

動的経路交通量推定モデルの実ネットワークにおける適用検証

Implementation of Dynamic Path Flow Estimation Model onto Real World Network

金進英**・倉内文孝***・飯田恭敬****

By JinYoung Kim**・Fumitaka Kurauchi***・Yasunori Iida****

1. はじめに

交通の計画・管理において、道路ネットワーク上の車両の流れの把握は不可欠であり、以前から交通の流れを把握するための一環として、OD (Origin Destination) 交通量の推定に関する研究が多く実施されてきた。著者らも様々なパターンの OD 交通量推定モデルを構築していき、またそれらの開発を継続している。そのうち最小二乗法に基づいた動的 OD 交通量推定モデルである DCLS-TGV¹⁾ (Dynamic Combined Least Squares with Trip Generation as dependent Variables) は、DCLS-NNC²⁾ (Dynamic Combined Least Squares with Non-Negative Constraints) モデルを改良したモデルである。先行研究において、DCLS-TGV モデルを仮想ネットワークに適用して交通量推定を行い、精度良く推定できることを示している。特に観測交通量に誤差がある場合にも優れた推定精度を保持し、発生交通量の観測データを利用せずに OD 交通量を推定することもできるため一般街路への適用可能性を示した。しかしながら、現在は仮想ネットワーク上での検証に留まっているため、本研究では道路上で実際に観測されたデータを活用した推定を実施し、提案したモデルの実用可能性について議論する。その際、経路交通量の推定値を用いて所要時間情報提供効果について論じることとする。

2. DCLS-TGV モデル

Kurauchi et al.²⁾が提案した DCLS-NNC モデルは、逐次推定手法を採用し、リアルタイムでの推定が可

*キーワード：OD 推定，最小二乗法，動的推定モデル

**学生員，工修，京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

(京都市左京区吉田本町，TEL075-753-5126，

jeanjin@urbanfac.kuciv.kyoto-u.ac.jp)

***正員，博士(工)，京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

****正員，工博，京都大学大学院工学研究科都市社会工学専攻

能であり、任意の時間間隔で発生地別リンク交通量が推定できる。しかし、発生交通量に観測誤差がないという厳しい条件が設定されており、その上発生交通量が観測されない場合には推定不能のため、高速道路のように制御が可能な道路への適用を前提としている。このような制約を緩和して改良したモデルが DCLS-TGV である。DCLS-TGV モデルは、発生交通量を誤差を伴った観測値と位置づけ、真の発生交通量は未知変数として取り扱うため、ネットワーク上の観測の可否に関係なく推定可能である。

DCLS-TGV モデルの定式化は以下のものである。

min

$$\sum_{a \in A_{ot}} \left\{ [v_{at} - v_{at}^*]^2 + \sum_{p=1}^{P_{ia}} \sum_{i \in I} \sum_{s=1}^t \delta_{iaps} \cdot (y_{iaps} - O_{is} g_{iaps})^2 \right\} + \sum_{i \in I} \sum_{s=1}^t (O_{is} - O_{is}^*)^2 \quad (1)$$

subject to

$$\sum_{a \in A_{out}^i} y_{iaps} = O_{is} \quad \forall i \in I, s (1 \leq s \leq t) \quad (2)$$

$$\sum_{a \in A_{in}^n} y_{iaps} = \sum_{a \in A_{out}^n} y_{iaps} \quad (3)$$

$$\forall i \in I, n \in \{N - N^{off}\}, p (1 \leq p \leq P_{ia}), s = \{s | 1 \leq s \leq t\}$$

$$\sum_{a \in A_{in}^n} y_{iaps} \geq \sum_{a \in A_{out}^n} y_{iaps} \quad (4)$$

$$\forall i \in I, n \in N^{off}, p (1 \leq p \leq P_{ia}), s = \{s | 1 \leq s \leq t\}$$

