

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 5 月 30 日現在

機関番号：17401

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23760491

研究課題名(和文) 貨物輸送の誘発交通も考慮した実用的な需要変動型予測モデルの構築と検証

研究課題名(英文) Development and validation of practical travel forecasting model with variable demand considering induced freight traffic

研究代表者

圓山 琢也 (Maruyama, Takuya)

熊本大学・政策創造研究教育センター・准教授

研究者番号：20361529

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円、(間接経費) 870,000円

研究成果の概要(和文)：既存の将来交通需要予測モデルの多くは、政策によって需要が変化しない固定需要型モデルであるという限界があった。従って、需要変動型のモデルの開発、特に貨物輸送のモデル開発が求められる。この背景に対して、本研究では、1) トラックドライバーのスマートフォンを利用した貨物車プローブ調査の実施・分析、2) 長期予測にも利用可能な需要変動型トリップ・チェーン均衡モデルの提案、3) 需要変動型モデルを利用した実用的な改善混雑料金設定問題の拡張という成果を挙げた。

研究成果の概要(英文)：Most of the existing travel demand forecasting model has limitation of fixed-demand assumption where demand is not changed by policies. Therefore, the development of variable demand model, especially for freight transport, is required. In this study, we 1) conducted and analyzed a freight-vehicles probe-survey using smartphones of truck drivers, 2) proposed a simple trip-chain-based network equilibrium model that is available for long-term forecasting, and 3) expanded the second best congestion pricing design problems with practical constraints using a variable demand model.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学、土木計画学・交通工学

キーワード：交通需要予測 都市交通計画 トリップ・チェーン ネットワーク均衡

1 . 研究開始当初の背景

混雑緩和を目的として道路などの交通施設整備を行うと、新たな交通需要を誘発し、結局混雑緩和にはつながらないという議論が古くからなされている。また、地球温暖化防止の観点からは、道路整備の効果として、自動車の走行速度が向上し、CO₂の排出が減少するという主張がある一方、道路整備に伴い新たに誘発する自動車交通も存在し、これによってCO₂排出量が増加するという指摘もある。これらを適切に分析可能な手法の確立が求められている。このほか、高速道路の料金大幅割引など交通サービスレベルが大きく変化する施策に対しては、OD交通量の変化を適切に分析する予測手法の確立が必要であるが、依然実務においては、固定OD表による交通量配分手法が利用されているのが実情である。交通需要推計手法の社会的信頼性・説明性を高めるためにも、誘発交通を適切に考慮した予測手法の構築と確立が急務の課題となっている。

研究代表者は、これまで旅客交通を中心とした誘発交通を考慮できる交通需要統合型ネットワーク均衡モデルを、東京都市圏を対象に構築し、現実に計画されている環状道路の整備効果の推定を旅客交通の誘発交通を考慮して行っている。さらに、この発展研究として、モデルから出力される誘発交通量の妥当性について、2時点のデータを用いた検証を行った。一方、土地利用-交通統合モデル、応用都市経済モデルなどを利用して、交通サービスレベルの変化による土地利用の変化による開発交通も含めたモデル化も試みられている。しかしながら、国内外の既存の研究において、貨物輸送の誘発交通を適切に表現しつつ、都市圏レベルの交通需要予測体系を構築した研究事例は限られており、それを実用化した例も限られている。

つまり、実務に適用できる需要変動型予測モデルの構築、特に貨物輸送の誘発交通も考慮したモデルの研究開発と検証が求められている。

2 . 研究の目的

貨物輸送の誘発交通に主な焦点を当てた需要変動型交通需要予測モデルの実用化に向けて、以下を行うことを当初の研究目的とした。

- (1) 荷主・運送業者など関係主体の行動変化に着目し、貨物輸送に関する誘発交通を分類・整理し、モデル化の検討を行う。
- (2) 旅客交通と貨物輸送の行動モデルの挙動を集計的に表現できる需要関数形の理論構築を目指し、その実証的な推定を行う。
- (3) 構築したモデルを実都市圏に適用し、検証する。

