

## P T調査データを用いた分布交通量予測のための 修正重力モデルの適用性に関する研究

### APPLICABILITY OF REVISED GRAVITY TRIP DISTRIBUTION MODELS USING PERSON TRIP SURVEY DATA

森川高行\*・杉本 直\*\*・飯田祐三\*\*\*

By Takayuki MORIKAWA, Nao SUGIMOTO and Yuzo IIDA

Trip distribution models for metropolitan comprehensive transport plans using person trip survey data have been either the gravity type or present pattern type. The present pattern method can reproduce the observed flow but is insensitive to changes in transport service level. The gravity models can incorporate policy variables such as travel time but often yield unrealistic trip patterns. The revised gravity model that uses adjustment factors specific to O-D pairs possesses both advantages. This paper examines applicability of the revised gravity model using Kei-Han-Shin person trip survey data.

#### 1. はじめに

我が国におけるパーソントリップ（以下P T）調査も、大都市圏では3回目を終え、このデータを用いた四段階推定法による将来交通量予測の手法も確立しつつある。しかし、分布交通量や分担交通量の予測は都市圏によって異なる手法を用いており、完全に確立されたとは言えない。なかでも、分布交通量の予測手法は、現在パターン法か重力モデルのどちらかが用いられており、この両者の優劣を判断する決め手となる報告はなされていない。

現在パターン法による予測は、観測値と大きく離れた推計値を生じることはないが、交通ネットワークの変化が考慮されないため、交通施設整備の影響が表れにくいという大きな欠点がある。また、観測されたトリップマトリックスを用いて将来予測をするため、現在のパターンにおいて交通の発生のないところでは将来予測は困難である。例えば、京阪神都市圏における関西新空港がその典型的な例である。それに対し重力

モデルでは、上記の現在パターン法における2つの問題点を解消する。しかし、重力モデルを大都市圏のような大きな範囲に適用すると、しばしば観測値と推計値の差が非常に大きな、つまりモデルのフィットが非常に悪いODペアを生じる。これは、全域で平均化された分布パターンを使用するためゾーンペアによる特殊性が考慮されないためである。

そこで、操作性という重力モデルの長所と、現況再現性という現在パターン法の長所を合わせ持つものとして提案されているのが、ゾーンペアごとの調整係数を用いる修正重力モデルである<sup>1),2)</sup>。本研究では、このように分布交通量を予測する際に、長期的な交通施設計画に用いることができるように重力モデルの長所を残し、観測された分布交通量を忠実に再現するモデルとして提案されている修正重力モデルについて、その適用性について検討を行なう。

本論文では、とくに京阪神都市圏で行われた、第2回（昭和55年）および第3回（平成2年）のP T調査データを用いた事例を報告する。京阪神都市圏では、対象地域内を約70の中ゾーンに分割しており中ゾーンレベルのOD表を対象としている。本論文ではまず、第2回P Tデータを用いて調整係数を算出し、分析したうえで、第3回P Tデータより調整係数を算出し、この2回の調整係数を比較、検討し、修正重力モデル

キーワード：分布交通量、修正重力モデル、P T調査

\* 正会員 Ph.D. 名古屋大学助教授 工学部土木工学科

(〒464-01 名古屋市中種区不老町)

\*\* 学生員 名古屋大学大学院工学研究科土木工学専攻

(〒464-01 名古屋市中種区不老町)

\*\*\* 正会員 中央復建コンサルタンツ(株) 計画設計部

(〒530 大阪市北区梅田1-2)

