

地域間情報交流の構造変化に関する統計的検定*

Statistical Test for Structural Change in terms of Inter-regional Information Flow

塚井 誠人**・奥村 誠***

Makoto TSUKAI**・Makoto OKUMURA***

1. はじめに

わが国では、地域間の基幹交通網として鉄道の整備が進められており、今日では密度の高い鉄道ネットワークが形成されている。しかし近年は、航空需要の急速な成長とIT化が起こっており、これらが鉄道需要にも影響を及ぼしていると考えられる。航空やITが地域間旅客交通に及ぼしてきた影響を把握するためには、ODを考慮した空間的な情報交流分布データに基づく分析が必要である。しかしこれまで、全国を対象に通信・鉄道・航空需要について実証分析を行った例はほとんどみられない。

本研究は、地域間旅客交通需要が、航空の成長やIT革命によって、どのような影響を受けてきたかを実証的に検証し、考察することを目的とする。情報交流の空間的な特性を考慮しながら経年的な変化を明らかにするために、筆者らが提案している地域間情報交流モデルを通信、鉄道、航空の地域間旅客交通データに適用し、主に90年代に起こった地域間旅客交通の変化を明らかにする。

2. 地域間情報交流量分担モデル¹⁾

簡単のため、以下時点を表わす添字 t を省略する。まず、地域間情報交流量 I_{ij} を以下の重力モデルとする。

$$I_{ij} = A \cdot N_i^\alpha \cdot N_j^\beta \cdot LOS_{ij}^\lambda \cdot ccost_{ij}^\omega \cdot AR_{ij}^\theta \quad (1)$$

ここで N_i, N_j : 地域 i, j の従業人口, $rtime_{ij}$:

地域 ij 間の鉄道所要時間, $rcost_{ij}$: 地域 ij 間の鉄道

費用, $atime_{ij}$: 地域 ij 間の航空所要時間, $acost_{ij}$:

地域 ij 間の航空費用, $A, \alpha, \beta, \lambda, \pi, \phi, \psi, \omega$: パラメータ。

通信と交通の違いを、「1回の通信では相手にすぐ伝わるような簡単な情報交流しか行えず、1回の交通では1回の通信では達成できない複雑な情報交流を行うことができる」、と考える。すなわち、1回の交通 (face to face) を通信によって代替する場合、情報交流の複雑さに対応して複数回の通信が必要となる。また、情報交流の複雑さをその交流全体を通信のみで行う時の通信回数 (x : 情報交流の複雑さ) で表わす。

情報交流コスト比を以下のように定義する。ただし、 $tgcost_{ij}$ は所要時間と費用を加味した交通の一般化費用、 $cgcost_{ij}$ は通信の一般化費用である。

$$x_{ij}^0 = \frac{tgcost_{ij}}{cgcost_{ij}} \quad (2)$$

地域 ij 間の情報交流手段は、情報交流の複雑さ x と交通と通信の情報交流コスト比 x_{ij}^0 の比較に基づいて分担される。例えば、情報交流の複雑さ x が x_{ij}^0 未満の内容について情報交流しようとするならば、全体を通信で行った方がコストが低いため、通信が選ばれる。反対に、 x が x_{ij}^0 以上であれば、交通で行った方がコストが低いため、交通が選ばれる。

地域 ij 間で発生する情報交流は、中程度の複雑さが最も多く発生するように分布していると仮定し、釣鐘型の形状を示す、形状パラメータが2のワイブル分布を用いる。

$$f_{ij}(x) = 2 \frac{x}{\rho_{ij}^2} \exp\left(-\left(\frac{x}{\rho_{ij}}\right)^2\right) \quad (3)$$

Key words : 地域間情報交流, 統計的検定, 代替・補完

** 正会員, 博 (工), 立命館大学理工学部講師

(525-8751 草津市野路東1-1-1, TEL&FAX 077-565-5896)

