

事故リスクや環境排出量削減を目指した 都市高速の交通マネジメントに関する研究

御村 まゆ¹・倉内 文孝²

¹学生会員 岐阜大学大学院 自然科学技術研究科環境社会基盤工学専攻

(〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1) E-mail:x4523036@edu.gifu-u.ac.jp

²正会員 岐阜大学教授 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜県岐阜市柳戸1-1)

E-mail:kurauchi@gifu-u.ac.jp

都市高速道路は循環機能を担う重要な社会インフラであるが、都心部への交通集中等により十分に機能を果たしていないケースも多く、その効率的な利用が求められる。また、高速道路では多様な料金制度を導入してきており、施策導入前後の交通状況から、料金割引の交通流に与える影響は小さくない。本研究では、高速道路本線と一般道路の交通状況を予測、評価可能な交通流シミュレータ「HEROINE」を用い、リアルタイムに把握できる交通状況に基づいて料金を動的に変化させた時の、交通状況、事故リスク、環境排出量と料金の関係を分析した。その結果事故リスクについては、特定の地点で事故リスクが大きく高まり、その地点の交通量を重点的にコントロールすることで全体の損失額を抑えることが可能であることが確認できた。

Key Words : *traffic control, HEROINE, traffic accident risk, dynamic charge, environmental emissions*

1. はじめに

阪神高速道路では、1970年代より交通管制センターを構築し、交通量検知器により把握された交通状況を元に、入路閉鎖・ブース制限方式による流入規制を実施し、本線上の交通状況の円滑性を確保することを目指してきた。しかし、ETCの導入によりブース制限方式による流入制御が困難となっており、流入交通量制御による交通管制手法自身が岐路に立っているといえる。一方で、2008年以降通勤時間帯の一般道路の混雑緩和、深夜時間帯の一般街路の交通騒音低減など様々な目的のための割引など、国土交通省が主導して多様な高速道路料金の割引制度を導入してきた。それら施策導入前後の交通状況をみると、料金割引の交通流に与えるインパクトは小さくなく、新たな交通管制手法として料金を活用することが交通管制の有力な手段として扱えることは明白である。したがって、今までの料金変更による交通流変化の実績を踏まえ、料金を有力な交通管制手段と見立てた場合に、交通状況を適切に保持することが可能な最適料金を検討することは有意義といえる。すなわち、交通量検知器などで観測される交通状況をベースにリアルタイムで最適な課金額を算出し、それを利用者から徴収するシステムにより、

効果的な交通管理制御が可能といえる。

以上のような背景の元、先行研究として位置づけられる「柔軟な料金設定による都市高速道路の交通マネジメントに関する研究」¹⁾では、料金制度が改訂された2012年1月1日前後の料金とランプ間OD交通量の変化を踏まえた課金額に応じたランプ間OD交通量予測モデルを構築し、さらにそれを交通流シミュレータHEROINEに実装した。この改良されたHEROINEを用い、限界費用課金をはじめ、渋滞緩和を目的とする様々な施策を検討した。その結果、利用料金を戦略的に変更することで高速道路の効率的な状況を促進することが可能であること、混雑している時間帯あるいは路線のみに課金したとしても、その効果は課金を行っていない時間帯にも波及しうること、料金の減額も含めたよりきめ細かな料金設定によって、交通状況をさらに改善させること、時々刻々変化する交通状況に対応した課金を実施することで、より効果的な交通状況の実現が可能となりうることなどが明らかとなった。一方で、今後の課題としては、ドライバーの時間帯変更行動の記述、事故リスクや環境悪化などその他の社会的費用の考慮、阪神高速道路以外の他路線も含めた検討、動的課金施策のドライバーの認知およびコンセンサスの確認などがあげられた。

本研究でも対象とする阪神高速道路では、「阪高 SAFETYナビ」と題し、利用者の安全運転意識の向上に努めるとともに、交通工学研究会の自主研究「交通事故リスクマネジメントに関する研究委員会」と連携し、事故リスクの見える化を進めることで阪神高速上の事故削減に取り組んでいる。そのため、本研究では、交通事故リスクを適切にコントロールすることを目的として阪神高速の利用料金を柔軟に変更することが可能か、検討を加えていきたい。また、交通渋滞、交通事故とあわせて重要な課題である環境保全についても対象とし、これら3つの指標からの最適な交通状態を実現するための動的料金のあり方について検討した。

