

非集計ロジットによる経路選択モデルを内在したOD交通需要・交通状態の動的推定に関する研究*

Dynamic OD and Traffic State Estimates with Imbedding Logit-Based Route Choice Model in Kalman Filter*

上出祐次**・中辻隆***・アンブルヴェル・アルラナンダム****・秋谷真*****

By Yuji KAMIDE**・Takashi NAKATSUJI ***・Anburuvel ARULANANTHAM ****・Makoto AKIYA*****

1. はじめに

現代社会において自動車交通は経済活動や日常生活を支える重要な役割を担っている。しかしその弊害である交通渋滞によって多大な時間的損失や環境問題が引き起こされ、多くの主要都市において深刻な問題となっている。既存の社会基盤を効果的に利用する手法がこれらの問題を解決する手段として有効であると考えられ、その確立が期待されている。一例としては、効率的に交通運営と交通システムの制御を行う、高度な交通管理システムが挙げられる。

現在日本では、警察庁が ITS の一環として、「交通管理の最適化」を目指した新交通管理システム(UTMS)の研究開発及び実用化・整備を推進している。これらのシステムにおいては、現在及び将来の交通状態、ネットワークの交通需要の正確な把握が必須であるとされている。しかし、ネットワークの交通需要などではネットワークが大きくなるにつれて未知数が膨大になり、推定に費やす時間が多くなることの問題がある。このため、未知数を減らすことの重要性が指摘され、解決のための手法の確立が求められている。

そこで本研究では二段階のロジットモデルを用いることで、OD 交通需要・交通状態の予測における未知数を減らすことを目的としている。また Unscented カルマンフィルターを用いた OD 交通需要・交通状態の予測モデルを構築することを目的としている。

*キーワード: 交通流、経路選択、目的地選択、非集計ロジットモデル

**正員、工修、パシフィックコンサルタンツ (株)

(東京都新宿区西新宿2-7-1 新宿第一生命ビル、

TEL: 03-3344-0074、E-mail: yuji.kamide@tk.pacific.co.jp)

***正員、工博、北海道大学大学院工学研究科

(北海道札幌市北区北13条西8丁目、

TEL: 011-706-6215、E-mail: naka@eng.hokudai.ac.jp)

****非会員、工学、北海道大学大学院工学研究科

(北海道札幌市北区北13条西8丁目、

TEL: 011-706-6217、E-mail: aanbu007@eng.hokudai.ac.jp)

*****学生員、工学、北海道大学大学院工学研究科

(北海道札幌市北区北13条西8丁目、

TEL: 011-706-6217、E-mail: akiya@eng.hokudai.ac.jp)

2. OD交通需要の推定

OD交通需要の推定においては、既存研究ではODの総数を考慮する必要があった。しかしODの総数を考慮すると、ネットワークが大きくなるにつれてODの総数が膨大になり、計算負荷が大きくなるという問題が発生する。例としてn個のノードからなるネットワークを考えると、ODの総数は $n(n-1)$ となる。本研究では、目的地選択、経路選択に対してそれぞれ比集計ロジットモデルを用いることで、ODの総数を考慮する必要をなくし、未知数を減らすことを試みる。特に経路選択については、首都高速道路利用者への意識調査の結果から経路選択モデルを構築することとする。

3. 二段階ロジット

3.1 非集計ロジットモデル

非集計行動モデル¹²⁾の基本的な前提は、「個人が交通行動の基本的な意思決定単位であり、個人はある選択状況の中からもっとも望ましい選択肢を選択する」というものである。ある選択肢jの持つ「望ましさ」、あるいは「効用(Utility:U_j)」は、その選択肢の持つ特性X_jと個人の社会経済属性S_nによって異なると考えられるが、その要因のすべてを観測することは不可能である。そのため、効用は確率的に変動すると考えるのがランダム効用理論のアプローチである。ランダム効用理論では、効用U_jは確率的に変動する部分(確率項)ε_jと変動しない部分(確定項)V_jに分けられ、その線形性を仮定して以下のように表される。

$$U_j = V_j + \varepsilon_j \quad (1)$$

交通行動の分析において、ランダム効用理論が妥当であると考えられる理由には他に個人の行動は必ずしも合理的選択行動に従うとは限らないこと、情報の不完全性の問題などが挙げられる。この誤差項の分布にガンベル分布を用いた非集計ロジットモデルがよく使われている。

