

通勤手当を考慮した有料道路の最適料金設定

吉村 充功¹・奥村 誠²

¹ 正会員 博(工) 日本文理大学助教授 工学部建設都市工学科(〒870-0397 大分市一木 1727)

² 正会員 博(工) 東北大学教授 東北アジア研究センター(〒980-8576 仙台市青葉区川内 41)

近年、道路混雑の緩和を目的に各地で有料道路料金を変更する社会実験が実施されている。しかしながら、日本では多くの企業で通勤手当が支給されており、料金変更が通勤者の行動変更に直接結びつくとは限らない。本論文では、このような問題を扱うために有料道路と一般道路からなる IOD 都市を対象に、通勤手当を考慮した交通量配分、社会的厚生を分析できる理論的モデルを提案する。さらに、通勤手当の有無や料金設定による実現解の特徴などについて、数値例を通して明らかにする。

KeyWords : *Commutation allowance, toll charge, modal split, TDM*

1. はじめに

近年、都市内交通混雑の解消や緩和、都市交通サービスの向上を図るため、様々な交通需要管理 (Transportation Demand Management : TDM) 施策が社会実験、本格実施されている。中でも、これまで認められていなかった有料道路の料金の弾力的な運用が出来るようになったことから、料金を割り引くことにより一般道路からの経路変更を促す有料道路社会実験が各地で実施されるようになってきている。

このような一種のロード・プライシング (Road Pricing) 施策は、交通管理者が直接料金をコントロールすることにより、利用者の行動に変化を促すことが可能となるため、大きな効果が期待されている。しかしながら、通勤混雑問題に焦点を絞ると、日本社会では多くの場合通勤費用を企業が負担しているため、料金政策が直接通勤者の行動変化につながる可能性はある。つまり、通勤者の行動の変化は必ずしも通勤者だけの意志で決定しているとは言えない。この点は、交通行動者が自らの意志に基づいて交通行動を決定していると考えられるこれまでの交通計画手法においては、十分考慮されてきていない問題である。

このような企業の通勤費用の負担問題では、有料

道路の料金を負担する企業も一定割合あることが示されている¹⁾。料金の値下げにより有料道路利用者が増加した場合、有料道路の料金を負担する企業の通勤者にとっては、有料道路の利用が通勤所要時間の増加につながり、かえって有料道路の利用を控えることにつながる可能性もある。そのため、日本社会で都市内通勤混雑問題にロード・プライシングなどの料金施策を導入する際には、その料金を負担する企業の存在を取り込んだ上で、適切な料金設定をする必要がある。

そこで本研究では、有料道路と一般道路からなる IOD 都市を対象に、有料道路の料金を通勤手当として支給する企業の存在を明示的に取り込み、その上で交通量配分、社会的厚生を分析できる基礎的な理論モデルを提案する。さらに、通勤手当の有無による実現解の特徴や、通勤手当を考慮しないで料金設定をした場合などの諸ケースについて、その特徴を明らかにすることを目的とする。

以下、2. では通勤手当などの通勤支援の実態、および有料道路社会実験に関する研究の概要を述べる。3. では本研究で取り扱うモデルの定式化を行う。4. では社会的厚生水準最大化問題、料金収入最大化問題について記述する。さらに、5. では本研究で提案するモデルを用いて、数値計算を実施し、解の特徴を

明らかにする。6. は結論であり、総括と今後の課題を述べる。

2. 通勤支援の実態と有料道路社会実験に関する既往研究

(1) 通勤支援の実態

本研究が対象とする企業が従業員に対して支給する通勤手当に関して、その実態に関する調査結果が産労総合研究所によりまとめられている²⁾。それによると、公共交通機関利用者への利用料等の支給企業割合は94.5%、マイカー通勤者に対する通勤費用の支給企業割合は74.6%となっている。

また、吉村らが実施した研究では、大分都市圏中心部に立地する企業アンケートより、マイカー通勤者に対する通勤費用の支給企業割合は、マイカー通勤許可企業の87%にのぼり、さらに有料道路の料金負担をする企業割合は、マイカー通勤許可企業の13%にのぼることが明らかにされている¹⁾。

