

OD交通量逆推定手法における結合モデル (C-model) の改良と検証

末成 浩嗣¹・田中 良寛²・橋本 浩良²・瀬戸下 伸介²・倉内 文孝³・
内田 賢悦⁴・円山 琢也⁵・杉浦 聡志⁶・飯田 恭敬⁷

¹正会員 元国土技術政策総合研究所道路交通研究部道路研究室(株式会社福山コンサルタント東京支社)
(〒112-0004 東京都文京区後楽2-3-21) E-mail: k.suenari@fukuyamaconsul.co.jp

²正会員 国土交通省 国土技術政策総合研究所 道路研究室 (〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

³正会員 岐阜大学教授 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜市柳戸1番1)

⁴正会員 北海道大学大学院准教授 工学研究院 (〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目)

⁵正会員 熊本大学准教授 政策創造研究教育センター (〒860-8555 熊本市中央区黒髪2丁目39番1)

⁶正会員 岐阜大学助教 工学部社会基盤工学科 (〒501-1193 岐阜市柳戸1番1)

⁷正会員 京都大学名誉教授

全国道路・街路交通情勢調査におけるOD交通量データは、個人情報保護意識の高まりなどから回収率の低下と、これに伴う精度低下が懸念されている。また、道路を賢く使う取組や事故、災害等の突発事象の発生時における道路交通施策の実現のためには、日々の変動や時間的な変化も含めた道路交通状況の把握が必要とされている。OD交通量データの精度向上や変動特性の把握の解決策としてOD交通量逆推定手法が有効とされている。

筆者らは、OD交通量の変動を捉え各種施策に利用することを目的として、OD交通量逆推定手法の実用化に向けた研究に取り組んでいる。本稿では、OD交通量逆推定手法におけるモデル式(C-model)に着目して、既往研究における課題解決に資する代替案を提案する。提案する方法に対して、モデル式としての性能検証を行い、今後の活用シーンを踏まえて考察する。

Key Words : traffic survey, od matrix estimation, road traffic census

1. はじめに

(1) 背景と周辺事情

国土交通省では、概ね5年に1度、全国道路・街路交通情勢調査により、OD交通量を把握している。OD交通量は、将来交通需要の推計、路線別交通量の推計等に利用される。これらの推計結果に基づき、道路事業の評価、道路計画におけるネットワーク・構造規格の決定等が行われている。道路に関する施策運営において非常に重要なデータである¹⁾。しかしながら、個人情報保護意識の高まりなどから、OD調査の調査票の回収率の低下が懸念され、OD交通量の精度確保が課題となっている。

さらに、安定的な交通移動への社会的ニーズの高まりから、道路を賢く使う取組や事故、災害等の突発事象の発生時における道路交通施策の立案や実施効果の確認が求められている。このためには、日々の変動や時間的な変化も含めた道路交通状況のきめ細やかな把握・分析が

必要とされている。

OD交通量や経路交通量の変動特性を把握・分析する方法として、OD交通量逆推定手法が挙げられる。この方法は、実測調査である観測リンク交通量を用いて、OD交通量を逆推定または補正するものである。OD交通量逆推定手法について、飯田²⁾は「新設・改良道路の整備効果や規制・誘導による交通管理の導入効果が的確に評価できる」、「交通現象変動に対する交通行動変化が解明できる」、「従来の交通センサス調査手法を変革する新しい方法論となる」などの利点があると述べている(飯田, 2008, 4)。しかしながら、手法の実用化に向けては多くの課題が残されているため、各所で研究が進められている。

近年では、ETC2.0をはじめとする道路交通に関するビッグデータの利用が進展している。プローブデータから、より詳細なOD交通量やODペア毎の利用経路など道路ネットワーク上を走行する自動車に着目した交通状況(交

通流動) が把握できるようになってきた。OD交通量逆推定手法においては、実用化に向けたデータ収集環境が整ってきたと言える。今後の研究には、手法の実務適用性の検証が求められる。

(2) 研究の目的

筆者らの研究の目的は、各種施策への利用を見据えOD交通量逆推定手法を用いてOD交通量の変動を捉える手法を開発することである。以下3段階での手法の活用シーンを想定し、OD交通量逆推定手法の実用化に向けた研究に取り組んでいる。