の適用性を検討する。

## 2. 調整係数の分析

本論文で用いる修正重力モデルは次の式で表される。

$$X_{ij} = K \cdot K_{ij} \frac{G_i^\alpha A_j^\beta}{T_{ij}^\gamma} \quad (1)$$

ここで

$X_{ij}$  :  $i$ ゾーンから $j$ ゾーンへの分布交通量

$G_i$  :  $i$ ゾーン発生量

$A_j$  :  $j$ ゾーン集中量

$T_{ij}$  : ゾーン間所要時間

$K_{ij}$  : 調整係数

$K, \alpha, \beta, \gamma$  : パラメータ

モデルは5つのトリップ目的別（出勤、登校、自由、業務、帰宅）に同定した。つまり目的別に、通常の重力モデル（式(1)で調整係数がないもの）の係数 $K, \alpha, \beta, \gamma$ を推定し、パラメータ推定値を式(1)に代入して調整係数 $K_{ij}$ を計算した。その際に $T_{ij}$ は、手段別のゾーン間所要時間（ネットワーク値）のうち、鉄道、バス、自家用車を用いた際の所要時間にそれぞれの分担率を乗じた重み付き平均値を使用した。実際の推定では、式(1)の両辺の対数を取り回帰分析を行なうので、調整係数は回帰式の残差（厳密には残差の指数）である。つまり、調整係数の分析は回帰式の残差分析にほかならない。

まず調整係数 $K_{ij}$ が表しているものとして2つのものを考える。ひとつは、ゾーン間所要時間としてセントロイド間の代表所要時間を用いることによる誤差であり、もうひとつは重力モデルでは表せないゾーン間の結び付きの強さである。

そこで、ゾーン間所要時間としてネットワーク所要時間 $T_{ij}$ の代わりに、PT調査で現れたOD実旅行時間の平均値を真のゾーン間所要時間 $T'_{ij}$ としてモデルを推定した。このモデルから求められる $K_{ij}$ を $K'_{ij}$ とすると、 $K_{ij}$ を次のように分解することができる。

$$K_{ij} = E_{ij} \times K'_{ij} \quad (2)$$

このとき $K'_{ij}$ は、先に述べた $K_{ij}$ の後者の要素、つまりゾーン間の結び付きの強さを表していると考えられる

ので、 $E_{ij}$ は $K_{ij}$ のうち前者の要素、つまり所要時間の誤差を表すと考えられる。

ここで $K_{ij}$ と $K'_{ij}$ の統計量を比較する（表1、2）。まず、分散を見ると $K'_{ij}$ の方が $K_{ij}$ より、全ての目的において小さくなる。これは、最大値を比較すると全ての目的に関して $K'_{ij}$ の方が $K_{ij}$ よりも小さくなり、期待値に比べて極端に大きな値が減少するので、その結果分散が小さくなっている。よって $K_{ij}$ よりも $K'_{ij}$ の方が、極端に大きな値を排除しているという点において散らばりが少ない。ここで $K_{ij}$ が $K'_{ij}$ よりも散らばりが大きいのは、所要時間の誤差を含んでいるためであろう。

表1  $K_{ij}$ の統計量

|     | 出勤     | 登校     | 自由     | 業務     | 帰宅     |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 期待値 | 1.64   | 1.52   | 1.79   | 1.4    | 1.7    |
| 分散  | 2.34   | 1.65   | 2.57   | 1.53   | 2.75   |
| 最大値 | 35.8   | 22.6   | 36.3   | 33.4   | 50.3   |
| 最小値 | 0.0187 | 0.0228 | 0.0465 | 0.0714 | 0.0242 |

表2  $K'_{ij}$ の統計量

|     | 出勤      | 登校     | 自由      | 業務     | 帰宅     |
|-----|---------|--------|---------|--------|--------|
| 期待値 | 1.50    | 1.46   | 1.63    | 1.48   | 1.55   |
| 分散  | 1.48    | 1.37   | 1.9     | 1.33   | 1.78   |
| 最大値 | 14.3    | 11.8   | 23.3    | 28.5   | 22.4   |
| 最小値 | 0.00003 | 0.0383 | 0.00783 | 0.0002 | 0.0004 |

