

# 最小費用Hyperpath探索アルゴリズムを用いたバスサービス評価に関する研究\*

## Study on Bus Service Evaluation Using Minimum Cost Hyperpath Finding Algorithm\*

倉内文孝<sup>†</sup>・嶋本寛<sup>‡</sup>・王萍<sup>§</sup>・飯田恭敬\*\*

By Fumitaka KURAUCHI<sup>†</sup>・Hiroshi SHIMAMOTO<sup>‡</sup>・Ping WANG<sup>§</sup>・Yasunori IIDA\*\*

### 1 はじめに

環境問題への関心の高まりや高齢化社会に向けての自動車以外の移動手段の確保など、公共交通の果たす役割はますます重要となっており、より使いやすい公共交通を目指した検討が必要といえる。特にコスト面からみれば、わが国の公共交通は事業者ごとに運賃が設定されており、事業者の異なる公共交通を乗り継げば料金が割高になるという問題を抱えている。それに対して、ヨーロッパの都市で多く導入されている共通運賃制度の導入によって、乗り継ぎ抵抗が軽減され、利用者の利便性が向上することが指摘されており<sup>1)</sup>、なおかつ社会実験として我が国においても実施されている<sup>2)</sup>ものの、サービス事業者にとっては減収に直結する制度であり導入が進んでいないのが現状である。利用者一人あたりから回収できる金額は減少したとしても、大幅な利便性向上が可能であり、ひいては利用者の増加が期待されることについて、何らかの数値的根拠を提示することが肝要といえよう。これに対して、中川ら<sup>3)</sup>は京都市における公共交通機関を対象として、乗り継ぎの有無に関わらず距離によって一定の運賃である共通運賃制度導入による乗客全体の所要時間短縮効果を、シミュレーションモデルを用いて分析している。シミュレーションモデルを活用することにより、バス、鉄道のダイヤを明示的に再現することが可能であり、最短費用経路が動的に変化することを表現可能としている一方で、多大な計算コストを要することが欠点としてあげられる。また、公共交通における施策評価では、乗客全体のサービスレベルを評価するだけでなく、乗客間のサービスレベルの格差も評価する必要がある。本研究では最小費用経路算出アルゴリズムを用いて停留所間の期待最小一般化費用を求め、その値を停留所ペア間で比較することや、料金体系を変化させたケースで比較検討することで、バス交通のサービスレベル

評価が可能であることを示すことを目的とする。京都市のバスネットワークを計算対象として分析を進める。本研究では、一般化費用を最小化することを利用者の行動規範としモデル構築を進めるが、その算定の際に利用する時間価値パラメータの感度分析を行い、その影響についてまず整理する。さらに、サービスレベルの格差などを考察し、一定ゾーン内であれば乗り継ぎに対して追加料金が必要ないゾーン内固定運賃制度導入によるサービスレベル変化を示し、ゾーン内固定運賃制度導入によって利用者のサービスレベルが大幅に向上しうること示す。本研究で提案する手法は、静的な枠組みで確率的に乗車方法を表現可能な点、また評価手法として乗客数で重み付けするのではなく各停留所ペア間距離に応じた分散という形で評価を試みており、停留所ペア間の公平性を考慮している点が特徴的といえる。

### 2 分析方法

#### (1) 分析方針

本研究ではOD間の需要を考慮せず、停留所間の最小一般化費用およびその際の所要時間によってサービスレベルを比較評価する。停留所間の移動需要を考慮していないことより、混雑状況を再現あるいは評価することは不可能であるが、逆に需要の大小にかかわらず停留所ペア間のサービスレベルを評価可能であり、少なくとも利用者の公平性の観点から分析することは可能といえる。

#### (2) 分析の前提条件

計算を進めるにあたり以下を仮定した。

1. バスサービスは頻度ベースで運行されており、到着時間間隔は運行頻度の逆数を平均とするポアソン分布に従う、
2. 乗客は停留所にランダムに到着し、かつ次のバスがいつ到着するかはわからない、
3. 乗客は停留所ペア間について期待一般化費用が最小となるような経路を選択するものとする。

1.および 2.は静的な枠組みで問題を取り扱うために設定している。またこれらの仮定より、停留所において魅力的な路線集合のうち最も先に到着した車両に乗車することが期待費用の最小化を実現することとなる。このような期待費用を最小化する乗車方法の決定問題は

