

代替性・補完性を考慮した業務交通と通信パターンの重力モデル
Gravity Models of Business Trips and Telephone Calls
Considering Substitutability and Complementarity

塚井誠人*・奥村 誠*

Makoto TSUKAI and Makoto OKUMURA

In order to exchange knowledge and information for business activities, firms employ face-to-face contacts and telecommunication, considering cost effectiveness of each medium. This paper proposes gravity models of inter-prefectural business trips and telephone calls flow (frequency and cumulative time), considering cross price elasticity between the two media. In order to eliminate the bias due to "map pattern problem", destination competitive effect is extracted from telephone flow pattern. In result, the relation between face-to-face contacts and telecommunications does not show simple complementarity or substitutability, because the cross price elasticities are asymmetric.

Intercity-trips, Telecommunication, Gravity Model, Substitutability
都市間交通、通信、重力モデル、代替性

1. はじめに

(1) 情報交流分析の必要性

1998年3月に発表された新しい全国開発計画にも見られるように、地域間の交流の重要性が高まっている。また、地域の産業活動の中で知識・情報の有効利用を前提とするサービス部門の割合が高まりつつあり、これらの産業を支える交通、通信のネットワークを適切に整備することが求められている。

ある地域に存在する企業が業務活動において知識や情報を他の地域から獲得する手段としては、face-to-face communication(出張交通)と電気通信システムを利用した通信が挙げられる。両者は情報交換の目的や内容に応じて使い分けがなされているが、新しい通信手段やより安価な交通サービスなどによりコストが変化したとき、両者を介して行われる情報交換フローにどのような影響が現れるかを知ることは、今後のネットワーク整備の方向を考える上できわめて重要である。

(2) 本研究の目的と構成

本研究はネットワーク整備計画への適用を念頭に置き、都市間の情報の交流パターンを説明するマクロなモデルを作成する。出張交通と通信によって行われる都市間の情報交換に対し、交通と通信の双方のコスト変数を導入して分析を行い、交差価格弾力性を用いて代替性や補完性を明らかにすることを目的とする。

以下、2.では本研究の基本的な考え方を述べる。3.では都道府県間の業務交通と通信の重力モデルを定式化し、分析に用いるデータの説明を行う。特に都市の質的な集積の程度を表す中枢性の変数を定義し、その計測化

について説明する。4.では重力モデルの推定を行う。5.では結論であり、業務流動における交通の代替性、補完性について考察し、今後の課題について述べる。

2. 本研究の基本的な考え方

(1) 情報交流行動に関する既存の研究

業務活動における知識や情報の交換の際のメディアについては、各メディアの使いやすさや信頼性など、主観的な評価が大きな影響を与えることから、実際の業務の担当者に対するアンケート調査に基づくマイクロモデル化が試みられてきた¹⁾。このようなアプローチは例えば新しいタイプの情報機器の導入による影響を長年に考察するためには有効であると考えられる。

マイクロなアプローチでは通常、業務担当者がある内容の情報を交換するという状況に直面したうえで、その後のメディアの選択行動に着目して分析される²⁾。しかし企業はサービスレベルやコストを考慮して、もしその都市との情報交換が困難であるなら取引先を別の都市に変更したり、情報や知識の内容を変更したり、自らの立地場所を変更することが可能である。つまり、長期的には企業はマイクロ分析で前提となる情報交換の必要性そのものをコントロールすることができる。

以上のような考え方に立てば、実際に都市間で観測される情報フローは、個々の担当者レベルがマイクロなことを考慮して自由に意思決定を行った結果ではなく、むしろ、まず企業がどの都市とどのような業務ネットワ

* 正会員 広島大学工学部第4類(建設系)(Hiroshima Univ.)

