

高速道路の維持補修費用を考慮した 効率的交通流配分 ～大規模ネットワークにおける検証～

田上貴士¹・瀬木俊輔²・小林潔司³

¹正会員 (株)オリエンタルコンサルタンツ 事業本部
(〒151-0071 東京都渋谷区本町 3-12-1 住友不動産西新宿ビル 6 号館)
E-mail: tagami-tk@oriconsul.com

²正会員 京都大学経営管理大学院 港湾物流高度化寄附講座 特定助教 (〒606-8317 京都市左京区吉田本町)
E-mail: segi.shunsuke.6e@kyoto-u.ac.jp

³フェロー会員 京都大学大学院教授 経営管理大学院経営管理講座 (〒606-8317 京都市左京区吉田本町)
E-mail: kobayashi.kiyoshi.6n@kyoto-u.ac.jp

本研究は、大型車の走行により高速道路および一般道路に損傷が生じ、維持補修費用が発生するという環境における効率的な交通流配分と料金設定の問題に着目しモデル化を試みた。具体的には、仮想的な大規模ネットワークを設定し、車種別に交通流配分を行うことにより、維持補修費用の増減と料金収入の増減から導出される高速道路事業者の収支を悪化させない効率的な最適料金 (Second Best) を解く数値シミュレーションを実施した。さらに、社会的なトータルコストの変化や高速道路事業者の収益の改善度等について分析・考察を行い、道路の維持管理に関する施策の方向性について検討した。

Key Words : *maintenance cost, toll fee, expressway, different car type, stochastic user assignment model, system optimization, road maintenance policy*

1. はじめに

かつてワトキンスレポートにおいて「日本の道路は信じがたい程に悪い。工業国にして、これ程完全にその道路網を無視してきた国は、日本の他にない。」¹⁾と評された道路事情であった日本においても、都市高速道路や高速自動車国道等の整備が相当程度進み、近年は道路の新設よりも維持管理や大規模更新に注目が集まり、道路整備は建設から維持管理の時代に移行し始めた。

一方、現在の高速道路料金は債務返済を第一に考え設定されたものであり、道路の維持管理費用を積極的に考慮したものとなっていないのが現状である。また、経済状況や財政状況を鑑みても、大規模に蓄積された社会資本ストックである道路を今後誰がどのように維持管理していくのか、その根拠を明示した上での意志決定が必要とされている。

高速道路の劣化は自然劣化と車両による劣化に大別されるが、特に大型車による劣化が主たる要因と考えられており、高速道路料金が無料であったドイツでは1995年1月より大型車のみ高速道路を有料とした経緯がある²⁾。しかしながら、近年は地球環境問題の表出とともに自然劣化の影響の大きさについてクローズアップされてきている。

大型車が道路の劣化に大きな影響を与えているがゆえに大型車に維持管理費用をより多く負担させることも考えられるが、大型車の料金弾性値は一般的に乗用車のそれよりも大きいことから³⁾実施は容易ではない。高速道路における大型車の料金負担を増やした場合、大型車は高速道路の利用を減らし一般道を利用することとなる。そうなれば、一般道は高速道路よりも舗装が頑丈ではないため、増加した大型車により一般道の劣化は非常に速くなり、当初の目論見と逆の結果に到達する怖れがある。したがって、社会全体が負担する維持管理費用を最小化するという観点からは、大型車の維持管理費用の負担分を高速道路料金に単純に上乗せすることは得策ではない可能性がある。

本研究では、これまでの混雑料金に関する議論で無視されてきた維持修繕費用を明示的に考慮した高速道路の最適料金 (Second Best) に関する分析を試みるとともに、最適維持補修料金モデルの数値シミュレーションを通じて、道路の維持管理時代における高速道路の料金政策の効率的評価を試みた。以下、**2.**では既存研究および本研究の基本的な考え方を整理した。**3.**では維持修繕費用を明示的に考慮した最適維持補修料金モデルの理論的構築を行い、**4.**では適用事例を通じて最適維持補修料金モデルの数値シミュレーションを行い、

5. では 4. の結果を踏まえて道路の維持管理施策に関して考察した。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 従来の研究概要

道路の維持管理費用に関する研究は、高速道路の整備が一早く進んだ米国において顕著である。Small et al. (1989)⁴⁾ は、米国連邦高速道路局 (FHWA) の維持管理の支出割合が 25.4 % (1975) から 28.9 % (1985) に増加したと指摘した。Mohring and Harwitz (1962)⁵⁾ は、ある条件下では、混雑料金収入が長期的に道路コストをカバーすることを示した。Mohring (1976)⁶⁾ は、幹線道路は乗用車のためのために建設されていれば、その舗装は重量トラックにも供給される場合ほどに厚くする必要はない、と指摘し、また、規模の経済性を示す費用の固定部分の負担方法について、土地価格等の要因も含め検討を試みた。Newbery (1987)⁷⁾ は道路ダメージの外部性、混雑や気候と道路課金およびメンテナンスコストの関係についてモデルの構築および数値シミュレーションを行い、維持管理費用を考慮しない (混雑費用だけを考慮した) 通常の道路課金ではメンテナンスコストを賄うことはできないことを示した。

また、米国全州道路交通運輸行政官協会 (AASHTO) の道路試験 (1962) は、個々の車両が道路舗装へ与えるダメージは等価単軸荷重 (ESAL:Equivalent Single Axle Load) の約 4 乗に比例している (4 乗ルール) ことを導き出した⁷⁾。そのため、日本および世界の多くの国々でこの 4 乗ルールが用いられることとなった。この 4 乗ルールは Chu and Tsai (2004)⁸⁾ においても採用されている。

道路の維持管理費用は一般的には道路利用者が認識しないコストであるため、外部不経済として扱われる。この維持管理費用の外部性を軽減する効率的料金設定を分析した研究は、数が少ないもののいくつか存在している。Newbery^{7),9)}, Small and Winston¹⁰⁾, Small et al.⁴⁾ は 1 リンクの道路を考え、この道路の維持管理費用の外部性を内部化するための効率的な限界費用料金を導いている。

Chu and Tsai (2004)⁸⁾ は、メンテナンスに要する車種別費用を車種別料金に反映することによって、社会的厚生およびメンテナンスコストカバー率 (料金収入/メンテナンスコスト) が向上することを示した。なお、Chu and Tsai はメンテナンスコストの定義を Tellis and Khisty (1997)¹¹⁾ に倣い、以下の 4 項目で構成されるとした。

- Capital Outlays (資本的支出): 機器等固定資産の補修 等

- Maintenance: 補修, 修繕 等
- Highway Service: 清掃, 光熱水費 等
- Administration: 料金收受, 交通管理 等