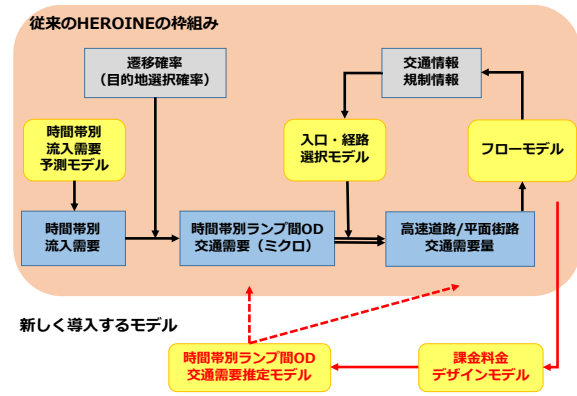


図-1 HEROINEの概要

2. HEROINEの概要

2.1 交通流シミュレータHEROINE

本研究では交通流シミュレータ「HEROINE (Hanshin Expressway Real-time Observation-based & Integrated Network Evaluator)」²⁾を用いる。(図-1)「HEROINE」とは、リアルタイムに収集される交通管制データを入力データとして取り入れ、道路ネットワーク上の交通状態を予測及び評価し、事故・落下物による日々の渋滞に対する入路閉鎖等の交通管制業務の支援、新たな道路を整備した場合の評価、補修工事における交通影響検討や予測情報提供等多くの目的のために構築されたシミュレーションモデルである。対象道路網は阪神高速道路と競合・補完する一般道路であり、一般道路については経路選択等で取り扱う一般道路のみを考慮しており、大阪市、北大阪、東大阪、南河内、泉北、泉南、阪神間臨海、阪神間内陸、神戸市の9エリアに分割されている。「HEROINE」の最大の特徴は、ランプ入口で一般道路への迂回を含めた経路選択が可能なこと、施策を実施したことによる阪神高速道路の交通状況変化だけでなく一般道路の交通状況変化も表現可能な点である。本研究では、出力指標として新たに高速道路本線上の事故リスク、高速道路本線及び一般道路における環境排出量（燃料消費量、CO₂排出量、NO_x排出量）を追加した。このHEROINEを用いたシミュレーションにより様々な課金方法による交通状況変化を総合的に評価する。

2.2 事故リスク算出方法

事故発生件数の期待値はポアソン分布に従うとして、「リアルタイム事故リスク推定モデル」³⁾によって事故発生件数の期待値を以下のように定義する。

$$\mu_i = \lambda_i \times t_i$$

ただし、

表-1 説明変数とカテゴリー設定

分類	説明変数	カテゴリー
車線数	車線数	1,2 and 3車線, 2,1車線, 3,4車線
道路構造・平面	平面線形	1.直線(400m以上), 2.400m未満/200m以上/カーブ入口, 3.400m未満/200m以上/カーブ中間, 4.400m未満/200m以上/カーブ出口, 5.400m未満/200m以上/カーブ入口, 6.400m未満/200m以上/カーブ中間, 7.400m未満/200m以上/カーブ出口
	本線料金所	8.本線料金所
道路構造・縦断	縦断勾配	1.平坦部(4<縦断勾配<+4%), 2.-4%以下, 3.+4%以上, 4.サグ(勾配差+2%以上)
道路構造・合流	合流タイプ	1.一般部, 2.入口合流区間, 3.入口上流200m区間, 4.本線合流区間+上流200m区間/従流交通量30台未満, 5.本線合流区間+上流200m区間/従流交通量30台以上, 6.本線合流区間下流200m区間/従流交通量30台未満, 7.本線合流区間下流200m区間/従流交通量30台以上
道路構造・分岐	分岐タイプ	1.一般部, 2.出口分岐区間, 3.出口分岐上流200m区間, 4.本線分岐区間, 5.本線分岐上流200m区間, 6.本線分岐下流200m区間
交通状態・降雨有無	交通状態・降雨有無	1.自由流/降水なし, 2.自由流/降水あり, 3.混合流, 4.渋滞末尾/降水なし, 5.渋滞末尾/降水あり, 6.渋滞/降水なし, 7.渋滞/降水あり, 8.停滞

表-2 事故損失額原単位

種別	一人当たり損失額	1件当たり損失額
金銭的損失額(万円)	214	322
非金銭的損失額(万円)	2,303	3,454

μ_i : 事故発生件数期待値(件)

λ_i : 事故発生リスク(件/億台キロ)

t_i : 総走行台キロ(億台キロ)

i : 事故分析単位区間(0.1Km)