を張るかのマクロな意志決定を行い、その結果に制約された中で担当者が情報伝達手段を選択するという、階層的な意思決定の結果であると考えられる。これらの意思決定は時間的なスケールが異なるため、両者を統合したモデルの推定には長期のデータが必要となる。

(2) 本研究の立場

情報交流には、長期的な上位の意思決定として企業による業務ネットワークの構築が存在し、短期的な中位の意思決定として最終的な着地選択が存在すると考えられる。face-to-face communication と通信のメディア選択は、個々の担当者レベルにおいて行われるため、これらに制約されたさらに下位に位置する選択であると考えられる。したがってモデルの構築の際には、上位(2階層)の決定に影響を与える都市の質的な中枢性や業務ネットワーク構造などのマクロな要因を考慮することが望まれる。

上述したような階層的な意思決定過程から生じる空間相互作用を一般の重力モデルで表現すると、上位の決定の結果、中位の選択肢の空間構造が制約されて、距離減衰を表す係数の推定値が歪むという地図パターン問題が生じるとされる⁴⁾。情報交換におけるコスト変数は距離減衰要因に相当するため、単純に重力モデルを推定した場合には、コストの弾力性が偏りを持ち、分析の目的である代替性や補完性を正しく評価できない危険性がある。これに対して Fotheringham は、競合着地モデルにより上位の意思決定の結果を考慮する方法を提案している³⁾。

本研究では、都道府県間の出張交通(以下では簡単に交通と呼ぶことがある)の量と、電話通話回数/通話時間(以下では簡単に通信と呼ぶことがある)を説明するモデルを構築する。具体的にはこれらの2つの交流量に競合着地型の重力モデルを当てはめる。その際、説明要因としては交通や通信のコストに関わる変数に限らず、業務上のネットワークの構造に影響を与えられられる都市の中枢性などのマクロ変数を、積極的に取り入れることとする。

3. 業務交通量と通信量の重力モデル

(1) 重力モデルの定式化

地域間の交通や通信の流動データが整備されるようになってから、地理学分野で重力モデルを代表とする地域間相互作用モデルの当てはめが多く試みられている⁴⁾。地理的距離に加えて時間距離やコストを組み入れたモデルも提案され、ネットワーク整備やサービスレベルの設定問題への応用の可能性も広がっている⁵⁾。これらのモデル化はマクロなデータにアドホックに作成したモデルを当てはめるものであったが、奥村・端山は、企業が生産

という仮定を置き、企業の最適化行動に基づいて都市間業務交通量の重力モデルを誘導し、1990年の都道間の業務トリップに当てはめて良好な結果を得ている。本論文でもこの考え方を踏襲する。

実証分析に用いる交通量あるいは通信のデータは、トリップの向きが区別された4角OD表の形で集計される。しかし、支社の販売状況の情報を本社に集めて判断に用いるといった場合、本社の人間が支社へ出て状況を調査する方法と、支社の人間を本社に呼び寄せて報告させるという方法があり、情報の流れは同じであるのにトリップの向きは逆になる。すなわち情報流れの向きとトリップまたは通話の向きが一致してはならず、交通または通話の向きを区別することの意味がない。したがって、地域*i, j*間の交通量と地域*j*の交通量を足しあわせ、向きの区別をなくした3角表を用いることとする。交流量 I_{ij} は、(1)式として定式化される。

$$I_{ij} = A(N_{max}N_{min})^\alpha d_{ij}^\gamma e^{\eta S_{ij}} t_{ij}^\psi c_{ij}^\phi Z_{max}^{\mu_1} Z_{min}^{\mu_2}$$

ここで、添字 max, min は i, j のうちの従業者数の大方と小さい方を表し、 N_{max}, N_{min} : 従業者数、 Z_{max}, Z_{min} : 地域 i, j の中枢性である。 I_{ij} : 地域 i, j 間の交流量、 d_{ij} : 地域 i, j 間の地理的距離、 S_{ij} : 地域 i, j 間の業務組織上のつながりを表す変数、 t_{ij} : 地域 i, j 間の交通コスト、 c_{ij} : 地域 i, j 間の通信コストである。 $\alpha, \gamma, \eta, \psi, \phi, \mu_1, \mu_2$ および A は未定パラメータである。

(2) 地図パターン問題と競合着地モデル

重力モデルの適用において、ゾーンの隣接関係のよ対象空間の構造の影響により、距離減衰係数の推定値が歪むという問題が存在し、「地図パターン問題」と呼んでいる。Fotheringham は、その原因として、まず大規模な地域を選び、つぎにその中の小地域を選ぶような階層的な可能性を指摘し、競合着地モデルを適用することによって偏りを回避できることを示した³⁾。本研究で取り扱う業務上の交流も、まず大都市圏などの広域的なレベルで取引関係や立地場所の選択を行った上で、具体的な着地先を選択するような階層的な選択であると考えられる。

