



道路政策の質の向上に資する技術研究開発
成 果 報 告 レ ポ ー ト
No. 26-2

研究テーマ

首都圏3環状道路の効率的な運用
に関する研究開発

研究代表者：	東京大学教授	大口 敬
共同研究者：	早稲田大学教授	森本 章倫
	首都大学東京教授	小根山 裕之
	神戸大学大学教授	井料 隆雅
	広島大学准教授	力石 真
	高知工科大学講師	西内 裕晶
	宇都宮大学助教	長田 哲平
	東京大学助教	和田 健太郎

平成 29 年 7 月

新道路技術会議

目 次

研究概要

第 1 章	はじめに	1
1.1	首都圏 3 環状道路の概要	1
(1)	路線開通の経緯	1
(2)	ネットワーク接続のメリットと新たな課題	1
(3)	都市圏における環状道路整備の意義	2
1.2	報告書の構成	2
第 2 章	ネットワーク交通流シミュレーション	3
2.1	動的な交通流モデルの重要性	3
(1)	静的な交通流モデルの限界	3
(2)	渋滞現象の再現性からみた動的交通流モデルの合理性	3
2.2	広域道路網交通流シミュレーションモデル SOUND	4
(1)	モデルの基本構造	4
(2)	車両の発生とネットワークへの流入	4
(3)	リンク上の車両移動	5
(4)	リンク間での車両移動	5
(5)	経路選択モデル	6
2.3	入力項目	6
(1)	シミュレーション設定	6
(2)	ネットワークデータ	6
(3)	リンク交通特性パラメータ	6
(4)	交通発生集中ゾーン情報	6
(5)	OD 交通量	6
(6)	経路選択層	6
(7)	信号制御パラメータ	7
(8)	交通規制データ	7
2.4	出力項目	7
(1)	集計指標	7
(2)	個別車両の指標	7
第 3 章	首都圏 3 環状道路ネットワークシミュレータ	8
3.1	モデル構築に用いるデータ	8
(1)	道路ネットワークデータ	8
(2)	リンクの交通流特性・料金パラメータ	8
(3)	信号制御パラメータ	8
(4)	OD 交通量データ	9
3.2	プローブデータを用いた経路選択モデルの構築とシミュレータへの実装	9
(1)	経路選択モデル分析に関する近年の動向	9
(2)	Recursive logit モデルの概要	10
(3)	簡便なネットワークでの計算例	10
(4)	貨物車プローブデータを用いた経路選択モデルパラメータ推定	11
(5)	経路選択モデルのシミュレータへの実装	14
3.3	シミュレーション用時間帯別 OD 表の推定	15
3.4	モデルパラメータ調整と現況再現ケース	16
第 4 章	シミュレータによるケーススタディ	17
4.1	シナリオの設定	17
(1)	首都圏 3 環状道路概成後ネットワークの作成	17
(2)	評価シナリオ	17
4.2	物流施設立地モデルの構築と貨物車 OD 表の修正	18
(1)	首都圏における物流施設の立地状況	18

(2)	物流施設立地モデルの構築.....	18
4.3	3 環状概成時の BAU ケースと各種道路運用策のケーススタディ.....	23
(1)	BAU ケース.....	23
(2)	環状道路利用促進インセンティブ付与.....	27
(3)	動的最適経路誘導.....	32
(4)	首都高都心環状線流入制御.....	33
(5)	ケーススタディまとめ.....	35
第 5 章	さいごに.....	36
5.1	成果と今後の課題.....	36
(1)	成果.....	36
(2)	今後の課題.....	37
	参考文献.....	37

**「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」(平成26年度採択)
研究概要**

番号	研究課題名	研究代表者
No.26-2	首都圏3環状道路の効率的な運用に関する研究開発	東京大学 教授 大口 敬

首都圏3環状道路を効率的に運用する方策を検討可能とするため、首都圏広域ネットワーク交通流シミュレーションと物流施設立地モデル、大型貨物車の経路選択行動モデルを組合わせて構築することを研究目的として、これを用いた交通マネジメント策の評価を実施する研究開発。

1. 研究の背景・目的 (研究開始当初の背景・動機、目標等)

本研究は、近い将来の首都圏3環状道路の概成に伴い、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) 首都圏広域の道路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。

2. 研究内容 (研究の方法・項目等)

DRMデータを用いて首都圏広域の大規模道路ネットワークモデルを構築し、H22道路交通センサスBゾーンODデータ(往復日交通量)を用いて、常時観測点の時間帯別車種別交通量を説明するように、小型車・大型車の時間帯別OD交通量を推定する。大型商用車プローブデータを用いて実経路選択行動を分析し、これを説明する経路選択行動をrecursive logitモデルにより説明するモデルを構築し、これを広域道路ネットワーク交通流シミュレータSOUNDに実装する。大規模な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、広域道路ネットワークシミュレータのパラメータを適切に調整する。次に最新の東京都市圏物資流動調査データに基づき、物流施設の立地選択モデルを構築し、これに近い将来に実現する概成した3環状道路を想定した立地ポテンシャルを用いて、3環状道路概成時の大型車交通需要を推定する。この交通需要を用い、3環状道路概成時の道路ネットワークを追加構築した交通流シミュレータにより、概成時の交通状況(BAU)を推定する。BAUに対して、3環状道路へ誘導する3つの施策(料金施策、動的最適経路誘導情報、都心環状流入制限)を導入した場合に、どれだけ環状道路が有効に活用され、高速道路上のボトルネック渋滞の改善や一般道路混雑緩和が実現するか、誘導施策をBAUと比較分析を行う。

3. 研究成果

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。

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。

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現況（Base ケース）と比較して全体で約 12%の渋滞損失の削減効果があるものの、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。

表：ケーススタディ取りまとめ

ケース	比較	全体の渋滞損失	渋滞緩和	渋滞増加
BAU	現況	約 12%削減	首都高および圏央道より内側の一般道で渋滞緩和	外環と圏央道は開通効果で増加 圏央道は物流施設誘引の影響も
インセンティブ付与	BAU	約 3%削減	首都高および外環より内側の一般道で渋滞緩和	外環と圏央道は渋滞増加 →過度な料金傾斜による過剰な迂回で効率が低下
動的最適経路誘導	BAU	約 24%削減@30%	混入率 30%でいずれのエリアも高速道路と一般道で渋滞緩和	100%では高速道路の渋滞緩和は最大になるが、一般道に降りる交通で全体では渋滞増加
都環流入制御	BAU	約 1%増加	都環周辺はわずかに渋滞緩和	外環より内側は渋滞増加 →今回の流入制御スキームでは十分な効果が見込めない

3 環状道路へ誘導する 3 つの施策（料金施策、動的最適経路誘導情報、都心環状流入制限）の効果をシミュレータにより評価した。BAU と比較して全体の渋滞損失の削減率で見ると、環状を利用するように料金インセンティブを付与することで約 3%、3 割の利用者が動的経路誘導を利用することで約 24%削減できること、一方で都心環状線のオンランプ流入を抑制しても、全体では僅かに渋滞が増えることなどが評価され、渋滞緩和のために動的施策の有効性が明らかとなった。

4. 主な発表論文（研究代表者はゴシック、研究分担者は下線）

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.

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.

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.

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.

5. 今後の展望と道路政策の質の向上への寄与（研究成果の活用や発展性、今後の課題等）

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・動的な複雑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、施策評価分析が不足している。研究開発したシミュレータを改良し、こうした複雑な動的施策を評価できる機能を追加すること、こうした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が期待できる。

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。

6. ホームページ等（関連ウェブサイト等）

- ・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>

第1章 はじめに

1.1 首都圏3環状道路の概要

(1) 路線開通の経緯

首都圏3環状道路は、平成26年度には、首都圏中央連絡自動車道（圏央道）の海老名JCTと八王子JCT間が2014年6月開通し、東名高速から中央道が3環状道路のうち最も外側の圏央道で接続された。また3環状道路のうち最も内側の首都高速道路中央環状線（中央環状）の大井JCTと池尻JCT間（品川線）がの目を見た。

平成27年度には、まず6月に圏央道の神崎ICと大栄JCT間が接続したことで、常磐道と東関東道が圏央道で接続され、とくに大栄JCTは成田空港に近く、常磐道沿線地区からの成田空港へのアクセス性が大幅に改善された。さらに、10月には圏央道の桶川北本ICと白岡菖蒲IC間が接続したことで、東北道から関越道の間も圏央道で接続された。これで東北自動車道と関越自動車道の間には、首都高速・中央環状線、東京外かく環状道路（外環）、および圏央道の3環状で接続されたことになる。

また圏央道は、平成26年度末に東北道との久喜白岡JCTから境古河IC間、平成28年度末に境古河ICからつくば中央ICまで開通したことで、東北道と常磐道の間も接続することとなった。これで圏央道としては、東名高速・中央道・関越道・東北道・常磐道・東関東道と5つの高速道路が首都圏の南西側から北回りで東側まで接続され、環状道路としての機能を圏央道としても大きく発揮できるネットワークが成立した。

今後は、平成29年度に外環の常磐自動車道・京葉道路・東関東自動車道間の接続、さらに平成32年度に圏央道の東名高速と首都高速・横浜環状南線を経て釜利谷JCTまでが接続され、3環状によるネットワークが概成されることで、平成32年（2020年）の東京オリンピック・パラリンピック時にはこれらのネットワークが大きな交通・輸送の役割を果たすことが期待されている。

さらに国土交通省は、平成27年9月に「首都圏の新

たな高速道路料金に関する具体方針(案)」を発表し、3環状エリア内の高速道路の料金体系を統一化し、原則として経路によらず出入口間の最短距離経路の料金で統一して環状道路を利用して迂回になっても割高にならないよう、3環状エリア内には、首都高道路(株)、東日本高速道路(株)、中日本高速道路(株)の3社の料金制度を統一した仕組みが平成28年4月から開始され、また平成29年2月からは外環道の均一料金制度も是正した。これにより、放射・環状形状で交通・人口・活動の集中する都心部を通過することによる混雑・環境負荷の軽減を意図した方向性が打ち出されている。

(2) ネットワーク接続のメリットと新たな課題

この3年の間に、首都圏の高速道路が、急速に高速道路が樹状（トリー）構造から網状（ネットワーク）構造へと変化し、大きく道路ネットワークが変化して利用者にとっての経路選択の余地を大幅に増やすこととなった。また都心部を通りぬけたり、高速道路を使わずに一般道を利用したりしていた交通が、環状の高速道路を利用するようになる効果が現れることが期待され、実際、平成28年の第1四半期の状況で、すでに圏央道には相当量の大規模車交通量が誘導されている実態が観測・観察されており、とくにこの2年間における急速なネットワーク化は、東京圏における交通流動の大きな変化と、これと連動した物流施設など大規模施設立地の誘導を引き起こしている。

本研究においても、とくに大型物流車両への交通誘導施策が東京・首都圏3環状道路のように、大都市圏における環状道路整備の重要な意義であることから、最新の首都圏物流流動調査を通して明らかとなった大型物流施設などの大規模施設の立地状況について分析とその立地行動のモデル化を試みている。

一方で、こうしたネットワーク構造の変化により交通流動が変化することで、それ以前よりも多くの交通需要の集中が発生し、新たな交通混雑が発生することもある。たとえば、東名高速中央道間の圏央

道開通により、東名との接続部である海老名JCTでは、平日・休日ともに定常的に渋滞が発生するようになり、道路接続部の幾何構造設計が交通流動性能を大きく規定することが改めて認識させられた。

(3) 都市圏における環状道路整備の意義

一般論として、都市部における幹線道路、とくに都市部の高速道路ネットワークとして環状道路を整備することは、通過交通、とくに大型貨物による通過交通を都市の中心部から排除して、都市の中心部の環境を改善するとともに、都市交通を都市内で完結する交通需要にできるだけ特化することで、密に活発な社会・経済活動が行われる都市の活力、潜在能力を發揮させることに意味がある。したがって、とくに大型貨物車が担う大量の物流に対して、3環状道路が有効に機能して上記のような効果を發揮させるためには、大型貨物車を適切に環状道路へ誘導するとともに、こうした車両の交通需要の発生・集中施設となるような大規模物流ターミナルや大規模工場・施設の立地を外縁の環状道路部へと適切な立地誘導することも極めて重要なことである。

また、放射・環状型のネットワークでは、特に直径方向に近いような、外縁部から外縁部への通り抜け交通の方向が都心から見て180度に近い角度を持つ方向である場合には、環状部を利用すると都心を抜けるよりも遙かに距離が長い(単純に、180度で円周を半周回ると直径を直進するのを比較すれば $\pi/2$ 倍、約1.57倍になる)ことが重要な特性であり、これは放射・環状型ネットワークでも180度方向にある通過交通は、特別な施策を行わなければ都心部通り抜けを阻止できないことを意味する。これを阻止するには、環状部のサービス水準を1.57倍にする(例：旅行速度を1.5倍以上)、あるいは環状部の道路料金を都心部通り抜けより割安にする、などの対策が必要となる。

さらにネットワークの効果には、迂回による道路性能の有効活用がある。典型的な事例は、災害や事故などによる通行止めが一部区間に生じて、別の経路を利用して目的地まで到達できるネットワーク冗長性の効果である。あるいは、そこまで極端でなくても、交通渋滞によりサービス水準が大きく低下している路線を避けて、まだ交通容量に余裕のある路線へ誘導することで、結果的に利用者の目的地までの旅行時間を短く出来る、あるいは渋滞末尾や渋滞中で頻発する交通事故を引き起こす、あるいは巻き込まれるリスクを少なく出来ることが期待される。したがって、時々刻々と変化する交通混雑状況に応

じて、あるいは今後生じる近未来の混雑予測に応じて、交通を適切に誘導・迂回させることで、結果的にネットワークの交通流動を高く維持して、その性能を最大限發揮させることができるようになることが期待される。併せて、とくに高速道路ネットワークにおいては、相対的に交通サービス水準の低い一般道に比べて、高い水準の交通サービスをネットワーク全体で維持し続けることにより、最大限の交通を一般道から高速道路へ吸い上げて通行させることになり、一般道の混雑緩和・交通事故発生リスクの軽減と、高速道路利用交通量が増大することも期待される。

1.2 報告書の構成

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とネットワーク交通流への影響、物流施設等の立地と貨物車交通への影響等を分析・モデル化し、首都圏高速道路網の円滑性を確保するために必要な効率的な道路ネットワークマネジメント・運用方策の提案を目的としている。

第2章では、本研究の根幹をなす、道路ネットワーク交通シミュレーションの考え方、基本的な機能、モデル構造についてまとめる。とくに交通渋滞のもつ動的特性を再現し、ネットワーク上に生じる複雑な関係性を表現するために必要な機能を整理する。

第3章では、具体的に首都圏3環状広域道路ネットワークシミュレータの構築について述べる。道路ネットワークのデータ収集や交通需要データの収集と加工・設定、経路選択モデルの設定などを整理する。とくに、大型貨物車の経路選択挙動分析を、プローブデータによる実績値を用いて行った内容と、これに基づいてrecursive logitモデルを適用してモデル同定(パラメータ推定)の方法とその結果を示す。これらの条件設定にもとづいて、シミュレータ出力の現況再現性について検証する。

第4章では、シミュレータ計算による検討を行う。具体的には、現況再現が確認された第3章のモデルをベースに、首都圏3環状道路が概成したネットワーク条件を設定するとともに、その影響で生じるはずの土地利用変化、とくに大型貨物車の発生交通需要、集中交通需要に大きな影響を及ぼす物流施設の立地状況を推定するモデルを開発し、大型車交通需要の変化を求めて入力交通需要条件を修正し、シミュレータを利用する。さらにネットワークを有効活用する交通マネジメント策の評価を行う。

第5章に、本研究の結論と今後の課題を示す。

第2章 ネットワーク交通流シミュレーション

2.1 動的な交通流モデルの重要性

(1) 静的な交通流モデルの限界

道路には交通容量があり、それを上回る需要がやってくると、容量を上回る超過需要がその地点に滞留して渋滞が発生する。例えば、容量 2000 [台/時] の道路に 10%増の 2200 [台/時] の需要がやってくる場合には、1 時間後には 200 台の車両が滞留して渋滞列を作る。もう 1 時間この状態が続けば、滞留台数は 400 台に増加してしまう。このように、渋滞はネットワーク上に車両が滞留する現象で、同じ需要レートがやってきたとしても滞留台数は継続時間とともに累積していくので、渋滞現象は動的である。渋滞による旅行費用の増加は大きく、ネットワーク解析を行う場合には、これを適切に扱うことがきわめて重要である。

この例のように同じ需要レートが 2 時間続く場合にも、旅行時間は最初短いが滞留台数が増えるにつれて、時間とともに単調増加を続ける。従来型の交通量配分モデルのように静的なモデルでは、結果として出てくるのは、たった 1 つの交通状態であり、このように時間的に変化する状況は再現できないことは周知の通りである。

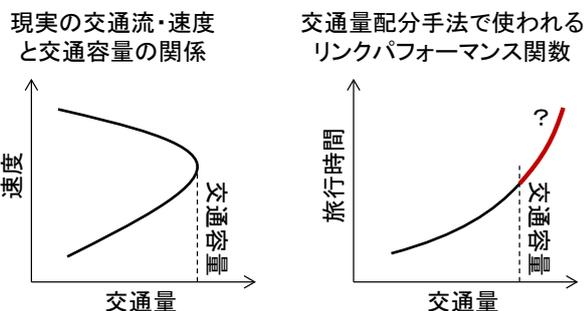


図-1 現実の交通流特性と静的な交通量配分手法で使われるリンクパフォーマンス関数の違い

静的配分の交通流モデルは、各リンクに決められているリンクパフォーマンス関数に従って交通量をネットワークにロードするという方法である。リンクパフォーマンス関数は、図-1右のように、横軸に

リンクの交通需要、縦軸に旅行費用（あるいは旅行時間）をとって、交通需要によって旅行費用が変化する関係を表す関数である。リンクパフォーマンス関数は、当該リンクの交通観測に基づいて、需要と平均的な旅行費用の関係をプロットすることができれば求められる。しかし、観測できる総需要はそれほどバラツキがなく、したがって旅行時間もごく限られた範囲にしか分布しないことが一般的である。よって、現在観測されていない総需要がやってきたときのパフォーマンス関数は、現象的には求められない。他の方法としては、需要の時間分布を現在観測されているパターンに固定して、総需要が変化した場合の旅行時間変化を簡単な計算で求めて、リンクパフォーマンス関数を決めることもある。しかし、この場合にも総需要が変化した場合に需要の時間分布パターンが変化するという効果を取り入れることが難しい。

したがって、多くの場合リンクパフォーマンス関数は、配分計算の結果であるリンク交通量が、観測交通量とよくあうように、キャリブレートして求められている。すなわち、現象的に決定することが難しいので、モデルに内在する一種のパラメータとしてキャリブレートされている。このように静的モデルのリンクパフォーマンス関数は、道路の幾何構造や交通運用から外生的に決めることが非常に難しい面があり、このことはたとえ現況再現性が確保されたとしても、将来などに需要レベルが変わってしまった場合に適切な結果が得られるとは限らないことを示唆している。

(2) 渋滞現象の再現性からみた動的交通流モデルの合理性

これに対して、動的な交通流モデル動的交通流モデルには、いくつかの種類の違いはあるが、その多くが、リンクパフォーマンス関数に相当する交通流の性質として、図-1左のような、現実の交通流特性を凸な関数で近似したもの（交通流特性式：Fundamental Diagram）を前提としている。大規模なネットワークを対象とした交通流シミュレーションでしばしば用いられる待ち行列モデルは、容量上の

ボトルネックに着目し、そこを待ち行列のサービス窓口として扱うものである。渋滞の場合は、需要が容量を超えるので、一般的には決定論的な待ち行列理論が使われる。車両の微細な挙動を表現することは必要なく、ボトルネックの容量と需要だけから時間的な旅行費用（時間）を求めることができるといった点で、ロバストなモデルである。ただし、待ち行列の延伸を表現するためには、道路区間の交通流率－交通密度関係といったマクロ的な関係が必要になる。（ここでいうマクロ的とは、個別の車両1台1台の関係ではなく、数分間程度の車両群の平均的な関係を指す。）

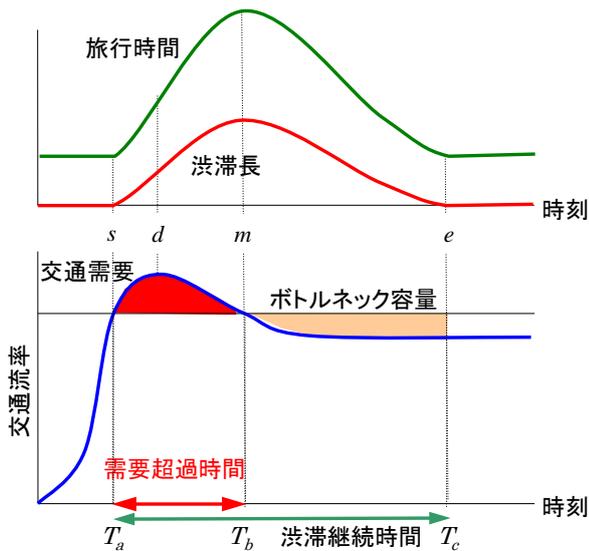


図-2 時間変化する交通需要と動的な交通流モデルが再現する渋滞延伸・解消の関係

静的なモデルに対する、これら動的モデルの長所は、交通現象と密接に結びついた関係を用いているために、現象を観測することによって、交通流モデルを外生的に決めやすいことである。静的なモデルでは、現象との結びつきが希薄であるのでパラメータとしてリンクパフォーマンス関数を同定する必要があったが、動的モデルでは現象に基づいて交通流モデル構築することが可能である。このことは、動的モデルで得られる結果は、交通現象的に論理性があって、現在観測されていない需要が発生した場合にも、適切な結果を出力できると期待される。

交通容量上のボトルネックで交通渋滞が発生する場合に、時間の経過に伴って変化する交通需要、および交通渋滞長と旅行時間の特徴を図-2に模式的に示す。図より、時点 s で交通需要がボトルネック交通容量を超過して交通渋滞が発生し、最大交通需要が実現する時点 d を過ぎて交通渋滞長および旅行時間は長くなり続け、交通需要がボトルネック交通容量を下回り始めた時点 m で交通渋滞長も旅行時間も最大値を取る。その後、交通渋滞長も旅行時間も減少し始め、時点 e で交通渋滞が解消する。時点 e は、図中の交通需要超過時間帯 $s-m$ における超過需要と交通容量の間の赤い範囲の面積と、交通需要低下後の

時間帯 $m-e$ の両者の間の橙色の面積が等しくなった時点である。なお一般に、交通渋滞継続時間帯 $s-e$ は交通需要超過時間帯 $s-m$ よりかなり長い。

以上のような交通渋滞の時間依存性を持つ特徴を考慮せずに、静的枠組みだけで捉えようと、最大交通需要が実現する時点 d で交通渋滞が最大となり、交通需要が交通容量を下回った時点 m で交通渋滞が解消し、交通渋滞は交通需要超過時間帯 $s-m$ でのみ存在する、という誤った理解をしてしまうおそれがある。また、リンクコスト関数としてよく用いられるBPR関数は、交通需要を横軸にリンク旅行時間を縦軸にとると、単調増加で、ある閾値を交通需要が超えると急激に旅行時間が増大する関数型で表される。しかし、これは静的枠組みが適用できるほど長い時間帯（1日など）、またはボトルネック交通容量を超過しない交通需要下でのみ適用可能である。

交通渋滞の発生・延伸・縮小や、その空間的な影響範囲と時間変動を動的に記述する方法として、上記の動的な交通流モデルを適用した動的ネットワーク交通流シミュレーションモデルを用いることが有効である。

2.2 広域道路網交通流シミュレーションモデル SOUND

本研究では、東京大学生産技術研究所で開発¹⁾され、(株)アイ・トランスポート・ラボで商用化²⁾されている「広域道路網交通流シミュレーションモデル SOUND」(以下、SOUND)を利用して、首都圏3環状道路ネットワークシミュレータを構築する。以下に、SOUNDの動作ロジック概要を示す。

(1) モデルの基本構造

SOUNDは車両移動モデルと経路選択モデルが、図-3のように、交互に逐次動作する時間スキャン型のシミュレーションモデルである。これにより、車両移動モデルで再現された交通状況を基に、各リンクの渋滞状況を考慮した経路選択を実現している。

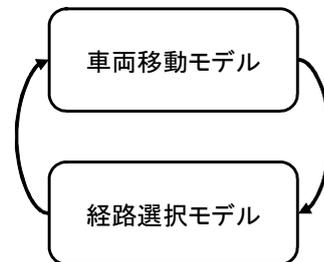


図-3 車両移動モデルと経路選択モデルの相互作用

(2) 車両の発生とネットワークへの流入

SOUNDでは、指定された車両発生時間帯において、一様到着またはランダム到着のいずれかを仮定して、各スキャンで車両パッケージを起点セントロイドから流入させる。セントロイドで発生した車両パッケージは一旦バッファ領域に入れられた後、下流の接続リ