なお、日本においては建設コストの一部と管理コストが維持修繕費用に該当する¹²⁾。具体的には以下の 4 項目から構成される。

- 修繕工事: 道路の修繕に必要な工事で、新たに資産形成をする工事 (機構の債務引受, 建設コストの一部であり資本的支出に相当)
- 維持修繕費: 高速道路の保守に係る費用で、主に清掃作業, 点検, 雪氷作業等の維持作業と舗装補修, 橋梁補修などの修繕作業に係る費用 (修繕作業は、新たな資産形成に係らない部分)
- 管理業務費: 高速道路の管理に係る費用で、主に料金收受業務, 交通管理業務等に係る費用
- 一般管理費等: 高速道路の運営全般に関する費用で、人件費や経費等に係る費用 (E T C マイレージ割引費用を含む)

管理コストである維持修繕費, 管理業務費, 一般管理費等は毎年比較的一定額が計上されているが、修繕工事については実施された年と実施されていない年によって金額に大きな変動が生じる。そのため、維持修繕費用の設定にあたっては、ある一定期間の平均値を用いることが望ましいと考えられる。なお、修繕工事の内容は幅広く、橋梁修繕から機械施設修繕, 渋滞対策まで及んでいる。具体的には、橋梁修繕, トンネル修繕, のり面修繕, 土工修繕, 舗裝修繕, 交通安全施設修繕, 交通管理施設修繕, 渋滞対策, 休憩施設修繕, 雪氷対策施設修繕, 震災対策, 環境対策, トンネル防災, のり面防災, 雪害対策, のり面付属物設置, 橋梁付属物設置, トンネル施設修繕, 電気施設修繕, 通信施設修繕, 建築施設修繕, 機械施設修繕の 22 項目である。

松原・小林 (2012)¹³⁾ は、Chu and Tsai (2004)⁸⁾ の研究を発展させる形で、高速道路の維持補修費用の固定費用の負担方法を考慮した社会的に最適な料金制度について複数のルールを設定し、1 リンク 2 車種の場合について数値シミュレーションを行った。具体的には、高速道路事業者の事業者収入と費用が均衡する料金 (Second Best 料金), EU 型環境負荷重課料金および維持補修費用平均分配料金の 3 種類の料金制度を設定した。その結果、各費用負担ルール間の社会的厚生はそれほど大きく変わらず、また、費用負担方法も比較的公平となることがわかった。

瀬木・田上・小林 (2012)¹⁴⁾ は、平行する 2 本の高速道路に関するモデル化 (両リンクに料金を課する First Best の場合) を行い、維持修繕費用を考慮した料金体系のあり方について検討した。高速道路料金は維持修繕費用を考慮した方が社会的総余剰を改善し、社会全

体の効率化に寄与することを指摘した。

また、瀬木・小林・田上 (2014)¹⁵⁾ は、並行する一般道路 1 本および高速道路 1 本の 2 リンク、2 車種の場合において、維持補修費用を考慮した次善の高速道路料金について理論的な分析を行い、高速道路料金設計問題に対していくつかの政策的示唆を導いた。具体的には、構造物の耐荷力が高い高速道路へ、より多くの大型車を経路誘導することが社会的総余剰の増加に繋がるという結果を導いた。また、高速道路事業者の利潤を減らすことなく、道路ネットワークの維持補修費用を軽減できることも示した。

(2) 本研究の位置づけ

本研究では、大規模ネットワークを用いた維持修繕費用を考慮した高速道路の料金設定モデルを構築し、社会的総余剰および高速道路事業者の事業取支改善、道路の維持管理施策および有料道路の維持管理運営制度に関する知見を得ることを目的とする。筆者等の知る限り、大規模ネットワークを用いて維持修繕費用を考慮した高速道路の料金設定に関する研究事例、特に有料道路の維持管理運営制度に言及した研究事例は他に見あたらない。

1 リンクや 2 リンクの単純なネットワークであれば維持修繕費用を考慮した高速道路の最適料金を解析的に導くことはそれほど難しくはない。全リンク (1 リンク or 2 リンク) に料金を課せる (First Best) のであれば、限界費用料金設定が最適な解となる。高速道路 1 リンクと一般道 1 リンクによる 2 リンクの場合 (Second Best) においては、限定的な条件下では解析的に解を導くことが可能であり、数値シミュレーションを実施したとしても単純なモデルであるため、計算時間はそれほどかからない。しかしながら、高速道路と一般道が複雑に入り組んだ大規模ネットワーク (Second Best) では、最適料金を導くモデルを定式化できたとしても、最適料金解はネットワーク構造に依存したものとなり、どのような条件を設定したとしても解析的に解を導くことは非常に困難である。そのため、大規模ネットワークにおいて最適料金解を導くには数値シミュレーションを実施する以外に方法はなく、その数値シミュレーションも莫大な時間を要するが、実際の道路ネットワークと同じ特性をもったネットワークをモデル化しているため具体的な施策提言が可能となる。これが本研究の大きな特徴である。

3. 最適維持補修料金モデルの構築

維持補修費用を考慮した最適維持補修料金モデルを以下に示す。交通需要は固定、料金は高速道路のみに

課金する総コスト最小化問題である。なお、ここでいう最適料金とは下記問題における最適解のことを意味し、本問題は高速道路のみに課金する Second Best の問題であることから、本問題の最適料金は次善料金のことを意味する。以下、本問題の最適解の料金を「最適料金 (Second Best)」と示す。

$$\min_{\{x_a^y, x_b^y, p_b^y\}} TC \quad (1)$$

$$TC = \sum_{a \in A} \{(\beta^s x_a^s + \beta^l x_a^l) t_a(x_a) + x_a^s m_a^s + x_a^l m_a^l + F_a\} \\ + \sum_{b \in B} \{(\beta^s x_b^s + \beta^l x_b^l) t_b(x_b) + x_b^s m_b^s + x_b^l m_b^l + F_b\} \quad (2)$$