ここで、事故発生件数期待値の確率分布がポアソン分布に従うとする。

$$Y_i \sim Po(\mu_i)$$

$$\ln(\mu_i) = \ln(\lambda_i t_i) = (\alpha + \sum \beta_j x_{ji}) + \ln(t_i)$$

$$\mu_i = \lambda_i t_i = \exp(\alpha + \sum \beta_j x_{ji}) t_i$$

x_j, μ_i : 事故発生件数期待値に影響する要因

α, β : 定数項, 係数

説明変数とカテゴリーの一部を表-1に示す。事故形態は追突、車両接触、施設接触、その他の4タイプに分類される。また、ここで算出される事故発生リスクを表-2に示す原単位を乗じることで、事故損失額を求める。

2.3 環境排出量算出方法

環境への影響として、燃料消費量(L/5分)、CO₂排出量(g/5分)、NO_x排出量(g/5分)を算出可能である。それぞれ、毎5分/Blockに集計される平均速度に基づいて算定される燃料消費率(L/台Km)、CO₂排出係数(g/台・Km)、NO_x排出係数(g/台・Km)⁴⁾に走行台キロ(台・Km/5分)を乗じて、当該5分/Block消費量(L/5分)、排出量(g/5分)を算定して格納する。ただし、排出係数年次は2020年値を用いることとしている。また、車種の取り扱いは小型車を乗用車、大型車を普通貨物車と仮定している。例として図-2にCO₂排出係数(g/台・Km)を示す。図-2からもわかるように、CO₂排出量や燃料消費率はおおよそ60~65Km/時において最小値をとるような設定となっている。

3. 現況分析

現在の阪神高速道路の料金設定で「HEROINE」でシミュレーションを行い分析する。料金設定は、2012年1月1日より2017年6月3日まで実施されていた、510円~930円の料金体系である。図-3より路線別の平均走行速度の推移を見ると、朝夕の通勤時間帯で13号東大阪線、11号池田線、3号神戸線の平均速度が大きく低下していることが確認できる。次に、HEROINEに新たに追加した環境排出量の値を確認する。図-4より路線別のCO₂排出量の推移を見ると、3号神戸線、4号湾岸線の排出量が特に多く、ついで11号池田線、13号東大阪線等の排出量が多いことがわかる。これらの路線は図-3においても著しい速度低下が見られた路線であり、走行速度の低下に連動してCO₂排出量の値が大きくなっていると考えられる。最後に事故損失額のベースケースにおける値を確認する。図-5より路線別時間帯別の事故損失額の

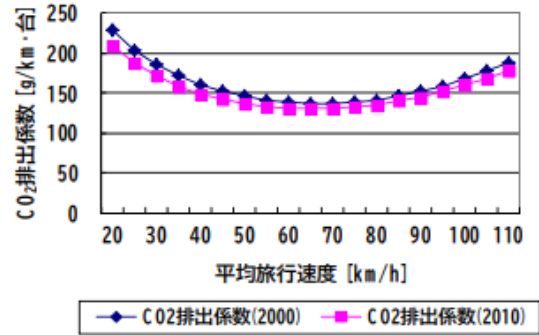


図-2 CO₂排出係数 (小型車類)

