

高規格道路の効率的な維持管理・ 更新手法の提案

有働 友哉¹・武藤 慎一²・佐々木 邦明³

¹学生会員 山梨大学 大学院医工農学総合教育部工学専攻 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)

E-mail: g18tc003@yamanashi.ac.jp

²正会員 山梨大学准教授 大学院総合研究部工学域 (〒400-8511 山梨県甲府市武田4-3-11)

E-mail: smutoh@yamanashi.co.jp

³正会員 早稲田大学教授 創造理工学部 社会環境工学科 (〒169-8555 東京都新宿区大久保3-4-1)

E-mail: sasaki.k@waseda.jp

全国に多数ある橋梁はその多くが1960年代の高度成長期に架設され、今後急速に老朽化することから、適切に維持管理・更新を行うことが必要になってくる。その中で財政負担の問題は重要で、高速道路と一般道路において、特に大型車交通の利用経路に着目して、それぞれの適正な料金水準を設定する必要がある。なぜなら、現行では高速道路料金を徴収している高速道路はその料金収入により維持補修費用を賄えるが、無料である一般道路とは料金差が生じるため、一般道路に過度な交通が転換し、一般道路の損傷を進める可能性があるからである。また、森杉、河野が指摘している、社会的に効率的な財源調達には、税負担の導入も考慮する必要があることを示している。本研究では、リンクごとに必要となる維持補修費用を算定し、一般道路を含む適正な料金水準の導出について検討する。

Key Words : road maintenance costs, traffic management for heavy vehicle, optimal road pricing

1. はじめに

社会資本の多くは高度経済成長期に整備され、今後急速に老朽化することから、適切に維持管理・更新を行うことが必要になってくる。現在、一般道路の維持補修は、基本的には税金を原資として実施され、高速道路は利用者から徴収した高速道路料金を用いて実施されている。しかし、それらは必ずしも、道路利用者が当該道路を走行した分だけ、あるいは走行によって道路を損傷させた分だけ、維持補修費用を負担する制度にはなっていない。

一般道路では、道路特定財源制度が廃止されたことから、維持補修は一般財源によって賄われている。その中には、揮発油税等も含まれているため、一部、道路走行量に応じた税負担がなされているとも解釈できる。しかし、一般財源の下では、揮発油税がどれだけ道路の維持補修に支出されているかはわからないため、道路走行量と税負担とは無関係と言わざるを得ない。すなわち、道路を劣化させ維持補修の原因を作った道路利用者が、その損傷分を負担するという損傷者負担の原則が守られていないことになる。

一方、高速道路は、維持補修に高速料金が用いられて

いる。しかし、元々の有料道路制度では、有料道路の建設債務償還を目的として料金が設定されることから、維持補修費用を積極的に考慮した料金体系にはなっていなかった。それどころか、有料道路は債務償還後に無料開放され、その後は税金により維持補修がなされることになっていた。その場合、一般道路と同じ損傷と負担の不一致という問題が生じることになる。そのため、償還対象の建設費用に維持補修費用も含めて、高速道路料金を再設定するとの検討もなされ始めている。

このような経緯から、高速道路では維持補修費用も含めた高速道路料金設定がなされることが十分予想される。その場合、当然、維持補修には終わりが無いため、高速道路料金は無料になることがない。そのため、現状もそうであるが、一定量の交通は、走行料金としては無料である一般道路を利用すると予想される。

この場合、大型車交通の影響は非常に大きい。大型車の走行は、道路舗装や橋梁の床版等に損傷を与え維持補修費用を増加させる。そのため、無料である一般道路を走行する大型車は、維持補修費用のことは気にせず道路を走行する。以上のことから、一般道路と高速道路の料金差は、一般道路の維持補修費用の増加に深刻な影響を

もたらすと懸念される。

そこで、本研究では損傷者負担を原則としながら、高速道路とともに一般道路にも課金するものとし、高速道路と一般道路、それぞれの維持補修の程度に応じて適切な料金水準を導出することを第一の目的とする。ここでは、各種道路の構造に依存する部分と、大型車を中心とした交通量に依存して変化する部分の両者から適切な料金水準を導出するものである。このとき、一般道路にまで課金が可能なのかという問題がある。これについては、例えばドイツは、元々高速道路料金も無料であったが、1995年1月より損傷者負担の考えから大型車のみ高速道路を有料とし、2005年1月には世界で初めてGPS（衛星測位システム）を使ったLKW-MAUT（Heavy Goods Vehicles-Toll）と呼ばれる大型車を対象とした料金システムを導入したり¹⁾。さらに、2007年には迂回交通が増加したことから、一般道路の一部も課金対象となっている。こうした事例より、一般道路であっても現在の情報技術を用いることにより、料金徴収は可能であるといえる。

