Study on Change of Service Level by Modifying Bus Line Configuration Using Minimum Cost Hyperpath Finding Algorithm*

倉内文孝[†]・嶋本寛[‡]・王萍[§]・飯田恭敬^{**}

By Fumitaka KURAUCHI[†] · Hiroshi SHIMAMOTO[‡] · Ping WANG[§] · Yasunori IIDA^{**}

1. はじめに

本研究では,公共交通サービスネットワーク上で の各停留所間の一般化費用を最小化する hyperpath を探索するアルゴリズムを用いてサービスレベル評 価を試みる.先行研究1)では,同様の手法を用いて 乗継料金を無料化するゾーン内固定運賃制度導入に より所要時間及び期待一般化費用の大幅な減少が実 現されることを確認した.一方,乗継料金を無料化 することでバスサービス事業者にとっては減収が必 至であり実際の導入には反対が多い. 本研究では, ゾーン内固定運賃制度導入を前提とし,乗換を前提 としたバスネットワークに再編することで利用者の サービスレベルを大きく落とすことなくサービスの 効率が図れる可能性を探る.先行研究と同様に,京 都市バスネットワークを対象に分析を進めた.

2. 分析方法

(1) 分析方針

本研究では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, 少なくとも停留所間のサービスレベルを一般 化費用という尺度で評価可能と考える.

計算を進めるにあたり、1)頻度ベースでバスサー ビスが提供されている,2)乗客はバス停にランダム

(2) 分析の前提条件

* Keywords: バスサービス評価 , hyperpath, common lines problem , ゾーン内固定運賃制度 , 路線設計

に到着する,3)乗客は期待一般化費用が最小となる 経路を選択する,を仮定した.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,バス停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 common lines problem²⁾と呼ばれる.

(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 3)を援用する. hyperpath は, OD 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_n 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.

$$g_{p} = \sum_{a \in A_{p}} \alpha_{ap} c_{a} + \sum_{a \in A_{p}} \phi_{a} \alpha_{ap} t_{a} + \varphi \sum_{i \in I_{p}} \frac{\beta_{ip}}{F_{ip}}$$
(1)

ただし,

 c_a :リンク a に割り付けられた運賃

 α_{ap} : hyperpath p におけるリンク a の通過確率

 ϕ_a :リンク a の移動に関する時間価値パラメータ

 β_{ip} : hyperpath p におけるノード i の通過確率

:待ち時間に関する時間価値パラメータ

である $.1/F_{iv}$ 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.

$$1/F_{ip} = 1/\sum_{a \in A_n} \delta_{ai} f_a \tag{2}$$

 δ_{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をとるダミー変数であり $,f_a$ はリンクaの運

[†] 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)

並 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,京都大学名誉教授

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_{lp} とすると,リンク通過確率およびノード通過確率はリンク a およびノード i が経路 l に含まれているか否かを示すダミー変数 ε_{al} および γ_{li} を用いて次のように記述できる.

$$\alpha_{ap} = \sum_{l \in L_p} \varepsilon_{al} q_{lp} , \beta_{ip} = \sum_{l \in L_p} \gamma_{il} q_{lp}$$
 (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.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り全ての停留所からの一般化費用の計算が可能である $^{2)}$. 紙面の都合上詳細は省略するが,ネットワークの表現方法は,Kurauchi et, al. $^{4)}$ が提案した方法に準じている.乗車運賃は,ゾーン内固定運賃制度導入を前提としているため,停留所への徒歩リンクに負荷することによって表現している $^{1)}$.

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.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 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バス停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. 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. その他 1 日乗車券等も 販売されているが、ここではゾーン内固定運賃制度 を仮定し,220 円支払えば何度でもバスに乗車でき ると仮定した.時間価値パラメータは,筆者らが交 通機関選択実験 5)を通じて推定した乗車時間,待ち 時間,徒歩時間がそれぞれ12.5円/分,19.7円/分,

25 円/分としている.徒歩時間は,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を仮定することで算定した.

