

観測交通量によるOD推計と二段階配分を組み合わせた地方小都市の道路網交通流解析法*

Road Network Flow Analysis for Local Towns
through Combined OD Estimation with Traffic Counts and Two Phase Traffic Assignment

朝倉康夫**, 柏谷増男***, 渡部考議****, 為広哲也****

By Yasuo ASAKURA, Masuo KASHIWADANI, Takanori WATANABE, Tetsuya TAMEHIRO

A method is proposed for analyzing road network flow in local small towns, where road transport survey is not available and passing traffic through the area is not negligible small. The method combines OD estimation method using observed traffic counts with two phase traffic assignment method. The passing traffic through the area is calculated in the first phase of traffic assignment, in which outer-outer traffic and inner-outer traffic of the area are aggregated as node to node OD traffic on the cordon line. The inner-inner OD traffic is estimated by a gravity model. The obtained OD matrix is then modified by an OD estimation method using observed traffic counts. The estimated OD matrix is loaded onto the road network of the area in the second phase of assignment. The method is applied to Saijo City.

1. はじめに

従来の道路網計画手法は広域都市圏の交通計画を念頭において検討されたものであるため、広域的な幹線ネットワーク計画に有効であり、道路交通センサスなどの交通調査もそのような計画に適した調査体系となっている。一方、人口5～10万人程度の地方小都市では、地域全体がセンサスの一つのゾーンであることも多く、計画レベルに応じたゾーニングに対応する交通調査資料も存在しない。また、幹線道路が対象地域を通過している場合には、地域を通過するトリップ数が無視できないほど多い。しかし、通過交通を考慮できて、かつ地方小都市規模に見合ったコンパクトな道路網交通流の現況解析・予測の方法論は確立されているとはいえない。

そこで本研究の目的は、地方小都市における合理的な道路網交通流解析手法の開発を目的とし、具体的に以下の2点を組み合わせた枠組みを構築する。

①従来から実務レベルで経験的に行われてきた二段階配分手法を改良し、通過交通が支配的な幹線道路網を含む場合の新たな方法論の開発¹⁾

②観測リンク交通量によるOD推計手法を改良し、道路交通センサスによるOD表を対象地域のゾーニング規模に適合したものに再編成する方法論の開発

2. 地方小都市の道路網交通流解析手法

(1)解析の枠組み

地方小都市の道路網交通流解析手法を考える場合、計画規模に応じたゾーニングでOD表を推計すること、通過交通を考慮した交通量配分を行うことが必要である。その点を踏まえた解析の枠組みを図.1に示す。この手順は、従来から実務レベルで経験的に行われてきた二段階配分手法に、対象地域の詳細ゾーン間のOD表の推計・修正プロセスを組み込んだものである。

まず、道路交通センサスなどの交通調査データから対象地域の交通に影響を及ぼす可能性のある地域の広域OD表を作成する。(STEP.1, 図.2) このと

*キーワード: 交通量配分, 観測交通量, OD推計, 地方都市

**正会員 工博 愛媛大学助教授 工学部土木海洋工学科 (〒790 松山市文京町)

***正会員 工博 愛媛大学教授 工学部土木海洋工学科

****学生員 愛媛大学大学院 工学研究科土木海洋工学専攻

step.1 広域OD表の作成

道路交通センサスなどによる広域OD表の作成

step.2 第一段階配分 (集約OD表)

広域ネットワークに広域OD表を配分し、通過交通を対象地域のコードライン上にある境界リンクの対象地域内側のノード間OD表に集約

step.3 詳細OD表の簡略推定

対象地域の計画規模に応じてゾーニングし、人口・土地利用指標等を用いて重力モデルなどによる簡略OD表を作成

step.4 簡略OD表の修正

観測リンク交通量を用いて簡略OD表を修正

step.5 第二段階配分

対象地域の詳細なネットワークに配分

図. 1 交通流解析プロセス

き対象地域はせいぜい数個のゾーンに分割されているだけである。また、域外間交通 D_{IJ} が対象地域を通過するトリップであるかどうかはわからない。そこで、広域OD表を広域のネットワークに配分することにより、対象地域を通過するトリップを対象地域のコードライン上にある境界リンク間のOD表に集約する。(STEP.2)このとき発ノードIから着ノードJへのトリップが対象地域内側のノードrから発生し、ノードsへ集中するトリップとみなす。