次に、所要時間の誤差 $E_{ij}$ を分析する（表3）。まず、 $E_{ij}$ の期待値をみると、出勤トリップの値が5つの目的の中で飛び抜けていることに気付く。しかし、度数分布をみると（図1）、全ての目的について同じ様な散らばり具合であり、出勤トリップの期待値の大きさは極端に大きな値に影響されているためと思われる。全ての目的に関して $E_{ij}$ の値は、0.9から1.1の範囲に約15%、0.8から1.2の範囲に約30%存在しており、5つの目的について同じように誤差は生じているといえる。その中では、登校トリップが期待値も1に近く、分散も小さく、比較的所要時間の誤差が少ないといえる。次いで、 $E_{ij}$ の目的別の相関をみると（表4）、出勤トリップとその他の目的のトリップが多少相関があるだけで、その他の組合せにはほとんど相関がみられない。 $E_{ij}$ と $K'_{ij}$ の相関を見ても（表5）全く相関がない。つまり $E_{ij}$ はゾーン別に異なるものであるうえに目的によっても異なるものであり、 $E_{ij}$ を分類し、何らかの形で定式化するにはゾーン別および目的別に検討する必要がある。

表3  $E_{ij}$ の統計量

|     | 出勤     | 登校    | 自由    | 業務    | 帰宅     |
|-----|--------|-------|-------|-------|--------|
| 期待値 | 5.23   | 1.13  | 1.37  | 1.90  | 1.81   |
| 分散  | 135    | 0.765 | 3.24  | 17.1  | 31.6   |
| 最大値 | 6170   | 13.0  | 82.4  | 715   | 1536   |
| 最小値 | 0.0498 | 0.102 | 0.137 | 0.028 | 0.0539 |

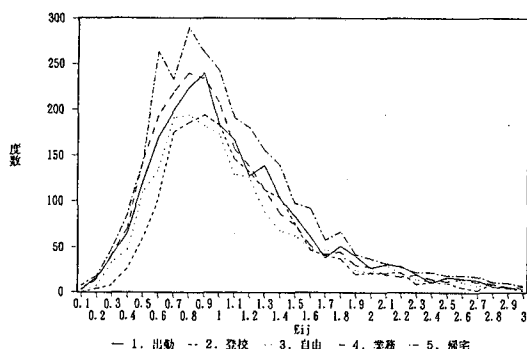


図1  $E_{ij}$ の度数分布

表4  $E_{ij}$ の目的間相関係数

| 相関係数 | 出勤    | 登校    | 自由    | 業務    |
|------|-------|-------|-------|-------|
| 出勤   |       |       |       |       |
| 登校   | 0.399 |       |       |       |
| 自由   | 0.297 | 0.232 |       |       |
| 業務   | 0.403 | 0.226 | 0.277 |       |
| 帰宅   | 0.552 | 0.221 | 0.23  | 0.197 |

表5  $E_{ij}$ と $K'_{ij}$ の相関係数

| 目的 | 相関係数    |
|----|---------|
| 出勤 | 0.0789  |
| 登校 | 0.265   |
| 自由 | 0.078   |
| 業務 | 0.00417 |
| 帰宅 | 0.0414  |

今度は、ゾーン間の結び付きの強さを表す $K'_{ij}$ について分析する。まず、ネットワーク所要時間 $T_{ij}$ と実所要時間 $T'_{ij}$ を用いた重力モデルの適合度を表6に示す。これより、目的によって2つのモデルの適合度の良否が異なっている。出勤、帰宅トリップはどちらを用いても似たような相関係数である。出勤トリップでは所要時間の誤差が大きいゾーンも存在したが、この2つの目的に関しては予測に用いる場合にはセントロイド間所要時間をそのまま用いてもあまり差異はないようである。登校、自由トリップは $T'_{ij}$ を用いた方が相関係数

が高い。どちらの目的も $E_{ij}$ の期待値が他の目的の場合に比べて比較的1に近く、また分散も小さく、所要時間の誤差が小さいことを表している。業務トリップについては、 $T_{ij}$ を使った方が、相関係数が高くなっており真の所要時間を用いてもあまり精度には影響していない。

表6  $T_{ij}$ と $T'_{ij}$ を用いたモデルの相関係数の比較

|    | ネットワーク所要時間 | 実所要時間 |
|----|------------|-------|
| 出勤 | 0.814      | 0.807 |
| 登校 | 0.666      | 0.684 |
| 自由 | 0.684      | 0.703 |
| 業務 | 0.820      | 0.780 |
| 帰宅 | 0.817      | 0.813 |