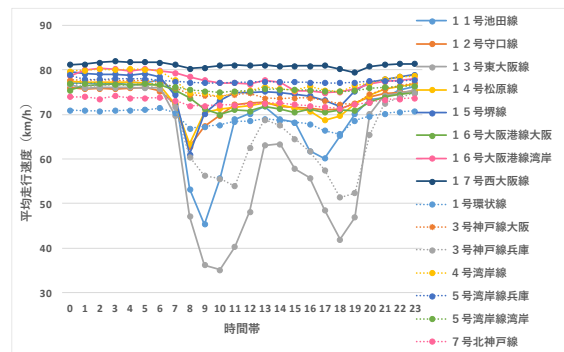


図-3 平均走行速度

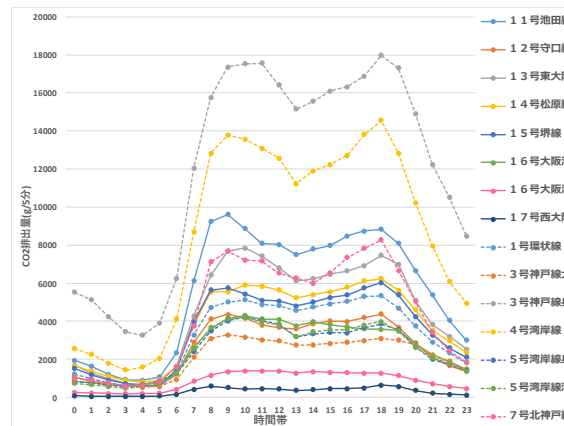


図-4 CO₂排出量

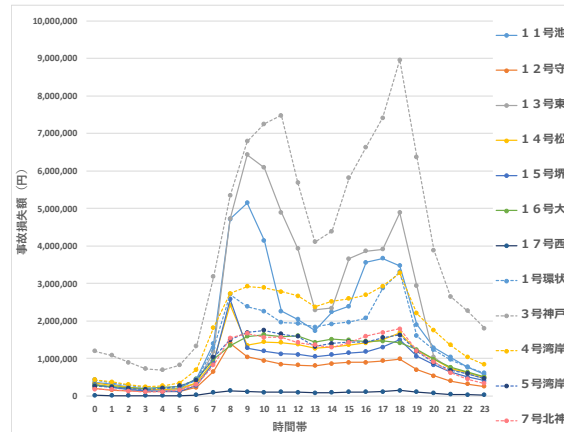


図-5 事故損失額

推移を見ると、3号神戸線、13号東大阪線、11号池田線の朝夕の時間帯で事故損失額の値が高くなっている。ついで4号湾岸線、1号環状線が8時台から18時台にかけて値が高くなっている。CO₂排出量と比べて値の時間帯変化が激しく、交通状況によって評価値が大きく変化するといえる。ここで、図-6に事故損失額ワースト10の地点を示す。図より4地点が13号東大阪線に集中していることが確認できる。また、各JDP（全1,046区間）の事故損失額を分析した結果、上位10%の地点の事故損失額は全体の約4割を占めていることが確認できた。そのため、事故リスクが特に高い地点にピンポイントに課金を行うことも効果的であると期待できる。

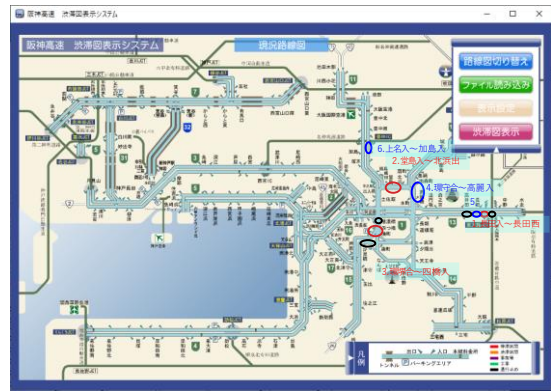


図-6 事故損失額ワースト10の地点

4. ピンポイント事故リスク課金

4.1 料金設定

前章での知見に基づき、ここでは事故リスクが高い路線に重点的にコントロールをすることを考える。なお、事故リスク推定モデルがポワソン回帰モデルとなっており、交通量や走行速度の変化に対する限界費用額を解析的にも求めることは容易ではない。そのため、ここでは前章の結果より、事故リスクの大きなワースト10地点のうち13号東大阪線（長田入～長田西、水走入～中野入、長田西～高井入、上H入～長田入）、11号池田線（上名入～加島入）、3号神戸線（月見入～若宮入、神明入～月見入）に、7時～12時、および15時～19時を対象として、該当するODペアに一律100円の課金を行った。

4.2 ピンポイント課金による効果検証

図-7にベースケースと比較するため、路線別時間帯別の平均走行速度の変化率を示す。図より13号東大阪線において走行速度が大きく改善され、最大で12時台で1.45倍走行速度が改善された。次に図-8より、CO₂排出量変化率を見ると、図-7より走行速度が大きく改善していた13号東大阪線で排出量が大きく減少している。最大で13号東大阪線の排出量が、11時台に約23%減少している。最後に図-9より事故損失額の変化率を確認する。事故損失額も13号東大阪線が最も減少率が大きく、12時台で約6割も事故損失額が減少している。以上より事故リスクの高い地点に重点的に対策を実施した場合、一部の路線で事故損失額減少効果が確認できた。また、事故損失額のみを考慮した施策においても交通状況改善、環境排出量削減効果が得られた。