(b) 変更後の路線設定

本研究では,バスを乗り継ぐことを前提とした路線設定をめざしているため,現状のリンク間頻度計算結果に参考に,大幅に運行頻度が低下しない範囲で試行錯誤的に対象地域外部から流入してくる放射系統が循環系統と接続可能な地点より内部の運行を削除した.具体的には,3,8,10,17,32,46,59 系統について,循環系統の中で走っている部分を削除した.最終的な路線変更の内容と全体の計算対象ネットワークを図-1 に示す.

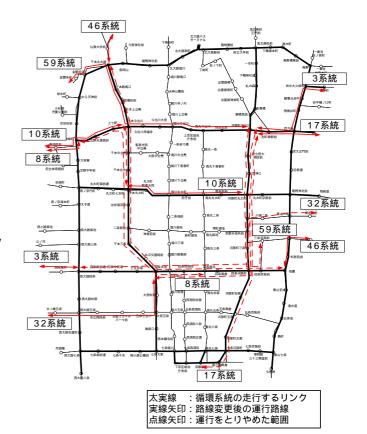


図-1 計算対象ネットワーク

(c) 評価方法

本研究では,ゾーン内固定運賃制度導入によって生じるであろう減収を軽減するために,利用者の一般化費用が現状の1回乗車ごとに料金が課金されるケースからサービスレベルが大きく変化しない範囲でバス運行の効率化をめざす.そのため,利用者の利便性は,1回乗車ごとに料金が課金されるケー

スとの差によって評価することとする.また,バスサービスの利便性の評価は,バスの総走行時間を用いることとした.バスの総走行時間は,次の式で計算される.

$$L = \sum_{l \in I} f_l \cdot TT_l \tag{4}$$

ただし,

L:バス総走行時間

 f_l : 路線 $l \in L$ の1時間あたりの運行台数

 TT_l :路線 $l \in L$ の走行時間(分)

である.

(2) 計算結果の考察

(a) 利用者への影響

図-2 は全ての OD ペアについて,一般化費用の 変化量が改善方向に小さかったバス停から順に並べ 替えて示したものである.35,156 の OD ペアの中で 一般化費用の減少が,7,177 の OD ペア(全体の 20.4%)で変化せず,2,648 の OD ペア(全体の 7.5%)で増加しており、一般化費用が減少したバ ス停の方が圧倒的に多いことが確認できた.ただし, 一般化費用の増加となった OD ペアの中では,最大 180 円程度の費用増加となっている OD ペア (川端 二条→京都リサーチパーク)も見られた.なお,費 用増加が 100 円以上となった OD ペア 143 組の多く は3系統の東部分に位置する田中大久保町や田中樋 ノロ町から壬生寺道,西院巽町などの3系統西部分 を起終点とするものであった.3 系統は東西に対象 エリアを貫く長路線であり,特に四条大宮以西から は田中大久保町などの北東部へ乗換なしで移動でき る路線がないためこのような計算結果となったとい える.ただし,元々乗り継ぎなしで便利な OD ペア であったならば,乗り継ぎが生じたとしても全体と しては十分便利である可能性もある.これを確認す るために,横軸に OD ペア間の距離を,縦軸に一般 化費用をとり, OD ペアごとの一般化費用の散布図 を作成した.図-3 に結果を示す.もし費用増が生 じている OD ペアについて,この散布図上で下側に 位置していれば大きな問題とならないと考えられる. 図中白丸プロットで示したのが,費用増が100円以 上の OD ペアである.この図を見ると,費用増 100 円以上の OD ペアの分布は比較的同じ x 軸の中では

下方に位置しているものが多く,元々便利であった OD ペアと推察される一方で,グラフの上方に位置 しているものもいくつかある.特に最も上方に位置 していたのが川端二条 京都リサーチパーク前であり,この OD ペアは一般化費用が最も増加したものであった.

