【土木計画学研究・講演集 No.17 1995年1月】

バス乗降客アンケート調査を用いた情報量最小化による乗り換えOD推計法*

Changing-OD estimation method used opinions of users and improved Information Minimising Approach method*

高山純一** 、宮崎耕輔*** 、四藤一成**** 、北原良彦*****

By Jun-ichi TAKAYAMA**, Kousuke MIYAZAKI***, Kazunari YOTSUFUJI**** and Yoshihiko KITAHARA*****

1．はじめに

地方都市におけるバス交通は、面的な公共サービスを担う非常に重要な交通機関であるが、最近の自動車普及率の増加に伴いバス利用者数は年々減少する傾向にある。また近い将来、高齢化社会を迎えることを考慮すればバス交通を含めた公共交通は、今後益々重要な役割を担うものと考えられる。

バス交通を整備し活性化するためには、バスのサービスレベルを向上させる必要があり、具体的には、バス需要に対応したきめ細かなバス交通整備計画の立案とその評価が必要となる。具体的には、①バスターミナルの建設を含めたバス路線網の再編、②バスの運行方法や運賃制度の見直し、③案内情報システムの整備などが必要である。しかし、これらを行うためには、バス交通の利用実態を詳細に把握する必要があるが、従来のパーソントリップ法などの調査法では限界がある。

従来よりバスOD交通量の調査法としては、主にパーソントリップ調査による方法とバス乗降客調査による２種類の方法が用いられてきた。

パーソントリップ調査による方法は、交通需要全体の中でのバス交通の位置づけを把握することができるという利点を有するが、きめの細かい交通計画の立案に用いるには調査精度的に限界がある場合が多い。また、非常に多額の費用と労力、時間がかかるため手軽に何度も実施することは不可能に近い。

一方、バス乗降客調査は、全数調査であるため精度的には問題は少ないが、全体を詳細に把握するには調査員を全路線の全バス車両に配置しなければならないため調査費用がかなり大きくなるという問題がある。しかも、乗り換え（乗り継ぎ）ODを把握することが非常に困難であるという問題も存在する。

そこで、本研究ではバス乗降客を対象としたアンケート調査によりバス交通の利用実態を手軽に把握する方法を提案し、情報量最小化理論（Information Minimising Approach、以下IMA法）を用いた解析方法の適用可能性について検討を行う。また、実際の調査データに適用しその特性分析を行う。

ここでは、金沢市が平成4年10月に行った「バス利用者意向調査」のアンケートデータをもとに、その適用可能性について検討する。

2．乗り換えバス停に関する情報量最小化モデル

道路区間交通量に関するIMA法（情報量最小化理論）を、本研究において次のように解釈する。

乗り換えバス停kで乗り換える乗降客数をX_kと考え、ゾーンiからjへのOD交通量を$Q_{ij}{}^k$、OD交通量T_{ij}が乗り換えバス停kを選択する確率を$p_{ij}{}^k$とすると、X_kは次のようになる。

$$X_k = \sum_i \sum_j Q_{ij}{}^k = \sum_i \sum_j T_{ij} p_{ij}{}^k \qquad (k = 1,2,\cdots,m) \tag{2-1}$$

そこで、そのOD交通量の構成の仕方を確率的に

* キーワーズ：分布交通、公共交通需要、公共交通計画

** 正員、工博、金沢大学工学部土木建設工学科（石川県金沢市小立野2-40-20、TEL 0762-34-4650、FAX 0762-34-4644）

*** 学生員、金沢大学大学院工学研究科（石川県金沢市小立野2-40-20、TEL 0762-34-4650、FAX 0762-34-4644）

**** 正員、㈱計画情報研究所（石川県金沢市長田2-26-5 MTKビル304、TEL 0762-23-5445、FAX 0762-23-4144）

***** 正員、工修、㈱計画情報研究所（石川県金沢市長田2-26-5 MTKビル304、TEL 0762-23-5445、FAX 0762-23-4144）

捉え、最も起こりやすい状態で各OD交通量Q_{ij}^kが生起すると考えると、その同時生起確率$P(X_k)$は式(2-2)のようになる。

$$P(X_k)=\frac{X_k!}{\prod_i\prod_j Q_{ij}^k!}\prod_i\prod_j\left\{r_{ij}^k\right\}^{Q_{ij}^k} \quad (k=1,2,\cdots,m) \qquad (2-2)$$

