

車種を考慮した確率的利用者均衡配分モデルに関する研究*

A Stochastic User Equilibrium Assignment Model Considering Type of Vehicles*

金森 亮**・河上 省吾***

By Ryo KANAMORI**・Shogo KAWAKAMI***

1. はじめに

交通量配分問題は、人間の交通行動に基づくより論理性のある配分理論が要求されるようになってきた。このような社会的要求をうけ、利用者均衡配分モデルは交通量配分手法として主要な方法となりつつあり、また利用者の経路選択行動のばらつきを考慮でき、経路交通量に関しても均衡解が唯一に決まる確率的利用者均衡配分モデルが注目されている。これまでに多くの実用的な利用者均衡配分モデルが提案されてきたが、それらの多くは走行特性、経路選択基準、時間価値、有料道路の料金制度などが異なる車種を均一車種として考えているため、車種別の交通量や旅行時間を正確に予測することができないという問題がある。そのためディーゼル車が大半を占める大型車のみに対する規制のように車種を考慮すべき交通政策の評価分析には適しておらず、車種別の交通量や経路選択、所要時間の変化を予測することができる配分モデルの開発が要請されている。

そこで本研究では配分精度に大きな影響をもたらす車種別リンクパフォーマンス関数をより一般的に推定し、車種別確率的利用者均衡配分モデル(MSUE:Multi-vehicle Class Stochastic User Equilibrium Assignment)と車種を考慮しない従来の確率的利用者均衡配分モデル(SUE:Stochastic User Equilibrium Assignment)を名古屋都市圏ネットワークに適用し、昼間12時間交通量を配分し、現況再現性や実用性について比較・検討することを研究目的とする。

2. 車種別均衡配分モデルの概要

車種別均衡配分モデルは Dafermos によって研究がはじめられ、わが国では河上・徐¹⁾が車種別確定的利用者均衡配分モデルを名古屋市に適用している。基本的な考え方は、実際は多車種が混合している1つのリンクを車種の数だけの単車種リンクに分解し、それぞれの車種に対応したネットワークコピーを仮定する。この仮定により車種別均衡配分モデルは同一リンクを走る車種間の相互影響を単車種のリンク間の相互影響とみなすことができ、それぞれの車種ごとに均衡状態が成り立てば、全体として均衡状態が成り立っていると定義し、様々なモデルを構築していくものである。つまり車種別にリンクパフォーマンス関数とネットワークコピーを設定することにより、車種別均衡配分モデルは非対称なリンクパフォーマンス関数を持つ単車種均衡配分モデルに変換することができる。

また非対称なリンクパフォーマンス関数を持つ均衡配分モデルは等価な数理最適化問題として定式化することはできないが、変分不等式問題として表現すれば、射影法(線形近似法)などの解法アルゴリズムを使えることが知られている²⁾。変分不等式問題の均衡解の存在は Brouwer の不動点定理によって保証されている。均衡解の一意性の十分条件は連続で微分可能なリンクパフォーマンス関数が狭義単調であり、リンクパフォーマンス関数のヤコビアンが正定値行列であればよい。しかし、車種別リンクパフォーマンス関数では一意性の十分条件を満たすには各車種のリンク交通量が必要となるため厳密には確認することはできない。そのため、均衡解の一意性や安定性に関して感度分析を実行するなどの注意が必要である。

*キーワードズ：交通量配分，変分不等式問題，
車種別リンクパフォーマンス関数

**正員，工修，中央復建コンサルタンツ（株）

***フェロー，工博，名古屋大学大学院工学研究科地圏
環境工学専攻（〒464-8603 名古屋市千種区不老町
Tel 052-789-4636 Fax 052-789-3738）

3. 車種別リンクパフォーマンス関数の設定

均衡状態における車種別のリンク交通量や旅行時間を得るには、車種別のリンクパフォーマンス関数を設定することが必要である。本研究では式(1)のような普通車と大型車との走行特性や相互作用を考慮することができる車種別リンクパフォーマンス関数を設定する。また大型車とは道路交通センサデータの車種分類によるバス、普通貨物車、特殊車を指すものとする。

$$t_j(x_C, x_T) = t_{j0} \left[1.0 + \alpha_j \left(\frac{x_C}{C_j} \right)^{\beta_j} + \gamma_j \left(\frac{x_T}{C_j} \right)^{\beta_j} \right] \quad (1)$$