次に、 $K'_{ij}$ を分析するに当たって、目的別に $K'_{ij}$ の値が大きいゾーン及び小さいゾーンを抽出した(付録図1参照)。ここで、出勤トリップに非常に大きな特徴が現れている。それは、大阪市と大阪市以外の周辺都市で大きな違いがあることである。神戸市周辺の都市から神戸市都心部へのトリップ、亀岡市から京都市内へのトリップ、奈良市周辺の都市から奈良市へのトリップ等の大阪市以外の都心へ集中するトリップの $K'_{ij}$ は非常に大きな値となる。しかしながら、大阪市都心部へのトリップについてはそのような傾向がみられない。このことから、大阪市都心部へのトリップ数は周辺都市に比べて正確な値が予測されているのに対して周辺の都市では予測値が過小評価されているといえる。これは京阪神において大阪へ出勤トリップする人の数が、非常に多いために大阪の特性に適合するようにモデルの係数が決定されるためである。

自由トリップの場合も同様にして、京都市や神戸市への周辺の都市から集中するトリップの $K'_{ij}$ の値が大きい。ただ自由トリップの場合は大阪市に関しても同様の現象が起こっている(付録図2参照)。これは、出勤トリップほど大阪へ集中する交通量が多くないために大阪の特性があまり表れていないからで、大阪へ集中するトリップの $K'_{ij}$ の値も周辺都市と同様に大きくなる。一方、帰宅トリップをみると有田市から加古川市へのトリップや三田市から草津市へのトリップのようにほとんどトリップの起こり得ないようなゾーン間で $K'_{ij}$ の値が大きくなる。もしトリップを行った人が1人しかいない場合、推定値が0.01となれば $K'_{ij}$ は100にな

る。すなわち、OD交通量が極端に少ないゾーンにおいて $K'_{ij}$ の値が極端に大きくなったり、逆に小さくなったりする。 $K'_{ij}$ を分類する際にはOD交通量が極端に少ないゾーンを例外として省くようにした方がよいであろう。

### 3. 修正重力モデルの適用性

昭和55年の推定結果と平成2年の推定結果を比較すると（表7）平成2年において係数 $\alpha$ の値がかなり小さくなっている。 $\beta$ ,  $\gamma$ の値はほとんど変わらないが、 $\alpha$ が大きく減少しそのかわりに $K$ が大きくなる傾向がある。これは発生量のOD交通量に与える影響が小さくなり、その代わりに発生量、集中量、所要時間以外の要因がOD交通量に大きく影響を与えるようになる傾向を示している。

表7 重力モデルのパラメータ推定結果  
昭和55年

| 目的            | 出勤          | 登校          | 自由          | 業務          | 帰宅          |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 相関係数          | 0.814       | 0.665       | 0.685       | 0.820       | 0.817       |
| $\alpha$ (t値) | 0.275(8.9)  | 0.292(8.2)  | 0.298(9.1)  | 0.529(25.4) | 0.787(30.9) |
| $\beta$ (t値)  | 0.735(33.3) | 0.426(10.7) | 0.381(12.6) | 0.527(25.7) | 0.418(14.7) |
| $\gamma$ (t値) | 2.75(57.5)  | 2.00(33.4)  | 1.60(36.9)  | 1.73(60.2)  | 2.65(65.4)  |
| $k$ (t値)      | 347(11.8)   | 273(8.4)    | 60.6(7.0)   | 2.38(2.4)   | 9.48(4.2)   |

平成2年

| 目的            | 出勤          | 登校          | 自由          | 業務          | 帰宅          |
|---------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 相関係数          | 0.820       | 0.654       | 0.704       | 0.754       | 0.754       |
| $\alpha$ (t値) | 0.0337(2.3) | 0.0458(2.7) | 0.0433(2.6) | 0.0767(5.8) | 0.123(8.1)  |
| $\beta$ (t値)  | 0.812(36.3) | 0.549(13.8) | 0.501(16.0) | 0.440(19.7) | 0.362(10.4) |
| $\gamma$ (t値) | 2.79(63.3)  | 2.05(36.4)  | 1.75(42.4)  | 1.57(50.0)  | 2.73(60.7)  |
| $k$ (t値)      | 2319(21.5)  | 1522(13.6)  | 305(13.4)   | 560(19.2)   | 98056(21.4) |