競合着地モデルはODフローに制約条件がない通信量(2)式のような重力モデル式に対しては、(3)式の形式化される。

$$T_{ij} = A_i O_j d_{ij}^{-\gamma_i}$$

$$T_{ij} = A_i O_j d_{ij}^{-\gamma_i} H_j^\beta$$

ここで H_j は到着地アクセシビリティであり、到着地 j から見たその他全ての目的地に対するアクセシビリティである。 A_i は、発地 i の放出性、 O_j は着地 j の吸収性を表し、通常は人口等が説明変数として用いられる。推定された係数の値が正ならば、到着地が同じく競合する「

効果」、正であれば到着地周辺が集積していることが魅力となる「集積効果」が存在すると判断できる。既往の研究では「競合効果」の方が多く見られるとされている³⁾。

本研究では到着地アクセシビリティを目的地周辺の中枢性を表す変数として定義する。すなわち次の(4)式のように分子は中枢性を用いて定義する。

$$H_j = \sum_{k \neq j} \frac{Z_k}{d_{kj}} \quad (4)$$

3角OD表データを使用していることを考慮し、(1)式の両辺を対数化した上で、説明変数に到着地アクセシビリティの平均値 $(H_i + H_j)/2$ を加えた(5)式の推定を行う。

$$\begin{aligned} \log I_{ij} = & \log A + \alpha(\log N_{max} + \log N_{min}) \\ & + \gamma \log d_{ij} + \eta S_{ij} + \psi \log t_{ij} + \phi \log c_{ij} \\ & + \mu_1 \log Z_{max} + \mu_2 \log Z_{min} \\ & + \beta \log (H_i + H_j)/2 \end{aligned} \quad (5)$$

(3) 実証分析データ

業務旅客交通 OD は、1990年、1995年に国土庁と運輸省が建設省の協力のもとで実施した「幹線旅客純流動調査」のうち、運輸経済研究センターがフロッピーで提供している旅行目的別都道府県間データの業務交通量を用いた。ただし、都道府県内々の交通量と三大都市圏内部の都府県相互の交通量は調査対象から除外されている。一方、通信 OD は、日本電信電話株式会社に「事務用」として登録された加入電話から発信された通話の、都道府県間の通信回数と通信時間（ファックス、パソコン通信も含む）のデータであり、1990年及び1995年のものを用いる。交通データの集計単位に合わせて、以下の分析では沖縄県を除く46都道府県を単位として分析を行う。

交通コストは、都道府県庁所在都市間の鉄道と航空のコストを実際負担率により加重平均したものを考える。また、鉄道、航空の所要時間の加重平均値を交通所要時間として用いる。鉄道は特急利用を基本とし、航空は空港までのアクセスを含めたものである。これらは時刻表をもとに算定したが、作業量の制約から1995年の値のみを作成し、1990年のモデルにおいても同じ値を用いている。1990年のデータ作成は今後の課題とするが、この時期は新幹線や地方空港の新設が一段落した時期であり大きなサービス水準の変化はなかったと考えた。また通信コストは、電話帳より各都道府県の県庁所在地間の昼間時3分間の電話基本料金を調査して用いた。

地理的な距離は都道府県庁所在都市間の直線距離である。また組織上のつながりを表す変数としては、阿部の企業組織の管轄地区分に関する研究成果⁷⁾をもとに、つながりのある地域間を $S_{ij} = 1$ 、つながりのない地域間を $S_{ij} = 0$ と表現した。

(4) 中枢性変数の定義

表-1 中枢性を表現するモデルの推定結果

中枢性の測定パス	90年	95年
弁護士数	1.00 (-)	1.00 (-)
損害保険額	2.08** (3.12)	1.78** (3.22)
証券店舗数	1.63** (2.89)	1.14** (2.63)
県内総生産	1.95** (3.07)	1.80** (3.23)
大規模店舗数	1.49** (2.79)	1.59** (3.10)
GFI	0.846	0.865
AGFI	0.537	0.595
決定係数	0.920	0.885
サンプル数	46	46