***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)

ρ_{ij} は尺度パラメータであり、分布の最頻値に影響を及ぼす値である。この値は、地域 ij の特性を反映する関数とした。ここで、 v_{ijk} : 説明変数、 θ_k : パラメータ。

$$\rho_{ij} = \exp\left(\sum_k \theta_k v_{ijk}\right) \quad (4)$$

以上の分担メカニズムによって、地域 ij 間で発生する全情報交流量が、交通と通信に配分される。

式 (1) ~ (4) に前述した情報交流手段分担を加味すると、地域間情報交流モデルを定式化できる。観測通信量 C_{ij} と観測交通量 T_{ij} は、以下のように表わされる。

$$C_{ij} = I_{ij} \cdot \int_0^{x_{ij}^0} x \cdot f_{ij}(x) dx \quad (5)$$

$$T_{ij} = I_{ij} \cdot \int_{x_{ij}^0}^{\infty} f_{ij}(x) dx \quad (6)$$

3. 構造変化の検定方法

本節では、前節で定式化した多時点情報交流量分担モデルのパラメータ推定値がどの時点で変化しているかを明らかにするための、統計的な構造変化検定の方法について述べる。

通常、構造変化の検定法としては、1時点あたり1データしか得られない多時点時系列モデルに適用されるChow検定が知られている²⁾。Chow検定は、 T 期間のデータに対して時系列モデルを適用する場合に、前半の u 期間の構造パラメータ Γ^u と後半の v 期間の構造パラメータ Γ^v の違いを、 Γ^u と Γ^v の双方を考慮したモデルと、全体に共通の構造パラメータ Γ^T を仮定したモデルとの誤差分散比がF分布に従うことを利用して、検定を行う。

本研究の多時点情報交流量分担モデルにおいても、各時点の構造パラメータが得られているので、誤差分散比に着目したF検定によって、構造パラメータの経年変化を検定する。

多時点情報交流量分担モデルの構造パラメータが時点 t と $t+k$ の間で変化しておらず、情報交流費用の低下や都道府県間の人口移動などの説明変数の変化によって交通・通信量（以下総称して交流量）が変化しているのであれば、 t 時点の構造パラメータ Γ^t と $t+k$ 時点の説明変数 Z_{t+k} に基づく t

+ k 時点の交流量の予測値 \hat{T}_{t+k} と実測値 T_{t+k} の間の誤差分散 \hat{S}_{t+k}^2 は、 $t+k$ 時点の構造パラメータ Γ^{t+k} と説明変数 Z_{t+k} からの誤差分散 S_{t+k}^2 と同等となる。

しかし時点間で構造パラメータが変化し、それによって交通・通信量が変化しているのであれば、

\hat{S}_{t+k}^2 は S_{t+k}^2 と有意に異なる値をとる。 \hat{S}_{t+k}^2 、 S_{t+k}^2 は、

それぞれ自由度 $N-np$ (N : サンプル数、 np : パラメータ数) の χ^2 分布に従うので、以下の検定統計量は、自由度 $N-np$ 、 $N-np$ のF分布に従う。

$$F = \frac{\hat{S}_{t+k}^2}{S_{t+k}^2} \quad (7)$$

この予測誤差検定の帰無仮説は以下のとおりである。

$$H_0^{t+k} : \hat{S}_{t+k}^2 = S_{t+k}^2, \text{ すなわち, } \Gamma^t = \Gamma^{t+k}$$

帰無仮説が棄却された場合は、 t 年と $t+k$ 年の構造パラメータが有意に異なる、つまり t 年と $t+k$ 年の間で構造変化があったことを意味する。

4. データセットとモデルの推定結果

地域間情報交通量は、対象年次を 89~98 年として、この間の各年次のデータが得られる旅客総流動調査を用いた。なお本来は、旅客の真の出発地と到着地がわかる純流動データを用いるべきであるが、同調査は 5 年に 1 度しか行われなため毎年次のデータが得られる総流動データに基づいて、地域間情報流の構造変化の時点を明らかにすることとした。