3.2 二段階ロジットを用いるメリット

まず、二段階ロジットをどのように用いるかについて説明する。まず一段目の目的地選択に関するロジッ

トモデルを用いることで、発生・集中交通量から分布 (OD) 交通量を求める (式 (2))。さらに経路選択があるようなネットワークを対象にする場合、二段目の経路選択に関するロジットモデルを用いることで、上記で求めた分布 (OD) 交通量から配分 (経路) 交通量を求める (式 (3))。

この方法を用いることにより、未知数は発生ノードの数と目的ノードの魅力度数、スケールパラメータ 2 つだけとなる。n 個のノードからなるネットワークを考えると、未知数は $2n+1$ となり、大きなネットワークになっても未知数を抑えることが可能となる。

$$q_{rs} = O_r \frac{\exp\{-\gamma(u_{rs} - M_s)\}}{\sum \exp\{-\gamma(u_{rs} - M_s)\}} \quad (2)$$

$$f_k^{rs} = q_{rs} \frac{\exp\{-\theta V_k\}}{\sum \exp\{-\theta V_k\}} \quad (3)$$

u_{rs} : OD 交通量	O_r : 発生交通量
q_{rs} : rs 間の最短時間	M_s : 目的地の魅力度
f_k^{rs} : 経路交通量	V_k : 経路 k の効用

4. 意識調査

4-1. 意識調査の概要

経路選択モデルを作成するために、首都高速道路で意識調査を行った。意識調査の概要を表 1 に示す。首都高速道路は ETC の利用が非常に多く、料金所などでの配布は難しいと考えたため、利用客が多いと考えられる大黒 PA で意識調査を行った。

表 1. 意識調査概要

調査日	平成19年11月19日(月)、20日(火)
対象者	首都高を利用しているドライバー
方法	直接配布・郵送回収
配布場所	大黒PA
配布票数	476
回収票数	160
回収率	33.61%

4-2. 意識調査の内容

意識調査では個人属性、当日の移動区間・経路についての RP データを主に尋ねている。本研究ではこの RP データを用いて、経路選択モデルを構築することとする。

4-3. 回答者の個人属性

図 1、図 2 は回答者の性別、年齢をまとめたものである。性別を見ると圧倒的に男性が多くなっている。これは意識調査の対象をドライバーの方にして答えて頂いたため、男性が中心となったものと思われる。年齢については比較的バランス良くデータを取ることができた。

