

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究終了報告書】

①研究代表者	氏名 (ふりがな)	所属		役職
	大口 敬 (おおぐち たかし)	東京大学生産技術研究所		教授
②研究 テーマ	名称	首都圏3環状道路の効率的な運用に関する研究開発		
	政策 領域	[主領域] (※政策領域が複数の場合、 主領域と副領域を記入)	公募 タイプ	
		[副領域]		
③研究経費 (単位：万円) ※端数切り捨て。	平成26年度	平成27年度	平成28年度	総合計
	1000	2200	2991	61991
④研究者氏名	(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)			
氏名	所属・役職 (※平成29年3月31日現在)			
井料 隆雅	神戸大学・教授			
力石 真	広島大学・特任准教授			
小根山 裕之	首都大学東京・教授			
西内 裕晶	長岡技術科学大学・助教			
森本 章倫	早稲田大学・教授			
長田 哲平	宇都宮大学・助教			
和田 健太郎	東京大学・助教			
⑤研究の目的・目標	(提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)			
<p>本研究は、首都圏3環状道路の整備に伴う高速道路利用経路特性、一般道路を含む首都圏道路ネットワークへの影響、施設立地と土地利用への影響等を分析・モデル化し、とくに高速道路網の円滑性を確保するため、交通状態を動的にモニタリングして首都圏道路ネットワークを効率的に運用する方策を提案する。具体的には、1) プローブデータを用いた貨物車の経路選択特性の分析、2) 首都圏のネットワーク交通流シミュレーション分析、3) 首都圏環状道路の整備に伴う大型物流施設、商業施設の立地影響分析の3項目に取組み、3環状道路の性能を最大限活用するために有効な政策オプション、とくに高度なネットワーク管理、物流貨物車両の適切な誘導、物流・商業施設立地誘導施策に関してあるべき政策の方向性を提示することを目的とする。</p>				

⑥これまでの研究経過

(研究の進捗状況について、これまでに得られた研究成果や目標の達成状況とその根拠(データ等)を必要に応じて図表等を用いながら具体的に記入。)

(1) 貨物車経路選択行動の分析とモデルの構築

首都圏における貨物車の利用経路を把握できる商用車プローブデータを用いて、中央環状品川線供用などに伴う交通状況変化等を踏まえた経路選択行動特性を分析した。さらに、(3)のシミュレーションモデルにおいて必要となる貨物車経路選択行動に係る各種パラメータを得るため、当該プローブデータを用いて貨物車の経路選択モデルを構築した。具体的には、ベルマン方程式に従うリンク効用に基づき発地から着地までリンクを繰り返し選択すると仮定するRecursive logitモデル(Fosgerau et al., 2013)を援用し、入手した富士通・商用車プローブデータのうち、2015年7月1週間に首都圏でサンプル数の多い15のBゾーンの31,421トリップ、2,509,957回のリンク選択回数を対象に実証分析を行った。大規模プローブデータ/大規模ネットワークを対象とモデル推定では、Cyclicな経路が多数発生して計算が不安定になる課題があるが、選択肢集合をリンクレベルで考慮し、当該目的地までの移動に(観測期間中に)一度でも利用されているリンクのみに限定することでこの課題を緩和する。またRecursive logitでは、リンク数×リンク数行列の逆行列を計算する必要あるため、サンプル数の増加に伴う計算負荷が膨大となるが、リンク効用の個人間異質性を考慮せず同質性を仮定して、集計尤度関数を導入して計算負荷を抑えた。その結果、もともと論理的合理性が高く、ネットワーク交通流シミュレータへの適用性も高いモデルとして、以下の表のモデルを導出した。ここでは、移動時間の算出には道路種別・幅員別に設定して求めたネットワーク旅行時間を採用し、転回行動の判定には、流入出リンク同士の交差点折進角度を用いている。