$t_j()$ は車種 j の単位旅行時間 (分/km), x_j は車種 j のリンク交通量 (台/時間), t_{j0} は車種 j の自由走行時間 (分/km), C_j は車種 j の時間可能交通容量 (台/時間), α_j, β_j は車種 j のパラメータ, γ_j は車種 j の影響度パラメータ, C は普通車, T は大型車を示す

本研究ではより汎用性を高くするために、建設省中部地方建設局による平成9年度道路交通センサデータを用いて推定する。ただし渋滞領域にあると考えられるものや、その他異常値を示すデータは除いている。ここで問題となることはセンサデータより得ることができる旅行速度データは原則として、普通車試験車両による混雑時(または最大交通量時)に1回、DID(人口集中地区)区間において6回以上調査した結果である。したがってデータが混雑時に偏っていないかが危惧されたが、実際は広範囲に分布したデータ値を得ることができたため特に問題はないと判断した。また本研究では普通車だけでなく大型車の旅行速度データも必要であるが、センサデータからは得ることができない。そこで以下の仮定に基づいて大型車の旅行速度データを作成した。

大型車の旅行速度データの仮定

- I) 混雑時の大型車の旅行速度は、都市間・都市高速道路、自動車専用道路と沿道条件が山地部以外の2車線道路では普通車と等しく、その他は普通車の旅行速度の10%減少した旅行速度とする。
- II) 自由走行速度は主に規制最高速度に影響されると考えられるため、大型車の規制最高速度を都市

間・都市高速道路、自動車専用道路以外の道路では普通車の規制最高速度の20%減少した速度とする。

通常、時間可能交通容量は乗用車換算台数で示されるため、大型車の時間可能交通容量(台/時間)に換算するためには乗用車換算係数が必要である。乗用車換算係数は道路の交通容量³⁾によると車線数、大型車混入率(%), 勾配(%), 勾配長(km)によって細かく与えられているが、センサデータのような長い区間においては以下の表1の換算係数が使われる。ただし高速道路では沿道条件に関係なく2.0とした。

表1 大型車の乗用車換算係数

	都市部・平地部	山地部
2車線	2.0	3.5
多車線	2.0	3.0

また自由走行時間(分/km)は信号交差点数や規制最高速度などに影響されることが考えられることから、式(2)のように線形関数と仮定してそれらのパラメータも同時に推定した。

$$t_{a0} = (\gamma_0 : \text{定数項 (分/km)}) \\ + \gamma_1 \cdot (\text{信号交差点密度 (個所/km)}) \quad (2) \\ + \gamma_2 \cdot (60.0 / \text{規制最高速度 (分/km)})$$

推定方法は溝上・松井⁴⁾のように「単位時間内に走行する車両のリンク所要時間は確率変数であり、その分布は時間帯ごとに独立である」という仮定のもと、単位距離リンクをある時間帯に走行する車両の旅行時間は平均値がリンクパフォーマンス関数となる母数を持つ正規確率分布に従うとし、最尤推定法により推定した。車種別リンクパフォーマンス関数の分類と推定結果を以下の表2, 3に示す。

沿道条件によって各パラメータの推定結果が変わると考えられたが、2車線道路を除いてあまり変化がなかったため沿道条件による分類は細かくしなかった。分類として都市間高速道路は道路交通センサデータの分類の国土開発幹線自動車道等、都市高速道路は都市高速道路・自動車専用道路、2車線(平地)道路は沿道条件がDID、その他市街部、平地部である1車線・2車線道路、2車線(山地)道路は沿道条件が山地部である1車線・2車線道路、4車線道

表2 普通車のリンクパフォーマンス関数パラメータ推定結果

道路種別		都市間高速	都市高速	2車線(平地)	2車線(山地)	4車線	6車線以上
サンプル数		251	342	7488	1124	2803	1154
α_C		0.614 (2.1)	0.601 (4.3)	0.357 (20.7)	0.352 (7.3)	0.494 (4.5)	0.739 (1.4)
β_C		4.217 (9.3)	2.417 (5.4)	1.803 (9.0)	1.458 (2.1)	1.196 (2.0)	1.322 (2.6)
γ_C		51.121 (4.1)	12.169 (2.5)	5.615 (5.1)	9.375 (3.6)	4.904 (5.9)	6.401 (4.8)
t_{C0}	γ_0	0.509 (15.8)	0.811 (37.4)	0.092 (1.8)	0.385 (3.1)	0.455 (4.2)	0.687 (2.8)
	γ_1	---	---	0.153 (26.2)	0.154 (10.9)	0.132 (17.4)	0.178 (13.2)
	γ_2	0.240 (5.3)	---	1.058 (30.5)	0.783 (9.4)	0.868 (9.8)	0.636 (3.0)
分散		0.058 (15.0)	0.200 (30.1)	0.696 (54.2)	0.645 (24.4)	0.749 (28.1)	0.795 (15.3)