リンクが車両を受け入れ可能な状態であれば、その上流端から流入する。リンクが渋滞しているなどの理由で、車両パッケージを受け入れ可能でない場合は、バッファ領域で待機する。したがって、ネットワークの外に渋滞が延伸する場合は、起点セントロイドに待ち行列が形成されるので、遅れ時間を厳密に評価することができる。

(3) リンク上の車両移動

SOUNDでは、道路上の車両は、図-4に示すような「先入れ先出し方式」の待ち行列で管理される。リンク上を走行する車両パッケージは、①自由走行車両パッケージと、②流出可能車両パッケージに区別され、それぞれ別の待ち行列で管理される。すなわち、リンクに流入した車両パッケージは、まず①のリストに入れられ、リンクに流入してから経過時間が当該リンクの自由走行時間を超えたものについては、②のリストに移動させられる。

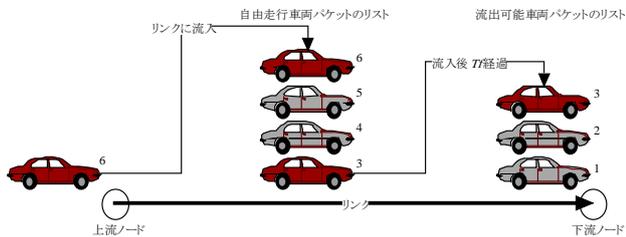


図-4 FIFO リストでのリンク上走行車両の管理

ただし、ジャム密度での滞留台数を上限値とした、単純な滞留台数の制約付き待ち行列を使った方式では、交通流特性式を厳密に扱っていないことにならない。SOUNDでは、高速道路での渋滞や、信号交差点での滞留車列が時間とともに延伸・解消していく様子を再現するために、図-5のような交通流特性式で交通状態を厳密に管理できるようなロジックを通常の待ち行列シミュレーションに追加している。

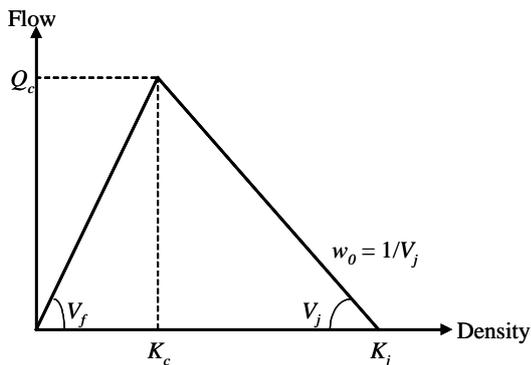


図-5 直線近似された交通流特性式 (Q-K 式)

すなわち、三角形で近似されたQ-K式に従って、厳密な密度管理を行えるよう、Newellによって考案されたSimplified Kinematic Waveアルゴリズム³⁾を実装しているものである。これは図-6上のように、累積交通量図上で、リンク下流端の流出交通量累積曲線 (赤実線) を一定量だけ右上にシフトした線 (赤

点線)と、上流端での到着交通量累積曲線 (紫実線) との図式的な関係から判断する、非常に簡素なアルゴリズムとなっている。図の例では、流出交通量をシフトした赤い点線よりも、到着交通量累積曲線が上回る青い点線分は、当該リンクに流入できず、上流側に滞留する。

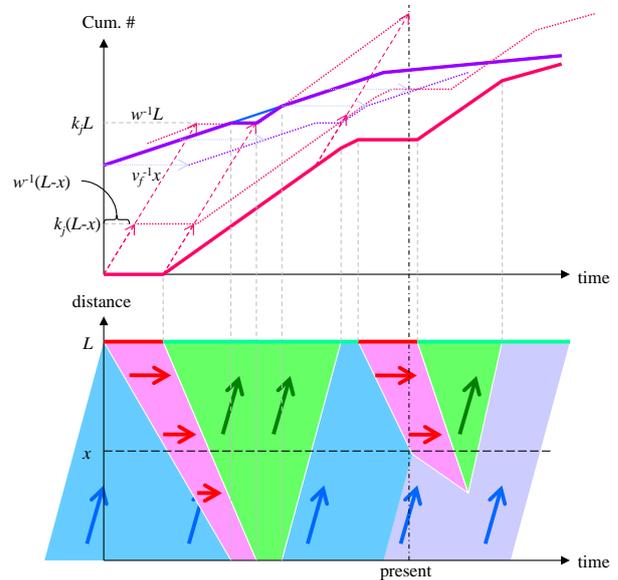


図-6 Simplified Kinematic Wave Theory の概念

(4) リンク間での車両移動

リンク間の車両移動量は、スキャン時間毎に

$$\text{リンク間の車両移動量} = \text{Min}(\text{下流リンクの受け入れ可能量, 上流リンクの流出可能量, 当該リンクペアの飽和交通流率}) \times \delta$$

の制約を満たすように計算される。δは信号制御や、右折車の対向直進交通へのギャップアクセプタンスにより、リンクペアが通行可能な場合は1、不能であれば0となる変数である。この制約により右折も含めた信号交差点での方向別容量が正しく再現される。

ただし、実際に車両を移動させるかどうかは、実現象における車両ブロッキングの状態を考慮する必要がある。これは、右折専用付加車線における滞留の長短により、後続車両の走行が阻害されるかが変わるもので、シミュレーションでは次のようなロジックで対処する。すなわち、図-7左のように右折の付加車線に滞留している車両(番号は右図のリスト内での順番)が、対抗直進交通などの影響で下流リンクに進行できない場合、流出可能車両パッケージのリストを厳密にFIFO原則に従って管理していると、4番目以降の車両は次のリンクに進行できなくなるため、一時的にFIFO原則を崩して、それ以降の車両が流出できるようにするものである。この図の場合は、右折付加車線に2台までしか滞留できないので、5台目までの直進車両は流出できるが、6台目の

右折車両は本線をブロックしていると考えられ、それ以降の車両は流出できなくなる。

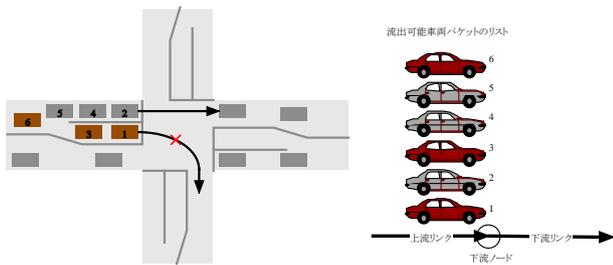


図-7 実際の交通状況と流出可能車両パケットリストの対応

(5) 経路選択モデル

SOUNDの経路選択モデルの概要は、表-1の通りである。ここで、ロジット型確率経路選択とは、次式で求められる確率に従うものである。

$$p_k = \frac{\exp(-\theta \cdot C_k)}{\sum_{i=1}^n \exp(-\theta \cdot C_i)}$$

ここで、 p_k : 経路 k の選択確率。
 C_i : 目的地までの経路 i のコスト。
 θ : 感度パラメータ。

である。

表-1 SOUNDの経路選択モデル諸元

項目	内容
リンクコスト	以下の項目に係数をかけて和した一般化コスト。 <ul style="list-style-type: none"> ・リンク長 (m) ・現在の旅行時間 (秒) ・右左折回数 ・固定料金 (円; 時間価値で換算される) ・従量制料金 (円/km; 時間価値で換算される)
リンクコストの更新間隔	任意の時間ごと。(指定パラメータ) 通常は、5~15分程度とすることが多い。
経路選択のタイミング	以下の3つのタイミングで経路選択する。 <ul style="list-style-type: none"> ・出発時 ・リンク上流端流入時 ・リンクコストが更新されるタイミング。 すなわち、ネットワーク流入後も、その時点での状況に応じて、各車両は走行する経路を更新する仕組みとなっている。
経路選択原理	以下の2種類が用意されている。 <ul style="list-style-type: none"> ・最小コスト経路選択 ・ロジット型確率経路選択
利用者層の属性	車両グループ(利用者層)ごとに、以下の属性を変えることができる。 <ul style="list-style-type: none"> ・一般化コストの距離項と時間項の係数 ・右左折ペナルティ (秒/回) ・時間価値 (円/分) ・ロジット型選択の感度パラメータ

2.3 入力項目

(1) シミュレーション設定

シミュレーションの実行に必要な情報を入力する。

- ・ 計算対象時間帯, 単位スキャン時間
- ・ 車両発生間隔, 結果集計間隔

(2) ネットワークデータ

SOUNDではデジタル道路地図(DRM)をもとにネットワークデータを作成する。DRMの持つ情報に加えて、シミュレーションで必要となる情報は次の通りである。

- ・ 車線構成(本線車線/右左折付加車線)
- ・ 通行禁止リンクペア
- ・ 通行料金

(3) リンク交通特性パラメータ

SOUNDではリンクに交通特性を与えて、車両密度の管理を逐次的に行う。交通特性を決定するパラメータは次の通りである。

- ・ 本線容量 [pcu/時/車線]
- ・ 自由流走行速度 [km/時]
- ・ ジャム密度 [pcu/km]
- ・ 右左折直進別流出流率 [pcu/時/車線]

(4) 交通発生集中ゾーン情報

シミュレーションでは、ネットワーク端点および街区レベルのゾーン毎に交通発生集中ゾーンを設定する。このため、次のような道路ネットワークとゾーンの接続情報を入力する。

- ・ 端点ノードとゾーンの対応
- ・ ゾーン内のリンクとの対応

(5) OD交通量

SOUNDでは任意の間隔で発生させるOD交通量をペア毎に指定する。

- ・ 一定時間毎の、車種別、経路選択行動別、その他の属性別OD交通量

(6) 経路選択層

SOUNDでは複数の経路選択行動を指定できる。経路選択行動のパラメータとして、以下の項目を入力する。

- ・ 確率的経路選択/最小コスト経路選択
- ・ 一般化コスト式(経路距離, 経路旅行時間, 右左折ペナルティの線形和)
- ・ ロジットの感度パラメータ(確率的経路選択の場合)

(7) 信号制御パラメータ

交差点には信号を設置することができる。入力情報は次の通り。

- ・ 信号制御機番号と設置交差点番号の対応
- ・ 一連の現示ステップ
- ・ 各ステップのスプリット時間

(8) 交通規制データ

シミュレーションで評価する対象となる施策のうち、一時的な通行止め規制および車線規制による流入制御を、シミュレーションへのイベントとして入力する。

- ・ 通行止め規制…対象リンク，対象車種，および時間帯
- ・ 車線規制…対象リンク，閉鎖車線数，および時間帯

2.4 出力項目

(1) 集計指標

シミュレーション計算終了後に、集計時間毎に次の基本的な指標を出力する。

- ・ 車種別・進行方向別リンク通過交通量
- ・ 進行方向別リンク平均旅行時間
- ・ リンク上の滞留台数
- ・ セントロイド上の滞留台数

(2) 個別車両の指標

走行車両の全部または一部をプローブとして指定することで、車両走行軌跡を出力することができる。

- ・ プローブ車両が走行したリンクおよびリンク流入時刻の履歴

第3章 首都圏3環状道路ネットワークシミュレータ

3.1 モデル構築に用いるデータ

(1) 道路ネットワークデータ

道路ネットワークデータは、デジタル道路地図データベース (Ver2503) をシミュレーション用ネットワークデータに変換し、平成22年10月時点で共用されているネットワークを抽出して作成した。対象道路は、東京都・神奈川県・千葉県・埼玉県は幅員5.5m以上の全ての道路、茨城県・栃木県・群馬県は幅員5.5m以上の一般都道府県道以上の道路、その他のエリアは主要地方道以上の道路とした。その結果、約18.6万ノード、約41万リンクとなった。図-8に抽出したネットワークデータのうち、幹線道路を道路種別毎に色分けして示した。

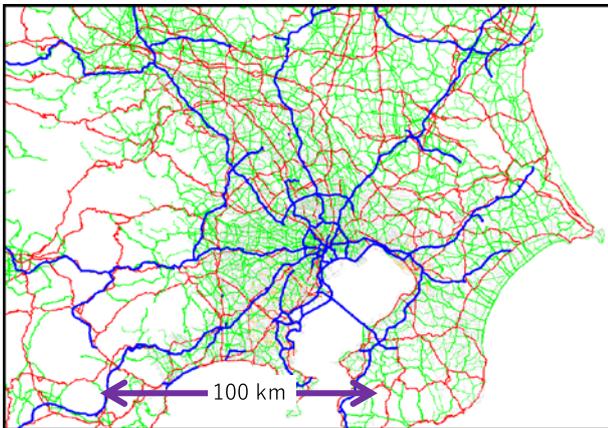


図-8 現況道路ネットワーク (平成22年10月時点)
(青：高速道路、赤：国道、緑：主要地方道)

(2) リンクの交通流特性・料金パラメータ

交通容量・自由流速度パラメータは、道路種別および車線数に応じてデフォルト値を表-2のとおり設定した。

料金パラメータは、対距離料金区間では高速道路オンランプのリンクに固定料金を、高速道路本線のリンクに対距離料金を、それぞれ設定した。また、均一料金区間では、オンランプのリンクに固定料金を設定した。なお、首都高については、対距離制の料金となっているが、シミュレータではリンク単位に料金を設ける方式で、ランプ間での料金設定がで

きないため、オンランプに600円、首都高と都市間高速道路の接続部のリンクに300円の固定料金をそれぞれ課金し、全線を走行した場合の料金(900円)を擬似的に表現した。

表-2 交通容量・自由流速度パラメータ設定値

道路種別	リンク容量 (pcu/h/lane)	自由流速度 (km/h)
高速道路 (本線)	2000	100
高速道路 (ランプ・JCT)	2000	60
首都高 (本線)	2200	80
首都高 (ランプ・JCT)	2000	40
国道 (自専道)	2000	80
主要地方道 (自専道)	2000	60
国道・主要地方道 (一般道・多車線・上下分離)	1800	40
国道・主要地方道 (一般道・片側1車線)	1600	40
一般地方道・その他道路 (多車線・上下分離)	1800	40
一般地方道 (片側1車線)	1600	30
その他道路 (片側1車線)	1200	20

表-3 高速道路料金設定

高速道路料金設定	従量料金(円/km)	固定料金 (円)
首都高オンランプ	-	300~600
首都高オフランプ	-	-
高速入口	-	150
高速出口	-	0
高速本線(大都市近郊区間)	30	-
高速本線(郊外部)	25	-
中央道均一区間	-	600
外環均一区間	-	500
アクアライン(ETC割)	-	800

(3) 信号制御パラメータ

信号制御パラメータに関しては、現状では入手が困難なため、信号交差点位置がデータ化されている東京都区部を中心に、図-9に示す箇所に表-4の信号制御パラメータを設定した。

表-4 設定する信号制御パラメータ

交差点形状	サイクル長	スプリット
交差道路無し	130秒	青 80秒, 赤 50秒
交差道路あり	130秒	青 60秒, 赤 5秒×2 現示

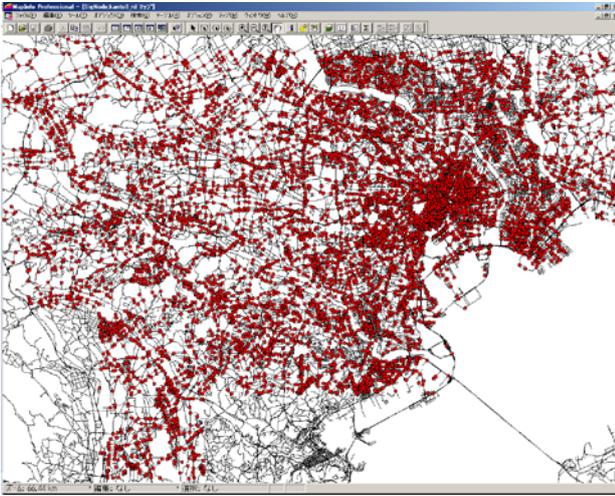


図-9 信号制御パラメータの設定箇所（赤い点）

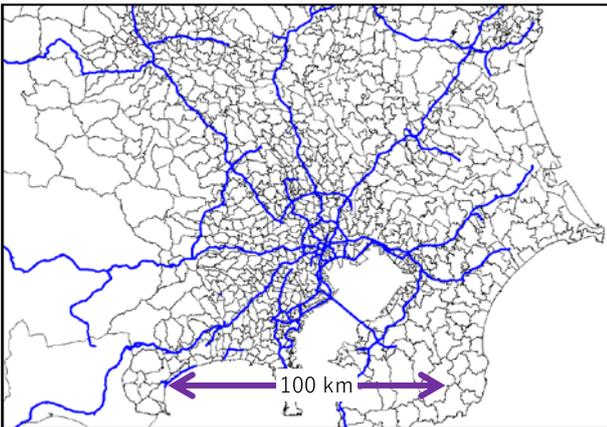


図-10 道路交通センサス B ゾーン
(黒：ゾーン境界, 青：高速道路)

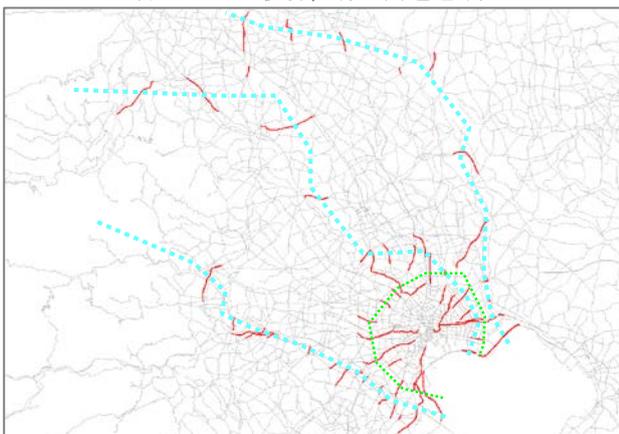


図-11 多摩川・荒川・江戸川(水色)と環七(緑色)を跨ぐセンサス区間(赤線)

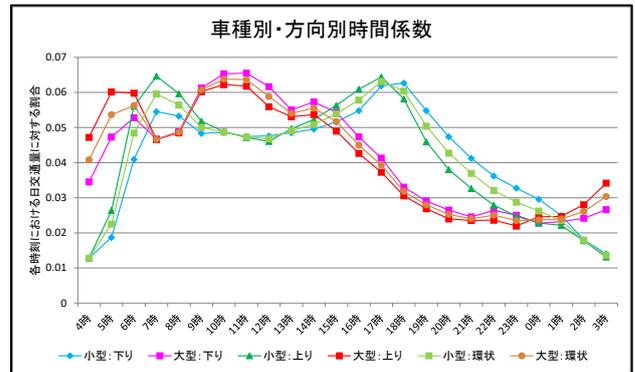


図-12 H22 道路交通センサス時間帯別交通量より求めた車種別方向別時間係数

(4) OD 交通量データ

シミュレーションでは、交通需要を車種別・時間帯別OD表の形式で入力する。ここでは、平成22年道路交通センサス（以下、H22センサス）での自動車起終点調査に基づく、関東圏交通量配分業務用Bゾーン間H22現況OD表（以下、H22センサスOD表）から、シミュレーション用のOD表を作成する。このため、図-10に示すように、H22センサスBゾーンの形状をデータ化したところ、首都圏全体で1112ゾーンとなった。また、首都圏周辺で接続する福島・新潟・長野・山梨・静岡県は県単位のゾーンとした。

なお、H22センサスOD表は3車種区分（乗用車・小型貨物車・普通貨物車）で日交通量単位に集計されており、シミュレーションではこれを時間帯別のOD表に変換するため、H22センサス交通量調査箇所での時間帯別交通量を実測値として、後述する手法でシミュレーションでの計算値が実測値と整合するようOD表を推定する。ここでは、この推定に必要な時間帯別OD表の初期データを作成した。すなわち、図-11に示す都県境の河川と環七を跨ぐセンサス区間の時間帯別交通量実測値より、日交通量に対する時間係数を図-12のように求め、ODペア動線の方角別に時間係数を適用して、時間帯別交通量初期データを作成した。

3.2 プローブデータを用いた経路選択モデルの構築とシミュレータへの実装

(1) 経路選択モデル分析に関する近年の動向

首都圏の道路ネットワークでは、環状方向の高速道路の整備により、一つのODに対して多様な経路選択肢が利用者に提供されつつある。このような密な道路ネットワークにおいては、道路整備に伴う交通流動の変化を予測することは一般に難しい。その原因の一端として、とりわけ密な道路ネットワークの場合、主要な経路選択肢に限定してもその列挙が困難である場合が多く、ドライバーの経路選択特性の把握が難しい点が指摘できる。例えば、アンケート調査に基づく経路選択行動特性の分析は、道路交通情報が経路選択に与える影響を把握するといった目的に対して有効ではあるものの⁴⁾⁵⁾、一般に、対象経

路を限定せざるを得ず、道路の新設がネットワーク全体に及ぼす影響を把握することは簡単ではない。

この問題に対して、近年、少なくとも以下にみるような観測上及び理論上の進展がみられる。第一に、プローブデータの普及に伴い、道路整備前後のドライバーの経路選択行動の変化を直接観測することが可能になってきている。とりわけ大型貨物車の交通量は当該道路の維持修繕費に大きく影響するため、道路整備後の交通流動をモニタリングできるデータが取得できるようになった意義は大きい。一方、このような整備前後の比較は事後評価やモニタリング手段として有用であるものの、将来予測への示唆は限定的であり、予測のためにはドライバーの経路選択行動をモデル化することが求められる。

この点に関して、近年、Fosgerau et al.⁶⁾により選択肢を列挙する必要のない経路選択モデル (Recursive logitモデル) が提案されている。彼らが提案したモデルは、Akamatsu⁷⁾のMarkov連鎖による配分モデルと構造的には等価であり、新しい理論モデルとは言えないものの、プローブデータ等の経路選択結果の情報を入手できれば、実データから道路ネットワーク上の経路選択特性を把握することができることを示した点において実用性の高いモデルといえる。

(2) Recursive logit モデルの概要

以上を踏まえて、本研究ではネットワーク交通流シミュレーションへの組み込みを念頭に、商用車プローブデータを用いてRecursive logitモデルをベースとする貨物車経路選択モデルを構築する。

まず、Recursive logitモデルについて概説する。本研究では、Fosgerau et al.⁶⁾により提案された連続した一連のリンク選択により経路選択を記述するRecursive logitモデルを用いて貨物車ドライバーの行動をモデル化する。以下のモデルの説明は、Fosgerau et al.⁶⁾に従う。

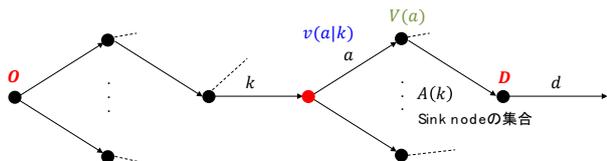


図-13 Recursive logit モデルの概念図

Recursive logitモデルの概念図を図-13に示す。本モデルでは、リンク k に隣接するリンク a に移動する際に得るリンク効用 $u(a|k)$ を以下のように定義する。

$$u(a|k) = v(a|k) + V(a) + \mu \varepsilon(a) \quad (1)$$

ここで、

$$V(k) = E \left[\max_{a \in A(k)} (v(a|k) + V(a) + \mu \varepsilon(a)) \right] \quad (2)$$

であり、 $v(a|k)$:リンク k からリンク a に移動する際に得る効用の観測可能な部分 (リンクペア ka の移動にかかる一般化移動費用)、 $V(a)$:リンク a の後に続く

選択肢(リンク)の期待最大効用、 $\varepsilon(a)$:標準ガンベル分布に従う誤差項、 μ :スケールパラメータ、 $A(k)$:リンク k から流出する下流側リンクの集合である。なお、誤差項にガンベル分布を仮定しているため、式(2)で定義される期待最大効用は以下のログサム of the form をとる。

$$V(k) = \begin{cases} \mu \ln \sum_{a \in A(k)} \delta(a|k) e^{\frac{1}{\mu}(v(a|k) + V(a))} & \forall k \in A \\ 0 & k = d \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 $\delta(a|k)$ は a が k から流出する下流側のリンクである場合1、そうでない場合0をとるダミー変数、 A は対象道路ネットワーク内全ての実リンク、 d は最終目的地を表現するダミーリンクである。

式(1)の効用関数のもとでランダム効用最大化に基づく行動原理を仮定すると、リンク k からリンク a に移動する条件付き確率は以下のロジットモデルにより定義される。

$$P(a|k) = \frac{e^{\frac{1}{\mu}(v(a|k) + V(a))}}{\sum_{a' \in A(k)} e^{\frac{1}{\mu}(v(a'|k) + V(a'))}} \quad (4)$$