しかしながら損傷者負担の原則が、果たして社会的に効率的であるかという問題がある。森杉、河野²⁾は、高速道路整備財源として、高速道路料金収入に加えて燃料税収をはじめとする料金収入以外の収入源を想定し、財源調達による厚生損失を考慮した社会的純便益が最大となる高速道路料金水準の公式を導出した。すなわち、建設に必要な全額を高速道路料金に求めるのではなく、税による財源調達の厚生損失（デッドウェイトロス）が高速道路料金によるそれよりも小さければ、税による財源調達も行った上で高速道路料金水準を決定することを提案した。そこで、本研究は維持補修費用を対象とした場合の高速道路、一般道路の最適料金水準を、燃料税や消費税、所得税による財源調達も考慮し、最終的に社会厚生が最大化される高速道路と一般道路の料金水準および道路の維持補修に充当される燃料税、消費税、所得税の増税水準を明らかにすることが第二の目的である。

2. 既存研究の整理

(1) 道路の維持補修費用

適切な料金水準の導出には、できる限り正確に道路の維持補修費用を推計する必要がある。そこで、既存研究ではどのように道路の維持補修費用が推計されているのかをレビューする。

米国全州道路交通運輸行政官協会（AASHTO）（1962）では道路試験によって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の約4乗に比例している（4乗ルール）ことを明らかにした。この4乗ルールは世界で用いられている。Tellis and Khisty³⁾は道路の維持管理費用の

定義を以下の4項目で構成されるとした。

- Capital Outlays：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：料金収受、交通管理 等

日本では、建設コストの一部と管理コストが維持修繕費用である。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かかる費用（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、主に料金収受業務、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る。修繕工事は実施された年とされない年によって金額に大きな変動が生じることから、維持修繕費用の設定にあたっては一定期間の平均値を用いることが望ましい。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、渋滞対策など22項目にまで及ぶ。

道路の維持補修費用は、固定費用と可変費用から構成される。固定費用は道路の交通量に依存せず発生する費用であり、清掃作業・点検・氷雪作業などの維持作業にかかる費用および舗装や橋梁など設備の自然劣化に起因する修繕費用である。一方、可変費用は道路の交通量に依存して変化する費用であり、自動車の通行に起因して生じる修繕費用と考えることができる。

自動車の通行に起因して生じる舗装の損傷の程度は、その自動車が道路に及ぼす荷重に応じて変化する。この自動車の荷重と舗装の損傷の関係について、損傷の程度は自動車の車体総重量に依存するのではなく、自動車の各車軸にかかる荷重に依存し、軸荷重が増すにつれて損傷の程度は急速に大きくなっていくことが事実として知られている⁴⁾。つまり、維持補修費用の可変部分のほとんどは大型車の通行により生じることになる。このことから、「交通量が1台増加したときの維持補修費用の増分」（限界維持補修費用）がわかるならば維持補修費用の推計が可能である。田上ら⁴⁾は、維持補修費用推計モデルを構築し、大型車の舗装の限界維持補修費用および自然劣化に起因する固定維持補修費用を算出している。

(2) 最適料金水準の導出

続いて、道路の維持補修費用が推計されたとして、その費用を賄うための最適料金水準の導出に係る既存研究

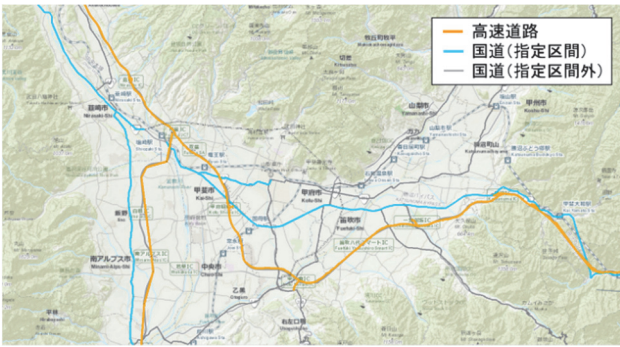


図-1 山梨県道路ネットワーク

をレビューする。

森杉, 河野²⁾は既に述べたとおり, 高速道路整備費用に対して, 財源調達による厚生損失を考慮した社会的純便益が最大となる高速道路料金水準の公式を導出した。その上で, わが国のいくつかの路線を対象として, 高速道路料金の効率的水準を推計し, その多くで旧道路公団の設定した料金水準より引き下げるべきであることを示している。

まず, 道路の維持管理費用を明示的に考慮して料金水準の設定を行った研究にはNewbery³⁾がある。そこでは, 1リンクの道路の維持管理費用を導出し, それに基づく効率的な限界費用料金を示している。Chu and Tsai⁴⁾は, 車種別のメンテナンス費用を求め, それに基づき車種別料金水準を決定することにより, 社会的公正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)が向上することを明らかにした。

