

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和元年5月28日現在

機関番号：13903

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K06534

研究課題名(和文) 時間変動係数と観測交通量に基づく時間帯別OD交通量の逆推定モデルの実用化研究

研究課題名(英文) Practical Applications on time coefficient estimation for hourly origin-destination demand from observed link flow

研究代表者

藤田 素弘 (Fujita, Motohiro)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：90229013

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、高速・一般道路における渋滞対策や料金施策、集中工事等の事前評価に用いるためのピーク時間帯の時間帯別交通量予測手法について、この入力データとして重要な時間帯別OD交通量の予測モデルを開発した(：OD交通量とは出発地-目的地間交通量)。ここでは信頼のある日OD交通量を与件として、観測交通量を用いて時間変動係数(=時間帯別OD交通量/日OD交通量)推定モデルの実用化について検討して、細かなゾーニングや域外OD交通量の考慮および、新たなモデリングの検討を行うことで、これまでよりも精度を大きく改善できることを確認できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

OD交通量(出発地-到着地間交通量)の予測は、各地点の交通量や渋滞量をシミュレーションするうえで重要なデータであるが、日OD交通量に比べて時間帯別OD交通量は予測精度を上げるのがこれまで難しかった。本研究では、観測した地点交通量から時間帯別OD交通量を、研究室で開発してきている時間帯別交通予測技術を併用して逆に推定する方法を開発することで、大きく精度を改善させることができ、これは新規性有用性の高い方法といえる。

研究成果の概要(英文)：Day-long origin-destination (OD) demand estimation for transportation forecasting is advantageous in terms of accuracy and reliability because it is not affected by hourly variations in the OD distribution. This research explores enhancements of the time-coefficient estimate (TCoE) model that estimates hourly OD demands from observed link flows, given proven a day-long OD demand over a large-scale road network. The model is based on a bi-level formulation of generalized least squares and a semi-dynamic traffic assignment. This research examines how to set many variables and subareas in a study area, including outside OD demands in the outside network throughout Japan in order to achieve good accuracy and efficiency.

研究分野：交通工学・交通計画学

キーワード：OD交通量推計 時間帯別交通配分 観測リンク交通量 時間変動係数

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

本研究では、高速・一般道路における渋滞対策や料金施策、集中工事等の事前評価に用いるためのピーク時間帯の時間帯別交通予測手法について、この入力データであり、この予想精度を大きく改善できる時間帯別 OD 交通量の予測モデルを開発した。これは精度の確保された日 OD 交通量を与件として、観測交通量からの時間変動係数(=時間帯別 OD 交通量/日 OD 交通量)の逆推定を行うものである。代表者は 20 年以上に渡る時間帯別交通予測研究より調査に基づく OD 交通量には夜間が少なく、ピーク時が過大になるバイアスがあることに注目して、時間変動係数を逆推定する基本モデルを研究当初に考案した。モデルの簡易な適用でも大きな精度改善がわかり、新たなモデリングも含め現状の課題を解決して実用化を進めることが必要とされた。

2. 研究の目的

本研究では、信頼できる日 OD 交通量を与件として、観測交通量からの時間変動係数を逆推定するモデルの実用化を目的として行った。この目的のもとで、具体的には以下のような課題を解決するように取り組むものとした。すなわち、1) 基本モデルの最適な地域ゾーニング方法と都市圏外 OD 交通量のモデル開発 2) 補正係数逆推計モデルの新たな開発 3) プログラム開発と適用および計算時間の短縮化 4) リンク交通量の観測リンク地点数と精度 5) 交通量の少ない OD ペアにおける過剰な時間変動への対応検討 となる。

3. 研究の方法

まず研究目的で示した実用化項目ごとに研究の方法を述べるまえに、本研究における基本モデルについて概要を述べる。本研究における時間変動係数は次式により定義される。

$$e_{rs}^n = q_{rs}^n / Q_{rs} \quad (1)$$

$$\sum_{n=1}^{24} e_{rs}^n = 1$$

$e_{rs}^n$ :  $n$ 時間帯の OD ペア  $rs$  の時間変動係数,  $q_{rs}^n$ :  $n$ 時間帯の OD ペア  $rs$  の時間帯別 OD 交通量,  
 $Q_{rs}$ : OD ペア  $rs$  の日 OD 交通量

また、時間変動係数の 1 日の変動をみたものを時間変動パターンとよぶ。ここで、本研究での時間変動係数の逆推定モデルは、日 OD 交通量と観測リンク交通量を与件として、対象都市圏をいくつかの大きな地域に分けて、時間変動係数を地域別方向別で推定するものである。