また、研究の進展に伴い以下の内容も研究目的に追加した。

- (4) トラックドライバー自身が保有するスマートフォンを利用した貨物車プローブ調査の実施と分析を行う。
- (5) 需要変動型モデルを利用した交通需要モデルを利用した、特色のある交通政策の評価、制度設計を行う。

3 . 研究の方法

(1) 関連分野の研究レビューと応用

貨物車の行動記述、物資輸送の記述方法について、サプライ・チェーン分析、ロジスティクス・システム・アナリシスなど関連分野の研究レビューを行った。

まず、ORの分野で蓄積があるVRP(貨物車配車配送計画)問題が、本研究課題と親和性が高いことが分かり、混雑課金分析において、貨物車のOD表が変化する方法論の構築を行った。具体的には、VRP問題と交通配分モデルを組み合わせたモデルであり、宇都宮都市圏の都心部に混雑課金を導入する交通政策を例に、このモデルによって計算される貨物配送行動の変化例を示した。

〔学会発表7〕。

また、車両再配置問題も物資輸送のミクロなモデル化に有効であり、自転車共同利用システムにおいて、その再配置を最適化するモデルを構築した〔学会発表9〕。

さらに東日本大震災の被災地において燃料不足が深刻となった問題を踏まえ、マクロな物資流動モデルの例として、大規模災害時の燃料輸送計画モデルを構築・分析した。具体的には長江剛志東北大学准教授らにより構築された時空間ネットワークを考慮した燃料輸送計画モデルを九州ネットワークで適用するためのデータの整理を行い、いくつかのシナリオ分析を行った〔学会発表6,8〕。

(2) 需要変動型利用者均衡配分モデルの高速アルゴリズムの検討

学術的には、需要変動型の利用者均衡配分モデルは、多数提案され定式化もされている。これを実用化するためには、実都市圏の大規模ネットワークでも短時間に均衡解を求めるアルゴリズムの開発が必要である。この開発に向けて、まず固定需要変動型利用者均衡配分モデルについて、最近発表されている高度な高速アルゴリズムの比較分析、収束条件の設定方法についての分析を進めた〔雑誌論文3〕。

(3) 拡大係数付与手法を用いた需要変動型トリップ・チェーン均衡モデルの拡張

研究代表者が開発済みのトリップ・チェイ

ン均衡モデルは、短期予測を前提としているが、ある仮定を設けることで長期予測にも適用可能となることを示した。また、2 時点の PT データからこの手法の妥当性を検証する方法論も示した。これは、研究目的(2)に対応した成果であり、詳細は 4 . (1)に示す。

(4)トラックドライバー自身が保有するスマートフォンを利用した貨物車プローブ調査の実施と分析

別途の研究費で開発したスマートフォンを用いた交通調査アプリを用いて、ドライバーの自身のスマートフォンを利用した貨物車プローブ調査を実施した。熊本都市圏の物流事業社 7 社に依頼し、各社 3 名のドライバーを対象に 5 日間の調査を実施した。車両走行軌跡のプローブデータの他、調査依頼時の留意点、調査参加者の意識などについて知見を得た。この調査は、熊本都市圏 PT 調査の補完調査として位置づけられており、研究成果が実用化された一例といえる。これは、研究目的(4)に対応した成果であり、詳細は 4 . (2)に示す。

(5) 需要変動型モデルを利用した次善混雑料金設定問題の拡張

研究代表者が開発済みのエリア・コードン課金などの次善混雑課金の数理的設定問題について、課金領域に制約を設けた場合の拡張を行った。課金領域が凸領域であるという制約を設けると、無制約の場合よりも最適な社会的余剰の上昇率は低下するが、現実的な領域が生成されることを示した。需要変動型予測モデルを利用した、実用的かつ効率的な交通計画の策定手法の一例を提案したといえる。これは、研究目的(5)に対応した成果であり、詳細は 4 . (3)に示す。

4 . 研究成果

(1) 拡大係数付与手法を用いた需要変動型トリップ・チェーン均衡モデルの拡張

需要変動型トリップ・チェーン均衡モデルを提案した Maruyama & Harata (2006), Maruyama & Sumalee (2007)は、以下のようなトリップ・チェーン需要関数を設定している。

$$D_n(c_n) = D_n^0 \exp \left[\rho \left(1.0 - \frac{c_n}{c_n^0} \right) \right]$$

