

総流動データによる都道府県間純流動の逆推定*

Reproduction of Net Passenger Trips from Gross Traffic Data*

杵元 淳平**・塚井 誠人***・奥村 誠****

By Jumpei HAZEMOTO**・Makoto TSUKAI***・Makoto OKUMURA****

1. はじめに

旅客の交通行動分析や、ネットワーク整備の効果、地域間費用配分を検討する場合、真の出発地・目的地を捉えたOD分布交通量を知る必要がある。そのために行われる幹線旅客純流動調査（純流動調査）は、アンケートの費用・労力が膨大であるため、1990年に始まってから5年に1度しか行われていない。さらに純流動調査は抽出率が低い信頼性が低くサンプリング誤差の懸念がある。

一方、旅客の乗り換え地点ごと、交通機関ごとに輸送人員を集計する旅客地域流動調査（総流動調査）はチケット販売情報などから機械的に集計されるため労力負担は小さい上、ほぼ全数調査に近いサンプリング誤差も小さい。さらには、1970年から毎年公表されておりデータの蓄積もある。

総流動のような取得が容易な区間交通量データからOD分布交通量を推計する手法は、都市内自動車交通を対象に研究開発¹⁾されている。しかし、幹線交通において総流動データに基づいて純流動を推定する、いわゆる「逆推定」はこれまであまり議論されてこなかった。逆推定の手法が確立されれば、純流動調査が行われていない90年以前の純流動を得ることができ、施策やプロジェクトの事後評価などに用いることができる。また、今後最新の総流動データが公表された時点でおおよその純流動を推計することによって、変化の大きい地域間に絞ってアンケート調査を行ったり、抽出率を適切に設定することが可能となり、効率的な調査設計ができるようになる。

本研究では、総流動データに基づいて都道府県間交通量レベルのマクロな純流動を逆推定する方法を提案する。具体的には、経路分担率を所与として、純流動の重力モデルと総流動の関係を定式化し、総流動の観

測値と推定値が合うように重力モデルを推定するというアプローチをとる。以下、逆推定法を示した後、総流動・純流動とも調査が行われている1995年のデータに提案する手法を適用し有効性の確認を行う。さらに、純流動データの存在しない1970年の純流動を得ることを試みる。

2. 総流動区間と純流動OD

本研究では、沖縄を除く各都道府県を1ゾーンとし、総流動調査から得られる航空および鉄道のデータに基づいて都道府県間純流動量を求めるものである。

今、図-1に示すように出発地（O県）と目的地（D県）の間に、鉄道のみを利用する経路が1本と、途中で飛行機を利用する経路が2本ある場合を考える。このとき、真の出発地・目的地の組み合わせを本研究ではODと呼び、記号ODで表す。図中のI、Jはそれぞれ搭乗・到着空港のある県である。このOD間では、O-D県間の航空、O-I県間の鉄道、I-J県間の航空、J-D県間の鉄道、O-D県間の鉄道、の5つ都道府県間で総流動が観測される。これらの都道府県間を「区間」と呼び、記号Sで表す。なお、同じ都道府県間であっても交通機関が異なれば違う区間であると考え、図-1のように別番号をふっている。

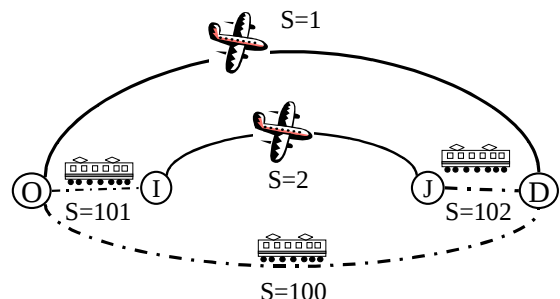


図-1 総流動区間

3. 逆推定の方法

総流動 y_s と純流動 T_{OD} の関係は式(1)で表される。

*Key words : 調査論、分布交通、OD 推計

** 学生員、広島大学大学院工学研究科

*** 正会員、修(工)、広島大学大学院工学研究科助手

**** 正会員、博(工)、広島大学大学院工学研究科助教授

(〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1、TEL&FAX 0824-24-7849)

$$y_s = \sum_{OD} \mu_s^{OD} T_{OD} \quad (1)$$

y_s : 区間 s の総流動 (千人/年)

T_{OD} : OD 間の純流動 (千人/年)

