

東京都市圏物資流動調査を用いた大型貨物車走行経路のモデル分析*

Large Size Truck's Route Choice Modeling by Tokyo Metropolitan Freight Survey*

兵藤 哲朗**・シドニー シュライナー***・高橋 洋二**
By Tetsuro HYODO**, Sideney A.Schreiner Jr.*** and Yoji TAKAHASHI**

1. はじめに

アジアの経済・産業基盤の充実に伴い、わが国では、工場の海外移転や、それに伴う Supply Chain Management の発達など、国際物流の目覚ましい発展が続いている。それに加えて、平成5年に設計自動車荷重が20トンから25トンに引き上げられたこともあり、国内の貨物が大型化する傾向にある。しかし橋梁やトンネルなど、重量や高さに制約のある箇所も多く、首都圏でも多くの「Missing Link」が存在することから、今後、重点的に大型貨物車の走行ルートに関わる容量増大が喫緊の課題となっている。これらの背景のもと、本研究では大型貨物車の走行経路の特性に関する定量分析を行う。

2. 既存研究と本研究の位置づけ

トラックの大型化と国際物流の増大に伴い、わが国では大型の海上コンテナの流動実態を詳細に調べたり³⁾⁶⁾、重さや高さ超過で走行不可能なボトルネック箇所を既存統計で丹念に調べ上げる試み⁵⁾が多くなされつつある。しかし、重さ・高さの走行制約がある大型トラックに対し、その走行経路を道路条件などを加味して推計する方法論は未だ十分検討されていないといえよう。

これは交通行動分析の枠組みでは「経路選択モデル」として扱われる分野であるが、本研究では、様々な経路分析方法論の中から、実経路を直接表現する「重複率最大化モデル」¹⁾⁴⁾⁷⁾を取り上げ、その適用性を吟味することとした。重複率最大化モデルを選んだ理由としては、①モデルの適用が自転車経路データに止まっており、自動車交通への適用可能性が未確認であること、②モデルの推定アルゴリズムが簡単であり、実用性に富むこと、③他の経路選択モデルに比して選択肢集合を設定する必要がなく、選択肢集合形成に関わる解のブレがないことがあげられる。

3. 大型貨物車走行データとネットワークデータの概要

3.1 調査データの概略

本研究で用いる大型貨物車走行ルートデータは、平成15年度実施の東京都市圏物資流動調査（東京都市圏交通計画協議会実施）の付帯調査の一つである、大型貨物車

走行ルート調査に基づく。本研究の分析対象として、同調査データより、特殊大型車両、海上コンテナ車、10トン以上の貨物車を抜粋した。合計598サンプルのデータが得られた。また以降、便宜上、サンプルの車種を大別し、特殊大型車両及び海上コンテナ車を「特殊車」、10トン以上の貨物車を「貨物車」として分類する。

次に、車種別の高速道路利用（トリップ中の高速道路利用の有無）を示す（図3-1）。半数以上のサンプルが高速道路を利用していることがわかる。しかし車種別に見ると、特殊車では高速利用が半数以下であるのに対し、貨物車では約60%のサンプルが高速利用である。

また、走行ルートデータサンプルの走行距離と走行時間について簡単な統計値を表3-1にまとめた。ただし、ここで用いる走行時間は、走行リンクの配分結果（H10年東京PTにおける配分計算結果）から得られた所要時間であり、サンプルの実所要時間ではない。なお、使用している道路ネットワークデータは東京都市圏内（東京都、埼玉県、神奈川県、千葉県、茨城県）に範囲が限定されるので、その範囲外の走行データは省かれている。