制約条件：

$$\min_{\{x, f\}} Z \quad (3)$$

$$Z = \sum_{a \in A} \int_0^{x_a} t_a(w) \cdot dw + \sum_{b \in B} \int_0^{x_b} t_b(w) \cdot dw \\ + \sum_{h \in H_{ru}} \sum_{y \in (s, l)} \frac{p_h^{ru, y}}{\beta^y} \cdot f_h^{ru, y} - \sum_{y \in (s, l)} \sum_{ru \in \Omega} \frac{1}{\theta} \cdot Q_{ru}^y \\ \cdot \sum_{h \in H_{ru}} \left\{ -\frac{f_h^{ru, y}}{Q_{ru}^y} \cdot \ln \frac{f_h^{ru, y}}{Q_{ru}^y} \right\} \quad (4)$$

$$\sum_{h \in H_{ru}} f_h^{ru, y} - Q_{ru}^y = 0 \quad (5)$$

$$x_a^y = \sum_{h \in H_{ru}} \sum_{ru \in \Omega} \delta_{a, h}^{ru, y} f_h^{ru, y} \quad (6)$$

$$x_b^y = \sum_{h \in H_{ru}} \sum_{ru \in \Omega} \delta_{b, h}^{ru, y} f_h^{ru, y} \quad (7)$$

$$x_a = x_a^s + x_a^l, \quad x_b = x_b^s + x_b^l \quad (8)$$

$$f_h^{ru} \geq 0, \quad x_a, x_a^s, x_a^l \geq 0, \quad x_b, x_b^s, x_b^l \geq 0 \quad (9)$$

ここで、

$a \in A$: 高速道路の集合 A におけるリンク a

$b \in B$: 一般道路の集合 B におけるリンク b

$y \in s, l$: 普通車 s , 大型車 l の集合における車種 y

$ru \in \Omega$: OD ペア集合

$h \in H_{ru}$: OD ペア ru の経路集合 h

x_a^y, x_b^y : リンク a, b の車種 y の交通量 (PCU 単位)

$p_h^{ru, y}$: OD ペア ru 間第 h 経路の車種 y の高速道路料金

$t_a(x_a), t_b(x_b)$: リンク a, b の所要時間 (単調増加関数)

$f_h^{ru, y}$: OD ペア ru 間第 h 経路の車種 y の経路交通量

Q_{ru}^y : OD ペア ru 間の車種 y の分布交通量

$\delta_{a, h}^{ru, y}$: 車種 y の OD ペア ru 間第 h 経路がリンク a を含むとき 1, そうでないとき 0 をとる変数

β^y : 車種 y の時間価値

m_a^y, m_b^y : リンク a, b の車種 y の限界維持修繕費用

F_a, F_b : 道路事業者の固定費用 (維持修繕費用の固定費用, 債務の償還費用等) である。

本モデルは最適化問題 (式 (1)) の制約条件として均衡問題 (式 (3) – 式 (9)) を内包している MPEC (均衡制約付き数理最適化問題: Mathematical Problem with Equilibrium Constraints)¹⁶⁾ の形式となっている。

式 (2) の第 1 項は高速道路における旅行時間コストおよび維持修繕費用 (変動費用) であり, 第 2 項は一般道路における旅行時間コストおよび維持修繕費用 (変動費用) を意味する。高速道路利用者が支払う料金は高速道路事業者の収入となり, 社会全体では差し引きゼロとなるため式 (2) で料金に関する変数は現れないが, 均衡問題では料金はリンクコスト (所要時間) に加算されるため, 重要なファクターとなる。

式 (3) – 式 (9) は車種別均衡配分が可能な確率的利用者均衡配分における定式化であり, 式 (4) の第 3 項は料金に関する項でランプ間料金を反映可能とした経路料金での表現, 第 4 項がエントロピー項である。確定的利用者均衡配分を行う場合は, この第 4 項を無視することとなる。

また, 最適解を導出するにあたっては, 高速道路事業者の収支 Π が悪化しないよう本研究では配慮する (当然のことながら, 収支 Π が悪化した場合の計算も実施する)。ただし, 本モデルでは, 現況料金体系で計算した際の高速道路事業者収支を基本とし, 高速道路事業者の収支が現況料金体系と同じか, 現況料金体系よりも改善する最適料金 (Second Best) を求めることとする (式 (10))。

$$\begin{aligned} \Pi = & \sum_{h \in H_{ru}} \sum_{y \in (s,l)} p_h^{ru,y} \cdot f_h^{ru,y} \\ & - \sum_{a \in A} (x_a^s m_a^s + x_a^l m_a^l + F_a) \end{aligned} \quad (10)$$

式 (10) の第 1 項は高速道路事業者の料金収入, 第 2 項は交通量に依存する維持修繕費用の変動部分及び固定費用である。

本問題の大きな特徴の一つに, 道路利用者は道路の維持修繕費用を認識せずに道路利用を行うという点が挙げられる。すなわち, 道路の維持修繕費用がどのような値であろうと, 利用者は自身の認識する最短ルートを利用するのである。現実の問題としては, 道路舗装があまりに劣悪であれば道路利用者もそのルートは避けるであろうが, 日本においては道路利用者が迂回してしまふほど道路舗装が劣悪になる前に, 道路管理者が修繕するのが普通である。そのため, 道路利用者が維持修繕費用を認識せずに道路を利用するという設定は, 道路舗装の実態を鑑みても妥当であると考えら

れる。

なお, 本問題の最適解を導く場合, 固定費用 F_a, F_b は最適解に影響を与えないため無視できるが, 固定費用を誰が負担すべきかという問題は解決できない。固定費用の負担方法のあり方については今後の課題となる。

4. 適用事例

(1) 推計方法

式 (1) は解析的に解くことができないため, 数値シミュレーションを実施することにより最適解を求める。具体的には, 最適料金 (Second Best) を探索しつつ交通量配分を行う直接探索法により次善の解 (Second Best) を求める。手順としては, まず最初に比較の基準ケースとなる現況料金体系で数値シミュレーションを実施し, その後, 同じネットワークを用いて最適料金 (Second Best) の探索を行う。

本研究は普通車と大型車の限界維持修繕費用の差に着目していることから, 車種別の交通流配分に大きな意味があるため, 式 (3) を解くにあたっては車種別の交通流配分が可能な確率的利用者均衡配分を用いる。確率的利用者均衡配分は利用者が認識する最短経路を選択するという均衡配分である。また, 確率的利用者均衡配分の具体的な配分方法として主に部分線形化法, 逐次平均法, SD法 (Simplicial Decomposition 法) の 3 手法があるが, 本研究では経路交通量を明示的に扱う SD法を採用する¹⁷⁾。

なお, 高速道路の対距離料金制 (ランプ間料金) を反映するためには仮想リンク法が必要となるが, 本研究では予め経路集合を設定し, その経路集合間で確率的利用者均衡配分を実施する。経路集合は車種別代表時間評価値 (表 1) を用いて複数ルートサーチすることにより作成する。具体的には, ルートサーチを行うとともに後に紹介する OD 表を用いて, OD 交通量を 1/3 ずつ OD 間のルート (道路) に配分し, 道路の通過時間を変更した上で (混雑状況をある程度反映), 繰り返しルートサーチを実施した (すなわち, 各車種 3 回ずつルートサーチを実施)。このことにより, OD 間混雑をある程度反映した時間価値が異なる多様な道路利用者の経路を設定することになる。リンクコスト関数は単調増加関数である BPR 関数とし, パラメーターは高速道路と一般道路で等しいとし, 土木学会 (2003)¹⁸⁾ が推定した $\alpha_k=0.48, \gamma_k=2.82$ を用いる。料金は時間換算し, 大型車の乗用車換算係数 $PCU=1.7$ とする。

$$t_k(x_k) = t_{k0} \left[1 + \alpha_k \left(\frac{x_k}{C_k} \right)^{\gamma_k} \right] \quad (11)$$