\* Keywords: 公共交通運用, サービス評価, ゾーン内固定運賃制度

† 正員, 博(工), 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻(〒606-8501 京都市左京区吉田本町, Tel 075-753-5126, FAX 075-753-5907, Email: kurauchi@urbanfac.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

‡ 学生員, 修(工), 京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

§ 正員, 西日本旅客鉄道株式会社

\*\*フェロー会員, 工博, (社)システム科学研究所

common lines problem<sup>4)</sup>と呼ばれる。なお本研究では、比較的高頻度で運行されており、目的地まで乗り継ぎを認めれば複数の路線が利用可能であることを前提としていることになる。そのため、そのような条件が満たされるような比較的都市部において適用可能な考え方といえる。

### (3) 期待一般化費用最小経路の算定方法

期待一般化費用最小経路を算定する際に common lines problem の影響により最適経路は確率的に記述される。ここでは、hyperpath の概念<sup>5)</sup>を援用する。hyperpath は、停留所ペア  $rs$  を接続する経路集合を示し、hyperpath に含まれるノードの集合  $I_p$ 、リンクの集合  $A_p$  および hyperpath に含まれるノードでの分岐確率  $T_p$  で表現される。また、hyperpath  $p$  の一般化費用  $g_p$  は、次のように記述される。

$$g_p = \sum_{a \in A_p} \alpha_{ap} c_a + \sum_{a \in A_p} \phi_a \alpha_{ap} t_a + \varphi \sum_{i \in I_p} \frac{\beta_{ip}}{F_{ip}} \quad (1)$$

ただし、

$c_a$  : リンク  $a$  の運賃

$t_a$  : リンク  $a$  の移動時間

$\alpha_{ap}$  : hyperpath  $p$  におけるリンク  $a$  の通過確率

$\phi_a$  : リンク  $a$  の移動に関する時間価値パラメータ

$\beta_{ip}$  : hyperpath  $p$  におけるノード  $i$  の通過確率

$\varphi$  : 待ち時間に関する時間価値パラメータ

である。 $1/F_{ip}$  はノード  $i$  における期待待ち時間を示しており、ノード  $i$  が停留所以外である場合には 0、そうでない場合には以下の式で計算される。

$$1/F_{ip} = 1 / \sum_{a \in A_p} \delta_{ai} f_a \quad (2)$$

ただし、 $\delta_{ai}$  はリンク  $a$  の始点がノード  $i$  なら 1、そうでなければ 0 とするダミー変数であり、 $f_a$  はリンク  $a$  の運行頻度を示す。なお、hyperpath  $p$  の中に含まれる全ての単一経路の集合を  $L_p$ 、各路線の経路選択確率を  $q_p$  とすると、リンク通過確率およびノード通過確率はノードおよびリンクが経路  $l$  に含まれているか否かを示すダミー変数  $\varepsilon_{al}$  および  $\gamma_{il}$  を用いて次のように記述できる。

$$\alpha_{ap} = \sum_{l \in L_p} \varepsilon_{al} q_{lp}, \beta_{ip} = \sum_{l \in L_p} \gamma_{il} q_{lp} \quad (3)$$

式(1)における第1項は、hyperpath  $p$  の運賃を示し各リンクにコストが計上されている。現実的には、様々な料金体系が設定されていることもあり、必ずしもリンクレベルで運賃を表現可能とは限らない。しかしながら、このように設定することで計算が簡略化できるため、運賃体系の表現についてはネットワークの表記方法を工夫することで対応する。

式(1)で示した期待一般化費用を最小化することによって最適経路を算定するが、この定式化においては、一

見  $rs$  間の考えられうる全ての経路  $l$  を数え上げる必要性がありこれを計算するのは非現実的にみえる。紙面の都合上詳細は省略するが、式(1)を適切に変形することで最適性の原理が成立するため、各目的地  $s$  に対して Dijkstra 法に準じた計算方法による計算が可能である<sup>6)</sup>。

### (4) ネットワークの表現方法

ネットワークは、先行研究<sup>6)</sup>で提案した方法を基本とし運賃を考慮するための拡張を行った。図-1(a)で示されるネットワークは、図-1(b)のように記述される。路線ごとにリンクを設定する必要があり多路線の場合には複雑となるが、common lines problem を考慮可能なこと、目的地ごとの路線利用状況が明示的に表現されることよりこの方法を採用した。