4.3 結果のまとめ

ピンポイント事故リスク課金が及ぼす影響につい

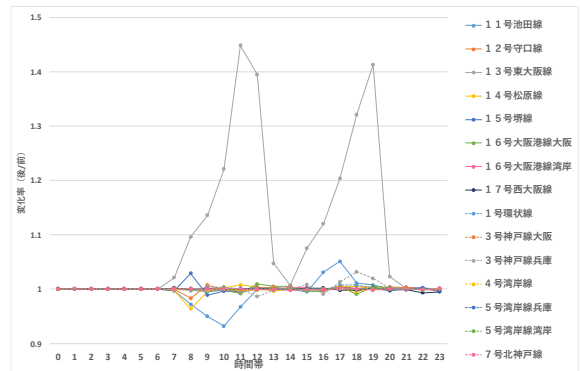


図-7 平均走行速度変化率（ピンポイント課金）

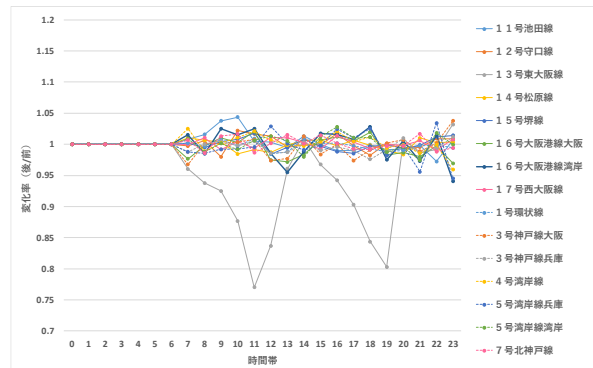


図-8 CO₂排出量変化率（ピンポイント課金）

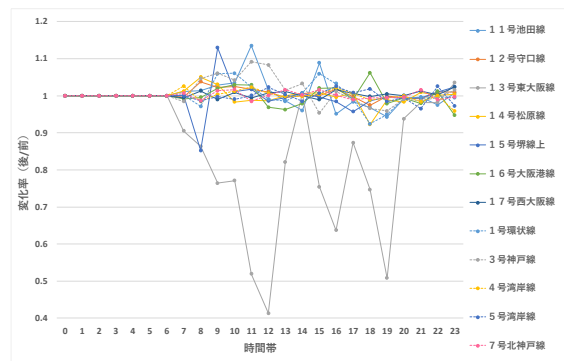


図-9 事故損失額変化率（ピンポイント課金）

て、総量をもって評価する。図-10から図-13は、ベースケースとワースト10地点へのピンポイント課金についてそれぞれ料金収入、総旅行時間、CO₂排出量および事故損失額の総量を示す。図-10の料金収入としては課金によりベースケース時より1,324（千円）増加であった。今回の値段設定においては、課金することでかえって収入が減少するような状態は生じていない。次に図-11の総旅行時間の比較を見るとベースケースと比較してより阪神高速道路本線上の総旅行時間は改善しているものの、一般道路のそれは増加してしまっている。ただし、合計ではベース時が226,615（時間）、ワースト10地点へのピンポイント課金においては223,901（時間）となっており、2,714（時間）減少となった。図-12にCO₂排出量を示す。前章では一部の路線でCO₂排出量削減効果が見られたが総量で見るとベース時に比べてによりCO₂排出量が4,963（kg-CO₂）増加となった。図-13の事故損失額については施策により12,617（千円）減少する結果となった。最後に、各結果を金銭換算したものを合計して図-14に示す。なお、料金収入は、道路管理者にとっては収入であるが、利用者にとっては支出であるため、ここでは考慮しない。結果を見ると、全体額の中で環境排出量を処理するための費用はかなり小さいことが明らかとなった。また、事故損失額は総旅行時間より若干小さい程度の損失となっていることも確認できた。なお、総旅行時間削減効果のみを金銭換算すると8,144（千円）であるのに対し、環境排出量、事故損失額も加味すると20,747（千円）と効果が2.6倍となることが明らかとなった。それに貢献しているのが事故損失額の削減であることは明らかである。

5. 渋滞削減および事故削減を総合的に加味した料金コントロールの検討

5.1 料金設定

検討の一つとして、先行研究「柔軟な料金設定による都市高速道路の交通マネジメントに関する研究」で検討した交通渋滞削減のみを目的としたオンライン課金を前提とする。オンライン課金の設定方法は、交通管制システムへのアウトプット用に記録されている「非渋滞」、 「混合」、 「渋滞」、 「停滞」の4区分のうち、「渋滞」あるいは「停滞」と判断されたブロック長の総和を求め、それに単位課金額（円/km）を乗じる。また、非渋滞の場合には平面街路から交通を阪神高速に誘導することが効果的と考え、すべてのOD、車種について、一律10円の減額を行い、その上で「渋滞」、 「停滞」と判定された場合には、普通車、大型車ごとにそれぞれ1kmあたり10円、20円を課金することとした。このオンライン課金に加え、事故リスクが大きかった東大阪線上に、事

