

都市高速道路の交通管理と料金運用の統合化についての研究

常 荃 奎¹・井ノ口 弘昭²・秋山 孝正³

¹関西大学大学院 理工学研究科 総合理工学専攻 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)
E-mail: ziqiangfenjin24@163.com

²関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)
E-mail:hiroaki@inokuchi.jp

³関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 (〒564-8680 大阪府吹田市山手町3-3-35)
E-mail:akiyama@kansai-u.ac.jp

都市高速道路と一般道路で構成される都市道路網では、有料道路としての都市高速道路の交通運用が重要である。都市高速道路では、交通管理技術として流入制御などの方法が用いられている。一方、通行料金額は、償還主義に基づいて決定されている。この都市高速道路料金への混雑料金概念の導入による交通調整が期待される。また、近年ではETC普及により、多様な対距離料金設定が可能である。さらに情報通信技術の進展を踏まえ、交通管理と料金運用の統合化が期待される。そこで本研究では、交通需要変化の時間変化に対応する交通調整に着目した都市高速道路料金を提案する。さらに、ピーク時間帯に対して、交通管理の導入、料金との組合せの検討を行う。最終的に、一般道路への影響を考慮した都市高速道路に対する総合的な交通運用方法の提案を行う。

Key Words : *Urban Expressways, Traffic Control, Distance-Based Toll, Traffic Assignment*

1. はじめに

都市高速道路は、都市圏における基幹道路網を構成するとともに、都市内の円滑な道路交通の維持を目的としている。このため、従来より都市高速道路における交通渋滞対策として、流入制御を基本とした交通制御が実施されている。また一方で、都市高速道路建設費に対する償還主義と利用者負担原則に基づき利用料金が徴収されている¹⁾。交通経済学における「混雑料金」理論によれば、料金による自律的交通調整機能が期待される。特に昨今の情報通信技術の進展による、料金徴収技術の高度化により、多様な料金設定の可能性が増大している。

これらの背景を踏まえて、本研究では都市道路網の高度な交通運用を目指して、料金運用と交通管理の統合化を検討する。具体的には、都市道路網の利用者均衡とシステム最適の観点から道路交通運用の理論的背景を整理する。つぎに交通量配分理論を基本とするに基づく料金運用と交通管理のモデル分析を実行する。最終的に、料金運用と交通管理の統合的な交通運用技術を提案する。

2. 都市高速道路の交通管理と料金運用

本章では、都市高速道路の交通管理方法、料金運用に関して整理する。表-1に都市高速道路の料金運用・交通

制御の特徴を示す。

表-1 料金運用と交通管理の特徴の比較

項目	料金運用	交通管理
手段	通行料金により課金を行う	流入車両を閉鎖・制限する
主体	利用者が経路を選択する	道路管理者が流入制御量を決定する
ETCの利用	多様な課金政策が可能である	流入規制が期待される
利用条件	短時間の可変料金は現実的ではない	局所的短時間の運用が可能である
利用形態	時間帯別料金が期待されている	即時的な交通運用が可能である

都市高速道路の通行料金により、利用者は自律的に一般道路・高速道路の経路選択を行う。一方、流入制限は、強制的な交通制御手段として交通管理者が行う。現実には、「入路閉鎖」「ブース制限」による入路制御が行われる。

都市高速道路の通行料金を頻繁に変更することは現実的ではなく、料金による交通調整は、比較的広域的で、一定期間ごとの運用が想定される。一方、交通制御は局所的な運用が可能であり、短期間で効果が表れる。本研

究では、これらの特徴の相違点を踏まえて、総合的な都市高速道路の交通運用の提案を行う。

都市高速道路の交通運用に関する既存研究として、需要変動型確率的利用者均衡配分モデルを用いて都市高速道路の対距離料金設定を検討した研究などが挙げられる²⁴⁾。これらの論文では、非線形型対距離料金、環状線料金などの検討が行われている。また、都市高速道路における突発事象発生時の行動をプローブパーソン調査・Web アンケート調査により分析した研究が挙げられる²⁵⁾。本研究では、これらの既存研究成果を参考として、総合的な都市高速道路の交通運用を検討する。