表：貨物商用車のモデルパラメータ

説明変数	Param	t-value
移動費用(100円)	-2.973	-2367.87
移動時間(分)	-0.843	-863.45
Uターンダミー	-0.549	-4.03
右折ダミー	-0.241	-80.11
左折ダミー	-0.048	-33.16
リンク数コスト項	-0.395	-1991.90
サンプル数(トリップ数)	31,421	
サンプル数(link選択数)	2,509,957	
最終対数尤度	-383645.0	
時間価値(円/分)	36.94	
右折費用(回/円)	10.56	
左折費用(回/円)	2.13	

(2) 首都圏3環状道路と周辺土地利用の関係分析

最新の東京都市圏物資流動調査データに基づき、首都圏における道路ネットワークと物流施設立地の関係性を分析したうえで、現状の物流施設立地データをもとに物流施設の立地選択モデルを構築した。この立地選択モデルに基づき、首都圏3環状道路ネットワークが整備された場合における将来の立地ポテンシャルを推計した結果、圏央道をはじめとする環状道路沿線地域において、将来の立地ポテンシャルが増加する可能性が示された。

さらに、(3)で行う首都圏シミュレーション分析への活用を想定し、物流施設の立地ポテンシャルと貨物車発着台数の関係式に基づく将来の貨物車交通需要の変化を推計した。

推計の結果，将来の首都圏3環状道路整備により，神奈川県厚木市周辺，千葉県市川市周辺，埼玉県久喜市周辺，茨城県境町周辺といった環状道路沿線地域で貨物車交通需要が増加する一方で，その他の地域では貨物車交通需要が減少し，首都圏の貨物車交通が効率化されることが示された。