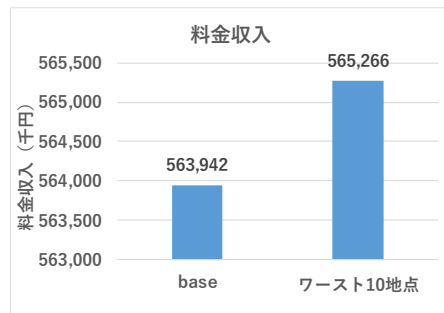


図-10 料金収入比較

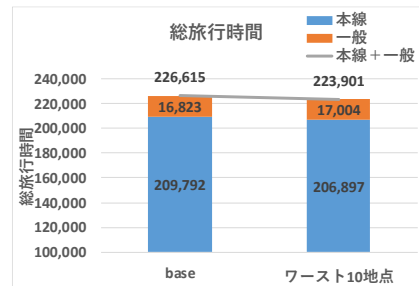


図-11 総旅行時間比較

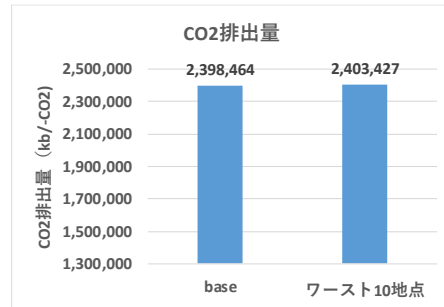


図-12 CO₂排出量比較

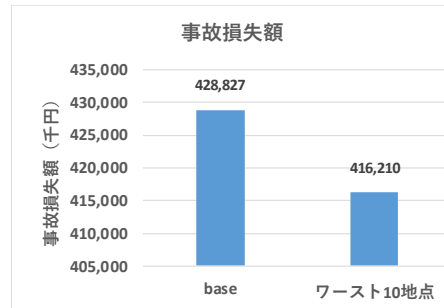


図-13 事故損失額比較

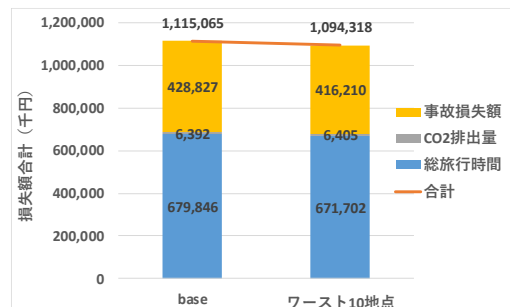


図-14 損失合計額比較

故リスクが特に高い7時から12時、および15～19時を対象として100円課金をしたケースについて検討する。

5.2 総合コントロール課金の効果検証

図-15に、ベースケースと比較した、路線別時間帯別の走行速度変化率を示す。変化率は13号東大阪線で最大1.8と速度が大きく改善していることが確認できる。また、この効果はピンポイント課金時のそれと比べて大きくなっている。図-16は路線別時間帯別のCO₂排出量の変化率を示す。図より、東大阪線のCO₂排出量は10時台で20%減となり、ピンポイント課金に比べて若干改善効果が小さい結果となった。最後に、事故損失額の変化を図-17に示す。事故損失額は、最大で70%程度削減されており、その効果はピンポイント課金時より大きいものとなった。一方で、混雑が午前中ほどではないものの、事故リスクが相対的に大きくなる午後の時間帯において、例えば19時台は60%近く削減されている。これに対し、図-9のピンポイント課金では50%程度にとどまっており、混雑と事故リスクを総合的に取り扱うことの効果が確認できる。

5.3 結果のまとめ

ベースケースと比較した、総量の変化について考察を加える。図-18は、料金収入の比較である。一律100円の減額の影響により、総収入はベースケースの方が多い。ただし、比率的には、ベースケースに対して、99.7%、差額にして1,740(千円)程度であり、もう少し細かく料金を調整することで、同等の収入レベルは実現できそうである。次に、総旅行時間の結果を示した図-19によると、一般道が1%、阪神高速が2.3%の削減で、全体で2.2%の削減となっている。つまり、一般道および阪神高速本線の双方で所要時間短縮が生じている状態である。しかしながら、CO₂排出量については、図-20のとおり、若干の増加がみられるが、比率的には0.44%であり、大きな変化ではない。また、事故リスクであるが、こちらの削減比率は他と比較しても大きく、5.4%であった。

