

都道府県間情報交流における構造変化の統計的検証*

Statistical Test on Structural Change in Inter-Prefectural Information Flow*

塚井 誠人[†]・奥村 誠[‡]

By Makoto TSUKAI[†] and Makoto OKUMURA[‡]

1. はじめに

都道府県間の情報交流は、鉄道・航空・自動車を含む旅客交通と多様な通信手段によって行われている。交通ネットワークの整備やIT化によってもたらされる情報交流コストの低下、情報伝達能力の向上は、短期では空間的な情報交流分布に影響を及ぼさず、各都道府県間において量的な誘発効果をもたらすに留まる。しかし、中～長期では情報伝達能力の向上効果が現れ、以前は交流が行われていなかったような遠隔地との間でも情報交流が起こるようになり、情報交流分布が変容する可能性がある。

都道府県間旅客交通量や通信量の分布に関して、IT化と旅客交通量、交通ネットワークの充実と通信量に着目した分析は、これまでのところ筆者らや今川によって数例行われているに過ぎない¹⁾²⁾。しかし従来の分析では、どの時点から情報交流が構造変化したのかについては、明らかにはなっていない。

本研究は、交通機関分担モデルと筆者らの提案した情報交流量分担モデルを用いて、情報交流コストの変化と、情報交流分布を決定する構造パラメータの変化の影響を統計的検定に基づいて分析することで、90年代に起こった都道府県間の交通・通信需要の構造変化を実証分析することを目的とする。

2. モデル推定による検定の手順

交通機関分担モデル・情報交流量分担モデルは各年次に対して繰り返して適用し、構造パラメータを推定する。簡単のため、以下時点を表す添字 t を省略する。

(1) 交通機関分担モデル

本モデルは、都道府県間旅客総流動調査への適用を前提としている。このデータは、旅客が購入した切符や高速道路通行券データを集計しているため、切符や通行券をトリップの途中で変更する「乗り継ぎ」が必要な都道府県間では観測交通量が0となる場合がある。

交通機関分担は、各都道府県間の交通機関分担率を目的変数とする集計ロジットモデルを用いてモデル化する。観測交通量が0になっている交通機関は、その都道府県間の交通機関選択肢に含まれていないと仮定すると、ODごとに選択肢数が異なるモデルを用いる必要がある。最大で3項選択の場合の集計ロジットモデルの対数尤度関数 \mathcal{L} を、以下のように定式化する。

$$\mathcal{L} = \sum_{ij} \sum_k p_{ij}^k \log P_{ij}^k \quad (1)$$

$$p_{ij}^k = \frac{T_{ij}^k}{\sum_k T_{ij}^k} \quad (2)$$

$$P_{ij}^k = \frac{\delta_{ij}^k \exp(V_{ij}^k)}{\sum_k \delta_{ij}^k \exp(V_{ij}^k)} \quad (3)$$

$$V_{ij}^k = \beta_c C_{ij}^k + \beta_h H_{ij}^k + const_k \quad (4)$$

ここで $p_{ij}^k, T_{ij}^k, P_{ij}^k, V_{ij}^k$ はそれぞれ、都道府県 ij 間における交通機関 k の分担率、交通量、モデル分担率、機関効用を表わし、 δ_{ij}^k は、 $T_{ij}^k > 0$ のとき 1、 $T_{ij}^k = 0$ のとき 0 をとるダミー変数である。 V_{ij}^k は、交通コスト C_{ij}^k 、所要時間 H_{ij}^k の関数である。式(1)の最大化により、パラメータ $\beta_c, \beta_h, const_k$ を推定する。

パラメータの推定値から、都道府県ごとの交通機関全体を含むサービス水準指標 $LOS_{ij} = \sum_k \delta_{ij}^k \exp(V_{ij}^k)$ 、およびトリップの時間価値 $TV = \beta_h / \beta_c$ を得る。

(2) 情報交流量分担モデル

詳細は既往研究¹⁾に譲り、検定対象とする構造パラメータと、交通機関分担モデルからの入力との関係を示す。都道府県 ij 間の通信と交通を合わせた情報交流量

*Key words: 地域計画, 分布交通, 交通手段選択

[†]正会員, 修(工), 広島大学大学院工学研究科
(〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1, TEL&FAX 0824-24-7849,
e-mail: mtukai@hiroshima-u.ac.jp)

[‡]正会員, 博(工), 広島大学大学院工学研究科
(〒739-8527 東広島市鏡山 1-4-1, TEL&FAX 0824-24-7827,
e-mail: mokmur@hiroshima-u.ac.jp)