今、時間均衡配分によって算出される推計リンク交通量と実測リンク交通量  $\hat{x}_a^n$  の残差平方和が最小になるように定式化を行うと、時間変動係数の逆推定モデルの目的関数は次式のようになる<sup>3)</sup>。

$$\min . Z = \sum_n \sum_a \left( \sum_{kl} \sum_{r \in K} \sum_{s \in L} P_{a,rs}^n E_{kl}^n Q_{rs} - \hat{x}_a^n \right)^2 \quad (2)$$

$$s.t. \quad \sum_{kl} E_{kl}^n = 1, \quad E_{kl}^n \geq 0 \quad \forall n, k, l \quad (3)$$

ここで、

$Q_{rs}$ : OD ペア  $rs$  間の日 OD 交通量  
 $\hat{x}_a^n$ :  $n$ 時間帯のリンク  $a$  の観測リンク交通量  
 $P_{a,rs}^n$ :  $n$ 時間帯の OD ペア  $rs$  間の 時間帯別 OD 交通量がリンク  $a$  を利用する確率  
 $E_{kl}^n$ : OD ペア  $rs$  を  $m$  個の大きな地域に区分して、出発地域  $K(=1 \sim m)$ 、到着地域  $L(=1 \sim m)$  の地域別方向別の  $n$ 時間帯の時間変動係数

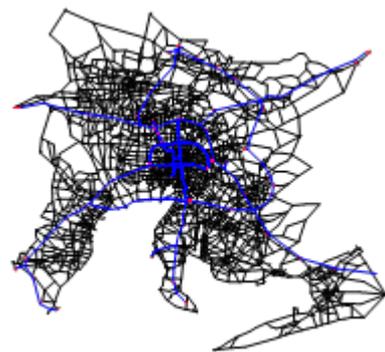


図-1 道路ネットワーク図

式(2)右辺の括弧内左項は時間均衡配分から推計されるリンク  $a$  の推計リンク交通量である。本モデルは上式を上位問題とし、下位問題に 1 日 24 時間の時間均衡配分を行う 2 段階構造となっている。すなわち、上位問題で、リンク利用率(各 OD 交通量におけるリンク  $a$  の利用割合)を与件として時間変動係数を推定して、次に下位問題で時間変動係数を与件として時間均衡配分よりリンク利用率を推定する。上位と下位の計算を繰り返し行い収束した値を、観測リンク交通量との誤差を最小にする時間変動係数の解とし、同時に残留交通量修正済み時間帯別 OD 交通量と、推定リンク交通量を得ることができる。研究で対象としたネットワークは中京 PT のネットワーク(図-1)を基に、平成 22 年道路交通センサス調査までに新設された道路を加えたものを使用する。ゾーン数 482 ゾーン、リンク数 6683、ノード数 4468 から構成される。

この基本モデルをさまざまな観点から実用化にむけて開発をおこなった。以下にその開発項目にそって研究方法を述べる。



図-2 中京都市圏域内ゾーニング

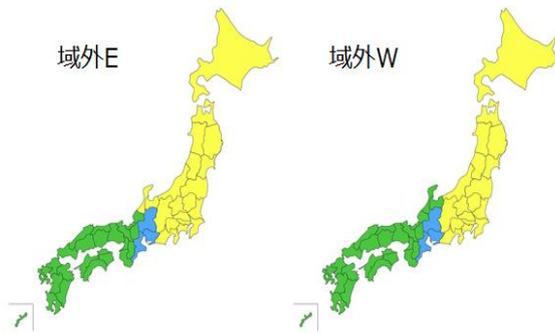


図-3 域外ゾーニング図

(1) 最適な地域ゾーニング方法と都市圏外 OD 交通量のモデル開発

時間変動係数は対象とする都市圏エリアをいくつかのゾーンに区分して、各ゾーン別方向別で共通の変数を用意して推定する。この地域別のゾーニングによって予測精度は変わるため、そのゾーニングの仕方を都市圏エリア内でさまざまな方法を試行して、精度を向上させるうえで最適なゾーニング方法を検討する。本研究で区分した最小の基本ゾーンを図-2に示す。これらの基本ゾーンをいくつか組み合わせを変えて、ゾーニングを検討する。