ここで、図-1(b)に示されたグラフモデルにおける乗車運賃の取扱いについて説明しておく。本研究では、バスに乗車するたびに均一料金がかかる運賃体系と、一度料金を支払ってしまえば何回バスを乗り継ごうが料金は一定である、ゾーン内固定運賃制度の2つについて検討を加える。前者については、乗車リンクに運賃を負荷することで表現できる。ゾーン内固定運賃制度については、出発地ノードから全ての停留所ノードへ接続されている徒歩リンクに運賃を設定する。これにより、バスを利用せずに徒歩のみで目的地に到達するには停留所間を直接接続するリンクを利用することで運賃を支払う必要がなく、一度でもバスを利用する場合には1回だけ料金が負

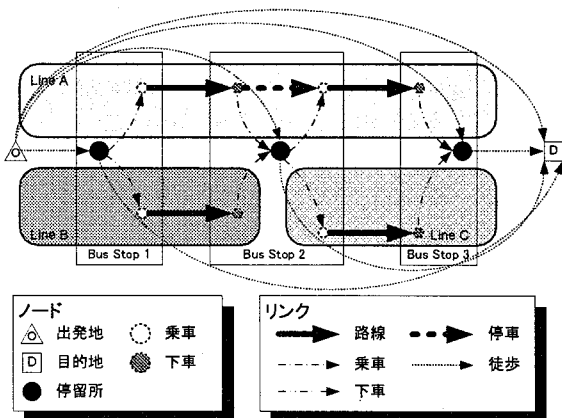
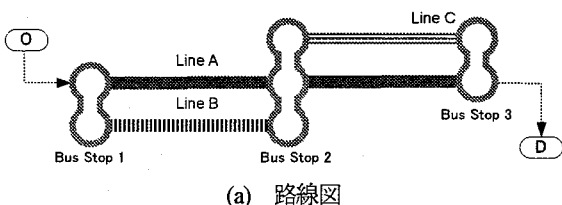


図-1 ネットワークの表現方法

荷されたリンクを通ることになる。また、乗車、乗り換えに対する心理的、肉体的抵抗を表す乗車抵抗を乗車リンクに設定する。

### 3 京都市バスネットワークでのケーススタディ

#### (1) 計算条件

##### (a) 計算対象ネットワーク

提案したアルゴリズムを京都市バスのネットワークの主要部分に適用した(図-2 参照)。北大路通、東大路通、西大路通と JR 東海道線で囲まれたエリアを対象とし、エリア境界の停留所までを含めた。対象地域は東西におよそ 4km、南北に 7km であり 50 の路線が運行されている。運行頻度および運行経路は 2004 年 11 月 26 日現在の「京都市バス・地下鉄路線図」に記載されている系統ごとの時刻表と運行経路を用いた。停留所数が 188 であり、交差点での位置関係により異なる位置に存在する停留所については別々のノードとして設定した。このデータを元にグラフモデルを作成した結果、ノード数 6,278、リンク数 219,576 となった。各路線の運行頻度は、朝のラッシュ時(7 時台)の 1 時間の運行本数より求めた。

運賃は計算対象エリアの中は均一料金区間に設定されており、1 回バスに乗車するごとに 220 円が徴収される。乗継割引(一定の条件がそろえば 90 円割引)や一日乗車券(均一料金区間内は 500 円で 1 日乗り放題)、回数券(最高 5,000 円で 26 回乗車可能)など様々な乗車券が発売されているが、ここでは乗車するたびに 220 円が

課金されるケースを現行運賃制度と位置づけて計算を進めることとする。

##### (b) 停留所での乗り継ぎの条件設定

本研究では、同じ停留所ノードであるならば、その停留所を利用する路線系統群で common lines が成立していると仮定している。そのため、同じ名称の停留所であっても異なる位置にあれば別ノードとして表現することにより、グラフモデル上では異なる停留所間として定義している。また、これら同一名称の停留所間は、道路を横切る必要のない乗り継ぎについては移動時間がかからないが、横切の場合は移動時間がかかることとした。

##### (c) 徒歩時間の計算

徒歩時間については、京都市内のネットワークがほぼ基盤状となっていることなどにより、各停留所の緯度経度を地図ソフトウェアより取得し、東西及び南北距離の和として停留所間距離を計算し、さらに分速 80m を仮定することで徒歩時間を算定した。