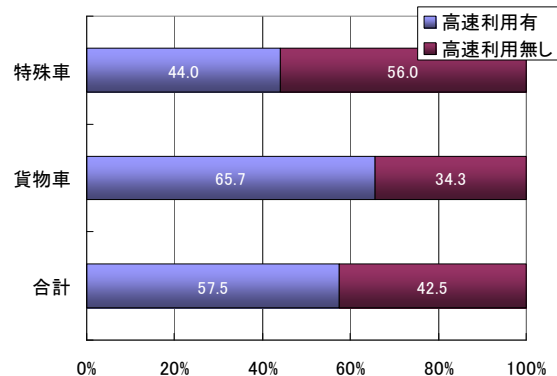


図3-1 走行ルートサンプルデータ高速道路利用率

表3-1 サンプルデータの走行距離と所要時間

	距離 [Km]	時間 [分]
平均	30.11	57.02
最小値	2.72	4.09
最大値	183.75	284.78

配分結果とサンプル経路データをマッチングすることにより、本研究では多くのリンク属性を分析に用いることができる。用意されたリンク属性は、リンク距離、料金（高速道路、有料道路）、道路種類（有料道路、無料道路、高速道路、一般道）、地域区分（市街地、国道16号

*キーワード：大型貨物車、経路選択、重複率最大化モデル

**正会員，工博，東京海洋大学流通情報工学科

(〒135-8533 東京都江東区越中島2-1-6)

***学生員，東京海洋大学大学院博士課程

線以内、環状7号線以内、港湾地区)、リンク規制速度、リンク旅行速度(平成10年パーソントリップ調査の配分計算結果より)、リンク車線数、車道幅員、各種指定道路(重さ指定道路、高さ指定道路)であった。

本研究では大型貨物車走行のボトルネックとなる、重量や高さの制約リンクを考慮した分析を意図している。そのため、現段階の首都圏における重さ指定道路、高さ指定道路の情報をネットワークデータに取り込むこととした。各々の分布は図3-2、3-3の通りである。比較から例えば、高さ指定道路に比べ、重さ指定道路ネットワークが広域をカバーしていることが分かる。



図3-2 重さ指定道路の分布



図3-3 高さ指定道路の分布

3.2 走行特性の把握

まず得られたサンプルデータと、道路ネットワークデータを用いて、迂回率の算出を行った。迂回率の算出では、最短走行距離に対する迂回と、最小走行時間に対する迂回率を計算した。走行距離・走行時間を算出する際に用いた値は、走行ルートデータと道路ネットワークデータのマッチングを行い、リンク属性(リンク距離、リンク平均旅行速度)より算出した計算値である。各サンプルの迂回率を、走行距離で重み付けをし、全体の平均迂回率を算出したところ、距離の迂回率は1.140、時間の迂回率は1.290であった。また、598サンプルの迂回率の度数分布を調べたところ、距離については迂回率1.00～

1.10の範囲内に約80%のサンプルが集中しており、時間に関しては、迂回率1.00～1.50の範囲内に約80%のサンプルが集中していた。距離の迂回率に比べ時間の迂回率の分散が大きかったが、これは時間最短経路に高速道路の有無が大きく関わり、支払料金意思額その決定に寄与することに一因があると考えられる。それがまさに、経路選択要因の一つであることから、時間や費用を考慮した経路選択モデルの必要性をここからも伺うことができる。以下に、車種別、高速利用有無における迂回率をまとめる(表3-2)。

表3-2 迂回率算出結果

	全体	特殊車	貨物車	高速利用有	高速利用無
距離迂回	1.140	1.100	1.157	1.163	1.097
時間迂回	1.290	1.347	1.263	1.173	1.462

4. 重複率最大化モデルの検討

ここで取り上げる「重複率最大化」モデルとは、過去、鈴木ら⁷⁾やHyodo *et al.*¹⁾、笹井ら⁴⁾において自転車経路選択モデルの一つとして提案されてきたモデルを指す。同モデルは選択枝集合を扱わず、認知最短経路と実経路の重複(overlapping)率が最大となるように、リンク距離関数を操作する方法論である。本章では、モデルの基礎式を再掲し、大型車経路選択への適用を前提としたモデルの改良方法について説明する。