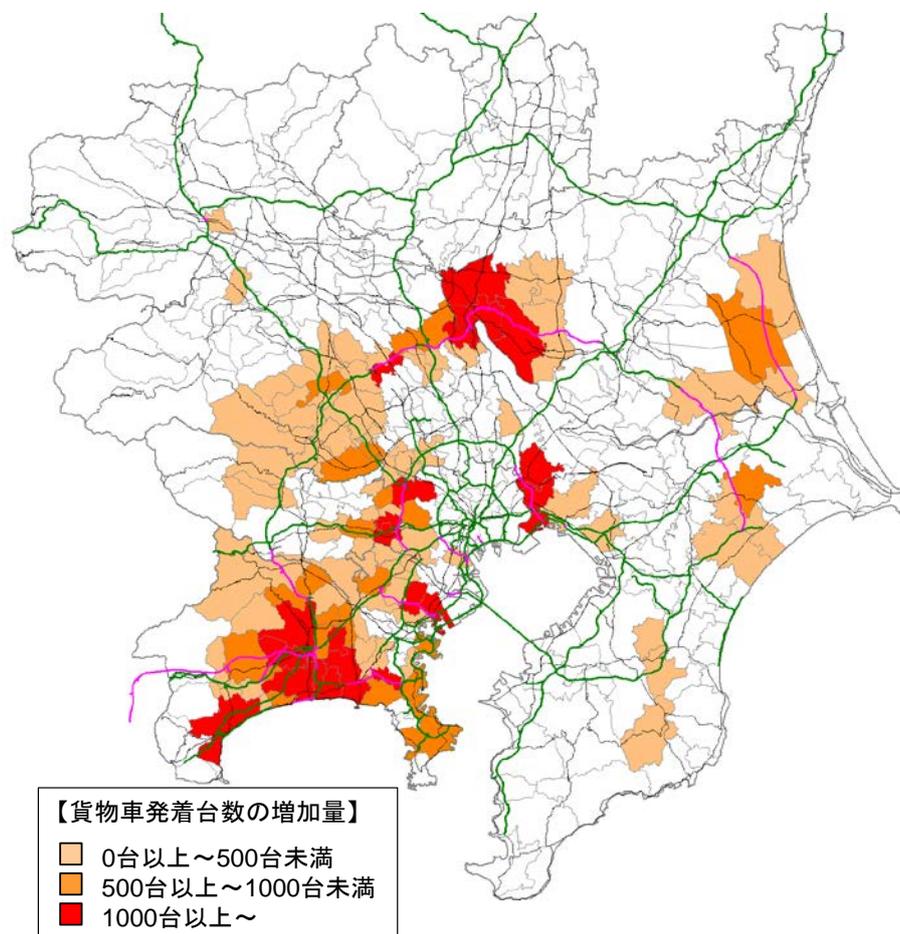


図 物流施設立地状況の変化に伴う交通需要変化の推計結果

(3) 貨物車経路選択モデルの首都圏シミュレーションモデルへの実装とケーススタディ

本論文で用いるシミュレーションモデルは，離散表現された車両を，交通流の基本図（FD: Fundamental Diagram）と衝撃波理論に基づき，FIFO条件下で待ち行列を管理してリンクの上下流端で理論と整合する累積交通量を実現するよう，離散表現した車両を1秒毎に移動させるSOUNDをベースとしている。道路ネットワークは，平成22年度版デジタル道路地図（DRM Ver.2203）を用いて，首都圏の一都七県（東京，神奈川，千葉，埼玉，山梨，群馬，栃木，茨城）の範囲の基本道路リンクにより構成し，約18.6万ノード，約41万リンクとなった。平成22年度に行われた道路交通センサスにおけるBゾーンをポリゴン化し，一都七県の首都圏全体で1112ゾーンでOD表の作成し，平成22年度道路交通センサスにおける車種別（乗用車と大型貨物車の2車種）日交通需要のBゾーンOD表を基礎データとして利用する。

3環状道路の範囲を含む首都圏1都6県ネットワーク交通シミュレーションについて，主要区間における時間帯別の車種別交通量の再現性向上のため，時間帯別OD表を調整しながら，シミュレーション交通量とセンサス交通量との差分が小さくなるよう収束計算を行い，時間帯別・車種別OD表を作

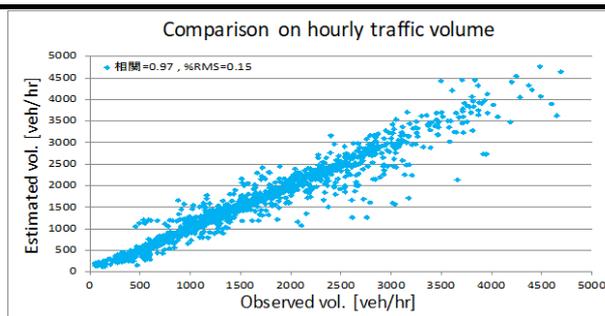
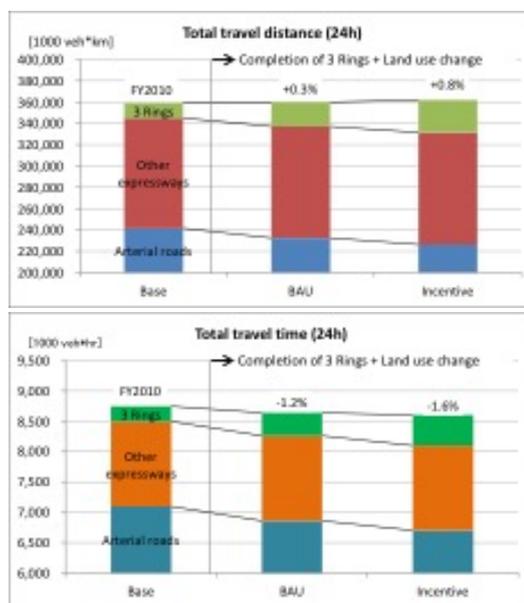


図 時間帯別センサス交通量とシミュレーションによる推定値の相関

成した。ここで貨物車については(1)の経路選択行動モデルを実装した。その結果、図のような高い時間帯交通量の再現性を確認した。

また、(2)での分析を踏まえて、三環状概成後の物流施設立地変化を考慮した貨物車OD表を作成し、交通条件（道路ネットワーク構造と料金設定）と立地条件の変化を考慮して、三環状概成後の交通状況（BAUとする）を計算できるモデルを構築して三環状概成の効果を分析した。その結果、まだ速度低下、交通渋滞発生する時間が生じており、環状部の概成によるネットワーク効果を十分に発揮できていないことが分かる。そこで、3つの環状道路の経路コストを政策的に低く設定（旅行時間以外の圏央道のリンクコストを1/3、外環道のリンクコストを1/2、中環のリンクコストを2/3に変化させて、環状道路へ交通を誘導するケーススタディ（Incentiveケース）を行った。これは、必ずしも高速道路料金の低減のみを意味するわけではなく、経路誘導情報提供などにより誘導するような施策も表現可能な、一般性のあるシナリオである。その結果、Incentive誘導策により、三環状道路概成によるネットワーク化と同程度の効果が得られることを示した。