#### (2) パラメータに対する感度分析

本研究で用いるパラメータは、徒歩時間、停留所での待ち時間およびバスでの移動時間に関する時間価値、および乗車、乗り換えに対する心理的、肉体的抵抗を表す乗車抵抗が挙げられる。また、同一停留所における乗り換えのときの道路を横切る移動時間についても、ここではすべての停留所で同一であるとし、これをパラメータとして扱う。本研究では一般化費用の最小化を乗客の経路選択の規範としているため、これらのパラメータが計算結果に及ぼす影響を把握する必要がある。

##### (a) 時間価値パラメータに関する感度分析

まず乗車抵抗を 0 とし、それ以外のパラメータに対する感度分析を表-1にしたがって行う。表-1において、ベースケース(ケース 1)の時間価値パラメータは平井ら<sup>7)</sup>が交通機関選択実験を行い推定した値であり、ケース 2 からケース 9 は時間価値パラメータを 10%変動させた場合であり、ケース 10 および 11 は停留所における移動時間を変動させた場合である。図-3はケースごとの乗車方法の内訳を示したものであるが、徒歩時間価値を変動させたケース(ケース 4, 7, 8, 9)ではベースケースと乗車方法の内訳が異なっている。その他のケースでは乗車方法の内訳はベースケースと大きくは変わらない。したがって、徒歩時間価値パラメータは計算結果に影響を及ぼす可能性があるものの、乗車時間、待ち時間に関する時間価値パラメータおよびバス停間移動時間は計算結果に影響を及ぼしにくいといえる。

##### (b) 乗車抵抗パラメータに関する感度分析

次に乗車抵抗以外のパラメータを表-1におけるケース 1 に固定して、乗車抵抗パラメータを 0, 50, 100, 200, 300 (円/回)と変化させることにより影響を分析

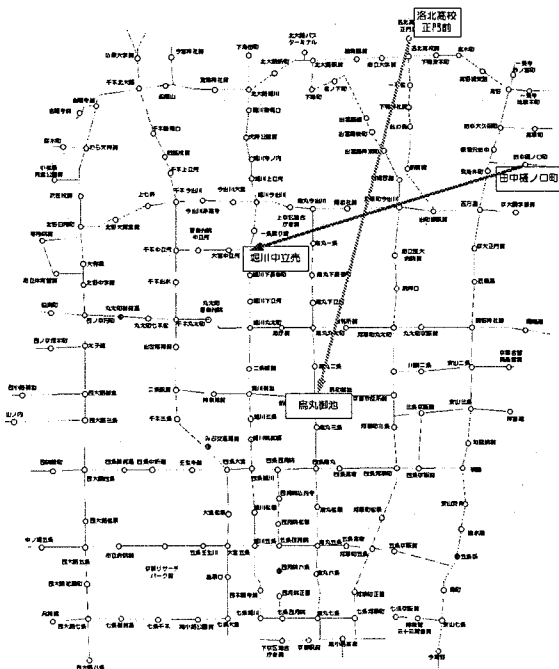


図-2 計算対象ネットワーク

表-1 感度分析に用いたパラメータ

| ケースID | 時間価値/パラメータ(円/分) |       |       | バス停における移動時間 |      | 備考          |
|-------|-----------------|-------|-------|-------------|------|-------------|
|       | 乗車時間            | 待ち時間  | 徒歩時間  | 横断なし        | 横断あり |             |
| 1     | 10.25           | 18.50 | 37.00 | 0.00        | 1.00 | ベースケース      |
| 2     | 11.28           | 18.50 | 37.00 | 0.00        | 1.00 | 乗車時間10%Up   |
| 3     | 10.25           | 20.35 | 37.00 | 0.00        | 1.00 | 待ち時間10%Up   |
| 4     | 10.25           | 18.50 | 40.70 | 0.00        | 1.00 | 徒歩時間10%Up   |
| 5     | 9.23            | 18.50 | 37.00 | 0.00        | 1.00 | 乗車時間10%Down |
| 6     | 10.25           | 16.65 | 37.00 | 0.00        | 1.00 | 待ち時間10%Down |
| 7     | 10.25           | 18.50 | 33.30 | 0.00        | 1.00 | 徒歩時間10%Down |
| 8     | 11.28           | 20.35 | 40.70 | 0.00        | 1.00 | 全部10%Up     |
| 9     | 9.23            | 16.65 | 33.30 | 0.00        | 1.00 | 全部10%Down   |
| 10    | 10.25           | 18.50 | 37.00 | 0.00        | 2.00 | バス停移動時間2分   |
| 11    | 10.25           | 18.50 | 37.00 | 0.00        | 0.50 | バス停移動時間0.5分 |