4.1 重複率最大化モデルの定式化

まず、変数の基礎的な定義も兼ねて、3.2で紹介した迂回率の算出式を示す。 n 番目サンプルの実利用経路延長 X_n を次式とする。

$$X_n = \sum_a \delta_{na} \cdot l_a \quad (1)$$

ここで δ_a は n 番目サンプルが a 番目リンクを通過する際に1、それ以外に0をとるダミー変数である。 l_a は a 番目リンクのリンク長である。このとき、 n 番目サンプルの迂回率は次式で表される。

$$DT_n = \frac{X_n}{\sum_a \delta_{na}^{**} \cdot l_a} \quad (2)$$

δ_{na}^{**} は n 番目サンプルの出発地と目的地の最短距離経路に a 番目リンクが含まれていれば1、そうでなければ0をとるダミー変数である。迂回率は n 番目サンプルの実利用経路延長を計算機によって算出される n 番目サンプルの最短距離経路で除した値となる。

ここで、各サンプルの利用経路延長を重みとして、サンプル全体の重み付き迂回率を以下のように定義する。

$$DT = \frac{\sum_n X_n \times DT_n}{\sum_n X_n} \quad (3)$$

つぎに「認識距離」の概念を導入する。認識距離とは運転者が実際に感じていると想定した距離のことである。

運転者は必ずしも目的地までの最短経路を通行するとは限らず、車線数、車道の幅員、交通規制、高速道路、交通渋滞状況等の様々な要因の影響を受けて走行経路を選択していると考えられる。すなわち運転者は走行経路選択の際に、実距離ではなく、状況に応じて変化する認識距離が最小となる経路を選ぶと仮定する。以下に認識距離の定式化について記す。

リンクの属性により認識される経路長が異なるという仮説に基づき、 a 番目のリンクの認識距離を以下の式で表現する。

$$l_a^*(\beta) = l_a \cdot \prod_k \beta_k^{z_{ak}} \quad (4)$$

ここで、 z_{ak} は a 番目リンクにおける k 番目属性変数（車線数、渋滞状況等）について条件を満たすときは 1、それ以外は 0 をとるダミー変数である。 β_k は k 番目属性にかかる未知パラメータである。この式は、リンク属性により認識されるリンク長が変化することを表す。例えば、過去の自転車経路選択モデルの例で言えば、広幅員道路や歩道を有するリンクの場合、 β 値は 0.8~0.9 程度の値が報告されていた⁴⁾。これは同条件を満たす場合、自転車利用者はそのリンク長を実際の 80~90% の距離と認知していることに相当する。また、全てのパラメータの値が 1 の場合は、認知距離は実距離に一致する。

4.2 大型貨物車経路選択モデルへの展開

既存の重複率最大化モデルは、自転車経路選択への適用に止まっていたため、リンク長や歩道有無、道路幅員など極めて限られたリンク情報しか利用できなかった。しかし今回の大型車の調査では、配分結果に基づく種々のリンクデータが利用可能である。さらに、3.2 で確認したように、迂回率も距離と時間とでは大きく異なっており、道路料金や走行速度など、多様な変数が経路選択行動に影響を与えていることは自明である。そこで、本研究では式(4)で定義したリンク長 (l_a) を、一般化費用に置き換えることにより、従来型の経路選択モデルと同様、重複率最大化モデルを、多様な変数を取り込むことが可能な汎用性の高いモデル式に拡張することを試みる。

定式化は、リンク長の代わりに、一般化費用を用いることになるので、(4)式より、

$$GC_a^*(\beta) = (\text{Cost}_a + \omega \cdot \text{Time}_a) \cdot \prod_k \beta_k^{z_{ak}} \quad (5)$$

を新たな認識距離、もしくは認識一般化費用式とする。ここで、 GC_a^* は a 番目リンクを走行する際にかかる一般化費用 (Generalized Cost) を表している。 Cost_a は a 番目リンクを走行する際にかかる費用 (有料道路利用料金と燃料費の合計) である。燃料費の算出は、 a 番目リンク延長に対距離あたりの燃費を掛け合わせたものを燃料費としている。一般化費用に乗じられる項は、既存例と

同様で、 z_{ak} は a 番目リンクにおける k 番目属性変数 (車線数、渋滞状況等) について条件を満たすときは 1、それ以外は 0 をとるダミー変数であり、 β_k は k 番目属性にかかる未知パラメータである。 ω は時間価値であるが、本モデルでは、未知パラメータであり、モデルの推定結果から直接その値を得ることができる。