3. 道路ネットワーク解析モデルの構築

本章では、都市高速道路の交通運用を検討するための道路ネットワーク解析モデルを構築する。

(1) 道路ネットワーク・OD 交通量データの構築

はじめに、分析のためのデータの構築について述べる。図-1に本研究で用いる道路ネットワークを示す。

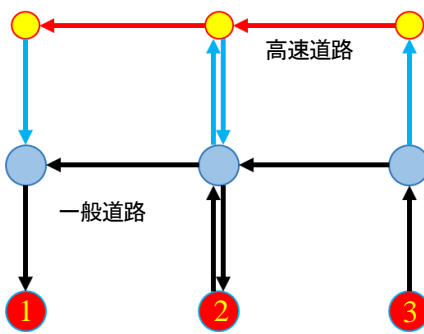


図-1 道路ネットワーク図

ここでは、交通運用の基礎的な解析を行うため、都市高速道路・一般道路・ランプで構成される単純なネットワークを設定している。また、セントロイドは3箇所設定している。ここでは、郊外部（ゾーン3）から都心部（ゾーン1）への交通現象を表している。都市高速道路に関して、郊外部から放射線を通して、都心環状線に至る交通現象を想定している。

各リンクに対して、交通容量・自由走行速度を設定する。また、リンク所要時間の関数として、BPR関数を用い、そのパラメータを設定する⁶⁾。

本研究では、需要固定型の交通量配分モデルを用いる。表-2に本研究で設定するOD交通量を示す。本表では、1日のOD交通量を示している。郊外部から都心部への交通現象を表現するために、片方向のみのOD交通量を設定している。また、時間帯別OD交通量は、日OD交通量に時間帯別発生比率を乗じて算定する。パーセントリ

表-2 OD交通量の設定

OD	1	2	3
1			
2	96000		
3	192000	48000	

ップ調査を用いた時間帯別発生比率は、たとえば8時台では8.85%と算定されている。

これらのデータを用いて、ピーク時間帯を対象とした交通運用の検討を行う。

(2) 混雑料金の算定

つぎに、交通運用検討の基礎的な情報を得るために、構築したデータを用いて、ピーク時間帯の混雑料金を算定する。

はじめに、無課金での交通量配分を実行する⁷⁾。図-2に無課金での利用者均衡状態を示す。

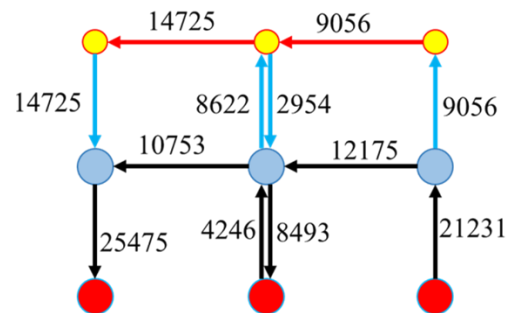


図-2 利用者均衡状態（無課金）のリンク交通量

この状態は、完全情報下で利用者が最適経路を選択した結果が表されている。すなわち、道路管理者が交通運用を行わずに、利用者が最短所要時間経路を利用した状態である。利用者均衡状態は、交通経済学では交通市場における市場均衡状態に対応している⁸⁾。

このとき、都市道路網の道路状態が混雑状態になっており、都市高速道路の交通量が過剰である。このときの社会的費用は大きくなっている。

つぎに、図-3にシステム最適状態のリンク交通量を示す。

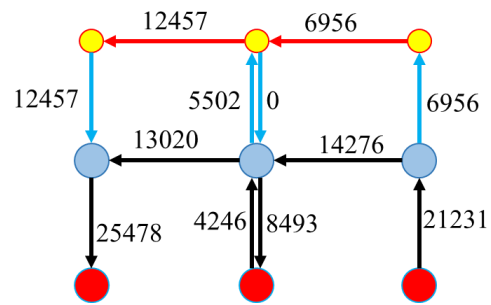


図-3 システム最適状態のリンク交通量

この状態は、総走行時間が最小になった状態で、都市道路網システムの社会的費用が最適化された状態である。この「システム最適化状態」を実現する方法は、さまざまな方法を考えることができる。ここでは、①料金運用（混雑料金）と②交通管理（流入制御）を想定する。つぎに、図-4に利用者均衡（UE）時とシステム最適（SO）時のリンク交通量の差を示す。