また、通過した経路を $\sigma = \{k_0, k_1, \dots, k_i, \dots, k_l\}$ とすると、経路選択確率は以下のように定義される。

$$\begin{aligned} P(\sigma) &= \prod_{i=0}^{l-1} P(k_{i+1}|k_i) \\ &= \prod_{i=0}^{l-1} e^{v(k_{i+1}|k_i) + V(k_{i+1}) - V(k_i)} \\ &= e^{-V(k_0)} \prod_{i=0}^{l-1} e^{v(k_{i+1}|k_i)} \end{aligned} \quad (5)$$

ここで $V(k_0)$ は、出発リンクから到着リンクまでの (Cyclicな経路を含む) 全て利用可能な経路のリンク効用の総和であり、連立一次方程式の解として解析的に求めることができる。

ここで、ある出発リンクから到着リンクで定義されるトリップを $n = 1, 2, \dots, N$ とすると、対応する尤度関数は以下のように定義される。

$$\begin{aligned} LL(\beta) &= \ln \prod_{n=1}^N P(\sigma_n) \\ &= \frac{1}{\mu} \sum_{n=1}^N (\sum_{i=0}^{l_n-1} v(k_{i+1}|k_i) - V(k_0)) \end{aligned} \quad (6)$$

パラメータ推定は、Fosgerau et al.³⁾に倣い、Rust⁵⁾が提案しているNested-fixed point algorithmを用いる。Nested-fixed point algorithmは、Inner algorithmとOuter algorithmにより構成されており、前者で $V(k_0)$ の計算を行い、後者にて式(6)の対数尤度を最大化する最適化計算を行う。

(3) 簡便なネットワークでの計算例

ここでは、図-14に示す簡便なネットワークを例に、 $V(k_0)$ の計算の手順を示す。

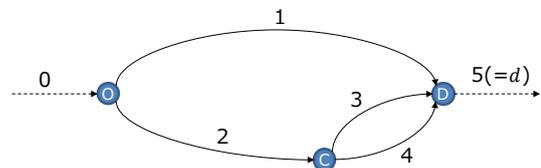


図-14 サンプルネットワーク

図-14に示すネットワークに対応する $k \times a$ (6×6) のインシデンス行列 \mathbf{L} を以下のように定義する。

$$\mathbf{L} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (7)$$

また、リンク k からリンク a に移動する際にかかる一般化移動費用 $v(a|k)$ の指数をとった $\exp(v(a|k))$ を要素に持つ行列を以下のように定義する。ただし、最終目的地を表現するダミーリンク d への一般化移動費用 $v(d-1|d)$ は0とする。

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} 0 & e^{v(1|0)} & e^{v(2|0)} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & e^0 \\ 0 & 0 & 0 & e^{v(3|2)} & e^{v(4|2)} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & e^0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & e^0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

また、各リンク上からみて下流側に該当するリンクの期待最大効用 $V(k)$ の指数を取ったベクトルは、下記のように表現できる。

$$\mathbf{z} = \begin{pmatrix} e^{V(0)} = \sum_{a \in A} L_{0a} \cdot e^{v(a|0)+V(a)} \\ e^{V(1)} = \sum_{a \in A} L_{1a} \cdot e^{v(a|1)+V(a)} \\ e^{V(2)} = \sum_{a \in A} L_{2a} \cdot e^{v(a|2)+V(a)} \\ e^{V(3)} = \sum_{a \in A} L_{3a} \cdot e^{v(a|3)+V(a)} \\ e^{V(4)} = \sum_{a \in A} L_{4a} \cdot e^{v(a|4)+V(a)} \\ e^{V(d)} = 1 \end{pmatrix} \quad (9)$$

なお、一般的には、 \mathbf{M} 及び \mathbf{z} の要素は以下のように定義できる。

$$z_k = \begin{cases} \sum_{a \in A} L_{ka} \cdot e^{v(a|k)+V(a)} & \forall k \in A \\ 1 & k = d \end{cases} \quad (10)$$

$$M_{ka} = \begin{cases} L_{ka} \cdot e^{v(a|k)} & a \in A(k) \\ 0 & k = d \end{cases} \quad (11)$$

なお、 L_{ka} はインシデンス行列 \mathbf{L} の要素を表す。ここで、 $\mathbf{b} = (0, 0, 0, 0, 0, 1)'$ とすると、リンク効用がその後続くリンク集合の期待最大効用を通じて再帰的に定義されることから、 $\mathbf{z} = \mathbf{Mz} + \mathbf{b}$ と定義でき、 \mathbf{z} は以下の逆行列を計算することにより求められる。

$$\mathbf{z} = (\mathbf{I} - \mathbf{M})^{-1} \mathbf{b} \quad (12)$$

なお、式(12)で定義される一度の逆行列の計算で複数の出発地の期待最大効用を計算できることから、複数の起点を同時に扱うことが出来る。複数の起点・終点に拡張する場合、式(12)で定義される逆行列の計算を終点の数だけ計算する必要がある。

(4) 貨物車プローブデータを用いた経路選択モデルパラメータ推定

Recursive logitモデルの基本的な枠組みは上述のとおりであるが、本研究では商用車プローブデータから得られる経路選択結果からパラメータ推定を行う。このような大規模プローブデータ／大規模ネットワークを対象とした分析を行う際に直面する主要な課題として、①Cyclicな経路が多数発生し計算が不安定になること、②計算負荷が増大し現実的な計算速度で解を求めることが難しくなること、が挙げられる。課題①に関して、今回対象とする細街路を含むネットワークに対してRecursive logitモデルを直接適用した場合、膨大なCyclic経路が発生し計算エラーが発生することが想定される。そこで本研究では、アドホックな選択枝集合の限定方法を採用することにより、課題①の解決を図る。課題②は、主に式(6)で定義される尤度関数内の期待最大効用 $V(k_0)$ を求めるための逆行列演算をトリップ数分行う必要があることに由来している。本研究では、一定の仮定のもと尤度関数を集計化して定義することで、計算負荷を抑える。以下、上述した①アドホックな選択枝集合の限定方法の導入、②計算の高速化のための集計尤度関数の導入について、それぞれ詳述する。

まず、①アドホックな選択枝集合の限定方法の導入について述べる。膨大なCyclic経路の発生に伴い生じる計算エラーの多くは、目的地から遠く離れた地域の細街路等の実際にはほとんど選択枝として認識されないであろう経路（リンク）についても、モデルの構造上、旅行者は選択枝の一つとして考慮している、と仮定することに由来している。

そこで本研究では、旅行者が考慮する選択枝集合を（観測期間中に）利用されたリンクのみに限定することによって、選択枝集合として認識されている可能性の低いリンクを除外したネットワーク上の経路選択行動をモデル化することにする。この方法は、Manski⁶⁾が提案している選択枝集合の考慮過程を、選択枝（経路）レベルではなくリンクレベルで行い、かつ、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であれば確率1、そうでないリンクであれば確率0で旅行者は選択枝の一つとして（確定的に）認知する、というアドホックな仮定を置いた方法といえる。

本仮定の理論的な性質については更なる検討が必要なもの、リンク効用の総和として経路効用を定義する必要がある、選択枝集合を厳密に定義するためには認知過程に踏み込んだ議論をする必要があるものの、プローブデータはそのような情報を有さない場合が多いという2点を踏まえると、実際適用上は扱いやすい方法といえる。本仮定の理論的性質等の整理については今後の課題としたい。

次に、②計算の高速化のための集計尤度関数の導入として、式(6)でスケールパラメータ μ を1に固定し、リンク効用の個人間異質性を明示的に記述すると、尤度関数は以下のように記述できる。

$$LL = \sum_{n=1}^N (\sum_{i=0}^{n-1} v_n(k_{i+1}|k_i) - V_n(k_0)) \quad (13)$$

式(13)から分かるように、本尤度関数はサンプル数の増加に伴い計算負荷が増大する。特にRecursive logitモデルでは、扱うネットワークの規模が大きければ大きいほど $V_n(k_0)$ を得るための計算負荷が高いため（リンク数×リンク数からなるリンクインシデンス行列の逆行列を計算する必要あり）、サンプル数の増加に伴う計算負荷の増加は他のモデルと比較して大きい。そこで本研究では、リンク効用の個人間異質性を考慮しない（すなわち同質性を仮定）場合、尤度関数が以下のように集計的に記述できる特徴を活かして計算負荷を抑える工夫を凝らす。

$$LL = \sum_a \sum_k Q_{ak} \cdot v(a|k) - \sum_o \sum_d Q_{od} \cdot V_d(k_o) \quad (14)$$

ここで、 Q_{ak} : 観測linkペア交通量、 Q_{od} : 観測OD交通量である。式(14)より、計算負荷はトリップ数ではなくネットワーク規模にのみ依存することが分かる。したがって、リンク効用が個人間で同質と仮定する限り、今後蓄積されるであろう何百万、何千万のプロブデータに対しても、計算負荷を増大させることなくRecursive logitの枠組みのもとで経路選択モデルを構築することが可能である。ただし、分散共分散推定量を得る際には、式(13)を直接利用する必要がある。また、トリップ長が異なること等によって発生する異分散性を考慮するために、分散共分散推定量としてサンドウィッチ推定量等を採用することが望ましいものと考えられる。

次に、上述のRecursive logitモデルのパラメータを推定するために用いる商用車プローブデータについて述べる。本研究では、富士通製のデジタコを搭載し、SaaS型運行管理システムを利用している車両から収集された商用車プローブデータを用いる。対象範囲は、概ね首都圏三環状を含む69の二次メッシュである。対象期間は、2015年7月25日(土)~7月31日(金)の1週間とした。商用車プローブデータには、起終点のBゾーンコード及び起終点間の利用経路がDRMリンクベースで格納されている。このデータから、平成22年道路交通センサスにおいて普通貨物車の発生集中量が多い15のゾーンを選んで分析対象とした（図-15参照）。

対象ゾーンに集中する貨物車トリップの交通特性を整理した結果を図-16に示す。各ゾーンの集中交通量をみると、最もトリップ数が多い船橋市4区では7,572トリップが、最も少ない三郷市1区についても1,113トリップのデータが得られており、Recursive logitモデルのパラメータ推定に耐えうるだけのサンプル数が確保できていると考えられる。さらに、起終点間で利用したリンクの道路種別を走行台キロベースで集計した結果を図-17に示す。いずれのゾーンについても高速自動車国道や都市高速道路を走行している割合が高い。特に、江東区5区に関しては高速自動車国道が占める割合が他のゾーンと比較しても突出して高いことから、高速道路を利用した長距離

トリップが多く含まれている。逆に、横浜市都筑区2区などは高速自動車国道および都市高速道路の分担率が40%を下回っており、一般道路を走行して当該ゾーンに至るトリップが多い。

ゾーンごとの交通特性をみるための指標として集中交通の平均トリップ長に着目し、ゾーン内々交通を除いた上で値を集計したのが図-18である。平均トリップ長が概ね20~30km程度のゾーンが多い。しかし、高速自動車国道を走行している割合が高かった江東区5区、あるいは三郷市1区に関しては平均トリップ長が50kmを超えており、長距離トリップが一定程度含まれたデータセットとなっている。

以上のように、本研究で対象とした15ゾーンに集中する交通は多様なバリエーションを有しており、極端に偏った属性となっていないことを確認した。

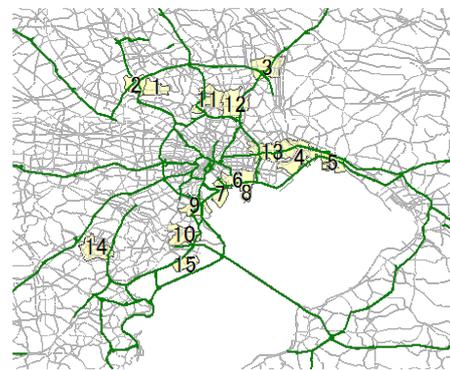


図-15 分析対象ゾーン

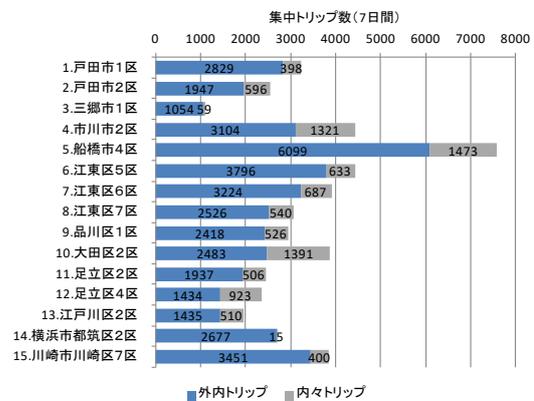


図-16 ゾーン別集中交通量

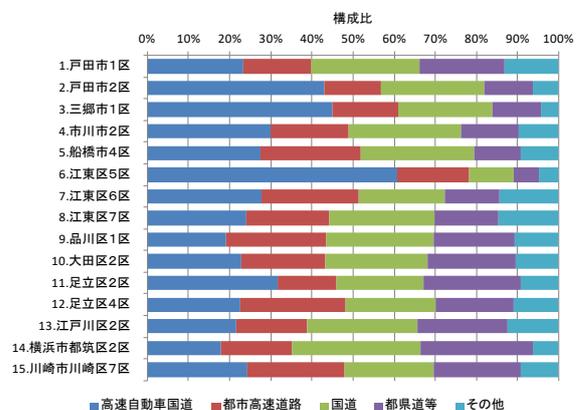


図-17 ゾーン別道路種別別走行台キロ構成比

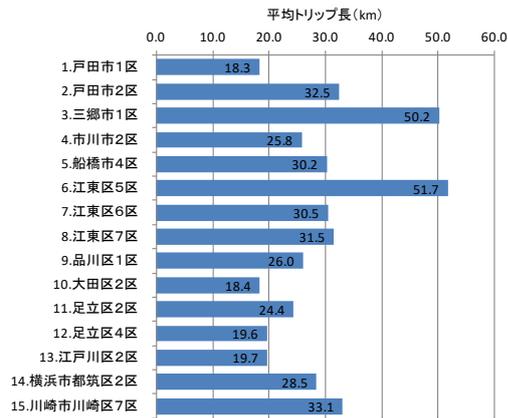


図-18 ゾーン別平均トリップ長（ゾーン内々除く）

次に、上記の商用車プローブデータを用いて Recursive logitモデルのパラメータ推定を行った。本研究では、リンクペア ka の移動にかかる一般化移動費用 $v(a|k)$ を以下のように定義した。

$$v(a|k) = \beta_{time}x_{time} + \beta_{cost}x_{cost} + \beta_{pena}x_{pena} + \beta_{RC}x_{RC} + \beta_{LC}x_{LC} + \beta_{UT}x_{UT} \quad (15)$$

ここで、 x_{time} : リンク a の移動時間(分)、 x_{cost} : リンク a の移動費用(100円)、 x_{pena} : 1(多くのリンクを通過することにより発生するコストを表現)、 x_{RC} : 右折ダミー、 x_{LC} : 左折ダミー、 x_{UT} : Uターンダミーであり、 β_* は未知パラメータである。

パラメータ推定の枠組みは表-5に示すとおりである。最終的にパラメータ推定に用いたトリップ数は31,421トリップ、リンク選択回数は2,509,957回である。移動時間については、ネットワーク旅行時間と実測旅行時間の2種類を用意した。ネットワーク旅行時間は、ESRIジャパン株式会社道路網データを参考に道路種別及び幅員に基づき設定した。一方、実測旅行時間については民間プローブデータを集計して得られた平均旅行速度から算定した値を用いている。また、移動費用は、ガソリン代20円/km、高速料金43.8円/km、ターミナルチャージ150円として計算した。

交差点における右左折の抵抗を表現する変数としては、リンク間角度と交差点折進角度の2種類のデータを用意した。リンク間角度については、70 - 170度の場合に右折、185-290度の場合に左折、175 - 185度の場合にUターンと判定した。交差点折進角度については、22.5 - 157.5度の場合に右折、185 - 337.5度の場合に左折、157.5 - 185度の場合にUターンと判定している(図-20参照)。選択肢集合は実際に移動が観測されたリンクのみで形成した。これは、上述したように細街路を含むネットワークに対して Recursive logitモデルを直接適用した場合、膨大な Cyclic経路が発生し計算エラーが発生することへの対応である。また、あわせて目的地付近における Cyclic経路の発生を避けるために、目的地ゾーン内に存在するリンクを図-21に示すように簡略化して扱うこととした。

表-5 パラメータ推定の枠組み

項目	内容
対象ゾーン	H22 道路交通センサス普通貨物OD発生集中量上位15ゾーン
対象トリップ	トリップ数: 23,249 リンク選択回数: 2,436,014
対象ネットワーク	図-15 参照 (計 256,623 リンク)
ネットワーク	道路種別及び幅員に基づき設定
旅行時間	
実測旅行時間	民間プローブデータで算定した平均旅行時間
移動コスト	ガソリン代 20 円/km, 高速料金 43.8 円/km, ターミナルチャージ 150 円
リンク間角度	図-19 の θ_3 で定義
交差点折進角度	図-19 の $\theta_2 - \theta_1$ で定義
選択肢集合	ある特定の目的地に対し、実際に移動が観測されたリンクのみで形成

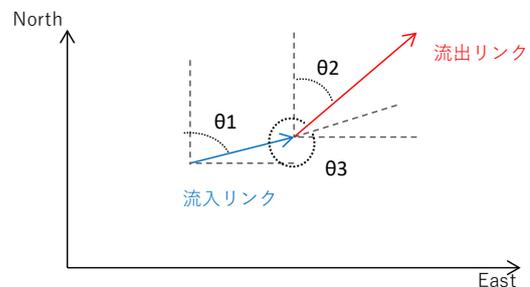


図-19 リンク間角度・交差点折進角度の定義

表-6 説明変数の組み合わせ

	旅行時間	角度
Model 1	ネットワーク旅行時間	リンク間角度
Model 2	実測旅行時間	リンク間角度
Model 3	ネットワーク旅行時間	交差点折進角度
Model 4	実測旅行時間	交差点折進角度

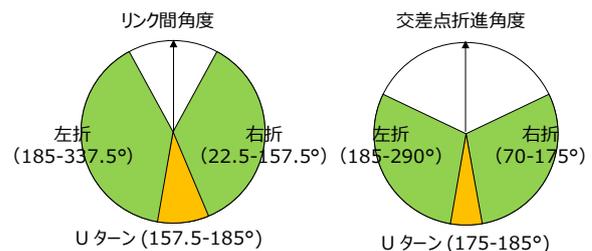


図-20 右折・左折・Uターンの定義

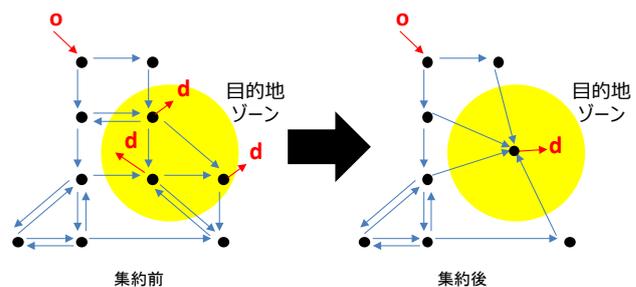


図-21 目的地ゾーンにおけるリンク集約イメージ

表-7 経路選択モデルパラメータ推定結果

	Model 1		Model 2		Model 3		Model 4	
	ネットワーク旅行時間 +リンク間角度		実測旅行時間 +リンク間角度		ネットワーク旅行時間 +交差点折進角度		実測旅行時間 +交差点折進角度	
	param	t-value	param	t-value	param	t-value	param	t-value
移動費用 (100 円)	-2.281	-1856.24	-2.973	-2367.87	-2.281	-1706.69	-3.083	-2447.41
移動時間 (分)	-0.686	-645.45	-0.892	-926.85	-0.843	-863.45	-0.906	-951.60
Uターндаミー	-1.562	-27.32	-0.767	-13.12	-0.549	-4.03	-1.861	-13.50
右折ダミー	-0.332	-79.30	-0.230	-71.84	-0.241	-80.11	-0.195	-72.52
左折ダミー	-0.115	-28.42	-1.043	-259.49	-0.048	-33.16	-0.449	-152.19
リンク数コスト項	-0.428	-1983.21	-0.346	-1018.71	-0.395	-1991.90	-0.352	-1013.40
サンプル数 (トリップ数)	31,421		31,421		31,421		31,421	
サンプル数 (link 選択数)	2,509,957		2,509,957		2,509,957		2,509,957	
最終対数尤度	-380070.6		-430367.7		-383645.0		-441151.6	
時間価値[円/分]	30.07		30.01		36.94		29.37	
右折費用[回/円]	14.57		7.75		10.56		6.33	
左折費用[回/円]	5.03		35.08		2.13		14.56	

パラメータ推定にあたっては、①旅行時間を表現する説明変数として、ネットワーク旅行時間と実測旅行時間（民間プローブデータを利用）を、②交差点における角度を表現する説明変数として、リンク間角度、交差点折進角度を用いている。貨物車経路選択モデルとして、いずれの変数を用いるのが妥当であるかを評価するため、表-6に示すようにそれぞれの説明変数下における経路選択モデルの精度比較を行った。推定結果を表-7に示す。

いずれの説明変数についてもパラメータの符号条件は論理的に整合していることが確認できる。パラメータから算定された時間価値は29.37~36.94円/分であり、概ね妥当な値を示している。また、右折費用は6.33~14.57円/回、左折費用については2.13~35.08円/回という値が得られた。さらに、最終対数尤度の比較より、実旅行時間よりもネットワーク旅行時間、交差点折進角度よりもリンク間角度の方が経路選択行動をより良く説明することが確認できる。この結果を踏まえて、旅行時間については実測旅行時間ではなく、ネットワーク旅行時間を採用する。ただし、角度については、推定した貨物車経路選択モデルを組み込むネットワーク交通流シミュレーションモデルとの整合性をもたせるため、リンク間角度ではなく交差点折進角度を説明変数としたModel3を採用する。

(5) 経路選択モデルのシミュレータへの実装

表-8に、上で推定したModel3のパラメータをSOUNDの経路選択モデルパラメータに換算した結果を示す。以下に考え方を整理した。

- ネットワークを原則Uターン禁止の設定にするので、Uターндаミーは適用しない。（*1）
- 非渋滞時旅行時間項は、表-9より、1リンクあたりの平均通過時間を約26.6秒と見積もって、リンク数コスト項から換算した。（*2）
- 時間項が1.0になるよう、ロジット感度パラメータを0.014とし、他のパラメータをスケーリ

ングした。（*3）

なお、SOUNDでは、慣習的に経路の効用ではなく費用で経路選択を考えるため、係数の符号がプラスになっている。

最終的にSOUNDに設定する車種別の経路選択モデルパラメータを表-10に示す。Model3のパラメータは貨物車プローブデータを用いて推定されたものであり、小型車についてはそのまま適用できるものではないが、ここでは料金感度だけを大型車の半分（時間価値が倍）と仮定して、その他は同じパラメータを適用する。また、ロジット感度については、表-8の値だと、5分程度の所要時間差で経路選択確率が0%→100%に変わり、感度が高すぎると思われるため、この1/3相当の0.005とする。

表-8 Model3のSOUND用パラメータへの換算

	Model3		SOUNDパラメータ	
	係数	単位	換算	単位
移動費用 (100 円)	-2.281	1/100 円	—	
時間価値			36.942	円/分
移動時間 (分)	-0.843	1/分	1.000	1/秒
Uターндаミー ^{*1}	-0.549	1/回	—	
右折ダミー	-0.241	1/回	17.148	1/回
左折ダミー	-0.048	1/回	3.452	1/回
リンク数コスト項	-0.395	1/本	—	
非渋滞時旅行時間 ^{*2}	—		1.057	1/秒
ロジット感度	—		0.014 ^{*3}	

表-9 道路種別毎の平均リンク長と通過時間

道路種別	リンク数	平均長(m)	標準速度(kph)	通過時間(s)
1	5746	668	108	22.3
2	1952	396	72	19.8
3	67919	303	54	20.2
4	75625	330	36	33.0
5	1203	158	36	15.8
計	152445			
平均通過時間(s) (リンク本数で重み付け)				26.588

表-10 設定する経路選択モデルパラメータ

項目	小型	大型	単位
非渋滞時旅行時間項の係数	1.057	1.057	1/秒
渋滞考慮旅行時間項の係数	1.000	1.000	1/秒
左折ペナルティ	3.452	3.452	1/回
右折ペナルティ	17.148	17.148	1/回
時間価値	73.883	36.942	円/分
ロジット感度パラメータ	0.005	0.005	

