

道路構造に着目した一般道における 大型貨物車の経路選択モデル

関谷 浩孝¹・萩野 保克²・剣持 健³・前田 雅人⁴・田名部 淳⁵

¹正会員 国土交通省国土技術政策総合研究所 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1)
E-mail: sekiya-h92tb@mlit.go.jp

²正会員 一般財団法人 計量計画研究所 (〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町2-9)
E-mail: yhagino@ibs.or.jp

³正会員 一般財団法人 計量計画研究所 (〒162-0845 東京都新宿区市谷本村町2-9)
E-mail: tkenmochi@ibs.or.jp

⁴正会員 株式会社 地域未来研究所 (〒530-0003 大阪市北区堂島1-5-17)
E-mail: maeda@refrec.jp

⁵正会員 株式会社 地域未来研究所 (〒530-0003 大阪市北区堂島1-5-17)
E-mail: tanabe@refrec.jp

輸送事業者へのヒアリング調査で把握した「経路選択時に考慮する事項」と「実際の走行経路」の分析結果から、道路の幅・車線数といった「単路部の構造規格」と「交差点の構造規格」が経路選択に与える影響が大きいことを明らかにした。この結果をもとに「車線数」及び「交差点の構造規格」を説明変数とする経路選択モデルを定式化し、重複率最大化モデルによりパラメータ推定を行った。「車線数のみを説明変数とするモデル」や「最小時間経路探索モデル」との比較を行うことにより、経路選択モデルで「交差点の構造規格」を考慮すると「正しく推計できる走行区間長」が1.8倍になるなど、経路の推計精度が向上することを定量的に示した。

Key Words : route choice behavior, route choice model, freight traffic, heavy vehicle

1. はじめに

2012年の中央自動車道笹子トンネルにおける天井版崩落事故が象徴するように、道路構造物の劣化や老朽化の問題が顕在化している。特に橋梁については、高度経済成長期に建設された多くの橋梁が間もなく寿命を迎えることから、今後、多大な修繕・更新(架替え)費用が必要になることが予測されている。橋梁の架替え理由の約7割^{補注}は「疲労損傷」であり¹⁾、この疲労損傷の要因は大型貨物車の「交通荷重」であることが既往研究^{2),3),4)}で明らかにされている。三木⁵⁾は、重量車両による交通荷重を把握することが疲労損傷の対策検討の基本的事項であることを指摘している。宮村⁶⁾は、道路インフラの健全な長寿命化には交通荷重の適正管理が最も重要であると述べている。

そこで、一般道の道路ネットワークに散在する多数の構造物にかかる交通荷重を推計する方法を考えてみる。これには、個々の車両の「重量」と「走行経路」の

情報が必要となる。表-1に示すように、ETC2.0サービスや商用車運行管理サービスなどのプローブ情報では、個々の車両について起終点間の「走行経路」を把握できるものの、「重量」を把握することができない。一方、全国道路・街路交通情勢調査の自動車起終点調査(以下「道路交通センサス OD 調査」という。)などでは、「走行時の積載重量」などを把握できるものの「走行経路」は不明である。ただし1日の輸送経路の起点、終点、立寄り箇所、利用した高速道路インターチェンジ名など、「走行経路上の点に関する情報」を把握できる。このため、経路選択モデルを用いることによりこれらの情報から走行経路を推計することが可能である。

表-1 交通荷重の推計に必要な情報

	プローブ情報	道路交通センサス OD 調査
車両重量	× 不明	◎ 走行時の積載重量など
走行経路	◎ 走行軌跡	× 不明(起終点など把握可) →モデルによる推計

経路選択モデルは、これまで多くの研究で提案されている^{7),8),9),10),11)}。しかし、構造物の疲労損傷への影響が大きい大型貨物車は一般的な車両と異なり、特に「折進のしやすい交差点」を選択するなど、道路構造が経路選択に与える影響が大きいと考える。このため本研究は、道路構造に着目して一般道における大型貨物車の経路選択特性を明らかにし、これに基づき経路選択モデルを構築することを目的とする。

2. 既往研究と本研究の位置づけ

大型貨物車の経路選択モデルに関しては秋田ら¹²⁾の研究がある。ここでは説明変数を「所要時間」「費用」に加え、「8時台までのトリップか否か」「コンテナを積載しているか否か」とし、神戸港を発着するコンテナ車の近距離トリップを対象に非集計ロジットモデルを用いて経路選択モデルを構築している。中野ら¹³⁾は、高速料金、時間、渋滞損失時間、重量及び空車ダミーを説明変数とする経路選択モデルを構築している。一般道に着目すると、車体の大きな大型貨物車は「幅の広い区間」や「折進のしやすい大きな交差点」といった「道路構造規格」が経路選択行動に与える影響が大きいと考える。しかし、上記の研究ではこれらが考慮されていない。兵藤ら¹⁴⁾は、第4回東京都圏物資流動調査¹⁵⁾における大型貨物車の走行経路調査の結果をもとに、走行区間が「重さ指定道路か否か」または「高さ指定道路か否か」を説明変数とした経路選択モデルを構築し、首都圏における道路整備の効果を評価している。このモデルでは「単路部の構造規格」が説明変数として用いられているものの、折進のしやすさといった「交差点の構造規格」が考慮されていない。萩野ら¹⁶⁾は、上記の説明変数に「折進障害のあるリンクか否か」を加えた経路選択モデルの推定を行っている。ところが、パラメータ推定に用いた経路情報は特殊車両通行許可申請時の経路データを用いており、申請経路と実際の走行経路が異なる可能性があるという研究上の課題を萩野らが指摘している。