ここまでと同様に、仮に時間価値を小型車のそれとし、すべての便益を計上したものが図-22である。この図より、CO₂排出量に対するコストは増加するものの元々大きな値ではなく、一方で総旅行時間および事故リスクは小さくなっており、全体合計で1,112,558(千円)から1,074,360(千円)と38,198(千円)、比率的には3.3%の削減が実現可能であることが確認できた。以上のように、今回は限定された1ケースのみの検討であるが、渋滞と事故に対する課金を総合的に

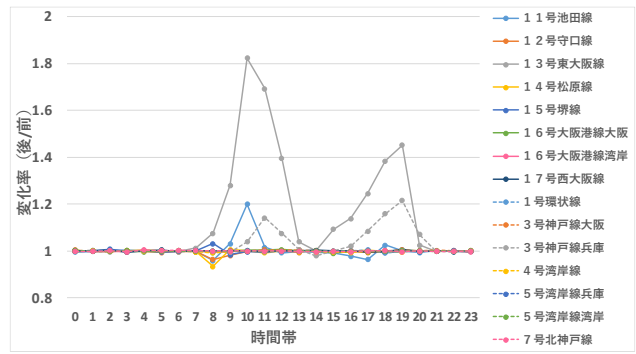


図-15 平均走行速度変化率(総合課金)

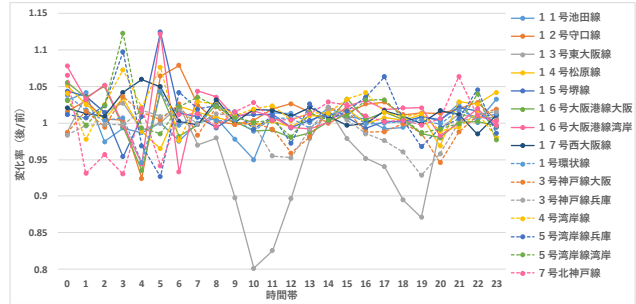


図-16 CO₂排出量変化率(総合課金)

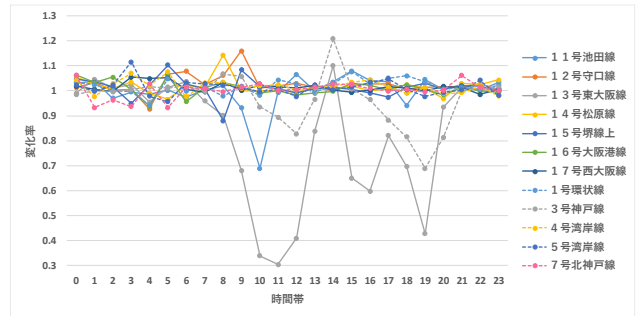


図-17 事故損失額変化率(総合課金)