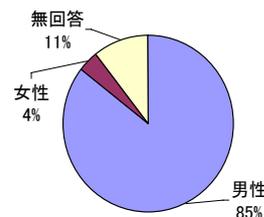


図 1. 個人属性-性別

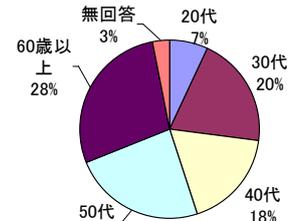


図 2. 個人属性-年齢

4-5. RP データによる選択確率

図 3 は回答者の当日の実際の利用経路、図 4 は高速湾岸線、K1 号横羽線の 2 つの経路の選択確率を示したものである。

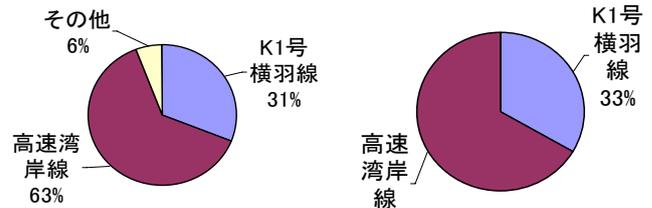


図 3. 当日の利用経路

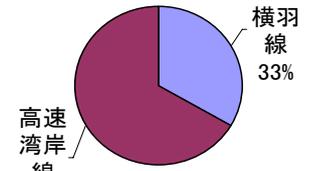


図 4. 経路の選択確率

高速湾岸線、K1 号横羽線の選択確率については以下のステップで算出を行った。

1. 全ての OD を抜き出し、経路選択の余地があるか判断する。
2. 経路選択のあるすべての OD の利用経路毎にトリップを算出する。
3. 各経路を使ったトリップ数から各選択確率を算出する。

5. 経路選択モデル

5.1 モデルの推定

意識調査の回答から経路選択モデルを推定した。各パラメータの推定を行ったところ、幾つかの説明変数や個人属性で t 値が低くなったので、説明変数の絞り込みを行い、所要時間と経路距離と定数項が残った。しかし、2 つの変数間に相関があり、経路距離の係数の符号が+となった。これは距離が増えれば増えるほど効用が大きくなるということになり、矛盾している。そこで今回はより影響が大きい結果となった所要時間と定数項だけのモデルとすることとした。式(4)は経路 k の効用、式(5)は経路 k を選択する確率を示している。

$$V_k = -0.047c_k^{rs} - 0.524 \quad (4)$$

$$P(k) = \frac{\exp\{-\theta(-0.047c_k^{rs} - 0.524)\}}{\sum \exp\{-\theta(-0.047c_k^{rs} - 0.524)\}} \quad (5)$$

5.2 推定したモデルの精度

推定した経路選択モデルの適中率、尤度比を表 2 に示す。一般的には適中率 80%以上、尤度比 0.2~0.4 が非常に精度が良いとされているので、今回推定したモデルはそこまで精度が高くないという結果になった。また個人属性についても影響がないという結果となった。原因としては、今回の調査が首都高利用者全体を上手く表せていなかったことが考えられる。配布場所が 1 つの PA だったこと、首都高利用者全体に対して票数が少なかったことなどが考えられる。今後より精度の高い経路選択モデルを作るには、もっと大々的な調査を行う必要がある。

しかし、そのような大々的な調査には費用も時間もかかってしまうため、本研究ではフィードバック推定手法⁹⁾を取り入れることによって、全体として精度を向上させることを試みることにした。

表 2. 経路選択モデルの精度

指標	経路選択モデル
適中率	70.59%
尤度比	0.11

6. OD 交通需要・交通状態の予測モデルの構築

6.1 Unscentedカルマンフィルター(UKF)

本研究ではフィードバック手法として、Unscentedカルマンフィルターを取り組むこととした。これは、1990 年代末に提案された、明示的に表現された状態方程式や観測方程式なしにカルマンゲインを求め、フィードバック推定を可能とする方法である。これはすなわち、複雑な構造を有するシミュレーションモデルを状態/観測方程式とすることができるということを意味し、その適用性を大きく拡大した。また非線形カルマンフィルターのテイラー展開において 2 次項までの精度を保証するだけでなく、従来の線形化にともなう複雑な微分演算子の計算なしにカルマンゲインを求めることができるという数値計算上極めて優れた特質も有している。本研究ではこの Unscented カルマンフィルターを用いて OD 交通需要・交通状態の予測モデルを構築することとする。