I_{ij} を、交通機関分担モデルから求まるサービス水準指標 LOS_{ij} を用いて定式化する。

$$I_{ij} = AP_i^\alpha P_j^\gamma LOS_{ij}^\phi ccost_{ij}^\psi AR_{ij}^\varphi \quad (5)$$

ここで、 P_i, P_j は都道府県 i, j の人口、 $ccost_{ij}$ は単位時間あたりの通信費用、 $AR_{ij} = \sum_{i \neq k} P_k/T_{ik}^r + \sum_{j \neq k} P_k/T_{jk}^r$ は他地域への鉄道アクセシビリティ、 $A, \alpha, \gamma, \phi, \psi, \varphi$ はパラメータである。

情報交流のコスト比 X_{ij}^0 を、交通機関分担を考慮したトリップ1回あたりの一般化費用と、通話時間を考慮した通話1回あたりの一般化費用の比として、交通機関分担モデルから求まるトリップの時間価値 TV を用いて以下のように定義する。

$$X_{ij}^0 = \frac{\sum_k P_{ij}^k (C_{ij}^k + TV \times H_{ij}^k)}{ccost_{ij} \times \overline{CT}_{ij}} \quad (6)$$

ここで、 \overline{CT}_{ij} は都道府県 ij の平均通話時間である。

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回の通信では伝達できないような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、伝達難易度に応じた複数回の通信が必要であると仮定する。

実際には都道府県全体の情報交流量 I_{ij} は、様々な伝達難易度を持つ情報を含んでいる。各々の情報の伝達難易度 x_{ij} を、その情報全体を通信のみで伝達するときの通信回数と定義しよう。情報 x_{ij} を伝達するときのコストを考えると、 $x_{ij} \leq X_{ij}^0$ であれば通信によって交流を行うほうが、 $x_{ij} > X_{ij}^0$ であれば交通によって交流を行うほうがコストが小さくなる。

$$f_{ij}(x) = \frac{2x}{\rho_{ij}^2} \exp\left(-\left(\frac{x}{\rho_{ij}}\right)^2\right) \quad (7)$$

$$\rho_{ij} = \exp(\mu_1 d_{ij} + \mu_2 P_i + \mu_3 P_j) \quad (8)$$

伝達難易度 x_{ij} は、式(7)によって表される形状パラメータ2のワイブル分布に従う。尺度パラメータ ρ_{ij} は、 x_{ij} の分布形状を左右し、情報交流の分担に影響する。 ρ_{ij} は、都道府県の実性を反映すると考えられるため、式(8)に示すように、OD間距離 d_{ij} 、人口 P_i, P_j の関数とした。以上に基づいて観測される交通量と通信量を次のように定式化することができる。

$$TR_{ij} = I_{ij} \int_{X_{ij}^0}^{\infty} f_{ij}(x) dx + \epsilon_{ijt} \quad (9)$$

$$TC_{ij} = I_{ij} \int_0^{X_{ij}^0} x f_{ij}(x) dx + \epsilon_{ijc} \quad (10)$$

ここで、 $TR_{ij} = \sum_k TR_{ij}^k$ は機関別交通量の和、 TC_{ij} は通信量、 $\epsilon_{ijt}, \epsilon_{ijc}$ は交通量、通信量の観測誤差である。式(9) (10)を同時推定することにより、情報交流量パラメータ $\alpha, \gamma, \phi, \psi, \varphi$ 、および情報交流分担パラメータ $\mu_1-\mu_3$ の推定値を得る。

(3) 構造変化の検定方法

構造変化の検定法としては、1時点1データの時系列モデルに適用されるChow検定³⁾が知られているが、本研究ではクロスセクションデータから各時点ごとに精度の高いパラメータ推定値が得られるため、予測誤差を用いた検定を行うことができる。

情報交流量分担モデルの構造パラメータが時点 $t-1$ と t の間で変化しておらず、情報交流コスト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・通信量が変化しているのであれば、 $t-1$ 時点の構造パラメータ Γ_{t-1} と t 時点の説明変数 Z_t に基づく t 時点の交通・通信量の誤差分散 S_{t-1}^2 は、 t 時点の構造パラメータ Γ_t と説明変数 Z_t に基づく誤差分散 S_t^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、 S_{t-1}^2 は S^2 と有意に異なる値をとる。 S_{t-1}^2, S_t^2 は、それぞれ自由度 $N-k$ (N : サンプル数, k : パラメータ数) の χ^2 分布に従うので、検定統計量 $\mathcal{F} = S_{t-1}^2/S_t^2$ は、自由度 $N-k, N-k$ の F 分布に従う。

