【土木計画学研究・論文集 Vol.22 no.1 2005年10月】

乗降者データに基づく路線バスの利用者ODパターン推計とその評価*

OD-Trips Estimation of Bus Passengers Based on Getting-on-and-off Volume Data*

喜多秀行**，月岡修一***

By Hideyuki KITA** and Shuichi TSUKIOKA***

1. はじめに

バスサービスにおける乗車区間別乗降者数，停留所別乗降者数などの利用者の利用動向は，サービスを適切に供給するための最も基礎的なデータである．特に乗車地点間別利用者数（以下，ODパターンと称す）はバス事業者がサービスを提供する上で重要なデータである．しかし，バスカードシステムのような機械的に乗降地点を識別し，その数を計測することが可能なシステムを導入していない路線においては，需要密度が低い場合であっても乗務員が観測することも困難なため，多くの場合，調査員が直接バスに乗り込み手作業で計測を行っている．そのため，調査員の人件費や調査時間など多大な資源の投入が必要であり，それが故に年数回という限定的な調査しかなしえていないのが現状である．また，このような利用動向に関する情報が極めて少ない限定的な調査結果を拡大して年間データとして用いているために，自治体としては不十分なデータに基づいて運行補助額を決定せざるを得ず，本当に必要な額の補助金が補助されているか分からないという問題が発生している．バス事業者としても，より正確なデータを入手することでサービスの質を向上させることが可能となる．

そこで本研究では，乗車口・降車口に計測機器を設置することで比較的簡単に計測することが可能な停留所別の乗降者数に着目する．計測機器を用いて年間通して乗降者数を計測し，それによって得られたデータを基にバス利用者のODパターンを推計する実用的な手法を開発するとともに，実態調査データを用いて推計精度を評価し，推計方法の妥当性を検討する．

本研究で対象とするバス路線は，バスカードシステムのようなODパターンを計測できる装置を財政的な理由から導入できない路線であり，このような路線こそが自治体からの補助金を必要としている路線である．この路線において簡便に乗降者を計測できる装置を導入し，本研究で提案する手法を用いることで，詳細な検討はしていないが，安価かつ高精度にODパターンを求めることが可能になるのではないかと考えられる．

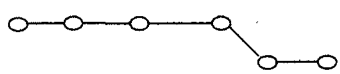
2. 本研究の基本的な考え方

(1) バス利用者のODパターンの特徴

本研究で推計するバス利用者ODパターンは個々のバス路線に関するものであり，図－1に示すような一次元の形状になる．これより，①OD間の経路は一意に定まる，②利用者の移動は上流（始点側）から下流（終点側）への一方向のみである，③同じノードへの移動（内々交通）は生じない，という三つの特徴を持つことになり，バス利用者OD表は表－1のように表すことができる．この特徴を考慮してOD表の網掛部を推計する手法を開発する．

(2) 停留所別乗降者数に基づく推計方法

走行中のバスの車中であっても比較的簡単に計測することが可能なデータとして，停留所別の乗降者数がある．これは表－1のG_iとA_jに相当するものであり，これを推計のための観測データとすると，ODパターンを求める問題は二元配置の周辺分布から同時分布を推計する問題に帰着する．停留所別乗降者数のような発生



図－1 バス路線の形状

*キーワーズ：調査論，公共交通需要，交通量計測，公共交通運用

**正会員，工博，鳥取大学工学部社会開発システム工学科
（〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101，
TEL0857-31-5309，FAX0857-31-0882）
***学生員，鳥取大学大学院工学研究科社会開発システム工学専攻
（〒680-8552 鳥取市湖山町南4-101，
TEL0857-31-5333，FAX0857-31-0882）

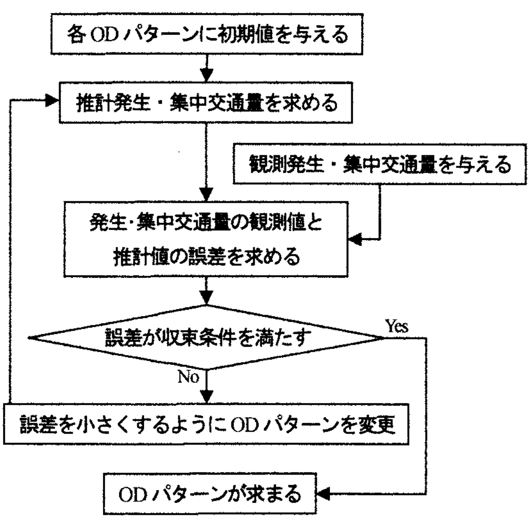
表 - 1　OD 表の形状

O＼D	2	3	・・・	n	Gi
1					G_1
2					G_2
⋮					⋮
n-1					G_{n-1}
Aj	A_2	A_3	・・・	A_n	ΣG_i

n：ノード数
G_i：発生ノード i に対する発生交通量
A_j：集中ノード j に対する集中交通量

・集中交通量を基にした推計手法として Deming and Stephan[1]によって提案された IPF（Iterative Proportional Fitting）法がある．IPF 法とは多元配置表の同時分布を周辺分布から推計する手法のひとつであり，適宜与えた同時分布の初期値を逐次的に周辺分布の比率にあてはめていき，収束値として推計値を得る方法である[2]．本研究では，発生・集中交通量からなる 2 元配置表を推計することになる[2]．

