

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

田名部 淳¹・力石 真²・大口 敬³

¹正会員 株式会社地域未来研究所 (〒530-0003 大阪府大阪市北区堂島 1-5-17)

E-mail: tanabe@refrec.jp

²正会員 広島大学大学院 准教授 国際協力研究科 (〒739-8529 広島県東広島市鏡山 1-5-1)

E-mail: chikaraishim@hiroshima-u.ac.jp

³フェロー会員 東京大学 教授 生産技術研究所 (〒153-8505 東京都目黒区駒場 4-6-1)

E-mail: takog@iis.u-tokyo.ac.jp

首都圏では環状系の高速道路ネットワークの整備が着々と進められている。圏央道など放射系の国幹道を繋ぐ環状系高速道路ネットワークの整備によって、利用者の経路選択の余地は大きく広がる。今後、首都圏における高速道路ネットワークの有効活用を図るためには、交通状況に依存しない固定的な料金施策に加えて、混雑状況や突発事象発生状況に応じて柔軟に運用可能なダイナミックな交通施策が必要である。本研究では、各種交通施策への適用することを念頭に、貨物車の発生集中が多いエリアにおける交通実態を商用車プローブデータを用いて集計・整理するとともに、先行研究で提案した Recursive Logit モデルを用いて貨物車の経路選択行動の再現性を検証した。

Key Words: route choice, recursive logit model, freight traffic, Tokyo metropolitan area

1. はじめに

首都圏では環状系の高速道路ネットワークの整備が着々と進められている。2015年2月には首都高速道路中央環状線が全線供用されるとともに、順次整備が進められていた圏央道も2017年2月に境古河 IC からつくば中央 IC までが供用され、東名高速から常磐道までが接続された。また、外環道についても2018年には三郷南～高谷 JCT が供用される予定である。

放射系の国幹道を繋ぐ環状系高速道路ネットワークの整備によって、利用者の経路選択の余地は大きく広がる。混雑区間を避けて、交通容量に比較的余裕がある経路に迂回するような利用は、高速道路ネットワーク全体のパフォーマンスを向上させる。そのための具体的な施策として、圏央道における ETC2.0 割引や首都高速道路における都心流入割引といった料金施策が実施されているところである。しかしながら、現時点における料金施策は交通状況に依存しない固定的なものである。高速道路ネットワークのパフォーマンスを更に高めるためには、混雑状況や突発事象発生状況に応じて柔軟に運用可能なダイナミックな交通施策が必要であると言える。

このような交通施策の有効性を検証するためには、施

策に対する利用者の交通行動を表現可能な評価ツールが必要不可欠である。この評価ツールにおいては、交通施策に応じて変化する利用者の経路選択行動を表現できるモデルが肝となることは言を俟たない。特に、都心部の環境改善と混雑緩和を図る観点から、大型貨物車を適切に環状道路へ誘導するような交通施策が求められていることを踏まえると、普通車とは異なる大型車の交通行動を再現できる経路選択モデル構築が必要である。

以上のような認識のもと、筆者らは先行研究において貨物車の経路選択行動を記述する Recursive Logit モデル¹⁾を提案している²⁾。本研究では、首都圏において貨物車の発生集中が多いエリアを対象として、その交通実態を商用車プローブデータを用いて集計・整理するとともに、先行研究で提案したモデルを用いて貨物車の経路選択行動の再現性を検証する。

2. 分析対象エリアの貨物車交通特性

(1) 対象ゾーン

首都圏における貨物車の交通特性を把握するため、平成22年道路交通センサス OD 調査結果から普通貨物

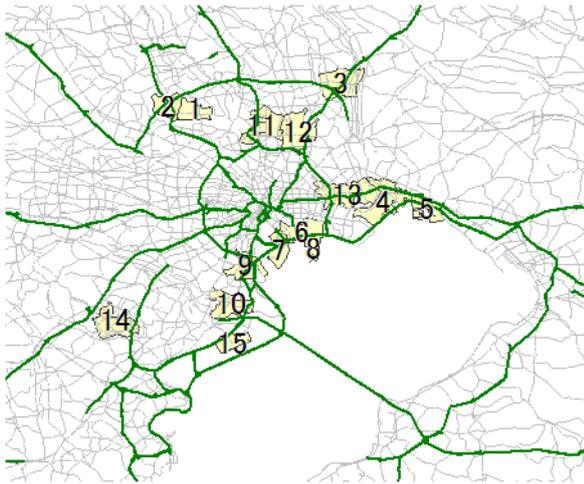


図-1 分析対象エリア

車の発生集中量が多い 15 ゾーンを選定して分析対象とした (図-1 参照)。バリエアに位置するゾーンが多く選定されているが、戸田市 1 区、戸田市 2 区、三郷市 1 区、横浜市都筑区 2 区など高速道路の沿道に位置する内陸部のゾーンも含まれている。

