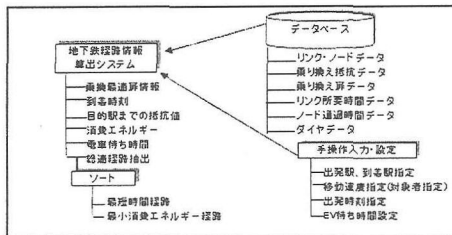


図-3 システムの構成と操作手順
表-2 算出される経路に関する情報

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)
乗換回数	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(秒)
ホーム移動距離	始発駅から乗車時、乗換駅にての最適降車駅にて降車するためのホーム移動距離。また目的駅にて、改札への階層移動媒体(エレベーター)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。(kcal/リットル)
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	上下りの階段数を加算した、目的駅までの総階段数
到着時間	着駅のホームにて改札への階層移動媒体まで移動した時刻
路線図	経路の路線図が黒線で路線図に描画される

なおホームでの移動に関しては、電車の待ち時間を利用して、着駅・乗換駅での階層移動媒体の利用に適する乗降扉まであらかじめ移動することを想定し、図-4に示す方法で最適な乗降扉を推定し、ホーム歩行距離の算出に用いている。図-5は最適な乗降扉の表示例である。

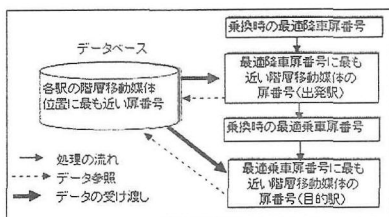


図-4 扉情報算出のフロー

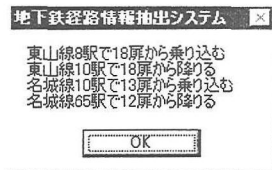


図-5 経路上の最適乗降扉の表示例

健康者、移動制約者に関する歩行速度・階段昇降速度等の個人属性(身体的条件)と、図-6に示すようなエレベーターの待ち時間条件を設定した後、出発駅と到着駅を図-7に示したようなインターフェースを使って与え、さらに出発時刻を指定することで、条件に見合った最適経路を抽出することができる。経路は複数抽出することができ、またそれぞれの経路の経路情報、すなわち移動抵抗や乗換所要時間、到着時刻を出力することができる。経路情報の算出結果例を図-8に示す。

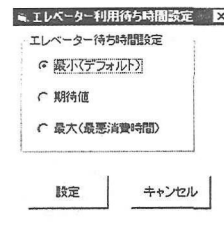


図-6 エレベーターに関する条件設定



図-7 出発駅・到着駅の設定

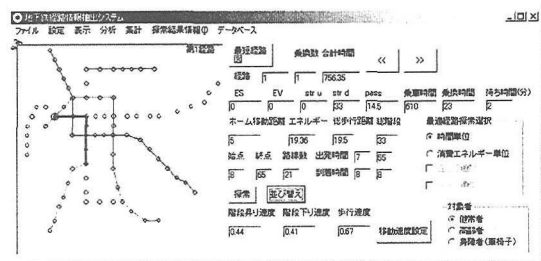


図-8 経路情報の算出結果例

4. 経路情報の算出

(1) 移動速度に関する設定

システムでは、移動速度をもとに所要時間を算出する方式をとっているため、まず、健康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定め、システムの設定値とした。

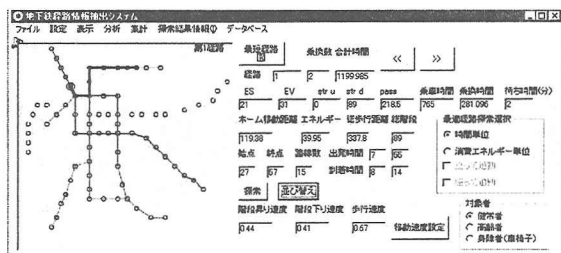
健康者の移動速度は学生の移動速度の平均から推計し、高齢者(ここでは70代と想定)の移動速度は高齢者白書から得た。表-3は健康者と高齢者の移動速度を表したものである。システムでは、こうした条件は自由に値を設定できるようになっている。