これに対し本研究は、まず輸送事業者へのヒアリング調査で把握する「経路選択時に考慮する事項」と「実際の走行経路（以下「ヒアリング経路」という。）」の分析結果から、経路選択行動に影響を与える「道路構造」を明らかにする。そして、これらを説明変数とする経路選択モデルを定式化し、ヒアリング経路を用いてパラメータ推定を行う。さらに「商用車運行管理サービスで得られるプローブ経路」と比較することにより、経路選択モデルで「道路構造」を考慮することの効果を定量的に示す。

3. 道路ネットワークデータの作成

ヒアリング経路上の詳細な道路構造を把握するため、道路情報便覧¹⁷⁾に収録された情報をもとに道路ネットワークデータを作成した。道路情報便覧は、特殊車両の通行許可条件の判定に必要な道路構造について、次の情報を収録している：道路種別、車線数、区間長、幅員、曲線半径、上空障害に関する情報（トンネル内の外側線上の空間高さ等）、橋梁の制限重量、指定道路区分（重さ指定、高さ指定）、中央帯による分離の有無、交差点での折進のしやすさ等。対象は、車道幅員5.5m以上の道路及び特殊車両が通行する道路である。作成した道路ネットワークデータを図-1に示す。図-2に示すように、道路ネットワークデータでは、交差点内の全ての折進方向にリンク（以下「交差点リンク」という。）を設けた。交差点リンクには、表-2に示す「車両分類Ⅰの車両に対する通行許可条件」に基づき「折進のしやすさを表す指標（以下「交差点ランク」という。）」を設定した。例えば、ランクAの交差点は十分なスペースを有し、車両分類Ⅰの車両は特別な通行許可条件を受けることなく折進することができる。なお、車両分類は図-3のとおり車種と車長により規定され、一般的な40フィートコンテナ車（車長16.5m程度）は車両分類Ⅰに属する。通行許可条件は、交差点を折進する際の走行軌跡をもとに、表-3のとおり車両分類毎に設定されている。

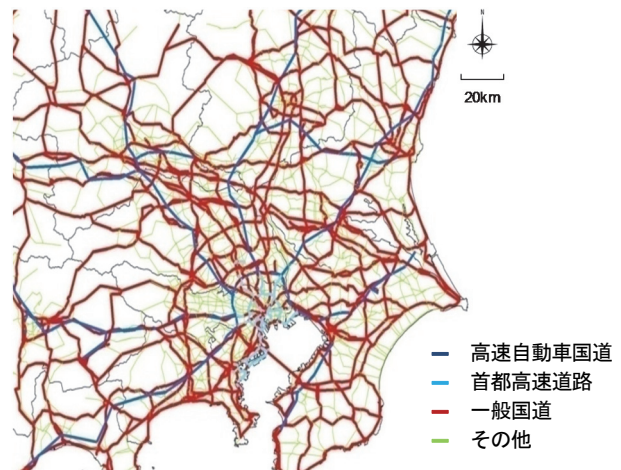
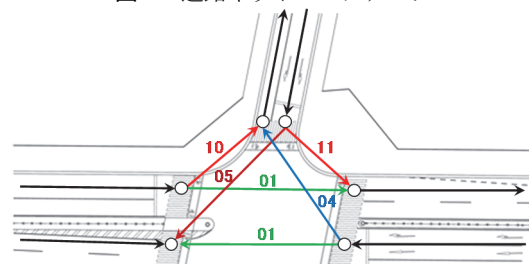


図-1 道路ネットワークデータ



(図中の番号は表-3に示す番号を表す)

図-2 交差点リンクのイメージ

表-2 交差点ランク

交差点ランク	通行許可条件 (車両分類 I)
A	a. 特別の条件を付さない.
B	b. 徐行を条件とする.
C	c. 徐行及び前後に誘導車を配置
D	d. 個別協議

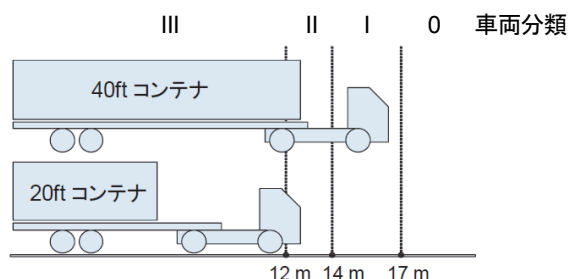


図-3 車両サイズと車両分類との関係 (セミトレーラ)

表-3 折進軌跡と通行許可条件との関係

折進軌跡	01	04	05	06	07	08	09	10	11
車両分類 0	○	△	△	-	×	×	×	×	×
車両分類 I	○	○	△	×	○	△	×	×	×
車両分類 II	○	○	○	△	○	○	△	×	×
車両分類 III	○	○	○	○	○	○	○	△	×
	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓	↓
通行許可条件									
車両分類 0	a	c	c	-	d	d	d	d	d
車両分類 I	a	b	c	d	b	c	d	d	d
車両分類 II	a	b	b	c	b	b	c	d	d
車両分類 III	a	b	b	b	b	b	b	c	d

折進軌跡○：対向車線を侵さずに折進できる

折進軌跡△：折進時に対向車線を侵す

折進軌跡×：対向車線を侵しても折進できない

4. 経路選択に影響を与える道路構造の特定

(1) 輸送事業者へのヒアリング調査

2009年11月に実施した調査の概要を示す。まず、海上コンテナ輸送事業者名簿¹⁸⁾に収録されている事業所の中から、関東で海上コンテナ輸送実績のある152事業所を抽出し、挨拶状送付及び電話により調査協力を依頼した。協力すると回答のあった83事業所を訪問し、「関東1都6県の道路地図(A1判)」を配布し、「京浜港を起点または終点とする輸送を行う際に通常利用している経路(ヒアリング経路)」をドライバーに記入してもらった。結果、表-4及び図-4に示す経路情報が得られた。さらに、それぞれの経路について「経路選択時に考慮する事項(複数回答)」についても調査した。