() : t値, * : 5%有意, ** : 1%有意

(5)式の右辺に含まれる変数のうち中枢性 Z_j, Z_i は直測することのできない潜在変数である。そこで地域間動力や都市機能の質的な差異を反映していると考えられる観測変数を取り上げ、それらにより観測される潜在変数として中枢性を表すこととする。具体的には、弁護士数 $X1_i$ 、損害保険契約額 $X2_i$ 、証券店舗数 $X3_i$ 、総額 $X4_i$ 、大規模店舗数 $X5_i$ を観測変数として取り上げ、いずれもあらかじめ総従業員数 N_i で除することによる模の効果を取り除き、質の違いを反映するようにする。その上で LISREL モデルに当てはめ、次のような測方程式のパラメータを推定する。

$$\begin{pmatrix} X1_i \\ X2_i \\ X3_i \\ X4_i \\ X5_i \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \lambda_3 \\ \lambda_4 \\ \lambda_5 \end{pmatrix} Z_i + \begin{pmatrix} \delta_{1i} \\ \delta_{2i} \\ \delta_{3i} \\ \delta_{4i} \\ \delta_{5i} \end{pmatrix}$$

ここで、 $\lambda_1, \dots, \lambda_5$ は観測パラメータ、 $\delta_{1i}, \dots, \delta_{5i}$ は観測差である。

ここで誤差が無視できるほど小さいとすると、 Z_i それぞれの観測変数をパラメータ λ_k で割ったものに等しい。このような計算が5つの方法で可能であるから、その純平均値として Z_i を求めることとすれば

$$Z_i = \left(\frac{X1_i}{\lambda_1} + \frac{X2_i}{\lambda_2} + \frac{X3_i}{\lambda_3} + \frac{X4_i}{\lambda_4} + \frac{X5_i}{\lambda_5} \right) / 5$$

と表せる。

まず、1990年、1995年のデータを用いて中枢性を推定する(6)式を SPSS の LISREL7 プロシジャーを用いて推定した。その結果を表-1に示す。これより5つの説明変数はいずれも1%有意であり、2つの年次のモデルに於いて係数に若干の差が見られるものの都市の中枢性を推定できるモデルが作成できたと判断できる。なおこれら5つの観測変数を(5)式に代入して中枢性の値を推定する。

した結果、年次の違いはほとんど見られなかった。

最後にこの中枢性 Z_k と地理的距離 d_{kj} を (4) 式に代入して到着地アクセシビリティ指標を計算した。

4. 重力モデルの推定結果

(1) 各モデル式の推定結果

3. で説明したデータと中枢性、到着地アクセシビリティの値を用いて、業務交通量と通信回数、通信時間に対する (5) 式を通常最小二乗法 (OLS) により推定する。なお、サンプルは沖縄県を除く 46 都道府県相互間の流動のうち、純流動調査で除かれている三大都市圏の内々と道県内々、さらに交通量で 0 を観測した OD ペアを除いた 990 サンプルである。OLS による推定では、地図パターン問題と集計単位となる県の規模の違いによる不等分散の問題が報告されているが、前者については 3 (2) で示した到着地アクセシビリティ指標を用いることにより、後者については (5) 式が対数化されていることで、絶対誤差が交通量の規模に比例するため、回避することができると考えた。

推定を行った結果を表-2 に、対数軸上での再現結果を図-1 に示す。6 つのモデルとも設定した説明変数のほとんどが 1 % 有意である。同時に、説明変数の間の重共線性についてクラインの基準を用いてチェックを行ったが、相関の高いことが予想される変数の組み合わせ (従業員数と中枢性、中枢性と到着アクセス、地理的距離とコストなど) においても、補助回帰モデルの相関係数はモデル自体の重相関係数を下回ったことから、深刻な重共線性は発生していないと考えられる。また、通信回数や通信時間に対して、従業員数当たりのコンピュータの設置台数や開通加入電話数等の通信インフラの整備度の違いが影響を与えることも予想されたが、推定の結果これらの係数は有意とはならなかったためモデルから除外した。

説明変数の t 値を見ると規模を表す従業員数の積の説明力が最も大きい。情報交換の必要性は主体数に比例すると考えれば、係数値はいずれも 1 に近いことが予想されるが、95 年の 3 モデルと 90 年の交通量に対しては、 t 検定の結果、推定値が 1 に対して 1 % の有意水準で異なっており、これらの目的変数に関しては規模の経済性が働いていると考えられる。