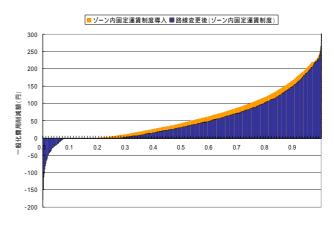


図-2 一般化費用の変化量

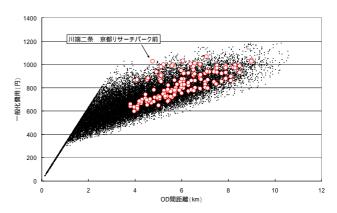


図-3 OD 間距離ごとにみた一般化費用の分布

利用者への影響をより詳細にみるために,特に川端二条→京都リサーチパークの OD ペアについて考察を加える.図-4 に一般化費用の内訳を,図-5 に(a)路線改編前,(b)ゾーン内固定運賃制度(路線改編後)をそれぞれ示す.なお,路線改編前については,乗り継ぎ料金の有無にかかわらず 32 系統を利用することが最適という計算結果となった.図-4より,32 系統の運行が打ち切られることによって乗車時間及び徒歩時間にかかわるコストが大幅に上昇しており,その結果総コストが841円から1,027円へと変化していることがわかる.興味深いのは,乗車時間の増加については待ち時間の減少によりほぼ相殺されている点である.図-5 より川端二条か

ら丸太町京阪前まで歩くことが最適ルートとなっており,この徒歩時間(5.55分)にかかわるコスト増(140円程度)が総期待一般化費用増加の大部分を占めている.なお,図-5(b)に示した路線再編後の最適 hyperpath をみると,このような経路を頭に思い描くことができる乗客はほとんどいないと考えられる.今回の計算においては,乗換抵抗を期待待ち時間コストとしてのみ計上しているためであり,それ以外の心理的な抵抗を費用として計上すべきであることをこの結果は示しているといえる.

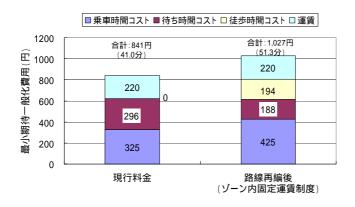


図-4 一般化費用の内訳

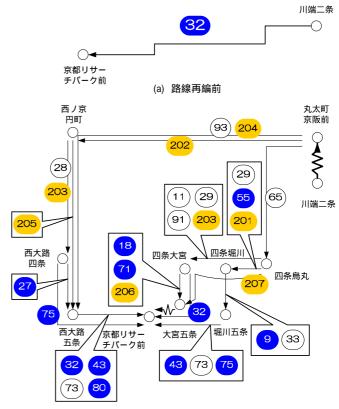
(b) サービス事業者からの評価

式(4)を用いて路線再編前後のバス総走行時間を比較した結果,路線再編前が268.1 台・時間,再編後が231.1 台・時間であり,およそ15%の削減となった.さらに,ODペアごとの支払運賃額の変化についても調べた.現行運賃制度において乗り継ぎする可能性があった全体の14.2%のODペアについて運賃支払いが減少することになるが,220円の減少となるのは全体の2.2%であり,残りのODペアについては場合によっては乗り継ぎをするものであり,それ以下の減少額であった.また,乗り継ぎが無料になることによって全体の2%程度が徒歩での移動から220円支払ってバスに乗車する結果となった.4.まとめ

本研究では,ゾーン内固定運賃制度導入を前提とし,バス路線を再編することで利用者のサービスレベルを大きく落とすことなくサービスの効率性を向上可能か,について検討を加えた.ここでは試行錯誤的に路線網の変更を行ったが,その結果一般化費

用が大きく増加した OD ペアもいくつかあるものの, 15%のバス走行時間削減を実現可能であることを示せた.本稿では,路線網改編の一案を示すに留まっているが,少なくとも提案した手法を用いることで,路線網を変更した場合の OD ペア間サービスレベルの変化量を算定することが可能であり,より効率的な路線網形態について検討可能と考えられる.

今後の課題としては,乗客需要を考慮すること, 乗り継ぎ抵抗を加味することなどがあげられる.



(b) 路線再編後(ゾーン内固定運賃制度)

図-5 hyperpath の内訳

【参考文献】

- 倉内文孝,嶋本寛,王萍,飯田恭敬:"乗客配分モデルを用いたバス路線再編可能性に関する検討",第 31 回土木計画学研究講演集,CD-ROM,2005.
- 2) Chiriqui, C. and Robilland, P. "Common Bus Lines", Transportation Science, 9, 115-121, 1975.
- 3) Nguyen, S. and Pallotino, S.: "Equilibrium traffic assignment for large scale transit networks", European J. Oper. Res. 37, 176–186, 1988.
- 4) 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.
- 5) 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.