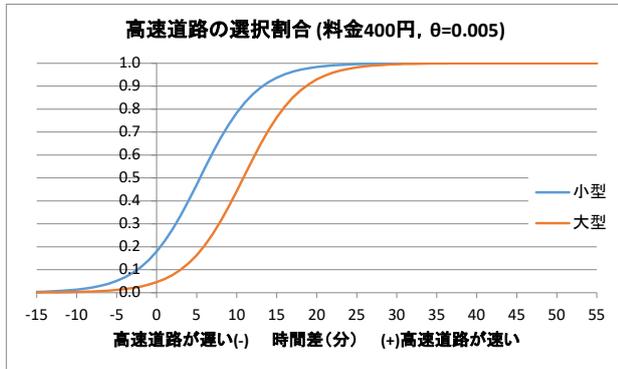


図-22 経路選択確率の計算例

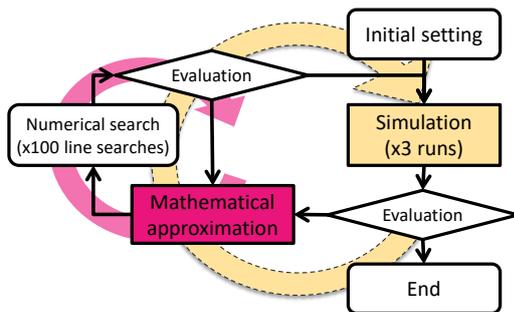


図-23 数学近似モデルを用いてシミュレーション計算の反復回数を減らした OD 推定のフロー

図-22は、一般道と高速道路の2経路について、仮に非渋滞時旅行時間や右左折回数が同じで、高速道路通行料金が400円の場合に、2経路の渋滞考慮の旅行時間差に対する高速道路の経路選択確率を車種別に計算した例である。小型車の場合、高速道路の旅行時間のほうが10分程度早ければ、約80%が選択するのに対して、料金感度の高い大型車では、約50%しか選択しない設定になっていることがわかる。

3.3 シミュレーション用時間帯別 OD 表の推定

3.1(4)では、日交通量単位で集計されているセンサスBゾーン間OD表を河川や環状道路などの主要なスクリーンラインを越える断面での交通量の時間帯比率で分割したOD表を作成した。しかしながら、このままでは道路ネットワーク上の主要な断面での時間交通量が実績値と合致する保証はない。このため、観測交通量データとシミュレーションでの交通量の残差平方和を最小化する最適化問題を解く時間帯別OD表の推計手法をもちいて、首都圏3環状道路ネットワークシミュレータへの入力用車種別・時間帯別

OD交通量を作成する。

一般に、交通シミュレーションの入力であるOD交通量と結果であるリンク交通量との関係を数式で表すことは難しいため、この種の最適化問題は、多くの反復計算を伴うが、シミュレーション計算には時間がかかるため、このような処理手順は実用性の観点からは望ましくない。このため、本研究では小林ら¹⁰⁾による、シミュレーション計算の繰り返し回数を大幅に減らした手法を利用した。

図-23に時間帯別OD交通量を推定する手法のフローを示した。まず、時間帯別OD交通量の初期値を用いて交通シミュレーションを実行し、その結果である時間帯別リンク交通量OD構成から、あるリンクをある時間帯に通過する交通量の車種別・出発時刻別OD交通量構成比を集計し、OD交通量とリンク交通量との関係を近似する微分可能な数学モデルを構築する。この関係式を用いて、観測交通量との誤差の二乗和の関数を最小化する車種別・時間帯別OD交通量の近似解を数値解法で求める。この近似解を用いてシミュレーションを行い、シミュレーション結果が終了条件を満たした段階でパラメータ調整を終了する。時間がかかるシミュレーション計算の繰り返し回数を減らし、代わりにより時間の短い数学モデルでの数値探索を多数繰り返すことで、効率的に近似解を求めることができる。本研究では、1回のシミュレーション計算に20時間程度を要していたため、この繰り返し回数を3回として、その代わりに数値探索を最大100回まで行うことで、70時間程度の計算時間で、図-24および図-25に示した車種別・時間帯別OD表を得ることができた。このOD表での総発生トリップ数は、1日あたり26,722,724台となった。

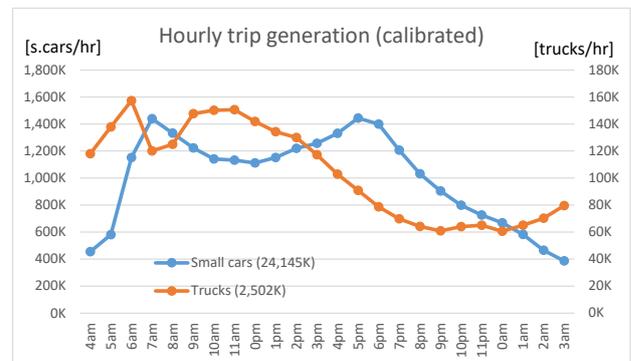


図-24 推定された OD 表での車種別・時間帯別の発生トリップ数

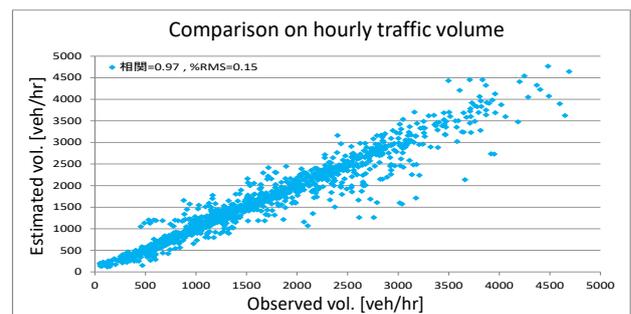


図-25 シミュレーション結果と観測値の時間交通量比較

3.4 モデルパラメータ調整と現況再現ケース

以上で構築したシミュレーション用入力データセットと用いて現況再現ケースを行い、高速道路上のトラカンデータで把握される渋滞状況が再現されるよう、図-26に例示した速度コンター図で比較しながら、ボトルネック箇所の容量パラメータを調整した。

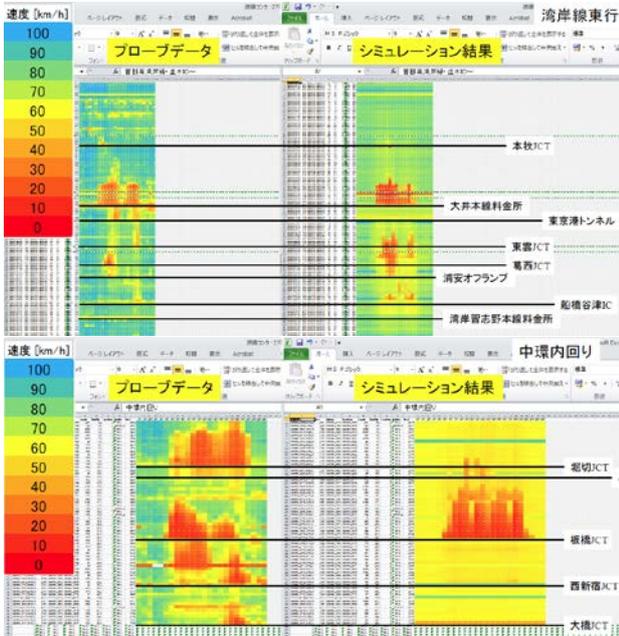


図-26 トラカンデータとシミュレーション結果の速度コンター図による比較

図-27にシミュレーション結果のリンク交通量をランク別の色分け図で示した。また、図-28に朝夕ピーク時のリンク速度を、図-29に非渋滞時の自由走行速度に対する朝夕ピーク時の速度低下率をそれぞれ示した。

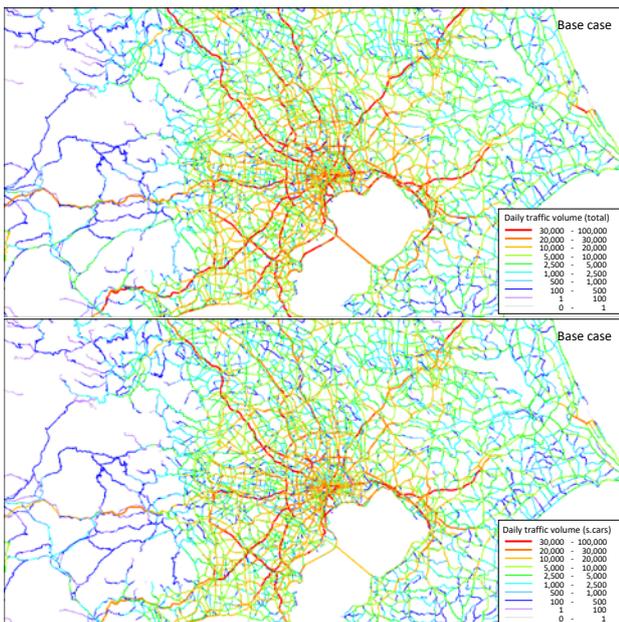


図-27 現況ケースのシミュレーション結果交通量 (上：全車種計・中：小型・下：大型)

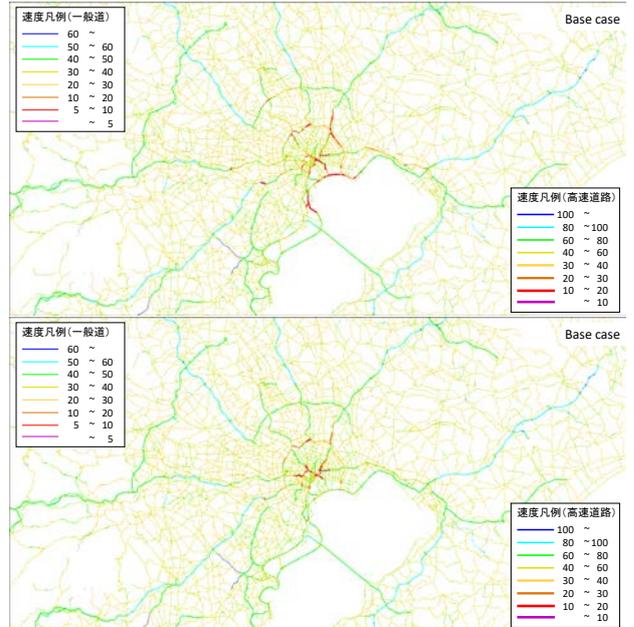


図-28 現況ケースのシミュレーション結果リンク速度 (上：朝ピーク8時台・下：夕ピーク17時台)

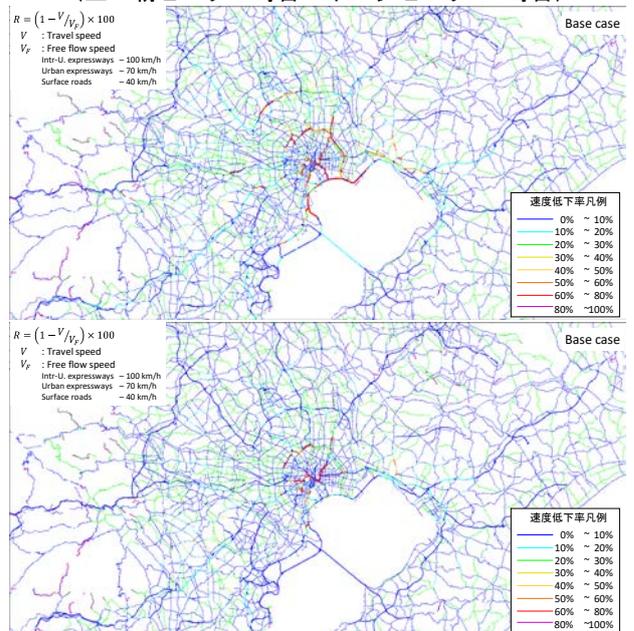


図-29 現況ケースでの自由走行速度に対する速度低下率 (上：朝ピーク8時台・下：夕ピーク17時台)

第4章 シミュレータによるケーススタディ

4.1 シナリオの設定

(1) 首都圏3環状道路概成後ネットワークの作成

現況ケースでは、OD交通量データを作成した平成22年（2010年）10月時点の道路ネットワークを用いていた。ケーススタディでは首都圏3環状道路の概成を想定し、図-30の紫実線で示した高速道路新規開通区間のリンクを追加したネットワークデータを作成した。このネットワークと現況ケースでのOD表を用いて、3環状道路の開通による時間短縮効果を図-31のODペアについて試算したところ、出発地から目的地までの平均所要時間が大幅に短縮されており、環状道路ネットワークが適切に機能していることが確認できた。

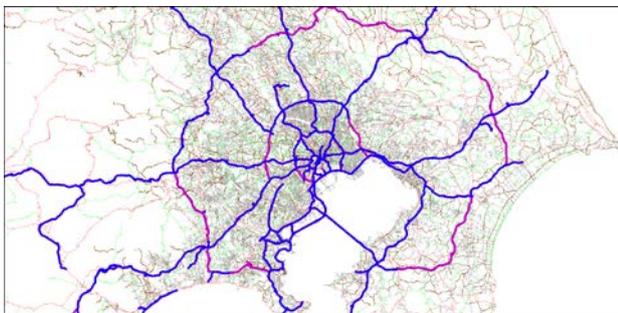


図-30 首都圏3環状道路概成後ネットワーク

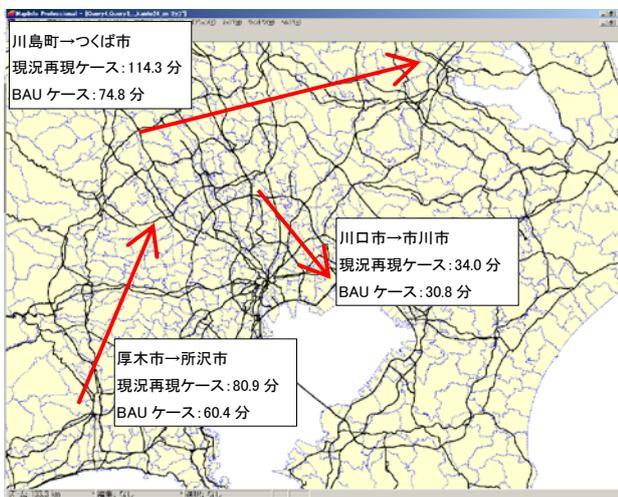


図-31 3環状概成後の時間短縮効果試算

なお、この段階で、図-32に例示したいくつかの高速道路ジャンクション部において、標準的な1車線の容量（1200台/時）を想定すると、交通集中による渋滞が見られたため、そのようなランプ部は2車線として十分な容量を確保している。



図-32 高速道路ジャンクション部のランプリンクにおけるピーク時交通量

(2) 評価シナリオ

この首都圏3環状道路概成後ネットワークを用いて、以下のシナリオでケーススタディを実施する。

- BAU (Business As Usual) ケース
- 環状道路利用促進インセンティブ付与
- 動的最適経路誘導
- 首都高都心環状線流入制御

BAUケースでは、次節で述べる3環状道路概成後の拠点間の移動サービス水準（所要時間）変化に伴う物流施設立地条件の変化を考慮して、大型車OD表を修正してケーススタディを実施する。また、環状道路利用促進インセンティブ付与では、BAUケースに対して、案内誘導や料金割引等の手段を通して、環状道路への積極誘導を行う。

加えて、動的最適経路誘導では、渋滞状況を踏まえて5分毎に更新される最短時間経路を選択する利用者層割合を10、20、30、50、70、100%と変えながら、また、首都高都心環状線流入制御では、都心環状線のオンランプからの流入交通量を最小6秒間隔（時間あたり最大600台）に制御して、シミュレーションを行う。

4.2 物流施設立地モデルの構築と貨物車 OD 表の修正

(1) 首都圏における物流施設の立地状況

首都圏では、3 環状道路等の整備進展に伴い、臨海部や 3 環状道路の沿線地域に物流施設の立地が進行している。第 5 回東京都市圏物資流動調査によると、東京都市圏における物流施設立地の動向としては、図-33 に示すように東京湾沿岸の臨海部、外環道沿線、圏央道沿線、北関東道沿線に集積している傾向にある。なかでも、2000 年以降に開設したような比較的新しい物流施設の立地が多いのが臨海部と圏央道沿線であり、東京都市圏では、こうした地域における立地ポテンシャルが高いことが伺える。

物流施設の開設年次と敷地面積に着目し、その空間的な分布を分析すると、物流施設の立地適地が広域化している傾向が伺える。特に、2000 年以降、物流施設数が増加している地域として、成田市周辺、久喜市周辺、市川市周辺、厚木市周辺などがあげられる(図-34)。また、敷地面積に着目し、物流施設の事業所数を市区町村単位で分析すると、比較的敷地面積の広い大規模物流施設が郊外に立地している傾向や、臨海部についても、大規模物流施設は都内ではなく市川市や川崎市などに立地する傾向にあることが確認できる(図-35、36)。

(2) 物流施設立地モデルの構築

本研究では、第 5 回東京都市圏物資流動調査に基づく物流施設の立地データを活用し、物流施設が立地しやすい場所(立地ポテンシャルが高い場所)を

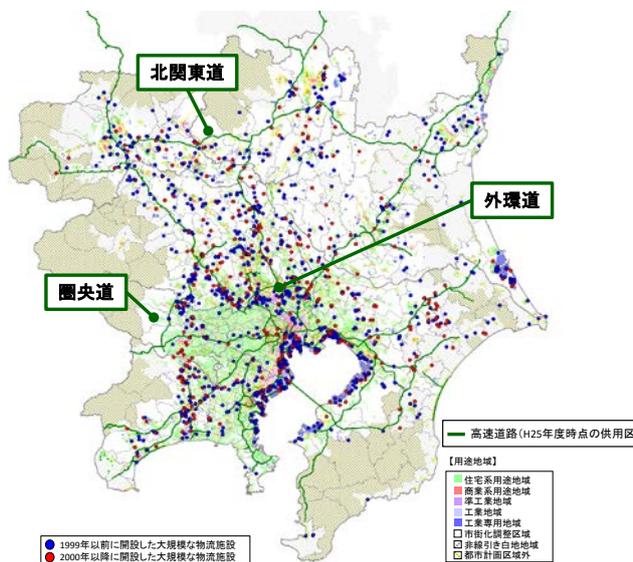
推計する物流施設立地場所選択モデルを構築する。

推計対象とした物流施設の定義は表-1 のとおりである。近年の首都圏における物流施設の立地状況を踏まえ、開設年次が比較的新しく、施設規模が大規模で、輸送圏域が広域である物流施設を推計対象とすることとした。このような大規模で広域的な物流施設は、大型貨物車の搬出入台数も多く、施設立地が沿線の交通に及ぼす影響を無視することができない。

なお、物流施設立地モデルの構築にあたっては、対象サンプルの抽出や変数の作成において、「東京都市圏の望ましい物流の実現に向けて(平成 27 年 12 月、東京都市圏交通計画協議会)」で構築されたモデルを参考にした。具体的には、表-2 に示すように、物流施設の立地データとして、第 5 回東京都市圏物資流動調査で調査されたデータから、次の基準により大規模で広域的な物流施設を選定し、物流施設立地場所選択モデルの推計に用いる。

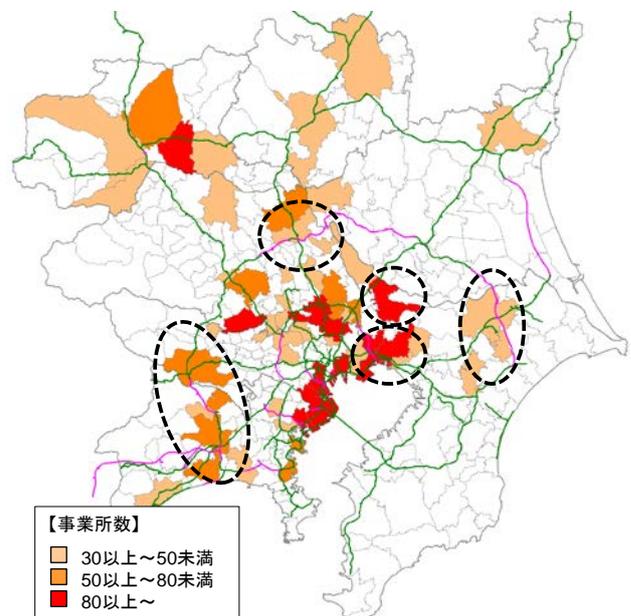
また、物流施設立地モデルの構築にあたっては、物流施設の立地動向をもとに、高速道路 IC までの所要時間などを含む交通サービス水準を加味したモデル構築を行うこととする。

物流施設立地モデルは、以下の式形からなる多項ロジットモデルを用いる。ここで、 P_i^t は地域 i 、サンプル r の選択確率、 V_i^t は地域 i 、サンプル r の立地効用、 x_k^t はサンプル t の立地効用を表す k 番目の説明変数、 β_k はパラメータ、 S_i は地域 i の規模変数(本研究では可住地面積とする)を表す。



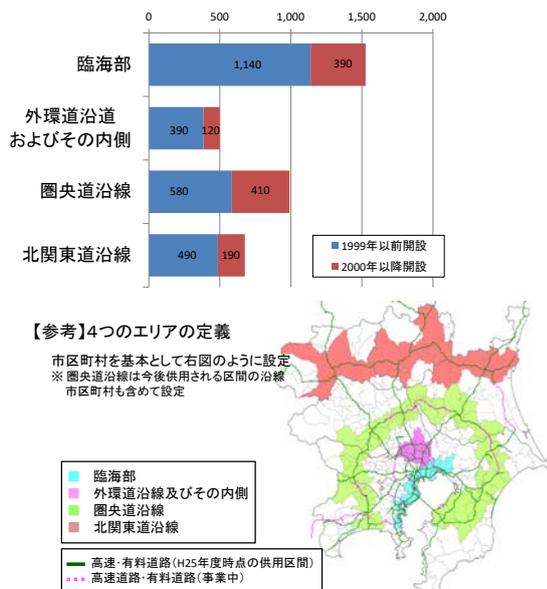
資料：東京都市圏の望ましい物流の実現に向けて
※データ：第 5 回東京都市圏物資流動調査

図-33 東京都市圏における大規模な物流施設の立地分布



※データ：第 5 回東京都市圏物資流動調査をもとに作成

図-34 2000 年以降に開設した物流施設の立地分布



資料：東京都市圏の望ましい物流の実現に向けて
 ※データ：第5回東京都市圏物資流動調査
 図-35 エリア別の大規模な物流施設の立地件数

本研究では、交通サービス水準に関するデータとして、本研究で実施した交通シミュレーション（詳細は第3章参照）から得られる旅行速度をもとに、高速道路 IC までの所要時間等を算定してモデル構築に活用する。その他の指標の算定方法には、「東京都市圏の望ましい物流の実現に向けて（平成27年12月、東京都市圏交通計画協議会）」を参考に設定する。立地場所選択モデルの構築に用いる説明変数の具体的な作成方法やデータの出典などは下表のとおりである。

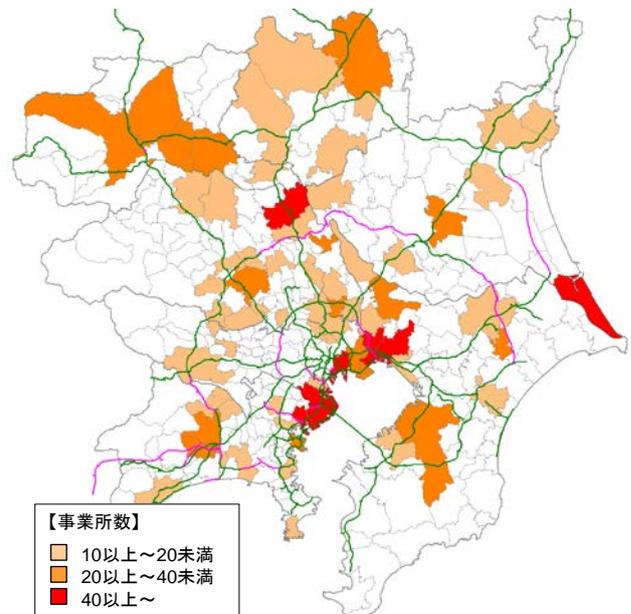
$$P_i^r = \frac{\exp(V_i^r)}{\sum_j \exp(V_j^r)} \quad (1)$$

$$V_i^r = \sum_k \beta_k^r x_{ki}^r + \ln S_i \quad (2)$$

c) 物流施設立地モデルの推定結果

物流施設立地モデルのパラメータ推定結果は表-3のとおりである。自由度調整済み尤度比は0.19であり、また、いずれの説明変数についてもパラメータの符号条件は論理的に整合している。

パラメータの推定結果をみると、物流施設は、人口密度の高い人口密集地には立地しない傾向にあるものの、労働力確保の観点から通勤圏内労働人口が多い地域に立地しやすい傾向がある。また、工業系用途地域と市街化調整地域の面積比率が正のパラメータで t 値も高いことから、周辺環境に問題が少なく、操業しやすい工業系用途地域や市街化調整地域に物流施設が立地しやすいことが示されている。さらに、アクセシビリティに関連する説明変数のパラメータ推定結果から、高速道路 IC に近接した地域に物流施設が立地しやすいこと、製造業集積地や業務・商業集積地など顧客や配送先へのアクセス性が良好な地域に物流施設が立地しやすい傾向にあることなどが示されている。