(図.3)このようにしてすべての通過交通を拾い上げていくことで、広域OD表を集約OD表に置き換えることができる。(図.4)通過交通は、対象地域外にトリップの発着エンドの両方を持つ完全通過交通 D_{rs} 、発エンドのみが対象地域内にある流出交通 B_{as} 、着エンドのみが対象地域内にある流入交通 C_{rb} に分けることができる。

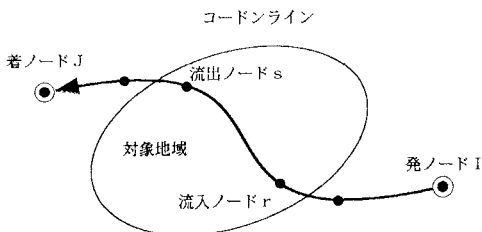


図. 3 完全通過交通のケース

次に、集約OD表を対象地域のゾーニング規模に応じた詳細OD表に変換する。(図.5)まず、対象地域の人口・土地利用指標等を用いて重力モデルなどによって詳細OD表の簡略推定を行う。(STEP.3)既に求められている完全通過ODペア D_{rs} 以外の内々 A_{ab} および流出入ODペア B_{is}, C_{rj} に対して、現在パターンを知ることができなければ、OD交通量を二重制約型の重力モデルなどを用いて推計する。しかし、このOD表は必ずしも地域の交通パターンを反映しているとは限らず、実測交通量との不整合があることも考えられる。そこで、さらに信頼性の高いOD表を推計するために観測リンク交通量を用いてOD表を修正する。(STEP.4)具体的な修正方法については次節で述べる。最終的に得られた詳細OD表を対象地域の詳細なネットワークに配分することにより地域内の交通の流れを求める。(STEP.5)

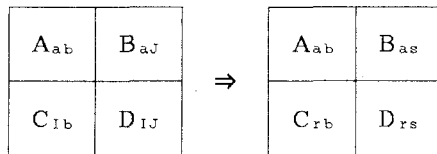


図. 2 広域OD表 ↓ 図. 4 集約OD表

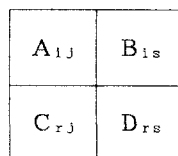


図. 5 詳細OD表

この方法は、通過交通を明示的に扱えることや、ゾーニングサイズに応じた交通調査資料がない場合にも適用できるということの他に、以下のような利点を持つ。具体的な計算過程においては、第一段階の配分(STEP.2)を処理能力の高い大型計算機で行い、結果をパーソナルコンピュータに受けてOD表の簡略推計(STEP.3)以降の計算を進めるという手順が考えられる。地域内のネットワークの変更により通過交通が影響を受けないと仮定できるなら、一度、STEP.2まで行えば、後の解析においてSTEP.3以降から処理できる。このことから、複数の計画代替案の検討を行う場合には結果的に計算量が節約できる。また、対象地域と隣接する地域の計画を新たに策定する場合に、地域の境界での交通量の不整合が生じ

ることがないという利点もある。なお、ここに示した手順は現況交通流の解析に対応したものである。将来交通量の予測に際しては、STEP.3,4で得られた現況OD表を現在パターンとするOD予測に置き換えばよい。

(2) 観測リンク交通量によるOD推計の考え方

観測リンク交通量を用いてOD表を修正する場合に、筆者らが改良したモデルや既存のいくつかの方法を用いて、3通りの方法論を提案する。以下にそれぞれの考え方と問題点を示す。

a) パラメータ調整によるOD推計

前節の交通流解析プロセスでOD表の簡略推計後に観測リンク交通量によるOD修正を行う手順を示したが、ここではOD表の簡略推計と修正プロセスを一括して行う方法を考える。具体的には、二重制約型の重力モデルなどによるOD表の簡略推計を行う際に、観測リンク交通量との整合性がとれるように距離抵抗パラメータの設定によって調整を行う方法である。まず、あらかじめ設定した距離抵抗パラメータに対するOD交通量を求め、これをネットワーク上に配分することにより、配分交通量を計算する。観測リンク交通量と配分交通量との整合性を幾つかの指標値（相関係数、平均誤差率など）から総合的に判断して、最適なパラメータを採用する。この方法ではパラメータのみを操作することで簡単に求めることができるし、概ね信頼性の高いOD表が得られる。その反面、パラメータの設定だけで地域の交通パターンに即した修正を行うことに限界がある。道路網計画を評価する際に、さらに精度の高いOD表を必要とするならば、観測リンク交通量によって二重の修正を行う方法が考えられる。このとき、ここで示した方法論を一度目の修正手順として用いることができる。