IPF 法を応用した考え方として，交通需要予測の 4 段階推計で，収束計算により分布交通量を推計する方法が構築されている．この方法は，各ゾーンの現在から将来への成長率を用いて，発生交通量と集中交通量の現在値を将来値に一致させるように収束計算を行うことにより，OD パターンの推計値が求まる構造である．この方法は現在パターン法と呼ばれ，平均成長率法，デトロイト法，フレーター法等があるが，基本的な考え方に本質的な違いはない[3]．本研究ではこれらに先駆けて提案されており，特段の現在パターンを必要としない IPF 法の考え方を応用し，バス利用者 OD パターンの推計方法を開発する．



図―2　推計計算フローチャート

発生・集中交通量を基に推計計算を行うことは，発生・集中交通量の制約条件を満たす値を求めると言うことができる．この考え方を基に，収束計算による方法と異なる考え方として，総当り法による推計方法を構築する．総当り法はこの制約条件を満たす範囲などを求め，そこから得られる値を推計値とする方法である．この方法は推計値だけではなく，制約条件を満たす全ての解の組み合わせを求めることができるため，収束計算による推計値を評価することも可能である．

そこで，本研究では収束計算と総当り法の 2 種類の推計方法を用いて推計計算を行う．それぞれの推計方法について，設定したバス路線を用いて推計計算を行い，バス一便ごとの推計値，一日全便での推計値を求める．更に自治体からバス事業者への補助金を算定するための基礎データとなる運賃収入を一日全便の推計値から求める．そして，これらの推計値と観測値を比較し，バス路線の乗降者数や路線長，ノード数などの特徴が推計値に及ぼす影響，推計レベルが推計精度に及ぼす影響，推計方法ごとの推計精度を比較し検証する．また，総当り法によって制約条件を満たす範囲を求めることが可能であるため，収束計算により得られた推計値が，制約条件を満たす範囲のどこに位置しているのか，観測値やその範囲の平均値などと比較し，収束計算により得られた推計値が持つ意味を考察する．

3. 推計方法

(1) 収束計算による推計方法

現在パターン法は，既知である現在の OD パターンと発生・集中交通量，将来の発生・集中交通量を基に，現在の発生・集中交通量を将来のそれに収束させることによって OD パターンの値を変化させ，将来の OD パターンを推計する方法である．その方法を式(1)に示す[3]．

$$t_{ij}^{(k)} = t_{ij}^{(k-1)} \times f\left(\frac{G_i}{G_i^{(k-1)}}, \frac{A_j}{A_j^{(k-1)}}\right) \qquad (1)$$

ここで，$t_{ij}^{(k)}$は発生ノード i から集中ノード j までの k 次近似 OD 交通量を表しており，k 次近似 OD 交通量は，将来の発生交通量である G_i，（k−1)次近似発生交通量である $G_i^{(k-1)}$，将来の集中交通量である A_j，（k−1)次近似集中交通量である $A_j^{(k-1)}$からなる関数 f を用いて求められる．

本研究では既知である値は将来の発生・集中交通量に相応する値のみであるため，現在パターン法の考えを応用し，OD パターンの代わりに仮の初期値を与えて，それを現在の OD 交通量（$t_{ij}^{(k-1)}$に相応）とし，発生側，集中側の総和を現在の発生・集中交通量（$G_i^{(k-1)}$，$A_j^{(k-1)}$に相応）として用い，その値を既知の発生・集中交通量（G_i，A_j に相応）に収束させることで OD パターンを変化させ，

推計値を求めるという方法で推計計算を行う．この計算の流れを図−2のフローチャートに示す．

(2) 総当り法による推計方法

(a) 総当り法の考え方

3.1節で提案した発生・推計法では，制約条件である発生・集中交通量を満たすODパターンを推計する．しかし，ノード数が5以上の場合，制約条件より未知変数が多い不定問題となるため，制約条件を満たすODパターンの組み合わせは，観測値や推計値以外にも存在する．各OD交通量は制約条件を満たすある範囲に分布しており，これらの値はあくまで解の分布のある一点の値であると考える．推計値が解の分布の中央に位置しているか，裾に位置しているかによって推計値の持つ意味は異なると考える．本研究ではODパターンの実態調査結果から作成した発生・集中交通量を用いて推計計算を行っているため，ODパターンの再現性を見ることが可能である．しかし，実際に停留所別乗降者数からODパターンを推計する場合は，現実のODパターンは未知であるために，推計値の妥当性を確認することは困難である．そこで，より説明力のある推計値を求めるために，発生・集中交通量の制約条件を満たす推計値の分布しうる範囲を総当り法によって求め，そこから平均値，中央値，最頻値といった値を求めることを考える．