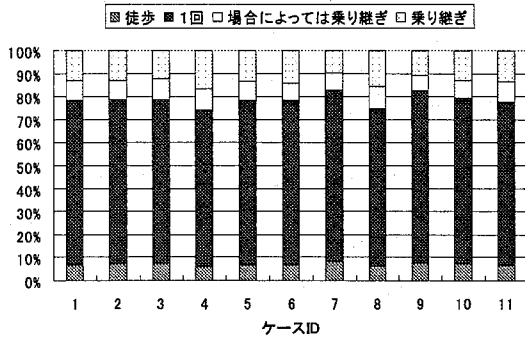


図-3 各ケースにおける乗車方法の内訳

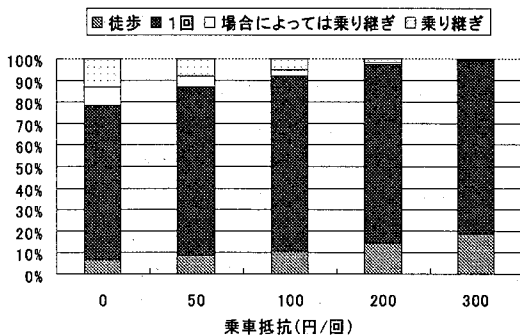


図-4 乗車抵抗を変化させたときの乗車方法の内訳

表-2 乗車抵抗による乗車方法の比較

| 乗車抵抗<br>0(円/回) |             | 乗車抵抗50(円/回) |        |             |       | 統計      |
|----------------|-------------|-------------|--------|-------------|-------|---------|
|                |             | 徒歩          | 1回     | 場合によっては乗り継ぎ | 乗り継ぎ  |         |
| 乗車抵抗<br>0(円/回) | 徒歩          | 6.91%       | 0.00%  | 0.00%       | 0.00% | 6.91%   |
|                | 1回          | 1.61%       | 69.87% | 0.00%       | 0.00% | 71.48%  |
|                | 場合によっては乗り継ぎ | 0.09%       | 4.33%  | 4.10%       | 0.00% | 8.53%   |
|                | 乗り継ぎ        | 0.14%       | 3.78%  | 1.07%       | 8.09% | 13.08%  |
|                | 統計          | 8.76%       | 77.98% | 5.17%       | 8.09% | 100.00% |

する。なお、ここで示している乗車抵抗とは、バスの利用に関する抵抗感であり、特にバスを乗り継ぐ場合にはその回数に応じて増加するものとなる。図-4にそれぞれの乗車抵抗の値に対する乗車方法の内訳を示す。これを見ると、乗車抵抗を負荷しない場合はおよそ21%の停留所ペアで乗り継ぐ可能性があるのに対し、乗車抵抗を負荷するにしたがって乗り継ぐペアが減少していき、乗車抵抗が300(円/回)のときは乗り継ぐ可能性のあるペアはほぼなくなった。表-2は乗車抵抗の値による乗車方法の比較をあらわしたものである。乗車抵抗が0

(円/回)のとき乗り継ぐ可能性のあったペアについて着目すると、乗車抵抗を負荷されることによって乗り継ぐときのコストが上昇するために乗り継ぎをやめたペアが多く存在することがわかる。したがって、乗り継ぎの利便性を評価するにあたって、乗車抵抗パラメータの設定に注意すべきであるといえる。

以下の分析では、乗車時間、待ち時間、徒歩時間の時間価値を平井ら<sup>7)</sup>の結果に基づき10.25円/分、18.50円/分、37.00円/分とし、同一停留所における道路を横切る移動時間を1分とする。また乗車抵抗も計算結果に大きな影響を及ぼすことがわかったが、この値に関する適当な文献が見当たらなかったため以下では50円/回として分析をすすめることとする。

#### 4 運賃制度によるサービスレベル評価

##### (1) 現行料金制度におけるサービスレベル評価

図-5は全停留所ペアを乗車方法ごとに分類したものである。一度だけバスに乗りすることが最小経路となることが多いが、徒歩のみが最適となる停留所ペアも少なからず存在する。徒歩での移動が最小コスト経路となったペアを詳細に見ると、728m以下ではバスを利用しないほうが適切となった。また徒歩での最長移動距離は1.1kmであった。図-6は停留所ペア間の距離と一般化費用の関係を示したものであるが、同じ停留所間距離でも一般化費用の値が2倍以上となるようなケースも存在しており、ほぼ同程度の停留所間距離であっても停留所ペアによってサービスレベルが大きく異なることがわかる。