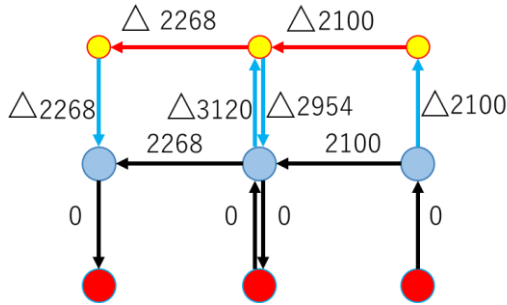


図4 利用者均衡・システム最適状態のリンク交通量の差

本図の△は、システム最適状態に近づけるために、利用者均衡時のリンク交通量から減らすべきであることを示している。この減少した交通量は、他のリンクに付加される。

都市高速道路管理者の交通運用方法は、2章で示したように2種類存在する。道路課金の場合は、都市高速道路の各区間に課金することになる。また、交通制御を行う場合は、都市高速道路の流入ランプで制御を行うことになる。

つぎに、各リンクに対する混雑料金額の算定結果を図-5に示す。

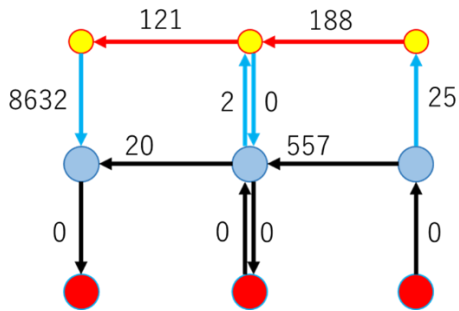


図5 混雑料金額の分布

ここでは、時間価値を用いて貨幣換算された料金額を示している。混雑料金は、一般道路を含めた全ての道路区間に対して算定される。この混雑料金の徴収により、システム最適状態が実現され、このときの社会的費用は最小となる。ここで、混雑料金の料金収入は、11,874万円と算定された。

本研究では、システム最適状態の総走行時間および混雑料金料金収入額を基準として、都市高速道路の料金運用と統合的交通運用の評価を行う。

4. 都市高速道路交通運用の検討

本章では、料金運用と流入制御の2種類の交通運用に関して検討する。

(1) 都市高速道路料金運用の検討

ここでは、都市高速道路の料金設定による交通運用効果を検討する。図-6に都市高速道路の通行料金の設定方法を示す。

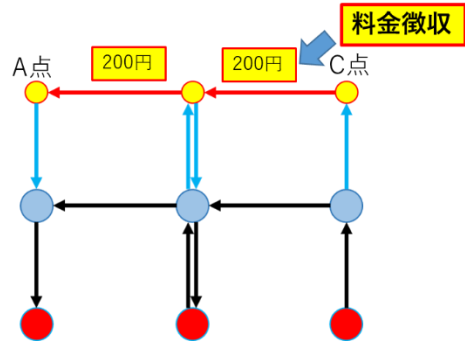


図-6 都市高速道路料金設定

ここで、都市高速道路の交通運用として、対距離料金を設定する場合を考える。この場合は、図のように道路区間ごとの料金を設定する。この例では、単位区間料金が200円であり、都市高速道路のC点からA点までの通行料金は、2区間で400円となる。これより、料金運用による交通調整が期待できる。

表-3に都市高速道路料金設定に対する算定結果を示す。これは、都市高速道路の単位区間料金を0円～600円に設定した場合の算定結果である。本表より、都市高速道路の料金額が増加すると、都市高速道路の利用台数が減少していることがわかる。また、これにより一般道路の総走行時間の増加も観測される。

ここで、一般道路と都市高速道路を合わせた都市道路網全体の総走行時間の最小化が目的関数になる。したがって、今回の計算ケースでは、都市高速道路の単位区間料金が400円の場合に、都市道路網全体の総走行時間が最小となっている。すなわち、400円のケースで社会的費用が最小となることがわかった。

(2) 都市高速道路の流入制御の検討

つぎに、都市高速道路の流入制御を実施するケースを考える。図-7に都市高速道路の流入制御の方法を示す。本図に示すように、ピーク時間帯に特定のオンランプでの流入制御を想定する。ここでは、道路ネットワークの中央部分のオンランプを対象とした流入制御を検討する。このとき、制御対象リンクの交通量は、流入制御により減少する。このリンク交通量の減少により、関連リンク