表-4 ヒアリングで得られた経路

車種	経路数
40 フィートコンテナ車	617
20 フィートコンテナ車	273
貨物車 最大積載重量 10 トン以上	66
貨物車 最大積載重量 4~10 トン未満	12
貨物車 最大積載重量 4 トン未満	10
計	978



図-4 ヒアリング経路

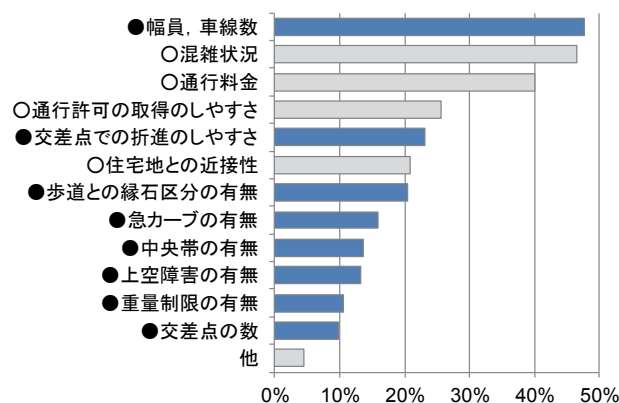


図-5 経路選択時に考慮する事項

(2) 経路選択時に考慮する事項

「経路選択時に考慮する事項」についての調査結果を図-5に示す。ここでは道路構造に関するものを「●」、他を「○」で示している。大型貨物車のドライバーは「混雑状況」や「通行料金」より、「幅員, 車線数」といった単路部での走りやすさを考慮する割合が大きいことが確認された。道路構造に関する事項では、「幅員, 車線数」に次いで「交差点での折進のしやすさ」を考慮する割合が大きい。

(3) ヒアリング経路の道路構造規格

前節では「経路選択時に考慮する事項」を聞き取るにより「幅員、車線数」及び「交差点での折進のしやすさ」を考慮する割合が大きいことを明らかにした。そこで本節では、ヒアリング経路(図-4)を道路ネットワークデータ(図-1)と照合し、大型貨物車が通常利用している経路の「道路構造」を分析する。これにより、上記の傾向があるかどうかを確認する。なお、ここでの大型貨物車は、多数のヒアリング経路(617経路)が取得されていて、かつ道路構造が経路選択に与える影響が大きいことが想定される40フィートコンテナ車を対象とした。

a) 道路幅員

40フィートコンテナ車のヒアリング経路(総延長40,765km)を片側車線数と道路幅員(1車線区間のみ)別に集計し、3章で作成した道路ネットワークの延長(61,505km)と比較した。これを図-6に示す。片側3車線以上の区間は、道路ネットワーク延長の3.1%に過ぎない。しかし、ヒアリング経路の36.8%はこういった広幅員の区間が占めていた。また、ヒアリング経路において「幅員が3.5m未満(片側1車線)となる区間」の割合(7.2%)は、同様の区間が道路ネットワーク延長に占める割合(34.0%)の1/5程度である。このことから、大型貨物車は幅員の大きい区間を走行する傾向があることが確認された。

b) 交差点規格

表-2に示した交差点ランク別に、ヒアリング経路上での折進交差点数を40フィートコンテナ車($n=6,025$)及び小型貨物車($n=51$)それぞれで集計した。結果を図-7に示す。なお、小型貨物車の値は「最大積載重量4トン未満の貨物車」のヒアリング経路から算定した。小型貨物車の車長は概ね8メートル以下で、40フィートコンテナ車の標準的な車長16.5メートルの半分以下である(表-5)。

本研究の道路ネットワークにおける交差点リンク総数の47.9%はランクAである。これに対し、40フィートコンテナ車が実際にランクAの交差点リンクで折進した割合は76.5%で47.9%を大きく上回る。また、交差点リンク総数に占めるランクDの交差点の割合は12.5%である。ランクDの交差点で折進する割合は、小型貨物車ではこれとほぼ同じ割合(13.7%)であるのに対し、40フィートコンテナ車の割合(5.2%)は大幅に小さい。

40フィートコンテナ車と小型貨物車とで交差点(ランクAおよびランクD)で折進する割合に有意な差があるかを確かめるため、式(1)を用いて差の検定を行った。

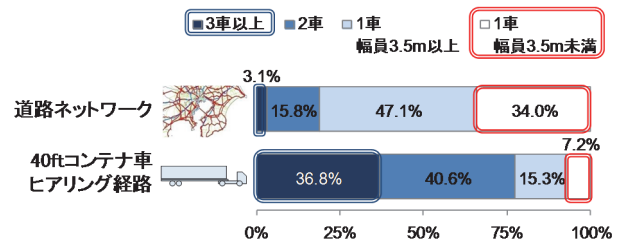


図-6 車線数と幅員(片側)

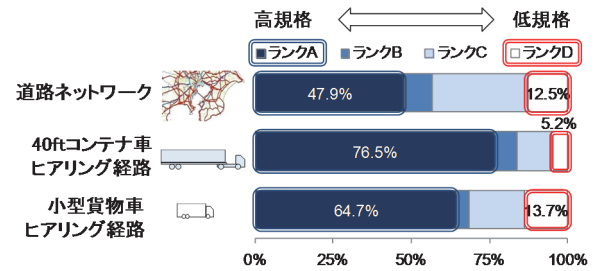


図-7 折進交差点リンク数の交差点ランク別集計

表-5 車種別の車長(出典 ORIX 自動車)

車種	小型貨物車				コンテナ車	
	1t	2t	3t	4t	20ft	40ft
車長(m)	4.41	4.68	6.08	7.96	12.7	16.5
比	0.27	0.28	0.37	0.48	0.77	1.00

$$t = \frac{P_a - P_b}{\sqrt{P_{average} \times (1 - P_{average}) \times \left(\frac{1}{N_a} + \frac{1}{N_b} \right)}} \quad (1)$$