ここで、 c_n と c_n^0 は、それぞれ均衡時と自由走行時のトリップ・チェーン n の最小コストであり、 D_n^0 は、潜在需要量である。交通費用に対する需要弾力性は、 $-\rho c_n / c_n^0$ で与えられる。ここで、 ρ は、次元なしの需要弾力性を表現するパラメータである。この直接需要関数型のモデルを利用することは、基本的に短期の需要予測のみを想定していること

になると考えられてきた。 D_n^0 を現況のマスターデータの拡大係数として与えるためである。

ここで、仮定を設けることで、このモデルが長期の予測にも利用できることを示そう。仮定とは、将来の属性別の利用者のトリップ・チェーン・パターンは、現時点のその属性のトリップ・チェーン・パターンと同一というものである。例えば、将来の高齢者のトリップ・チェーン・パターンは、現在の高齢者と同様と想定する。

ここで、ゾーン別の性年齢別(自動車免許の有無別)の将来人口予測は、コーホート要因法で比較的に実行可能である。仮定に従えば、各ゾーンの将来の性年齢別人口に適合するように拡大係数を付与することが原理的には可能となる。簡便に将来マスターデータを予測可能である。これは、今回の熊本都市圏 PT 調査の実務で実装されており、将来都市圏構造比較等に利用されている。

すなわち、トリップ・チェーン均衡モデルの将来潜在需要 D_n^0 と解釈すると、長期予測に利用可能なモデル体系が提案できる。

このモデル体系の妥当性は、複数時点の PT データによって検証されるべきである。例えば、手順で検証が行える。

対象は 1997(H09)年と 2012(H24)年の 2 時点の熊本 PT 調査で、C ゾーン区分で推計を行う。分析方法として、まず「(a)2012 年の人口に拡大したデータ」と「(b) 2012 年の人口を、1997 年の人口をコーホート法によって求め、その推計値を用いて拡大したデータ」を作成する。そして、(a)の手法によって得られた交通量に対して、(b)で求めた交通量の推計値を比較する。

上記成果は、研究代表者が発表した simple な需要変動型トリップ・チェーン均衡モデルを長期予測にも利用可能とするものであり、その適用性を大幅に広げた価値がある。また、この需要弾力性パラメータを荷主・運送業者のミクロな行動モデルと整合的に設定する方法論を開発できれば、本研究の当初の目的としていた貨物車輸送の誘発交通も考慮しつつ、実務にも利用可能なモデル体系が構築できる。

(2)トラックドライバー自身が保有するスマートフォンを利用した貨物車プローブ調査の実施と分析

運送業者の行動を記述するモデルの構築には、その行動データを収集する方法論の構築が必要である。既存の道路交通センサスなどの交通調査は、紙に行動を記録してもらう必要があり、一日当たりのトリップ数の多い貨物移動については、調査者参加者の負担が特に大きいという問題があった。それに対して、GPS 機器などを利用したプローブ調査が開発されてきたが、GPS 機器の配布にコストがかかるといった課題も残されていた。それに

対して、近年急速に普及が進むスマートフォンのGPS機能を利用した、スマホ・アプリ型の調査が提案されている。本研究でもそのスマホ・アプリ型の調査を実施し、その有効性と課題を整理した。貨物車ドライバー個人所有のスマホを利用した調査は、筆者の知り他に例がなく、その課題等を明らかにすることは重要である。

調査は、熊本都市圏PT調査の補完調査の一つとして実施され、1) 物流車両車籍調査、2) 調査依頼企業訪問、3) スマホ調査実施、4) 参加企業・調査参加者アンケート実施、の順序で行われた。