※データ：第5回東京都市圏物資流動調査をもとに作成
 図-36 敷地面積 10,000m2 以上の物流施設の立地分布

さらに本研究では、構築した物流施設立地モデルに基づき、東京都市圏における物流施設の立地ポテンシャル（物流施設の立地しやすさ）を推計する。ここで本研究では、下式のとおり、物流施設立地モデルの推計結果から得られる効用値 V_i^r に対して対数をとった値を立地ポテンシャル Ptr_i^r と定義する。

$$Ptr_i^r = \log V_i^r \quad (3)$$

物流施設立地モデルに基づく現況の立地ポテンシャルの推計結果は図-37のとおりである。立地ポテンシャルの推計結果をみると、千葉県、東京都、神奈川県などの東京湾沿岸の臨海部や、外環道沿線及びその内側、埼玉県や神奈川県の圏央道沿線地域、栃木県や群馬県の北関東道沿線地域において、立地ポテンシャルが高い傾向が表されている。特に、推計結果からは、環状道路も含めた高速道路の沿線地域において立地ポテンシャルが高い可能性が伺える。

表-1 推計対象とした物流施設の定義¹⁾

	定義の内容
施設種類	<ul style="list-style-type: none"> 施設の種別が以下のいずれかに該当する物流施設 施設の種別が「倉庫」「集配センター・荷捌き場」「トラックターミナル」「その他の輸送中継施設」のいずれかである施設
輸送圏域	<ul style="list-style-type: none"> 主な搬出圏域や搬出先市区町村が以下のいずれかに該当する施設 主な搬出圏域が「東北」「甲信越」「東海」「上記以外の日本国内」「海外」のいずれかに該当する施設 主な搬出圏域が「関東」であり、事業所所在地から「搬出先市区町村」までの道路距離が40km以上の輸送を行っている施設
施設規模	<ul style="list-style-type: none"> 敷地面積が「3,000 m²以上」に該当する施設
開設年次	<ul style="list-style-type: none"> 開設年次が「2000年以降」に該当する施設

表-2 説明変数の作成方法及びデータ出典¹¹⁾

指標	指標の算定方法	データ出典
メッシュ人口密度	$P_i = \ln(pop_i)$ P_i : メッシュ i の人口密度変数 pop_i : メッシュ i の人口密度 (千人/km ²)	国勢調査 (H22)
通勤圏内労働力人口	$RP_j = \ln \Sigma (Rpop_j)$ RP_j : メッシュ j の通勤圏内労働人口密度 $Rpop_j$: メッシュ j から 45 分圏内の労働人口 (千人)	国勢調査 (H22)
製造業へのアクセス性	$ACCi = \Sigma C_j \exp(-a \cdot \log(d_{ij}))$ $ACCi$: メッシュ i の製造業への近接性 C_j : メッシュ j の工業出荷額 (万円) d_{ij} : メッシュ ij 間の道路距離 (km), a : 1.0	工業統計 (H22)
業務地へのアクセス性	$ACCi = \Sigma D_j \exp(-\mu \cdot \log(d_{ij}))$ $ACCi$: メッシュ i の業務地への近接性 D_j : メッシュ j の従業員人口 d_{ij} : メッシュ ij 間の道路距離 (km), μ : 0.5	経済センサス (H21)
高速道路 IC までの所要時間	$HDi = \ln(hti)$ HTi : メッシュ i から高速道路 IC への所要時間変数 hti : メッシュ i から高速道路 IC への所要時間 (分)	交通 SIM から得られる旅行速度
用途地域面積シェア	メッシュ内の対可住地面積シェア (準工業地域, 工業地域, 工業専用地域, 市街化調整区域)	国土数値情報 (H23)

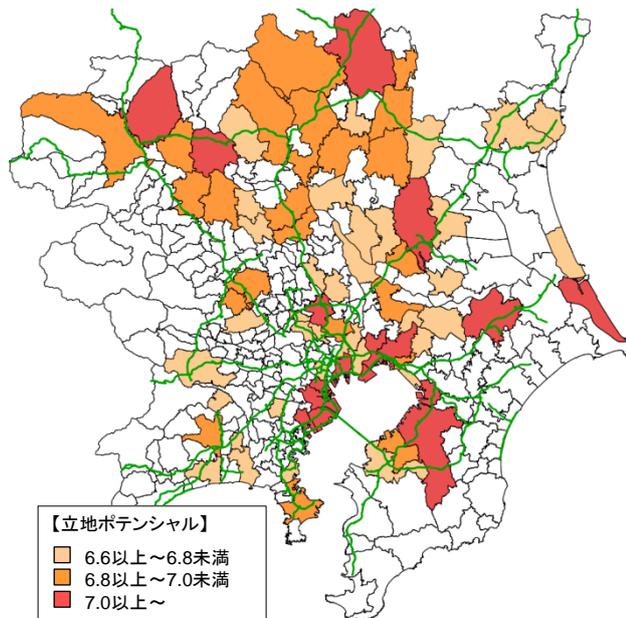


図-37 物流施設立地ポテンシャルの推計結果 (現況)

d) 立地ポテンシャルと貨物車交通需要の関係

立地ポテンシャルは、当該地域における物流施設の立地しやすさを表す指標であるため、物流施設の立地が沿線の交通に及ぼす影響を分析するためには、立地ポテンシャルをもとに、当該地域における貨物車の交通需要を推計することが必要である。立地ポテンシャルと貨物車発着台数の関係について、市区町村単位及び B ゾーン単位それぞれの散布図を作成すると次頁のとおりである。散布図をみると、B ゾーン単位ではデータのバラつきが大きいので相関が小さい傾向となるのに対して、市区町村単位ではデータのバラつきが小さく比較的相関が高い傾向とな

表-3 モデルのパラメータ推計結果

説明変数	パラメータ	t 値
人口密度	-0.32	-9.08***
通勤圏内の労働人口	0.38	4.53***
準工業地域の面積比率	3.07	8.46***
工業地域の面積比率	3.50	6.89***
工業専用地域の面積比率	2.87	8.22***
市街化調整地域の面積比率	1.32	5.81***
高速道路 IC までの所要時間	-0.04	-1.67*
製造業集積地へのアクセシビリティ	0.02	2.86***
業務・商業集積地へのアクセシビリティ	0.41	6.38***
初期尤度		-1675
最終尤度		-1350
尤度比		0.19
自由度調整済み尤度比		0.19
サンプル数		326

※1%有意:***, 5%有意:**, 10%有意:*

る。さらに、立地ポテンシャルと貨物車発着台数の関係をプロットした散布図をみると、立地ポテンシャルと貨物車発着台数には右肩上がりの関係があることが確認できる。本研究では、市区町村単位での分析を基本に、以下の 2 種類の関数形で回帰分析を行うことで、貨物車交通需要の関係式を構築する。

$$Ptr_i^r = \alpha D_i^{r\beta} \quad (4)$$

$$Ptr_i^r = \alpha \exp(D_i^{r\beta}) \quad (5)$$

回帰分析の結果、式(4)を想定したモデル①における実績値と推計値の相関係数が 0.785、RMSE が 6201、式(5)を想定したモデル②における実績値と推計値の相関係数が 0.778、RMSE が 6310 という結果が得られており、いずれの関数形についても良好な推計結果といえる。本研究では、相関係数が高く RMSE が低いモデル①を立地ポテンシャルと貨物車発着台数の関係式として採用する。

このときのパラメータ推計結果と現況再現性は表-11 のとおりである。また、推計された関係式に基づく現況の貨物車発着台数の推計結果は図-38～41 のとおりである。以降では、この関係式にもとづき、施設立地状況の変化やそれに伴う貨物車交通需要の変化についてシミュレーション分析を行う。

表-11 採用された関係式のパラメータ推計結果

	モデル①		モデル②	
	Param.	t 値	Param.	t 値
α	7.46E-05	1.12	232.42	4.87
β	4.78	22.04	0.076	23.43
R	0.785		0.778	
RMSE	6201		6310	
サンプル数	315		315	

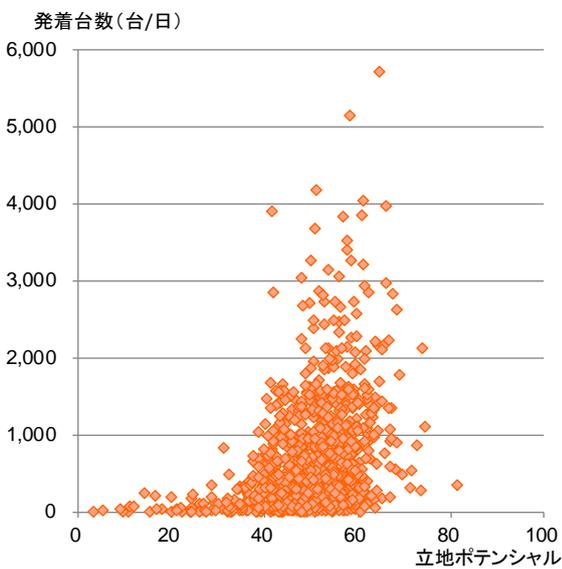
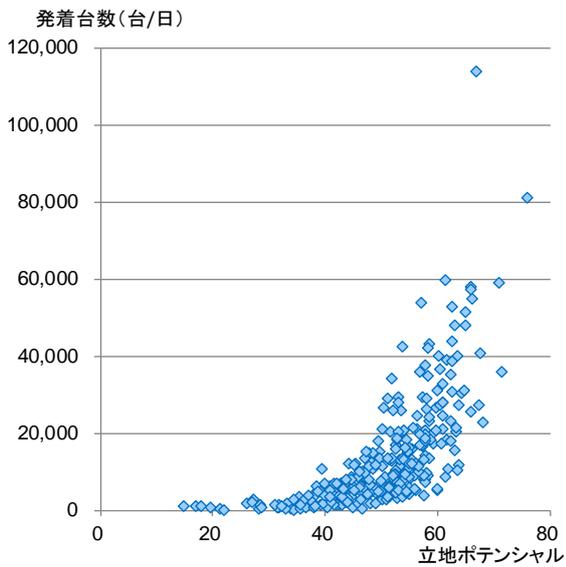


図-38 貨物車発着台数と立地ポテンシャルの関係
(上：市区町村単位、下：Bゾーン単位)

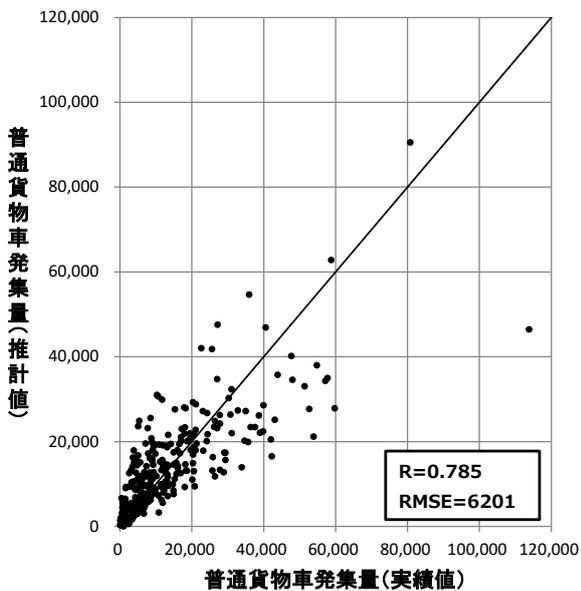


図-39 貨物車発着台数の実績値と推計値 (モデル□)

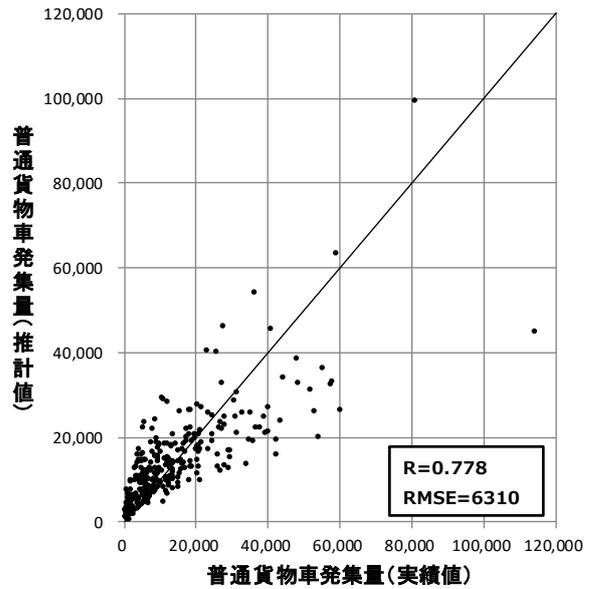


図-40 貨物車発着台数の実績値と推計値 (モデル②)

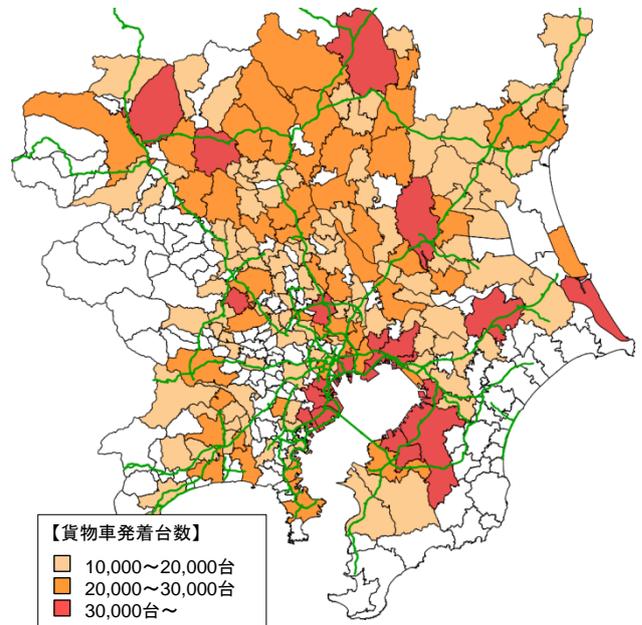


図-41 貨物車発着台数の推計結果 (現況・モデル□)

e) 3環状整備に伴う貨物車交通需要の変化

3環状整備に伴う立地ポテンシャルの変化と、立地ポテンシャルの変化による貨物車交通需要の変化を推計する。推計に際して、平成27年12月時点で事業中の路線網を参考に、3環状概成時の道路ネットワークを設定する。具体的には、圏央道全線、外環道千葉区間、外環道東京区間(東名以北のみ)、首都高晴海線、東関道水戸線、横浜環状北線・北西線・南線、第二東名、中央環状線品川線、秦野厚木道路、新湘南バイパス(第Ⅱ期区間)などを含むものとした。道路ネットワークの設定結果は図-42のとおりである。

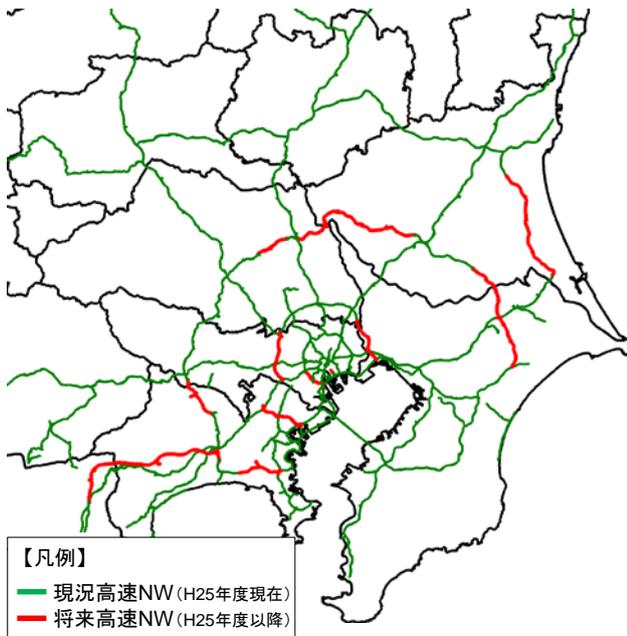


図-42 3環状概成時における道路ネットワークの設定

3環状整備に伴う立地ポテンシャルの推計結果を図-43、44に示す。3環状概成時の立地ポテンシャルをみると、3環状を含む高速道路ネットワークの整備に伴い、首都圏全体の立地ポテンシャルの分布が大きく変化する傾向はみられないものの、3環状概成時と現況との差分をみると、圏央道沿線を中心に立地ポテンシャルが上昇することが確認される。

特に、久喜市周辺などの埼玉県区間や、厚木市周辺などの神奈川県区間において、立地ポテンシャルが比較的大きく向上することが示されている。埼玉県区間や神奈川県区間は圏央道の開通が比較的早く、高速IC周辺の工業団地等への用地提供もされたことから、物流施設にとって既に人気のエリアとなっていることが一因として考えられる。一方、圏央道の開通が予定されている区間においても、圏央道東側の千葉区間沿線においては大きな立地ポテンシャルの向上が見込まれていない。立地ポテンシャルの向上には高速道路整備だけでなく、工業専用地域などの用地提供や他産業へのアクセシビリティが重要な役割を果たすためと考えられる。なお、茨城県の銚田市や行方市の立地ポテンシャルが向上することが推計されているが、これは3環状概成時に東関東道水戸線の開通が見込まれていることが影響している。ただし、これらの地域は、立地ポテンシャルが増加しているものの、現況の立地ポテンシャルの数値は高くないため、3環状概成時において、このエリアに物流施設が集積していくことを示すものではない点に留意が必要である。

3環状整備に伴う立地ポテンシャル変化を踏まえた貨物車発着台数変化率の推計結果は図-45のとおりである。

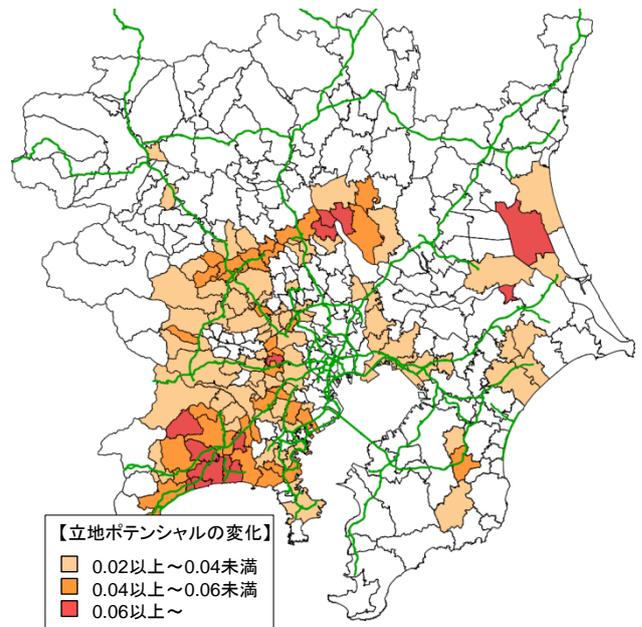


図-43 立地ポテンシャルの変化（3環状概成時—現況）

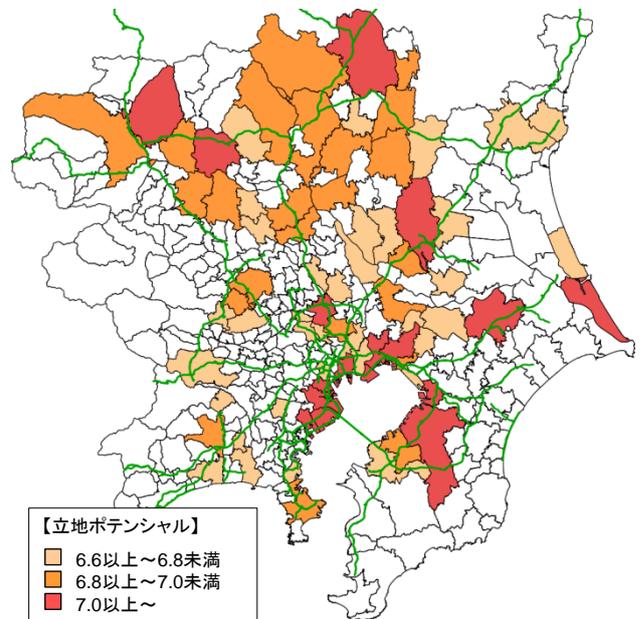


図-44 立地ポテンシャルの推計結果（3環状概成時）

3環状の整備によって大規模物流施設が圏央道などの沿線に集約される結果、都市圏全域でみると、貨物車交通需要が減少する地域と増加する地域が確認される。東京都市圏全体をみると、埼玉県や神奈川県などの圏央道西側区間の沿線地域で貨物車発着台数が増加し、茨城県や千葉県などの圏央道東側区間と東京都心部で貨物車発着台数が減少することが推計されている。すなわち、この推計結果は、首都圏3環状道路の整備により、圏央道西側地域を中心に貨物車発着台数が増加するものの、その他の地域では貨物車発着台数が減少することで、首都圏全体の貨物車交通需要が効率化される状況が示されているといえる。

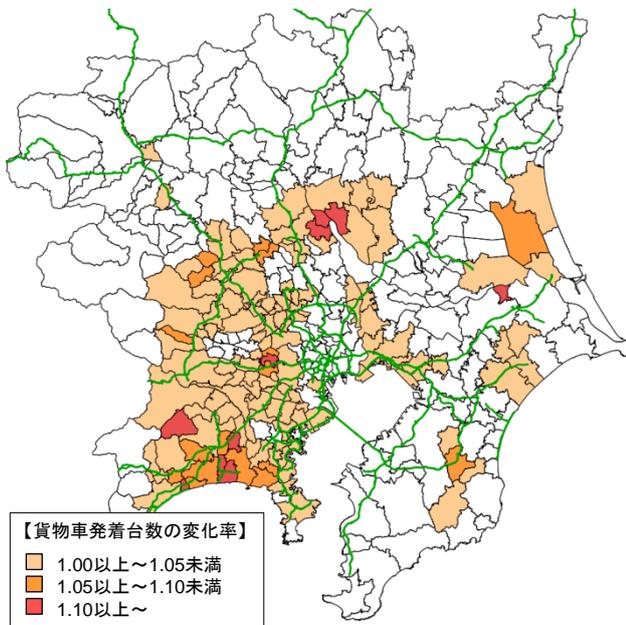


図-45 3環状整備に伴う貨物車交通需要の変化率

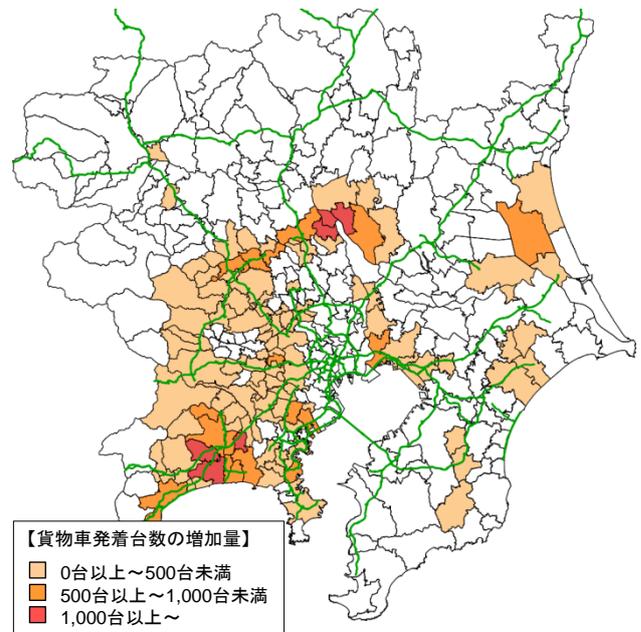


図-46 3環状整備に伴う貨物車交通需要の増加量

また、現況の貨物車発着台数に貨物車発着台数の変化率を乗じることで、3環状整備に伴う貨物車交通需要の増加量を推計したものが図-46である。現況から貨物車交通需要の高い久喜市周辺、市川市周辺、厚木市周辺などの地域において、貨物車交通需要が大きく増加する傾向が示されている。特に、久喜市周辺や厚木市周辺においては、大規模物流施設の集積により、1日あたり1,000台以上の貨物車交通需要が増加することが示されており、物流施設立地が沿線の交通に及ぼす影響は小さくない可能性が伺える。

4.3 3環状概成時のBAUケースと各種道路運用策のケーススタディ

(1) BAU ケース

まず、3環状概成後の物流施設立地変化を踏まえたBAUケースについて、図-47にシミュレーション結果交通量と、図-48に現況再現ケースに対するBAUケースでの車種別交通量変化をそれぞれ示した。これより、概成した3環状道路を含め、高速道路での交通量が増加し、その代わりに代替経路を提供していた一般道幹線の交通量が減少していることがわかる。また、小型車と大型車では交通量増減の傾向が異なり、特に大型車では圏央道と外環では交通量が増加しているのに対して、首都高中央環状線以内では（新規に開通した区間を除いて）減少傾向にあり、物流施設立地変化の影響も含めて、都心部を通過する交通が分散されていることが示唆される。