P_a : 40ftコンテナ車の当該ランク交差点での折進割合
 P_b : 小型貨物車の当該ランク交差点での折進割合
 $P_{average}$: 両者の当該ランク交差点での折進割合
 N_a : 40ftコンテナ車の当該ランク交差点での折進数
 N_b : 小型貨物車の当該ランク交差点での折進数

この結果、ランクAでは5%水準で有意(t 値:1.98)、ランクDでは0.5%水準で有意(t 値:-2.73)となった。これらにより、40フィートコンテナ車が折進のしやすい規格の高い交差点を含む経路を優先的に走行している実態が確認された。

以上より、前節で示した「経路選択時に考慮する事項」についての聞き取り調査の結果に加え、実際の走行経路の分析結果からも、大型貨物車のドライバーは幅員・車線数といった「単路部での走りやすさ」と「交差点での折進のしやすさ」を考慮して経路を選択する傾向があることを明らかにした。

5. 経路選択モデルの定式化

前章では、大型貨物車のドライバーは、幅員・車線数といった「単路部での走りやすさ」及び「交差点での折進のしやすさ」を考慮して経路を選択している可能性を示した。「幅員、車線数」及び「交差点の構造規格」に関する情報は道路情報便覧に掲載されており、経路選択モデルのパラメータ推定に用いることが可能である。このため、上記2つの説明変数を用いた経路選択モデルを定式化する。

これまで、「認識一般化費用」を用いて自転車や貨物車の経路選択行動を表現するモデルの研究^{19), 20)}が行われている。これは、例えば自転車では「坂道の区間」では「平坦な区間」より大きな抵抗を感じることを、リンク長を操作することで表現するものである（坂道区間の x メートルは、平坦区間を y メートル走行することに相当する等）。これらの研究が「単路部での走りやすさ」のみを説明変数としているのに対し、本研究では「交差点の構造規格」を加えた次の8つの経路選択モデルを定式化した。ここでは「単路部での走りやすさ」を「車線数」と「車道幅員」の2パターンで表現している。なお、本章で構築する経路選択モデルは一般道を対象としていることから、一般化費用は有料道路料金を含まず、所要時間のみで表される。

形式1 (基本)

基本形式として、「モデル1-車線数」及び「モデル1-幅員」を次のとおり定式化した。単路部では、片側1車（「モデル1-車線数」）または片側道路幅員3.5m未満（「モデル1-幅員」）の場合、リンクの所要時間（分）が α 倍になる。交差点部では、折進時に通行許可条件を附される規格の低い交差点リンク（表-2におけるランクB, C, 及びD）で、 β （分）だけ一般化費用が増加することを表現している。

(モデル1-車線数)

$$C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a \times \alpha^{\delta_{aN}} + \sum_{b \in L_k^{rs}} \beta \times \delta_b \quad (2)$$

(モデル1-幅員)

$$C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a \times \alpha^{\delta_{aW}} + \sum_{b \in L_k^{rs}} \beta \times \delta_b \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{s.t.} \quad & \delta_{aN} \in \{0,1\} \quad \forall a \in L_k^{rs} \quad \forall rs \in \Omega \\ & \delta_{aW} \in \{0,1\} \quad \forall a \in L_k^{rs} \quad \forall rs \in \Omega \\ & \delta_b \in \{0,1\} \quad \forall b \in L_k^{rs} \quad \forall rs \in \Omega \\ & t_a > 0 \quad \forall a \in L_k^{rs} \quad \forall rs \in \Omega \end{aligned}$$

ここで、 C_k^{rs} はゾーン r を起点、ゾーン s を終点とする OD ペア rs ($\in \Omega$) の経路 k の一般化費用。 t_a は単路

部リンク a の所要時間。 α は単路部での走行のしやすさに関するパラメータ。 β は交差点の構造規格に関するパラメータ。 δ_{aN} は単路部リンク a が片側1車線の場合を1、2車線以上の場合を0とするダミー変数。 δ_{aW} は単路部リンク a が片側1車線で車道幅員が3.5m未満の場合を1、その他の場合を0とするダミー変数。 δ_b は交差点リンク b が折進条件のある交差点リンクである場合を1、その他の場合を0とするダミー変数。 Ω は OD ペア rs の集合、 L_k^{rs} は OD ペア rs の経路 k に含まれるリンクの集合である。

形式2

これは「単路部での走行のしやすさに関するパラメータ α 」を「リンクの所要時間 t_a 」から独立させたものである。

(モデル2-車線数)

$$C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a + \sum_{a \in L_k^{rs}} \alpha \times \delta_{aN} + \sum_{b \in L_k^{rs}} \beta \times \delta_b \quad (4)$$

(モデル2-幅員)

$$C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a + \sum_{a \in L_k^{rs}} \alpha \times \delta_{aW} + \sum_{b \in L_k^{rs}} \beta \times \delta_b \quad (5)$$

形式3

これは「1+単路部での走行のしやすさに関するパラメータ α 」を「リンクの所要時間 t_a 」の係数とするものである。

(モデル3-車線数)

$$C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a \times (1 + \alpha \times \delta_{aN}) + \sum_{b \in L_k^{rs}} \beta \times \delta_b \quad (6)$$

(モデル3-幅員)

$$C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a \times (1 + \alpha \times \delta_{aW}) + \sum_{b \in L_k^{rs}} \beta \times \delta_b \quad (7)$$

形式4

これは「単路部での走行のしやすさに関するパラメータ α 」に加え「交差点の構造規格に関するパラメータ β 」についても「リンクの所要時間 t_a 」の係数とするものである。

(モデル4-車線数)

$$C_k^{rs} = \sum_{a, b \in L_k^{rs}} t_a \times (1 + \alpha \times \delta_{aN} + \beta \times \delta_b) \quad (8)$$