瀬木・小林・田上⁷⁾は並列する一般道路と高速道路の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, 高速料金設計問題に対していくつかの政策的示唆を導いた。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。

大規模ネットワークにおける維持管理費用を考慮した料金設定に関する研究は, 数少ないが田上ら⁸⁾は仮想的な大規模ネットワークを対象に維持補修費用を考慮した高速道路料金の設定モデルを構築し, 高速道路会社の事業収支の改善およびトータルコストが削減可能であることを示した。

3. 山梨県の道路維持管理の現状

本研究で対象とする山梨県の道路ネットワークを図-1に示す。

道路の維持管理に占める舗装の割合は大きく, その理由として, 他の土木構造物は半永久的な施設として設計されているのに対し, 舗装は一般的な設計期間が10年と

表-1 舗装の維持修繕費用

年	修繕費用(万円)	事業距離(km)	1kmあたり修繕費用(万円/km)
2008	107860	26.1	4132.6
2009	112857	34.5	3271.2
2010	25320	24.7	1025.1
2011	54495	18.6	2929.8
2012	74545	19.7	3784.0
2013	193108	47.5	4065.4
2014	82133	14.5	5664.4
2015	39090	15	2606.0
2016	41627	9.6	4336.2

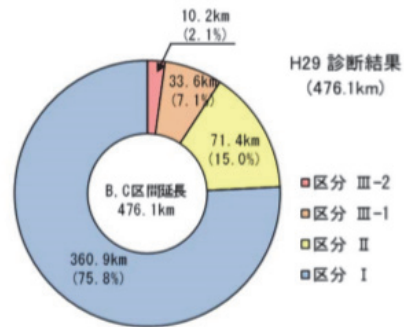


図-2 H29診断結果

比較的短く, 繰り返し修繕を行うことが前提であるためである。山梨県では, 高速道路, 国道, 県道あわせて183路線, 総延長は約2,184kmである。また, 国土交通省道路統計年報⁹⁾によれば, 山梨県の道路舗装の維持修繕費用と事業距離(表-1)から1kmあたりの舗装の維持修繕費用が約3,534万/kmと試算される。

また, 山梨県では平成29年に大型車交通量が250台/日以上を道路を対象に路面性状調査が実施された。診断結果(図-2)では舗装の補修または修繕が必要な区間が約25%存在する。一方で, 表-1の舗装の維持補修費用を見ても限られた予算制約のもとですべての区間で舗装の維持補修を行うことは困難であり, このことから効率的な財源調達が必要である。

4. 維持補修のための最適料金水準導出モデル

まず本章では, 田上ら⁸⁾によって提案された効率的な維持補修のための最適高速道路料金水準モデルを適用して, 高速道路料金だけでなく, 同時に一般道路の料金水準の導出も試みる。ここではまだ, 税による財源調達は考慮しないものとする。

今回用いた速道路維持補修費用料金モデルを以下に示す。交通需要は固定とし, 総コスト最小化問題を考えたものになっている。

$$\min_{\{x_{a_1}^y, x_{a_2}^y, p_{a_1}^y\}} TC \quad (1a)$$

$$TC = \sum_{a_1 \in J} \{(\beta^s x_{a_1}^s + \beta^l x_{a_1}^l) t_{a_1}(x_{a_1}) + x_{a_1}^l m_{a_1}^l + F_{a_1}\} + \sum_{a_2 \in G} \{(\beta^s x_{a_2}^s + \beta^l x_{a_2}^l) t_{a_2}(x_{a_2}) + x_{a_2}^l m_{a_2}^l + F_{a_2}\} \quad (1b)$$

制約条件：

$$\min_{\{x, f\}} Z \quad (2a)$$

$$Z = \sum_{a_1 \in J} \int_0^{x_{a_1}} t_{a_1}(w) \cdot dw + \sum_{a_2 \in J} \int_0^{x_{a_2}} t_{a_2}(w) \cdot dw$$

$$+ \sum_{\phi \in \Phi_{ru}} \sum_{y \in (s, l)} \frac{p_{\phi}^{ru, y}}{\beta^y} \cdot f_{\phi}^{ru, y} \quad (2b)$$

$$\sum_{\phi \in \Phi_{ru}} f_{\phi}^{ru, y} - Q_{ru}^y = 0 \quad (3a)$$

$$x_{a_1}^y = \sum_{\phi \in \Phi_{ru}} \sum_{ru \in \Xi} \delta_{a_1}^{ru, y} f_{\phi}^{ru, y} \quad (3b)$$

$$x_{a_2}^y = \sum_{\phi \in \Phi_{ru}} \sum_{ru \in \Xi} \delta_{a_2}^{ru, y} f_{\phi}^{ru, y} \quad (3c)$$

$$x_{a_1} = x_{a_1}^s + x_{a_1}^l \quad x_{a_2} = x_{a_2}^s + x_{a_2}^l \quad (3d)$$

$$f_{\phi}^{ru} \geq 0, x_{a_1}, x_{a_1}^s, x_{a_1}^l \geq 0, x_{a_2}, x_{a_2}^s, x_{a_2}^l \geq 0 \quad (3e)$$