表3 大型車のリンクパフォーマンス関数パラメータ推定結果

道路種別		都市間高速	都市高速	2車線(平地)	2車線(山地)	4車線	6車線以上
サンプル数		254	329	7488	1114	2792	1154
α_T		2.430 (1.1)	5.667 (2.4)	0.574 (2.0)	0.606 (1.9)	1.766 (2.0)	1.983 (2.0)
β_T		4.777 (9.3)	3.398 (8.5)	1.803 (9.0)	1.616 (2.6)	1.601 (5.6)	1.331 (2.8)
γ_T		0.010 (4.1)	0.010 (4.4)	0.178 (5.1)	0.065 (4.1)	0.101 (7.5)	0.154 (5.0)
t_{T0}	γ_0	0.548 (17.1)	0.818 (56.6)	0.092 (1.8)	0.475 (3.6)	0.566 (4.6)	0.687 (2.5)
	γ_1	---	---	0.153 (26.2)	0.178 (11.7)	0.150 (17.3)	0.200 (13.5)
	γ_2	0.201 (4.3)	---	0.847 (30.5)	0.684 (9.5)	0.782 (9.6)	0.601 (3.2)
分散		0.058 (14.8)	0.162 (27.3)	0.696 (54.2)	0.683 (24.7)	0.827 (20.9)	0.881 (10.5)

ただし()内はt値を示す

路は全沿道条件の3・4車線道路, 6車線以上道路は全沿道条件の5車線以上の道路を示す。ただし東名阪自動車道路の名古屋環状線部分は都市高速道路としている。

それぞれのリンクパフォーマンス関数の推定結果を見てみるとt値は比較的大きく、妥当な推定結果である。都市高速道路では実測データの大半が規制最高速度60(km/時間)であるため、自由走行時間のパラメータを定数項のみとした。詳しく見ていくと高速道路は一般道路と比べて β が大きいことから、混雑率が1.0未満では自由走行時間とあまり変わらず、混雑率が1.0以上では急激に旅行時間が増加することを示す。これは高速道路の時間可能交通容量が大きく、混雑率が1.0以上の実測データが少ないことなどが考えられる。これに対し一般道路は β が小さく、混雑率が1.0以上では高速道路ほど急激に旅行時間が増加しない。次に普通車の α は従来の研究と同様の結果が得られたが、大型車の α は従来の研究と比較して大きい値となった。これは実測データでは大型車混入率が高い区間がそれほどないため、大型車の混雑率が1.0付近の交通状態がない。しかし理論的(リンクパフォーマンス関数上)には必ず存在するとしているため、かなり旅行時間が増

加する結果となっていることを表しており、特に問題はないとした。 γ は α と β と換算係数から成るパラメータであるので、 α と β が妥当であるため妥当な影響度を表していると考えられる。普通車に対する大型車の影響度 γ_C は都市間高速道路では特に大きいことが分かる。また大型車に対する普通車の影響度 γ_T は都市間・都市高速道路では非常に小さく、その他の道路も10%程度である。

4. モデルの適用

(1) データの概略

本研究での配分対象地域は、名古屋市を中心とするおよそ30km圏域であり、ゾーン数は279、ネットワークは上下別リンク数4303、ノード数1304である。ODデータは名古屋高速道路公社によって第3回中京都市圏パーソントリップ調査の平成3年度OD交通量と平成27年の予想OD交通量とを用い、中間補完により作成された平成8年OD交通量を基本とし、これに平成3年度パーソントリップ調査の昼間12時間(7時台~19時台)交通量の時間比率を乗じて算出した。また車種を考慮しない配分モデル(SUE)を適用する場合、大型車交通量に乗用車換