$$y_{iaps} \geq 0 \quad (5)$$

$$\forall i \in I, a \in A, p (1 \leq p \leq P_{ia}), s = \{s | 1 \leq s \leq t\}$$

$$O_{is} \geq 0 \quad \forall i \in I, s = \{s | 1 \leq s \leq t\} \quad (6)$$

ここで、

A_{ot} : ある時間帯 t において、交通量が観測されているリンク a の集合、

P_{ia} : 発生地が i である OD ペアに対して、手順*で計算されるリンク a に対する未知変数 y_{iaps} の数、

I : 出発地の集合、

y_{iaps} : ある時間帯 s に発生地 i から発生した交通量でリンク a を利用する交通量のうち、手順*で計算される p 番目未知変数に該当する交通量 (発生地別リンク交通量),

v_{at}^* : 時間帯 t にリンク a から観測された交通量,
 δ_{iaps} : y_{iaps} が直前の推定時間帯 $t-1$ までに推定されている場合は 0, そうでなければ 1 を取る変数,

g_{iaps} : y_{iaps} に対応する事前確率,

O_{is} : ある時間帯 s に出発地 i から発生した交通量,

O_{is}^* : ある時間帯 s に出発地 i で観測された発生交通量,

I^* : 発生交通量が観測されている出発地の集合,

A_{out}^i : 出発地 i と結びついているノードに繋がっているリンク,

N : ノードの集合,

N^{off} : オフランプのあるノードの集合,

$A_{in}^n (A_{out}^n)$: ノード n を終点 (始点) とするリンクの集合,

t : 現在時刻,

であり, v_{at} は以下のように記述できる.

$$v_{at} = \sum_{p=1}^{P_{ia}} \sum_{i \in I} \sum_{s=1}^t \{ \delta_{iaps} \cdot q_{iaps} \cdot y_{iaps} + (1 - \delta_{iaps}) \cdot q_{iaps} \cdot \hat{y}_{iaps} \} \quad (7)$$

ここで,

q_{iaps} : 時間帯 s に出発地 i から発生した車両のうち、時間帯 t に p 番目のリンク a を利用する割合 (動的リンク利用率),

\hat{y}_{iaps} : y_{iaps} の推定値, である.

仮想線形ネットワークと仮想複数経路ネットワークを用いて推定を行った結果, DCLS-TGV モデルにより精度良く OD 交通量が推定された. また観測誤差による推定精度を比較した結果, 観測誤差が大きくなればなるほど DCLS-NNC より DCLS-TGV のほうの推定精度が良くなった. このような研究結果を踏まえ, 本研究では DCLS-TGV モデルの実道路ネットワークへの適用を試みる.

3. 実道路ネットワークにおける OD 交通量の推定精度の検証

著者が提案した DCLS-TGV モデルの実用性を検

手順* とは, まず経路を抽出し, 出発地から同一の経路は統合し, 分岐して合流したときには新しい番号 p を数える一連の過程である.

証するために, 実道路ネットワークを用いて OD 交通量の推定及び分析を行った. 対象区間は阪神高速道路の神戸線の一部とし, 該当区間のアンケート調査による OD 交通量とモデルによる推定 OD 交通量を比較した. 阪神高速道路神戸線の月見山オンランプから武庫川オフランプまでの約 27.5km を研究対象としており, 図 1 のように 10ヶ所のオンランプと 9ヶ所のオフランプが設置されている. 本研究で利用した調査 OD 交通量は, 「第 20 回阪神高速道路起終点調査³⁾」によるものであり, 併せてこの調査が実施された 1994 年 11 月 1 日 (火) 午前 7 時から 11 月 2 日 (水) 午前 7 時までの 24 時間のデータを用いて推定を実施した. なお, オン・オフランプ間の距離が短いため, 調査交通量と推定交通量を比較する前に対象区間を図 1 のように A から F の 6 つのブロックに分けて OD 交通量を集計し, ブロック間の交通量で検証を進めることとした.