表8  $K_{ij}^{65}$ の統計量

|     | 出勤     | 登校     | 自由     | 業務     | 帰宅     |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 期待値 | 1.59   | 1.57   | 1.76   | 1.48   | 1.97   |
| 分散  | 2.04   | 1.92   | 2.52   | 1.59   | 3.53   |
| 最大値 | 26.1   | 31.0   | 38.8   | 18.3   | 59.0   |
| 最小値 | 0.0170 | 0.0239 | 0.0462 | 0.0512 | 0.0179 |

表9  $K'_{ij}^{65}$ の統計量

|     | 出勤      | 登校     | 自由      | 業務     | 帰宅      |
|-----|---------|--------|---------|--------|---------|
| 期待値 | 1.50    | 1.80   | 2.18    | 1.57   | 1.95    |
| 分散  | 1.54    | 2.51   | 3.92    | 1.60   | 3.73    |
| 最大値 | 18.9    | 40.7   | 41.0    | 17.9   | 132     |
| 最小値 | 0.00006 | 0.0005 | 0.00129 | 0.0005 | 0.00008 |

表10  $E_{ij}^{65}$ の統計量

|     | 出勤     | 登校     | 自由    | 業務     | 帰宅      |
|-----|--------|--------|-------|--------|---------|
| 期待値 | 2.99   | 1.25   | 2.04  | 1.24   | 2.22    |
| 分散  | 57.5   | 3.9    | 24.3  | 1.83   | 27.1    |
| 最大値 | 2740   | 168    | 1084  | 64.5   | 1322    |
| 最小値 | 0.0513 | 0.0936 | 0.113 | 0.0391 | 0.00282 |

表11 昭和55年と平成2年の調整係数の相関係数

|    | 1     | 2     | 3      |
|----|-------|-------|--------|
| 出勤 | 0.702 | 0.694 | 0.983  |
| 登校 | 0.719 | 0.668 | 0.464  |
| 自由 | 0.810 | 0.791 | 0.0804 |
| 業務 | 0.618 | 0.425 | 0.242  |
| 帰宅 | 0.617 | 0.501 | 0.0202 |

1.  $K_{ij}^{55}$ と $K_{ij}^{65}$ の相関係数
2.  $K'_{ij}^{55}$ と $K'_{ij}^{65}$ の相関係数
3.  $E_{ij}^{55}$ と $E_{ij}^{65}$ の相関係数

ここで、昭和55年のデータより推定された $K_{ij}$ を $K_{ij}^{55}$ 、平成2年のデータより推定された $K_{ij}$ を $K_{ij}^{65}$ と表記し、これらを比較する。まず、 $K_{ij}^{55}$ と $K_{ij}^{65}$ を式(2)によって、 $E_{ij}^{55}$ と $K_{ij}^{55}$ 、 $E_{ij}^{65}$ と $K_{ij}^{65}$ にそれぞれ分解する。これらの統計量を表8、9、10に示した（昭和55年のものについては表1、2、3を参照）。

表11を見ると、 $E_{ij}^{55}$ と $E_{ij}^{65}$ については、出勤トリップにおいて相関係数が非常に高いことを除くと他の目的については全く相関がみられない。ゾーン間ごとの所要時間の誤差は10年前と比べて、業務に関しては小さくなり、自由トリップに関しては逆に大きくなる。 $K_{ij}^{55}$ と $K_{ij}^{65}$ を比較すると、自由トリップに関しては、相関係数が高く、あるゾーンに関してそのゾーンと結び付きの強いゾーンは10年後も以前と変わらず結び付きが強いと考えられる。逆に業務、帰宅トリップに関してはゾーン間の結び付きの強さが変化して、新たなゾーン間の結び付きの強さが生じたと考えられる。 $K_{ij}^{55}$ と $K_{ij}^{65}$ については期待値、分散、最大値、最小値のうちどれを比べてもあまり変化がみられないので $R_{ij}$ を以下のように定義する。

$$R_{ij} = \frac{K_{ij}^{65}}{K_{ij}^{55}} \quad (3)$$

$R_{ij}$ の統計量を表12に示した。 $R_{ij}$ の度数分布をみると（図2）出勤トリップについては $R_{ij}=1$ を頂点として正規分布に近い形になる。そのほかのトリップにつ