ここで, t_{k0} はリンク k のゼロフロー時の旅行時間を表す定数 (自由旅行時間) であり, C_k はリンク k ($k \in (a, b)$)

表-1 ルートサーチに用いる車種別代表時間評価値

No.	代表時間 評価値 (円/分)	乗用車	小型 貨物車	普通 貨物車
1	0.01	0.01	0.01	0.01
2	10			7.26
3	20			14.5
4	30			21.8
5	45	45.5	48.3	32.7
6	65		69.8	
7	70	70.7		
8	75			54.5
9	140		150.4	
10	160	161.6		
11	165			119.8
12	9,000	9,000	9,000	9,000

の交通容量 (PCU / 日) を表す定数である。

OD 表は、車種分類は乗用車類 (普通車)、小型貨物車 (普通車)、普通貨物車 (大型車) の 3 車種として作成した。時間価値原単位は国土交通省の「費用便益分析マニュアル」¹⁹⁾ に従い乗用車類: $\beta_1=45.78$, 小型貨物車: $\beta_2=47.91$, 普通貨物車: $\beta_3=64.18$ (PCU 換算で 37.75) とする。ここで、小型貨物の PCU は一般的に 1 であるため、小型貨物は乗用車に含まれると考えることが可能であり、式 (1) - 式 (10) のモデルを用いる。

数値シミュレーションの具体的な手順を図 1 に示した。

(2) 大規模ネットワークデータの設定

適用事例として、大規模な仮想ネットワークを作成した。システム全体の一般道路の延長は約 11,000km, 高速道路の延長は約 1,000km, システム全体で約 12,000km のネットワークを作成した。リンク数は約 40,000, ノード数は約 25,000 である。検討対象とする高速道路は延長約 300km で料金は対距離制, 大型車の料金は普通車の料金の 2 倍とした。最適料金 (Second Best) の探索にあたっては、道路利用者の負担が急激に変化することは望ましくないため、現況からの料金が大きく乖離しないことを念頭に置き、料金変化率を ± 5 % 単位とし、最大 ± 10 % を許容範囲とした。すなわち、各車種の料金変化率が ± 0 % の場合が現況料金体系のケースということになる。

OD 表のゾーン数 (交通量の発集点) は 571 ゾーンで設定した。高速道路の料金体系は対距離料金 (ランブ間料金) とした。また、確率的利用者均衡配分の分

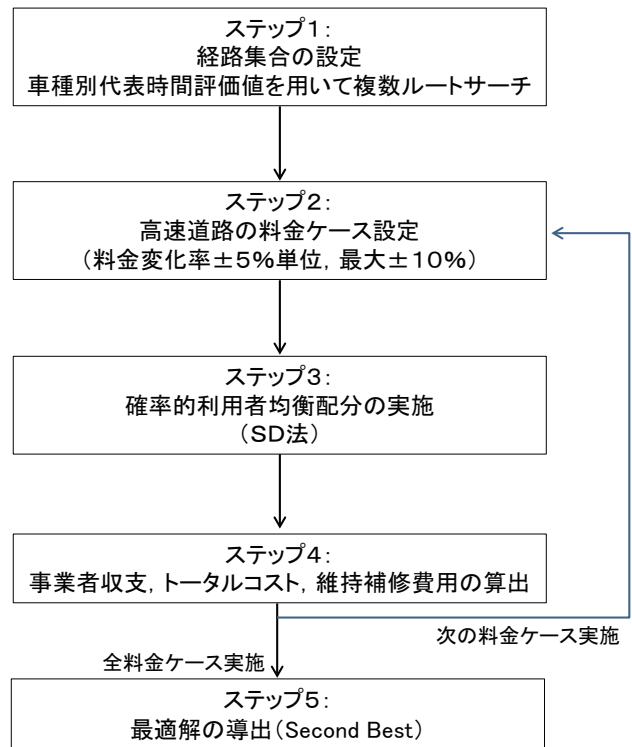


図-1 数値シミュレーションの手順

散パラメーターは $\theta = 100$ に設定した (旅行時間コストの認知誤差の標準偏差は約 30 秒となる)。

限界維持修繕費用の設定は、普通車の荷重による道路舗装への損傷は非常に少ないと考えられるため、普通車の限界維持修繕費用はゼロとした。また、大型車の限界維持修繕費用に関する研究の蓄積は非常に少ないが、田上他 (2012)^{20),21)} では、高速道路と一般道路の道路舗装における大型車の限界維持修繕費用は概ね 10 倍程度異なる知見が得られている。また、米国州間高速道路の Cost Allocation Study (1997)²²⁾ によると、40 キロポンドの 4 軸トラック 1 台の舗装の限界維持補修費用は、地方部で 1.0 セント/マイル, 都市部で 3.1 セント/マイルである。また、60 キロポンドの 4 軸トラックの舗装の限界維持補修費用は、地方部で 5.6 セント/マイル, 都市部で 18.1 セント/マイルである。ただし、橋梁やトンネル等の構造物の修繕コストは道路舗装のそれよりも大きいと考えられ、道路舗装においても維持修繕を行う場合には通行止め等の社会的コストが発生し、実際のコストは工事費用だけではない。そこで今回は、道路舗装の限界維持修繕費用よりも若干大きく設定し、大型車の高速道路の限界維持修繕費用は 3.0 円/km・台, 一般道路の限界維持修繕費用は 10 倍の 30.0 円/km・台と設定した。3. で記述した通り、維持修繕費用の固定費用は計算結果に影響を与えないため、今回は設定せず無視した (ゼロとした)。

表-2 事業者収支（高速道路事業者：億円/日）

		大型車料金変化率				
		+10%	+5%	±0%	-5%	-10%
料金普通 変通 化車 率	-10%	5.85	5.78	5.71	5.64	5.56
	-5%	6.06	5.99	5.91	5.84	5.76
	±0%	6.25	6.18	6.11	6.03	5.96
	+5%	6.46	6.38	6.31	6.23	6.15
	+10%	6.65	6.57	6.50	6.42	6.34