なお、燃料費算出方法については次の数値を用いた。具体的な値として、燃費：0.259[L/km] (国土交通省、平成 15 年度分自動車輸送統計年報、「1km あたり燃料消費量」より)、燃料費：106[円/L] (2005 年 11 月現在、軽油価格より) として、これらをリンク距離に掛け合わせることで燃料費の算出を行っている。

重複率最大化モデルのパラメータ推定方法は、モデルの主旨から、実利用経路とモデルで再現される経路との重複率が最大になるようにパラメータを定めることになる。ここで、モデルで再現される経路とは、認識距離もしくは認識一般化費用が最小となる経路である。以下、推定式について述べる。

パラメータを推定する場合の目的関数は、実経路と最短認識距離 (もしくは一般化費用) 経路の、距離重み付き重複率である。そこで次式のような n 番目サンプルの重複率を定義する。

$$D_n(\omega, \beta) = \frac{\sum_a \delta_{na} \cdot \delta_{na}^*(\omega, \beta) \cdot l_a}{X_n} \quad (6)$$

ここで X_n は実際の走行経路長である。 $\delta_{na}^*(\omega, \beta)$ はパラメータ値が ω, β のとき、 n 番目サンプルの認識最短経路に a 番目リンクが含まれる場合に 1、それ以外のときは 0 をとるダミー変数である。ここで、式 (6) で示した重複率が大きい (1 に近づく) ほど、モデルにより再現される経路が実際の経路をよりの確に説明していることになる。そこで各サンプルの利用経路延長を重みとして、サンプル全体の重みつき重複率を次のように定義する。

$$D(\omega, \beta) = \frac{\sum_n X_n \cdot D_n(\omega, \beta)}{\sum_n X_n} = \frac{\sum_n \sum_a \delta_{na} \delta_{na}^*(\omega, \beta) l_a}{\sum_n X_n} \quad (7)$$

未知パラメータ (ω, β) は式 (7) を最大化するように求めればよい。しかし、一般的には最短経路などのネットワーク変数は離散的であるため、この重複率をパラメータで微分することは不可能であり、目的関数の勾配等を算出することはできない。そこで、パラメータの値を任意の区間で移動させ、それぞれのパラメータに対する重複率 ((7) 式の値) を算出し、目的関数の等高線図を作成し、重複率が最大となるパラメータを視認することが考えられる。また、パラメータ数が多くなる (3 変数以上) と、目的関数の等高線図も描けないため、この場合は遺伝的アルゴリズム (GA) を用いた方法を適用する¹⁾。

4.3 パラメータの推定

本稿では頁数の都合上、2変数のケースのみ紹介するが、分析は3変数以上でも行っている。

まず、基本モデルとして、時間価値パラメータ以外に、一変数のみを取り入れた、合計二変数モデルを推定した。用いた変数は3.1で述べた各種変数から、経路選択に影響を与えると考えられる代表的な6変数である。パラメータ値を変動させ、それに対応した目的関数値(式(7)の重み付き重複率)の代表的な等高線図を示す(図4-1)。なお、用いた時間価値の単位は[円/(分・台)]である。

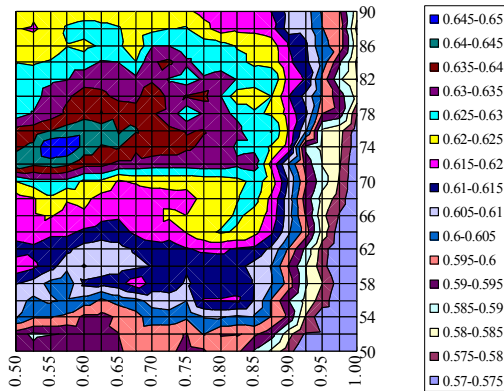


図4-1 時間価値(縦)と重さ指定ダミー(横)重複率

推定結果から、初期重複率(0.48151)に比して、十分な大きさの重複率が算出されており、モデルにより、実経路が再現されていることが確認できる。各モデルの最大重複率を与えるパラメータ値とその重複率を表4-2にまとめた。結果から、「重さ指定ダミー」を含んだモデルの説明力が最も高いことがわかる。また、時間価値パラメータは概ね75[円/分](=4500[円/時])程度を示すケースが多く、これは従来公表されている貨物自動車の時間価値(道路整備の費用対効果マニュアルなど)と大きな相違はない。「市街地ダミー」や「環状7号線内ダミー」は十分な説明力向上には結びついておらず、リンク変数に比して、面的な情報は大型車の経路選択に大きな影響を与えないことが推察されよう。