算係数 2.0 を乗じて乗用車換算台数とし、普通車交通量として扱っている。またリンクパフォーマンス関数は名古屋大学河上・森川研究室にて推定されたものを使用した。

有料道路の処理方法は料金を時間価値で除したものを仮想リンクのリンク所要時間とする。本研究で用いる車種別の時間価値と換算乗用車の時間価値は道路投資の評価に関する指針検討委員会⁵⁾によって算出された普通車 55.8 円/分・台、大型車 101.4 円/分・台、換算乗用車 67.3 円/分・台とした。また大型車の料金設定として名古屋高速道路は普通車料金の 2.0 倍、その他は普通車料金の 1.6 倍と設定した。

(2) 配分結果と考察

本研究において利用者の経路選択行動のばらつきを表すパラメータ θ は SUE, MSUE とともに 0.5 と設定した。また平成 9 年度道路交通センサスデータを実績値とし、上下方向別で高速道路は 60 サンプル、一般道路は 605 サンプルである。

SUE と MSUE との配分結果の適合度の評価指標を表 4 に、大型車混入率の散布図を図 1 に示す。MSUE は均衡解の一意性の確認のため、初期値を変化させて計算を行った結果、目的関数が同様の減少傾向を示した。この結果より均衡解の一意性の保証は得られていないものの、一意である可能性は十分あると考えられる。

表 4 より SUE, MSUE とともに一定の現況再現性があり、評価指標から MSUE がより良い配分結果であり、より実用性があることが分かる。

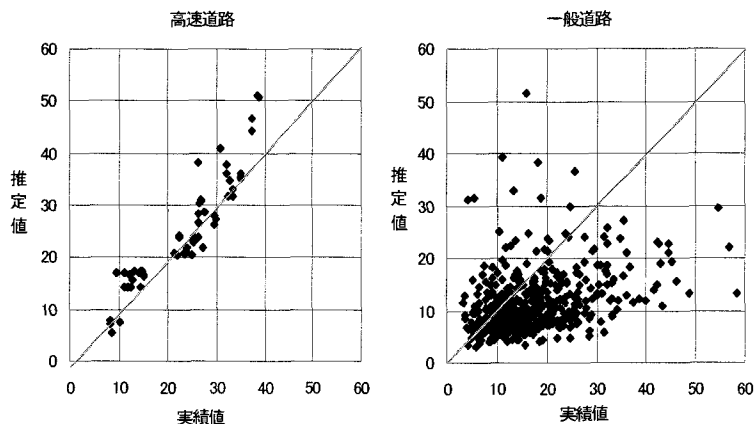


図1 大型車混入率の散布図 (MSUE)

表 4 適合度の評価指標

SUE		
	高速道路	一般道路
相関係数	0.69	0.63
RMS 誤差	10126.8	6131.9
MSUE		
	高速道路	一般道路
相関係数	0.71	0.64
RMS 誤差	7897.3	5105.0
大型車混入率		
	高速道路	一般道路
相関係数	0.92	0.39
RMS 誤差	4.3	10.1

表 4、図 1 より高速道路の大型車混入率は非常に良い結果であり、一般道路の大型車混入率は全体的に過小推定である。これは本研究の車種別リンクパフォーマンス関数では大型車の経路選択基準の幹線志向性が十分に反映されておらず、平均化されているため、国道 23 号線のような特に大型車混入率が高いリンクの適合度が悪くなったと考えられる。

5. おわりに

本研究では道路交通センサスデータを用いて車種別リンクパフォーマンス関数を推定し、それに基づいて車種別確率の利用者均衡配分モデルを構築し、名古屋都市圏に適用した。現況再現性をみると大型車の幹線志向性を十分反映することができなかった。今後、大型車旅行速度データ作成時の仮定を精査した上で車種別リンクパフォーマンス関数を改良するとともに、適用事例を増やしていく必要がある。

参考文献

- 1) 河上省吾・徐志敏・広島康裕：車種別均衡配分モデルに関する実証的な研究，土木学会論文集，No.431/IV-15，pp.57～66，1991
- 2) 社団法人 日本道路協会：道路の交通容量，1984
- 3) 道路投資の評価に関する指針検討委員会：道路投資の評価に関する指針(案)，1999
- 4) 土木学会：交通ネットワークの均衡分析—最新の理論と解法—，1998
- 5) 溝上章志・松井寛・可知隆：日交通配分に用いるリンクコスト関数の開発，土木学会論文集，No401/IV-10，pp.99～107，1989