

都市高速道路における長距離逓減料金制を考慮した均衡配分モデルの実証的研究*

An Experimental Study on User Equilibrium Assignment Model Considering Distance-Regressive Charging for Urban Expressways*

安田 幸司**・鷹尾 和享***・東 徹****

By Koji YASUDA**・Kazutaka TAKAO***・Tohru HIGASHI****

1. はじめに

ほとんどの有料道路の料金は、償還主義を原則として決められてきた。しかしながら、こうした有料道路の料金に対しては、割高感を抱いている利用者も多く、有料道路に並行する一般道で渋滞や沿道環境悪化などの社会的な不便益を生じていながら、十分に利用されていない道路が存在するといった問題の要因となっている。

このため、多様な料金施策を活用した交通需要マネジメントの必要性が高まっている。さらに、道路関係4公団の民営化に合わせて民営会社の創意工夫を促しながら、有料道路の料金を逓減するといったことも議論されているところである。

例えば、社会的不便益の軽減の観点から「通勤時間帯割引」や「環境ロードプライシング」等が、利用促進の観点から「長距離逓減割引」や「乗り継ぎ割引の拡充」「均一料金制における特定料金区間の拡充」等が、多様な料金施策の例として考えられる。

有料道路におけるこれら施策の適用は、ETCの普及により、技術的にも現実味をおびてきている。ちなみに、ETC利用率は平成17年6月で全国平均44.0%¹⁾である。

このような背景から、道路交通計画においては、多様な料金施策による交通需要の変化を把握する必要性が高まっている。

交通量配分による需要予測において、有料道路の料金負担を考慮する方法にはいくつかあるが、ランプやICに

相当するリンクに料金相当の時間を負荷して最短経路探索を行う方法が一般的である。

この場合、ゾーン（区間）毎に料金が定められている均一料金制および、利用距離に比例して料金が増加する対距離料金制ならば、料金を考慮した最短経路探索が可能であるが、長距離逓減割引に代表されるような利用したランプのペアによって料金が確定する料金体系の場合、割引効果を考慮した最短経路探索ができない。

一方、Yangらの研究²⁾では、有料道路の利用者の経路選択は、利用するランプペアによって判断されることに着目し、有料道路の利用可能な全ランプペアを結ぶ仮想リンクを用いた最短経路探索手法を示している。

本研究では、近畿圏を対象とした実規模の道路ネットワークを対象とし、均一料金制を導入している阪神高速道路において、複数料金圏利用にともなう料金割引を想定し、全ランプペアを結ぶ仮想リンクを用いた均衡配分を行ったので、この結果について検討する。

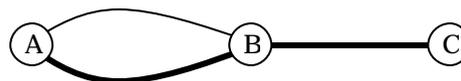
2. 仮想リンクを用いた有料道路の最短経路探索手法

(1) 実リンク上の料金負荷による長距離逓減料金制を考慮した最短経路探索の問題点

有料道路を含む道路ネットワークを対象とした配分を行う場合、ランプに相当するリンクに料金相当の所要時間を負荷し、一般化時間として最短経路探索を行う手法が一般的である。