なお交通量 T_{ij} は鉄道、航空、自動車の交通量の和とする。

地域間通信量は、新しい事業者 (NCC) の参入によって NTT のシェアは経年的に減少傾向にある。そこで電気事業者協会が提供している NTT と NCC のトラフィックデータを用いることとした。なお、NCC のトラフィックデータは 94 年以降しか得られず、89~93 年は NTT の全県間シェアのみが得られる。そこで 89~93 年は両方のトラフィックデータが存在する 94 年のデータを、各年次の全県間 NCC シェアに応じて調整したデータを用いた。なお、トリップの向きと情報の流れる向きは必ずしも一致し

表1 情報交流量分担モデルの推定結果（‘89年～’98年）

説明変数	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98
サービス水準	0.411 ** (30.44)	0.495 ** (37.35)	0.465 ** (45.84)	0.537 ** (49.56)	0.589 ** (45.91)	0.663 ** (45.38)	0.551 ** (45.89)	0.631 ** (51.55)	0.596 ** (51.88)	0.634 ** (52.61)
通信費用	-0.019 ** (-14.60)	-0.025 ** (-16.22)	-0.030 ** (-16.53)	-0.042 ** (-16.03)	-0.035 ** (-15.76)	-0.037 ** (-16.39)	-0.035 ** (-15.99)	-0.046 ** (-13.56)	-0.078 ** (-14.12)	-0.119 ** (-13.32)
周辺アクセス	-1.194 ** (-14.71)	-1.290 ** (-15.76)	-1.321 ** (-16.80)	-1.378 ** (-17.37)	-1.308 ** (-16.61)	-1.353 ** (-16.92)	-1.344 ** (-17.21)	-1.487 ** (-18.27)	-1.438 ** (-17.88)	-1.436 ** (-17.58)
人口(大)	1.593 ** (48.74)	1.582 ** (48.27)	1.577 ** (49.95)	1.579 ** (49.60)	1.562 ** (49.82)	1.573 ** (49.87)	1.556 ** (50.31)	1.552 ** (48.47)	1.534 ** (48.81)	1.537 ** (48.66)
人口(小)	1.160 ** (26.11)	1.053 ** (23.66)	1.012 ** (23.58)	1.021 ** (23.59)	1.111 ** (26.14)	1.106 ** (25.85)	1.093 ** (26.04)	1.092 ** (24.97)	1.086 ** (25.16)	1.093 ** (25.05)
定数項	-19.896 ** (-28.54)	-16.950 ** (-23.89)	-15.743 ** (-22.70)	-14.968 ** (-20.90)	-17.507 ** (-25.28)	-17.115 ** (-24.28)	-16.639 ** (-23.95)	-15.094 ** (-20.30)	-14.526 ** (-19.35)	-14.078 ** (-17.74)
距離	-0.130 ** (-13.22)	-0.119 ** (-12.25)	-0.095 ** (-10.04)	-0.089 ** (-8.75)	-0.096 ** (-8.80)	-0.102 ** (-10.19)	-0.112 ** (-11.04)	-0.100 ** (-9.73)	-0.115 ** (-10.96)	-0.129 ** (-11.15)
人口(大)	0.037 ** (3.56)	0.031 ** (3.07)	0.029 ** (2.93)	0.045 ** (4.28)	0.039 ** (3.35)	0.055 ** (5.03)	0.062 ** (5.71)	0.069 ** (6.28)	0.064 ** (5.89)	0.059 ** (5.09)
人口(小)	0.067 ** (5.73)	0.072 ** (6.31)	0.065 ** (5.76)	0.048 ** (4.08)	0.061 ** (4.68)	0.047 ** (3.82)	0.043 ** (3.51)	0.035 ** (2.88)	0.052 ** (4.23)	0.066 ** (5.05)
決定係数：交通	0.762	0.776	0.789	0.772	0.737	0.762	0.761	0.766	0.766	0.745
決定係数：通信	0.899	0.896	0.902	0.902	0.906	0.906	0.908	0.899	0.901	0.898