次に、1日単位の日交通量予測モデルでは、対象都市圏ネットワークに加えて、圏域外からの長距離の簡易ネットワークも接続していることが多い。時間帯別交通均衡配分では、1-2時間帯で到着するトリップを対象とするため、都市圏境界部分に長距離トリップ用のセントロイド（トリップの起終点）を付け替える作業が通常必要となるが、これが大変な労力を必要とするため、これをせずに日単位の交通予測モデルで使用しているネットワークを、そのまま使えるようにすることは実務上重要である。ここでは都市圏域外 OD 用に時間帯別 OD 交通量の逆推定モデルを工夫して効率よく精度良く推定できるモデルを目指したが、域外ゾーンとしては図-3のように中京都市圏の域外を東日本と西日本に分けて、北陸地域を東日本とする場合を域外E、西日本に入れる場合を域外Wとしてそれぞれ別々に逆推定モデルを開発する。

(2) 時間変動係数の補正係数逆推計モデルの開発：

すでに開発されている基本モデルは観測リンク交通量から時間変動係数を逆推定するが、ここではOD調査の日OD交通量データは活用するものの、時間帯別OD交通量データの情報は利用しない。しかし、この方法では地域別に時間変動係数を設定するので、当該地域内のODペアではみな同じ時間変動係数になる。調査データによる時間帯別OD交通量がピーク時間帯において過大にはなるバイアスがあったとしても、その他の傾向は利用可能と考えられる場合は、OD調査データの情報を活かすために、時間変動係数に補正係数をかけて、この補正係数を逆推定する新たなモデルの構築が考えられる。ここでは、この新たなモデルの理論構築を行い実際に適用して基本モデルと比較する。

(3) 時間帯別均衡配分手法との関係理論の整理と計算時間の短縮化

本研究室で長年開発してきている時間帯別均衡配分手法（OD修正法）に基づく時間変動係数逆推定モデルの理論および適用する時間帯幅との整合性の整理の必要性が出てきたため、改めて既存のモデルとの関係性を考察した。次に、本モデルは1日24時間の時間均衡配分の収束計算を行った後に、逆推定モデルの収束計算を行い、そこで求められた時間帯別OD交通量でまた時間均衡配分を行うという収束計算を何度も繰り返す必要があり、収束させるうえで十数時間程度の計算時間がかかるため、計算時間の短縮化をプログラム言語等の工夫によって検討する。

(4) リンク交通量の観測リンク地点数と精度

最終的な交通量予測結果と利用するリンク交通量の観測地点数の精度との関係をいくつかの条件設定を変えて分析し、精度を確保する上で必要な観測地点数の検討を行う。ここではリンク交通量の観測地点数と時間変動係数の形状との関係についても分析する。

(5) 交通量の少ないODペアにおける過剰な時間変動への対応検討

ゾーニングを細かくして精度を上げる研究を進める過程で新たに課題として出てきたもので、特に少ないODペアで過剰といえる不自然な時間変動パターンの変動を一定程度制御する理論について、目的関数を再検討するなど基礎的な分析を行う。

4. 研究成果

上記で示した方法ごとの研究成果を述べる。

(1) 最適な地域ゾーニング方法と都市圏外 OD 交通量のモデル開発

まず、ここでは域外 OD 交通量をセンサス調査で得られる初期 OD 交通量で固定して、域内を一

まとめにして域内基本モデルを推定した。この配分精度 (RMS 誤差) の結果を表-1 に示す。初期 OD に比べて域内基本モデルはピーク時間帯で 40%近い精度改善ができており、どの車種についても大きく精度向上できたことがわかる。次に、域内 OD をこの域内基本モデルのもので固定して、研究方法で述べた、域外 E と域外 W モデルで域外 OD を推定した。この配分結果を表-2 に示す。域外 OD の推定で域内基本モデルよりもさらに精度が改善している。車種別にみると大型車の改善量が多く、トリップ長の長い大型車は域外 OD の推定効果が高いといえる。最後に、これらのうち精度がよかった域外 E モデルで推定した域外 OD を使って固定して、域内について最適な地域ゾーニングの検討を行った。図-2 に示した都市圏エリアをいくつか組み合わせることでゾーニングして、時間変動係数の変数として、3 変数から 25 変数のモデルを検討し精度比較を行った結果を図-4 に示す。図より変数(またはゾーン数)を増加させることにより精度が徐々に改善していることがわかる。これは普通車の精度であるが、全車の精度でみると 16 変数のモデルが最も精度が良かった。この 16 変数の域内地域方向別の普通車の時間変動パターンを図-5 に示す。この図から名古屋発の時間変動パターンは、通勤目的と業務目的等が多いことから、なだらかな変化をしているが、全体として朝と夕方にピークを持つ一般的な時間変動パターンになっている。また、一般に遠距離になるほど朝のピークが早くなる傾向がわかる。