図-49にBAUケースでのシミュレーション結果の朝夕ピーク時リンク速度を、また図-50に、朝夕ピーク時における現況再現ケースでのリンク速度に対する

BAUケースの速度変化を、それぞれ示した。これより、3環状概成後も、交通量が増える外環や首都高湾岸線ではピーク時の渋滞が完全に緩和されないことが予想される。

図-51に現況ケースとBAUケースのエリア全体で集計した台キロと台時を24時間および朝ピーク・夕ピークについて、それぞれ矩形グラフを重ねて比較した。矩形グラフは、横軸が総走行距離を、縦軸が総走行時間を示しており、赤の台時の矩形が青の台キロの矩形より上にはみ出ている部分がそう遅れ時間、青の矩形が赤からはみ出ている部分が渋滞区間中を走行した距離を意味する。この図では、奥の淡色が現況ケース、手前の濃色がBAUケースで、24時間全体では総走行距離は大きく変わらないが、渋滞損失が約11.9%削減されることがわかる。また、都心方向に需要が集中する朝ピーク時間よりも、郊外方向へ需要が拡散する夕ピーク時間の方が渋滞損失の削減割合が大きいこともわかる。

図-52～図-55は、エリア別および高速道路と一般道幹線の別に、台キロと台時を矩形グラフで比較したものである。エリア区分は、「都環周辺（都環含む）」「外環内側（外環含まず）」「外環以遠圏央道内側（外環含む、圏央道含まず）」および「圏央道以遠（圏央道含む）」とした。これより、都環周辺と外環内側では、高速道路、一般道幹線ともに走行距離と渋滞損失が削減されており、外環および圏央道への分散の効果が顕著に見られる。一方で、外環以遠圏央道内側と圏央道以遠では、高速道路の走行距離と渋滞損失が増加しているが、一般道の渋滞損失がそれ以上に大きく削減されており、全体での渋滞損失が削減されていることがわかる。



図-47 BAU ケースのシミュレーション結果交通量 (24 時間)

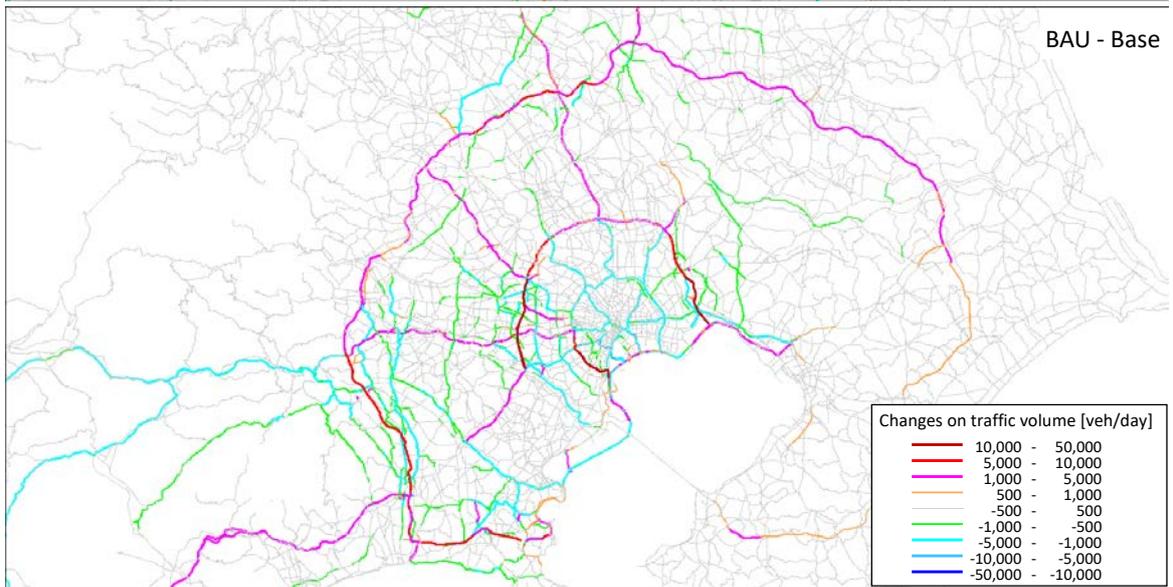
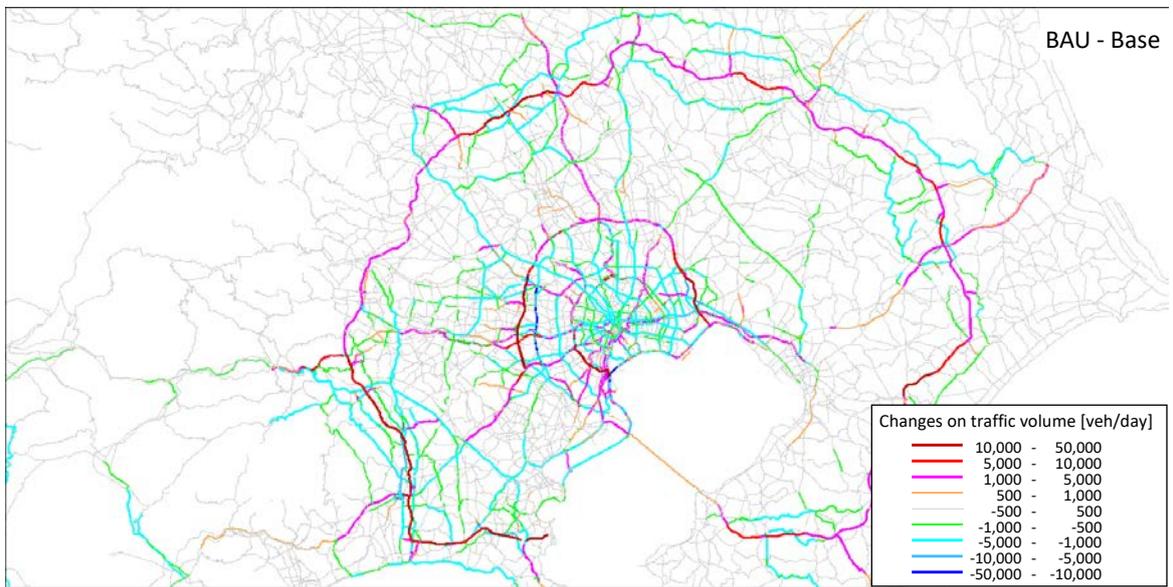


図-48 現況ケースに対するBAU ケースの交通量変化 (上: 小型車・下: 大型車)

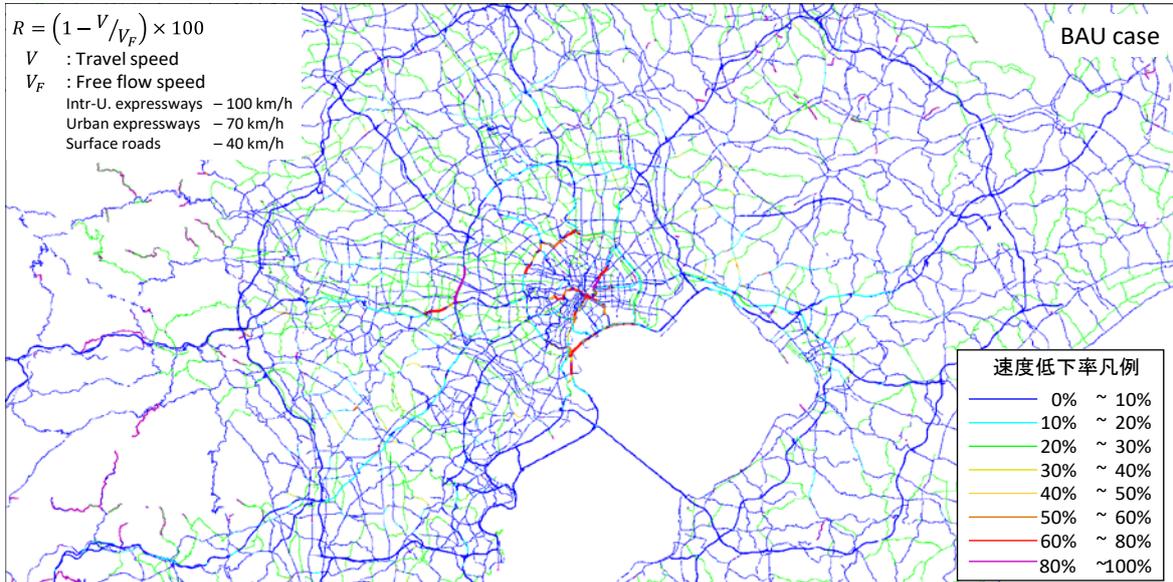
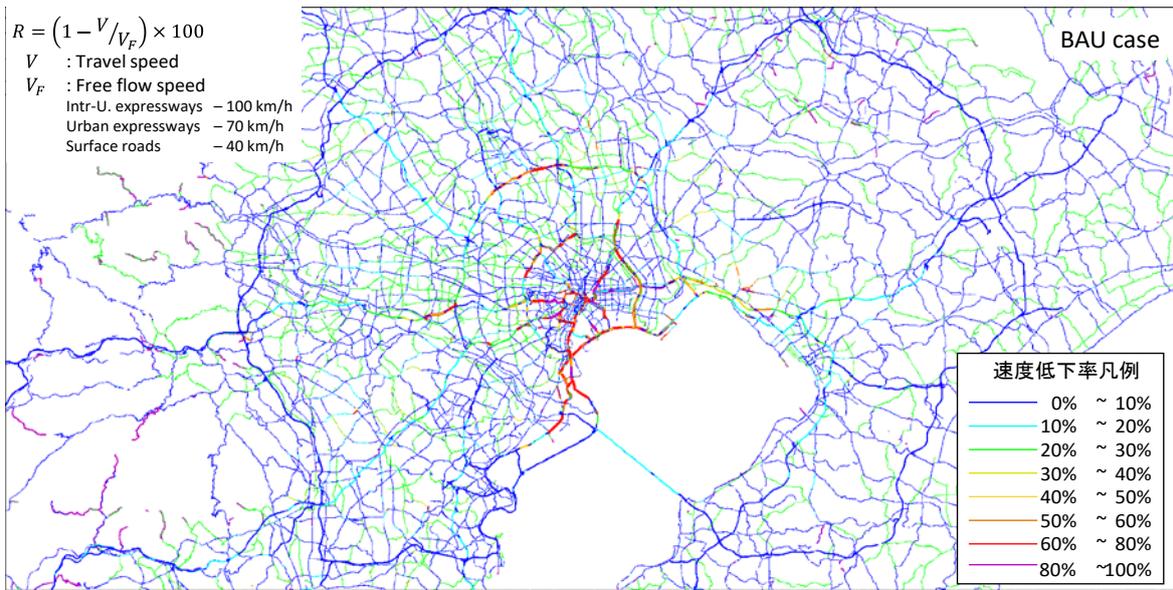


図-49 BAU ケースのシミュレーション結果リンク速度（上：8 時台・下：17 時台）

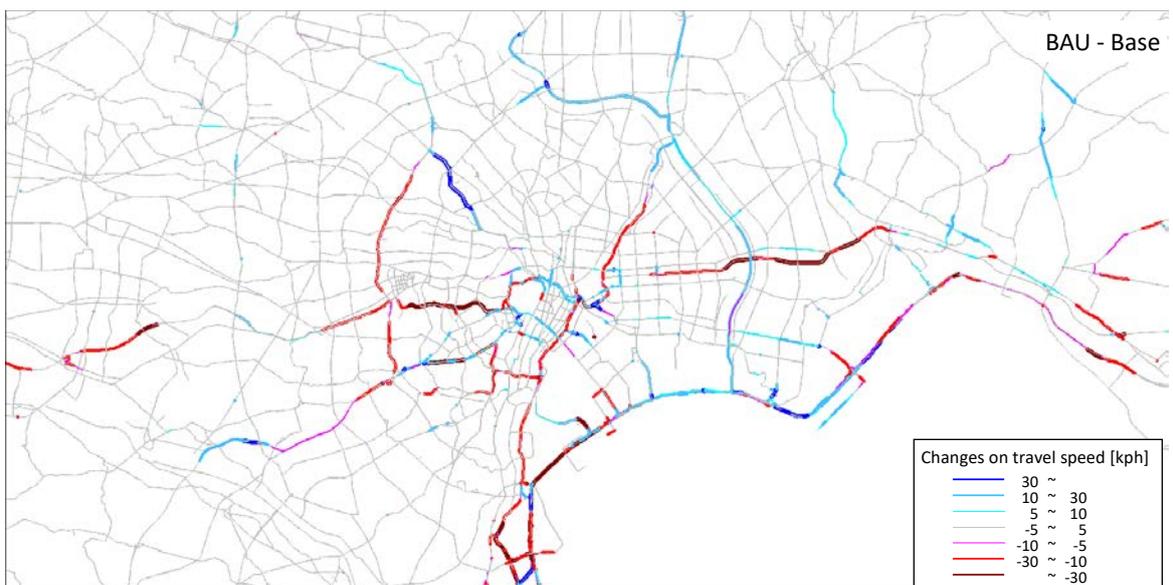


図-50 現況ケースに対する BAU ケースの速度変化（8 時台）

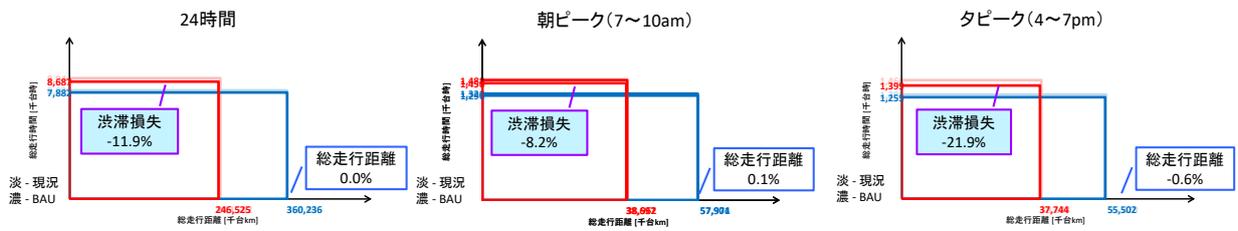


図-51 現況ケースと BAU ケースの台キロ・台時比較 (エリア全体)

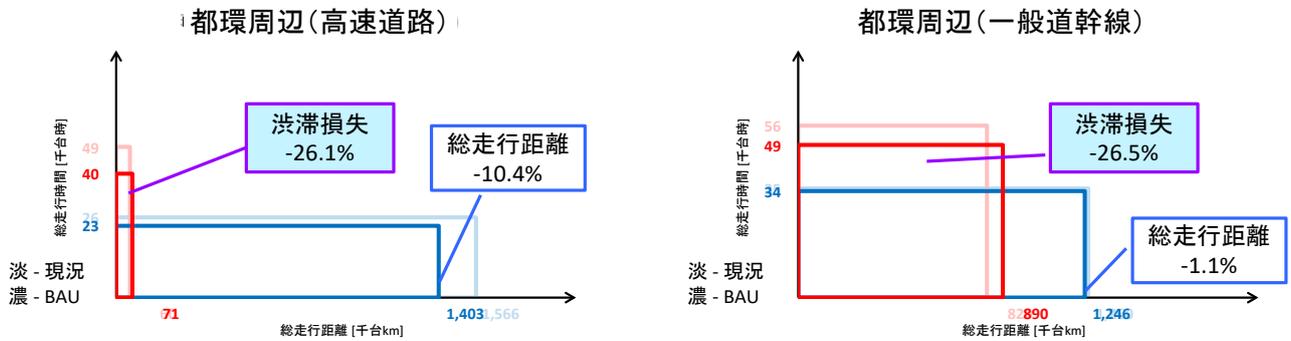


図-52 現況ケースと BAU ケースの台キロ・台時比較 (都環周辺)

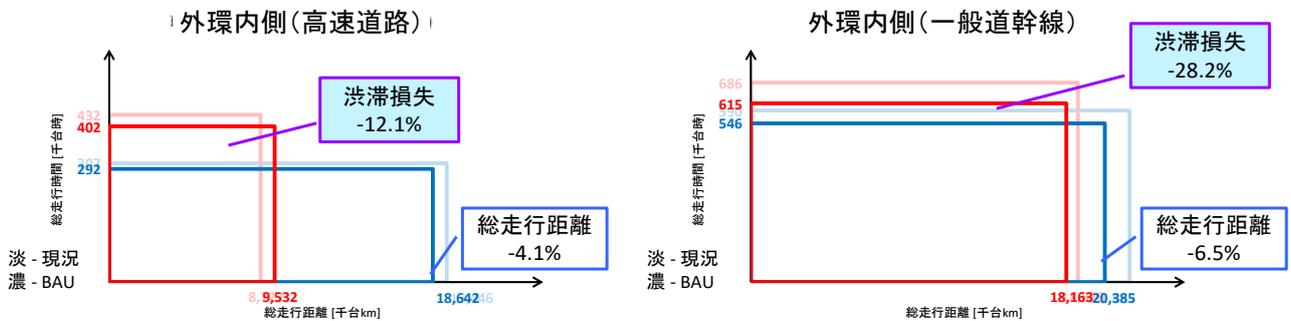


図-53 現況ケースと BAU ケースの台キロ・台時比較 (外環内側)

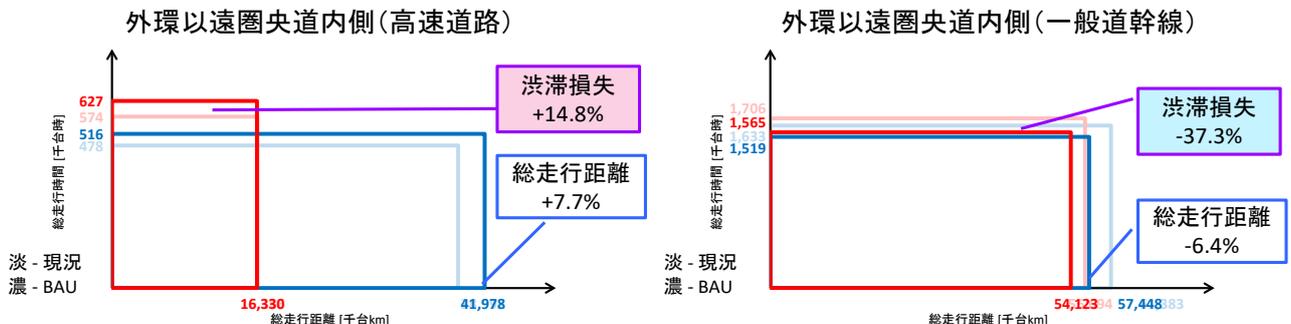


図-54 現況ケースと BAU ケースの台キロ・台時比較 (外環以遠圏央道内側)

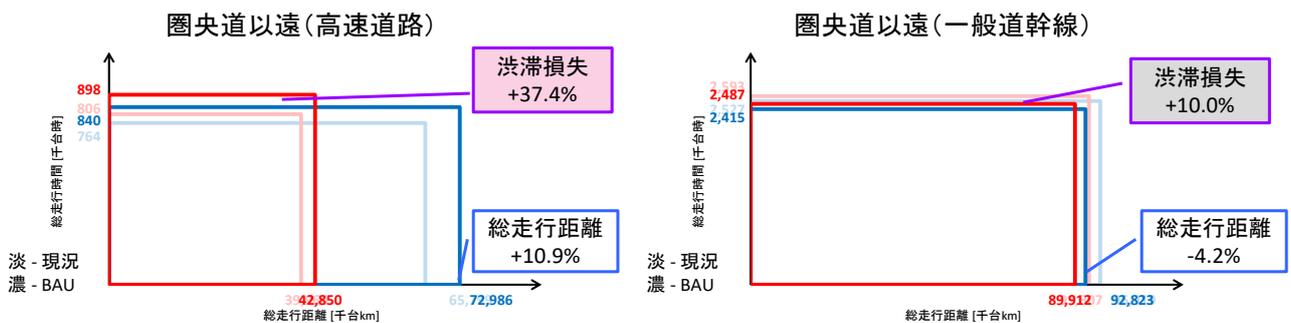


図-55 現況ケースと BAU ケースの台キロ・台時比較 (圏央道以遠)

(2) 環状道路利用促進インセンティブ付与

次に、3環状道路利用を促進するインセンティブとして、3.1(2)で設定した高速道路リンクの対距離料金項を、首都高中央環状線で2/3に、外環道で1/2に、圏央道で1/3に、それぞれ減額して、経路選択におけるこれら環状道路利用経路の一般化費用を小さくしたケースを実施した。図-56にはエリア別の分析に用いるArea1～3の集計エリア区分を示す。

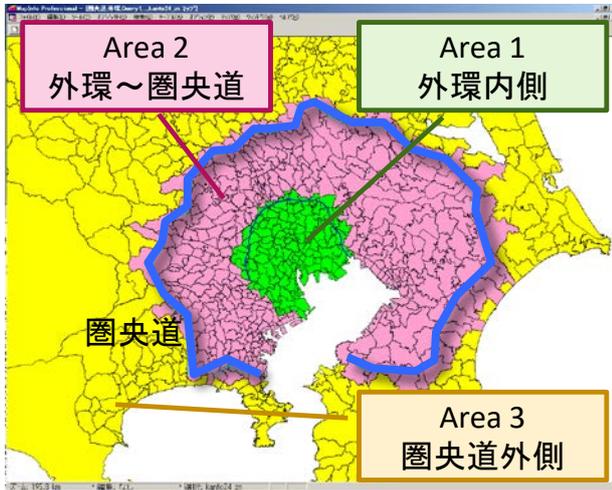


図-56 集計エリア区分

図-57にインセンティブケースでのシミュレーション結果交通量と、図-58にBAUケースに対するインセンティブケースの車種別交通量変化をそれぞれ示した。小型車では、3環状道路の交通量がいずれもBAUケースより増加しているほか、環状道路に近い放射路線でも増加が見られ、相対的に周辺の一般道や首都高の都心部路線での交通量が減少している。一方の大型車では、経路選択における料金感度が高いため、インセンティブの大きい圏央道と外環道西側区間での交通量増加が顕著である。

図-59にインセンティブケースでのシミュレーション結果の朝夕ピーク時リンク速度を、また図-60に、朝ピーク時におけるBAUケースでのリンク速度に対するインセンティブケースの速度変化を、それぞれ示した。このインセンティブにより、交通量が増える外環西側区間や首都高中央環状線では、BAUケースよりも速度が低下する場合があること、また首都高湾岸線では依然としてピーク時の渋滞が完全に緩和されないことが予想される。

以上のBAUケースとインセンティブケースの結果をまとめた。まず、ネットワーク全体での総走行距離と総旅行時間の変化を、道路種別毎に集計して図-61と図-62にそれぞれ示した。高速道路については、3環状道路とそれ以外を区分した。これより、三環状概成後は迂回する交通により総走行距離が増えるものの、需要の分散により渋滞が緩和されるために総旅行時間が減り、台キロの増加に対して台時の減少が大きいことから、ネットワークの平均速度が向上することがわかる。

現況ケースに対する速度改善効果をBAUケース

とインセンティブケースで比べると、前者は台キロが0.3%の増加、台時が1.2%の減少なので、 $1.003 \div 0.988 \approx 1.015$ となり、約1.5%の速度改善率となるのに対し、後者は $1.008 \div 0.984 \approx 1.024$ と約2.4%となり、環状道路利用促進のインセンティブは効率改善に寄与するとわかる。

次に、3環状道路を通行する車両のOD内訳を図-56に示したエリア別に集計して、車種別の総走行距離がどのように変化するかをエリアOD別に調べた。

図-63は、圏央道でのエリアOD別の台キロの変化である。小型車と大型車のいずれも、Area2（外環～圏央道）とArea3（圏央道外側）の間で台キロが増加しており、3環状道路の概成による圏央道内側トリップの経路分散効果と、圏央道外側からの都心通過トリップ迂回効果が期待できることを示している。また、圏央道へのインセンティブの付与は、これらの効果を加速させることも示される。ただし、Area1（外環内側）の関連交通に対しては、これらの効果は圏央道では期待できないことも示唆される。

図-64は、外環道でのエリアOD別の台キロの変化である。BAUケースを見ると、大型車についてはArea2に関連するODの台キロが増加しており、環状道路への分散効果が認められるが、小型車については外環道外側からの通過トリップ（Area2→2）を除いて分散効果は顕著ではない。一方、インセンティブケースでは、Area1関連のODについても台キロの増加が認められることから、特に小型車の外環内側関連トリップを分散させるにはインセンティブの付与が重要であることが示唆される。