- ①全国道路・街路交通情勢調査OD交通量の精度向上
- ②全国道路・街路交通情勢調査OD交通量の年次更新
- ③日々の変動を捉えた日別OD交通量データの作成

OD交通量逆推定手法の実用化に向けた既往研究では、主に3つの視点で提案や検証が行われている。一つめは、推定モデル式である。上坂ら³⁾、前川ら⁴⁾はモデル式の基本的な性能検証を行っている。橋本ら⁵⁾は既往研究の課題解消のためモデル式の改良を行っている。二つめは、事前データの準備である。南部ら⁶⁾、古川ら⁷⁾は事前データの誤差や設定方法が推定結果に与える影響を分析している。国分ら⁸⁾はETC2.0プローブ情報を活用した事前データの作成方法を提案している。三つめは手法の適用条件である。ネットワークやゾーニングなどの空間的な規模の設定に着目すると、研究としては、実ネットワークでの検証の段階にあると言える。全国各地を対象に都市や都市圏単位でのケーススタディが行われている。日別OD交通量や時間帯別OD交通量といった時間的な単位の設定に着目すると、藤田ら⁹⁾は時間変動係数に基づく時間帯別OD交通量の逆推定手法を提案している。

本稿では、推定モデル式に着目する。推定モデル式は、上記の3段階の活用シーンに共通して適用できることを目指して改良案を示す。改良案は、H22年度全国道路・街路交通情勢調査（以下「H22センサス」という。）のデータをもとにモデル式の性能検証を行った。性能検証は、近畿地方を対象にケーススタディを実施し、提案するモデル式の推定結果の感度を確認した。

2. 推定モデルの整理

(1) OD交通量逆推定手法の基本モデル

本研究で検討対象とするOD交通量逆推定手法のモデルはC-modelとする。C-modelは、リンク交通量の推定値と観測値の残差平方和と対象地域における全発生交通量に占める各ゾーンの発生交通量の比率の推定値と現実値の残差平方和を最小化することによって発生交通量（未知変数）を推定するモデルである。手法のフローは図-1、

C-modelの基本とする式は式1の通りである⁴⁾。

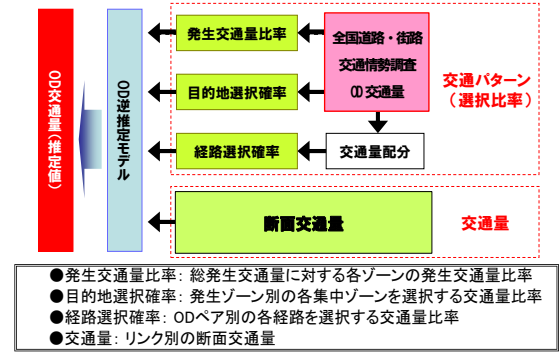


図-1 OD交通量逆推定手法のモデルフロー

C-model のモデル式

（目的関数）

$$\Phi = \sum_a \left[\left(\sum_{c_i} \sum_{d_j} \tau_c \hat{O}_c \alpha_{c_i} m_{cd} \beta_{d_j} P_{cd}^a + \sum_{c_i} \sum_{l} (1 - \tau_c) \hat{O}_c \alpha_{c_i} n_{cl} P_{cl}^a + \sum_k \sum_{d_j} \lambda_k S_k q_{kd} \beta_{d_j} P_{kd}^a + \sum_k \sum_{l} (1 - \lambda_k) S_k r_{kl} P_{kl}^a - v_a^* \right)^2 + \sum_c [\hat{O}_c - \hat{O}_c^*]^2 \right] \rightarrow \text{Min} \quad (1)$$