ここで、r_{ij}^kは、ゾーンij間のトリップがバス停kで乗り換える先験確率（事前確率）を表し、また、t_{ij}^*は既存OD交通量、あるいはアンケート調査によって得られるサンプルOD交通量であるので、次式のように表される。

$$r_{ij}^k=\frac{t_{ij}^* p_{ij}^k}{\sum_i\sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k} \qquad (2-3)$$

よって、式(2-2)は次のように変形できる。

$$P(X_k)=\frac{X_k!}{\prod_i\prod_j\left(T_{ij}p_{ij}^k\right)!}\prod_i\prod_j\left\{\frac{t_{ij}^* p_{ij}^k}{\sum_i\sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k}\right\}^{T_{ij}p_{ij}^k} \Rightarrow Max. \qquad (2-4)$$

$$I(X_k)=-\log\left[\frac{X_K!}{\prod_i\prod_j\left(T_{ij}p_{ij}^k\right)!}\prod_i\prod_j\left\{\frac{t_{ij}^* p_{ij}^k}{\sum_i\sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k}\right\}^{T_{ij}p_{ij}^k}\right] \Rightarrow Min. \qquad (2-5)$$

式(2-4)の最大化と式(2-5)の最小化は同値なので、計算の便宜上、式(2-5)を用いる。以下、スターリングの公式を用いて式の変形を行うと、次のようになる。

$$I(X_k)=\sum_i\sum_j T_{ij}p_{ij}^k\log\left(\frac{T_{ij}\sum_i\sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k}{X_k t_{ij}^*}\right) \quad (k=1,2,\cdots,m) \qquad (2-6)$$

また、乗り換えバス停kについて加え合わせると式(2-7)のようになる。

$$I=\sum_k I(X_k)=\sum_k\sum_i\sum_j T_{ij}p_{ij}^k\log\left(\frac{T_{ij}\sum_i\sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k}{X_k t_{ij}^*}\right) \Rightarrow Min. \qquad (2-7)$$

制約条件式(2-1)のもとで、式(2-7)の最小化問題をラグランジェの未定乗数法を用いて解く。

$$L=\sum_k\sum_i\sum_j T_{ij}p_{ij}^k\log\left\{\frac{T_{ij}\sum_i\sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k}{X_k t_{ij}^*}\right\}+\sum_k\lambda_k\left(\sum_i\sum_j T_{ij}p_{ij}^k-X_k\right) \qquad (2-8)$$

式(2-8)をT_{ij}、λ_kで偏微分し、それぞれ零(0)と置くと、次のようになる。

$$\frac{\partial L}{\partial T_{ij}}=\sum_k p_{ij}^k\log\left\{\frac{T_{ij}\sum_i\sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k}{X_k t_{ij}^*}\right\}+\sum_k p_{ij}^k(1+\lambda_k)=0 \qquad (2-9)$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda_k}=\sum_i\sum_j T_{ij}p_{ij}^k-X_k=0 \quad (k=1,2,\cdots,m) \qquad (2-10)$$

式(2-9)の変形を行うと、以下に示す式が導かれる。

$$\therefore T_{ij}=t_{ij}^*\prod_k\left[\left(\frac{X_k}{\sum_i\sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k}\right)\exp\left\{-(1+\lambda_k)\right\}\right]^{\frac{p_{ij}^k}{\sum_k p_{ij}^k}} \qquad (2-11)$$

式(2-11)を式(2-10)に代入すると、次のようになる。

$$\sum_i\sum_j p_{ij}^k t_{ij}^*\prod_k\left[\left(\frac{X_k}{\sum_i\sum_j t_{ij}^* p_{ij}^k}\right)\exp\left\{-(1+\lambda_k)\right\}\right]^{\frac{p_{ij}^k}{\sum_k p_{ij}^k}}-X_k=0 \quad (k=1,2,\cdots,m) \qquad (2-12)$$

ここで、アンケート調査データより既知となるものはX_k、Q_{ij}^k、t_{ij}^*である。また、次式によりp_{ij}^kが与えられる。

$$p_{ij}^k=\frac{Q_{ij}^k}{t_{ij}^*} \qquad (2-13)$$

よって、式(2-12)において未知であるものは、λ_kだけである。式(2-12)の非線形連立方程式を解くだけで、式(2-11)より、OD交通量T_{ij}が求められる。