(2) 分析に用いたプローブデータ

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、終点が対象とする 15 ゾーンとなっているトリップデータを抽出して分析に用いることとした。

(3) 対象ゾーン集中交通の特性

対象ゾーンに集中する貨物車トリップの交通特性を商用車プローブを用いて整理した。

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・精度評価に耐えるだけのサンプル数が確保できていると考えられる (図-2 参照)。

次に、起終点間で利用した経路の道路種別を走行台キロベースで集計した結果を図-3 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

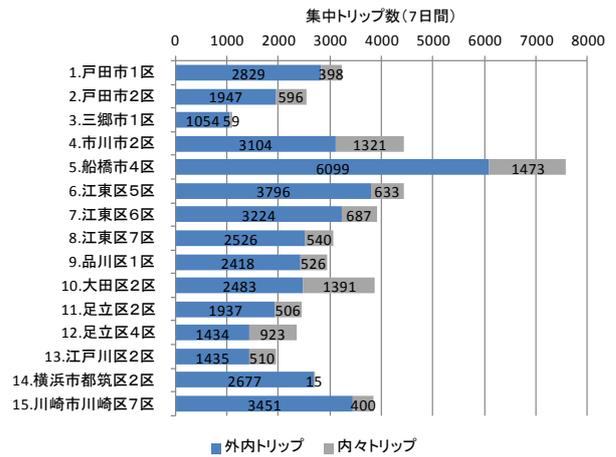


図-2 ゾーン別集中交通量

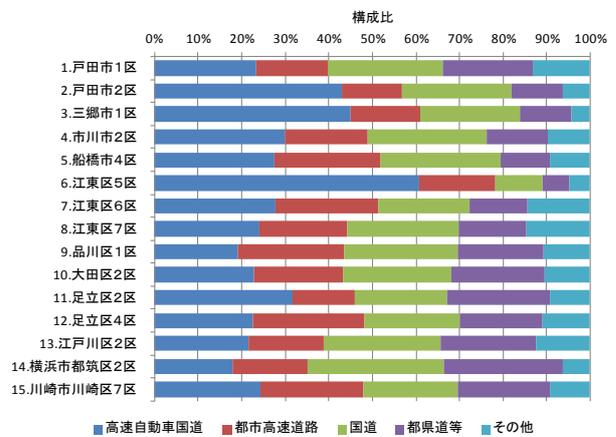


図-3 ゾーン別道路種別別走行台キロ構成比

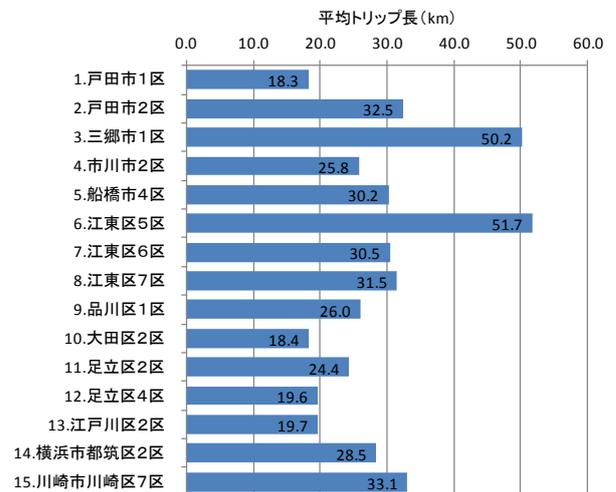


図-4 ゾーン別平均トリップ長 (ゾーン内々除く)

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-4 である。平均トリップ長が

表-1 Recursive logitモデル構築の枠組み

項目	内容
対象ゾーン	H22 道路交通センサ普通貨物 OD 発生集中量上位 15 ゾーン
対象トリップ	リンク選択数 50 以上のトリップのみを対象 (計 23,249 トリップ, 2,436,014 リンク選択)
対象ネットワーク	図-1 参照 (計 256,623 リンク)
リンク旅行時間	民間プローブ 10 時台の平均旅行時間
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-5 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