(b) 推計値の算定方法

発生・集中交通量を制約条件として各OD交通量が分布する範囲，平均値，中央値，最頻値を総当り法で求める．ただし，全ての組み合わせを計算することは効率的でないため，図−3に示す手順で推計値の候補を作成する．

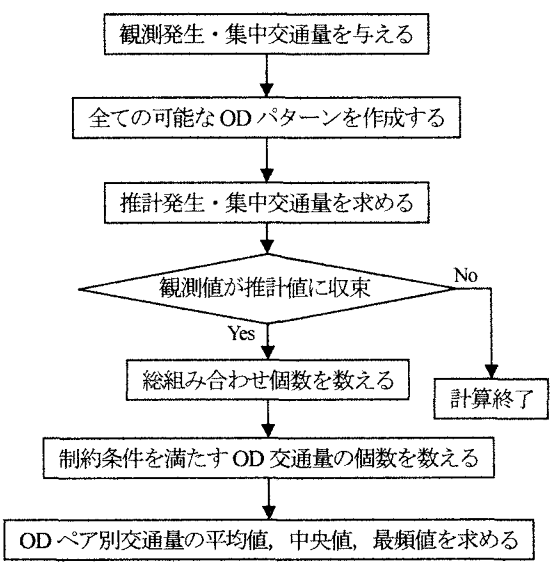


図-3 制約条件を満たすOD交通量の組み合わせを求めるフローチャート

表−2 観測OD表（一便）

ノード	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gi
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2		0	0	0	2	0	0	0	11	13
3			0	0	0	0	0	0	1	1
4				0	0	0	0	1	3	4
5					0	0	0	0	3	3
6						0	0	1	0	1
7							0	0	1	1
8								0	2	2
9									0	0
Aj	0	0	0	0	2	0	0	2	21	25

具体的な算定方法について表−2を用いて説明しよう．まず$t_{1,2}$と$t_{9,10}$については，対応する発生・集中交通量のいずれかの制約条件に対して，変数が一つしか存在しないため，必然的に$t_{1,2}$は集中ノード2の集中交通量である0が，$t_{9,10}$は発生ノード10の発生交通量である0が推計値となる．また，発生ノード1に対応する$t_{1,3}$から$t_{1,10}$については，発生交通量G_1から$t_{1,2}$の値を引いた値が上限値となる．同様に，集中ノード10に対応する$t_{1,10}$から$t_{8,10}$についても，$t_{9,10}$の値を集中交通量A10から引いた値が上限値となる．この二つの場合以外は，それぞれのOD交通量に対応する発生・集中交通量のうち，小さい方が上限値となり，0からその値まで値が変化することになる．例として，その変数の一つである$t_{2,10}$について述べる．

$t_{2,10}$に対応する制約条件は発生交通量がG_2の13，集中交通量がA_{10}の21である．ここで，発生交通量の方が集中交通量よりも小さいため，上限値は13であり，結局$t_{2,10}$には0から13までの値が入ることが可能となる．同様の考えで，この他のOD交通量についても上限値と範囲を求めることができる．この方法から得られる組み合わせの総数は，各OD交通量の上限値+1を全てのOD交通量について乗じた数になる．このようにして得られた候補の値の中で，ODペアに対応する各発生・集中交通量の制約条件を同時に満たすものを抽出する．

4. 推計結果の検証

(1) 検証の方法

3章で示した2種類の推計方法について既知の発生・集中交通量を基に推計計算を行い，得られた推計値を検証する．検証方法は，まず一便ごとに観測発生・集中交通量を基にODパターンを推計し，得られた推計値と観測値の誤差を比較する．また，一便ごとの推計において大きな誤差が生じているとしても，偏りのない推計結果が得られているのであれば，集計することにより誤差が相殺され，推計精度が高まることも考えられるため，一便ごとの推計値を合計した一日全便の推計値と観測値を比較する．さらに，一日全便のODパターンからその路線の運賃収入を求め，その値についても推計値と観測値を比較する．そして，バス路線が持つ乗降者数や路線長，ノード数などの特徴によって推計結果がどのように変化

し，どれ程の推計精度を有するか推計結果から検証する．推計結果の検証では観測値と比較しなければならないため，ODパターンが既知であるバス路線を用いて推計計算を行い，ODパターンの推計値を求める．

(2) バス路線の設定

推計計算を行うために用いるバス路線を設定する．推計値の適用可能範囲を吟味するためには，現実のバス路線に即した乗降者数や路線長，ノード数などのバラエティの下で検討することが必要であると考える．そこで，乗降実態調査が実施され，ODパターンに関するデータが得られた鳥取市内のバス路線のうち，特徴の異なる4つの路線と，これら以外に現実のバス路線で観測されると考えられる特徴を考慮し仮想した1路線，合わせて5種類の路線を設定する．それらの路線の特徴などを以下，①～⑤に示す．