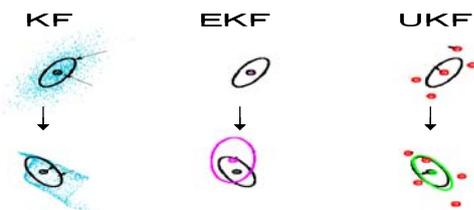


図 5. カルマンゲインの計算イメージ

6.2 シミュレーションモデル

上記で述べたように、Unscented カルマンフィルターはいかなるシミュレーションモデルにも適用可能で

あることを特徴としている。本研究では OD 交通需要予測にロジットモデル、交通状態予測にマクロ交通流モデルを組み込むこととする。

マクロ交通流モデルは 1950 年代に提案された LWR モデルという単純マクロモデルを始祖としており、時刻 t 、位置 x における密度を $\rho(x,t)$ 、交通量を $q(x,t)$ 、平均速度を $v(x,t)$ とすると、これらの交通変量を求めるために以下の方程式が用いられる。

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial q}{\partial x} = r \quad (6)$$

$$q = \rho v \quad (7)$$

$$v = V_e(\rho) \quad (8)$$

ここで、 r は流入/流出交通量、 $V_e(\rho)$ は均衡速度(密度-速度関係式)である。(6)式は連続式、(7)式は基本関係式と呼ばれるものであり、それぞれのマクロモデルに共通な方程式である。(8)式は速度と車両密度の関係式であり、各モデルによって異なっており、これが各モデルの特徴を表すものになっている。本研究では、Payneモデルを基にした修正高次モデル⁴⁾を用いることとする。

6.3 OD 交通需要予測モデル

構築した OD 交通需要予測モデルのフローを図 6 に示す。具体的には以下のステップで計算を行う。

- ①発生交通量、スケールパラメータ γ 、 θ を未知数として与える。
- ②一段目のロジットモデルを用いて分布交通量を求める。
- ③経路選択があれば二段目のロジットモデルを用いてシミュレーションを行い、計測値を得る前の予測値を求める。
- ④予測値と計測値の乖離に応じて調整を行う。

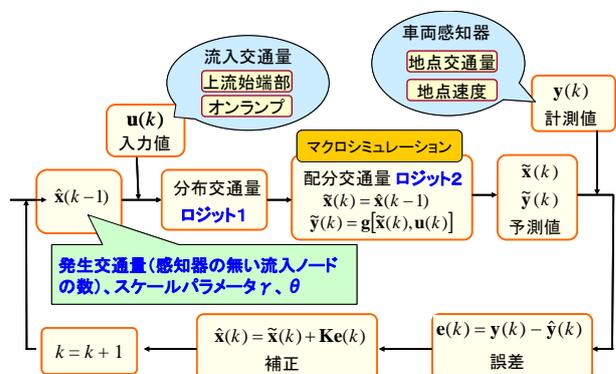


図 6. OD 交通需要予測モデル

6.4 交通状態予測モデル

同様に交通状態予測モデルのフローを図 7 に示す。こちらにも OD 交通需要の推定と同様に以下のステップで行う。

- ①交通状態を未知数として与える。
- ②マクロ交通流モデルを用いて、予測値を求める。
- ④予測値と計測値の乖離に応じて調整を行う。

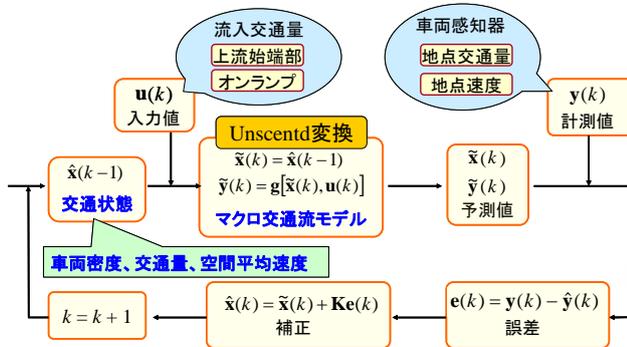


図 7. 交通状態予測モデル

6.5 構築したモデルの精度

これらを用いて交通量、時間平均速度の予測を行った。時間帯は平日の午前 7 時～午前 10 時までの 3 時間である。図 8、図 9 は交通量、時間平均速度について観測値と予測値の比較を示したものである。