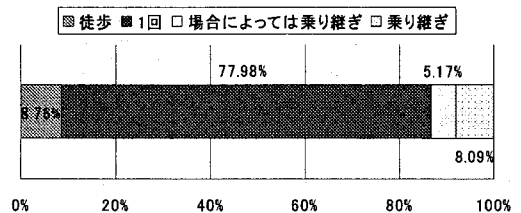


図-5 現行運賃制度での乗車方法の内訳

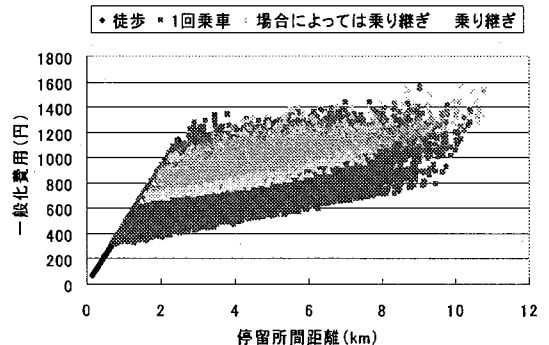
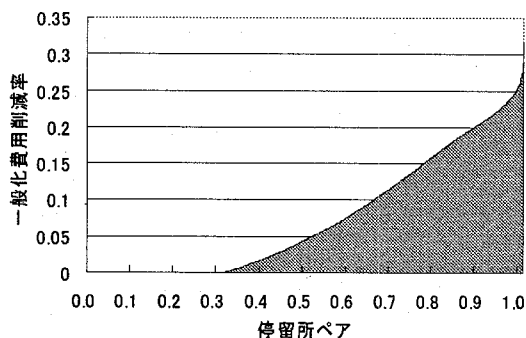


図-6 停留所間距離と最小期待一般化費用の関係

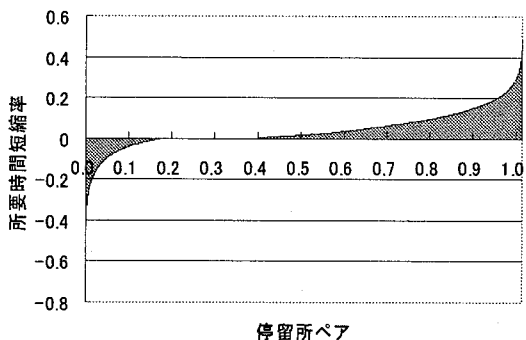
## (2) ゾーン内固定運賃制度の導入効果分析

### (a) 一般化費用および所要時間の比較

比較計算例として、計算対象区間内での乗り継ぎを無料とした場合についてのサービスレベル向上効果を一般化費用の削減効果および所要時間短縮効果から確認する。図-7(a)は一般化費用の削減比率を示しており、横軸に削減率が小さい順に停留所ペアを並び替えたものを、縦軸に削減比率を表している。およそ32%の停留所ペアで削減効果がなかった一方で、削減率が20%以上の停留所ペアが約11%存在しており、導入効果停留所ペアごとに大きく異なることがわかる。一方で、図-7(b)に示した所要時間の短縮効果をみると、興味深いのは18%程度の停留所ペアにおいて所要時間がかえって増加していることである。これは表-3に示した乗車方法の変化からもわかるように、固定運賃制度導入によって最適な乗車方法が徒歩から乗り継ぎ、あるいは1回乗車から乗り継ぎに変わり、徒歩時間及び停留所での待ち時間が増加し、全体の所要時間が増加したとしても一般化費用が減少するためといえる。今回の計算例では、1.41%の停留所ペアにおいて現行運賃制度では徒歩が最適であったものがバス乗車の方となりうるという結果となっており、これらのペアではバスへの乗車が期待できる。