いては多少ばらつきが見られるものの、0.4から1.3の間に多くの値が含まれる。期待値や分散をみても比較的值がまとまっており一部の極端な値を除けば $K_{ij}$ はあまり大きくは変化していない。これより、 $K_{ij}$ を用いて2時点間の分布交通量を予測することに大きな問題はないと思われる。

$R_{ij}$ は平成2年と昭和65年の $K_{ij}$ の比であり $R_{ij}=1$ であれば調整係数が一致していることになり $R_{ij}=1$ のゾーン間は平成2年のOD交通量を予測する際に調整係数として $K_{ij}$ をそのまま用いることができ、かなり精度の高い将来交通量予測が可能である。さらに、調整係数 $K_{ij}$ を何らかの説明変数を用いてモデル化することに成功すれば今までよりも、より正確な将来値が予測できるのみでなく、 $K_{ij}$ のモデルに基本的な重力モデルでは考慮することのできなかつた要因を組み込むことができるようになる。実際に京阪神で行われたPT調査でも昭和55年と平成2年の係数を比べてみると $\alpha$ の値が10分の1に減少しており逆に $K$ の値が増大している。これは、基本的重力モデルでは考慮されていない要因の影響が大きくなっていることを示唆するものであり、それらを表すためにも調整係数を用いた修正重力モデルは有効であろう。

表12  $R_{ij}$ の統計量

|     | 出勤     | 登校     | 自由     | 業務     | 帰宅     |
|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 期待値 | 1.35   | 1.5    | 1.72   | 1.44   | 1.53   |
| 分散  | 1.39   | 1.74   | 3.76   | 1.64   | 1.69   |
| 最大値 | 23.9   | 26.5   | 116    | 24.9   | 26.6   |
| 最小値 | 0.0132 | 0.0386 | 0.0164 | 0.0633 | 0.0117 |

#### 4. おわりに

以下に本研究のまとめを簡単に記す。

- 1) 重力モデルに用いるゾーン間所要時間はセントロイド間のネットワーク所要時間を用いても、実所要時間を用いてもモデルの適合度の差はなかった。また、論文では示さなかったがゾーン間抵抗項の関数型についても鈍感であった。これは、重力モデルにおける抵抗項の頑強性を表していると思われる。
- 2) 修正重力モデルにおける調整係数は重力モデルでは表せないゾーン間の結び付きの強さと所要時間の誤差を含んでいる。本研究ではこれらを分離して分析したが、これら2種類の誤差について、決め手となるような分類法やモデル化法は見つからなかった。
- 3) 昭和55年と平成2年の間で、調整係数はそれほど大きく変化しなかった。むしろ重力モデルの他のパラメータの変化が大きかったので、予測交通量を求める際に単純な重力モデルを用いることには危険があり、修正重力モデルを用いることの意義が認められた。

#### 参考文献

- 1) 土木学会：交通需要予測ハンドブック、技報堂出版、pp.63-87、1981
- 2) Kawakami, S.: A Gravity Model for Trip Distribution, Proc. of 6th International Symposium on Transport and Traffic Theory, pp.327-343, 1974