その結果、以下の様な知見を得た。

1. 調査依頼を行う際には、電話依頼などではなく、直接企業に赴き、調査方法が業務の負担にならないこと、調査で得られるデータがどのような政策に生かされるかなどをしっかりと伝えることが重要である。
2. 物流事業者に調査協力を促す際には、行政やトラック協会からの依頼が効果的である。
3. 事業所は調査に対して、ドライバーへの負担を懸念している様子だが、スマホ調査のように調査手法をより単純化し、ドライバーへの負担を最小限にすることで、事業所が感じる抵抗も少なくなる可能性を示した。
4. 調査に対する抵抗を感じた人は少なかった。抵抗を感じた人は、自分のスマホを使用することへの抵抗、行動軌跡が詳細に記録されることへの抵抗を感じている。
5. ドライバーとしては、謝礼なしの調査には参加したくない傾向がみられ、少なくともドライバーだけには謝礼を進呈する必要があると考えられる。

(3) 需要変動型モデルを利用した次善混雑料金設定問題の拡張〔雑誌論文1〕

コードン課金・エリア課金は、代表的な次善混雑課金政策であり、その最適設計手法の開発は重要な研究課題である。しかし、既存の最適化手法は、計算中の領域の形状制約が困難なため、計算結果の出力値が非現実的な領域になることがある。また、既存手法は課金領域の中心位置を含めた最適化を想定し

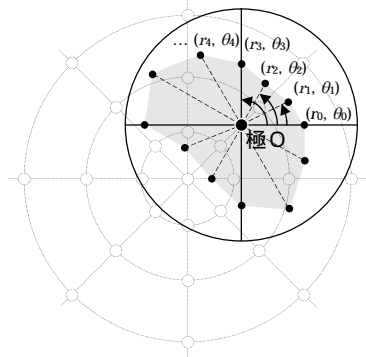


図-1 極座標成分による課金領域の表現

ておらず、課金領域の中心を人為的に設定す

る必要がある。本研究は、課金領域の形状制約と中心位置の最適化が可能な新たな計算法を構築した。この計算法は、課金領域の表現とその最適化の過程において、計算幾何学の基礎的な手法を利用している。また、遺伝的アルゴリズムとの高い親和性を有した設計となっており、複数課金領域の最適化も実行できる特徴がある。

図-1は、本研究で利用した極座標系による課金領域の表現例である。現実的な領域として、本研究では、課金領域が凸領域であることを条件として、分析を進めた。

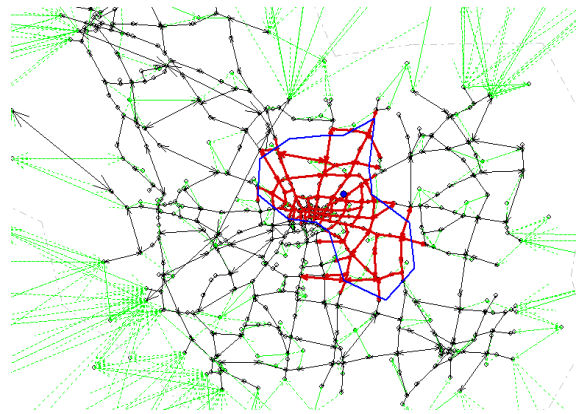


図-2 形状制約無しエリア最適課金領域

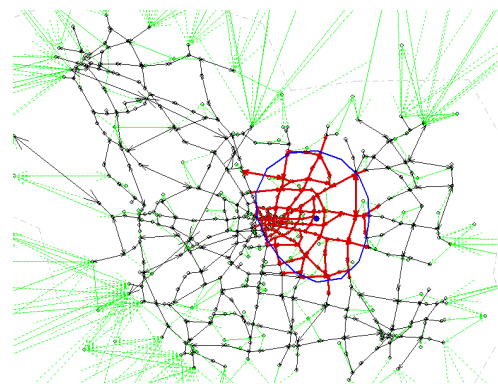


図-3 形状制限を設けたエリア課金の最適領域

図-2は、形状制約がない場合のエリア課金の最適領域、図-3は、凸領域という形状制約を設けた場合の最適領域の一例である。形状制約をもうけることで、より現実的で実用的な課金制度の提案が可能となっている。なお、制約を設けない場合は社会的余剰の上昇率は約156%、制約ありの場合は約132%となっている。