①路線1

10ノードのバス路線で，一日の便数は全10便．一便平均で約14人の利用者がおり，一日の総交通量は143人．朝夕の通勤，帰宅時間帯に利用者が多く，その他の時間帯では利用者は少ない．ODパターンの特徴としては，終点ノードまでのノードでは乗車数が多く，終点ノードで最も降車数が多くなるという構造を有しており，郊外から駅などの中心市街地に向かう路線に多く見られる．

②路線2

10ノードのバス路線で，一日の便数は全13便．一便平均で約8人の利用者がおり，一日の総交通量は106人．朝の通勤時間帯に始点ノードと終点ノードの利用者が多く，その他の時間帯では利用者は少ない．ODパターンの特徴としては，始点ノードでは乗車数，終点ノードでは降者数が多く，その他のノードでの利用者は少ないという構造を有しており，住宅団地から駅などの中心市街地に向かう路線に多く見られる．

③路線3

10ノードのバス路線で，一日の便数は全13便．一便平均で約10人の利用者がおり，一日の総交通量は124人．夕方の帰宅時間帯に利用者が多く，その他の時間帯でもある程度の利用者が観測される．ODパターンの特徴としては，始点ノードでの乗車数が多く，次第に降車していく構造を有している．駅などの中心市街地から郊外に向かう路線などがこのパターンに属する．

④路線4

10ノードのバス路線で，一日の便数は全3便，一便平均で約8人の利用者がおり，一日の総交通量は25人．時間帯を問わず同程度の利用者が観測される．ODパターンの特徴としては，全体的に利用者数が少ない路線であり，地方都市の郊外や中山間地域で運行する路線がこのような特徴を持っている．

表−3 観測OD表（一日合計）

ノード	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gi
1	0	1	0	13	3	2	2	1	48	70
2		0	0	0	3	0	0	0	17	20
3			0	0	2	0	1	0	2	5
4				1	2	0	3	1	12	19
5					0	0	1	0	15	16
6						0	0	1	4	5
7							0	0	4	4
8								0	4	4
9									0	0
Aj	0	1	0	14	10	2	7	3	106	143

⑤路線.5

仮想した10ノードのバス路線で便数は1便，総交通量は33人とする．ODパターンの特徴としては，多くのOD間で乗降者が観測され，路線全体に亘って利用者が分布しており，中心市街地内で運行する路線などが該当する．

この5つの路線において前出した2つの方法で推計計算を行い，一便と一日全便のODパターンの推計値，そして一日全便のODパターンから運賃収入の推計値を求める．また，それらの値について観測値と推計値を比較し，推計精度を検証する．推計結果は路線1のOD表のみ記載する．この路線の一便の観測OD表は表−2に，一日全10便を合計した観測OD表を表−3に示す．

(3) 収束計算による推計結果

(a) 初期値が推計値に及ぼす影響

本研究の収束計算では現在パターン法の現在パターンに相当するODパターンは存在しない．そこで，初期値としてあるODパターンを与え推計計算を行う必要がある．しかし，初期値の与え方によっては推計結果に何らかの影響を及ぼす可能性も考えられるため，特定のODパターンを初期値として与え，その値のみから推計計算を行うことはあまり好ましくない．そこで，様々な値をODパターンに初期値として与えて推計計算を行い，初期値の与え方が推計結果にどのような影響を及ぼすか分析する．与える初期値としては，全てのOD交通量に1を与えたもの，総交通量をOD交通量に均等配分したもの，ODペアに対応する発生・集中交通量の和を与えたもの，ODペアに対応する発生・集中交通量の和を人数で重み付けして与えたもの，各OD交通量に適当に発生させた3つのパターンの乱数（乱数1，乱数2，乱数3）を与えたものとし，与えた初期値から得られたODパターンの推計値と観測値を比較し，絶対誤差の総和と絶対平均誤差を求める．そして，誤差の大小関係等から本研究で用いる初期値を決定する．その絶対誤差の総和を表−4，絶対平均誤差を表−5に示す．

表−4，表−5の結果より，与える初期値が全てのOD交通量で同じ値の場合は，推計値と観測値の絶対誤差の総和，絶対平均誤差どちらとも同程度の値となった．乱数のようなOD交通量ごとに異なる初期値を与えた場合は，誤差は全て異なる値となり，初期値の与え方による

特筆すべき特徴は見られなかった．異なる初期値を与えた場合と全て同じ値を与えた場合を比較した場合も，全ての路線においてどちらか一方の誤差の方が小さいなどといった特徴は見られなかった．また，対応する発生・集中交通量の和や，ノードの数で重みをつけた和を与えることによって，推計値に何らかの影響が及び，推計精度を向上せせることができるのではないかと考えたが，他の初期値の与え方と比較しても，特に大きな変化は見られなかった．以上より，初期値の与え方によって推計値の精度に大きな影響を及ぼすような要因を特定することはできなかった．そこで，本研究での初期値の与え方は，総交通量を均等配分した値とし，この値を基に推計計算を行うこととする．