表-3 トータルコスト（システム全体：億円/日）

		大型車料金変化率				
		+10%	+5%	±0%	-5%	-10%
料金普通 変通 化車 率	-10%	349.25	349.16	349.14	349.11	349.10
	-5%	349.33	349.31	349.26	349.26	349.15
	±0%	349.35	349.32	349.33	349.31	349.03
	+5%	349.46	349.43	349.36	349.33	349.31
	+10%	349.66	349.46	349.50	349.41	349.35

表-4 維持修繕費用（システム全体：億円/日）

		大型車料金変化率				
		+10%	+5%	±0%	-5%	-10%
料金普通 変通 化車 率	-10%	6.46	6.46	6.45	6.44	6.44
	-5%	6.46	6.45	6.45	6.44	6.44
	±0%	6.46	6.45	6.45	6.44	6.43
	+5%	6.46	6.45	6.44	6.44	6.43
	+10%	6.45	6.45	6.44	6.43	6.43

表-5 維持修繕費用（高速道路事業者：億円/日）

		大型車料金変化率				
		+10%	+5%	±0%	-5%	-10%
料金普通 変通 化車 率	-10%	0.160	0.161	0.163	0.164	0.165
	-5%	0.161	0.162	0.163	0.164	0.165
	±0%	0.162	0.163	0.164	0.165	0.166
	+5%	0.162	0.163	0.164	0.165	0.167
	+10%	0.163	0.164	0.165	0.166	0.167

(3) 推計結果

事業者収支について料金の影響をシミュレーションすると、普通車の料金を下げると事業者収支が悪化する結果となった（表2）。表中でハッチがかかったセルは事業者収支を悪化させない料金条件である。事業者の収支を改善するためには、普通車の料金を上げるか、大型車の料金を上げる場合でも普通車料金は現状維持か上げる必要があると言える。

事業者収支を悪化させずトータルコストが最小となる最適料金（Second Best）は、普通車料金を5%増加させ、大型車料金を10%減少させる場合となった（表3）。

また、維持修繕費用については、最適料金（Second Best）時にはシステム全体の維持修繕費用は減少する結果となった（表4）。高速道路事業者の維持修繕費用は増加するが、事業者収支は改善しているため問題は少ないと考えられる（表5）。ただし、今回は需要固定型ODを用いたが、需要変動型ODを用いたならば、料

表-6 旅行時間コスト（システム全体：億円/日）

		大型車料金変化率				
		+10%	+5%	±0%	-5%	-10%
料金普通 変通 化車 率	-10%	342.78	342.70	342.69	342.67	342.66
	-5%	342.87	342.85	342.81	342.82	342.71
	±0%	342.89	342.87	342.89	342.87	342.60
	+5%	343.00	342.98	342.91	342.89	342.88
	+10%	343.20	343.01	343.06	342.97	342.92

金を上げた普通車の交通需要は減少し、料金を下げた大型車の交通需要は増加する。その場合、大型車が増えた分、システム全体の維持修繕費用は更に増加する可能性があることに留意する必要がある。

このことは瀬木・小林・田上（2014）¹⁵⁾が2リンクの場合で示したように、普通車を高速道路から一般道路に誘導し、大型車を維持修繕費用の少ない高速道路に誘導することで、社会全体のトータルコスト及び維持修繕費用を減少させることが可能であることと同様の結果である。瀬木らが導いた結果は、今回の適用事例に関する限り、大規模ネットワークという条件下においても当てはまることを本研究で示したことになる。

(4) 経路誘導の効果

前節では高速道路の料金割引により大型車を高速道路に誘導し、トータルの維持修繕費用を削減可能であることを示した。ここでは大型車が具体的にどのような経路に転換したのかについて考察する。

基本的に、大型車は並行する国道利用から高速道路利用に転換している。これは経路転換の最も典型的な例で、同じ方面に向かうならば時間価値と高速道路費用のバランスで、国道を選ぶか高速道路を選ぶか決定されるためである。高速道路利用車両は基本的に広域利用の交通であるため、一般道を使うならば国道以外の選択肢は少ないと考えられる。高速道路利用車両が県道以下を利用することがあるのは、起終点近くで目的地に発着する場合が主である。

(5) 維持修繕費用考慮の必要性

ここで、維持修繕費用を考慮せず、旅行時間コスト最小の場合を確認すると、表6の通り、普通車料金を変化させず、大型車料金を5%増加させたケースが旅行時間コスト最小となる。全体的な傾向としては、大型車料金を減少させた方が旅行時間コストが低くなる傾向にあるが、事業者収支を悪化させない範囲では大型車料金を5%増加させたケースが旅行時間コスト最小となった。また、その際のシステム全体の維持修繕費用は増加している（6.446億円/日→6.452億円/日）。

あくまで今回の適用事例に関する限りではあるが、外部費用である維持修繕費用を考慮せず旅行時間コスト

表-7 事業者収支（高速道路事業者：億円/日）

		大型車料金変化率					
		-15%	-20%	-25%	-30%	-35%	-40%
料金普通車 変化率	+5%	6.07	5.99	5.90	5.82	5.73	5.64
	+10%	6.26	6.18	6.09	6.00	5.92	5.83
	+15%	6.45	6.37	6.28	6.20	6.11	6.01
	+20%	6.63	6.54	6.46	6.37	6.28	6.19

表-8 トータルコスト（システム全体：億円/日）

		大型車料金変化率					
		-15%	-20%	-25%	-30%	-35%	-40%
料金普通車 変化率	+5%	349.24	349.01	348.93	348.90	348.87	349.15
	+10%	349.30	349.24	349.29	349.16	348.97	348.97
	+15%	349.38	349.31	349.30	349.27	349.26	348.95
	+20%	349.37	349.27	349.27	349.23	349.24	349.26

のみを考慮すると、維持修繕費用を増加させてしまうケースが採用される可能性があることを示した。大規模ネットワークを用いた場合、一般的な結果を示すことが困難であるため、大規模ネットワークを用いて維持修繕費用の必要性を示すには、更なる研究の蓄積が必要である。

(6) 料金変化率を拡大した場合の最適解

前節までのシミュレーションでは、道路利用者が負担する料金が大きくなるよう料金変化率は最大±10%とした。しかしながら、一般的に料金弾性値が小さい普通車の料金を+10%を超えて上げ続け、一般的に料金弾性値が大きい大型車の料金を-10%を超えて下げ続ければ、ある程度までは事業者収支を悪化させない可能性があり、そのときに前節までに得られた最適解よりも良い最適解が得られる可能性がある。

そこで本節では、前節で得られた最適解の妥当性およびその他の最適解について検証を行う。ただし、社会的良識を鑑みると、大型車の料金が普通車の料金よりも安くなることは妥当ではないと考えられる。そのため、大型車の料金は最大で-40%、普通車の料金は最大で+20%が料金変化の限界とした。