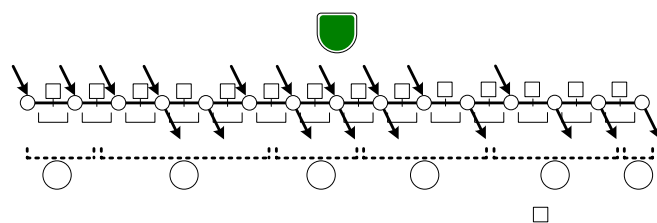


図 1 分析対象区間 (起終点調査データとの比較)

最短区間である OD(A, B) と最長区間である OD(A, F) の調査交通量と推定交通量を比較したのが図 2 である. 図 2 によると, 距離が短い OD(A, B) の場合には比較的調査交通量と推定交通量の値が一致しているものの, 距離が長い OD(A, F) の場合には調査交通量の値が全般的に大きいことがわかる.

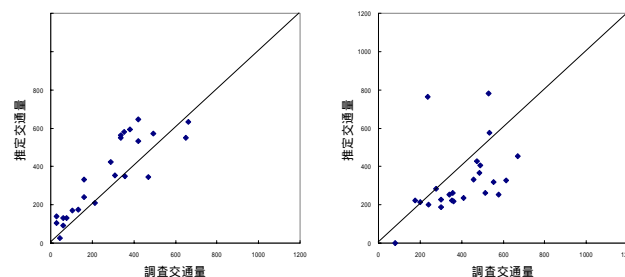


図 2 調査交通量と推定交通量

また, すべての OD ペアの相関係数を計算した結果が表 1 である. 前述のように OD 間の距離が長い

OD(A, F)や OD(B, F)は相関係数が小さいものの、一般的には相関が高い。このように推定精度が距離にかかわっていることにはいくつかの理由が考えられる。その一つは、本モデルの構造上生じるタイムラグが考えられる。DCLS-TGV は逐次推定方法を導入しており、事前確率は最後に推定された 30 分間の推定結果を用いて計算される。このため、OD 間の所要時間が長くなるにつれて事前確率を計算するために利用される推定結果の時点と現時点との間にラグが生じる。また、ここで使われている起終点調査データの信頼性も一因と考えられる。さらに、モデルの構造上の問題もありうる。現在直前の推定結果を用いて事前確率を算定しているが、推定精度を高めるためには、事前確率の計算に前日あるいは前週のデータを利用する方法も考えられる。

表 1 調査交通量と推定交通量間の相関係数

OD ペア	AB	AC	AD	AE	AF
相関係数	0.8732	0.812	0.7789	0.5694	0.4293
OD ペア	BD	BE	BF	CE	CF
相関係数	0.7794	0.7686	0.4898	0.6615	0.7754
OD ペア	DE	DF	EF		
相関係数	0.7409	0.8321	0.9273		

4. 動的経路交通量推定モデルの情報提供効果分析への適用

ここでは OD 交通量推定モデルを用いて、複数経路ネットワークにおける各経路交通量の変化と所要時間情報との関係について論じる。先行研究⁴⁾と同様に、図 3 で示している阪神高速道路の一部を用いる。阪神高速道路の神戸線は摩耶オフランプから一般道路を利用し、六甲アイランド北のオンランプから湾岸線に乗り継ぎでき、西長堀で神戸線と合流するため、神戸線と湾岸線の二つの経路が形成できる。交通渋滞がない時の摩耶から西長堀までの所要時間を比較してみると、神戸線を利用する場合は約 30 分、一般道路を経由して湾岸線を利用する場合は約 40 分かかり、各経路の利用料金には差がない。神戸線で摩耶オフランプに到達する前に所要時間情報板があり、神戸線と湾岸線の西長堀までの所要時間が表示されている。したがって、この二つの経路の OD 交通量を推定し、そのときの交通情報と対照す