(b) ODパターンの推計結果

観測される停留所別の乗降者数を基に路線1～5の5路線におけるバス利用者のODパターンの推計値を求める．表―2に示す路線1の一便における観測OD表の発生・集中交通量に基づき，ODパターンの推計計算を行った．その結果を表―6に示す．

表―2と表―6より，この路線のODパターンの観測値に対する推計値の絶対平均誤差は0.16人，絶対最大誤差は0.97人であった．この結果より，一便ごとの推計値はある程度の推計精度を有していると言うことができる．しかし，一便においては推計精度が高かったとしても，推計値に何らかのバイアスがある場合は長期間に渡り集計を行うと，誤差が大きくなり推計精度が落ちてしまう可能性も考えられる．そこで一便ごとの推計値を合計し，一日全便についての推計値を求めた．この路線の一日全10便を合計した推計値を表―7に示す．また，その他の4路線を含んだ一日全便の誤差の比較表を表―8に示す．

表―8より，路線1の絶対平均誤差は0.65人，絶対最大誤差は2.40人，絶対誤差の総和は29.0人，絶対誤差総和の総利用者数に対する割合は20.28%となった．路線の特徴から見る推計結果の考察としては，交通量が多く，多くのOD間で利用者が観測される路線では誤差の総和が大きくなっている，交通量の多いOD間では誤差も大きくなっているということが言える．しかし，路線5を除いた路線の絶対平均誤差は1人未満という値になり，しかるべき精度を有する結果であると言える．ここで求めた推計値は一便と一日全便についての値であるが，推計値に特段の推計バイアスは認められない．また，この誤差の値は絶対誤差の値であるため，誤差が大きくなっているが，絶対値を取らなければ一便や一日全便で誤差が生じた場合であっても，一ヶ月，一年と長期間に渡って集計することで，誤差が相殺され，より精度を高めることも可能であると考える．

(c) 運賃収入の推計結果

運賃収入は補助金額の算定の基礎となるデータであり，

表―4　初期値の観測値との絶対誤差の総和

初期値の値	路線no.				
	1	2	3	4	5
全て1	39.724	24.183	54.594	6.130	23.448
総交通量を均等配分	39.724	24.183	54.594	6.130	23.448
対応する発生・集中量の和	40.031	22.463	54.149	5.736	23.530
対応する発生・集中量の加重和	39.686	33.028	55.618	8.085	26.143
乱数1	45.393	18.334	54.799	7.452	24.895
乱数2	46.604	24.947	54.189	8.087	28.823
乱数3	48.070	26.513	50.632	5.688	28.709

表―5　初期値の観測値との絶対平均誤差

初期値の値	路線no.				
	1	2	3	4	5
全て1	0.883	0.537	1.213	0.136	0.521
総交通量を均等配分	0.883	0.537	1.213	0.136	0.521
対応する発生・集中量の和	0.890	0.499	1.203	0.127	0.523
対応する発生・集中量の加重和	0.882	0.734	1.236	0.180	0.581
乱数1	1.009	0.407	1.218	0.166	0.553
乱数2	1.036	0.554	1.204	0.180	0.641
乱数3	1.068	0.589	1.125	0.126	0.638

表―6　推計OD表（一便）

ノード	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gi
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
2		0.00	0.00	0.00	1.47	0.00	0.00	1.36	10.17	13.0
3			0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02	0.94	1.0
4				0.00	0.29	0.00	0.00	0.25	3.46	4.0
5					0.20	0.00	0.00	0.17	2.63	3.0
6						0.00	0.00	0.03	0.97	1.0
7							0.00	0.03	0.97	1.0
8								0.14	1.86	2.0
9									0.00	0.0
Aj	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	0.0	0.0	2.0	21.0	25.0

表―7　推計OD表（一日合計）

ノード	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gi
1	0.00	1.00	0.00	11.90	4.70	1.20	3.90	0.90	46.40	70.0
2		0.00	0.00	0.10	1.70	0.20	0.40	1.40	16.20	20.0
3			0.00	0.90	0.30	0.00	0.10	0.00	3.70	5.0
4				1.10	2.20	0.30	0.90	0.30	14.20	19.0
5					1.10	0.20	1.40	0.30	13.00	16.0
6						0.10	0.10	0.00	4.80	5.0
7							0.20	0.00	3.80	4.0
8								0.10	3.90	4.0
9									0.00	0.0
Aj	0.0	1.0	0.0	14.0	10.0	2.0	7.0	3.0	106.0	143.0