しかしながら、次に示すような長距離逓減料金制の場合、最短経路が単純なツリーにならない場合がある。

$$\text{一般道路の実時間} : 10 \quad < \text{割引料金} > \text{高速} + \text{高速} = 8$$



高速道路の実時間	: 6	高速道路の実時間	: 10
料金相当時間	: 5	料金相当時間	: 5

A Bの最短経路：一般道路

A Cの最短経路：高速道路 + 高速道路

図 - 1 長距離逓減料金制で最短経路が単純なツリーにならない例

* キーワーズ：配分交通、交通管理

** 正員、工修、(株)地域未来研究所・大阪事務所
〒540-0024 大阪市中央区南新町1丁目3番地8号
ヤマハラビル2階

TEL:06-6347-2623 E-mail:yasuda@issr-kyoto.or.jp

*** 学生員、工修、神戸大学大学院 自然科学研究科
博士課程後期課程

〒657-8501 神戸市灘区六甲台町1-1

TEL, FAX: 078-803-6360

**** 正員、工修、(社)システム科学研究所 調査研究部
〒604-8223 京都市中京区小結棚町428 新町アイビル
TEL:075-221-3022 E-mail:higashi@issr-kyoto.or.jp

図 - 1 の場合、A - B の場合、高速道路利用の場合より、一般道路の方が 1 小さいので一般道路が最短経路として選択される。

次に、高速道路の連続利用による割引が適用される A - C の場合、料金相当時間は 8 であるため 2.4 となり、一般道路 + 高速道路 の場合の 2.5 より 1 小さくなる。

よって、この場合、A - C の最短経路は、料金割引が適用される高速道路 + 高速道路 の経路となる。

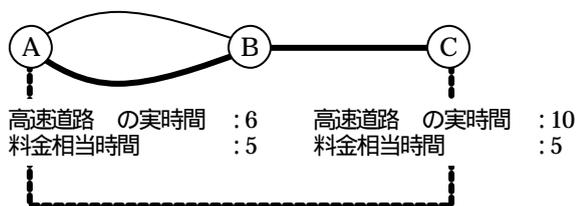
(2) 仮想リンクを用いた長距離逓減料金制を考慮した最短経路探索手法

前述のYangらの研究では、高速道路ドライバーは、利用するランプペアによって最短経路を決定する、つまり、割引が適用されている区間であれば、それらを事前に踏まえた上で最短経路を決定することに着目し、ランプペア毎の料金相当時間について仮想リンクを設定し、料金負荷を考慮する最短経路探索モデルを提案している。

このとき、当該ランプ間の実時間は、仮想リンクを構成する実リンクの実時間の和を採用する。

この方法を用いた場合、図 - 1 の例は、次のようになる。

一般道路の実時間 : 10 <割引料金> 高速 + 高速 = 8



高速仮想リンクの実時間 : 16 (高速道路 + 高速道路)
料金相当時間 : 8

A - C の最短経路 : 高速道路 + 高速道路

図 - 2 仮想リンクを用いた長距離逓減料金制で最短経路探索をした例

この場合、A - C の料金相当時間を予め仮想リンクを用いて 8 としているので、この間の一般化時間は、実時間 (高速 + 高速 = 16) + 料金相当時間 (8) により、A B 間については、高速 が当該 O D ペア間の最短経路上リンクとして選択される。

このように、仮想リンクを用いた最短経路探索手法は、既存のネットワークに料金相当の所要時間をもった仮想リンクを付加するだけで、ランプのペアによる料金体系を考慮することができるため、実規模の道路ネットワークを対象とした交通量配分においても、最短経路探索部分の簡単な改良により適用することができる。

3. 仮想リンクを考慮した均衡配分モデルの計算手順

(1) 計算フロー

ここでは、長距離逓減料金制を考慮した有料道路を例として、仮想リンクを考慮した均衡配分モデルの計算手順について説明する。

なお、仮想リンクを用いた場合でも、有料道路料金の考慮には、時間評価値による一般化時間としてリンクに負荷を与えるいわゆる犠牲量モデルを適用するが、本研究で採用する時間評価値は、全車種同一の平均時間評価値 (82.81円 / 分 / 台) を採用した。

配分計算フローは以下に示す通りである。

<仮想リンクを考慮した均衡配分モデルの計算手順>

予めランプ間の仮想リンクデータを作成しておく。

Step-1 リンク走行コストを計算

このとき、仮想リンクの設定のあるランプ間については、実時間は、仮想リンクを構成する実リンクの実時間の和を、料金相当時間は、仮想リンク上の料金相当時間を計算する。

Step-2 平面リンクとランプ間仮想リンクとで all-or-nothing 配分

このとき、全てのランプ間の組み合わせは上記の仮想リンクで結び、対応する実リンクは除去して配分計算する。

Step-3 ランプ間仮想リンクのフローを実リンク (高速) に再配分

Step-4 一次元最適化 (黄金分割法など)