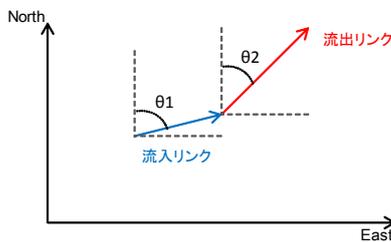


図-5 リンク間角度の定義

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が確認できた。

3. 経路選択モデルのパラメータ推定結果

筆者らは先行研究において、Fosgerau et al.によって提案された選択肢を列挙する必要のない Recursive logit モデルを用いて貨物車の経路選択モデルを構築している。本研究では、先行研究で構築したモデルのフレームワークはそのままに (Recursive logit モデルの詳細については参考文献 1 を参照のこと)、2 章で触れた商用車プローブデータを用いてパラメータを再推定した。

再推定の枠組みは表-1 に示すとおりである。対象ゾーンに集中するトリップのうち、リンク選択数が少ないものは分析対象外とする。最終的にパラメータ推定に用いたトリップ数は 23,249 トリップ、リンク選択回数

表-2 パラメータ推定結果

	param	t-value
移動費用 (100 円)	-2.552	-2013.3
移動時間 (分)	-0.611	-668.0
U ターンダミー	-0.252	-4.65
右折ダミー	-0.202	-50.50
左折ダミー	-0.990	-220.1
リンク数コスト項	-0.341	-920.6
サンプル数 (トリップ数)	23,249	
サンプル数 (link 選択数)	2,436,014	
最終対数尤度	-313,722	
時間価値[円/分]	23.94	
右折費用[回/円]	7.92	
左折費用[回/円]	38.79	

は 2,436,014 回となっており、十分なサンプル数が確保できている。リンク旅行時間については、民間プローブデータから集計した 10 時台の平均値を用いている (分析に用いた商用車プローブデータでは、時間帯別走行台キロが最大となるのが 10 時台であるため)。また、大型貨物車の経路選択に影響を与えるであろう右折・左折を判別するための角度に関しては、図-5 の $\theta_2 - \theta_1$ で定義した ($\theta_2 - \theta_1$ が 22.5~157.5 度の場合に右折, 185~337.5 度の場合に左折と判定)。また、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、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 (詳細は岡等³⁾を参照)。

以上の枠組みに基づいて推定したパラメータは表-2 に示すとおりである。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。今回の推計では、貨物車の時間価値は 23.94 円/分、右折費用は 7.92 円/回、左折費用は 38.79 円/回と推定された。

4. モデルの推定精度検証

(1) リンク交通量の予測式¹⁾

前章で構築したモデルを用いたリンク交通量の予測式を以下に示す。ここでは、対象道路ネットワーク上のリンク集合を A 、目的地ダミーリンクを d 、 A および d で構成されるリンク集合を $\tilde{A} (= A \cup d)$ とする。また、以下の要素を持つベクトル \mathbf{b} ($|\tilde{A}| \times 1$)、ベクトル \mathbf{z} ($|\tilde{A}| \times 1$)、行列 \mathbf{M} ($|\tilde{A}| \times |\tilde{A}|$) を定義する。

$$b_k = \begin{cases} 0 & \forall k \in A \\ 1 & k = d \end{cases} \quad (1)$$

表-3 推計リンク交通量と観測リンク交通量の相関

目的地 No.	ゾーン名	相関係数
1	戸田市 1 区	0.854
2	戸田市 2 区	0.795
3	三郷市 1 区	0.802
4	市川市 2 区	0.474
5	船橋市 4 区	0.677
6	江東区 5 区	0.013
7	江東区 6 区	0.689
8	江東区 7 区	0.701
9	品川区 1 区	0.505
10	大田区 2 区	0.732
11	足立区 2 区	0.738
12	足立区 4 区	0.820
13	江戸川区 2 区	0.653
14	横浜市都筑区 2 区	0.742
15	川崎市川崎区 7 区	0.688

$$z_k = \begin{cases} \sum_{a \in A} L_{ka} \cdot e^{v(a|k)+V(a)} & \forall k \in A \\ 1 & k = d \end{cases} \quad (2)$$

$$M_{ka} = \begin{cases} L_{ka} \cdot e^{v(a|k)} & a \in A(k) \\ 0 & k = d \end{cases} \quad (3)$$

ここで、 \mathbf{M} は、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 $\exp(v(a|k))$ を要素に持つ行列であり、 \mathbf{z} は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である。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ていることから、 $\mathbf{z} = \mathbf{Mz} + \mathbf{b}$ と定義でき、従って、 \mathbf{z} は以下の逆行列を計算することにより求められる。

$$\mathbf{z} = (\mathbf{I} - \mathbf{M})^{-1}\mathbf{b} \quad (4)$$

マルコフ性を仮定する Recursive logit モデルの特徴から、目的地を特定の場所に固定した場合、リンク選択確率は出発地とは独立して定義される。従って、リンク k から次のリンクへの推移確率（リンク選択確率） \mathbf{P}_k は以下の式により求められる。

$$\mathbf{P}_k = \frac{\mathbf{M}_k \cdot \mathbf{z}^T}{\mathbf{M}_k \mathbf{z}} \quad (5)$$