ここで、

P_{ij}^a : OD交通量 ij のリンク a の利用確率

c_i : セントロイド c 内の発生ノード i

d_j : セントロイド d 内の集中ノード j

τ_c : セントロイド c の OD 交通の内々比率

$\alpha_{c_i} \beta_{d_j}$: ノード発生・集中分担率

m_{cd} : セントロイド cd 間の目的地選択確率

n_{cl} : セントロイド c から外部ノード l への目的地選択確率

λ_k : 外部ノード k から流入する OD 交通の外内比率

S_k : 外部ノード k からの流入交通量

q_{kd} : 外部ノード k からセントロイド d への目的地選択確率

r_{kl} : 外部ノード kl 間の目的地選択確率

v_a^* : リンク a の観測リンク交通量

$\hat{O}_c$: 発生交通量（未知変数）

$\hat{O}$: 総発生交通量（ $\hat{O} = \sum \hat{O}_c$ ）

O_c^* : 既存データによる発生交通量比率（ $= O_c^* / O^*$ ）

（制約条件）

$$\hat{O}_c \geq 0$$

(2) OD交通量逆推定の手法上の課題

基本式では、観測リンク交通量の推定値と観測値の残差（第1項）とゾーン別発生交通量パターンの推定値と現実値の残差（第2項）の重みは1:1としてきた。既往研究³⁾⁴⁾では、C-modelにおいては、事前データが有する発生交通量比率の誤差により推定結果に大きな誤差が生じる問題への対応が必要としている。その対応策として、リンク交通量と発生交通量の各項に重み付けを行うことを挙げている。

(3) 既往研究における課題の解決策

橋本ら²⁾は、前述の課題の解決策として、誤差論の考え方を参考に残差項の重みを設定している。その際、サンプル調査であるOD調査結果によるOD交通量と実際に観測された観測リンク交通量とを同等に扱ってよいのか、重みの設定に明確な根拠が必要であることを指摘している。したがって、観測リンク交通量の残差項を $\Sigma(x_i^2)$ 、発生交通量の残差項を $\Sigma(y_i^2)$ とし、観測リンク交通量、発生交通量の観測誤差（標準偏差 σ ）が発生していると考えて、次のように目的関数を定式化している。

$$\frac{1}{(0.025 \Sigma l_i)^2} \Sigma(x_i^2) + \frac{1}{(0.1 \Sigma o_i)^2} \Sigma(y_i^2) \rightarrow \min \quad (2)$$

ここで、

l_i : 観測リンク交通量

o_i : 観測発生交通量

式2は以下の考え方に基づいて設定されている。

- ・観測リンク交通量の観測誤差は、常時観測機器に要求される5%以内の精度を確保
- ・発生交通量の観測誤差は、信頼度95%で相対誤差率20%以内の精度を確保

(4) 代替案の設定

式2をベースにモデル式の代替案を設定した。提案するモデルは大きく2種類（絶対量モデルと比率モデル）である。各モデルの詳細を以下に示す。

1) 絶対量モデル

観測リンク交通量の観測誤差について、既往研究では、「機械計測の観測誤差 5%」としている。しかし、これは、あくまで機械計測に要求される精度であり、上記の発生交通量の観測誤差の考え方とは独立した考え方である。発生交通量もリンク交通量もある1日の調査の結果であれば観測日によって変動する。従って、発生交通量の誤差率が20%の時、リンク交通量の変動係数が決まると考えて代替案の設定を試みた。具体的には、リンク交通量の変動係数（cv）の大きさが異なる3つのケース（Cs1-1 : cv = 0.05, Cs1-2 : cv = 0.1, Cs1-3 : cv = 0.2）を設定した。発生交通量の標準偏差と同様に、リンク交通量の標準偏差は次のように設定できる。

$$\sigma_{li} = (cv/1.96) \Sigma l_i \quad (3)$$

発生交通量の観測誤差については、既往研究と同様に、「信頼度 95%で相対誤差率 20%以内の精度」とした。式2では、正規分布の95%信頼区間を近似値である 2σ と設定している。これをより正確に 1.96σ として重みを設定した。これより、 $1.96\sigma_{oi} = 0.2 \sigma_{oi}$ から発生交通量の標準偏差は次のように設定できる。

$$\sigma_{oi} = (0.2/1.96) \Sigma o_i \quad (4)$$

標準偏差には加法性が存在しないため、分散の加法性を考慮し、重みの和を取るには分散に変換することとした。したがって、次のように目的関数を定式化した。

$$\frac{1}{(cv/1.96)^2 \Sigma(l_i)^2} \Sigma(x_i^2) + \frac{1}{(0.2/1.96)^2 \Sigma(o_i)^2} \Sigma(y_i^2) \rightarrow \min \quad (5)$$

2) 比率モデル

誤差論の考え方に整合するモデルとして、残差の重みを観測値ごとに設定するモデルを検討した。

$$\Phi = \sum_a \left[\frac{\sum_i \sum_j \hat{O}_c m_{ij} P_{ij}^a - v_a^*}{v_a^*} \right]^2 + \sum_c \left[\frac{\hat{O}_c - \hat{O}_{o^*}}{O_c^*} \right]^2 \rightarrow \text{Min} \quad (6)$$