表-1 初期 OD と域内基本モデルの RMS 誤差比較

		7時	8時	9時	合計
普通車	初期OD	862	496	381	7,907
	域内基本	513	452	350	6,345
大型車	初期OD	160	263	256	4,421
	域内基本	128	147	154	3,690
全車種	初期OD	932	647	469	10,188
	域内基本	568	529	433	8,596

表-2 域外逆推定モデルの RMS 誤差比較

	初期OD	域内基本	域外E	域外W
普通車	7,907	6,345	6,329	6,338
大型車	4,421	3,690	3,438	3,444
全車種	10,188	8,596	8,513	8,526

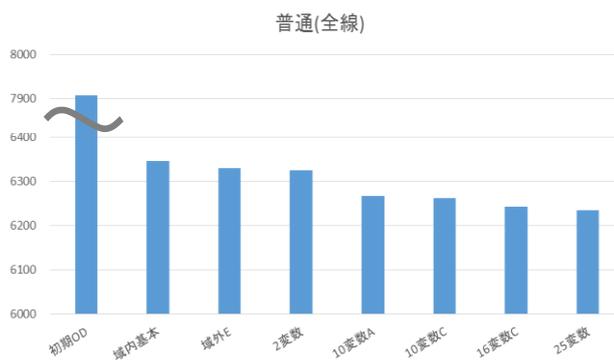


図-4 RMS 誤差比較 (普通車)

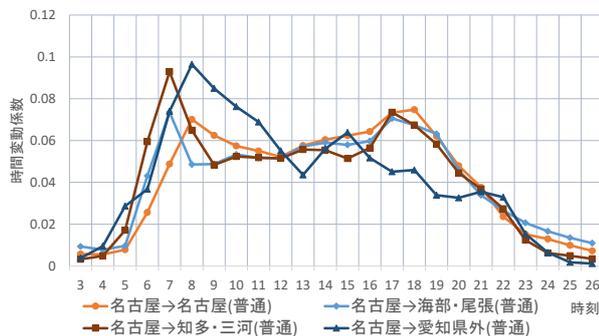


図-5 名古屋発時間変動パターン (普通車)

(2) 時間変動係数の補正係数逆推定モデルの開発:

補正係数逆推計モデルでは、基本モデルとして次のような目的関数と制約条件をもつモデルを開発できた。

$$\begin{aligned} \min Z &= \sum_n \sum_a \left( \sum_r \sum_s P_{a,rs}^n E^n e_{rs}^n Q_{rs} - \hat{x}_a^n \right)^2 \\ \text{s.t.} \quad & \left( \sum_n E^n \sum_r \sum_s e_{rs}^n Q_{rs} \right) = \sum_r \sum_s Q_{rs} \\ & E^n \geq 0 \end{aligned} \quad (4)$$

ここで、 $Q_{rs}$ : OD ペア rs 間の日 OD 交通量、 $e_{rs}^n$ : 調査より与えられる  $n$  時間帯における OD 交通量の時間変動係数、 $\hat{x}_a^n$ : リンク  $a$  の観測リンク交通量  $P_{a,rs}^n$ :  $n$  時間帯における OD 交通量がリンク  $a$  を利用する確率、 $E^n$ : 全ゾーン一律で時間変動係数を補正する補正係数、 $x_a^n$ : 配分計算によって算出されるリンク  $a$  の推計リンク交通量

次にプログラムの開発を行い、実際に適用することで、基本モデル (時間変動係数を直接推定する方法) に対して補正係数逆推定モデルは、多くの OD ペア数の現状データ情報を活用できる反面、精度は基本モデルほどよくなるということが分かった。また、あまり OD ペア数を増加させると、時間変動パターンが元のデータの歪みを引き継いで過剰に変動してしまうので、ある程度集約化したゾーンで適用することも考慮したモデル開発も行った結果、より妥当な時間変動パターンの出力が可能になった。基本モデルが時間帯別 OD 交通量の情報を全く使っていないのに対して、補正係数逆推定モデルは、できるだけ活用しようとしたモデルであるので、観測リンク交通量の情報だけを使った基本モデルよりはどうしても精度は落ちるが、できる限り現状の時間帯データに即した推定を行いたい場合は有効であることが分かった。