(モデル4-幅員)

$$C_k^{rs} = \sum_{a, b \in L_k^{rs}} t_a \times (1 + \alpha \times \delta_{aW} + \beta \times \delta_b) \quad (9)$$

6. 経路選択モデルのパラメータ推定

本章では、「重複率最大化モデル」を用いて前章で定式化した8つの経路選択モデルのパラメータ α 及び β を推定する。これは図-8に示すように「経路選択モデルで推計される経路」と「ヒアリング経路」との重複区間の延長を最大にするパラメータ α と β の組合せを探索するものである。道路ネットワーク上の無数の経路の中から選択可能な経路集合を事前に設定する必要がないことから、これを適用した研究事例^{16), 19), 20)}がいくつか見られる。

パラメータ推定には、ヒアリング経路(図-4)のうち、一般道のみを利用して京浜港から茨城、栃木及び群馬までの比較的長距離の輸送を行っていた40フィートコンテナ車の46経路(図-9)を用いた。これは、輸送距離の短いトリップでは選択可能な経路の選択枝が少なく、幅員が狭い区間や折進しにくい交差点を避けるという行動が起こりにくいためである。経路選択モデルの t_a (単路部リンク a の所要時間)は、道路交通センサスの混雑時旅行時間から設定した。道路交通センサスの対象外の区間については、当該区間と同一の都県及び道路種別(一般国道, 主要地方道, 一般都県道, 市町村道)の平均値を用いた。

次式で表す重複率 $O(\alpha, \beta)$ を最大にするよう、滑降シンプレックス法により α 及び β を推定した。

$$\begin{aligned} \max. \quad O(\alpha, \beta) &= \frac{\sum_{i \in I} \sum_{a \in L} \delta_{i,a} \times \delta_{i,a}^*(\alpha, \beta) \times l_a}{\sum_{i \in I} \sum_{a \in L} \delta_{i,a} \times l_a} \quad (10) \\ \text{s.t.} \quad \delta_{i,a} &\in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad \forall a \in L \\ \delta_{i,a}^*(\alpha, \beta) &\in \{0,1\} \quad \forall i \in I \quad \forall a \in L \\ l_a &> 0 \quad \forall a \in L \end{aligned}$$

ここで l_a は、リンク a の延長。 $\delta_{i,a}$ は、車両 i のヒアリング経路がリンク a を通過する場合を1、通過しない場合を0とするダミー変数。 $\delta_{i,a}^*(\alpha, \beta)$ は、経路選択モデルのパラメータが α 及び β のときに車両 i の推計経路がリンク a を通過する場合を1、通過しない場合を0とするダミー変数。 L はリンクの集合、 I は車両 i の集合である。

滑降シンプレックス法とは、導関数を必要としない多次元の最大化の方法の一つである。 m 次元問題では $m+1$ 個の頂点持つ多面体を作り、各頂点の目的関数値によって頂点を移動し、多面体に対して折り返し、縮小、拡大といった処理を施すことで目的関数の極値を探索する^{21), 22)}。

パラメータの推定結果を表-6に示す。形式1(基本)の「モデル1-車線数」では、2つのパラメータともに

1以上で、妥当な値として推定された($\alpha=1.195$, $\beta=18.1739$)。この結果は次を意味する: 「片側1車線の区間を走行する際、片側2車線以上の区間を走行する際に比べて2割程度大きな抵抗値(所要時間)を感じている(車線数ダミーのパラメータ $\alpha=1.195$)」, 「折進時に通行条件を附される規格の低い交差点で折進することに対して、18分程度の抵抗を感じている(交差点ダミーのパラメータ $\beta=18.1739$)」。また、ヒアリング経路との重複率は、8つのモデルの中で最大の48.0%となった。これは、萩野らの研究で行った経路選択モデルのパラメータ推定での重複率(47.5%)¹⁶⁾と同程度の値である。

以上より、「モデル1-車線数」のパラメータ推定結果から経路選択モデルは次式のとおりとする。以下、これを「モデル1(車線数+交差点)」と記す。

$$C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a \times 1.195^{\delta_{a,N}} + \sum_{b \in L_k^{rs}} 18.174 \times \delta_b \quad (11)$$

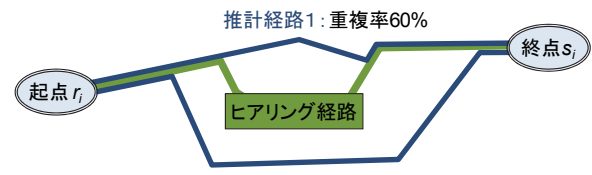


図-8 重複率最大化モデル

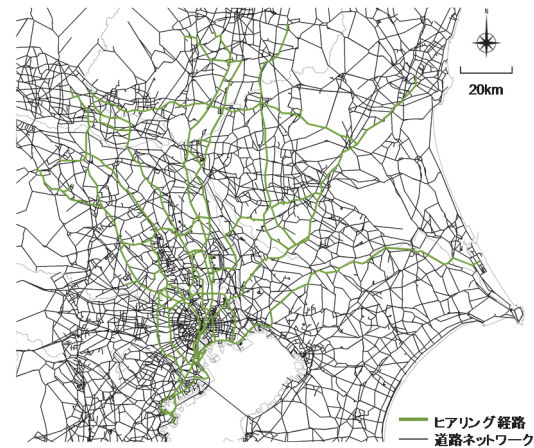


図-9 パラメータ推定に用いるヒアリング経路

表-6 パラメータ推定結果

形式	車線数 α	幅員 α	交差点 β	重複率
1-車線数	1.195	-	18.174	48.0%
1-幅員	-	1.000	3.100	29.9%
2-車線数	1.147	-	3.357	41.9%
2-幅員	-	0.031	10.500	43.2%
3-車線数	0.406	-	3.294	36.0%
3-幅員	-	1.750	3.050	30.1%
4-車線数	1.250	-	0.550	27.3%
4-幅員	-	0.747	0.142	21.2%