以上の条件で数値シミュレーションを行った結果が表7、表8である。最適料金（Second Best）は、普通車料金+20%、大型車料金-30%となった。

表8からもわかるとおり、全体的に大型車の料金を減少させた方がトータルコストは低くなる傾向にある。しかしながら、大型車の料金を-40%にするケースが最適料金（Second Best）になってはいない。大型車の料金を過度に下げると、かえって社会的に非効率となることに留意する必要がある。

(7) 実行可能な料金条件

前節までの議論で導かれた最適解（Second Best）は、事業者収支を悪化させてはいけないため、大型車料金を値下げするために普通車料金の値上げを必要とした。しかしながら、実社会においては料金割引は比較的実行可能であるが、特定の車種のみ料金値上げは実行が不可能でないにしても困難である。そのため本節では、事業者収支を無視し（税金で補填すると仮定）、料金割引のみを可能とする場合のトータルコストを最小にする料金解について考察する。

表3において料金割引のみ許容すれば、普通車料金±0%、大型車料金-10%のケースでトータルコストが最小となる。このことが意味するところは、大型車の料金を現況よりも若干安くした方が社会的により良い状態を達成可能だということである。実社会における高速道路の料金割引施策では、深夜割引などの実質的に大型車料金を安くする施策が実施されているが、本研究で得られる知見からも、その施策の方向性は妥当である可能性が高いと考えられる。

(8) 高速道路の耐荷力向上投資の条件

以上の議論の結果から、高速道路が社会全体の維持修繕費用を減少させる役割を担う可能性があることがわかった。一方で大型車の増加により高速道路自体の維持修繕費用は増加し、劣化しやすくなるものと想定される。そこで本節では、高速道路の耐荷力向上投資により高速道路をより頑丈にし、社会全体の維持修繕費用及びトータルコストを減少させる可能性について検証する。

高速道路の耐荷力向上投資によって限界維持修繕費用は減少すると仮定する。投資額が限界維持修繕費用の減少分の割引現在価値より小さければ、維持修繕費用及び社会全体のトータルコストを減少させることが可能となる。

本適用事例では高速道路における大型車の限界維持修繕費用を3.0円/km・台としたが、耐荷力向上投資によって検討対象とする高速道路（延長約300km）の限界維持修繕費用が1.0円/km・台減少し、2.0円/km・台となるケースについて検証を行う。ここで、道路利用者は道路の維持修繕費用を認識しないため（外部性）、交通量配分計算と独立した形式で限界維持修繕費用を変化させ、高速道路の耐荷力向上投資による費用削減額を計算することが可能であることに留意する必要がある。

仮に高速道路における大型車の限界維持修繕費用が1.0円/km・台減少したとすると、維持修繕費用は0.039億円/日減少する結果となった。この維持修繕費用の減少が未来永劫続き、割引率を4%と仮定すると、割

表-9 事業者収支：基幹幹線（高速道路事業者：億円/日）

		大型車料金変化率		
		±0%	-5%	-10%
料金普通 変化率	±0%	6.108	6.09	6.06
	+5%	6.18	6.14	6.109
	+10%	6.22	6.19	6.16

表-10 トータルコスト：基幹幹線（システム全体：億円/日）

		大型車料金変化率		
		±0%	-5%	-10%
料金普通 変化率	±0%	349.33	349.31	349.30
	+5%	349.30	349.30	349.28
	+10%	349.29	349.30	349.30

表-11 維持修繕費用：基幹幹線（システム全体：億円/日）

		大型車料金変化率		
		±0%	-5%	-10%
料金普通 変化率	±0%	6.45	6.43	6.42
	+5%	6.43	6.43	6.42
	+10%	6.43	6.42	6.42

表-12 維持修繕費用：基幹幹線（高速道路事業者：億円/日）

		大型車料金変化率		
		±0%	-5%	-10%
料金普通 変化率	±0%	0.164	0.147	0.148
	+5%	0.147	0.147	0.148
	+10%	0.147	0.148	0.148

引現在価値は約 359 億円，1km 当たり約 1 億円となる。すなわち，高速道路の耐荷力向上の投資額がこの割引現在価値以下であれば，投資によって社会全体の維持修繕費用及びトータルコストを減少させることが可能であり，高速道路事業者にとっては利益増加という恩恵を得ることができる。しかしながら，1km 当たり 1 億円投資して大型車の限界維持修繕費用を 1.0 円/km・台だけ減少させられるかどうかは不明であり，今後の更なる研究が必要である。

(9) 高速道路の機能役割分担

前節までは対象とする高速道路全体の料金体系を同じように変更し検討した。しかしながら，前述の通り，OD の分布によっては利用が少ない路線もあれば，国道が平行する需要が多い路線も存在する。また，政策的に考えると，一部の路線だけ大型車料金を割安にし，それら路線に大型車を集めるとともに頑丈な舗装構造とすることによって，全体の維持修繕費用を減少させることも考えられる。

そこで本節では，本ネットワークの基幹路線（約 80km）を頑丈にし（限界維持修繕費用を減少させ），それら路線のみ料金を変化させるシミュレーションを実施する。これら基幹路線は高速道路延長の約 4 分の 1 を占めており，表 3 の現況ケース（料金変化± 0%）におけるトータルコストでは全体の約 30% を占めている重要路線である。

高速道路における課金の実務的な考えから，当該路線の IC から流入もしくは流出した場合の料金，すなわち IC（ランプ）間料金を増加もしくは減少させるものとした。具体的には，前節までの議論を踏まえ，最適解の候補となり得る小型車料金増加もしくは大型車料金減少のケースについてシミュレーションを実施した。

当該路線の限界維持修繕費用は 3.0 円/km・台→2.0 円/km・台に低減（頑丈に）するものとした（比較のため現況料金ケースは 3.0 円/km のままとした）。シミュレーションの結果を表 9-12 に示す。

一部の高速道路のみを頑丈にしかつ料金変化させた結果，事業者収支を悪化させずトータルコストが最小となる最適料金（Second Best）は，普通車料金を 5% 増加させ，大型車料金を 10% 減少させる場合となった（表 10）。これは，現況よりも普通車の料金を上げ一般道路走行に導き，大型車料金を下げ高速道路走行に導くことを意味している。また，基幹路線を頑丈にしたことも影響し，システム全体の維持修繕費用は減少し，さらに高速道路事業者の維持修繕費用も現況より減少する結果となった。今回の適用事例では基幹路線を頑丈にしたことにより，維持修繕費用は 0.017 億円/日減少する結果となった。この維持修繕費用の減少が未来永劫続き，割引率を 4% と仮定すると，割引現在価値は約 156 億円，1km 当たり約 2 億円となる。基幹路線を頑丈にするために 1km 当たり 2 億円までの投資であれば十分にペイすることを意味する。前節で検討した対象とする高速道路全体を頑丈にする場合は 1km 当たり 1 億円までしか投資できないため，基幹路線のみを頑丈にした方がより多くの資金を投資可能であるとも言える。