b) OD交通量を未知変量とするOD推計モデル

観測リンク交通量が推計リンク交通量と一致する制約（式(2)）と修正OD交通量の総和が与えられた生成交通量と一致する制約（式(3)）の下に、簡略OD交通量との残差自乗和最小化モデルを用いて修正OD交通量を求める。

$$S = \sum_{i,j} (X_{ij} - t_{ij})^2 \Rightarrow \text{Min} \quad \dots\dots(1)$$

sub. to

$$V_a = \sum_i \sum_j X_{ij} P_{ij}^a \quad \dots\dots(2)$$

$$T = \sum_i \sum_j X_{ij} \quad \dots\dots(3)$$

ここに、 X_{ij} : ODペア i, j の修正OD交通量（未知）、 t_{ij} : ODペア i, j の簡略OD交通量（既知）、 V_a : リンク a の観測交通量（既知）、 P_{ij}^a : ODペア i, j のトリップがリンク a を利用する割合（既知）、 T : 生成交通量（センサスより既知）である。

ラグランジュの未定乗数法を用いて、式(1)~(3)を解くと式(4)、(5)となる。式(4)からラグランジュ乗数 λ_a^* , ν^* を求め、式(5)に代入すれば、修正OD交通量 X_{ij}^* を求めることができる。

$$\begin{pmatrix} \lambda_1^* \\ \lambda_2^* \\ \vdots \\ \lambda_n^* \\ \nu^* \end{pmatrix} = -\frac{1}{2} \begin{pmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1n} & E_1 \\ C_{21} & C_{22} & \cdots & C_{2n} & E_2 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & C_{n2} & \cdots & C_{nn} & E_n \\ E_1 & E_2 & \cdots & E_n & I_c \cdot J_c \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} V_1^* - F_1 \\ V_2^* - F_2 \\ \vdots \\ V_n^* - F_n \\ 0 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$X_{ij}^* = t_{ij} - (\nu^* + \sum_a \lambda_a^* \cdot P_{ij}^a) / 2 \quad \dots\dots(5)$$

ここに、 λ_a^* , ν^* : ラグランジュ乗数、 I_c, J_c : 発生、集中ゾーン数、 n : 抽出観測リンク数、 $C_{ab} = \sum_i \sum_j P_{ij}^a \cdot P_{ij}^b$, $E_a = \sum_j \sum_i P_{ij}^a$, $F_a = \sum_i \sum_j t_{ij} \cdot P_{ij}^a$ である。

このモデルは、OD交通量を変数にしているもののそれらについて直接連立方程式を解くのではなく、ラグランジュ乗数の関数として推計OD交通量を求めるため、大規模な行列演算を行う必要がないという利点を持つ。しかしながら、以下の問題点が発生する可能性がある。①ある一定の抽出観測リンク数を超えると、大幅なズレが生じたり計算できない場合がある。これは抽出観測リンク数が増えると制約式(2)において一次従属の関係が発生してしまうためである。OD修正のためには観測リンク数が多いことが望ましいが、計算上の制約を大きくしてしまう矛盾を生じる。②簡略OD交通量が少ないところでは修正OD交通量に負が発生することがある。これはモデルの解法を容易にすることに重点を置いたため、変数の非負制約を設けていないことによるものである。

c) 発生交通量を未知変量とするOD推計モデル

観測交通量に整合するようにODパターンを修正する場合に、個々のODペアのそれぞれを直接修正

する方がより尤もらしいOD表が得られるが、OD交通量の少ないところでは上述のような問題が発生する可能性がある。そこで、観測交通量を用いて発生交通量を修正し、これをコントロールトータルとして修正前のOD交通量による比例配分によりOD交通量を修正する手順を考える。方法論として、発生交通量を変数として観測交通量からOD交通量を推計する既存のモデルのうち、道路区間交通量および発生交通量の残差自乗和最小化モデル²⁾を用いた。

$$S = \sum_a (V_a - V_a^*)^2 + \sum_i (T \cdot f_i - O_i)^2$$

$$= \sum_a (\sum_i O_i \cdot Q_{ai} - V_a^*)^2 + \sum_i (T \cdot f_i - O_i)^2 \Rightarrow \text{Min} \quad \cdots (6)$$

sub. to

$$T = \sum_i O_i \quad \cdots \cdots (7)$$

ここに、 V_a ：推計リンク交通量、 V_a^* ：観測リンク交通量（既知）、 T ：生成交通量（未知）、 O_i ：発生交通量（未知）、 f_i ：発生交通量率（既知）、 Q_{ai} ：影響係数（既知）である。