(a) 一般化費用の削減



(b) 所要時間の短縮

図-7 ゾーン内固定運賃制度の導入効果

表-3 料金制度による乗車方法の比較

| 均一料金 | 乗車方法        | 現行運賃制度 |        |             |       | 総計      |
|------|-------------|--------|--------|-------------|-------|---------|
|      |             | 徒歩     | 1回     | 場合によっては乗り継ぎ | 乗り継ぎ  |         |
| 金    | 徒歩          | 7.34%  | 0.00%  | 0.00%       | 0.00% | 7.34%   |
|      | 1回          | 0.00%  | 10.90% | 0.00%       | 0.00% | 10.90%  |
|      | 場合によっては乗り継ぎ | 0.26%  | 35.26% | 0.66%       | 0.00% | 36.17%  |
|      | 乗り継ぎ        | 1.15%  | 31.82% | 4.52%       | 8.09% | 45.58%  |
|      | 総計          | 8.76%  | 77.98% | 5.17%       | 8.09% | 100.00% |

さらに図-8は、現行運賃制度とゾーン内固定運賃制度導入時における停留所間距離と一般化費用の関係を示したものである。これを見ると一般化費用の減少が大きい停留所間ペアは、停留所間距離と比較して一般化費用が大きかったペアが多いことがわかる。また、プロットの散らばりが小さくなることから、ゾーン内固定運賃制度導入によって停留所間のサービスレベル格差は縮小されており、トリップ条件の類似した停留所ペア間の公平性は向上すると考えられる。

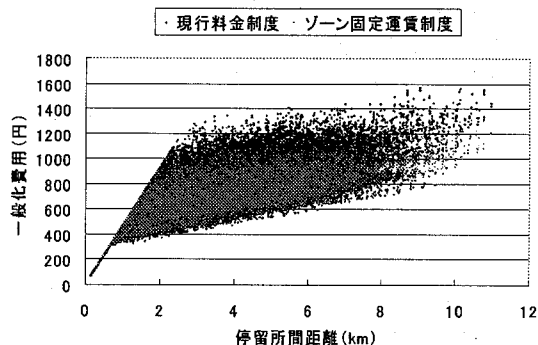


図-8 停留所間距離と最小期待一般化費用の関係

### (b) 個別停留所ペアの乗車方法の変化

最後に、ゾーン内固定運賃制度導入によって、乗車方法がどのように変更するかを詳細に見ていくことにする。ここでは、一般化費用減少額および減少率がともに最大（それぞれ369.2円、32.9%）であった「田中樋ノ口町→堀川中立売」と、所要時間の増加が最大（16.2分）であった「洛北高校正門前→烏丸御池」について分析を進めることとする。なお、各停留所の位置については図-2に示しておいた。まず「田中樋ノ口町→堀川中立売」（停留所間距離：3.90km）について、現行料金制度およびゾーン内固定運賃制度導入時の最適な乗車方法を示したのが図-9である。これを見ると、現行運賃制度では乗車回数を減らすために遠回りの経路を選択しているのに対して、ゾーン内固定運賃制度導入時はゾーン内固定運賃制度より乗り継ぎ回数を増加させて移動していることがわかる。図-2のネットワーク形状からみれば、出町柳駅前、堀川今出川で乗り継ぐことがより自然な経路であるといえ、現行料金制度においては、乗車回数を減らすために不自然な経路が最適となってしまうことをこの例は示唆しているといえる。

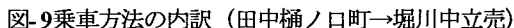


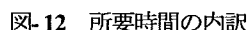
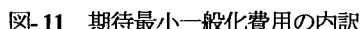
Figure 10 consists of two diagrams, (a) and (b), illustrating different fare calculation methods for a specific railway route.

Diagram (a) is titled "(a) 現行運賃制度" (Current fare system). It shows a route starting from "洛北高校正門前" (Rokko High School Main Gate) and ending at "烏丸御池" (Utsunomiya). The route passes through "洛北高校前" (Rokko High School) and "京都市役所前" (Kyoto City Hall). A single fare of 205 yen is indicated for the entire journey.

Diagram (b) is titled "(b) ゾーン固定運賃制度" (Zone-fixed fare system). It shows the same route, but the fare is calculated in two segments. The first segment from "洛北高校正門前" to "二条駅前" (Nishijo Station) has a fare of 150 yen. The second segment from "二条駅前" to "烏丸御池" also has a fare of 150 yen. The total fare for the journey is 300 yen.

The caption below the diagrams is "図-10 乗車方法の内訳 (洛北高校正門前→烏丸御池)" (Figure 10: Breakdown of fare calculation method (Rokko High School Main Gate → Utsunomiya)).