ここで、

P_{ij}^a : OD交通量 ij のリンク a の利用率

m_{ij} : セントロイド cd 間の目的地選択率

v_a^* : リンク a の観測リンク交通量

$\hat{O}_c$: 発生交通量（未知変数）

$\hat{O}$: 総発生交通量（ $\hat{O} = \sum \hat{O}_c$ ）

O_c^* : 既存データによる発生交通量比率（ $= O_c^* / O^*$ ）

O^* : 総発生交通量

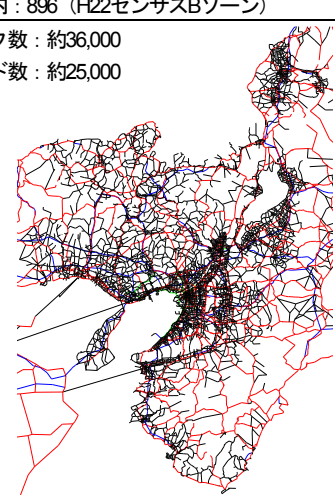
3. 推定モデルの性能検証

(1) 性能検証の方法

1) 検討対象エリアと前提条件

近畿地方を対象に性能検証を行った。

表-1 検証対象エリアの概要

対象エリア	近畿地方（福井県、滋賀県、京都府、大阪府、兵庫県、奈良県、和歌山県）
ゾーン数	近畿内：896（H22センサスBゾーン）
配分ネットワーク	リンク数：約36,000 ノード数：約25,000 
交通量観測区間数	Bゾーン境界+高速道路：1,712区間（うち、24時間観測：739区間）
ODパターン数	H22センサスBゾーンODの近畿関連交通のODパターン数：163,426
配分方法	・分割配分：5段階均等分割配分

2) 推定フロー

各モデルについて、経路選択率の算出のための交通量配分とOD交通量逆推定は逐次平均法の考え方に基づき繰り返し計算を行った。推定フローを図-3に示す。

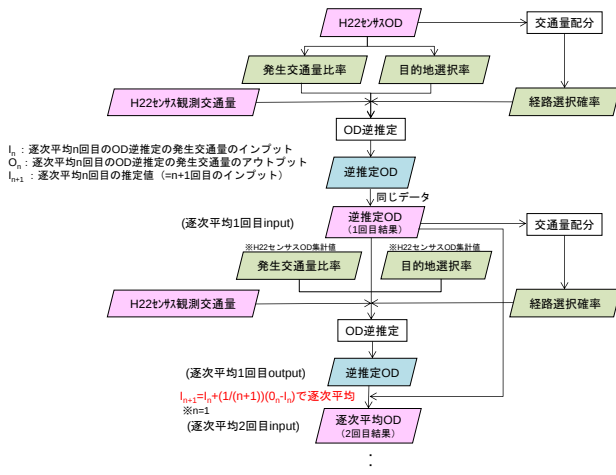


図-3 推定フロー

3) 性能検証の視点

以下の視点で、性能検証の検証項目を設定した.

①発生交通量の推定感度の把握

今後のOD交通量逆推定手法の活用シーンを考えると、年次や日時による変動を推定できることが望ましい。共通のインプットデータに対して、各モデルで推定されるOD交通量がどの程度変動するか、その感度を確認する。

②リンク交通量の再現性能の把握

OD交通量が、将来交通需要の推計、路線別交通量の推計等に利用されることに鑑みると、推定したOD交通量データによる交通量配分結果の再現性の確保が必要である。各モデルで推定されるOD交通量を用いたリンク交通量の再現性を確認する。

4) 性能検証の方法

上記の視点を踏まえ、以下の性能検証を実施した。

①発生交通量の推定値の推定性能

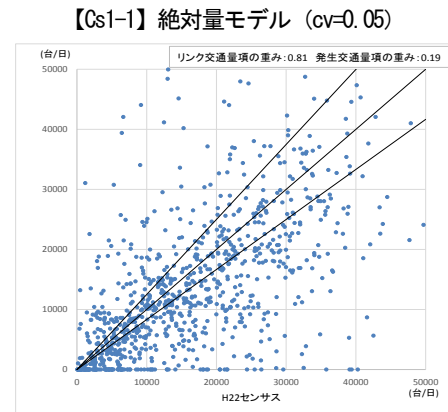
- ・H22センサスの発生交通量に対して各代替案で推定したゾーン別発生交通量はどの程度の誤差が生じるか確認する。