表-3 都市高速道路料金設定 (100円～600円) に対する交通状態算定結果

	総走行時間(台・時)			利用台数(台)	利用距離(km)	料金収入(円)
	一般道路	高速道路	合計			
無課金	7291.98	5301.82	12593.8	17679	6.73	0
100円	7696.68	4708.93	12405.6	16682	6.92	2309159
200円	8018.89	4306.02	12324.9	16391	6.89	4515363
300円	8253.96	4041.25	12295.2	16163	6.87	6660320
400円	8633.16	3653.47	12286.6	15787	6.83	8631102
500円	9100.39	3238.98	12339.4	15604	6.67	10407668
600円	9744.24	2763.84	12508.1	15052	6.57	11870118

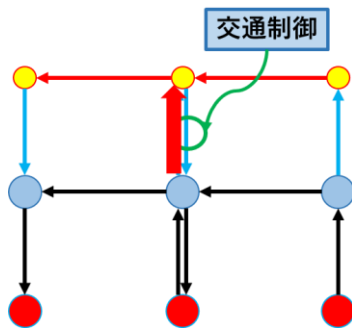


図-7 都市高速道路の流入制御

の交通量が増減する。図-8に流入制御の算定手順を示す。本図に示すように、制御対象のオンランプを設定し、そのオンランプを通過するOD交通量に対して代替経路を通過するように交通量を調整し、各リンク交通量を算定している。

表-4に無課金状態で流入制御を行った場合の交通状態の算定結果を示す。ここでは、1時間の交通に対して30分単位の流入制御を想定し、30分単位の制御交通量を示している。したがって、たとえば30分あたり500台の流入制御を1時間連続して実施する場合は、1000台の制御交通量となる。

本表より、交通制御を行うことにより、一般道路の総

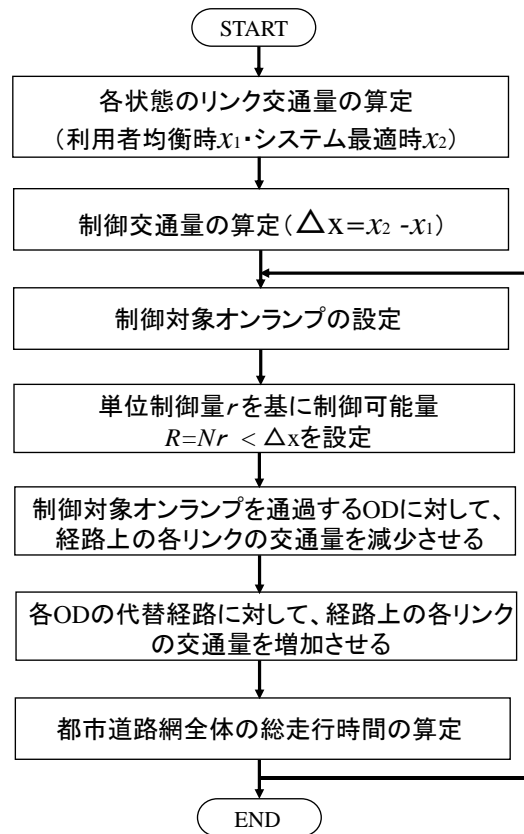


図-8 流入制御の算定手順

走行時間は増加し、都市高速道路の総走行時間は減少す

表-4 都市高速道路流入制御に対する交通状態算定結果

無課金・流入制御	総走行時間			利用台数	利用距離	料金収入
	一般道路	高速道路	合計			
500	7,470	5,019	12,489	17,179	6.776	0
1000	7,650	4,770	12,420	16,679	6.830	0
1500	7,833	4,550	12,383	16,179	6.886	0
2000	8,019	4,356	12,375	15,679	6.946	0
2500	8,208	4,186	12,394	15,179	7.010	0
3000	8,401	4,037	12,438	14,679	7.079	0
3500	8,598	3,907	12,504	14,179	7.152	0
4000	8,799	3,792	12,591	13,679	7.231	0

ることがわかる。制御交通量が2000台である場合に都市道路網全体の総走行時間が最小となる。なお、この場合は都市高速道路の通行料金を設定していないため、料金収入は0である。