ここで、

- $a_1 \in J$: 高速道路の集合 J におけるリンク a_1
- $a_2 \in G$: 高速道路の集合 G におけるリンク a_2
- $y \in (s, l)$: 普通車 s , 大型車 l における車種 y
- x_{a_1}, x_{a_2} : リンク a_1, a_2 の交通量
- $m_{a_1}^s, m_{a_2}^s$: リンク a_1, a_2 の車種 y の限界維持補修費用
- β : 車種 y の時間価値
- F_{a_1}, F_{a_2} : 道路事業者の固定費用 (維持補修費用の固定費用、償還費用等)
- $p_{\phi}^{ru, y}$: ODペア ru 間第 ϕ 経路の車種 y の高速道路料金
- $f_{\phi}^{ru, y}$: ODペア ru 間第 ϕ 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
- $\delta_{a_1}^{ru, y}$: 車種 y の ODペア ru 間第 ϕ 経路がリンク a_1 を含むとき 1, そうでないとき 0

最適化問題 (式(1a)) の制約条件として均衡問題 (式(2a)-(3e)) が内包する形式となっている。

式(1b)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補修費用であり、第2項は一般道路における旅行時間コストおよび維持補修費用である。本研究では、小型車と大型車を区別するため、確率的利用者均衡配分を

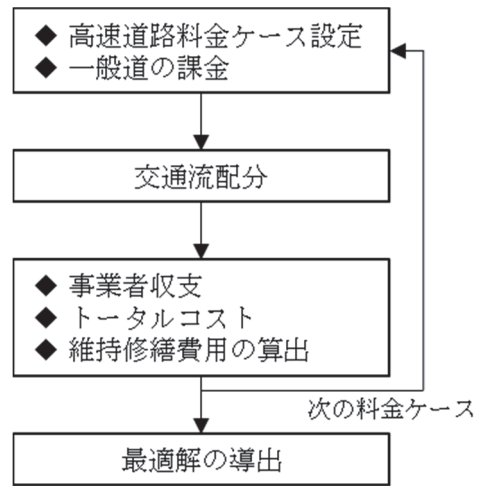


図-3 シミュレーションの手順

用いて車種別の交通量配分を行った。式(2a)-(3e)は、確率的利用者均衡配分における定式化である。確率的利用者均衡配分は利用者が認識する最短ルートをもっとも選好する傾向にあるため、現実に近い配分手法といえる。

リンクコスト関数はBPR関数とし、パラメータは土木学会¹⁰⁾が推定した $\alpha_k = 0.42$, $\beta_k = 2.82$ を用いる。料金は時間換算する。

$$t_k(x_k) = t_{k0} \left[1 + \alpha_k \left(\frac{x_k}{C_k} \right)^{\beta_k} \right] \quad (4)$$

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であり、 C_k はリンク k ($k \in (a, b)$) の交通容量を表す。OD 表は、普通車と大型車の二種類として作成した。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」¹¹⁾ に従い普通車： $\beta_1 = 45.78$, 大型車： $\beta_2 = 64.18$ とする。シミュレーション手順を図-3に示す。

4. おわりに

本研究では維持補修費用を考慮した効率的な交通量配分および料金設定について定式化し、道路ネットワークにおける適用条件を整理した。料金水準および考察等の本研究についての結論は講演時に発表する。

参考文献

- 1) 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.99118, 2009年10月。
- 2) 森杉壽芳，河野達仁：道路整備財源調達に伴う厚生損失を考慮した高速道路料金の効率的水準，日本経済研究，67, 1-20. 2012
- 3) Tellis and Khisty：Social cost component of an efficient toll，Transportation Research Record, Vol.1576, pp.140-146, 1997
- 4) 田上貴士，瀬木俊輔，貝戸清之，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.

- 5) Newbery, David M. : Road Damage Extranalities and Road User Charges, *Econometrica*, Vol.56, pp.295-316, 1988
- 6) Chu, C.P. and Tsai, J.F.: Road pricing models with maintenance cost, *Transportation*, Vol.31, pp.457-477, 2004.
- 7) 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.
- 8) 田上貴士, 瀬木俊輔, 小林潔司: 高速道路の維持修繕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.
- 9) 国土交通省: 道路統計年報 2018
- 10) 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 I 編利用者均衡配分の適用に向けて, 社団法人土木学会, 2003.
- 11) 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.

(2019. 10. 04 受付)