以上の手順を収束するまで繰り返す。

(2) リンクコストの算定方法

つぎに、計算フローにおけるリンクコストの算定方法について、一般道路 (平面リンク) と高速道路 (高速リンク)、ランプ間仮想リンク別に説明する。

a) 平面リンク

- 乗用車換算係数でフローを足し算
- 所要時間は当該リンクを使って計算 (全車種同じ)
- 料金があれば加算 (車種別料金の場合は車種別に求める)

b) 高速リンク (仮想リンクへの置換対象)

- 乗用車換算係数でフローを足し算
- 所要時間は当該リンクを使って計算 (全車種同じ)
- 個々のリンクごとの料金データは 0

c) ランプ間仮想リンク

- 所要時間に起因する分は経路上の「高速リンク」で加算済みのため対象外
- 料金に起因する分だけを仮想リンク上の料金データを用いて車種別に加算

c) ランプ間仮想リンク

- 所要時間は経路上の「高速リンク」のリンクコストを足し算 (全車種同じ)
- 料金は仮想リンク上のコスト (一般化時間) を加算 (車種別料金の場合は車種別に求める)

3. 実規模ネットワークを対象とした仮想リンク付き均衡配分モデルのケーススタディ

(1) ケース設定

本研究では、均衡配分モデルを用いて、実規模のネットワークを対象とした長距離遞減料金制を適用した場合の感度把握を行う。

ここで予測の対象は、近畿地方エリアとし、「湾岸線通し割引」³⁾で長距離遞減料金制を実施している阪神高速道路を含むネットワークとする。

阪神高速道路で導入されている「湾岸線通し割引」は、図 - 3 で示す湾岸線の異なる 3 つの料金圏を連続して利用した場合、普通車で 1700 円 1500 円、約 12% の割引が適用される。

本研究では、この現行の割引制度を基本としてさらに 100 円割引引く場合を想定し、その感度を捉える。

これにあたり、次の 3 つのケースを設定し、主要な路線の交通量の増減を比較する。

(3) 目的関数の算定方法

つぎに、計算フローにおける目的関数の算定方法について、一般道路 (平面リンク) と高速道路 (高速リンク)、ランプ間仮想リンク別に説明する。

a) 平面リンク

- そのままフローを足し算
- 所要時間に起因する分は当該リンクを使って計算し、加算 (全車種一括)
- 料金に起因する分があれば車種別に加算

b) 高速リンク (仮想リンクへの置換対象)

- そのままフローを足し算
- 所要時間に起因する分は当該リンクを使って計算し、加算 (全車種一括)
- 個々のリンクごとの料金データは 0

< 検討ケース >

ケース 1 : 仮想リンクを用いないケース

ケース 2 : 仮想リンクを用いたケース
(長距離遞減料金の適用なし)

ケース 3 : 仮想リンクを用いたケース
(長距離遞減料金の適用あり)



図 - 3 阪神高速道路の料金体系と「湾岸線通し割引」³⁾

このうち、ケース2については、阪神高速道路において現在導入されている乗り継ぎ制を仮想リンクで考慮している。

予測OD表には、平成11年道路交通センサスOD表を用いた。

(2) 仮想リンクの作成

次に、湾岸線通し割引に対応した対象ランプ間仮想リンクを作成する。

このとき、ランプ間に複数の経路がある場合、均衡状態になるように収束計算を行う必要があるため、2番目以降の経路も仮想リンクとして作成する必要がある。

現行の阪神高速道路ネットワークを対象とした場合、湾岸線通し割引に対応した仮想リンク数は、総数31716となった。これは、割引対象ランプ間で利用可能な経路の合計である。

(3) 基本ケースの再現性確認

検討ケースのうち、ケース2は、乗り継ぎ制を仮想リンクにより考慮したケースであり、従来のシンプルな犠牲量モデルのみで料金抵抗を考慮するケース1より、より現実的な料金体系を考慮したケースと言える。