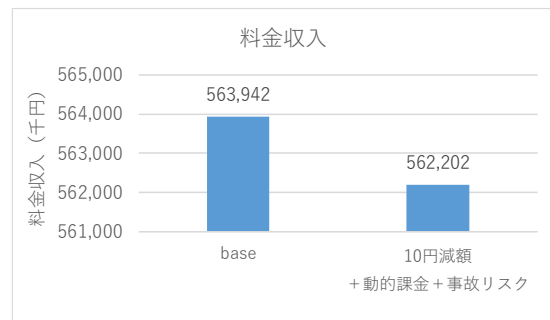


図-18 料金収入比較

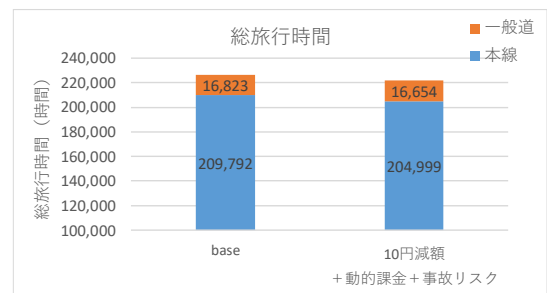


図-19 総旅行時間比較

施すことで、よりよい交通状況を実現できる可能性が確認できた。

6. 成果と今後の展望

本研究では、先行研究の渋滞削減を目的とした動的課金によって、高速道路及び一般街路双方にとって総合的に望ましい交通状況が実現できるという結果を受け、この考え方を拡張し、渋滞緩和だけでなく、環境排出量および交通事故リスクについても考慮した適切な動的課金による交通コントロールが可能か検討を加えた。検討においては、まずHEROINEを環境排出量および事故リスク値が出力可能となるように改良した上で、それらの値がベースケースにおいてどのような値をとるのか確認した。その結果、環境排出量においては走行速度の影響が大きいこと、事故リスクについては一部の地点一部の時間帯で事故リスクが突出して高いことが確認できた。そのため、事故リスクを削減することを主目的とした課金についても検討したが、これについてはオフラインでさらに限定された地点に適用したためか、効果は限定的であった。そこで、動的混雑課金とピンポイント事故リスク課金を組み合わせた総合コントロールの検討を行った。その結果、損失合計額の減少等総合コントロールの可能性を示すことができた。

最後に今後の展望としては、総旅行時間、環境排出量、事故リスクを用いたオンライン課金により、シミュレーション上の最適な交通状況を提示する。さらに本研究では2012年の平均的な交通パターンを用い、ある特定の1日の流入交通量に整合するような交通需要を元に評価している。そのため、異なる交通需要での検討を実施する必要がある。以上を踏まえたうえで、総旅行時間減少、環境排出量と事故リスクの削減を目指した実現し得る料金の検討を進める。

謝辞

本研究は、阪神高速道路株式会社に協力いただいたものである。記してここに謝意を示す。

参考文献

- 1) 御村まゆ, 倉内文孝:柔軟な料金設定による都市高速道路の交通マネジメントに関する研究,第 58 回土木計画学研究発表会 講演集,2018.

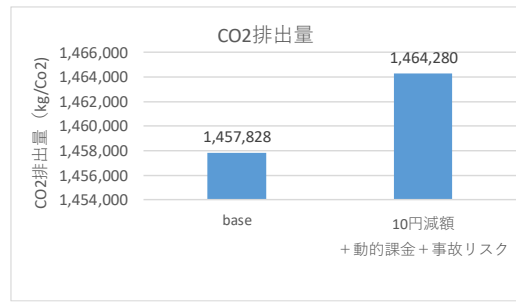


図-20 CO₂排出量比較

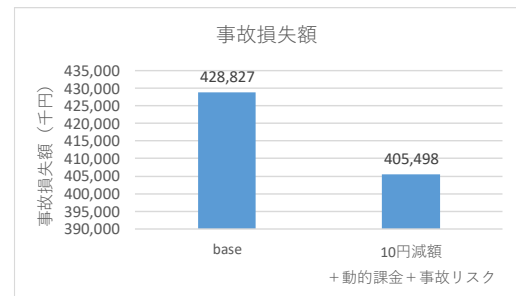


図-21 事故損失額比較

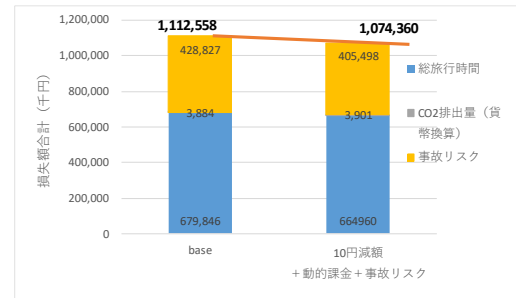


図-22 損失合計額比較

- 2) Saita, K., Kurauchi, F., Okushima, M. and Uno, N.: Establishment of HEROINE, 9th World Congress on ITS, 2002.
- 3) 大藤武彦, 兒玉崇, 竹井賢二, 小澤友記子:リアルタイム事故リスク情報推定システムの構築と活用,2015,第 35 回交通工学研究発表会論文集
- 4) 道路環境影響評価などに用いる自動車排出係数の算定根拠, 国総研資料 No.671,平成 22 年度版

Research on urban expressway traffic management aimed at reducing accident risk and environmental emissions

Mayu MIMURA and Fumitaka KURAUCHI

Urban expressways are an important social infrastructure that plays a role in circulation, but there are many cases where they are not functioning sufficiently due to traffic concentration in the city center, and their efficient use is required. In this study, the traffic situation is changed by dynamically changing the toll based on the traffic situation that can be grasped in real time using the traffic flow simulator “HEROINE” that can evaluate the traffic situation of the expressway main road and the general road by the charge measure. We examined the pricing policy to optimize accident risk and environmental emissions. As a result, it was confirmed that the accident risk increased greatly at a specific point, and the total loss could be reduced by controlling the traffic volume at that point.