また，前節までの議論を踏まえ，現況，料金変化のみ（全路線），料金変化のみ（基幹路線），料金変化及

表-13 高速道路の機能役割分担の効果（単位：億円/日）

項目	現況	料金変化 (全路線)	料金変化 (基幹路線)	耐荷力向上投資 (基幹路線)	料金変化 +耐荷力向上投資 (基幹路線)
トータルコスト (システム全体)	349.33	349.31	349.31	349.32	349.28
事業者収支 (高速道路事業者)	6.11	6.15	6.21	6.12	6.11
維持修繕費用 (システム全体)	6.45	6.43	6.44	6.43	6.42
維持修繕費用 (高速道路事業者)	0.164	0.167	0.164	0.147	0.148
料金条件	現況料金	小型車料金+5 % 大型車料金-10 %	小型車料金+10 % 大型車料金± 0 %	現況料金	小型車料金+5 % 大型車料金-10 %

び耐荷力向上投資（基幹路線）の4ケースについて比較を行った（表13）。料金変化のみ（基幹路線）のシミュレーション結果の詳細は割愛するが、最適料金は小型車料金+10%、大型車料金±0%の場合となった。

表13より、料金変化させることによってトータルコスト及び維持修繕費用が減少する状況が伺われるが、一部の路線（基幹路線）のみにおいて料金変化をさせた場合においても、トータルコスト及び維持修繕費用を現況よりも減少させることができる。ただし、全路線の料金変化をさせた場合ほどの削減効果は見込まれない。また、期間路線のみにおいて耐荷力向上投資を行った場合においても、トータルコスト及び維持修繕費用を現況よりも減少させることが可能であり、特に高速道路事業者の維持修繕費用を大きく減少させることができる。

そこで、基幹路線において料金変化のみならず耐荷力向上投資を併せて行った場合を考えると、トータルコスト及び維持修繕費用は全路線の料金変化を行った場合よりも更に減少することがわかる。全路線の耐荷力向上投資を行えば効果が出るのは自明であるが、それは非常に費用がかかるものであり、全体の約4分の1を占める基幹路線においてのみ料金変化及び耐荷力向上投資を行うことでそれなりの効果を得ることが可能であると言える。すなわち、効果が見込めそうな大型車が多い路線に対して料金変化及び耐荷力向上投資を行うことで、投資対効果を高めることが可能だと考えられる。

今回の適用事例に関する限り、一部の基幹路線を頑丈にし、かつ料金変化により大型車を交通集中させることで、事業者収支を悪化させずトータルコストを減少させ、なおかつ維持修繕費用も減少させる可能性があることがわかった。OD分布や交通面から重要と考

えられる路線を選別し、高速道路間で機能的役割分担をすることは有益である可能性がある。ただし、基幹路線の限界維持修繕費用を1.0円/km・台減らすのに1km当たり2億円の投資で可能かどうかは今後の研究が待たれる。1km当たり2億円の投資で済む場合は高速道路事業者が自主的に投資するインセンティブが働くが、もし1km当たり2億円以上の投資が必要な場合、社会全体が受ける便益を考慮し、政府補助等の公的な支援を行うことも考えられる。

5. 道路の維持管理施策に関する考察

今回の適用事例に関する限り、以下の知見が得られた。

(1) 料金変更により維持修繕費用を低減・収支改善可能

高速道路の料金変更を通じて経路誘導することにより、社会全体のトータルコストおよび維持修繕費用を低減し、なおかつ収支改善が可能であることがわかった。ただし、事業者収支を確保すると、普通車料金を増加させることになるため、社会的な公平性確保のための方策が必要である。例えば、大型車に対して新たな課税を実施し、普通車の税金を低くする等の所得移転等が考えられる。もしくは、大型車の料金割引率を普通車の料金割引率よりも大きくし、相対的に大型車の料金を低下させる方策も考えられる。政策的な実施しやすさを考慮すれば、料金割引により大型車のみ料金を相対的に低下させる方が実施しやすいと言えるが、その際には事業者収支が悪化してしまうため、政府等からの補てんが必要となり、それは実社会で実施されている高速道路の料金割引のスキームとほぼ同じである。

また、一部の高速道路事業者のみが料金割引を実施

すると、他の高速道路事業者の維持修繕費用や料金収入に影響を与える可能性がある。そのため、社会全体のトータルコストを減少させるには、何らかの形で複数の高速道路事業者が連携し、全体的にバランスがとれた施策を実施することが考えられる。例えば、高速道路事業者同士の連携が難しくければ、政府が音頭をとって社会全体として維持修繕費用を考慮した高速道路料金体系を考え、実行していくことが考えられる。

(2) 高速道路の段階的機能役割分担の可能性

高速道路の中でも耐荷力向上の投資を行い基幹路線となる頑丈な路線の料金体系を割安にすることを通じて大型車を集中させ、システム全体の維持修繕費用を低減することを今回の適用事例に関する限り示した。状況によっては大型車のみが走行可能な路線を設定した方が、社会全体のトータルコスト及び維持修繕費用を低下させる可能性があり、今後の更なる詳細検討が必要とされる。

現在の高速道路のほとんどは高規格幹線道路および都市高速であり、国土開発幹線自動車道は国土の開発を視野に入れた高速道路であるが、地域高規格道路のような交流促進型広域道路や地域形成型広域道路等のきめ細かい役割分担が考慮されているとは言い難い。本研究の適用事例で示した通り、大型車を優先して通行させる基幹路線とその他の路線に分ける方法も考えられるし、その他の役割分担の方法も当然あるはずである。そのため、高規格幹線道路や都市高速道路において大型車を優先して走行させる路線の設定や、道路網としての機能役割分担を明確に規定することは、物流の高度化に資するだけでなく社会全体のトータルコスト及び維持修繕費用の低減にも繋がると考えられる。

また、基幹路線を設定し料金変更と合わせて耐荷力向上投資を行うことにより、トータルコストの削減や維持修繕費用の削減により大きな効果を得られると考えられるため、高速道路の役割分担を検討する際には料金設定と舗装の頑丈さ等を考慮することも考えられる。

6. おわりに

本研究では、大規模ネットワークを用いて維持修繕費用を考慮した高速道路の料金設定モデルを構築し、社会的総余剰および高速道路事業者の事業収支改善、維持管理施策に関する知見を得た。