右図に示すように、走行台キロはBaseよりBAUで0.3%、Incentiveで0.8%増加するが、走行台時間はBaseよりBAUは-1.2%、Incentiveで-1.6%の減少となり、混雑緩和効果が見られること、3環状の利用が増えて一般道利用の距離も時間も大きく削減されることを明らかにした。

⑦中間・FS評価で指摘を受けた事項への対応状況

(中間・FS評価における指摘事項を記載するとともに、その対応状況を簡潔に記入下さい。)

FS評価

初年度のFSでは、予算制約が厳しく、データ取得のための予算確保ができずに、研究成果不足、計画の見直しの指摘を受けた。

- 指摘を踏まえて、研究計画の範囲を見直した。具体的には、3年間の最終成果の中から、動的ランプメータリングや動的混雑課金など、動的な施策評価の仕組みの構築を断念し、3環状道路の有効活用策の評価が可能なシステム開発までを目標とし直した。

中間評価

2年目の中間評価では、「貨物車の経路選択特性分析、交通流シミュレーション分析等について、各々研究が進展しており、成果が期待される。」との指摘であったが、引続き「入手するデータに制約が発生する可能性を考慮して研究計画の修正を検討すること」との指摘もあった。

- データ入手に制約があったわけではないが、膨大なデータ量のために提供を受けるまでに想定外に時間を要したこと、データ処理に時間を要したこと、などが、その後の研究成果に影響を及ぼした。

⑨研究成果

(本研究で得られた知見、成果、学内外等へのインパクト等について、具体的にかつ明確に記入下さい。)

- ・31,421トリップ、2,509,957回の経路選択行動，という大量の大型商用車の実際の経路選択行動データを用い，ネットワーク交通流シミュレーションモデルと親和性の高いrecursive logitモデルを用いて，大量データでも安定してモデル推定を可能とする手法を開発するとともに，実データを適切に説明できる経路選択モデルを構築することができた。
これまで貨物車の経路選択行動の実態に関するデータがなく，本研究で得られた知見や提案するモデルは，今後の貨物車両の利用実態把握や経路交通量の推定において広く活用されることで，より実態に即した貨物車誘導施策などを行うことができるようになる。
- ・東京都市圏物資流動調査データを用いて，道路整備による交通サービス水準の変化の効果を考慮できる物流施設の立地選択モデルを構築し，3環状道路概成による立地ポテンシャルを推定し，その結果，3環状道路概成による大型車OD交通量の変化を定量的に推定することができた。
これまでの施設立地モデルでは，交通サービスについては静的な条件しか取り入れてこなかったが，各OD間で一日に発生する交通渋滞量や継続時間とそれらの変動に伴う移動時間信頼性も考慮した立地を記述する方法論として，ネットワーク交通流シミュレーションとの連携利用方法を提示した．この施設立地モデルが今後の環状道路周辺への施設立地誘導策などに活用可能になる。
- ・約18.6万ノード，約41万リンクからなる首都圏広域の道路ネットワークに，1112ゾーンのBゾーン間の時間帯別・小型車／大型車別OD交通需要を入力して，H22当時の道路ネットワーク交通流シミュレーションモデルを構築し，常時観測点の時間帯別交通量とプローブによるリンク旅行速度を用いて，そのモデルパラメータを推定した（Baseケース）．
- ・3環状道路概成時のネットワークの追加と大型車交通需要の修正を適用したシミュレータにより3環状概成時の交通状況を推定（BAUケース）し，3環状道路概成によるネットワーク効果で一定の交通渋滞緩和効果があるものの，交通渋滞の解消にまで至らず，とくに首都高速湾岸線の交通渋滞が顕著に見られることが確認された。
- ・3環状道路への誘導施策を導入する（Incentiveケース）効果をシミュレータにより評価した．十分なインセンティブにより3環状道路概成によるネットワーク化と同程度の効果が得られることを示した．走行台キロはBaseよりBAUで0.3%，Incentiveで0.8%増加するが，走行台時間はBaseよりBAUは-1.2%，Incentiveで-1.6%の減少となり，混雑緩和効果が見られること，3環状の利用が増えて一般道利用の距離も時間も大きく削減されることを明らかにした。
ネットワーク交通流シミュレーションモデルにおいて，これまで貨物車特有の経路選択行動モデルを組み込んでいなかったが，これを取り入れたシミュレーションモデルを実現し，今後の大型車の誘導施策の評価などに利用可能とした．さらに施設立地条件を説明する交通運用条件の算出ツールとしてシミュレーションモデルを活用する方法を提示した。