μ_s^{OD} : OD 間の純流動トリップの区間 s の利用率

η_s : 区間 s の総流動の観測値と推定値の差異

本研究では区間利用率の推定値 $\hat{\mu}_s^{OD}$ (後述) を所与として、純流動の分布関数 $\hat{T}_{OD}$ を式 (2) のように重力モデル型で特定化して未知パラメータを推定する問題と考える。

$$\hat{T}_{OD} = (N_1)^{\alpha_1} (N_2)^{\alpha_2} (d_{OD})^{\gamma} \prod_n (LOS_{OD})^{\delta_n^{OD}} \prod_m \exp(\varepsilon_m^{OD} \kappa_m)$$

ただし、 (2)

$$LOS_{OD} = \sum_m \exp(V_m) \quad (3)$$

N_1, N_2 : O, D の人口 (N_1 N_2)

d_{OD} : OD 間距離

LOS_{OD} : OD 間の交通サービス水準

V_m : 経路 l の効用を代表交通機関 m ごとにまとめた効用

δ_n^{OD} : OD の距離が n (表-1) である場合に 1
それ以外は 0 となるダミー変数

ε_m^{OD} : OD 組み合わせが m (表-2、表-3) であれば 1、それ以外は 0 となるダミー変数

$\alpha_1, \alpha_2, \gamma, \varphi_n, \kappa_m$: モデルパラメータ

$\hat{T}_{OD}$ を式 (1) に代入し、総流動の推定値 $\hat{y}_s$ を式 (4) とする。

$$\hat{y}_s = \sum_{OD} \hat{\mu}_s^{OD} \hat{T}_{OD} \quad (4)$$

区間 s の総流動 y_s の推定値 $\hat{y}_s$ と観測値の差異 η_s は平均がゼロの確率変数と考えられる。区間 s では複数の純流動 T_{OD} が重ね合わさっているので、総流動 y_s が大きい程、差異 η_s も大きくなると考えられる。

そこで y_s と $\hat{y}_s$ の対数値をとり、その差異が平均ゼロの正規分布に従うと仮定する。全総流動区間 s について同時確率密度は式 (5) のように定式化できる。

$$L = \prod_s \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{\{\ln(y_s) - \ln(\hat{y}_s)\}^2}{\sigma^2}\right) \quad (5)$$

σ^2 : 分散パラメータ

表-1 交通サービス水準の距離帯区分

区分	距離帯(km)
n = 1	0 - 300
n = 2	300 - 600
n = 3	600 - 900
n = 4	900 -

表-2 OD の属性分類

m = 1	北日本 - 北日本
m = 2	北日本 - 中日本
m = 3	北日本 - 西日本
m = 4	中日本 - 中日本
m = 5	中日本 - 西日本
m = 6	西日本 - 西日本

表-3 都道府県の分類

北日本	北海道、東北地方
中日本	関東、中部近畿地方
西日本	中国、四国九州地方

最尤法によりパラメータ $\alpha_1, \alpha_2, \gamma, \varphi_n, \kappa_m, \sigma^2$ を求め、得られたパラメータを用いて式 (4) の $\hat{T}_{OD}$ を求めることによって純流動が得られる。

4 . 区間利用率 μ_s^{OD} の推定

本研究で $\hat{T}_{OD}$ を推定するには、OD ごとの区間 s の利用率 $\hat{\mu}_s^{OD}$ を与えなくてはならない。OD ごとの経路選択肢集合を L_{OD} とすれば、 $\hat{\mu}_s^{OD}$ は以下のように定式化できる。

$$\hat{\mu}_s^{OD} = \sum_{l \in L_{OD}} \hat{P}_l^{OD} \rho_{s,l}^{OD} \quad (6)$$

$$\rho_{s,l}^{OD} = \begin{cases} 1 & (l \in L_{OD}, s \in l) \\ 0 & (l \notin L_{OD}, s \notin l) \end{cases}$$

ただし、 $\hat{P}_l^{OD}$ は OD ごとの経路 l の分担率を表す。式 (6) より、 μ_s^{OD} を求めるために以下の前提を置き、 L_{OD} および、 $\hat{P}_l^{OD}$ を求める。

(前提)

旅客は、出発地ゾーンの代表駅から出発し、目的地ゾーンの代表駅に到着する。

旅客が鉄道を利用する場合は乗車駅から降車駅までの一枚の切符を購入する。

出発・目的地ゾーン内に空港がない場合、代表交通機関が航空の旅客は出発・目的地ゾーンと搭乗・到着空港ゾーンの間は鉄道を利用する。

具体的に L_{OD} を求める手順は以下の通りである。まず、主要駅・主要空港をノード、新幹線・優良特急路線、国内航空路線をリンクとする全国幹線交通ネット

ワークを設定し、全ての OD 間について、第 K 経路探索法³⁾によって所要時間基準で複数の経路を列挙する。列挙した経路の中には非常に類似した経路が多く含まれている。幹線旅客は、列挙した経路全てを別々の経路と認知していると考えにくいため、同じリンクを多く含むような類似した経路をグループ化し、各グループの中で最短所要時間の経路を代表経路とみなした。各経路に含まれる区間を列挙することで $\rho_{s,l}^{OD}$ を得る。