このように、有料道路の料金設定を考える上では、有料道路の料金を負担する企業の存在を考慮する必要がある。

(2) 有料道路社会実験に関する既往研究の概要

都市交通問題を解決する手段として、近年、有料道路の料金設定を弾力化し、一般道路からの転換を促し、並行する一般道路等の混雑緩和や沿道環境対策等を目的とする社会実験が各地で実施されている。これらは、平成14年8月の社会資本整備審議会道路分科会の中間答申で「多様で弾力的な料金施策の導入」の提言を受け、平成15年度より国土交通省道路局で進めている「有料道路の料金に係る社会実験」によるものである。特に、「地域における課題解決型社会実験」が各地の実情に合わせて地方からの提案型社会実験として実施されるなど、その期待は大きい。これらの社会実験による効果を分析する研究として、松田らは平成15年度、16年度に実施された地方からの提案型社会実験の効果や有料道路の交通量や料金弾性値の特徴について分析している^{3),4)}。これらの研究より、有料道路社会実験が各地で一定の成果を上げていることが確認できるが、地域によりその効果も大きく異なる。一方で、通勤者アンケートにより、

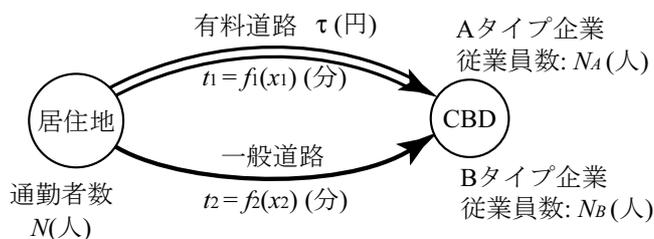


図-1 仮想する都市形態

一部であるが「通勤手当が減った」という回答が見受けられるなど、通行料金の変更は、利用者行動だけでなく、企業行動の変化をもたらす可能性があることが示唆されている⁵⁾。

3. モデルの定式化

本章では、有料道路の料金を通勤手当として支給する企業の存在を考慮した有料道路の料金設定問題について、企業タイプ毎に各効用のモデル化を行う。

(1) モデル化の前提条件

モデル化にあたって、以下の仮定をおく。

- 都市は企業が立地する都心(CBD)とベッドタウンである居住地からなり、互いに独立した有料道路と一般道路からなる(図-1)。
- 通勤者 N (人)はすべてベッドタウンに住み、各々有料道路か一般道路を利用してCBDに自動車通勤をする。また、人口移動は考えない。
- 通勤者は、有料道路を利用する場合に料金全額を通勤手当として支給されるAタイプ企業か、支給のないBタイプ企業のいずれかに勤務し、それぞれの従業者数を N_A (人)、 N_B (人)とする。ここでは、従業者の企業タイプ間の移動は考えない。
- 有料道路の料金を τ (円)、所要時間を $t_1 = f_1(x_1)$ (時)とする。ただし、 x_1 は有料道路の利用者数である。
- 一般道路の所要時間を $t_2 = f_2(x_2)$ (時)とする。ただし、 x_2 は一般道路の利用者数($= N - x_1$)である。

(2) パフォーマンス関数の定式化

有料道路，一般道路それぞれのパフォーマンス関数として，BPR 関数を仮定し，それぞれの経路の所要時間 t_1, t_2 を次式で定義する．

$$t_1 = f_1(x_1) = t_{01} \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{x_1}{K_1} \right)^\beta \right\} \quad (1)$$

$$t_2 = f_2(x_2) = t_{02} \left\{ 1 + \alpha \left(\frac{x_2}{K_2} \right)^\beta \right\} \quad (2)$$

ただし， K_1, K_2 はそれぞれの可能交通容量(台/時)， t_{01}, t_{02} は自由走行時の所要時間， α, β はパラメータである．

(3) 企業タイプ別通勤者効用の定式化

(a) 通勤不効用の定式化

A タイプ企業に勤務する従業員が有料道路を利用する場合，料金は通勤手当として支給されるので，通勤不効用として認識されない．そのため，各企業タイプ(A, B)に勤務する従業員それぞれの有料道路を利用した場合の確定通勤不効用 V_{i1} ，一般道路を利用した場合の確定通勤不効用 V_{i2} はそれぞれ以下の通り定義できる．

$$\text{A タイプ企業} \begin{cases} V_{A1} = ct_1 & (\text{有料道路利用時}) \\ V_{A2} = ct_2 & (\text{一般道路利用時}) \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{B タイプ企業} \begin{cases} V_{B1} = ct_1 + \tau & (\text{有料道路利用時}) \\ V_{B2} = ct_2 & (\text{一般道路利用時}) \end{cases} \quad (4)$$