ることによって、所要時間情報の提供が運転者の経路選択に影響を与えているのかについて検討する。1997 年 10 月 13 日(月)から 10 月 17 日(金)まで 5 日間の摩耶地点で提供された所要時間情報のデータを分析して、時間帯別の神戸線と湾岸線の所要時間情報の差を計算した。また該当区間のリンク交通量の観測データを用いて同じ時間帯の経路交通量を推定した。

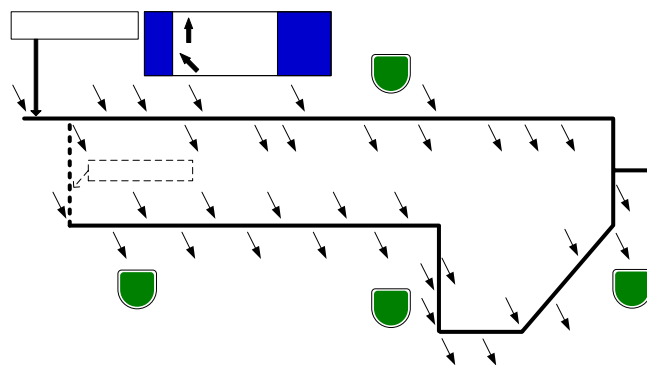
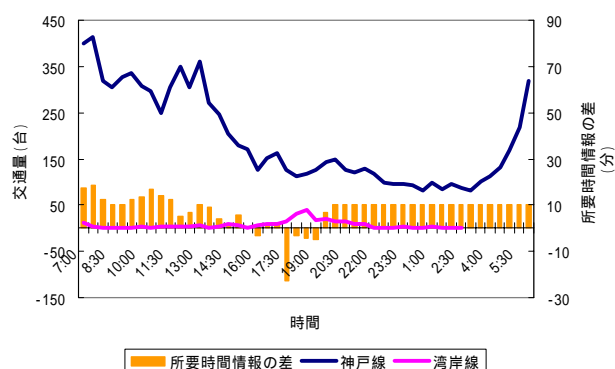
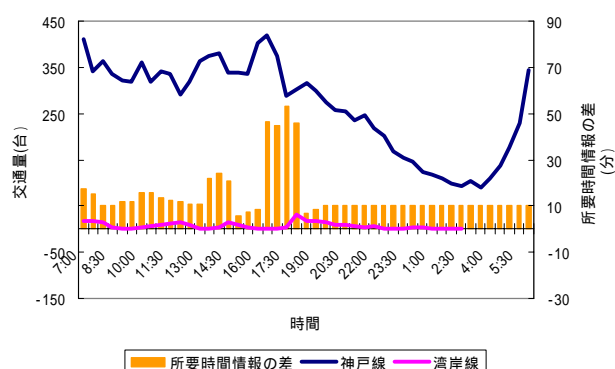


図 3 複数経路ネットワークの対象区間



(a) 10月13日(月)



(b) 10月15日(水)

図 4 各経路の OD 交通量と所要時間情報の差

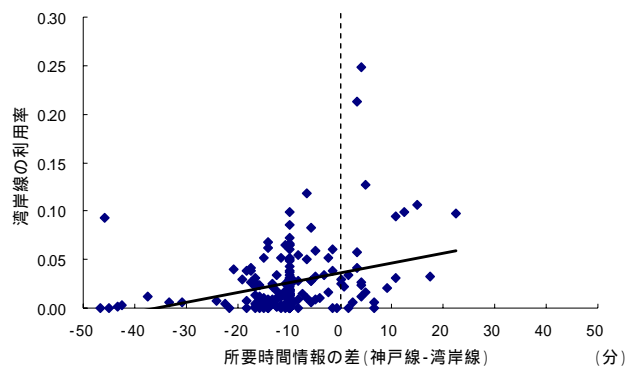
図 4 は神戸線と湾岸線について、摩耶上流から西長堀まで走行する経路の推定交通量と所要時間情報