表－４ 設定した移動速度

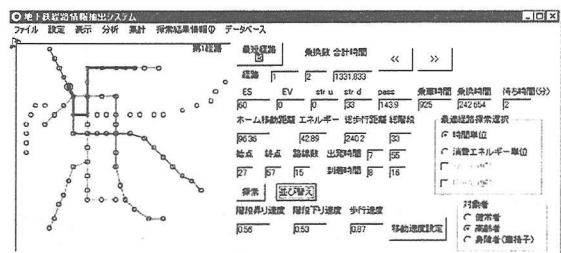
対象者	歩行速度(m/秒)	階段上り速度(段/秒)	階段下り速度(段/秒)
健常者	1.50	2.27	2.44
高齢者	1.15	1.79	1.82

(2) 各対象者の経路情報算出結果

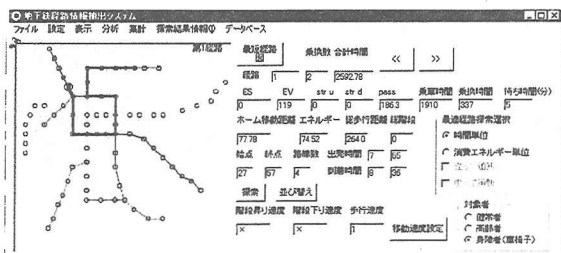
出発駅・到着駅と出発時刻を指定し、健常者、高齢者、身障者の経路情報を算出した。算出結果の例を図－９～図－１１に示す。これらは時間でソートした最短時間経路情報である。



図－９ 健常者の経路情報



図－１０ 高齢者の経路情報



図－１１ 身障者の経路情報

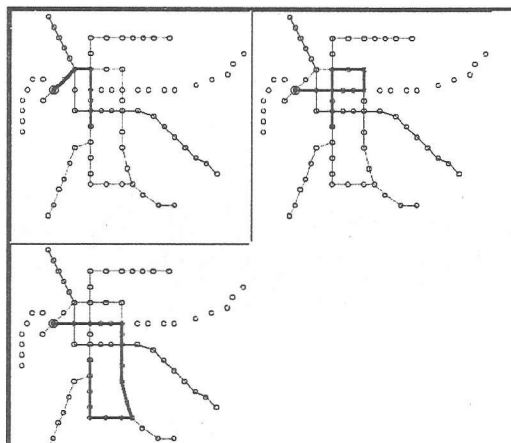
これらの図から、例に示した出発駅～到着駅間では、身体的条件、特に歩行速度の違いにより、最適経路は異なることが明らかになった。

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、乗換え距離が短い駅で乗り換える方が、所要時間が早くなる経路が存在したわけである。

また身障者（車椅子）については、階層移動媒体が階段しかない駅の場合は乗換えが不可能となるため、目的駅に到達するためには大きく迂回する必要があるケース

の存在も明らかになった（図－１２）。

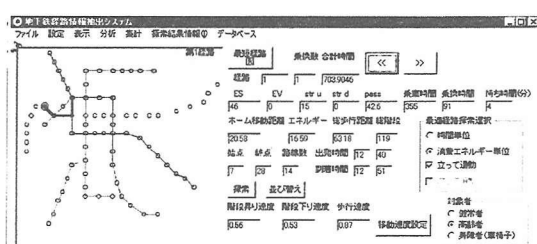
当然こうした例は数の上では一部であり、健常者も身障者も同じ経路が最適である場合が多い。しかし、一方でダイヤの影響も加わる。すなわち電車を１本「やり過ごす」ことが必要なケースも生じ、その場合には歩行速度の差異以上に、健常者・身障者間の所要時間の差が大きくなる。