ただし， c (円/時)は通勤における時間価値を表す．

(b) 経路分担の実現解

各タイプ企業の通勤者は，有料道路を利用した場合と一般道路を利用した場合の通勤不効用を比較し，利用経路を決定する．なお，Aタイプ企業の通勤者が受け取る賃金は，後述するように有料道路利用者数に影響を受けるが，賃金の決定は経路選択の意志決定に比べ時間を要するため，ここでは経路選択に影響を与えないとする．そこで，経路選択をロジット型で定義し，企業タイプ i の通勤者の有料道路の選択確率 P_{i1} ，一般道路の選択確率 P_{i2} をそれぞれ以下の通り定義する．

$$P_{i1} = \frac{\exp(-\eta V_{i1})}{\exp(-\eta V_{i1}) + \exp(-\eta V_{i2})} = \frac{1}{1 + \exp(\eta(V_{i1} - V_{i2}))} \quad (5)$$

$$P_{i2} = 1 - P_{i1} \quad (6)$$

ただし， η はスケールパラメータである．

(c) 生産関数の定式化

A タイプ企業では有料道路の料金を通勤手当として支給することから，本研究では企業の生産活動を含めて評価する必要がある．そこで，ここでは企業の生産関数，賃金を定義する．

従業員の通勤所要時間が長くなれば，疲労により生産効率が低下する．そのため，各企業タイプの生産効率は，各従業員の通勤所要時間の影響を受けると仮定する．このとき，それぞれの企業タイプの総生産額 Y_A, Y_B (円) を次式で定義する．

$$Y_A = \gamma_A \{ \exp(-t_1) N_{A1} + \exp(-t_2) N_{A2} \} \quad (7)$$

$$Y_B = \gamma_B \{ \exp(-t_1) N_{B1} + \exp(-t_2) N_{B2} \} \quad (8)$$

ただし， γ_A, γ_B はそれぞれ各企業タイプの生産水準を表し， $\gamma_A \geq \gamma_B$ と仮定する．また， N_{i1}, N_{i2} はそれぞれ i タイプ企業の従業員のうち，有料道路利用者数，一般道路利用者数を表す ($N_{i1} + N_{i2} = N_i$) ．

1人当たりの賃金は，それぞれの企業タイプの総生産額をそれぞれの従業員数で除したものとするが，Aタイプ企業では有料道路料金を企業が負担するため，総生産額から負担額を差し引いた額が賃金に割り当てられる．それぞれの企業タイプの1人当たり賃金 y_A, y_B (円) は次式で定義できる．

$$y_A = \frac{1}{N_A} (Y_A - \tau N_{A1}) = \frac{1}{N_A} [\gamma_A \{ \exp(-t_1) N_{A1} + \exp(-t_2) N_{A2} \} - \tau N_{A1}] \quad (9)$$

$$y_B = \frac{1}{N_B} Y_B = \frac{\gamma_B}{N_B} \{ \exp(-t_1) N_{B1} + \exp(-t_2) N_{B2} \} \quad (10)$$

(d) 通勤者の総効用の定式化

前節までの定義から， i タイプ企業で， j 道路を利用する従業員が受ける総確定効用 w_{ij} は以下の通り表される．

$$w_{Aj} = y_A - V_{Aj} \quad (11)$$

$$w_{Bj} = y_B - V_{Bj} \quad (12)$$

(4) 社会的厚生水準の定式化

前節までの効用の定義を用いると，都市全体での総確定効用，すなわち社会的厚生水準 SW は，次式で定義できる．

$$SW = \sum_{j=1}^2 [w_{Aj} N_{Aj} + w_{Bj} N_{Bj}] + \tau (N_{A1} + N_{B1}) \quad (13)$$