7. 経路選択モデルの有効性の確認

普通車を対象にした一般道の経路推計では、起点から終点までを最小時間で移動できる経路の探索が行われる。この最小時間経路探索では、リンクの所要時間が支配的となる。これに対し本研究では、4章で得られた知見に基づき、リンクの所要時間に加えて、大型貨物車の経路選択行動に影響を与える「車線数」及び「交差点の構造規格」を説明変数とする経路選択モデルを構築した。そこで本章では、交差点の構造規格を考慮しないモデル（以下「モデル0（車線数）」という。）や最小時間経路探索モデルによる推計経路と比較することにより、モデル1の有効性を確認する。

本章の構成を図-10に示す。まず(1)で「モデル1（車線数+交差点）」との比較対象とする「モデル0（車線数）」を推定する。(2)では、ヒアリング経路を基準にしてモデル1及びモデル0による推計経路との重複率を比較する。これにより、経路選択モデルで「交差点の構造規格」を考慮することの効果を示す。(3)では実務での利用を想定した検証を実施する。具体的には、道路事業効果の評価をはじめとする実務では最小時間経路が一般的に用いられるため、これとの比較を行う。また、(2)の評価で基準とするヒアリング経路は4章(1)で述べたとおり「通常利用している経路」であり、実際には輸送時の交通状況や気象状況などに応じて異なる経路を走行していることが想定される。このため、(3)では「商用車運行管理サービスで取得する位置データから作成する経路（以下「プローブ経路」という。）」を基準にしてモデル1と最小時間経路探索モデルによる推計経路との重複率を比較する。これによりモデル1の有効性を示す。

(1) 経路選択モデル0の推定

モデル1（車線数+交差点）との比較対象とするモデル0（車線数）を推定する。式(11)の右辺第2項（交差点の構造規格）を削除してモデル0（車線数）を次のとおり定式化した。

$$C_k^{rs}(\alpha) = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a \times \alpha^{\delta a N} \quad (12)$$

経路選択モデルによる推計経路 所要時間 車線数 交差点	推計経路の比較対象	
	ヒアリング経路	プローブ経路
Aモデル1	○ ○ ○	重複率 ↑ 7章(2) ↓ 7章(3)
Bモデル0	○ ○ ○	重複率 ↑ 7章(3) ↓ 7章(2)
C最小時間経路探索モデル	○	重複率 ↑ 7章(1)モデル0の推定 ↓ 7章(2)

図-10 本章の構成

前章と同様の方法でパラメータ推定を行った結果、 $\alpha=4.250$ となった。この値はモデル1（車線数+交差点）での α の値（1.195）より大きい。これは、ノードとして表現されていた交差点の構造規格の影響の一部が、リンク単位で表現される車線数のパラメータ（ α ）に反映されたためと考える。

(2) ヒアリング経路との比較

モデル1（車線数+交差点）及びモデル0（車線数）を用いてダイクストラ法により一般化費用最小経路探索を行い、これらの「推計経路」と「ヒアリング経路（図-9に示した46のOD経路）」との重複率を算定した。このうち「品川埠頭-茨城県古河市」及び「本牧埠頭-埼玉県春日部市」の2つのOD経路の例を図-11に示す。

重複率の算定結果を表-7に示す。ヒアリング経路（46OD経路）とモデル0による推計経路との重複率は26.4%で、モデル1による推計経路との重複率（48.0%）の半分程度となった。このうち「品川埠頭-古河市」では、モデル1との重複率（92.2%）は、モデル0との重複率（13.4%）の6.88倍、「本牧埠頭-春日部市」ではモデル1との重複率（80.2%）はモデル0との重複率（51.4%）の1.56倍となった。これは、経路選択モデルの説明変数に「交差点の構造規格」を含めることで、正しく推計できる走行区間長が増加することを示している。

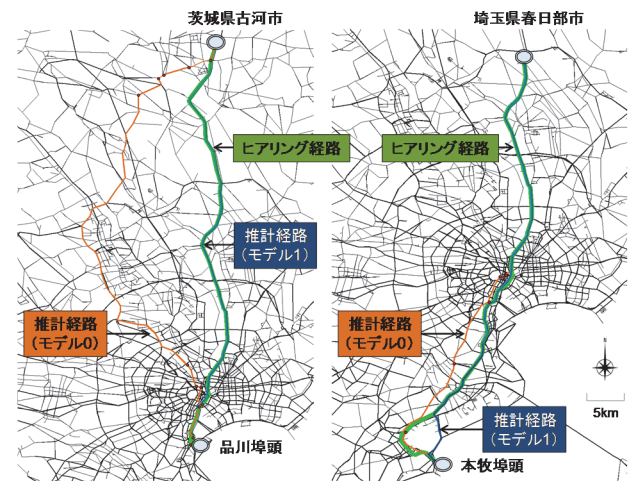


図-11 経路選択モデルによる推計経路とヒアリング経路

表-7 ヒアリング経路と推計経路との重複率

経路選択モデル	46OD経路	うち10D経路 品川-古河	うち10D経路 本牧-春日部
Aモデル1 (車線数+交差点)	48.0%	92.2%	80.2%
Bモデル0 (車線数)	26.4%	13.4%	51.4%
A/B	1.81	6.88	1.56