⑨研究成果の発表状況

(本研究の成果について、これまでに発表した代表的な論文、著書(教科書、学会妙録、講演要旨は除く)、国際会議、学会等における発表状況を記入下さい。なお、学術誌へ投稿中の論文については、掲載が決定しているものに限ります。)

R. Horiguchi, M. Iijima and T. Oguchi (2015) Simulation experiment for ITS on three expressway rings in Tokyo metropolitan region. Proceedings of 22nd World Congress on ITS 2015, Bordeaux, France.

M. Chikaraishi, S. Nakayama (2015) How well drivers can estimate travel time? Estimating travel-time-dependent variance based on a q-generalized logit model. Paper presented at the 13th International Conference on Travel Behaviour Research, London, UK.

T. Oguchi, M. Chikaraishi, M. Iijima, H. Oka, R. Horiguchi, J. Tanabe and Y. Mohri (2016): Advanced simulation model in the region of Tokyo metropolitan urban expressway rings. Proc. of 23rd World Congress on ITS 2016, Melbourne, Australia.

力石真, 田名部淳, 大口敬 (2016): プローブデータを用いた貨物車経路選択行動のモデル分析, 土木計画学研究・講演集, No.54, 長崎大学.

大口敬 東京都都市圏大規模ネットワーク交通流シミュレーションの開発 (2017), 生産研究, 69(2), 49-50.

田名部淳, 力石真, 大口敬 (2017): プローブデータを用いた首都圏高速道路ネットワークにおける貨物車流動に関する一考察, 土木計画学研究・講演集, No55, 愛媛大学.

大口敬, 力石真, 飯島護久, 岡英紀, 堀口良太, 田名部淳, 毛利雄一 (2017): 首都圏3環状都市高速道路における交通マネジメント方策, 土木計画学研究・講演集, No55, 愛媛大学.

R. Horiguchi, T. Oguchi, M. Chikaraishi, M. Iijima, H. Oka, J. Tanabe and Y. Mohri (2017): Potential of the advanced traffic management on Tokyo metropolitan urban expressway rings - Development of Network Simulation Model and its Application -, ITS Asia Pacific Forum 2017, Hong Kong.

T. Oguchi, M. Chikaraishi, M. Iijima, H. Oka, R. Horiguchi, J. Tanabe and Y. Mohri (2017): Trial proposals of advanced traffic management on Tokyo metropolitan urban expressway rings. 12th EASTS Conference (to be presented).