②リンク交通量の再現性の検証

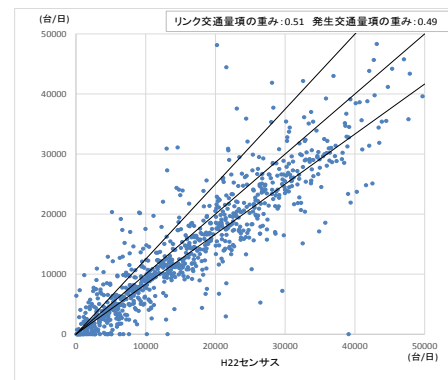
- ・各代替案で得られたゾーン別発生交通量を用いて交通量配分を行う。それぞれの結果で得られたリンク交通量について、H22センサス観測値の再現性を確認する。なお、実務適用時は、推定する発生交通量に上下限（±20%以内）を設定することで、入力データからの大きな乖離を避けることができる。検証では、各ケースの動向を確認するため発生交通量の上下限は設定しない。

(2) 発生交通量の推定性能の検証結果

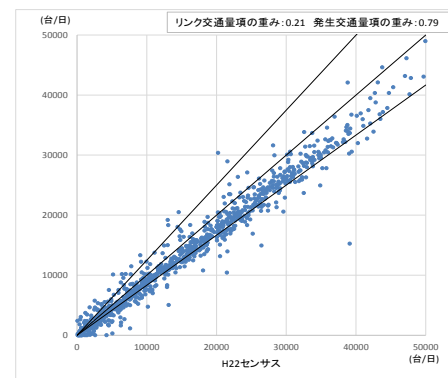
発生交通量の推定性能の検証結果を表-2と図-4で示す。
絶対量モデルでは、Cs1-2で相関係数が0.952、%RMSが



【Cs1-2】絶対量モデル (cv=0.1)



【Cs1-3】絶対量モデル (cv=0.2)



【Cs2】 比率モデル

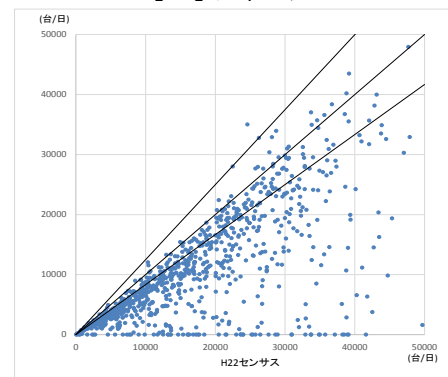


図-4 発生交通量の推定性能の検証結果

32.5%, Cs1-3で相関係数が0.992, %RMSが20.3%となり, リンク交通量と発生交通量の変動係数の比が1:1に近いほど, H22センサスの発生集中量と相関関係が強く, 発生交通量が0となる不合理な結果も発生しにくい結果となった. 一方, Cs2の比率モデルでは, 相関係数が0.663と低く, %RMSも85.8%と高い. また, H22センサスの発生交通量が多いゾーンでも推定した発生交通量が0となるゾーンが多い, H22センサスと比較して20%以上乖離するゾーンが多いといった不合理な結果となった.

これらの結果から, 以下のことが言える.

- ・提案する絶対量モデルでは, リンク交通量の観測誤差を機械観測の要求精度(=0.05)とした場合, 推定した発生交通量の感度が大きい. その反面, 発生交通量が0となる不合理な結果も生じやすい.
- ・提案する絶対量モデルでは, リンク交通量と発生交通量の変動係数の比が1:1に近いほど, 発生交通量の推定値の感度は小さい.