右辺第1項はAタイプ企業の従業者の総効用，第2項はBタイプ企業の従業者の総効用，第3項は有料道路の総料金収入である．

4. 目的関数最大化問題

本章では取り扱う目的関数を最大化する問題を考える．この際，有料道路の管理者である道路会社が，料金設定にあたって政府の認可を必要とする場合，政府の目的は，各タイプ企業の存在割合を条件として，政策変数である有料道路の通行料金 τ を社会的厚生水準を最大化するように設定することになる．

一方で，道路会社が自身の意志決定により料金を設定できる場合，総料金収入を最大化するように通行料金 τ を決定する問題になる．

(1) 社会的厚生水準最大化問題

本節では，有料道路の料金設定が政府の許可を必要とし，社会的厚生水準を最大化するように決定する問題（社会的厚生水準最大化問題）を扱い，以下の通り定式化する．

$$\max_{\tau} SW = \sum_{j=1}^2 [w_{Aj}N_{Aj} + w_{Bj}N_{Bj}] + \tau(N_{A1} + N_{B1}) \quad (14a)$$

$$\text{s.t.} \quad \frac{N_{A1}}{N_A} = \frac{1}{1 + \exp(\eta(V_{A1} - V_{A2}))} \quad (14b)$$

$$\frac{N_{B1}}{N_B} = \frac{1}{1 + \exp(\eta(V_{B1} - V_{B2}))} \quad (14c)$$

$$N_A + N_B = N \quad (14d)$$

$$N_{A1} + N_{A2} = N_A \quad (14e)$$

$$N_{B1} + N_{B2} = N_B \quad (14f)$$

$$N_{A1}, N_{A2}, N_{B1}, N_{B2} > 0 \quad (14g)$$

ここで，式(14b),(14c)はそれぞれ企業タイプA,Bの通勤者のうち，式(5)で表される有料道路利用者の割合に関する条件式である．このとき，式(14b),(14c)はあらかじめ τ が与えられれば，それぞれの企業タイプの有料道路利用者数 N_{A1}, N_{B1} に関する連立非線形方程式となる．なお，社会的厚生水準(14a)では，有料道路の料金はAタイプ企業と道路会社間，Bタイプ企業と道路会社間でのやり取りとなるため相殺される．

社会的厚生水準最大化問題(14)は，上記，連立非

線形方程式を条件に，社会的厚生水準(14a)を最大にする有料道路料金 τ を求める問題となる．この問題では，連立非線形方程式を含むことから，複数解が存在することになる．

(2) 総料金収入最大化問題

本節では，道路会社が独自に有料道路の料金設定をするとし，総料金収入を最大化するように料金を決定する問題（総料金収入最大化問題）を扱い，以下の通り定式化する．

$$\max_{\tau} SW = \tau(N_{A1} + N_{B1}) \quad (15a)$$

$$\text{s.t.} \quad \frac{N_{A1}}{N_A} = \frac{1}{1 + \exp(\eta(V_{A1} - V_{A2}))} \quad (15b)$$

$$\frac{N_{B1}}{N_B} = \frac{1}{1 + \exp(\eta(V_{B1} - V_{B2}))} \quad (15c)$$

$$N_A + N_B = N \quad (15d)$$

$$N_{A1} + N_{A2} = N_A \quad (15e)$$

$$N_{B1} + N_{B2} = N_B \quad (15f)$$

$$N_{A1}, N_{A2}, N_{B1}, N_{B2} > 0 \quad (15g)$$

総料金収入最大化問題(15)も前節と同様に，連立非線形方程式を条件に，目的関数(15a)を最大にする有料道路料金 τ を求める問題となる．

5. 数値計算例

前章において定式化した制約条件付最大化問題の特徴を比較するため，数値計算を行う．

各係数値を以下のように設定する． $\alpha = 0.48$, $\beta = 2.82$, $t_{01} = t_{02} = 0.25$ (時), $K_1 = 3000$ (台/時), $K_2 = 5000$ (台/時), $c = 3000$ (円/時), $\eta = 0.0005$, $\gamma_A = \gamma_B = 30000$, $N = 5000$ (人)．