表4-2 2変数のパラメータ推定結果

モデル番号	変数名	パラメータ値	重複率
2-1	時間価値 [円/分]	74	0.64962
	重さ指定ダミー	0.550	
2-2	時間価値 [円/分]	88	0.63677
	高さ指定ダミー	0.775	
2-3	時間価値 [円/分]	102	0.63754
	4車線以上ダミー	0.725	
2-4	時間価値 [円/分]	58	0.64372
	高速道路ダミー	0.625	
2-5	時間価値 [円/分]	80	0.59173
	市街地ダミー	1.100	
2-6	時間価値 [円/分]	86	0.58515
	環7内側ダミー	0.900	

5. 東京都市圏におけるモデル適用事例

得られたモデルを用いて、本研究の目的である大型貨物車走行経路特性を踏まえた、首都圏の道路整備について定量的評価を試みる。用いたモデルは表4-2の「時間価値」「重さ指定道路」2変数を含む「2-1」モデルである。今回の東京都市圏物資流動調査では、事業所アンケートから、大型貨物車の搬入・搬出先が分かるため、それを用いた大型貨物車のOD表が、市区町村単位で作成されている。そこで、分析で用いた首都圏道路ネットワークに、本モデルを適用し、各ODペアをモデルによる最短認知経路に割り当てる計算を行った。頁数の都合上、結果の図を掲載できないが、本モデルを用いることにより、大型車特有の経路選択特性を加味した道路ネットワーク評価が可能になることが確認できた。詳細は発表時に紹介する。

6. おわりに

大型貨物車の走行経路について、従来最短距離や最小所要時間で経路推計を行っていたのに対し、本研究で検討した重複率最大化モデルを用いれば、リンクの属性(重さ指定道路、高さ指定道路など)に加えて、実データから推定される時間価値も含めた合理的な経路推計が行えることが示された。

謝辞：本分析に用いたデータは第4回東京都市圏物資流動調査に基づく。データ利用を許可頂いた東京都市圏交通計画協議会に謝意を表する次第である。また分析に協力頂いた松橋信幸氏(三菱電機情報ネットワーク)に深謝したい。

<参考文献>

- Hyodo, T., Suzuki, N. and Takahashi, K. (2000): "Modeling of Bicycle Route and Destination Choice Behavior for Bicycle Road Network Plan", TRR 1705, pp.70-76
- 秋田・小谷: "神戸・大阪港後背地における外貿コンテナの内陸部発着施設の分布特性に関する分析", 日本都市計画学会論文集, Vol.38-3, pp.367-372, 2003
- 秋田・小谷・松原・山本: "荷主の港湾選択要因と外貿コンテナ貨物の国内端末輸送実態の分析", 土木計画学研究・論文集, 20(3), pp.681-689, 2003
- 笹井・兵藤・鈴木・高橋 (2004): "自転車経路選択モデルの比較検討分析", 土木計画学研究・論文集, Vol.21, No.2, pp.597-606
- 柴崎(2005): "国際海上コンテナの国内輸送ネットワークにおける通行上の制約に関する分析と解消効果の試算", 運輸政策研究, 7(4), pp. 15-26
- 柴崎(2005): "港湾地域および背後圏における国際海上コンテナ用セミトレーラ連結車の流動状況の推察", 高速道路と自動車, 48(6), pp.20-31
- 鈴木・高橋・兵藤 (1998): "自転車走行環境に着目した鉄道端末自転車需要予測方法の提案", 交通工学, Vol.33, No.5, pp.13-21