(3) プローブ経路との比較

プローブ経路は、富士通株式会社の商用車運行管理サービスで2013年9月及び10月に収集した位置データから作成した。なお、このサービスを利用する車両は、概ね全てが大型貨物車であることから、両者を比較することが可能である。ここでの分析対象は、図-11で示した「本牧埠頭－春日部市」の1つのODとする。本牧埠頭と春日部市を起点及び終点とするトリップを抽出したところ、本牧埠頭発、春日部市着のトリップが12(836台キロ)、逆方向のトリップが36(2,507台キロ)の計48トリップ(3,344台キロ)が抽出された。これらのプローブ経路をヒアリング経路と比較すると、本牧埠頭付近および港区で異なることが確認されたものの、国道15号および国道4号など約8割の区間で両者は一致していた。

最小時間経路探索モデルはリンクの所要時間のみを説明変数とし、次式で定義する。

$$\min. C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a \quad (13)$$

これを用いてダイクストラ法により、本牧埠頭－春日部市間の最小時間経路探索を行った。プローブ経路(46トリップ)及び最小時間経路を図-12に示す。

プローブ経路とモデル1及び最小時間経路探索モデルによる推計経路との重複率を算定した。結果を表-8に示す。プローブ経路の総延長3,344台キロのうち2,850台キロがモデル1による推計経路と合致し、重複率は85.2%となった。これは、最小時間経路探索モデルとの重複率(68.3%)の1.25倍である。このことは、「車線数」及び「交差点の構造規格」を説明変数に加えることで、正しく推計できる走行区間長が25%増加することを示唆している。以上より、本研究で構築した経路選択モデル(モデル1)の有効性を示すことができた。

8. まとめ

(1) 研究成果

輸送事業者へのヒアリング調査により「単路部の構造規格」と「交差点の構造規格」が大型貨物車の経路選択行動に与える影響が大きいことを明らかにした。さらに同調査で把握した実際の走行経路の構造を分析することにより、上記の傾向があることを定量的に示した。

上記の結果をもとに「車線数」及び「交差点の構造規格」を説明変数とする「経路選択モデル1(車線数+交差点)」を構築した。さらに、車線数のみを説明変数と

表-8 プローブ経路と推計経路との重複率

経路選択モデル		重複率
Aモデル1 (車線数+交差点)	$C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a \times 1.195^{\delta_a} + \sum_{b \in L_k^{rs}} 18.174 \times \delta_b$	85.2%
C 最小時間経路 探索モデル	$C_k^{rs} = \sum_{a \in L_k^{rs}} t_a$	68.3%
A/C		1.25

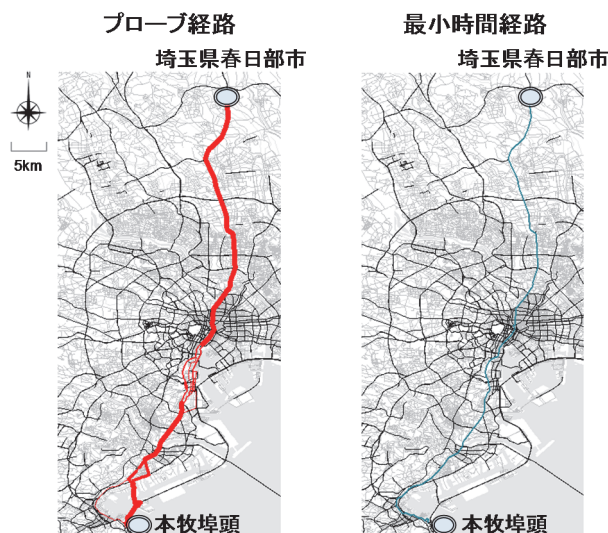


図-12 プローブ経路及び最小時間経路

する「モデル0(車線数)」を推定し、モデル1との比較を行った。この結果、モデル1を用いることで「正しく推計できる走行区間長」が1.81倍になることを示した(ヒアリング経路との比較)。また、最小時間経路探索モデルとの比較も行うことにより、モデル1を用いると正しく推計できる走行区間長が1.25倍になることを示した(プローブ経路との比較)。これらは、限られた比較分析ではあるものの、大型貨物車の経路選択モデルで「車線数」及び「交差点の構造規格」を考慮することで経路の推計精度が向上することを示しており、今後の大型貨物車の経路選択モデルの設計や交通流推計手法の研究などに示唆を与える意義のある成果であると考えられる。

(2) 今後の課題

a) OD間距離を考慮した経路選択モデル

本研究では、京浜港から茨城県、栃木県及び群馬県間の比較的長距離の走行経路情報から経路選択モデルを構築した。7章では、本牧埠頭から春日部までの80km程度のODを対象にモデルの有効性を検証しているものの、他のOD間距離においてもこのモデルを適用できるかについて確認するための分析を行うことができなかった。特に、経路の選択肢が少ない短距離のODでは、経路選択モデルが特徴的に扱った「小さい交差点

や幅の狭い区間を避ける」という行動が起こりにくい可能性がある。今後、異なる OD 間距離帯での経路選択行動の特性を分析し、経路選択行動に差が見られる OD 間距離帯毎に経路選択モデルを構築する必要がある。

b) 輸送形態などを考慮した経路選択モデル

高速道路も含めた道路ネットワークを対象にした筆者らの既往研究²³⁾では「積載荷物の有無」や「到着時刻指定の有無」によって、高速道路の利用率が異なる、つまり経路選択特性が異なることを示している。しかし、本研究では一般道での経路選択モデルの構築を目的としたことから、これらを考慮しなかった。今後、一般道においても「積載荷物の有無」や「到着時刻指定の有無」といった輸送形態が経路選択に与える影響を明らかにし、これらを考慮したモデルを検討することが望ましいと考える。

謝辞：経路選択モデルの推定方法や有効性の検証方法について、東京海洋大学兵藤哲朗先生、筑波大学石田東生先生、岡本直久先生より指導いただきました。また、(株)全国輸送および(株)ダイトコーポレーションの運行管理担当者をはじめとする関係各位には大型貨物車の経路選択についてご教示いただきました。ここに記して感謝申し上げます。