数値計算においては，Aタイプ企業，Bタイプ企業の従業員数 N_A, N_B 及び有料道路料金 τ を与えると，連立非線形方程式(14b),(14c)の解であるそれぞれの企業タイプの有料道路利用者数 N_{A1}, N_{B1} 及び一般道路の利用者数 N_{A2}, N_{B2} が求められる．それらを利用するとその状況に対応する社会的厚生水準(14a)，もしくは総料金収入(15a)を数値的に計算できる．以上の計算が τ に応じて計算できることから，その解の中から社会的厚生水準，もしくは総料金収入を最大にする料金 τ^* が決定できる．ここでは，料金設定の単純さから τ を100円刻みで計算する．

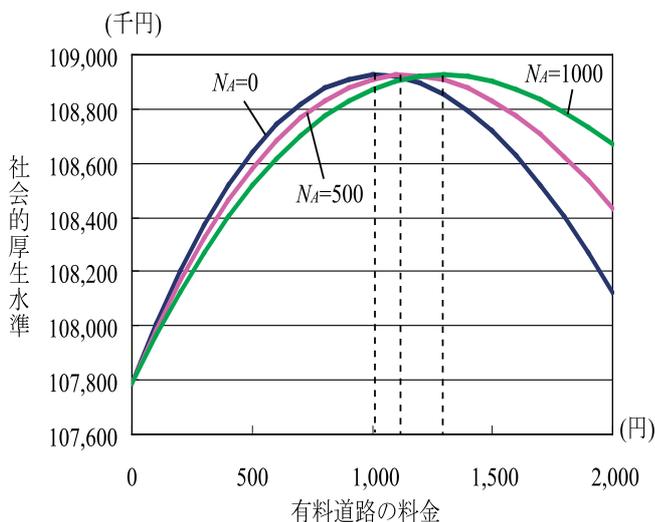


図 - 2 通勤手当支給対象人数の違いによる料金と社会的厚生水準の関係

なお、連立非線形方程式では複数解が存在することから、初期値を複数与え、人数に関する非負条件(14g)を満たす解のうち、目的関数を最大化する解を採用する。また、数値計算においては、連立非線形方程式を科学用サブルーチンライブラリ SSLII を用いて、近似解を求めている。

(1) 社会的厚生水準最大化問題

(a) 通勤手当支給対象人数の違いによる社会的厚生水準の比較

通勤手当の支給対象となる通勤者数の違いが社会的厚生水準に与える影響を見るため、有料道路の通勤手当を支給する A タイプ企業に所属する通勤者数 N_A を変えて、数値計算を行った。A タイプ企業の従業員数を $N_A = 0$ (人), $N_A = 500$ (10%), $N_A = 1000$ (20%) と変えて、その際の有料道路の料金 τ と社会的厚生水準 SW の関係を図-2 に示す。

$N_A = 0$ (人)、つまり通勤手当支給企業が全く存在しないとき、社会的厚生水準 SW を最大にする料金は $\tau^* = 1,000$ (円) となった。通勤手当支給企業が存在する場合、 $N_A = 500$ (人) のとき $\tau^* = 1,100$ (円), $N_A = 1,000$ (人) のとき $\tau^* = 1,300$ (円) となり、通勤手当支給対象人数が多くなるほど、社会的厚生水準を最大化する有料道路料金は高くなる。

本数値計算例では、一般道路に比べ、有料道路の可能交通容量を低く設定している。そのため、有料道路の料金が混雑税的に機能するが、通勤手当を支給される A タイプ企業の通勤者にとっては、経路選