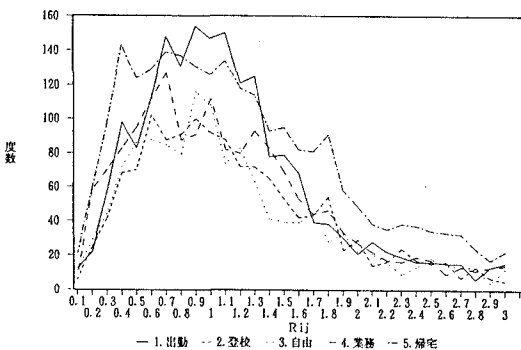
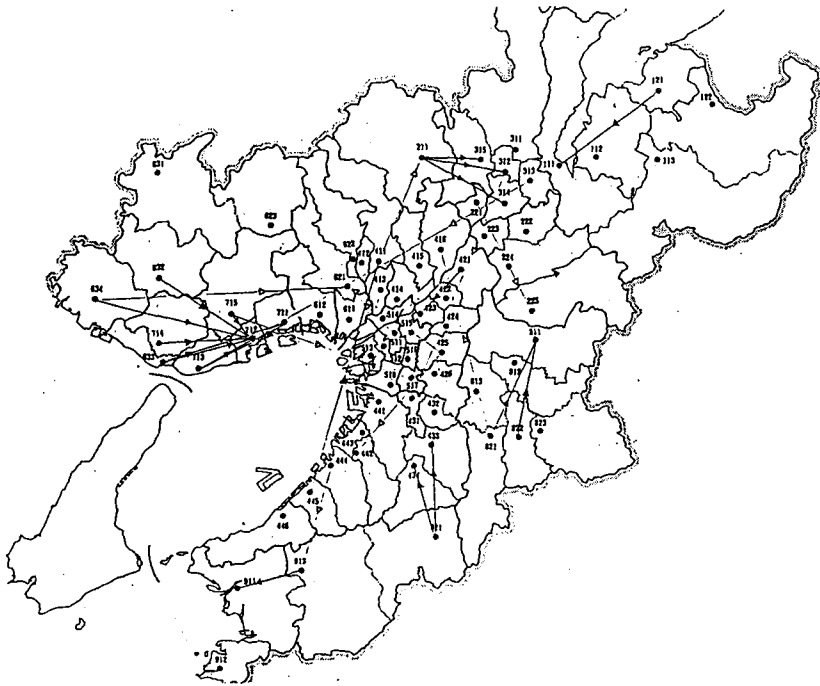
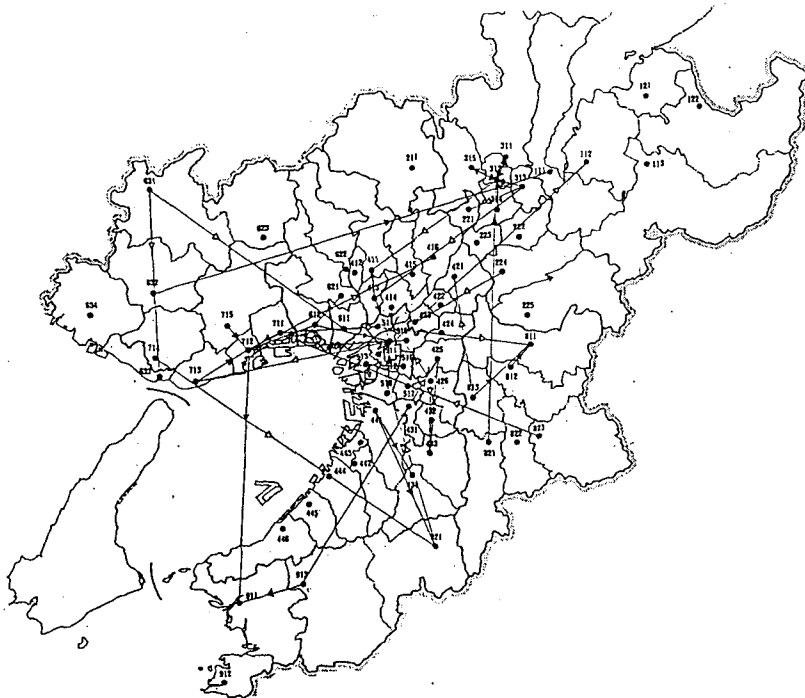


図2  $R_{ij}$ の度数分布



付録図1 出勤トリップにおける $K'_i$ の特異値



付録図2 自由トリップにおける $K'_i$ の特異値