差を示している。折れ線グラフは各経路の時間帯別交通量の推定量であり、神戸線の交通量のほうが湾岸線の交通量より圧倒的に多いことがわかる。また棒グラフは湾岸線と神戸線の所要時間の差（湾岸線所要時間 - 神戸線所要時間）を表しており、プラスならば神戸線を利用するほうが早く、マイナスならば湾岸線を利用するほうが早い。5 日間の分析結果のうち 10 月 13 日の結果が図 4(a)に示されている。この図によると普段渋滞していない場合の所要時間情報の差は約 10 分になっている一方で、午後 5 時ごろから午後 7 時ごろの間には所要時間情報の差の値がマイナスになっており、湾岸線の所要時間情報のほうが神戸線のより短い。同じ時間帯の推定経路交通量をみると、所要時間情報が長くなっている神戸線の交通量が減少し、湾岸線交通量は増加した。すなわち、経路選択と所要時間情報には密接な関係があるといえる。一方、所要時間差が負で最大になるのは午後 5 時半ごろに対して、湾岸線の交通量が増える傾向が現れるのは午後 6 時から 6 時半ごろである。このような現象も、前節に言及したような原因によるタイムラグによるものと思われる。他の日もおおそ同様の傾向が見られる。図 4(b)は湾岸線に渋滞が発生したときの分析結果である。このグラフからも、所要時間差が正に最大になるときに、湾岸線を避けた車両のため神戸線の交通量が増えることが見られるものの、神戸線交通量が増加に転じるまでにおおよそ約 30 分から 1 時間程度のタイムラグが発生している。

10 月 13 日(月)から 10 月 17 日(金)までの推定 OD 交通量をまとめて湾岸線の利用率を計算し、所要時間の差(神戸線所要時間 - 湾岸線所要時間)との関係を散布図で示したのが図 5 である。普通湾岸線より神戸線のほうが早く所要時間の差は 10 分であるため、横軸の -10 のところにプロットが多く分布しているが、線形近似曲線から見ると全般的には単調増加しているといえる。推定 OD 交通量の結果からも所要時間情報の短い経路が利用される確率が高い傾向が見られたといえる。

4. おわりに

本研究では DCLS-TGV モデルの実用化に向けて、実道路ネットワークにモデルを適用して OD 交通量



推定を行った。まず、推定 OD 交通量と起終点調査データを比較した結果、OD 間の距離によって推定精度には差があるものの、ある程度精度良く推定できることが確認できた。また複数経路ネットワークを用いて経路交通量を推定し、その値を所要時間情報と比較した結果、所要時間情報が短い経路の同じ時間帯では OD 交通量も増加する傾向が見られ、ドライバーの経路選択には道路上の所要時間情報が影響を与えている可能性が高いことが確認できた。

しかし、本モデルを利用する場合、推定された時間帯にタイムラグが発生すると考えられる。そのため、既存のデータを利用した事前確率の計算方法の模索やモデルの簡略化などによる改良の余地がある。また、ここでは高速道路ネットワークを用いて交通量を推定したが、発生交通量が観測できないより複雑な経路を含む一般街路への適用も必要である。

参考文献

- 1) 金進英, 倉内文孝, 飯田恭敬, :“ 発生交通量を未知変数とした動的ネットワーク交通量推定モデルの構築”, ITS シンポジウム, 2003
- 2) F. Kurauchi, Y. Iida, T. Aizawa, L. Li :“ A Method for Estimating Dynamic Origin-Destination Matrices from Traffic Counts on Urban Expressways”, Transportation and Traffic Theory (Abbreviated Presentation Sessions), pp.205-230, 1999
- 3) 阪神高速道路公団, 「第 20 回阪神高速道路起終点調査」, 1994
- 4) 倉内文孝, 飯田恭敬, 相澤卓:“動的ランプ間 OD 推定モデルを用いた情報提供効果の分析”, 土木計画学研究・講演集, No. 23(2), 359-362, 2000