以上特定の停留所ペアに関する乗車方法を見てきたが、計算の結果得られた乗車方法は直感と一致しており、本研究で提案した方法によって、停留所間の最適経路を求めることができ、なおかつバスネットワーク全体のサービスレベルを、一般化費用を用いて評価可能といえる。停留所ペア間の最適経路は路線設計に大きく左右されるが、図- 9、図- 10でも明らかなように、路線設計の変更によって影響を受けるのは必ずしもその路線が運行している停留所ペアだけではない。路線設計がどの停留所ペアの乗客に影響を及ぼしうるかについてネットワークレベルで検証が必要であり、ここで提案した手法によってそれが可能となるといえる。



- 760 -

距離でもサービスレベルに差が大きいこと、ゾーン内固定運賃制度導入によって一般化費用の削減効果が期待でき、さらに同一距離の停留所ペア間でのサービスレベルの差が縮まる可能性があり、公平性の観点からも望ましいことが確認された。今後の課題としては、乗客需要を負荷し路線ごとの混雑状況を再現すること、路線設計の変更による乗客流変化についての検証することが挙げられる。特に、ゾーン内固定運賃制度導入時においてサービスレベルが大幅に向上するのであるならば、乗り継ぎを前提とした路線形状とすることも可能といえ、路線形状変更によるサービスレベルの変化について、ここで提案した方法で考察できる。現状のサービスレベルを維持しつつ、路線変更によってバスの総走行時間がどの程度減少させることができるかといった事業者側の視点での分析が可能と考えている。

#### 【参考文献】

1) 秋元伸裕：“バスの乗降・乗り継ぎ抵抗を軽減させ

- る努力”，秋山哲男，中村文彦編「バスはよみがえる」，日本評論社，pp.50-64，2000.
- 2) 高橋洋二，久保田尚，尾座元俊二：“市民参加による鎌倉市・公共交通乗り継ぎシステム実験”，1999年度第34回日本都市計画学会学術研究論文集，937-942，1999.
- 3) 中川大，西尾健司，松中亮治，伊藤雅：“共通運賃制度導入による所要時間短縮効果に関する研究”，土木計画学研究・論文集，16，667-674，1999.
- 4) Chiriqui, C. and Robillard, P. “Common Bus Lines”, *Transportation Science*, 9, 115-121, 1975.
- 5) Nguyen, S. and Pallotino, S.: “Equilibrium traffic assignment for large scale transit networks”, *European J. Oper. Res.* 37, 176-186, 1988.
- 6) Kurauchi, F., Bell, M. G. H. and Schmöcker, J.-D.: “Capacity Constrained Transit Assignment with Common Lines”, *Journal of Mathematical Modelling and Algorithms*, 2-4, pp. 309-327, 2003.
- 7) 平井幹也，倉内文孝，飯田恭敬：“融合型公共交通システム実現を目指した交通機関選択行動に関する実験分析”，第30回土木計画学研究講演集，CD-ROM，2004.

### 最小費用Hyperpath探索アルゴリズムを用いたバスサービス評価に関する研究

倉内文孝・嶋本寛・王萍・飯田恭敬

本研究では最小費用経路算出アルゴリズムを用いて、京都市のバスネットワークを計算対象として停留所間のサービスレベルの格差を考察するとともに、一定ゾーン内での乗継無料制度導入によるサービスレベルの変化について分析を加えた。得られた計算結果は徒歩時間に関するパラメータおよび乗車抵抗パラメータに大きな影響を受ける可能性があるもの、現行料金制度においては同じ停留所間距離でもサービスレベルに差が大きいこと、ゾーン内固定運賃制度導入によって一般化費用の削減効果が期待でき、さらにサービスレベルの差が縮まる可能性があることが確認された。

### Study on Bus Service Evaluation Using Minimum Cost Hyperpath Finding Algorithm

By Fumitaka KURAUCHI・Hiroshi SHIMAMOTO・Ping WANG・Yasunori IIDA

Using minimum-cost hyperpath search algorithm, this study explores the differences of service levels among bus stops of Kyoto bus network, and also analyses how service level changes by introducing the zonal flat fare system. Though the result might be influenced by the parameters such as values of walking time and resistance against boarding, we found that in current fare system, there is a big difference in service level among bus stop pairs of the same distance, and the generalised cost as well as the difference of service level between bus stop pairs can be reduced by the introduction of zonal flat fare system.