3．モデルネットワークへの適用

（1）仮想ネットワークを用いたシミュレーション

今回、本モデルの適用例として図3-1に示す仮想ネットワークを用いた。この図は、金沢市のバス路線網にあわせて、都心部を中心にして周辺部を放射状に配置した。そして、都心部をゾーン①として、路線別に合計五つのマクロゾーンに分割した。図3-1のノード1、2、3、4、5、6は、都心部のバス停で

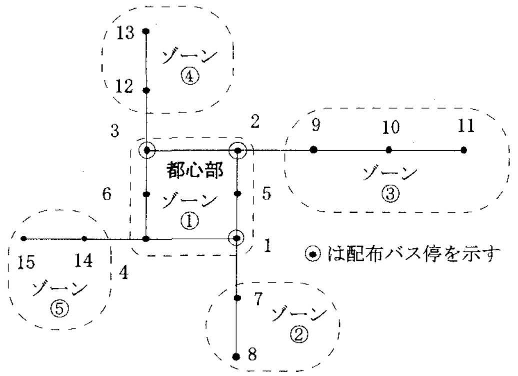


図3－1　モデルネットワーク図

ある。1、2、3、4は、乗り換えバス停として考えられるバス停で特に今回は、1、2、3でアンケート票を配布したものと想定する。なお、配布当日の1、2、3のバス停では降客数も同時に調査する。

（2）調査データ

アンケート調査は、行き、帰りをそれぞれ記入してもらう方式で、乗り換えは1回まで記入できる調査票とした。これは、地方中核都市を対象にしたものであり、1回乗り換えればだいたいどこにでも行けると考えられるからである。仮想リンク上でも1度乗り換えればどこにでも行けると想定する。配布日数は1日とし、各配布するバス停の降客を対象に配布する。また、同時に降客数を配布バス停にて調査するものとする。

（3）シミュレーションの方法

アンケート記入方式の形で母集団を作成し、この母集団の中からアンケート配布バス停で降車している（乗り換えも含む）データをサンプル抽出することでアンケート回収データとした。よって、回収率は、サンプル数を母集団の全アンケート配布バス停降車人数で除した数となる。

母集団の単位ODを一定として、母集団全体の乗り換えの割合と母集団の規模を変化させ、さらにサンプル数も変化させながら推計精度の検討を行った。

表4－1　拡大係数の求め方

A：アンケートを配布したバス停
B：アンケートを配布していないバス停、
i：行き乗車バス停、j：行き乗り換えバス停、
k：行き到着バス停、l：帰り乗車バス停、
m：帰り乗り換えバス停、n：帰り到着バス停
(注)行き・帰りともに配布バス停で下車していないアンケート票については、拡大係数を0（ゼロ）とした。
ただし、k_o：行きの拡大係数、k_d：帰りの拡大係数

● 行きについて

乗換バス停	到着バス停	
A	A	$k_o = \dfrac{\alpha_j + \alpha_k}{2}$
A	B	$k_o = \alpha_j$
B	A	$k_o = \alpha_k$
B	B	$k_o = k_d$

● 帰りについて

乗換バス停	到着バス停	
A	A	$k_d = \dfrac{\alpha_m + \alpha_n}{2}$
A	B	$k_d = \alpha_m$
B	A	$k_d = \alpha_n$
B	B	$k_d = k_o$

4．単純拡大による推計

本研究においては、拡大係数を次式により求めた。

$$\alpha_k = \frac{XD_k}{SD_k} \qquad (4-1)$$

α_k　：配布バス停kにおける拡大係数
XD_k　：配布バス停kにおける配布当日の降客数
SD_k　：配布バス停kにおけるサンプル降客数
（有効回収サンプル数）

以上のようにして、表4-1に示す方法で拡大係数を求め、推計を行った。

単純拡大法でのアンリンクトでの推計値に拡大係数による誤差が生じている。図4-2に示すように母集団の乗り換えの割合が小さいほど相関がよくなっている。これは、乗り換えバス停と到着バス停がともに配布バス停の場合、各バス停の拡大係数を平均しているためであると考えられる。さらに、配布バス停を介さないODペアは、通常ゼロとなってしまうが、数字を持っている理由としては、例えば、図4-3に示すようなトリップでは、行きの到着バス停と、帰りの乗車バス停のみがアンケート配布バス停