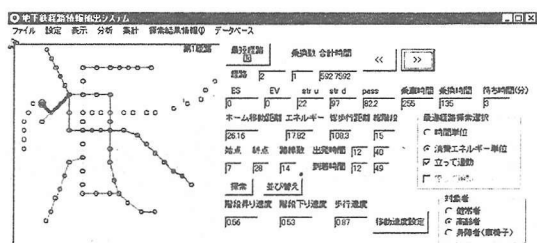
図－１２ 名古屋駅～東別院間の身障者経路の一覧

(3) 最小消費エネルギー経路と最短時間経路の相違

図－１３と図－１４は、最小消費エネルギー経路と、最短時間経路が異なる例である。一般には最短時間経路が最適経路と見なされるが、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。消費エネルギーが最も少ない経路は、最も身体的負担の少ない経路でもあるといえる。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



図－１３ 最小消費エネルギー経路



図－１４ 最短時間経路

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。

(4) 最短時間経路の時間的変化に関する分析

本システムは運行ダイヤ情報を含んでいることから、乗換時の電車待ち時間を考慮できる。出発時刻によって電車待ち時間が異なるため、これが影響して、最短時間経路が変化する場合があると考えられる。そこで、単位時間ごとに経路情報を算出して、こうした最短時間経路の「ぶれ」を検証することにした。

ここでは健康者を対象として、対象 OD を指定し、6時から24時までの1分単位に出発時刻を設定して経路情報の算出を行い、取り得た経路それぞれについて、その回数をカウントした。

庄内通駅～今池駅間の結果の出力例を図-15に示す。これらの駅間では、延べ1081の出発時刻について計算した結果、丸の内線で乗換えた方が早い図-16のケースが200回、伏見駅で乗換えた方が早い図-17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、これは終電近くの出発時刻では目的駅まで到達できなかったケースである。

この結果より、同じ個人属性をもつ対象者であっても、最短時間経路は運行ダイヤが影響して時々刻々変化することが明らかになった。

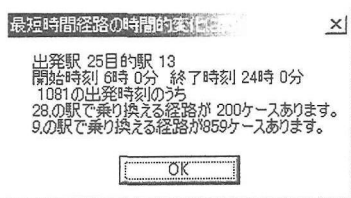


図-15 最短経路の時間的変化の集計結果

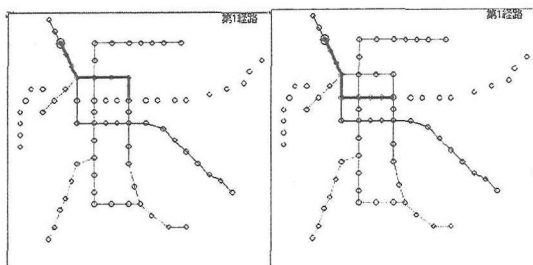


図-16 丸の内経由のケース 図-17 伏見経由のケース

5. 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、ここ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地下鉄経路情報算出システムを構築した。そしてシステムを利用することによって、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 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、出発時刻により最短時間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、通常、最適と認識される経路とは異なる「ケース」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のが最優先の課題であろう。また、これら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 本研究で対象とした区間は、発駅ホーム～着駅ホームであり、地下鉄に実際に乗るにあたって移動が伴う、地上から改札、改札からホームまでの移動抵抗値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 本研究では、乗換駅での動線は、乗換前後の路線ペア及び方向別に、調査結果をもとに筆者らが定めておき、あらかじめ与えられた計算条件により乗換駅での移動抵抗値を算定している。本来は、構内図等をもとに駅内にもいわば「歩行経路ネットワーク」を設けて、「路線ネットワーク」と同様の算定方法をとる方が、条件変化への対応性が増すとともに、システム全体の整合性も高くなると思われる。
- ③ 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最適経路を算出すべく、バス交通も対象に取り入れる必要がある。その場合、上記②に示した計算方式への改良が必須となるが、その場合には実用的な時間で算出が可能となるように、さらにアルゴリズム等の改良を要するであろう。
- ④ 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等、施策に活かせる形で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であろう。