### (3) 時間帯別均衡配分手法との関係理論の整理と計算時間の短縮化

本研究のモデルで併用する時間帯別均衡配分(OD修正法)においては、OD間所要時間のトリップ長は設定した時間帯幅を超えないという仮定がある。本研究ではOD修正法の理論においてこの時間帯幅の仮定の緩和方法を提案しつつ、時間変動係数逆推定モデルで推定される時間帯別OD交通量は、経路の中間時点をベース(中間ベース)とした時刻で集計されたOD交通量であることを明らかにした。さらに、その中間ベースを元にして、出発地からの発時刻ベースで集計される時間帯別OD交通量の逆算方法を整理できた。次に、24時間全体で20時間程度かかっている計算時間の効率化について検討した。本モデルにおいて多く時間がかかって時間帯別均衡配分モデルの計算において、最新のJULIA言語の使用や並列計算を考慮することで、1時間当たり1/4程度に計算時間を抑えることができることがわかり、これを24時間で適用すれば大きな時間短縮につながる事が分かった。

### (4) リンク交通量の観測リンク地点数と精度

観測リンク数の変化が時間変動係数逆推定手法の精度に与える影響分析を行った。観測リンク数395箇所での25変数モデルを利用して、観測リンク数を無作為に40箇所ずつ減少させていきRMS誤差の変化をみた。結果、車種や経路ごとに異なる傾向があったが基本モデルから160箇所までの減少であれば精度が維持されて、時間変動パターンにも大きな変化はなかったが、それ以上観測リンク数を減少させると精度の悪化や収束不良となることが分かった。

### (5) 交通量の少ないODペアにおける過剰な時間変動への対応検討

研究を進める過程で、ゾーニングの数を増やしていくと、OD交通量の少ないペアで過剰ともいえるジグザグの時間変動パターンが出力されることがわかった。この変動を抑制する目的関数を新たに付け加えて分析した結果、時間変動パターンの過剰変動を抑えることができることが分かった。しかし一方であまり抑えしすぎると本来の時間変動パターンの特性を崩してしまうことから時間変動パターンをどのように推計すれば実際的に適合性が高いかなどが今後の研究課題として挙げられた。

研究機関全体を通して、上記のものも含めて、地域別方向別のゾーニングで区分けして、さらに都市圏域外からのOD交通量も含めて全体として時間帯別OD交通量を精度よく推定できる時間変動係数逆推定モデルの実用化を進めることができた。

## 5. 主な発表論文等

### [雑誌論文] (計 2件)

- ① Motohiro Fujita, Shinji Yamada, and Shintaro Murakami, Time Coefficient Estimation for Hourly Origin-Destination Demand from Observed Link Flow Based on Semidynamic Traffic Assignment, Journal of Advanced Transportation, Volume 2017, 査読有り <https://www.hindawi.com/journals/jat/2017/6495861/>
- ② 藤田素弘・村上慎太郎: 地域別方向別と域外交通を考慮した時間変動係数に基づく時間帯別OD交通量の逆推定手法, 土木学会論文集D3・特集号, Vol. 72, no. 5, pp. I\_617-I\_625, 2016, 査読有り

### [学会発表] (計 7件)

- ① 瀬川貴史, 藤田素弘: 観測リンク数の変化が時間変動係数逆推定手法の精度に与える影響分析, 土木学会中部支部研究発表会, 2018
- ② 山上恭平, 藤田素弘, 市村康平: 変動抑制を考慮した時間変動係数に基づく時間帯別OD交通量の逆推定手法, 第58回土木計画学研究発表会(秋大会) 2018年11月23日~25日, 大分大学
- ③ Motohiro Fujita, Shinji Yamada, Shintaro Murakami, Koji Noda, Hourly origin-destination demand estimation base on Time coefficients from observed link flow through semi-dynamic traffic assignment, 12th International Conference of Eastern Asia Society For Transportation Studies, Easts SEP. 18-21, 2017 | Sheraton Saigon Hotel & Towers, Ho Chi Minh City, Vietnam
- ④ 市村康平, 藤田素弘: 地域別方向別を考慮した時間帯別OD交通量の補正係数の逆推定手法の研究, 土木計画学研究・講演集, Vol: 54, pp1348-1351, 2016

### [図書] (計 0件)

[産業財産権] 該当なし

[その他]

ホームページ等: <https://www.hindawi.com/journals/jat/2017/6495861/>

6. 研究組織
- (1) 研究分担者
- (2) 研究協力者