⑩研究成果の社会への情報発信

(ウェブ、マスメディア、公開イベント等による研究成果の情報発信について記入下さい。ウェブについてはURL、新聞掲載は新聞名、掲載日等、公開イベントは実施日、テーマ、参加者数等を記入下さい。)

- ・2016年12月1日, 国際シンポジウム「メガシティにおける道路ネットワーク交通マネジメント」を根本敏則研究代表のプロジェクトと共同で主催。当初100名定員で163名申込, 当日137名参加。

- ・システム概要を紹介する東大生産技術研究所の紀要(「生産研究」)

DOI: 10.11188/seisankenkyu.69.49

- ・開発した広域道路ネットワーク交通流シミュレータのデモ動画

<https://www.youtube.com/watch?v=TjsuwXcLsfk&vl=ja>

⑪研究の今後の課題・展望等

(研究目的の達成状況や得られた研究成果を踏まえ、研究の更なる発展や道路政策の質の向上への貢献等に向けた、研究の今後の課題・展望等を具体的に記入下さい。)

当初の目的には、動的ランプメータリングや動的料金施策の評価などリアルタイム・動的な施策導入の効果評価を目的に入れていたが、データの入手、ハンドリング、及びモデルパラメータ調整に手間取り、本研究では、施策評価分析の内容が不十分であったと認識している。ベースとなるプラットフォームは確立できたので、より体系的・網羅的な施策評価分析を進める必要がある。

特に、上述の動的施策を評価できる機能を追加するためには、研究開発したシミュレータの改良が必要であるが、これを実現して動的施策の効果評価を行うこと、さらに2020東京オリンピックや高速道路大規模修繕時などの影響評価への活用することも、今後の展望として大いに期待できる。

高速道路会社間の垣根を越えてこうしたリアルタイムシミュレータを共通化することができれば、首都圏3環状エリア全体の高速道路ネットワークを料金体系も含めて統合的に・総合的にマネジメントし、動的交通管制を有機的に連携して、交通渋滞を最大限抑制して、効率的な道路ネットワークマネジメントの実現、という道路政策の質の飛躍的な向上が期待できる。

今回、これほど大規模な実データにより大型商用車の経路選択モデルを構築することができたが、今後は、小型車の経路選択行動の実態把握とそのモデル化が大きな課題である。

⑫研究成果の道路行政への反映

(本研究で得られた研究成果の実務への反映等、道路政策の質の向上への貢献について具体的かつ明確に記入下さい。)

ネットワーク整備効果は、これまでも道路行政の中でも強調されてきているが、その効果を広域的、論理的に合理的に、定量的に把握するための手法が存在していない。本研究では、こうした状況に対して、交通需要の「予測」は行わずに、整備前、整備後のネットワーク特性のみによる影響を定量的に評価できるフレームの提示として大変価値があるものと考えている。本論文で提案するような、交通渋滞を動的に正しく捉えることができるネットワーク交通シミュレータを活用し、かつ必要なデータを使いやすい形で準備することができて、頻繁に活用できるようにすることで、ネットワーク整備効果をより明確に、多くの周辺分野の関係者に示すことができるようになる。

ネットワーク整備だけでは渋滞が解消できるとは限らない。とくに東京のような混雑道路では、不可能と言ってもよい。また事故や火災などインシデントによる渋滞も多発している。しかし、交通渋滞を迅速に検出し、あるいは事前に予見して、リアルタイムに動的に様々な施策(動的ランプメータリング、動的課金制度、など)を適切に組合わせて適用することで、交通渋滞の影響を最低限に押えることができる。本研究のシミュレータシステムを改良し、また、各道路管理者が同一のシステムを同時に利用してかつダイナミックに連動すれば、交通渋滞を最小化させ、道路の性能を最大限引き出すことができるようになる。

⑬自己評価

(研究目的の達成度、研究成果、今度の展望、道路政策の質の向上への寄与、研究費の投資価値についての自己評価及びその理由を簡潔に記入下さい。)

- ・研究目的の達成度：当初計画時の予算目論見より総額で2/5倍程度である割にはよく頑張った
- ・研究成果：施策評価スタディが手薄なのは自分としても残念
- ・今後の展望：現場技術者に興味をもってもらって展望は開けてきており望ましい状況である
- ・道路政策の質の向上への寄与：動的・リアルタイムな交通管制，という新たなジャンルの必要性を開拓しようと考えていたが，インパクトは少し足らなかったように考える．ただし，これも現場技術者の中には同様な志向でチャレンジも出てきているようなので，新たな展開に大変に期待をしている状況
- ・研究費の投資価値：経費の割に効率的に実行することができた