図-65は、首都高中央環状線（MEX C2）でのエリアOD別の台キロの変化である。この場合は、小型車と大型車で変化の傾向が異なっている。まず、Area2と3で移動するODについては、いずれの車種でも台キロが減少しており、これらは圏央道と外環道に転換していることがわかる。小型車では、Area1関連のODで台キロが増加しており、都心環状線C1を避けて中央環状線C2利用に転換していることが読み取れる。大型車では、これらのトリップもすでに圏央道や外環道利用に転換しており、台キロが減少していることがわかる。

図-66にBAUケースとインセンティブ付与ケースのエリア全体での台キロと台時を矩形グラフで比較した。奥の淡色がBAUケース、手前の濃色がインセンティブ付与ケースである。図より、24時間では渋滞損失が3.3%削減されたが、都心方向への需要が集中する朝ピーク時では渋滞損失が増加している。

また、図-67～図-70にエリア別・高速道路と一般道幹線別の台キロと台時を比較した。これらの図より、外環内側（外環は含まない）では高速道路と一般道幹線の両方で渋滞損失が削減されるが、外環以遠では高速道路での渋滞損失が増加し、特に圏央道以遠（含む圏央道）では台キロが大きく増えたことから、今回想定したインセンティブでは、外環と圏央道に過度な交通集中を引き起こしたと考えられる。



図-57 インセンティブケースのシミュレーション結果交通量 (24 時間)

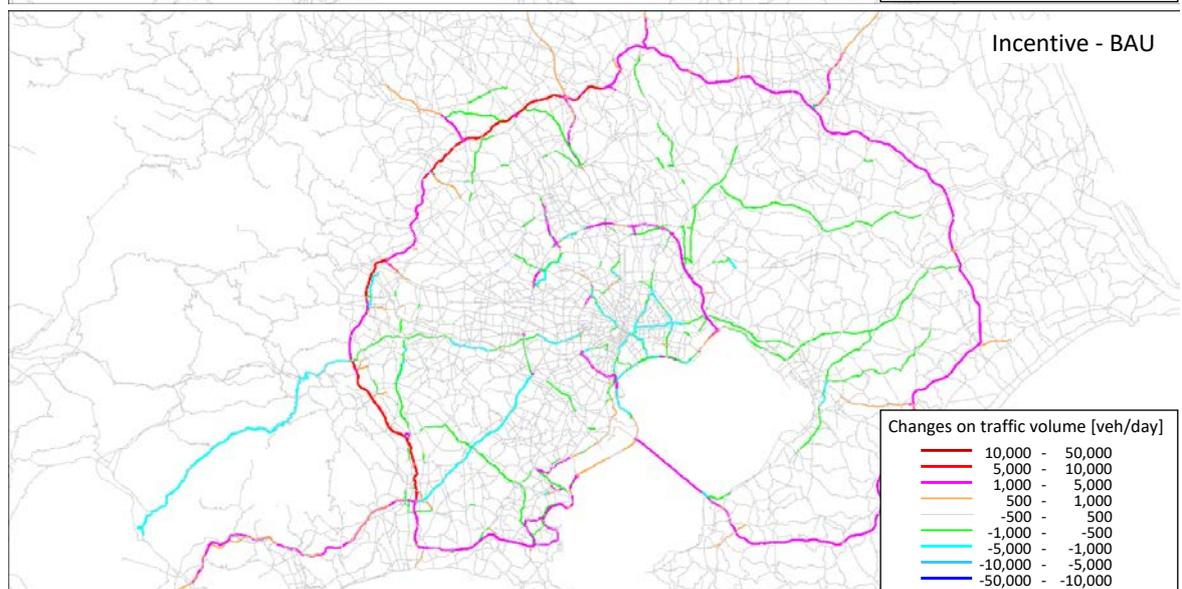
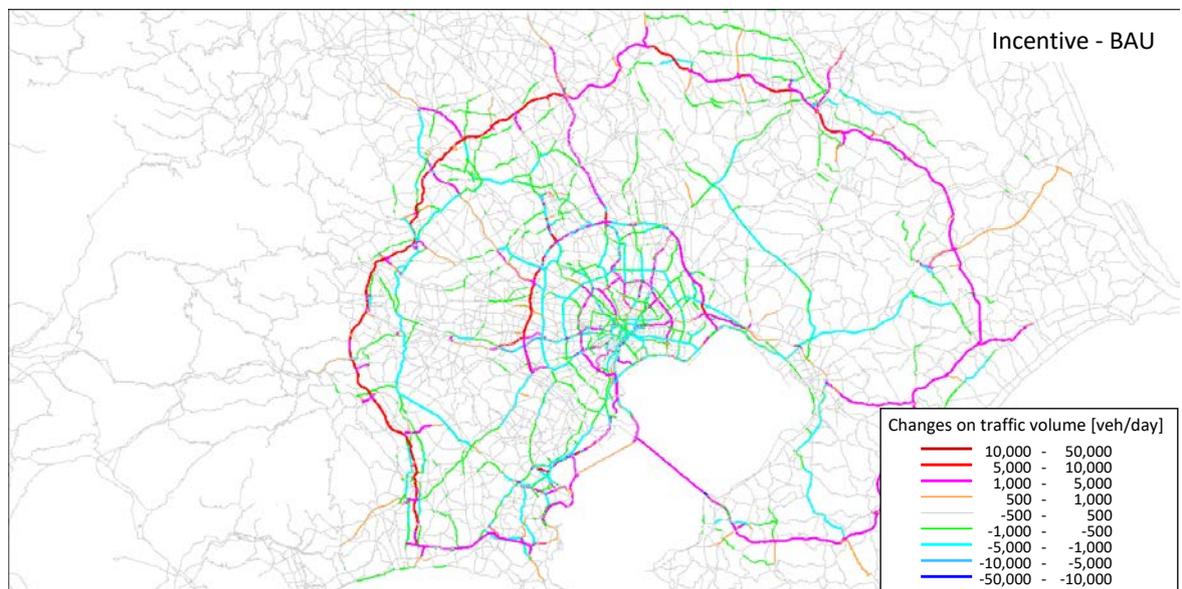


図-58 BAU ケースに対するインセンティブケースの交通量変化 (上：小型車・下：大型車)

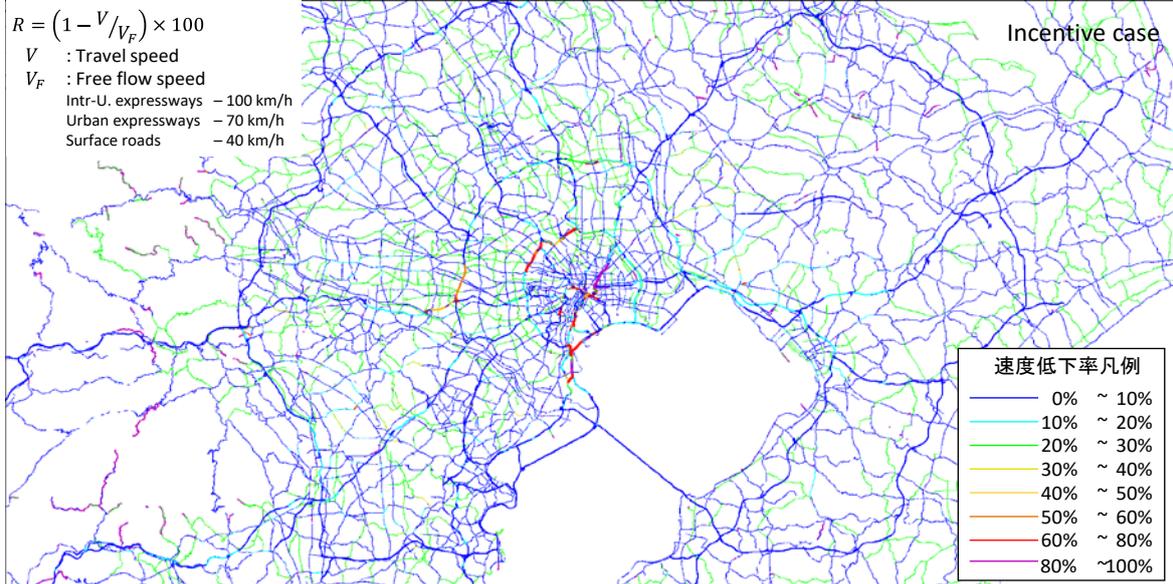
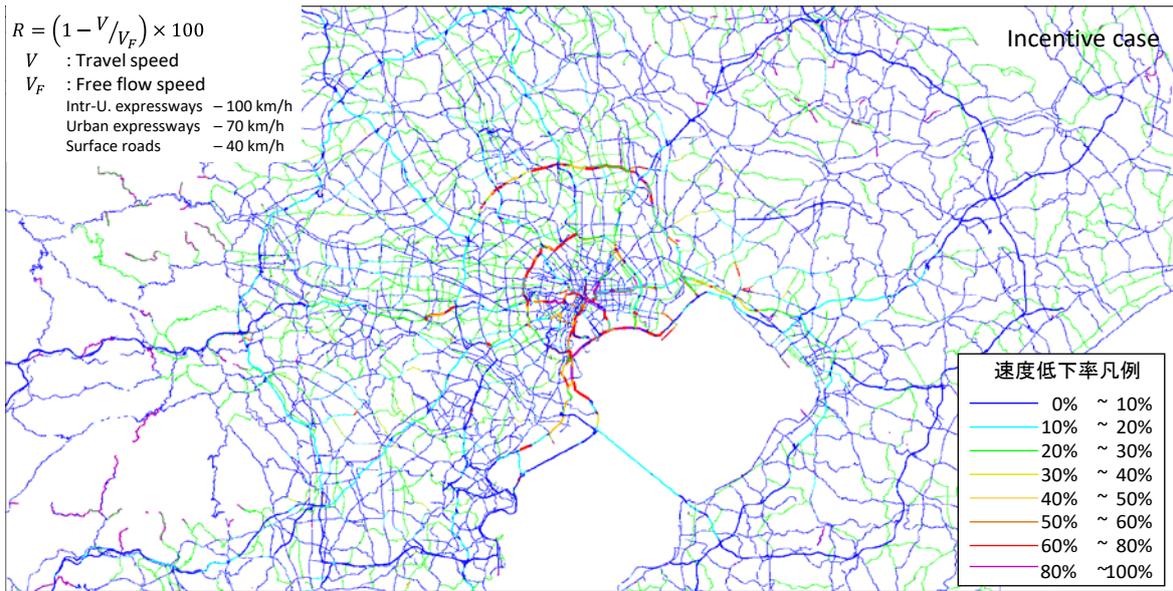


図-59 インセンティブケースのシミュレーション結果リンク速度（上：8時台・下：17時台）

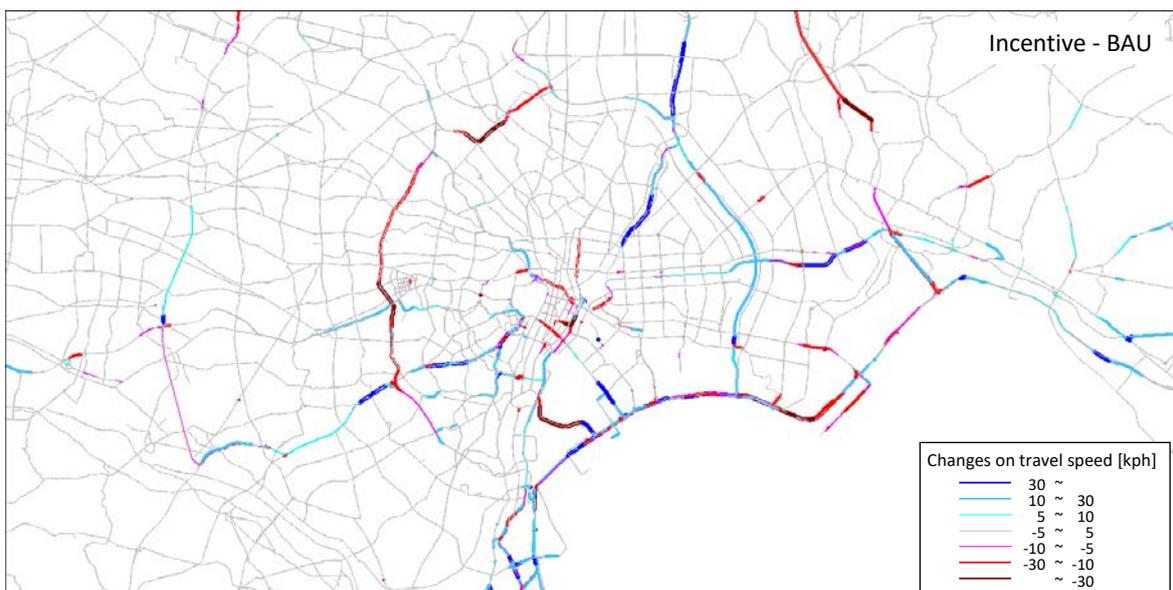


図-60 BAU ケースに対するインセンティブケースの速度変化（8時台）

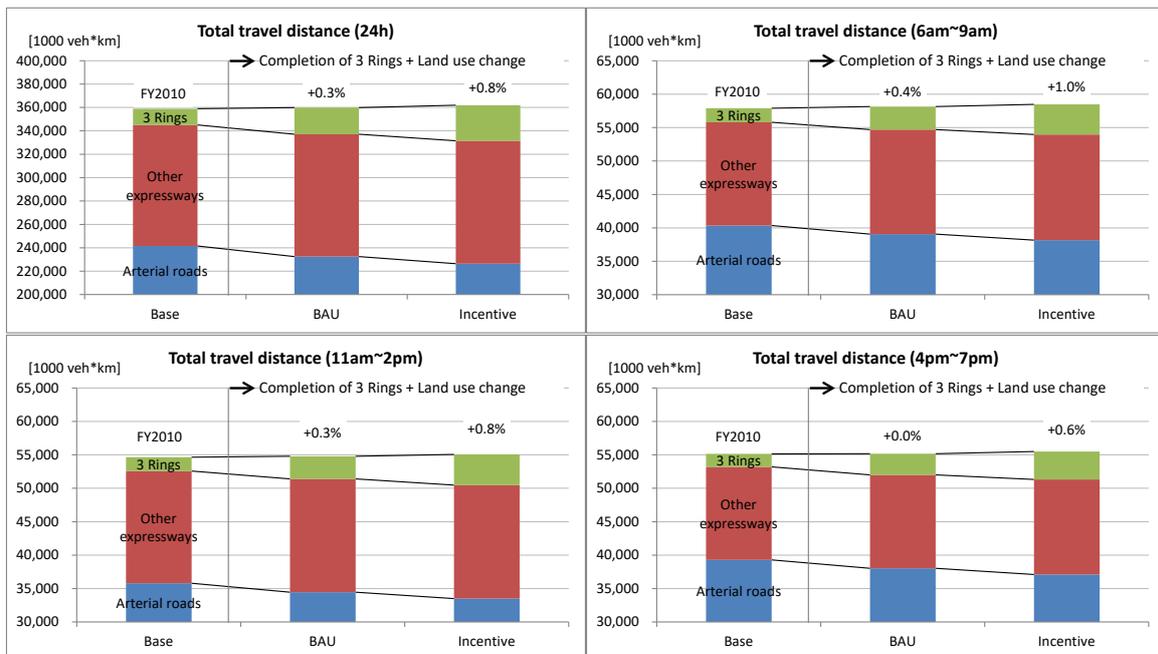


図-61 道路種別で見た台キロの変化（左上：24時間・右上：朝ピーク・左下：昼間オフピーク・右下：タピーク）

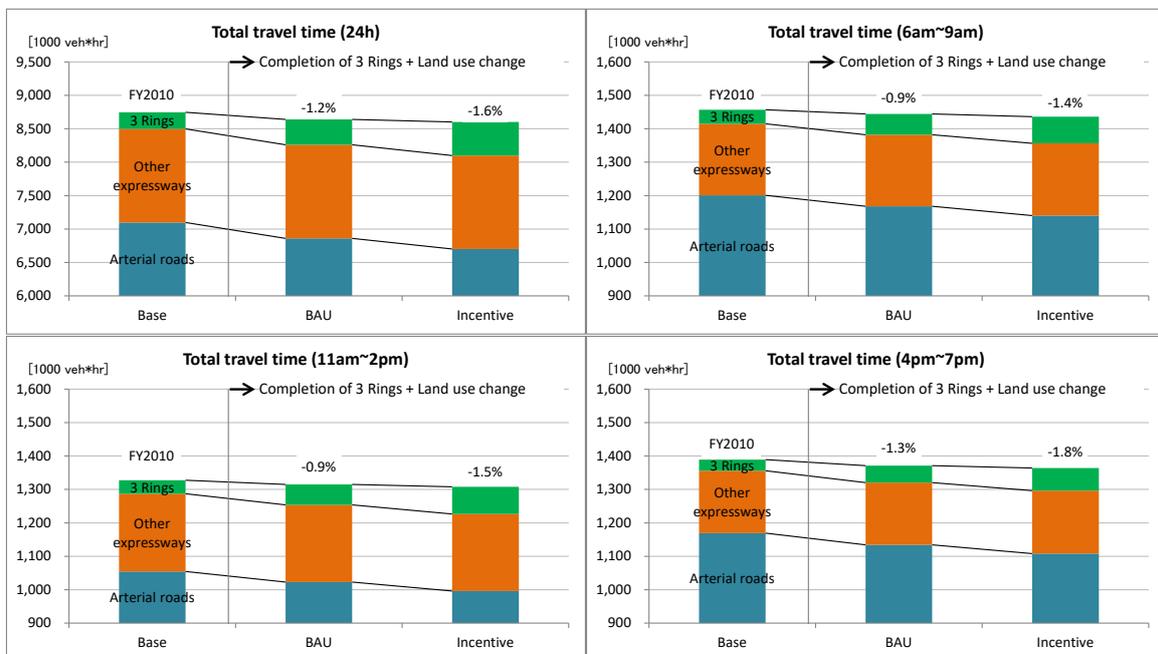


図-62 道路種別で見た台時の変化（左上：24時間・右上：朝ピーク・左下：昼間オフピーク・右下：タピーク）

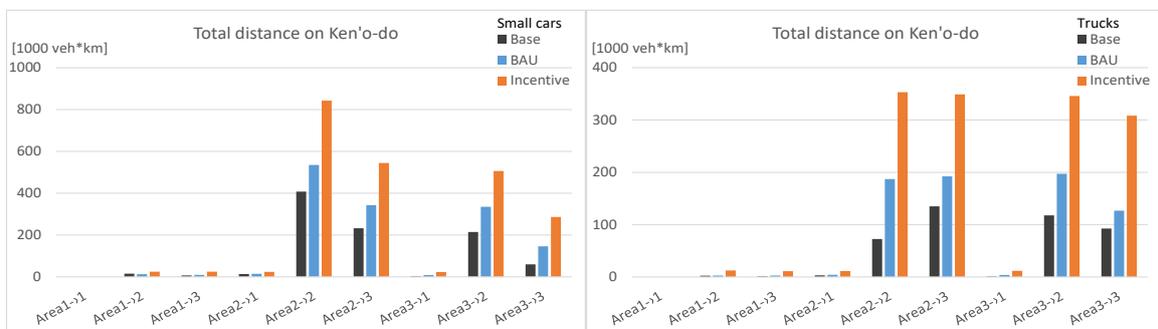


図-63 エリア OD 別に見た圏央道での台キロの変化（左；小型車・右：大型車）

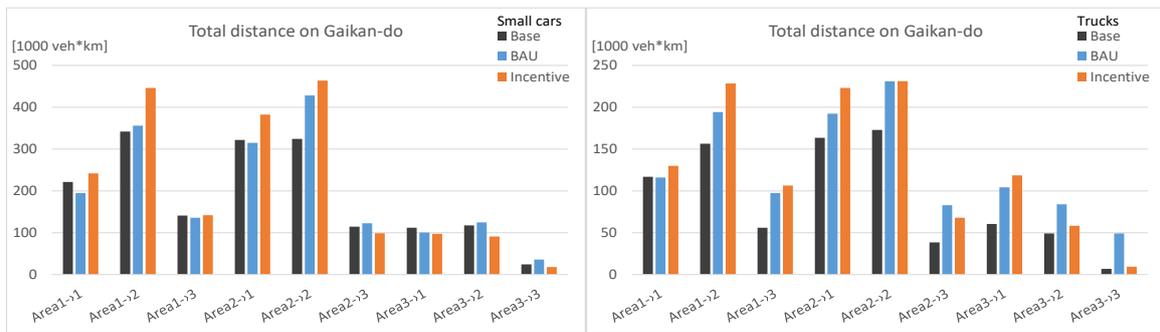


図-64 エリア OD 別に見た外環道での台キロの変化 (左; 小型車・右: 大型車)

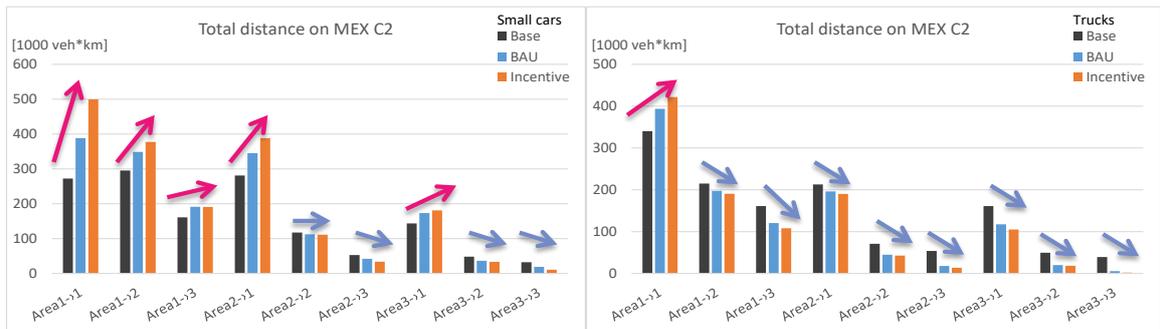


図-65 エリア OD 別に見た首都高中央環状線での台キロの変化 (左; 小型車・右: 大型車)

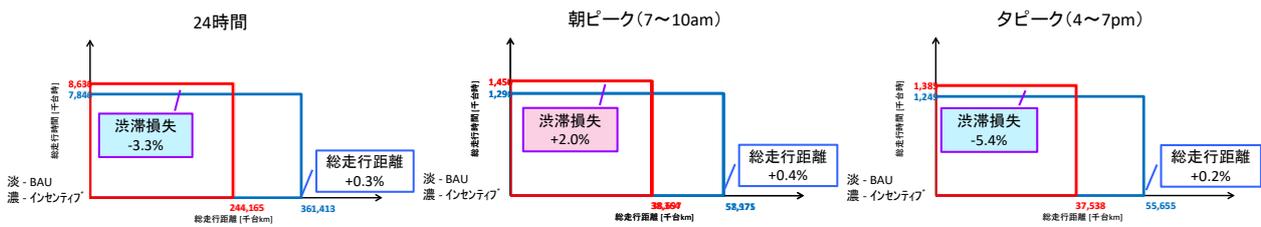


図-66 BAU ケースとインセンティブ付与ケースの台キロ・台時の比較 (エリア全体)

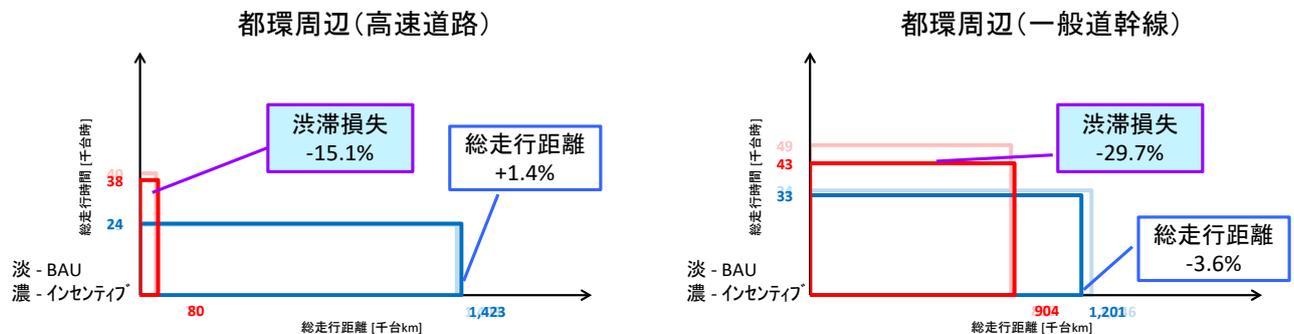


図-67 BAU ケースとインセンティブ付与ケースの台キロ・台時の比較 (都環周辺)