ラグランジュの未定乗数法を用いて、式(6)、(7)を解くと、式(8)のように発生交通量 O_i を求めることができる。

$$\begin{pmatrix} O_1 \\ O_2 \\ \vdots \\ O_n \\ T \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2(1+C_{11}) & 2C_{12} & \cdots & 2C_{1n} & -2f_1 & -1 \\ 2C_{21} & 2(1+C_{22}) & \cdots & 2C_{2n} & -2f_2 & -1 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 2C_{n1} & 2C_{n2} & \cdots & 2(1+C_{nn}) & -2f_n & -1 \\ -2f_1 & -2f_2 & \cdots & -2f_n & 2\sum_i (f_i)^2 & 1 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 2E_1 \\ 2E_2 \\ \vdots \\ 2E_n \\ 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

ここに、 $C_{ij} = \sum_a Q_{ai} \cdot Q_{aj}$ 、 $E_i = \sum_a V_a^* \cdot Q_{ai}$ である。

修正前の発生交通量を

O_i' （既知）、修正前のOD交通量を T_{ij}' （既知）とすると、修正後のOD交通量 T_{ij} は式(9)より求めることができる。

$$T_{ij} = O_i \cdot (T_{ij}' / O_i') \quad \cdots \cdots (9)$$

この方法では、方法論b)でみられた問題点を引き起こす可能性が少ないが、他の問題点として以下のことが挙げられる。

①発生側の制約で修正されているため、修正後に

おいて発生交通量と集中交通量に大きな差が生じる場合がある。②生成交通量を未知変数としているため、必ずしも修正前後のそれと一致しない。

3. 愛媛県西条市道路網への適用例

人口50,000人弱の地方小都市である愛媛県西条市を対象に、これまでに述べてきた方法を適用し、その妥当性を検討する。西条市の現況道路網の構成は、東西方向に走る南北2本の広域幹線道路を主軸とし、それを連結する道路により梯子型のネットワークとなっている。図.6はその道路網をネットワークに表したものである。なお、I～VIIのセントロイドは市の境界リンクの内側のノードであり、通過交通を集約するために設けたものである。

平成2年度道路交通センサスに基づく最も詳細なBゾーンで集計し、地域交通に影響を及ぼす広域圏を四国全域とした。広域OD表は260ゾーンであるが、西条市全域はただ一つのゾーンであるにすぎない。

第一段階の配分による結果のうち西条市に関連するトリップを発着別に集計したものが表.1である。

表.1 西条市に関連するトリップの集計

	トリップ数	割合(%)
①西条市内トリップ	49,501	46.3
②西条市流出入トリップ	41,268	38.6
③完全通過トリップ	16,231	15.1
計	107,000	100.0