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

方を示し、目的駅までの消費エネルギーの観点からは、高齢者や身障者にとって最短時間の経路が最適経路とはいえず、目的駅までより身体的負荷の少ない経路が存在し得ることを確認できたことは、ともすれば健常者を想定した経路情報のみが提供されている現状に注意を喚起するという意味において、一定の成果を示すことができたと考える。

(2) システムの利用可能性に関する考察

我々は、自由目的で公共交通機関を利用する際には、路線図から無意識に最適経路を判断しがちである。乗換抵抗、運行ダイヤ、移動の連続性等は、意思決定の際には考慮されない場合が多い。しかし本研究で明らかにしたように、見かけ上と実際の最適経路が異なる場合も多くあり、また移動目的や個人の身体的状況により最適経路は異なるわけであって、個々の利用者の便益のためにも、さらには総移動コストを最小化するという視点においても、本研究で示したような諸情報を、公共交通利用者に提供することが望まれる。

さらに言えば、高齢者や身障者こそが、公共交通利用時にはこの種の情報の必要度・重要度が高いわけであり、こうした利用者個々の属性に合った情報を示すことができる実用システムの開発と運用を期待したい。さらに、利用が可能か否か、可能であるとすればどれだけの時間コスト、エネルギーコストがかかるか、といった情報を、駅構内だけでなく自宅等でも入手可能にすることができれば、潜在交通需要を顕在化させる可能性もある。

その際には、なるべく煩わしさが少ない形態で情報提供がなされるように考慮されなければならない。携帯電話の利用も一つの方法ではあるが、非所持者や操作に不慣れた高齢者なども含め、万人向けとはいいがたい。公共交通利用時の動線上で、情報取得という意識をもつこと

なく、必要な情報を得ることができる方法でなければ継続的な利用は期待できない。

高齢者や身障者も含め、マイカー依存型から公共交通機関の利用へとシフトしていくためにも簡便な情報提供の形態とそのためのインフラが不可欠であり、本研究での成果が、今後の情報提供システムの実用化の一助になれば幸いである。

謝 辞

本研究を進めるにあたり、黒野正裕氏をはじめと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。

参考文献

- 1) 金 俊昭, 北村直輝, 近藤 勝, 山田 稔:「移動制約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」, 都市計画論文集, No.35, pp. 583-588, 2000
- 2) 金 俊昭, 山田 稔, 近藤 勝:「上下移動施設の配置に着目した駅前ペDESTリアンデッキの移動制約者動線に関する研究」, 交通工学, Vol.34, pp.11-19, 1999
- 3) 田尻 要, 伊達志日流:「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」, 都市計画論文集, No.35, pp.205-210, 1998
- 4) 夏目浩次, 若林拓史:「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, 2000

公共交通機関における移動制約者の最適経路情報の算定

金森俊樹・吉川耕司

本研究では、名古屋市営地下鉄を対象として、高齢者や身障者といった身体的属性等の条件を設定することが可能で、かつ最短所要時間や最小消費エネルギーといった様々な算定基準のもとでの移動抵抗値と最適経路を、ダイヤ情報を加味して算出できる「最適経路情報算出システム」を開発した。さらに、これを用いて、健常者と移動制約者の最適経路の乖離、最小消費エネルギー経路と最短時間経路の相違、出発時刻による最適経路の時間的変化等に関する分析を行うとともに、この種のシステムの実用化に関する考察を行っている。

A Study on Extracting Optimum Route for Handy-capped Passengers on Public Transportation

Toshiki KANAMORI・Koji YOSHIKAWA

A case study of Nagoya municipal subway, we compute transfer-required time from transfer resistance and individual movement speed. Besides, we pick out the optimum route plus train schedule by Subway Route Information System. The term "the optimum route" can be defined in this study as the shortest time route and the least consumption energy route. Judging from the above, we inquire into computing route information.