表―8　収束計算による一日全便の推計値の誤差

路線	誤差の総和(人)	絶対平均誤差(人)	絶対最大誤差(人)	絶対誤差の総和(人)	総交通量に対する割合(%)
1	-0.2	0.64	2.40	29.0	20.28
2	0.0	0.42	1.96	19.0	17.96
3	0.0	0.34	1.70	15.1	12.19
4	0.0	0.15	0.80	6.7	26.72
5	0.0	1.79	0.53	25.5	77.36

表―9　収束計算による運賃収入の比較

路線	運賃収入(円)		誤差(円)	誤差の観測値に対する割合(%)
	観測値	推計値		
1	39,090	39,247	157	0.40
2	24,090	24,160	70	0.29
3	25,430	25,555	125	0.49
4	5,960	6,013	53	0.89
5	6,380	6,367	13	0.20

バス事業者，自治体にとって共に重要なデータである．ODパターンの推計値がある程度の推計精度を有していたとしても，その値から算定した運賃収入に大きな差が生じてしまう可能性も考えられる．しかし，運賃は運賃区間のペアで決まるため，運賃収入を算定することはODペアをその区間レベルで集計したものという意味合いを有するものである．そこで，推計した一日合計のODパターンから運賃収入を算定し，その観測値と比較した．その結果を表−9に示す．

表−9より，運賃収入の推計値は利用者数，OD交通量のばらつき，金額の大小を問わず，最大でも157円差と誤差の値はどの路線も小さい値となった．誤差の観測値に対する割合については，最大で0.89%となり，どの路線においても1%未満という値になった．以上より，運賃収入の推計方法としては比較的良好な結果を得ることができると言える．

(4) 総当り法による推計結果

(a) ODパターンの推計結果

総当り法を用いて表−2のOD表を基に推計計算を行った．その結果，作成可能な全てのODパターンの組み合わせの総数は1,001,804通り存在し，発生・集中交通量の制約条件を満たす組み合わせの数は206通り存在した．これらの値が分布する範囲をOD交通量ごとに求め，その値の分布の平均値，最頻値，中央値を求めた．それらのOD表を表−10〜表−12に示す．

表−10〜表−12より，分布の平均値については，発生・集中交通量の制約条件を満たしており，この平均値は制約条件を満たすODパターンの組み合わせの一つであることが見て取れる．そこで，この平均値を総当り法の推計値として用い，収束計算と同様に観測値との比較を行い，絶対平均誤差，絶対最大誤差等を求める．総当り法の平均値の一日全10便を合計したOD表を表−13に示す．

表−2，表−10より，路線1の一便におけるODパターンの観測値に対する推計値の絶対平均誤差は0.17人，絶対最大誤差は1.42人であった．この結果より，総当り法による推計値も，収束計算による方法と同程度の推計精度を有していると言うことができる．また，表−3，表−13より，一日全便における絶対平均誤差は0.66人，絶対最大誤差は2.20人，絶対誤差の総和は29.6人，絶対誤差総和の総利用者数に対する割合は20.70%となった．表−14より，路線の特徴から見る推計結果の特徴としては，収束計算と同様に，交通量が多く，多くのOD間で利用者が観測される路線では誤差の総和が大きくなっている，交通量の多いOD間では誤差が大きくなっているということが見て取れる．しかし，どの路線についても絶対平均誤差は1人未満となり，ある程度の精度を有している結果であると言える．

表−10　平均値OD表（一便）

ノード	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gi
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0
2		0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00	0.33	12.09	13
3			0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.17	0.55	1
4				0.00	0.58	0.00	0.00	0.33	3.09	4
5					0.57	0.00	0.00	0.33	2.11	3
6						0.00	0.00	0.25	0.75	1
7							0.00	0.25	0.75	1
8								0.33	1.67	2
9									0.00	0
Aj	0	0	0	0	2	0	0	2	21	25

表−11　中央値OD表（一便）

ノード	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gi
1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0
2		0.00	0.00	0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	11.00	13.0
3			0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.50	0.50	1.5
4				0.00	1.00	0.00	0.00	1.00	2.00	4.0
5					1.00	0.00	0.00	1.00	1.50	3.5
6						0.00	0.00	0.50	0.50	1.0
7							0.00	0.50	0.50	1.0
8								1.00	1.00	2.0
9									0.00	0.0
Aj	0.0	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	5.5	17.0	26.0

表−12　最頻値OD表（一便）

ノード	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gi
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2		0	0	0	0	0	0	0	13	13
3			0	0	0	0	0	0	1	1
4				0	0	0	0	0	4	4
5					0	0	0	0	3	3
6						0	0	0	1	1
7							0	0	1	1
8								0	2	2
9									0	0
Aj	0	0	0	0	0	0	0	0	25	25

表−13　平均値OD表（一日合計）

ノード	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gi
1	0.00	1.00	0.00	11.50	4.70	1.20	4.00	1.20	46.40	70.0
2		0.00	0.00	0.20	1.70	0.20	0.40	1.20	16.30	20.0
3			0.00	1.00	0.30	0.00	0.10	0.00	3.60	5.0
4				1.30	2.20	0.30	0.80	0.20	14.20	19.0
5					1.10	0.20	1.40	0.30	13.00	16.0
6						0.10	0.10	0.00	4.80	5.0
7							0.20	0.00	3.80	4.0
8								0.10	3.90	4.0
9										0.0
Aj	0.0	1.0	0.0	14.0	10.0	2.0	7.0	3.0	106.0	143.0