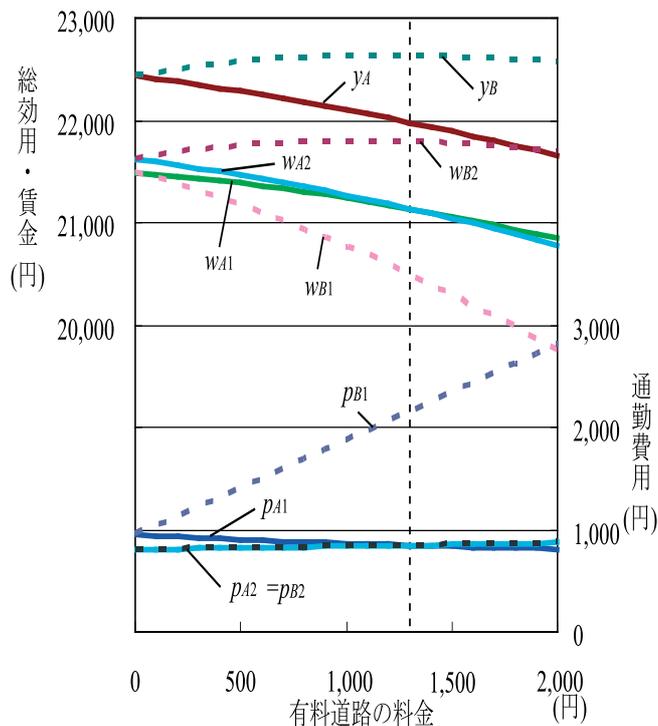


図 - 3 料金と各企業タイプ通勤者の各効用の関係

択において有料道路の料金の影響が考慮されないのので、B タイプ企業の通勤者に比べ、経路変更の感度が低くなる。そのため、B タイプ企業の通勤者を多く経路変更させるために、有料道路の料金が高く設定されることになる。

このとき、有料道路の料金を負担する企業が存在する状態で、通勤手当支給を考慮しない ($N_A = 0$) で有料道路の料金設定を行った場合 ($\tau = 1,000$ 円)、得られる社会的厚生水準が低くなることに注意が必要である。

また、得られる社会的厚生水準 SW が同じにもかかわらず、A タイプ企業の数が増えるほど、設定すべき有料道路の料金が高くなることから、B タイプ企業の通勤者からすれば、有料道路を利用するために多くの費用を必要とすることになる。そのため、通勤手当を支給する企業が少ない方が好まれることになる。

(b) 料金と企業タイプ別各効用の関係

次に、有料道路の料金負担をする企業が存在するとき、各タイプ企業の通勤者の総確定効用を構成する各効用が、有料道路の料金に応じて、どのように変化するかを見る。図-3 は、 $N_A = 1,000$ (人) のときに、有料道路の料金 τ と各タイプ企業に属する通勤者の各効用の関係を表したものである(社会的厚生水

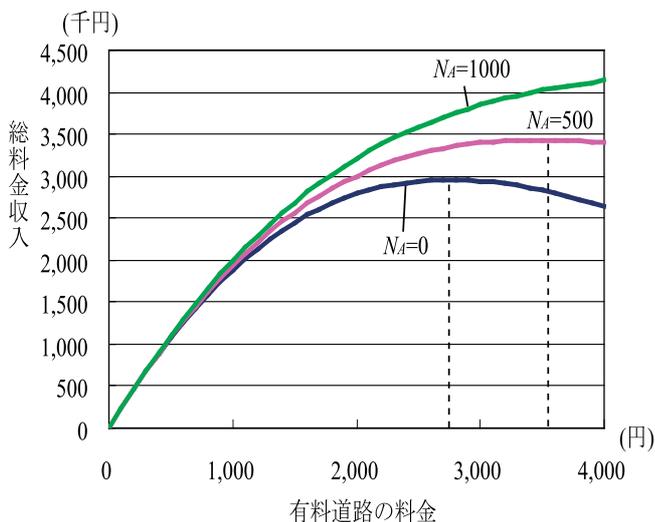


図 - 4 通勤手当支給対象人数の違いによる料金と総料金収入の関係

準を最大にする τ は $\tau^* = 1,300$ 円)。

これより、料金 τ を大きくしていくと、料金が通勤費用に考慮される B タイプ企業の有料道路利用時の通勤費用 p_{B1} が大きくなっていく。しかしながら、社会的厚生水準を最大化する料金 τ^* に近づくにつれ、通勤所要時間が改善されるため、賃金 y_B が大きくなる。結果として、B タイプ企業の通勤者のうち、有料道路を利用する通勤者の総効用 w_{B1} は料金が高くなるに連れ低下し、一般道路を利用する通勤者の総効用 w_{B2} は τ^* の近くで最大となり、それを超えると通勤所要時間が長くなるため、低下する。