さらに、1年間では検出することのできない緩やかな構造変化を捉えるため、90年の構造パラメータ Γ_{90} に対する92年以降の構造パラメータ $\Gamma_{t \geq 92}$ の変化についても検定を行う。90年の構造パラメータ Γ_{90} と $t \geq 92$ の説明変数 Z_t で求めた交通・通信量の誤差分散を S_{90}^2 と表す。これらの帰無仮説を以下にまとめる。

$$H_0^{-1} : S_{t-1}^2 = S_t^2, \Gamma_t \text{ は前年から変化していない}$$

$$H_0^{90} : S_{90}^2 = S_t^2, \Gamma_t \text{ は90年から変化していない}$$

3. 推定結果および検定結果と考察

(1) データセット

分析は都道府県単位の集計データを対象として、89~98年の毎年次のデータを用いる。交通量は、毎年次

表 - 1 交通機関分担モデルの推定結果

	89年	90年	91年	92年	93年	94年	95年	96年	97年	98年
費用	-0.149 **	-0.109 **	-0.141 **	-0.116 **	-0.104 **	-0.069 **	-0.105 **	-0.084 **	-0.088 **	-0.068 *
	-(6.35)	-(4.28)	-(4.12)	-(5.00)	-(4.27)	-(3.05)	-(5.24)	-(3.71)	-(3.23)	-(2.45)
時間	-0.301 **	-0.344 **	-0.381 **	-0.381 **	-0.322 **	-0.366 **	-0.406 **	-0.437 **	-0.471 **	-0.497 **
	-(5.46)	-(6.47)	-(6.59)	-(7.21)	-(7.08)	-(7.10)	-(7.61)	-(8.63)	-(8.61)	-(8.77)
航空定数	-2.191 **	-2.546 **	-2.411 **	-2.364 **	-2.113 **	-2.272 **	-2.053 **	-2.083 **	-2.005 **	-2.094 **
	-(5.96)	-(7.14)	-(6.35)	-(6.60)	-(6.32)	-(6.61)	-(6.35)	-(6.42)	-(5.99)	-(6.25)
自動車定数	0.809 **	0.876 **	0.898 **	0.903 **	0.782 **	0.748 **	0.843 **	0.881 **	0.990 **	1.045 **
	(4.22)	(4.58)	(4.53)	(4.92)	(4.39)	(4.32)	(4.66)	(5.11)	(5.47)	(5.48)
尤度比	0.281	0.274	0.292	0.271	0.239	0.223	0.243	0.225	0.223	0.213
サンプル数	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035	1035
時間価値 (千円/時)	2.014	3.163	2.694	3.294	3.109	5.323	3.884	5.189	5.383	7.280

() 内 t 値, **: 1%有意, *: 5%有意

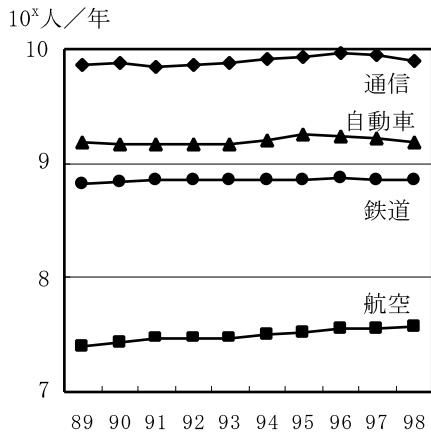


図 - 1 総交通量・通信量の経年変化

の統計が得られる旅客総流動調査(運輸政策研究機構)から、鉄道、航空、自動車トラフィックを集計した値を用いる。通信量はNTTの通信トラフィックデータにNTT以外の通信事業者分を上乗せし、再集計した値を用いる。鉄道、航空、自動車の費用と時間は、国土交通省が公開しているトラネットデータから県庁所在地間の値を、通信費用は電気通信事業者年報に記載されているNTTの年次別距離帯別通話料金に基づいて求めた県庁所在地間の値を、人口は国勢調査に基づいて途中の年次を内挿した値を用いる。

都道府県間交通量・通信量の総和の、89~98年の間の変化を図-1に示す(縦軸は対数)。通信は98年、自動車は95年をピークに減少傾向にある。鉄道は、94年に阪神・淡路大震災の影響(95年1月、集計は年度単位)を受けてやや減少するものの、全体としては微増の傾向にある。航空は、全期間を通じて伸びている。