表-2 発生交通量の性能検証結果

ケース	相関係数	RMS (%RMS)	発生交通量=0のゾーン数 (割合)
Cs1-1	0.790	11,027 (64.9%)	113 (12.1%)
Cs1-2	0.952	5,524 (32.5%)	46 (4.9%)
Cs1-3	0.992	3,451 (20.3%)	19 (2.0%)
Cs2	0.663	14,573 (85.8%)	60 (6.4%)

(3) リンク交通量の再現性の検証結果

リンク交通量の再現性検証結果を表-3と図-5で示す. 絶対量モデルのうち, 推定した発生交通量とH22センサスの発生交通量との乖離が大きく, 発生交通量が0となる不合理な結果が発生しやすいCs1-1は検証の対象外とした.

絶対量モデルでは, Cs1-2で相関係数が0.882, %RMSが55.7%, Cs1-3で相関係数が0.871, %RMSが57.9%である. Cs2の比率モデルでは, 相関係数が0.863, %RMSが68.3%である. リンク交通量の再現性はいずれのケースも同程度である. いずれのケースも%RMSは60%前後と大きく, リンク交通量の再現性は低い.

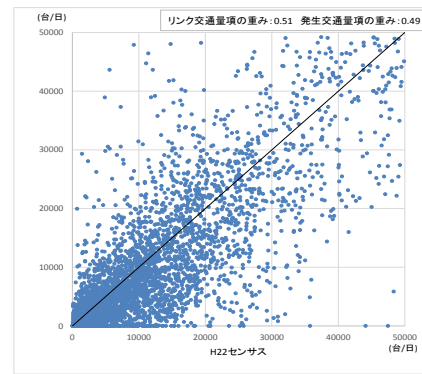
これらの結果から, 以下のことが言える.

- ・提案するモデルのリンク交通量の再現性は, モデルの違いによらず同程度である.
- ・いずれも再現性は高いとは言えず, 計算条件等に課題があると考えられる.

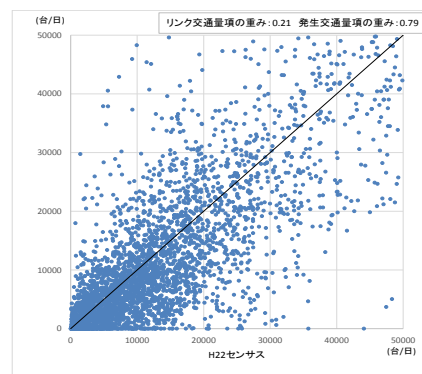
表-3 リンク交通量の現況再現性検証結果

ケース	相関係数	RMS (%RMS)	発生交通量=0のゾーン数 (割合)
Cs1-2	0.882	9,655 (55.7%)	268 (6.9%)
Cs1-3	0.871	10,026 (57.9%)	271 (7.0%)
Cs2	0.863	11,831 (68.3%)	330 (8.5%)

【Cs1-2】絶対量モデル (cv=0.1)



【Cs1-3】絶対量モデル (cv=0.2)



【Cs2】比率モデル

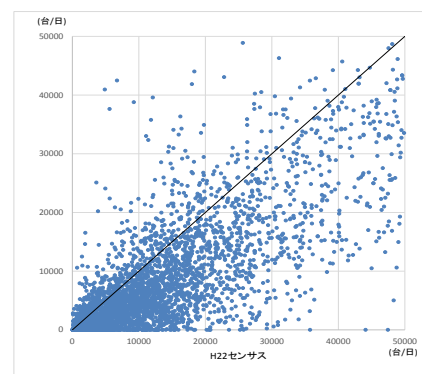


図-5 リンク交通量の現況再現性検証結果

(4) 残差項の重みの設定結果

リンク交通量の残差項と発生交通量の残差項の重みを算定したところ, Cs1-1で0.81:0.19, Cs1-2で0.51:0.49, Cs1-3で0.21:0.79となった. Cs2では1:1である.

表-4 検証対象エリアの概要

ケース	変動係数の比※	各項の重みの比※
Cs1-1	0.05 : 0.2 (1/4 : 1)	0.81 : 0.19
Cs1-2	0.1 : 0.2 (1/2 : 1)	0.51 : 0.49
Cs1-3	0.2 : 0.2 (1 : 1)	0.21 : 0.79
Cs2	1 : 1	1 : 1

※リンク交通量 : 発生交通量

4. おわりに

(1) 本研究の成果

本研究では、OD交通量の推定精度向上に有効であるとされるOD交通量逆推定手法について、重みの設定方法に着目してモデル式の改良案を提案した。提案したモデル式は、発生交通量の推定性能とリンク交通量の再現性能について比較検証を行った。