経路分担率 $\hat{p}_l^{OD}$ は、著者ら²⁾が推定したロジット型の経路分担モデルを用いて導出する。

5. 1995 年の総流動データに基づく逆推定

逆推定手法の有効性を確認するため、第 2 回幹線旅客純流動調査が行われている 1995 年に適用する。観測総流動 y_s は、95 年の「地域旅客流動調査」の定期航空と JR のデータとした。なお、自動車など他の交通機関の影響を除外するため、自動車で 1 時間以内の総流動区間は計算対象から除いた。

表-5 に逆推定モデルの推定結果を示す。比較のため観測純流動に同じ式形の重力モデルを直接当てはめて推定した結果も示す。人口、距離、および LOS の [0-300]、[300-600] の推定値は、逆推定モデルの方が比較モデルよりも強い影響を及ぼすという結果が得られた。逆推定モデルでは 600km 以上の OD で LOS が 0 に近い値をとっているためその影響は小さく、この距離帯では、ほぼ人口や距離で説明されている。その他の逆推定モデルのほとんどのパラメータは比較用の重力モデルと同じ傾向となり、有意で符号にも論理矛盾のない結果が得られた。したがって、本研究で提案した逆推定の手法は有効であるといえる。

図-2 に y_s と $\hat{y}_s$ を対数軸上でプロットした。これより、プロットした点は概ね 45° 線上付近にある。決定係数も高く、逆推定モデルの再現精度は十分であるといえる。

図-3 に逆推定モデルから求めた純流動の推定値と観測値を対数軸上でプロットした結果を示す。

決定係数は 0.788 であり、比較モデルの決定係数 0.817 とほぼ同等である。したがって逆推定した純流動の再現性は高いといえる。図-3 から、逆推定した

表-5 モデルの推定結果

パラメータ		逆推定	比較モデル
人口(大)	(10万人)	1.763 **	1.334 **
人口(小)	(10万人)	1.202 **	1.139 **
距離	(km)	-0.683 **	-0.165 *
0-300		0.581 **	0.363 **
距離帯別	300-600	0.350 **	0.319 **
LOS	600-900	0.167 **	0.248 **
	900-(km)	0.074	0.256 **
北日本ー北日本		0.376	-1.123 **
北日本ー中日本		-0.896	-2.162 **
地域ダミー	北日本ー西日本	-1.279 *	-2.100 **
	中日本ー中日本	-1.816 **	-2.387 **
	中日本ー西日本	-1.592 *	-2.289 **
	西日本ー西日本	-0.503	-1.675 **
分散パラメータ	σ^2	1.126 **	-
最終尤度		-4.199	-
有効サンプル数		1056	1020