(3) 都市高速道路の統合的交通運用の検討

つぎに、都市高速道路の料金と流入制御を合わせた統合的交通運用を考える。図-9に統合的交通運用の設定方法を示す。

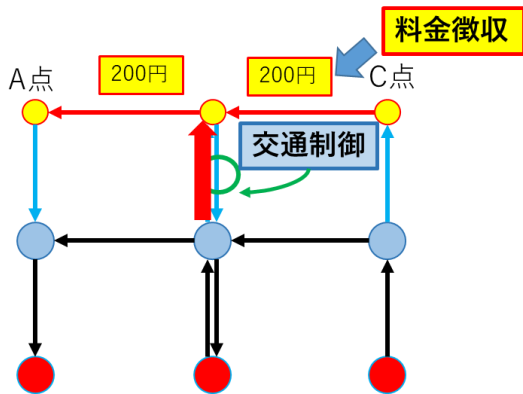


図-9 料金運用と流入制御の統合化

都市高速道路では、ピーク時間帯に単位区間料金を徴収する。ここで、単位区間料金として、1節での検討結果を踏まえて300円～500円を設定する。同時に都市高速道路の特定オンランプでの流入制御を実施する。ここでは、制御交通量として500～4000台を設定する。

図-10に各ケースの都市道路網全体の総走行時間の算定結果を示す。本図に示すように、料金設定と交通制御を適切に組み合わせることで、有効な交通運用が可能であることがわかった。

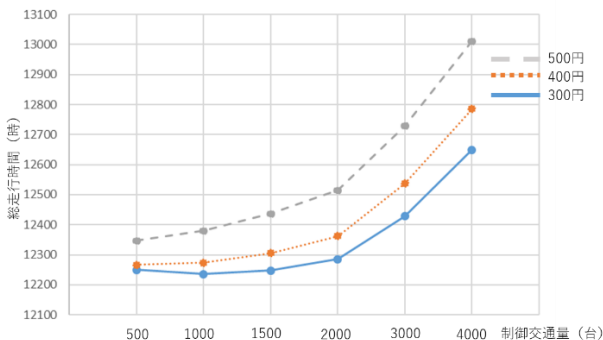


図-10 料金運用と流入制御を実施した場合の総走行時間

5. おわりに

本研究では、都市高速道路の料金運用（混雑料金）と交通管理（流入制御）の統合的な交通運用を検討した。本研究の主要な成果を以下に整理する。

- 1) 道路ネットワークを対象とした無課金状態およびシステム最適状態の算定を行うことで、制御対象となるリンクが明らかとなることを示した。
- 2) 都市高速道路の料金設定により、都市道路網全体としてシステム最適状態に近づけることが可能であることを示した。また、流入制御によってもシステム最適状態に近づけることが可能であることを示した。
- 3) 都市高速道路の料金設定と流入制御を適切に組み合わせることで、統合的な交通運用が可能であることがわかった。

本研究の今後の課題として、大規模ネットワークを対象とした検討を行うことが挙げられる。

参考文献

- 1) 阪神高速道路：阪神高速道路 ドライバーズサイト, <https://www.hanshin-exp.co.jp/drivers/>. (2019年3月10日閲覧)
- 2) 井ノ口弘昭, 秋山孝正, 常荃奎：都市高速道路の時間帯別料金の適用性に関する考察, 第77回日本交通学会研究報告会, F-2, 2018.
- 3) 秋山孝正, 井ノ口弘昭, 奥嶋政嗣：交通調整を意図した都市高速道路の対距離料金設定に関する検討, 交通学研究, No. 57, pp. 97-104, 2014.
- 4) 常荃奎, 井ノ口弘昭, 秋山孝正：都市高速道路における合理的な対距離料金設定に関する研究, 土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, IV-14, 2017.
- 5) 日下部貴彦, 社領沢, 朝倉康夫：都市高速道路における突発事象時の行動調査とその分析, 土木学会論文集D3, Vol. 68, No. 5, pp. 731-740, 2012.
- 6) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用, 日本道路協会; 改訂版, 2015.
- 7) 土木学会：交通ネットワークの均衡分析—最新の理論と解法—, 丸善, 1998.
- 8) 秋山孝正, 奥嶋政嗣, 武藤慎一, 井ノ口弘昭：すぐわかる応用計画数学, コロナ社, 2017.

(2019. 3. 10 受付)