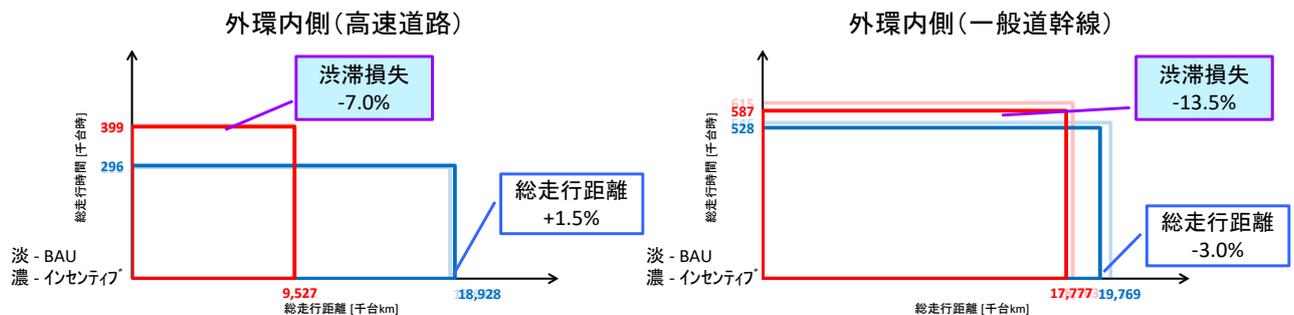


図-68 BAU ケースとインセンティブ付与ケースの台キロ・台時の比較 (外環内側)

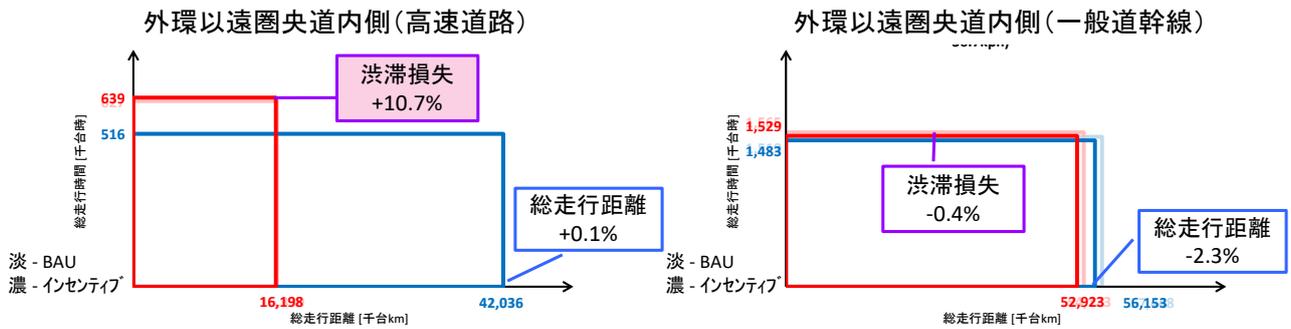


図-69 BAU ケースとインセンティブ付与ケースの台キロ・台時の比較 (外環以遠圏央道内側)

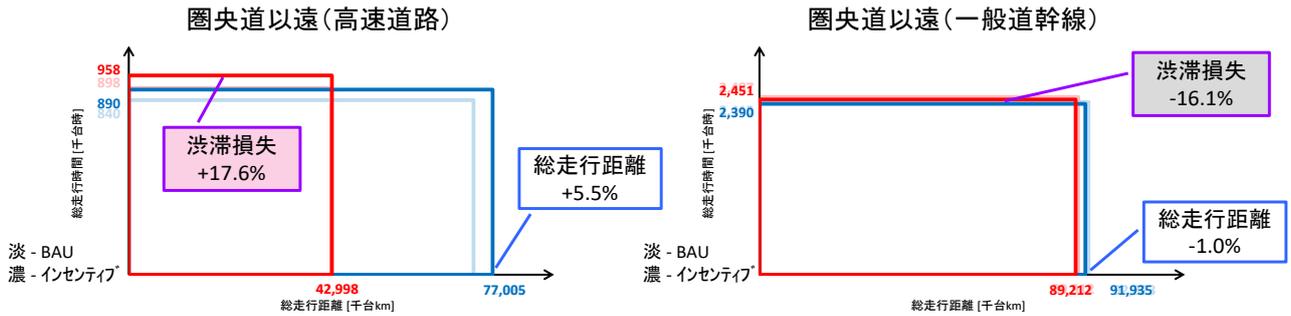


図-70 BAU ケースとインセンティブ付与ケースの台キロ・台時の比較 (圏央道以遠)

(3) 動的最適経路誘導

図-71にBAUケースと動的最適経路誘導ケースのエリア全体での台キロと台時を矩形グラフで比較した。この図では一番奥の淡色がBAUケースで、そこから手前の濃色になる順に動的経路誘導層の混入割合が10, 20, 30, 50, 70, 100%と増えていくが、30%の場合で赤と青の矩形が一番内側になり、渋滞損失と走行距離が最も削減される。

図-72～図-75にエリア別・高速道路と一般道幹線別の台キロと台時を比較した。いずれのエリアにおいても、混入割合が100%の場合に高速道路の渋滞損失が最も削減される結果となっているが、50%を越えると走行距離を示す青の矩形が極端に小さくなり、高速道路から一般道に転換していることがわかる。このため、混入割合が50%以上では一般道の交通量が増えるため、渋滞損失は全体で悪化する。

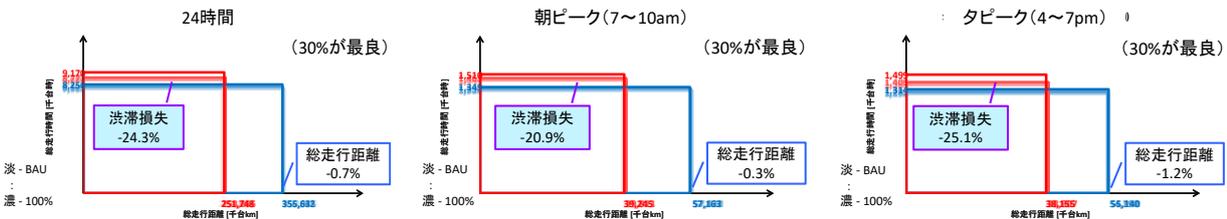


図-71 BAU ケースと動的最適経路誘導ケースの台キロ・台時の比較 (エリア全体)

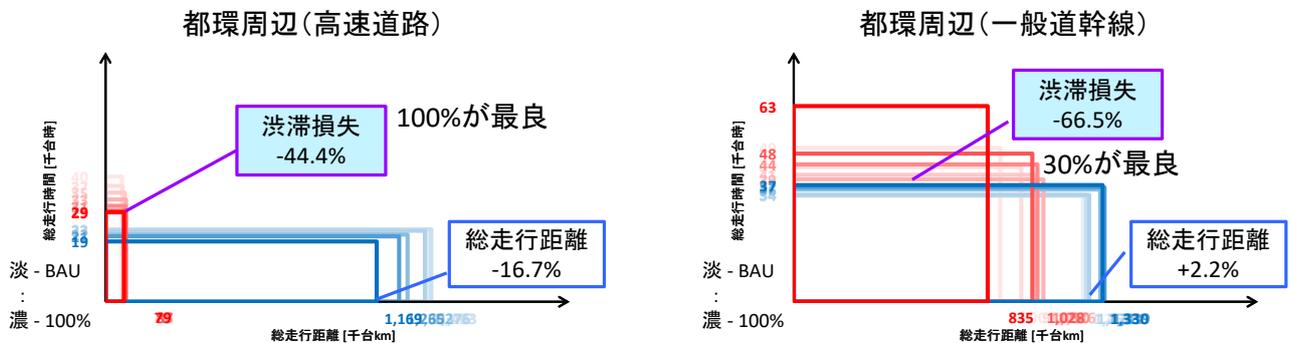


図-72 BAU ケースと動的最適経路誘導ケースの台キロ・台時の比較 (都環周辺)

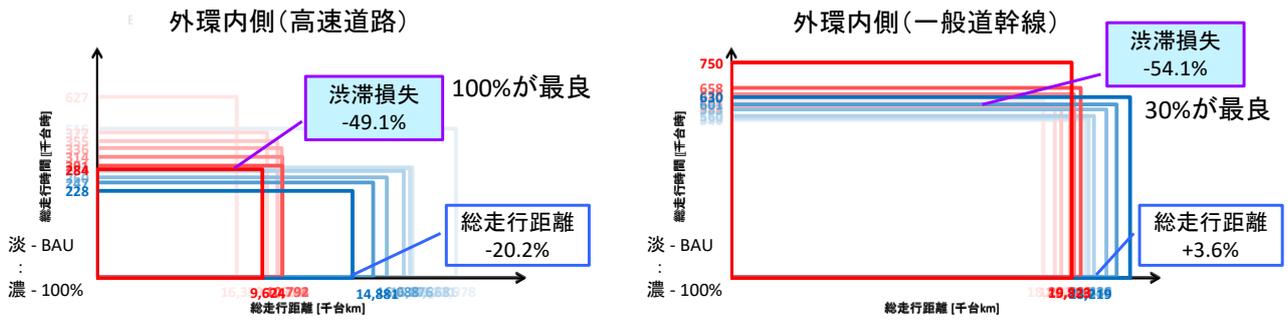


図-73 BAU ケースと動的最適経路誘導ケースの台キロ・台時の比較 (外環内側)

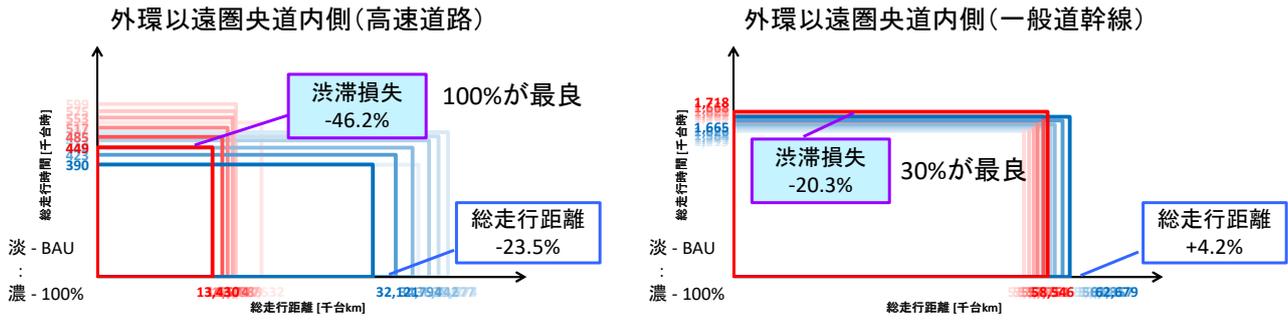


図-74 BAU ケースと動的最適経路誘導ケースの台キロ・台時の比較 (外環以遠圏央道内側)

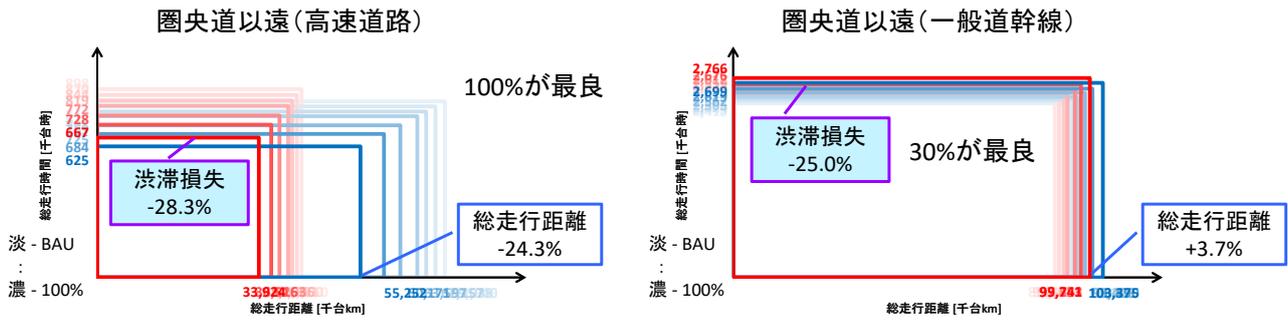


図-75 BAU ケースと動的最適経路誘導ケースの台キロ・台時の比較 (圏央道以遠)

(4) 首都高都心環状線流入制御

図-76 にBAUケースと都環流入制御ケースのエリア全体での台キロと台時を矩形グラフで比較した。この図では一番奥の淡色がBAUケースで、手前の濃色が都環流入制御ケースである。図より、ネットワーク全体では、夕ピーク時に渋滞損失が微減しているが、24時間では増加する結果となった。

図-77～図-80にエリア別・高速道路と一般道幹線別の台キロと台時を比較した。この場合は、都環周

辺エリアで高速道路と一般道幹線の渋滞損失が削減されるが、これまで都環オンランプから首都高に流入していた交通量が、都環外側の放射路線オンランプで流入することになり、外環内側では逆にどちらも渋滞損失が増えている。外環以遠ではわずかな差しかなく、ここでの流入制御方式では、エリア全体では渋滞損失が微増する。(圏央道以遠の一般道幹線はBAUケースでの渋滞損失が小さいためわずかの増減でも割合が大きく変化する)

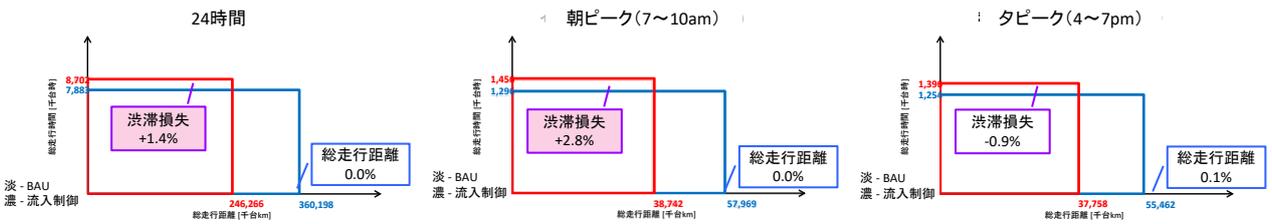


図-76 BAU ケースと都環流入制御ケースの台キロ・台時の比較 (エリア全体)

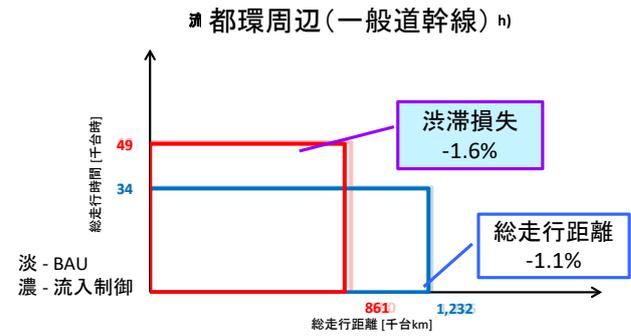
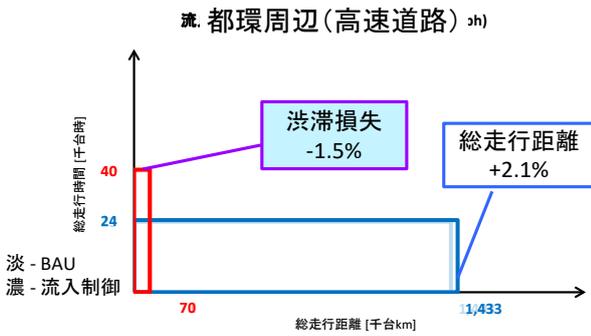


図-77 BAU ケースと都環流入制御ケースの台キロ・台時の比較 (都環周辺)

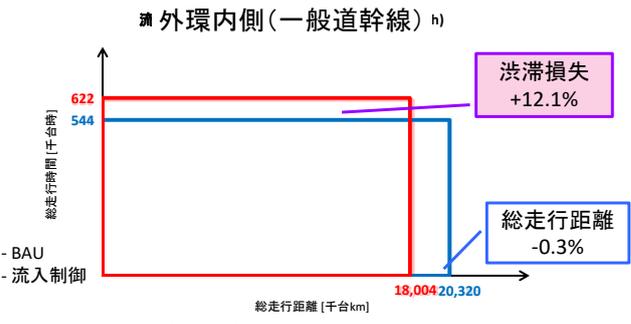
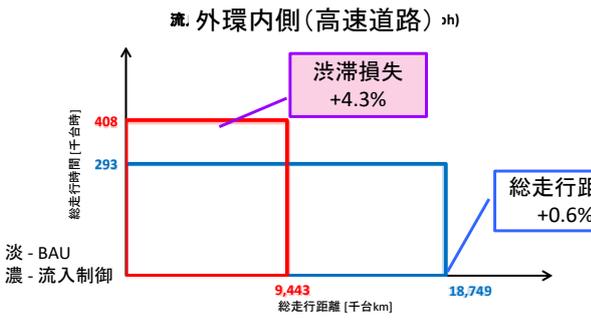


図-78 BAU ケースと都環流入制御ケースの台キロ・台時の比較 (外環内側)

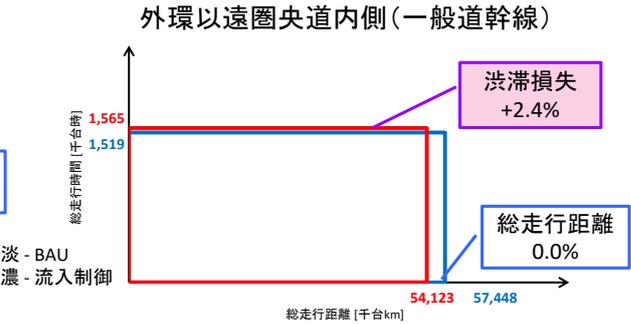
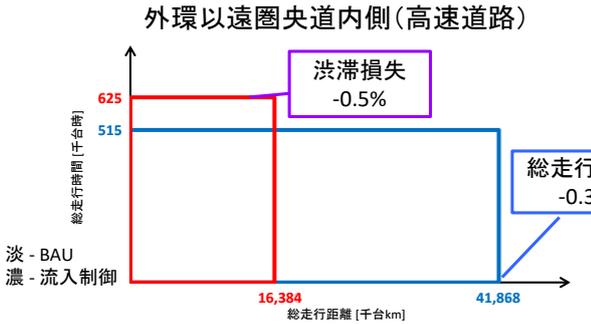


図-79 BAU ケースと都環流入制御ケースの台キロ・台時の比較 (外環以遠圏央道内側)

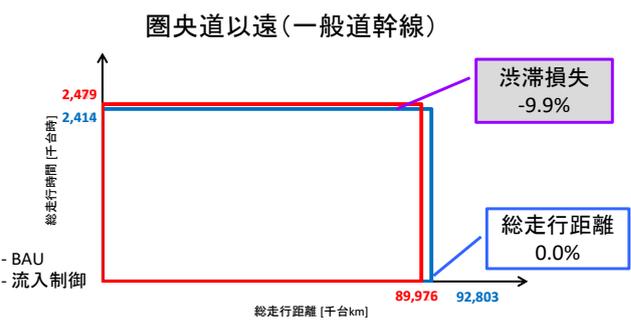
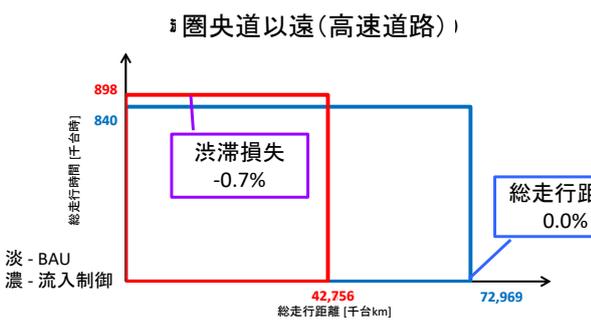


図-80 BAU ケースと都環流入制御ケースの台キロ・台時の比較 (圏央道以遠)

(5) ケーススタディまとめ

以上のケーススタディの結果を表-12にまとめた。

表-12 ケーススタディの結果まとめ

ケース	比較	全体の渋滞損失	渋滞緩和	渋滞増加
BAU	現況	約 12%削減	首都高および圏央道より内側の一般道で渋滞緩和	外環と圏央道は開通効果で増加 圏央道は物流施設誘引の影響も
インセンティブ付与	BAU	約 3%削減	首都高および外環より内側の一般道で渋滞緩和	外環と圏央道は渋滞増加 →過度な料金傾斜による過剰な迂回で効率が低下
動的最適経路誘導	BAU	約 24%削減@30%	混入率 30%でいずれのエリアも高速道路と一般道で渋滞緩和	100%では高速道路の渋滞緩和は最大になるが、一般道に降りる交通で全体では渋滞増加
都環流入制御	BAU	約 1%増加	都環周辺はわずかに渋滞緩和	外環より内側は渋滞増加 →今回の流入制御スキームでは十分な効果が見込めない

第5章 さいごに

5.1 成果と今後の課題

(1) 成果

本研究の主な成果を以下に整理する。

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。

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。

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現況（Baseケース）と比較して全体で約12%の渋滞損失の削減効果があるものの、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環状道路へ誘導する3つの施策（料金施策、動的最適経路誘導情報、都心環状流入制限）の効果をシミュレータにより評価した。ケース間の比較を表-12.（再掲）にまとめて示す。BAUと比較して全体の渋滞損失の削減率で見ると、環状を利用するように料金インセンティブを付与することで約3%、3割の利用者が動的経路誘導を利用することで約24%削減できること、一方で都心環状線のオンランプ流入を抑制しても、全体では僅かに渋滞が増えることなどが評価され、渋滞緩和のために動的施策の有効性が明らかとなった。

表-12（再掲） ケーススタディの結果まとめ

ケース	比較	全体の渋滞損失	渋滞緩和	渋滞増加
BAU	現況	約 12%削減	首都高および圏央道より内側の一般道で渋滞緩和	外環と圏央道は開通効果で増加 圏央道は物流施設誘引の影響も
インセンティブ付与	BAU	約 3%削減	首都高および外環より内側の一般道で渋滞緩和	外環と圏央道は渋滞増加 →過度な料金傾斜による過剰な迂回で効率が低下
動的最適経路誘導	BAU	約 24%削減@30%	混入率 30%でいずれのエリアも高速道路と一般道で渋滞緩和	100%では高速道路の渋滞緩和は最大になるが、一般道に降りる交通で全体では渋滞増加
都環流入制御	BAU	約 1%増加	都環周辺はわずかに渋滞緩和	外環より内側は渋滞増加 →今回の流入制御スキームでは十分な効果が見込めない

(2) 今後の課題

本研究の主な成果を以下に整理する。

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・動的な複雑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、施策評価分析が不足している。研究開発したシミュレータを改良し、こうした複雑な動的施策を評価できる機能を追加すること、こうした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が期待できる。

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。

参考文献

1) 吉井稔雄, 桑原雅夫, 森田綽之: 都市内高速道路における過飽和ネットワークシミュレーションモデルの

開発, 交通工学, Vol.30, No.1, pp.33-41, 1995.

- 2) SOUND 製品情報:
<http://www.i-transportlab.jp/products/sound/index.html>
- 3) G. F. Newell: A Simplified Theory of Kinematic Waves in Highway Traffic, Part I: General Theory, Transpn. Res.-B, Vol. 27B, No. 4, pp. 281-287, 1993.
- 4) 大口敬, 羽藤英二, 谷口正明, 吉井稔雄, 桑原雅夫, 森田綽之: 首都高速道路における経路選択行動に関する実態調査, 土木学会論文集, Vol. No.590/IV-39, pp. 87-95, 1998.
- 5) 宇野伸宏, 杉本一走, 飯田恭敬, 山田憲浩, 中川真治: 経路利用意向に基づく高速道路2ルート区間における情報提供効果分析, 土木計画学研究・論文集, Vol. Vol. 21, No. 4, pp. 941-949, 2004.
- 6) Fosgerau, M., Frejinger, E., and Karlstrom, A.: A link based network route choice model with unrestricted choice set, Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 56, pp. 70-80, 2013.
- 7) Akamatsu, T.: Cyclic flows, markov process and stochastic traffic assignment, Transportation Research Part B, Vol. 30, No. 5, pp. 369-386, 1996.
- 8) Rust, J.: Optimal Replacement of GMC Bus Engines: An Empirical Model of Harold Zurcher, Econometrica, Vol. 55, No. 5, pp. 999-1033, 1987.
- 9) Manski, C.: The structure of random utility models, Theory and Decision, Vol. 8, pp. 229-254, 1977.
- 10) 小林正人, 堀口良太, 花房比佐友, 小出勝亮: ネットワーク交通シミュレーションのための時間帯別 OD 交通量と確率経路選択モデルのロジット感度パラメータ一括推定プログラムの開発, 第32回交通工学研究発表会講演論文集, 2012.
- 11) 第5回東京都市圏物資流動調査: 東京都市圏の望ましい物流の実現に向け