一方、A タイプ企業の通勤者は、有料道路の料金を考慮しないため、いずれの道路を利用しても通勤費用が大きく変化することがない。しかしながら、料金が高くなるにつれ、通勤手当の支給額が多くなるため、結果として、受け取る賃金 y_A が低下する。そのため、料金が高くなるにつれ、いずれの道路を利用しても総効用 w_{A1}, w_{A2} が低下する。

(2) 総料金収入最大化問題

本節では、道路会社が自ら有料道路の料金を設定できる場合の数値計算結果を示す。このとき、道路会社は総料金収入を最大にするように料金設定を行う。

図-4は、通勤手当の支給対象となる通勤者数の違いによる料金と総料金収入の関係を表している。

これより、通勤手当を支給する企業が存在しない場合 ($N_A = 0$)、総料金収入を最大化する料金は $\tau^* = 2,800$ (円) となる。

一方、有料道路の料金を負担する企業が存在する場合、 $N_A = 500$ (人) では $\tau^* = 3,600$ (円) となり、支給対象通勤者数が多くなるにつれ、総料金収入を最大化する料金 τ^* が大きくなる。これは、A タイプ企業の通勤者にとっては、経路選択において料金を考慮しないため、料金が高くなって経路変更をするインセンティブが低いことによる。そのため、A タイプ企業の通勤者が多いほど、料金を高く設定でき、その際の総料金収入も大きくなる。ただし、料金を大きくしすぎると有料道路の利用者数が大きく低下するため、結果として総料金収入が低下する。

このように、総料金収入の観点では、通勤手当の支給対象人数が多くなるほど、総料金収入が大きくなる。

6. おわりに

本論文では、有料道路の料金を負担する企業が存在することを念頭に、そのような企業の通勤者を明示的に取り込んだ上で、有料道路と一般道路の2経路からなる都市を対象に、有料道路の料金設定が、経路配分や社会的厚生水準、総料金収入に与える影響を扱える理論モデルを提案した。

また、数値計算により、社会的厚生水準の面では、個人の料金負担の点から通勤手当を負担する企業が少ないほど、より好ましいと考えられる。一方で、総料金収入の面では、通勤手当を負担する企業が多いほど、より総料金収入が大きくなることを示した。

本論文では、非常に簡単なモデル構成や様々な仮定を設けている。そのため、比較的自明な解が得られた。そのため、今後の課題として、定式化したモデルの妥当性や通勤所要時間と生産関数との関係、通勤手当の支給決定メカニズムなど、さらにモデルの精緻化を行う必要がある。また、数値計算も特定の係数値による結果であることから、計算例を増やしたり、実証分析により求める必要がある。

参考文献

- 1) 吉村充功・亀野辰三：企業による通勤支援が交通需要管理施策の推進に及ぼす影響，都市計画論文集，No.41-3，pp.103-108，2006。

- 2) 産労総合研究所：産労総合研究所調査「通勤支援制度」, 賃金事情, 2004年6月5日号 No.2455, pp.30-34, 2004.
- 3) 松田 和香・塚田 幸広：有料道路の料金に係る地方からの提案型社会実験の効果に関する分析, 土木計画学研究・論文集, Vol.22, no. 4, pp.783-788, 2005.
- 4) 松田 和香・塚田 幸広：地方都市近郊における実効的な有料道路の料金施策のあり方に関する一考察, 土木計画学研究・講演集, Vol.32, No. 383, CD-ROM, 2005.
- 5) 吉村充功・亀野辰三：大分都市圏有料道路社会実験が通勤・帰宅交通に及ぼす影響, 日本文理大学環境科学研究報告, Vol.5, pp.20-25, 2006.

OPTIMAL TOLL CHARGE CONSIDERING A COMMUTATION ALLOWANCE BY COMPANY

Mitsunori YOSHIMURA and Makoto OKUMURA

In recent years, the social experiment to change amount of a toll charge is implemented for the purpose of relaxing the road congestion. However, a commutation allowance is supplied in a lot of companies in Japan. Therefore, change of the toll charge doesn't always connect with the behavior change by the commuter directly. In this paper, we propose the theoretical model which can evaluate the traffic assignment, the social welfare to have considered a commutation allowance by company on the 1OD city which consists of toll road and free road. We clarify about the characteristic of the realization solution and the optimal toll charge with / without commutation allowance.