() 内 t 値, **: 1%有意

ないため、以下の推定では向きを考慮しない OD ペア（三角 OD 表，46 都道府県間で内々を除くとサンプル数は 1035）単位のデータを用いる。

都道府県間交通サービス水準は、以下の手順で作成した。まず、90年、95年、98年の鉄道・航空・自動車の都道府県分担率データと、各交通機関の所要時間、費用の情報を用いて集計ロジットモデルを推計した。次に推計された所要時間と費用の重みパラメータに基づいて3交通機関のサービス水準の合成変数 LOS_{ij} を、以下の式（8）に基づいて計算した。なお直通便の就航していない都道府県間の航空データは、運行便のある都道府県まで鉄道を利用してアクセスする場合の中で、所要時間が最短となる経路の費用と時間を、航空費用、航空時間とした。

$$LOS_{ij} = \sum_m \exp(\beta_c \text{cost}_{ij}^m + \beta_t \text{time}_{ij}^m) \quad (8)$$

通信費用は、電気事業者協会年報に記載されている距離帯別料金設定の経年変化を基に、各年次のデータベースを作成した。情報交流の複雑さの指標であるパラメータ ρ_{ij} の説明変数には、地域間の距離 d_{ij} と両都市の従業人口規模を用いた。周辺アクセス AR_{ij} は、発地と着地周りのアクセシビリティの平均として、以下の式（9）に基づいて算出した。

$$AR_{ij} = \frac{1}{2} \left(\sum_{i \neq k} \frac{P_k}{d_{ik}} + \sum_{j \neq k} \frac{P_k}{d_{jk}} \right) \quad (9)$$

情報交流量分担モデルの推定結果を表1に示す。モデルの決定係数は、交通量に対して 0.75 程度、通信量に対して 0.90 程度と、高い値を示している。設定したパラメータは全て 1%有意であり、交通サ

ービス水準と通信費用の符号にも論理矛盾は見られない。これらのパラメータの絶対値は経年的に大きくなっていることから、交通や通信のサービス水準の重要性は増していると思われる。周辺アクセスパラメータは負の値を示しており、その有意水準は高くなる傾向が見られる。負の周辺アクセスパラメータは、発地/着地周辺と競合効果が存在する（発地/着地の近くに規模の大きな都道府県があると、自都市の交流量は少ない傾向にある）ことを示している。人口のパラメータは比較的安定しており、大きな変化は見られなかった。情報交流の複雑性に関して設定した3パラメータは、経年的に非単調な変化を示した。以上の結果を総合すると、この期間で都道府県間情報交流に関して構造変化が起こっている可能性が示唆される。

5. 構造変化の検定結果

本節では、 H_0^{-1} ：前年に対する構造変化の有無、 H_0^0 ：90年に対する構造変化の有無、の2種類の帰無仮説を、交通量と通信量に対してそれぞれ式（7）を適用して検定を行った。結果を表2に示す。

前年に対する構造変化が見られた（帰無仮説が棄却された）のは、交通量では90年、通信量では90年、92年、95年であった。90年に対する構造変化が見られたのは、交通量では94年、96～98年、通信量では92年～94年、96～98年であった。交通量と通信量の構造変化を比較すると、交通量では対前年比の変化が少ないのに対して、通信量では頻りに前年からの変化が検出されている。