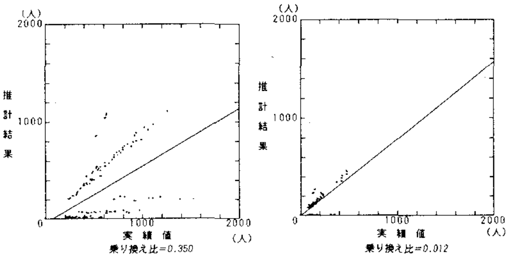


図4－2　アンリンクト相関図

	乗車バス停		乗り換えバス停		到着バス停
行き	B	→	B	→	A
帰り	A	→	B	→	B

A:アンケート配布バス停
B:アンケート未配布バス停

図4－3　アンケート回答例

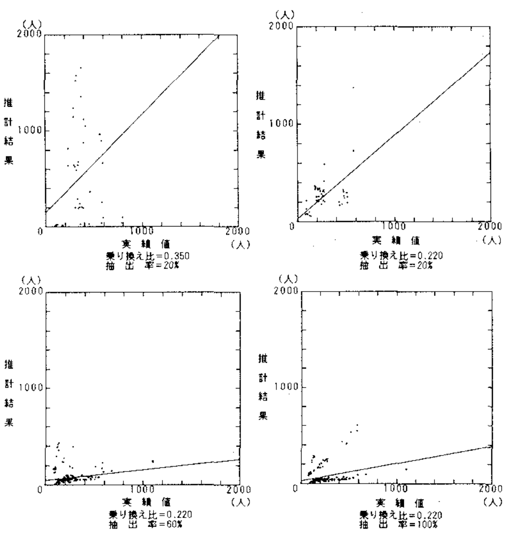
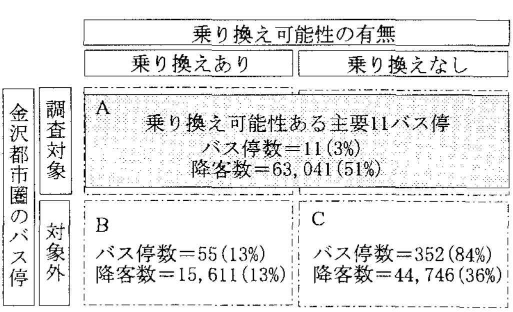


図5－1　IMA法相関図



全バス停数＝418、全降客数＝123,398人
資料：平成4年北陸鉄道㈱実施の乗降客調査

図6－1　調査対象としたバス停の基礎数値

であるために、アンリンクトで推計する場合、行きでは乗車バス停・乗り換えバス停間の、帰りでは乗り換えバス停・到着バス停間のODが拡大されてしまうためであると考えられる。

よって、単純拡大による推計方法では、乗り換えが多い場合、誤差が大きくなるという特徴を有することがわかる。

5．IMA法による推計

本研究では、情報量最小化の理論を用いて、新しい推計法を提案した。

この推計方法では、観測地点の数が増えると非線形連立方程式の数も増えて推計不能になる場合が存在するという問題が生じる。そこで、今回は特に第２章で導いた式からアンケートを配布したバス停（３箇所）に着目して方程式を作成した。

これらの相関図を図5-1に示す。この結果から、乗り換えがあまりにも多く存在する場合や、抽出率が小さい場合には有効であるとはいえない。

ただし、金沢市の場合、乗り換えの割合は、およそ２割程度であることを考慮すれば、本モデルの適用は比較的有効であると考えられる。

6．まとめ

本研究では、情報量最小化理論を用いて乗り換えODを考慮したバスOD交通量の簡易推計法を提案した。

そして、簡単なシミュレーションモデルによりその適用性の検討を行った。今後は、平成4年にバス会社が実施したバス乗降客調査（図6-1）ならびに、金沢市が実施した「バス利用者意向調査」の結果を利用して金沢市におけるバス利用実態を詳細に把握したい。

参考文献

1)　高山純一：リンクフロー観測値に基づいた道路網交通需要分析モデルに関する方法論的研究、京都大学博士学位論文、昭和63年2月.