次いで影響力が強い変数は、地理的距離であり、係数の絶対値もコスト変数に対するそれより大きい場合が多い。一般に電気通信は地理的な距離の制約を受けないという議論がなされることが多いが、本モデルの推定結果では、通信量に対しても距離抵抗が有意となる結果が得られた。

しては地理的距離に次いで影響が強く、通信流動に対して地図パターンの影響が認められる。係数の符号があることから「競合効果」が存在しており、目的地に中枢性の高い都道府県が存在する場合、目的地に流る交流量が減少することを意味する。

中枢性は、OD ペアのうちその値が高い方のみがとなった。交流は 2 つの地域のうち、中枢性のより地域からの影響を受けて行われていると考えられる。また、中枢性は通信回数 / 通信時間に対しては説明力があるが、交通量への影響は小さい。組織のつながりは、このモデルで正で有意となった。パラメータの絶対値通信よりも交通に対する値が大きく、県間に組織的業務ネットワークが存在すると face-to-face communication による交流が増加することが確認できた。

コストの係数は全てのモデルについて有意となり、コストの直接作用の項 (通信回数 / 通信時間に対するコスト係数など) に関する負の符号条件も満たされる。

(2) コストが与える影響の考察

本分析は 2 つの時点における静的な分析であるが、モデルから得られたコスト弾力性パラメータは、各時点においてコストが瞬間的に変化した場合の、短期的な影響を表わしている。1990 年、1995 年の両方の時点において通信回数 / 通信時間に対する交通コストの係数は負であることから、交通コストの減少は交通量の増加と通信回数 / 通信時間の増加をもたらす。すなわち情報流動そのものが増加すると考えられる。一方、通信コストの係数は交通量に対しては正であるから、通信コストの下落にともない交通から通信への代替が起こることがわかる。このようにコストが交流量に与える影響は双面的であり、従来の研究において多く散見されるような「代替か補充か」といった単純な議論では不十分であることがわかる。

同様に、通信回数と通信時間に対する通信コストの絶対値を比較すると、後者が若干大きい。このことから、通信コストが減少した場合ある程度は通信回数が増加するが、それ以上に一回当たりの通話時間が伸びる可能性があることがわかる。この傾向は、Guldmann アメリカ合衆国で行った分析結果と一致している⁸⁾。これに対し、交通コストの係数の絶対値は通信回数モデルの方が大きい。交通コストの減少により誘発される通信一回当たりの通話時間が若干短いと考えられる。相対価格が低下するため、より多くの部分が交通により代替されることの結果であろう。

(3) その他の分布特性に関する考察

到着地アクセシビリティ指標は、通信回数 / 通信時間に対する

表-2 重力モデルの推定結果

説明変数	90年			95年		
	通信回数 C _{ij}	通信時間 CT _{ij}	交通 T _{ij}	通信回数 C _{ij}	通信時間 CT _{ij}	交通 T _{ij}
通信コスト	-0.212* (2.23)	-0.269** (2.90)	0.621** (4.12)	-0.236* (2.55)	-0.284** (3.30)	0.396** (3.42)
交通コスト	-0.417** (5.18)	-0.379** (4.81)	-0.549** (4.29)	-0.694** (8.69)	-0.617** (8.29)	-0.815** (8.12)
到着地 アクセシビリティ	-1.194** (11.00)	-0.983** (9.26)	-0.045 (0.26)	-1.134** (10.69)	-0.872** (8.82)	-0.067 (0.50)
地理的距離	-1.153** (17.74)	-1.068** (16.79)	-0.472** (4.57)	-0.956** (14.67)	-0.882** (14.51)	-0.207* (2.53)
組織のつながり	0.924** (6.31)	0.844** (5.89)	1.154** (4.96)	0.897** (6.34)	0.793** (6.02)	1.095** (6.16)
中枢性(大)	2.062** (10.84)	1.765** (9.49)	1.460** (4.83)	1.412** (8.37)	1.133** (7.21)	0.212 (1.00)
中枢性(小)	-0.251 (1.23)	-0.463* (2.31)	-0.030 (0.09)	-0.224 (1.31)	-0.476** (2.98)	0.153 (0.71)
従業人口の積	1.010** (36.28)	1.021** (37.48)	1.123** (25.40)	1.108** (43.80)	1.096** (46.47)	1.203** (37.84)
定数項	8.392** (6.65)	6.052** (4.90)	7.312** (3.65)	5.037** (4.44)	2.738** (2.59)	2.693 (1.89)
決定係数	0.892	0.888	0.742	0.903	0.905	0.822
修正済決定係数	0.891	0.887	0.739	0.902	0.904	0.821
サンプル数	990	990	990	990	990	990