また、提案法の拡張によって複数課金領域の最適化を行う手法を開発した。実都市において、2つの領域を設定して行った最適設計の結果、単一課金領域時よりも社会的余剰が上昇する例を示した。

混雑課金に関する研究は、世界各地で実施されているが、領域の形状制約に着目した例は少なく、本研究成果は貴重な成果と言える。今後の展望としては、(2)の方法で収集した

データを集計的に表現する (1)の需要弾力性パラメータを推定し, (3)の次善混雑料金設定問題を貨物車の変動需要を考慮しながら実施するという展開がありうる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計 3 件)

1) 高木良太, 円山琢也, 溝上章志: 混雑課金領域の形状制約を考慮した最適設計手法の構築と適用, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 70, No. 1, pp. 88-101, 2014. doi: 10.2208/jscejpm.70.88 (査読有)

2) 円山琢也, 佐藤嘉洋, 野原浩大朗: 熊本都市圏 PT 調査と連携したスマートフォン型交通調査の活動紹介, 熊本大学政策研究, Vol. 5, pp.41-52, 2014.3. (査読なし)

3) Inoue, S. and Maruyama, T.: Computational experience on advanced algorithms for user equilibrium traffic assignment problem and its convergence error, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, Vol. 43, 2012, pp. 445-456, doi: 10.1016/j.sbspro.2012.04.118 (査読有)

〔学会発表〕(計 9 件)

1) Maruyama, T. and Nakamura, S.: Truck floating car survey trial using drivers' smartphone, The Fifth International Conference on Transportation and Logistics (T-LOG2014), 2014.7.28-30, バンコク, タイ.(予定)

2) 中村賢史, 野原浩大朗, 佐藤嘉洋, 円山琢也: スマホ・アプリを利用した貨物車プローブ調査の結果速報, 平成 25 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, IV-26, pp.549-550, 2014.3.8.福岡大学, 福岡.

3) Maruyama, T., Takaki, R. and Mizokami, S.: Incorporating computational geometry into second-best congestion pricing design problem: algorithm development and applications, presented at Transportation Research Board 93rd Annual Meeting, P14-6301, 2014.1.13, Washington D.C. 米国,

4) 円山琢也, 高木良太, 溝上章志: 混雑課金領域の形状制約を考慮した最適設計手法の構築・適用と展開, 応用地域学会(ARSC) 第 27 回研究発表会, 2013.12.14. 京都大学, 京都府,

5) 富士祥輝, 円山琢也: 有料道路複数回利用時の特別割引制度の評価モデル: 非加法型ト

リップチェーン交通均衡モデルの拡張, 第 48 回土木計画学研究発表会・講演集, #P38, 2013.11.3. 大阪市立大学, 大阪府

6) 孫学強, 円山琢也, 高木良太: 貨物車配送経路計画問題の混雑課金政策分析への適用, 平成 24 年度土木学会西部支部研究発表会講演概要集, IV-11, pp. 571-572, 2013.3.9.熊本大学, 熊本県.

7) Maruyama, T., Nakamura, M., Xueqiang, S. and Nagae, T.: A Time-Space Network Model for Efficient Fuel Supply in Large-Scale Disaster: Preliminary Case Study in Kyushu Island, presented at The 7th International Joint Seminar on Current Transportation Issues, pp.183-190, University of Seoul, Korea, August 28, 2012.

8) 中村真之, 孫学強, 円山琢也, 長江剛志: 九州における大規模災害時の燃料輸送計画モデルのためのデータの整備と試算, 平成 23 年度土木学会西部支部研究発表会, IV-22, 2012.3.3. 鹿児島大学, 鹿児島県

9) 寺本亮太, 高木良太, 円山琢也, 溝上章志: 自転車共同利用システムの車両再配置モデルに関する研究, 平成 23 年度土木学会西部支部研究発表会. IV-51, 2012.3.3. 鹿児島大学, 鹿児島県

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)
なし

○取得状況(計 0 件)
なし

〔その他〕

円山研究室ホームページ

<http://www.cps.kumamoto-u.ac.jp/center/maru/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

円山 琢也 (MARUYAMA Takuya)

熊本大学・政策創造研究教育センター・准教授

研究者番号: 20361529