表2 構造変化の検定結果

	交通量		通信量	
	H_0^{t-1}	H_0^{90}	H_0^{t-1}	H_0^{90}
90年	1.105	*	1.219	**
91年	1.002	←	1.024	←
92年	1.074	1.063	1.133	**
93年	1.003	1.061	1.033	1.116
94年	1.056	1.114	**	1.033
95年	1.037	1.061	1.225	***
96年	1.054	1.102	*	1.075
97年	1.001	1.097	*	1.246
98年	1.037	1.094	*	1.258
				1.345

注：F(1026, 1026, 0.01)=1.156, F(1026, 1026, 0.05)=1.108,
F(1026, 1026, 0.10)=1.083,
数値はF値, ***: 1%有意, **: 5%有意, *: 10%有意

一方、対90年比の変化は、通信量では92年以降、95年を除いて継続しているのに対して、交通量では同じく95年を除いて、94年から継続しているなど、こちらも通信量の変化が交通量の変化に先んじて起こる傾向が見受けられる。

この期間の社会経済状況とこれらの変化を対照すると、92年はバブル経済の崩壊、95年は阪神淡路大震災、96年以降はITミニバブルと呼ばれる景気の漸回復期に、それぞれ相当する。なお、95年の阪神淡路大震災時には、国内交通が長期にわたって混乱したにも関わらず、鉄道・航空・自動車を加えた地域間交通に関して、対前年比での構造変化が検出されていない。

以上の変化をまとめると、IT革命の始まりとされる90年代の地域間交通量・通信量の構造変化は、決して急激に進むことは無かったものの、緩やかに進行してきたと思われる。社会経済状況の急激な変化は、外生的なショックとして一時的に構造変化に影響を及ぼすような役割をしていた。例えば95年の震災は、一時的に構造変化を弱めるような影響を与えている。その影響を除くと、通信では92～93年頃に構造変化が始まり、遅くとも96年頃には交通量の構造変化が始まったと見られる。

6. まとめと今後の課題

本研究では90年代の日本で起こった地域間情報交流量のマクロな変化に関して、構造変化の検定を行った。その結果IT革命という言葉に象徴されるように、通信量の構造変化は急激に進んだことが確認されたものの、それが地域間交通量の代替に即座に繋がる変化となって現れた可能性は、低いこと

が明らかとなった。すなわち、90年代前半に起こった地域間交通の変化は、主に国内の交通ネットワークの改善に伴うサービス水準の向上によるものと思われる。しかし90年代後半に入ると、交通量も長期的な構造変化が検出されるようになる。この期間の通信量の構造変化は急激ではないものの、着実に継続していることを踏まえると、IT化の影響が交通の代替や、流量分布の変化（交流相手先の変更）となって現れている可能性が高い。

言うまでもないが、IT化が流量分布の変化を引き起こしているという理解は短絡的であろう。正確には、バブル経済の崩壊に伴って産業構造の再編に迫られた経済主体にとっては、情報交流の要素技術がIT化したことによって選択できる活動の幅が広がり、その結果が情報流量分布の変化に繋がった筈である。したがって、以上の分析で示唆された構造変化については、その原因となっている企業や従業者／個人等の社会経済活動の変化について、各種集計統計データに基づく観察や、経済主体の立場からのマイクロベースの観察を積み上げる必要がある。

例えば企業ベースでは、インターネットを活用した商流のほか、空間的な近接立地の必要性がどの程度低下しているか等の分析が必要である。また、従業者／個人ベースでは、従来の通信による交通の代替に関する研究に加えて、長期的に継続した関係を取り結ぶに当たっての通信の活用の仕方に関する研究や、交通サービス水準の向上に伴う目的別地域間交通の発生原単位の変化など、従来から行われている旅客交通に関する研究の継続が必要である。

参考文献

- 1) 塚井誠人, 奥村誠: 情報交流の複雑性を考慮した情報流量分担モデル, 土木学会論文集, No.667(IV-50), pp.113~121, 2001.
- 2) Chow, G. C. : Test of Equality Between Subsets of Coefficients in Two Linear Regression Models, *Econometrica*, pp, 591-605, 1961.