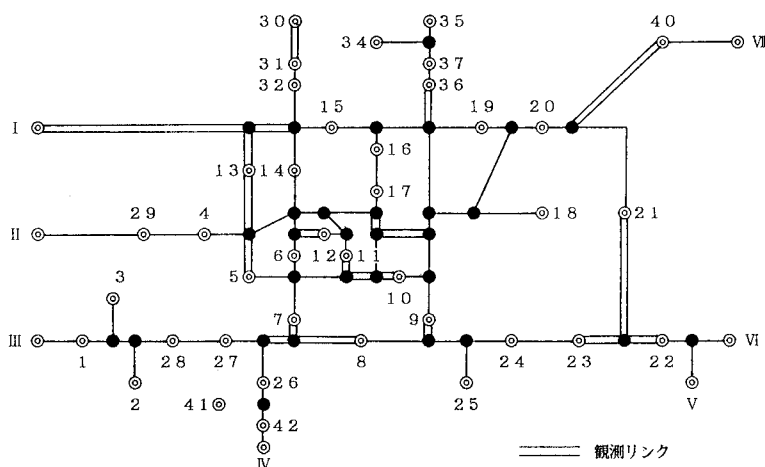


図.6 西条市の道路網ネットワーク

これより、西条市に関連するトリップが10万トリップ以上であること、流出入トリップが40%弱、完全通過トリップが約15%と無視できないことがわかる。表.2は集約OD表としてまとめたものである。西条市に関連するトリップを境界ノードに集約したことによって、広域OD表(260ゾーン)が合計8ゾーンのOD表に置き換えられている。この表から、通過交通のODパターンを明確に知ることができる。例えば完全通過交通の場合、I⇔V,VI,VII,もしくはIII⇔V,VIの交通流が支配的であることがわかる。

詳細OD表の推計を行うために、まず、詳細ゾーン(42個)単位でデータが入手できる夜間人口と従業人口を説明変数とする発生集中交通量推定式(式(10))を作成した。パラメータは、昭和60年度の愛媛県下36の市町村別データを用いて重回帰分析により求めた。なお、()内の数値はt値である。重相関係数は0.99と良好な値であった。

$$Y_1 = 2.356X_{11} + 0.9310X_{12} + 915.05 \quad \dots\dots(10)$$

(6.27) (5.18) (1.34)

ここに、 Y_1 :発生+集中交通量(T.E.)、 X_{11} :従業人口(人)、 X_{12} :夜間人口(人)である。

詳細ゾーンの発生集中量は、市全域の生成交通量をコントロールトータルとして Y_1 による比例配分を行って求めた。各ゾーンの発生交通量 x_i および集中交通量 y_j は、それぞれ発生集中量の2分の1とした。

完全通過OD表は既に求められているから、内々OD表A,流出OD表B,流入OD表Cに分けて、それぞれ二重制約型の重力モデル(式(11))により推計する。

$$T_{ij} = a_i b_j D_j (d_{ij})^{-\gamma} \quad \dots\dots(11)$$

ここに、 T_{ij} :ODペア*i,j*間のOD交通量、 a_i :

発生交通量、 D_j :集中交通量、 d_{ij} :ゾーン間距離、 γ :距離抵抗パラメータ、 a_i, b_j :発生、集中制約を満足するための調整係数である。

$$a_i = [\sum_j B_j D_j d_{ij}^{-\gamma}]^{-1}, b_j = [\sum_i A_i D_i d_{ij}^{-\gamma}]^{-1}$$

OD表A,B,Cの発生交通量、集中交通量を $A_i, A_j, B_i, B_j, C_i, C_j$ とすると、 B_j, C_i は集約OD表よりわかる。他については、式(12)に示す比例配分で求めた。

$$A_i = x_i \cdot AWA / (AWA + BWA), B_i = x_i - A_i$$

$$A_j = y_j \cdot AWA / (AWA + CWA), C_j = y_j - A_j$$

.....(12)

ここに、AWA,BWA,CWA:A,B,CそれぞれのOD交通量の総和である。

まず、方法論a)によってODの推計・修正プロセスを同時に行った。距離抵抗パラメータとして3通りの値($\gamma=0,1,2$)を設定し、各パラメータに対する詳細OD表を求めた。おのおのを西条市の詳細なネットワークに配分することにより配分交通量を求め、観測リンク交通量(21本)との整合比較を行ったものが表.3である。この表から総合的に判断すると、 $\gamma=1.0$ の時が最も良好な結果であることがわかる。相関係数は0.777であり方法論a)によるOD推計でも概ね良好な現況再現性を示している。(一度目の修正)

表.3 観測交通量との比較

パラメータ γ	$\gamma=0$	$\gamma=1$	$\gamma=2$
平均値 (観測値:12,979)	12,860	11,248	9,776
相関係数	0.769	0.777	0.777
平均誤差率	0.461	0.439	0.442

さらに観測リンク交通量と配分交通量との整合性を高めるために、方法論b)を用いて二度目の修正を試みた。しかし、OD交通量が負の値に推定されたり、観測リンク交通量を全て用いることができないなどの問題点が生じた。負の発生に関しては、西条市のような地方小都市において簡略推計時点で既にOD交通量の少ないペアが存在しており、そのようなODペアは減少修正されることが避けられないため

表.2 集約OD表

	西条市	流出ノードs						
		I	II	III	IV	V	VI	VII
西条市	49501.	1642.	3715.	4869.	23.	2151.	4628.	3657.
I	1673.	0.	0.	0.	0.	2855.	1427.	1835.
流 II	3759.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
入 III	5028.	0.	0.	0.	0.	1255.	609.	0.
ノ IV	23.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
V	2071.	2887.	0.	1303.	0.	0.	0.	0.
ド VI	4145.	1518.	0.	590.	0.	0.	0.	0.
r VII	3884.	1952.	0.	0.	0.	0.	0.	0.