このケースについて、平成11年道路交通センサス調査結果との比較(全道路)を行ったのが以下の図である。

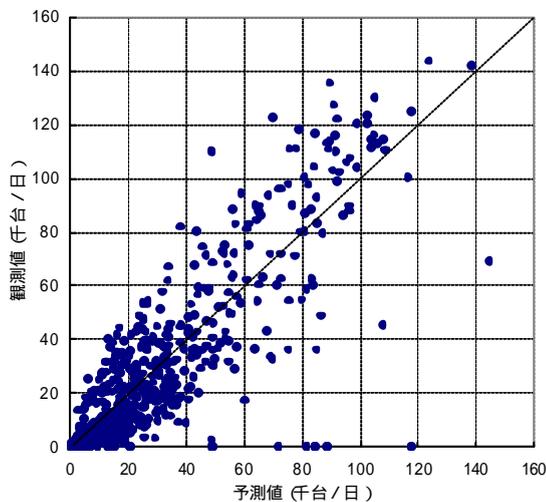


図 - 4 ケース2の予測値と観測値の比較散布図

このときの重相関係数は0.82であり、既往の均衡配分モデルによる現況再現性と比較してもほぼ同等の再現性を得られていると言える。

なお、本ケースのネットワーク規模は、ノード数：10850、リンク数：47044であるが、収束条件変動率0.1以内とした場合の計算回数は41回で計算時間は約44分であった。

4. 長距離逓減料金制の適用感度の把握

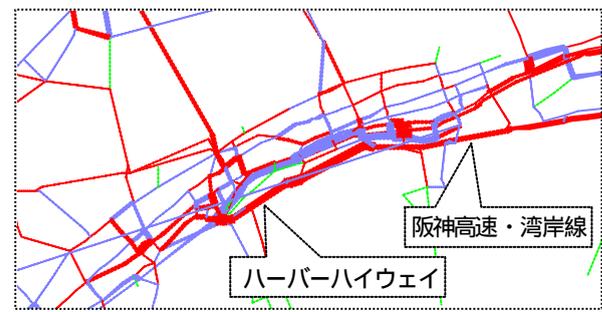
以下、各ケース比較の結果を示す。

(1) 乗り継ぎ制の適用感度の把握(ケース1と2)

- 阪神高速道路で導入されている乗り継ぎ制を、仮想リンク用いて考慮した場合、乗り継ぎによる料金割引の効果を受け、乗り継ぎ対象ランプ間およびそれに関連する路線での交通量の増加を捉えることができた。

(2) 湾岸線通し割引の適用感度の把握(ケース2と3)

- ともに乗り継ぎ制を考慮したケースであるが、「湾岸線通し割引」を適用した場合、図-5のように、割引の対象となった湾岸線とそれに関連する乗り継ぎ区間の利用促進の状況が捉えられているのがわかる。



赤色：増加 青色：減少

図中の赤い太線の多くは、湾岸線やそれに繋がる路線

図 - 5 湾岸線通し割引による交通量の増減状況

5. おわりに

本研究では、仮想リンクを用いた最短経路探索手法を均衡配分モデルに適用し、長距離逓減料金制を考慮した実規模ネットワークを対象として行った。

その結果、ある程度の再現性を確保しながら、割引料金の効果を捉えることが可能であることを確認した。

今後は、車種別の料金体系の考慮とそれにともなうマルチクラス配分での適用可能性について、実証的な検証を行う必要がある。

参考文献

- 1) 国土交通省HP : <http://www.mlit.go.jp/road/yuryo/riyou.pdf>
- 2) Yang, H., Zhang, X., Meng, Q.: Modeling private highways in networks with entry-exit based toll charges, Transportation Research Part B, 38, pp. 191-213, 2004
- 3) 阪神高速道路HP : <http://www.gosenet.co.jp/hanshin-kosoku/pay.html>