表−14　総当り法による推計結果の誤差

路線	誤差の総和(人)	絶対平均誤差(人)	絶対最大誤差(人)	絶対誤差の総和(人)	総交通量に対する割合(%)
1	−1.1	0.66	2.20	29.6	20.70
2	0.0	0.43	1.85	19.2	18.11
3	0.0	0.37	1.99	16.4	13.23
4	0.0	0.14	0.72	6.4	25.48
5	−0.5	0.52	1.75	23.3	70.70

表−15　総当り法による運賃収入の比較

路線	運賃収入(円)		誤差(円)	誤差の観測値に対する割合(%)
	観測値	推計値		
1	39,090	39,208	118	0.30
2	24,090	24,192	102	0.42
3	25,430	25,573	143	0.56
4	5,960	6,014	54	0.91
5	6,380	6,380	0	0.00

(b) 運賃収入の推計結果

運賃収入についても同様に，推計した一日合計のODパターンから運賃収入を算定し，観測値と比較した．その結果を表−15に示す．

表−15より，運賃収入の推計誤差は，利用者数，OD交通量のばらつき，金額の大小を問わず，最大でも143円差と総じて小さい値となった．観測値に対する比率で見ると，最大で0.91%とどの路線においても1%未満という値になった．以上より，運賃収入に関しては非常に高い精度を得ることができたと言える．

5. 総当り法の解の分布

(1) 解の分布

総当り法によって求めたOD交通量は制約条件を満たすある一定の範囲に分布する．収束計算による推計値や総当り法による平均値，最頻値，中央値といった値は，この範囲のある一点の値である．このことを説明するにあたり，OD交通量のばらつきが大きい路線の方が解の分布と推計値の関係が良く読み取れるため，以下ではOD交通量のばらつきが大きい路線5を用いて総当り法により求まるOD交通量の変動や平均値等について説明する．路線5のOD表を表−16に示す．

路線5の発生・集中交通量の制約条件を満たすODパターンは244,851,380通り存在した．この路線の各OD交通量の変動を図−4に示す．この図は各OD交通量の分布範囲と値の分布する頻度を表したもので，ODペアごとに解が分布する範囲とその頻度が示してある．その中のひとつ，$t_{2,7}$を例に説明すると，値は0人〜4人の幅に分布し，制約条件を満たすODパターンのうち，0人となったケースは108,178,041通り，1人となったケースは77,058,881個，2人のケースが41,335,227通り，3人のケースが15,366,523通り，4人のケースが2,912,708通りであった．このOD交通量の観測値は2，収束計算による推計値は1.08，総当り法により求まった値は平均値が0.89，中央値が2，最頻値が0となった．収束計算により求まった値と総当り法により求まった値を比較すると近い値を示している．そこで，これらの値と分布範囲にどのような関連性が存在するか検討する．

表−16　路線5のOD表

ノード	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Gi
1	1	2	1	0	3	1	0	0	1	9
2		1	0	0	0	2	0	0	1	4
3			0	0	1	3	0	0	1	5
4				2	0	0	2	0	0	4
5					1	1	0	0	2	4
6						3	0	0	1	4
7							0	0	2	2
8								1	0	1
9									0	0
Aj	1	3	1	2	5	10	2	1	8	33

(2) 二つの推計方法の関連性

3.で提案した二つの推計方法について，互いにどのような関係が存在しうるか，二つの推計方法を比較する．この二つの推計結果を見てみると，絶対平均誤差で0.03人，絶対最大誤差で0.5人，誤差の総和で1.4人と，互いに近い値を示している．これより，収束計算により得られた推計値は総当り法により得られた平均値と近い値であることが考えられる．しかし，この値が発生・集中交通量の制約条件を満たすある範囲の中央に位置しているか，裾に位置しているかによって推計値の持つ意味も異なってくると考える．そこで，これらの推計値と分布の範囲との関係を調べる，その関係を図−5に示す．