ある。

そこで、先ほどの問題点を取り除くために方法論c)による発生交通量の修正を行ったが、修正前から極端に発生交通量の少ないゾーン(46)や観測リンク交通量の影響を受けやすいゾーン(35,37)に負の交通量が発生した。そこで負の発生したゾーンについては、便宜的に隣接の内側のゾーンに集約していくことで全ての発生交通量が正となり、OD交通量を求めることができた。(二度目の修正)表.4は、一度目の修正によって得られたOD表からさらに二度目の修正によってどれくらい修正されたかを示したものである。この表から、修正量はOD交通量で平均25トリップ、発生交通量で平均883トリップ、修正率は両者とも50%以上となり、一度目の修正OD表からさらに大きく修正されていることがわかる。この修正OD表による配分交通量と観測リンク交通量との相関係数は0.904となり、さらに良好な現況再現を示したものの、問題点として以下のことが挙げられる。①ゾーンを集約していくことで便宜的に修正が可能であるが、集約されたゾーン間をつなぐリンクの交通量が再現できない。②いくつかのゾーンにおいては発生交通量と集中交通量に大きな誤差が生じた。③修正されたことにより、生成交通量が約5,000トリップ増加した。

表. 4 二度目の修正による修正量の大きさ

指標値	OD交通量	発生交通量
平均絶対修正量	25.14	883.16
RMS誤差	79.81	1386.58
平均修正率	68.93	53.71
相関係数 注)	0.878	0.828

注) 修正が一度目と二度目のものの相関係数

このように西条市について本研究で提案した道路網交通流解析を適用したところ、通常道路網計画を行う場合には、方法論a)だけを用いても十分であることがわかった。さらに方法論c)を行うことにより観測リンク交通量との相関が良くなるものの、部分的に幾つかの問題を抱えており、このケースに関する限りそのまま用いることに問題がないわけではない。従って、観測リンク交通量を用いて修正を行うに際しては、それぞれの道路網計画案に要求されるOD表の信頼性の度合いを考慮し、それに対応

する修正方法を行うべきであるといえる。

4. おわりに

本研究によって提案した地方小都市の道路網交通流解析手法の成果と問題点は以下の通りである。

①地方小都市の交通流解析を行う場合、道路交通センサスなどとゾーニングサイズが整合しないため計画規模に見合うOD表がないこと、通過交通が無視できないほど多いため通常の配分計算では不都合であることの2点が挙げられる。そこで、二段階配分にOD表の推計・修正プロセスを組み込むことで、コンパクトな解析手法を示した。

②地方小都市の一例として愛媛県西条市を対象に適用計算を行った。通過交通を境界ノード間交通として置き換えることにより、通過および流入トリップのフローパターンを知ることができた。観測リンク交通量による修正プロセスを加えることにより、尤もらしいOD表が推定できた。

③観測リンク交通量を用いたOD推計方法について3通り提案したが、それぞれに問題点が生じた。方法論a)は精度の向上に限界があること、方法論b)は負のOD交通量の発生や全ての観測交通量が使えないこと、方法論c)は発生側に偏った修正であることや修正前のOD表との対応がとりにくいことである。

④観測リンク交通量によるOD推計に関しては、道路網計画の規模や方針の違いによって明確な使い分けを提示すべきであろう。新たな方法論を考える場合でも、本研究で提案した解析手法に組み込むことができるので今後の課題としたい。

【参考文献】

- 1) 為広哲也, 朝倉康夫, 柏谷増男: 地方小都市の道路網交通流解析のための二段階配分, 土木学会中国四国支部研究発表会講演概要集, pp.572-573, 1993年
- 2) 飯田・高山: リンクフローによるOD交通量推計モデル, 交通ネットワークの分析と計画, pp.97-118, 1987年