補注：損傷に起因する架替えを対象。次の架替えは除く：機能上の問題（幅員、桁下高不足など）に起因する架替え、改良工事（道路線形改良、河川改修など）に伴う架替え、地震災害などに伴う架替え。

参考文献

- 1) 西川和廣, 村越潤, 上仙靖, 中島浩之: 橋梁の架替に関する調査結果(III), 土木研究所資料, Vol. 3512, 1997.
- 2) 次村英毅, 村越潤, 麓興一郎: 既設鋼桁橋の疲労損傷度評価法に関する検討, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol. 59, No. 1, pp. 265-266, 2004.
- 3) 次村英毅, 村越潤, 麓興一郎: 応力頻度測定結果を基にした既設橋の疲労損傷度の評価に関する検討, 土木学会年次学術講演会講演概要集, Vol. 58, No. 1, pp. 833-834, 2003.
- 4) 川畑篤敬, 井口進, 内田大介, 松下裕明, 玉越隆史, 石尾真理: 鋼床版橋梁の疲労損傷を対象とした調査点検手法の立案に向けた実橋調査, 第5回道路橋床版シンポジウム論文集, Vol. 5, pp. 241-246, 2006.
- 5) 三木千壽: 鋼橋のメンテナンス, 橋梁と基礎, Vol. 35, No. 8, pp. 50-53, 2001.
- 6) 宮村善保: 「自動車荷重適正化」と道路の老朽化対策, 道路, 2014-12, pp. 66-69, 2014.
- 7) 武田超, 谷下雅義, 鹿島茂: 都市圏における貨物自動車の道路選択行動に関する研究, 日本物流学会誌, Vol.

- 2000, No. 8, pp. 118-127, 2000.
- 8) 坪井兵太, 秋山孝正: ファジィ・ニューラルネットワークを用いた経路選択行動のモデル化, 土木計画学研究・論文集, Vol. 15, pp. 509-516, 1998.
- 9) 藤井聡, 守田武史, 北村隆一, 杉山守久: 不確実性に対する態度の差異を考慮した交通需要予測のための経路選択モデル, 土木計画学研究・論文集, Vol. 16, pp. 569-575, 1999.
- 10) 三輪富生, 森川高行: プローブカーデータを利用した経路選択行動に関するモデル分析, 土木計画学研究・論文集, Vol. 21, pp. 553-560, 2004.
- 11) 田中康仁, 小谷通泰, 中村賢一郎: 旅行時間の不確実性が貨物車の配送行動へ及ぼす影響の分析, 土木計画学研究・論文集, Vol. 24, pp. 473-480, 2007.
- 12) 秋田直也, 小谷通泰, 島田和政: 阪神臨海部における国際海上コンテナ輸送トラックの経路選択行動に関する分析, 土木計画学研究・講演集, Vol. 32, CD-ROM (No. 378), 2005.
- 13) 中野光治, 田中慎次, 奥山真治, 竹内新一, 山田忠史: 物流の影響を考慮した実務的で体系的な貨物交通量推計モデル, 土木計画学研究・講演集, Vol. 44, CD-ROM (No. 42), 2011.
- 14) 兵藤哲朗, シジニィ・シュライナー, 高橋洋二: 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, 土木計画学研究・論文集, Vol. 24, No. 3, pp. 405-412, 2007.
- 15) 東京都市圏交通計画協議会: 東京都市圏物資流動調査, <https://tokyo-pt.jp/pd/index.html>
- 16) 萩野保克, 兵藤哲朗, 宮原ゆい: 特車申請電子データ及び道路情報便覧データを用いた海上コンテナ車の経路選択特性, 土木学会論文集 D3 (土木計画学), Vol. 67, No. 5, pp. 599-609, 2012.
- 17) 国土交通省道路局道路交通管理課: 道路情報便覧資料調査要領, 2007.
- 18) 社団法人全日本トラック協会海上コンテナ部会: 海上コンテナ輸送事業者名簿, 2008.
- 19) 笹井秀哉, 兵藤哲朗, 鈴木紀一, 高橋洋二: 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, 2004.
- 20) 鈴木紀一, 高橋勝美, 兵藤哲朗: 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, 1998.
- 21) 海老澤健正, 松本高志, 堀井秀之: 延性・脆性の二材料を用いた複合構造物の構造形式決定問題, 土木学会論文集, No. 675, pp. 287-296, 2001.
- 22) 久保田整, 小野勝一, 武士正美, 斎藤英雄: 多視点画像からの薄板状柔軟物体の形状と姿勢の推定, 電気学会論文誌 C (電子・情報・システム部門誌), Vol. 124, No. 3, P659-665, 2004.
- 23) Sekiya, H., Uesaka, K., Matsumoto, S. and Furukawa, M.: Transport characteristics and road structure factors influencing container truck route selection, *Proceedings of the International Conference on Transport and Logistics (T-LOG)*, Vol. 3, 2010.

(2017. 2. 24 受付)

ROUTE CHOICE MODEL FOR FREIGHT TRUCK ON GENERAL ROAD WITH AN EMPHASIS OF ROAD GEOMETRY

Hiroataka SEKIYA, Yasukatsu HAGINO, Takeshi KENMOCHI, Masato MAEDA
and Jun TANABE

We verified that the geometric factors such as road width, the number of lanes, and the size of intersection have a significant impact on route choice behavior of freight trucks. We estimated parameters of a route choice model, where the explanatory variables are the number of lanes and the size of intersection, by using Maximum Overlapping Model, which is designed to determine parameters so as to maximize overlapped length between estimated passage and actual passage of freight trucks on the general road networks. As a result, we successfully demonstrated that using the size of intersection as one of the explanatory variables can lead to 1.8 times more accurate estimation than ordinary route choice models, such as “the least travel time model.”