ここで \mathbf{M}_k は \mathbf{M} の k 行目ベクトルである。さらに、リンク a におけるリンク交通量を $F(a)$ 、リンク a を出発地とする交通量（発生交通量。ただし目的地は d ）を $G(a)$ とすると、 $F(a) = G(a) + \sum_{k \in A} P(a|k)F(k)$ と記述できることから、リンク交通量は以下の式で求められる。

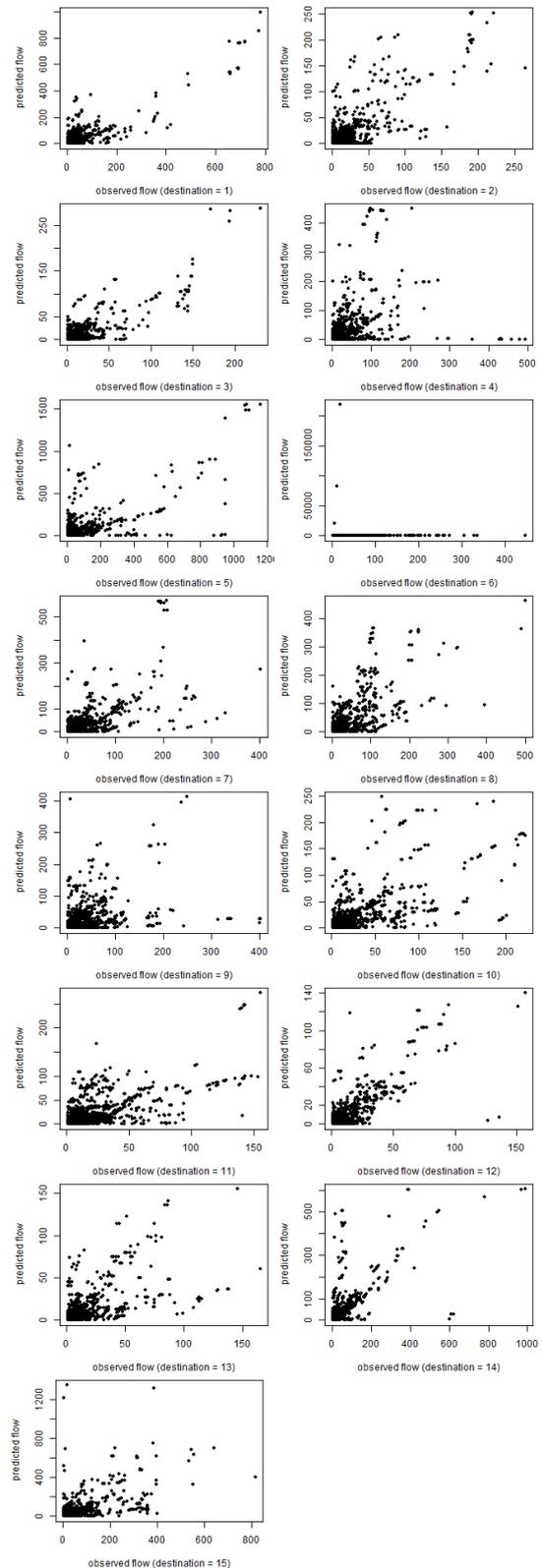


図-6 推計リンク交通量と観測リンク交通量のプロット図

$$\mathbf{F} = (\mathbf{I} - \mathbf{P}^T)^{-1}\mathbf{G} \quad (6)$$

(2) 推計精度検証結果

表-2 に示すパラメータと式(6)を用いて推計したリンク交通量と商用車プローブデータから集計した観測リンク交通量の相関をとったのが表-3 である。また、それ

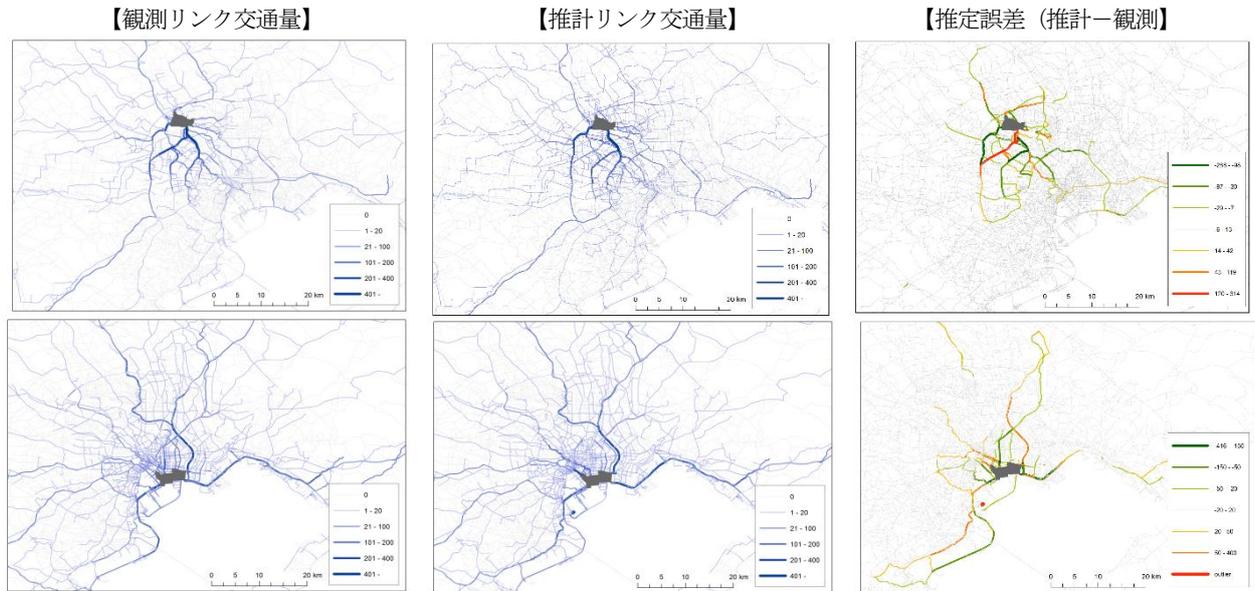


図-7 推計リンク交通量と観測リンク交通量の比較 (上：戸田市1区, 下：江東区5区)



図-8 サイクリックの発生状況 (江東区5区)

それぞれの交通量をプロットした結果を図-6 に示す。さらに、戸田市1区と江東区5区についてネットワーク上に交通量を図示したものを図-7 に示す。

推計値と観測値の相関係数は多くのケースで 0.7 前後であるが、江東区5区のみ極めて低い値となっている。これは、コストの低いサイクリックな経路が形成されてしまっていることに起因する(図-8 参照)。サイクリックが発生してしまっている箇所を除けば、推計精度は他のケースと大差ない。これは、図-7 下段のリンク交通量図で、首都高速道路川口線や三郷線から中央環状線を経由する経路、あるいは東関道から湾岸線を経由して目的地に至る経路が再現できている点からも明らかである。

以上のように、構築したモデルは貨物車の経路選択行動を比較的精度良く推計できており、種々の交通施策の評価ツールへの組み込みに耐えうる精度を有していると言える。