() : t値, * : 5%有意, ** : 1%有意

信回数 / 通信時間に対しては有意となったが、交通量に対しては有意とはならなかった。さらに中枢性係数も同様の傾向を示した。これは、通信は中枢性の高い目的地に集中しやすいものの、その他の目的地での代替が比較的容易であるために、目的地周辺の中枢性に影響されることを示していると考察できる。これに比べると交通量のパターンに対する目的地およびその周辺の中枢性の影響は小さい。すなわち、交通は特定の相手を指定されて実施されることがほとんどであり、目的地の近くに同等あるいはそれ以上の機能を持つ到着地があったとしても、その場所に代替されることは困難であることが窺える。

また、到着地アクセシビリティと中枢性の係数の絶対値は、通信時間よりも通信回数の方が大きな値となり、通信回数が競争性を受けて中枢性の高い大都市に集中する傾向を表している。通信時間の集中度はそれほど強くないから、結果として大都市圏では1回当たりの通話時間が短くなる。別に行った単純集計の結果では、政令指定市を含む都道府県に発着する1回あたりの通信時間は、90年 / 95年とも全国平均(90年 : 2.82分 / 回、95年 : 2.69分 / 回)と比較して0.3~0.6分程度短いことが判明しており、上述したモデルの係数の傾向と符合する。

なく、流動構造は安定していると考えられる。細かると、95年の方が中枢性の係数の絶対値は小さくなる傾向が見られた。またこれらの傾向は、通信モデルよりも交通のモデルで顕著であった。

交通量については、ここで取り上げた交通コストで説明できないフリークエンシーや宿泊の利便性などが影響している可能性がある。中枢性はそれらの代理変数になっているが、従業人口も利便性と相関が高く、代理変数として働く可能性がある。90年から95年にかけて、代理変数の役割が中枢性の変数から従業人口に移ったが、このような結果をもたらしたと推察される。