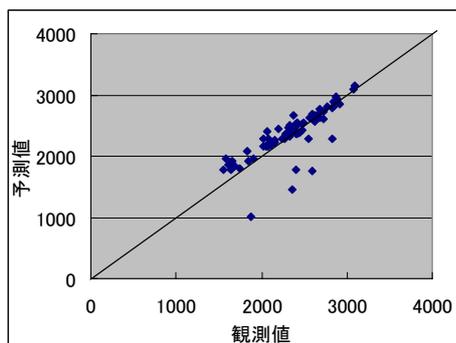


図 8. 予測結果の比較 (交通量)

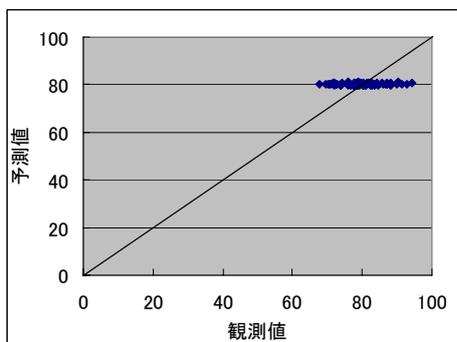


図 9. 予測結果の比較 (時間平均速度)

図 8、図 9 の R^2 値はそれぞれ 0.97 と 0.98 であり、非常に高い値を示した。また、図 10、図 11 はそれぞれの RMSE を示したものである。

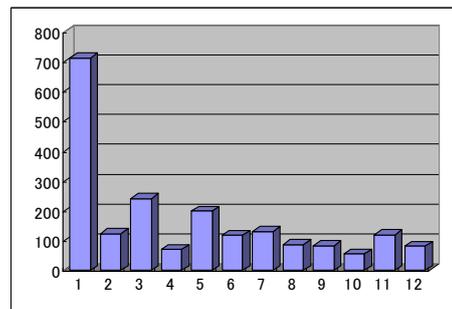


図 10. RMSE (交通量)

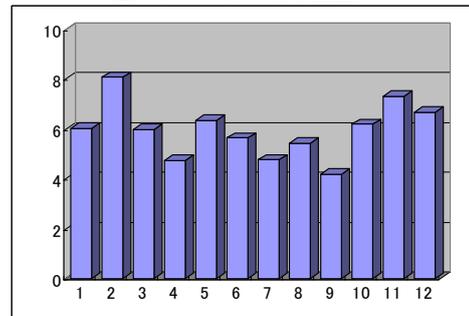


図 11. RMSE (時間平均速度)

交通量は 2000～3000(veh/hr)、時間平均速度は 60～80(km/hr) がほとんどだったので RMSE は概ね平均値の 10% 程度であり、かなり精度は高い結果となったと言える。

7. おわりに

本研究では首都高速道路利用者を対象に意識調査を行い、経路選択モデルを作成した。また作成したモデルを用いて、二段階のロジットモデルを使った OD 交通需要予測モデルを構築した。これにより大きなネットワークを対象とした場合でも、未知数を減らし、計算負荷を減らすことが可能になる。

しかし未知数や計算負荷を減らしたことでどのくらい推定精度に影響を与えるかについては検証を行っていない。そのため今後の課題としては今回構築したモデルと従来の方法の計算時間と推定精度などの比較・検証を行う必要があると考える。

参考文献

- 1) 土木学会編、非集計行動モデルの理論と実際、土木学会、1995
- 2) 交通工学研究会編、やさしい非集計分析、丸善、1993
- 3) 中辻隆、交通流におけるフィードバック原理に基づく推定技術の現状と展望、IATSS Review, Vol.30、2006
- 4) 上出祐次、Rattaphol PUEBOOBPAPHAN、中辻隆、修正高次マクロモデルのパラメータ感度分析に関する研究、土木学会土木計画学研究講演集、2007