高速道路の料金を変更することにより、事業者の収支を悪化させずに社会全体のコストおよび維持修繕費用を低減可能であることがわかった。また、高速道路の機能的役割分担に合わせて路線毎に料金設定や耐荷力投資を行うことで、社会全体のコストおよび維持修

繕費用を更に低減させる可能性を指摘した。

さらに、本研究で提案した維持修繕費用を考慮した高速道路の料金設定モデルの実用性を高めるにあたり、いくつかの課題が残されている。

第 1 に、実ネットワークを用いた数値計算の実施である。今回は仮想ネットワークを用いて数値計算を行ったが、より実態に即した提言を行うため実ネットワークを用い、検討対象を設定した上で数値計算を行う必要がある。また、大型車の料金を下げ小型車の料金を上げることを実施する場合、普通車への税優遇等の社会的な補償が必要であり、その施策を組み込んだ上で最適解を導く必要がある。

第 2 に、限界維持修繕費用の詳細な設定である。道路は大きくは土工部、橋梁部、トンネル部に分かれるが、それぞれの対象毎に維持修繕費用を算出し、リンク毎に維持修繕費用を設定することにより詳細な数値計算結果を行い、実態に即した提言に繋げる必要がある。また、劣化予測モデルによる実証的な研究を通じて高速道路の耐荷力向上投資と限界維持修繕費用の関係を明確化することは、今後の維持管理戦略を考える上で有益である。

第 3 に、道路の維持管理施策に関する詳細検討である。今回得られた知見をベースに、上記課題を反映した研究を踏まえ、実行可能な道路の維持管理施策をより具体化していく必要がある。特に高速道路を無料開放せず、維持管理に必要な料金収入を得続ける「管理有料道路制度」に関する研究は重要事項であり、本研究におけるモデルを拡張し、財政的な観点も含め、高速道路の無料開放と管理有料の比較研究をすることが考えられる。

なお、大型車のみ有料料金であったドイツは、平成 26 年 12 月 17 日にアウトバーンの乗用車も含めた有料化を閣議決定した²³⁾。高速道路の維持管理や新規整備のために料金を徴収する世界的な潮流と言っても過言ではないと筆者らは考える。

参考文献

- 1) ワトキンス・レポート 45 周年記念委員会編：ワトキンス調査団 名古屋・神戸高速道路調査報告書，勁草書房，2001.
- 2) 古川浩太郎：高速道路の通行料金制度－歴史と現状－，レファレンス，pp.99-118，2009 年 10 月.
- 3) 道路広報センター：有料道路の料金に関する社会実験事例集 2005 ～「地域における課題解決型社会実験」のとりまとめ～，pp.51-54，2005 年 11 月.
- 4) Small KA., Winston C, Evans CA：Road Work - A New Highway Pricing and Investment Policy, Washington.DC: The Brookings Institution, 1989.
- 5) H.Mohring and M.Harwitz：Highway Benefit：An Analytical Framework, Northwestern University Press, 1962, H. モーリング, M. ハーウィッツ：道路経済学－便益の分析－，鹿島研究所出版会，1968.
- 6) H.Mohring：Transportation Economics, Cambridge, Mass.,Ballinger Publishing, 1976, H. モーリング：交通経済学，勁草書房，1987.
- 7) Newbery, David M.: Road Damage Externalities and Road User Charges, *Econometrica*, Vol.56, No.2, pp.295-316, 1988.
- 8) Chu, C. and Tsai, J.: Road pricing models with maintenance cost, *Transportation*, Vol.31, pp.457-477, 2004.
- 9) Newbery, David M.: Cost Recovery from Optimally Designed Roads, *Economica*, Vol.56, No.222, pp.165-185, 1989.
- 10) Small, K. A. and Winston, C. : Optimal Highway Durability, *The American Economic Review*, Vol.78, No.3, pp.560-569, 1988.
- 11) Tellis R and Khisty CJ: Social cost component of an efficient toll, *Transportation Research Record*, Vol.1576, pp.140-146, 1997.
- 12) 独立行政法人 日本高速道路保有・債務返済機構：高速道路機構ファクトブック 平成 18 年度版，2006.
- 13) 松原朋弘，小林潔司：高速道路の維持補修費用を考慮した最適料金に関する研究，京都大学工学部地球工学科土木コース学士論文，2012.
- 14) 瀬木俊輔，田上貴士，小林潔司：高速道路の維持補修費用を考慮した効率的交通流配分，土木計画学研究・講演集，Vol.46，2012.
- 15) 瀬木俊輔，小林潔司，田上貴士：維持補修費用を考慮した次善高速道路料金，土木学会論文集 D3，Vol.70, No.3, pp145-160, 2014.
- 16) MPEC 研究会編：MPEC にもとづく交通・地域政策分析，中京大学経済学部附属経済研究所，2003.
- 17) 土木学会 土木計画学研究委員会 交通需要予測技術検討小委員会：道路交通需要予測の理論と適用 第Ⅱ編利用者均衡配分モデルの展開，社団法人土木学会，2006.
- 18) 土木学会 土木計画学研究委員会 交通需要予測技術検討小委員会：道路交通需要予測の理論と適用 第Ⅱ編利用者均衡配分の適用に向けて，社団法人土木学会，2003.
- 19) 国土交通省 道路局 都市・地域整備局：費用便益分析マニュアル，平成 20 年 11 月.
- 20) 田上貴士，瀬木俊輔，小林潔司：高速道路の維持補修費用を考慮した効率的交通流配分 ～大規模ネットワークにおける検証～，土木計画学研究・講演集，Vol.47，2013.
- 21) 田上貴士，瀬木俊輔，貝戸小林潔司：道路舗装の限界維持補修費用，土木計画学研究・講演集，Vol.48，2013.
- 22) Federal Highway Administration: *Addendum to the 1997 Federal Highway Cost Allocation Study Final Report*, United States Department of Transportation, 2000.
- 23) 日本経済新聞 (夕刊)：ドイツ高速道路、有料化へ，平成 26 年 12 月 22 日.

(平成 27 年 7 月 27 日 受付)

OPTIMAL TRAFFIC ASSIGNMENT MODEL CONSIDERING
MAINTENANCE COST OF EXPRESSWAY
-CASE STUDY WITH LARGE NETWORK

Takashi TAGAMI, Shunsuke SEGI and Kiyoshi KOBAYASHI

In this paper, paying attention on the general condition that expressway and local roads are damaged by large-sized car and maintenance cost are produced, we proposed the model of the problem about efficient traffic assignment and expressway fee. In particular, we simulate resolving problems about efficient Second Best Fee preventing the earning and expense of expressway company from being worse on the virtual large network with multi car type traffic assignment. Finally, we considered the road maintenance policy in the paper by analyzing the changes of the total cost and the earning and expense of expressway company.