5. おわりに

本研究では、企業が業務活動を行う上で必要な情報交換していることに着目し、都道府県間の業務交通の電話通信回数 / 電話通信時間の重力モデルを構築し

その結果、交流パターンには、都市の中枢性や空間距離といったマクロで固定的な要因の影響が大きいが、コストの影響も有意であることが確認できた。交通と

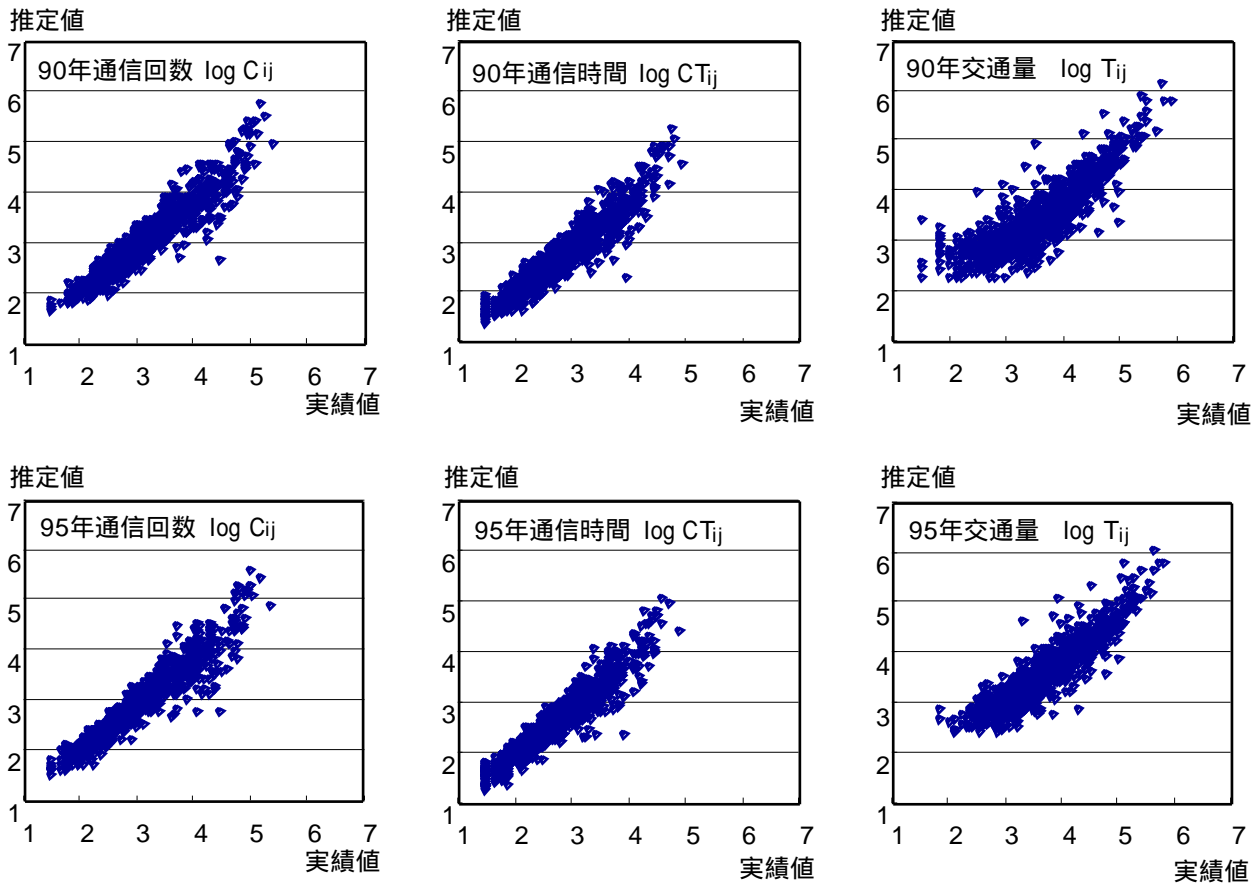


図-1 重力モデルの再現精度

り、両者の関係は単純な補完でも代替でもないことが明らかとなった。

通信の交流には「競合効果」が見られ、地図パターンが問題となることがわかった。これは、通信は事務的で定型的な用件が多いと考えられ、同じ用件を異なった目的地で行うことが比較的容易であることによる。これに対して、交通は特定の相手をあらかじめ指定するような複雑な用件が多く、現在の目的地でしか用件が達成できないため、競合効果は見られなかったと考察できる。このように両者では、目的地間の代替性に違いがあることがわかった。

本研究では、1990年と1995年という2時点のデータを用いたが、静的なモデルを別個に推定して比較するにとどまっている。同一のペアの交通量や分担率の変化に着目した動的な視点からの分析が望まれる。例えばゾーンに固有の異質性パラメータを導入することも興味深い拡張である。今回の分析では交通について、鉄道、道路、航空の実績分担率を考慮してサービス水準変数を重みづけしている。今後は機関分担を下位に持つネスティッド構造モデルに拡張する必要がある。さらに、フリークエンシーや宿泊の利便性などのサービス水準を明示的に考慮していく必要があると考える。

参考文献

- 1) 田北俊昭, 湯沢昭, 須田熙 (1993) 「企業における業務交通と通信との代替性を考慮した情報メディア選択モデルの開発」, 都市計画論文集 28, pp.403-411
- 2) 肥田野登編・郵政省郵政研究所第一経営経済研究部 (1998) 「ホワイトカラーの行動と選択 - コミュニケーション・企業組織・オフィス立地」, 日本評論社
- 3) Fotheringham, A.S. (1986) 「Modeling hierarchical destination choice」, Environment and Planning 18, pp.401-408
- 4) 石川義孝 (1988) 「空間的相互作用モデル - その発展と体系」, 地人書房
- 5) 三友仁志 (1995) 「通話の経済分析 - 外部性とネットワーク」, 日本評論社
- 6) 奥村誠, 端山裕章 (1996) 「企業の生産活動を考慮した都市間業務旅客流動モデル」, 応用地域学 2, pp.169-178
- 7) 阿部和俊 (1992) 「日本の都市体系研究」, 地人書房, pp.132-134
- 8) Guldmann J.M. (1992) 「Modeling residential business telecommunication flows: A regional point-to-point approach」, Geographical Analysis, 24, pp.121-141