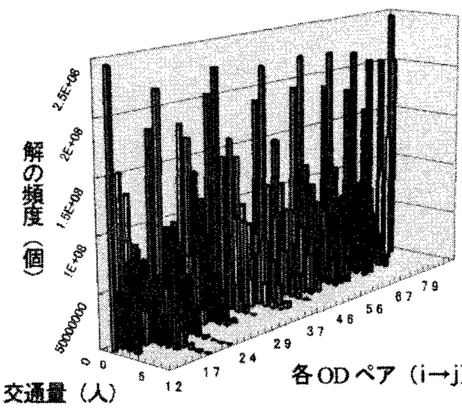
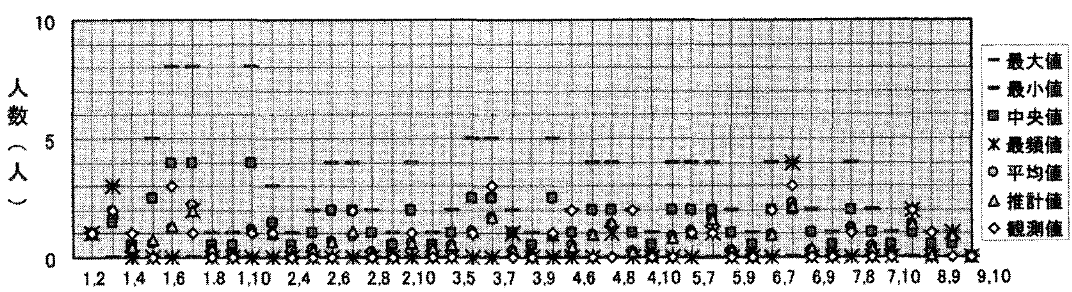


図-4　OD交通量の変動



表−5　各推計値と分布との関係

図−5 では各 OD 交通量について，発生・集中交通量の制約条件を満たす分布の範囲と観測値，収束計算による推計値，総当り法による平均値，中央値，最頻値が示されている．図−5 より，収束計算により求められた推計値は，総当り法で求められた 3 種類の代表値のどの値とも一致してはおらず，また，全ての OD 交通量について，常に分布の中央に位置している，それぞれの値に一定の割合で開きがある，大小関係が決まっているといった共通性のある特徴は見られなかったが，収束計算で得た推計値は総当り法で得た平均値と近い値となることが明らかとなった．これより，収束計算による推計値を長期間に亘って集計することで，誤差が相殺され推計精度を向上させることが可能であると考える．

6. おわりに

本研究では二元配置の周辺分布から同時分布を推計するIPF 法を応用し，停留所別乗降者から OD パターンを簡単に推計する方法を提案した．また，この手法により推計される解は一種の不定問題の解のひとつに過ぎず，目的に即した推計値が得られる保証が必ずしもないため，解空間の特性と提案した手法により得られた推計値の関係性を分析し，月間集計値や年間集計値などの集計レベルのものについては比較的精度の高い推計結果が得られることを確認した．

今後の課題としては，総当り法による推計計算について更に開発を行い，より推計精度を高める方法を検討すると共に，二つの方法を組み合わせることで，推計精度を向上させることが可能であるか否かを検討することが挙げられる．今後は収束計算における解推計アルゴリズムと総当り法により得られる解の分布の統計的代表値との関係を分析し，収束計算式を工夫することにで，より適切な推計が行えるような方法論の開発につなげたい．

参考文献

1) Deming,W.E. & Stephan.F.F. : On least square adjustment of sampled frequency tables when the expected marginal totals are known, *Annals of Mathematical Statistics*, Vol.6, pp.427-444, 1940.

2) 浅見泰司，木戸浩司：国勢調査住宅関連統計の IPF 法による度数分布表推計の精度 −東京大都市圏を例として−，日本建築学会計画系論文集，第 514 号，pp.185-189, 1998.12.

3) (社)交通工学研究会：交通工学ハンドブック，CD-ROM, 第 10 章 3 節 2 項，(社)交通工学研究会，2001.

4) 月岡修一，喜多秀行：観測乗降者数データに基づくバス利用者の OD 分布推計モデル，平成 16 年度土木学会中国支部研究発表会概要集，pp.347-348，2004.

路線バスの乗降者データに基づく利用者 OD パターンの推計に関する一考察*

喜多秀行**，月岡修一***

本研究では，より正確なバス利用者 OD パターンのデータを得るため，停留所別の乗降者数を基にした推計方法を開発し，現実のバス路線データを用いて推計方法の妥当性を検討した．その結果，路線によって差はあるが，観測乗降者数データのみから，補助金の算定やバスサービスの向上に必要とされる，より正確なバス利用者 OD パターンを推計することが可能となった．また，限定的な調査結果を年間データに拡大して用いなくとも，比較的簡単に観測できる乗降者数データを基に推計することができることを示した．今後は推計計算の考え方について更に検討を行い，より推計精度を向上させる方法を開発する．

OD-Trips Estimation Based on Counting Getting-on-and-off Bus Passengers*

By Hideyuki KITA** and Shuichi TSUKIOKA***

In this research, the estimation method based on counting getting-on-and-off passengers according to bus stops was developed in order to obtain the data of a more exact passenger's OD-trips, and the validity of the method was examined. Consequently, it became possible only from getting-on-and-off passenger data to estimate a more exact OD-trips required for calculation of a subsidy, or improvement in bus service. Moreover, it was shown that it's estimable based on the number data of getting-on-and-off passengers which can be observed comparatively easily even if it doesn't use an investigation. The view of estimation calculation is examined further.