*:5%有意 **:1%有意

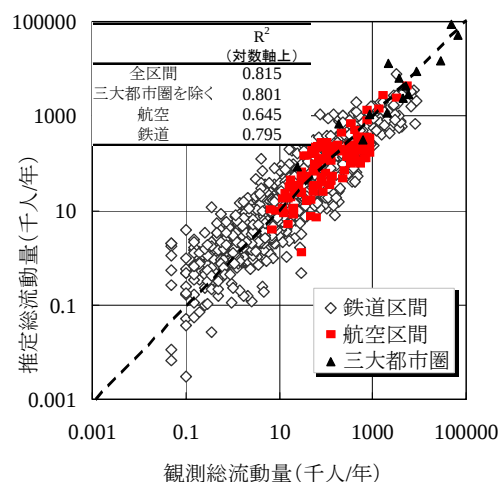


図-2 逆推定モデルの観測総流動と推定総流動

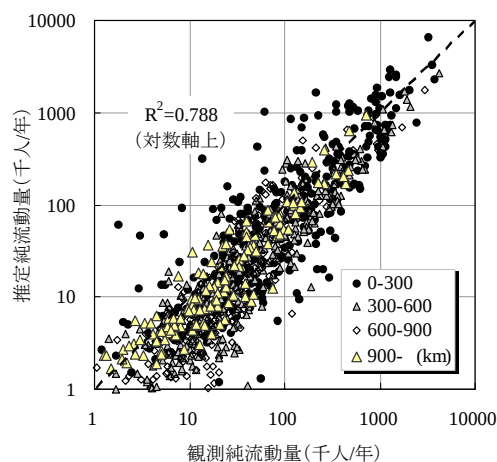


図-3 逆推定モデルの観測純流動と推定純流動

純流動は流動の少ないODで過小推定される傾向にある。しかし、幹線旅客純流動調査は平日1日を対象に行われており、流動の少ないODにおいては、相対的にサンプリング誤差の影響が大きくなるため、観測純流動が必ずしも真値であるとは言い切れない。むしろ、抽出率の高い総流動に基づいて逆推定した純流動の方が信頼性が高い可能性もある。

6. 1970年の純流動の逆推定

本節では逆推定手法を適用して純流動調査が行われてない1970年の純流動を得ることを試みる。観測総流動 y_s として、1970年の「地域旅客流動調査」の定期航空と国鉄のデータを用いる。95年と同様に自動車で1時間以内の区間を計算から除く。

70年の幹線ネットワークでは、青函トンネル、瀬戸大橋が開通していなかったため、代わりに「青函連絡船」「宇高連絡線」のリンクを設定した。なお、70年時の航空と鉄道の運賃は95年のそれぞれ1/2、1/4程度であったため、経路分担率の算出にあたって運賃をデフレートし95年価格とした。また、経路分担パラメータは95年の値を用いた。

表-6に70年の逆推定モデルの推定結果を示す。さらに比較のため95年の逆推定モデルの推定結果も再掲する。

表-6 70年と95年の逆推定モデルの推定結果

パラメータ		逆推定モデル	
		70年	95年(再掲)
人口(大)	(10万人)	1.522 **	1.763 **
人口(小)	(10万人)	1.151 **	1.202 **
距離	(km)	-0.970 **	-0.683 **
LOS	0-300	0.307 **	0.581 **
	300-600	0.171 **	0.350 **
	600-900	0.084 **	0.167 **
	900-(km)	0.009	0.074
地域ダミー	北日本ー北日本	3.288 **	0.376
	北日本ー中日本	2.088 **	-0.896
	北日本ー西日本	0.985	-1.279 *
	中日本ー中日本	1.610 *	-1.816 **
	中日本ー西日本	2.296 **	-1.592 *
分散パラメータ	西日本ー西日本	2.935 **	-0.503
	σ^2	2.128 **	1.126 **
最終尤度		-4.485	-4.199
有効サンプル数		1085	1056

*:5%有意 **:1%有意

70年の総流動の観測値 y_s と推定値 $\hat{y}_s$ の対数軸上での決定係数は0.6程度であり再現性は比較的良好であった。

表-6の70年の逆推定モデルのパラメータ値は概ね有意となった。地域組み合わせダミー変数以外のパラメータの符号は95年のパラメータと同様である。地域組み合わせの北日本-西日本のパラメータは、95年では中日本-中日本、中日本-西日本について3番目に小さい値であるが、70年は他地域と比べ最も小さい値を示している。さらに、70年の距離のパラメータ値は、95年よりも距離抵抗が強いことを示している。これは当時は、中日本をまたぐ遠距離の純流動は極めて少なかったためと考えられる。

7. おわりに

本研究では、総流動データに基づいて純流動を求める手法を提案した。1995年の総流動を用いて純流動を逆推定したところ、有意なパラメータを得ることができ、再現性も良好であった。この手法を1970年に適用したところ、パラメータ推定値は95年と同様の傾向を示した。地域組み合わせのパラメータ値から、1970年当時、中日本をまたぐ純流動は極めて少なかったことがわかった。

本研究の手法では、総流動の観測値と推定値の間の差異 η_s のみを認めているに留まっている。しかし、純流動にも観測値と推定値の間に重力モデルの構造誤差が存在していると考えられる。今後は、 η_s と重力モデルの構造誤差をともに最小化するような逆推定方法を開発することが課題となる。

<参考文献>

- 1) 土木学会：交通ネットワークの均衡分析 12章，1995，pp.241-263
- 2) 杵元淳平,塚井誠人,奥村誠：複数経路を考慮した鉄道・航空ネットワークの評価，土木計画学研究・講演集 CD-ROM，No.26，2002
- 3) 加藤 直樹ら：無向グラフの第K最短単純路を求めるO(Kn)アルゴリズム、電気通信学会論文集、Vol.J-61A,N0.12,1978.