5. おわりに

本研究では、貨物車の交通実態を商用車プローブデータを用いて集計・整理するとともに、先行研究で提案した Recursive Logit モデルのパラメータを改めて推定した。更に、推定したモデルを用いてリンク交通量を推計して貨物車の経路選択行動の再現性を検証した。推計値と観測値の相関係数は多くのケースで 0.7 前後を示しており、十分な精度を有していることを確認できた。今後は、圏央道利用を含むような広域的な OD への適用・評価を行い、モデルの一般性を検証する必要がある。

謝辞：本研究は、新道路技術会議「道路政策の質の向上に資する技術研究開発：首都圏3環状道路の効率的な運用に関する研究開発(代表：大口敬)」の一環として実施したものである。関係各位に謝意を表す。

参考文献

- 1) 力石真, 田名部淳, 大口敬: 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, 第 54 回土木計画学研究・講演集, 2016.
- 2) Fosgerau M., Frejinger E., Karlstrom A.: A link based network route choice model with unrestricted choice set, Transportation Research Part B, Vol. 56, pp. 70-80, 2013.
- 3) 岡英紀, 力石真, 田名部淳, 大口敬: 車種を考慮した貨物車経路選択行動の分析, 第 55 回土木計画学研究・講演集, 2017. (投稿中)

A Consideration on Freight Traffic Flow on the Tokyo Metropolitan Urban Expressway Networks Using Probe Data

Jun TANABE, Makoto CHIKARAISHI and Takashi OGUCHI