本研究で明らかになったC-modelの重みの設定方法における主な知見を以下に示す。

- ・観測リンク交通量と発生交通量ともに変動に基づいて重みを設定
- ・発生交通量の残差項の重みは調査設計の考え方を利用
- ・リンク交通量の残差項の重みは発生交通量とリンク交通量の変動係数の関係を利用
- ・提案する絶対量モデルでは、リンク交通量と発生交通量の変動係数の比が1:1に近いほど、発生交通量の推定値の感度は小さい

(2) 今後の課題

発生交通量の推定結果の感度が小さいほど、不合理な推定結果が生じにくく安定した結果が得られる。一方で、発生交通量の変動に対する感度は低いとも言える。また、H22センサスの発生交通量と大きな差異が生じるゾーンについては、その変動が日々の変動によるものか、計算条件によるものか、現時点では判断が難しい。また、リンク交通量については、その再現性が低いことに課題が見られた。今後、モデル式、計算条件の理論的整合性、計算作業の実務的適用性について検証を行う必要がある。

今回の検討は、近畿地方のみを対象にしたものであり、現時点では他の地域で同様の結果が得られる確証がない。今後、OD交通量逆推定手法を全国道路・街路交通情勢調査などの実務に展開していくためには、全国や他の地域、あるいはさらに細かい都市単位も想定したあらゆる条件下（事前データ、ネットワーク条件、ゾーニングなど）でのケーススタディが不可避であると言える。

また、ETC2.0プローブ情報に代表されるように、近年のICT技術の進展によりこれまで困難とされてきた経路情報やOD交通量の把握が可能なプローブデータの収集が可能になってきた。これらのデータをOD交通量逆推定の事前データとして活用する方法についても今後の研究の進展が期待される。

参考文献

- 1) 清水将之, 川村顕大, 若井亮太: 平成 22 年度道路交通センサス OD 調査の実施概要について, 交通工学 vol.46 No.2 pp.16-19, 2011.
- 2) 飯田恭敬: 交通計画のための新パラダイム-交通ネットワーク信頼性と OD 交通量逆推定, 技術書院, 2008.
- 3) 上坂克巳, 橋本浩良, 松本俊輔, 前川友宏, 倉内文孝, 飯田恭敬: OD 交通量逆推定手法の道路交通センサスへの適用に関するケーススタディ, 土木計画学研究・講演集 Vol.40 CD-ROM
- 4) 前川友宏, 飯田恭敬, 倉内文孝, 上坂克巳: B ゾーンベースによる OD 交通量逆推定モデルの実際適用性, 第 29 回交通工学研究発表論文集 pp.241-244, 2009.10
- 5) 橋本浩良, 高宮進, 倉内文孝, 飯田恭敬: OD 交通量逆推定手法を利用した OD 交通量の補正方法, 土木計画学研究・講演集 Vol.50 CD-ROM
- 6) 南部浩之, 松本俊輔, 上坂克巳, 前川友宏, 倉内文孝, 飯田恭敬: 仮想ネットワークにおける OD 交通量逆推定モデルの基本性能検証, 第 39 回土木計画学研究発表会, 2009.
- 7) 古川誠, 橋本浩良, 上坂克巳: OD 交通量逆推定手法の大規模ネットワークへの適用に関するケーススタディ, 土木計画学研究・講演集 Vol.41 CD-ROM
- 8) 國分恒彰, 倉内文孝, 嶋本寛, 飯田恭敬, 船本洋司, 栄徳洋平: ETC2.0 を用いた OD 交通量逆推定, 土木計画学研究・講演集 Vol.53 CD-ROM
- 9) 藤田素弘, 渡邊健, 山田真士: 観測交通量からの時間変動係数に基づく時間帯別 OD 交通量の逆推定手法の開発, 交通工学論文集, Vol2, No1, pp.11-20, 2016

IMPROVEMENT AND VERIFICATION OF C-MODEL IN THE OD MATRIX ESTIMATION METHOD

Koji SUENARI, Yoshihiro TANAKA, Hiroyoshi HASHIMOTO, Shinsuke SETOSHITA,
Fumitaka KURAUCHI, Kenetsu UCHIDA, Takuya MARUYAMA, Satoshi SUGIURA
and Yasunori IIDA