(2) モデルの推定結果

表-1に、交通機関分担モデルの推定結果を示す。各年次の尤度比は高く、有意なパラメータが得られてい

る。経年的に見ると、費用のパラメータはより小さく、時間のパラメータはより大きくなる傾向がある。94年と95年で時間価値が乱高下しているのは、阪神・淡路大震災による影響と考えられる。時間と費用のパラメータ比として求まる時間価値は、89年では約2000円/時間程度であったが、98年では約7000円/時間にまで上昇している。時間価値の上昇傾向は、費用が高く、時間の短い航空利用が拡大する傾向にあったためと考えられるが、割引を考慮していない正規運賃データを用いた影響が現れている可能性は否定できない。

表-2に、情報流量分担モデルの推定結果を示す。自由度調整済決定係数は全年次とも交通量について0.75程度、通信量について0.90程度と十分高く、有意なパラメータが得られている。情報流量パラメータのうち、推定値が経年的に変化しているのは交通機関分担モデルから求めたLOS指標、通信費用のパラメータ、鉄道アクセシビリティ AR_{ij} であり、絶対値が拡大している。 AR_{ij} が負であることは、大都市に隣接した都道府県など、人口が多く鉄道でアクセスしやすい都道府県に近接していると情報流量が減少するような地理的な競合効果があることを表している。

情報流量分担パラメータは経年変化しているものの、その方向は単調ではない。89年と98年を比較すると、距離、人口(小)の値はほぼ同等であり、情報交流の分担傾向が変化しているか判断することは難しい。

表-3に、 H_0^{-1} と H_0^0 に対する検定結果を示す。前年からの構造パラメータの変化が検出された(H_0^{-1} を棄却)のは、交通量では89~90年、通信量では89~90年、91~92年、94~95年であった。交通と通信が共に構造変化したのは90年のみで、その後は通信の構造変化のみ検出されている。90年からの構造パラメータの変化が検出された(H_0^0 を棄却)のは、交通では94年、

表 - 2 情報交流量分担モデルの推定結果

	89年	90年	91年	92年	93年	94年	95年	96年	97年	98年
OS指標値	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)
失道アクセス	-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)
宅数	-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)
交通A. Rsq.	0.762	0.776	0.789	0.772	0.737	0.762	0.761	0.766	0.766	0.745
通信A. Rsq.	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

表 - 3 構造変化の検定結果

	交通量モデル		通信量モデル	
	H_0^{t-1}	H_0^{90}	H_0^{t-1}	H_0^{90}
	対前年	対90年	対前年	対90年
90年	*	-	**	-
	(1.105)		(1.219)	
91年		-		-
	(1.002)		(1.024)	
92年			**	**
	(1.074)	(1.063)	(1.133)	(1.116)
93年				***
	(1.003)	(1.061)	(1.033)	(1.157)
94年		**		***
	(1.056)	(1.114)	(1.061)	(1.359)
95年			***	
	(1.037)	(1.061)	(1.225)	(1.075)
96年		*		***
	(1.054)	(1.102)	(1.082)	(1.246)
97年		*		***
	(1.001)	(1.097)	(1.036)	(1.258)
98年		*		***
	(1.037)	(1.094)	(1.050)	(1.345)

() 内は F 値

***: 1%有意, $F(1026, 1026; 0.01) = 1.156$

**: 5%有意, $F(1026, 1026; 0.05) = 1.108$

*: 10%有意, $F(1026, 1026; 0.10) = 1.083$

通信では92-94年, 96-98年であった。

これらの検定結果より, 89~90年にかけて交通量, 通信量ともに構造変化が検出されるような情報交流の変容が起こったこと, 交通の構造変化は通信よりも緩やかではあるものの, 90年から4~6年が経過すると交通にも構造変化が起こっていること, 通信の構造変化は90年代半ばまで数回検出されるほど急速に進んだものの, 96年以降は大きな構造変化が起こっていないことが明らかとなった。

94~95年にかけての阪神・淡路大震災の影響は, H_0^{90}

の検定で94年に検出されていた構造変化を遅らせる効果を生んだものの, 96年以降, 再び90年に対する構造変化が検出されているため, 国内の情報交流全体に長期的な影響を及ぼす効果はなかったと思われる。

4. おわりに

本研究は, 国内の都道府県間情報交流の構造変化について, 統計的な検定を行った。その結果, 90年に交通量・通信量ともに構造変化が検出され, 情報交流が変容したことが確認された。その後は, 通信が90年代前半で数回の構造変化を検出したものの, 90年代後半の構造変化のスピードは弱まっていることが明らかとなった。交通の構造変化は, 通信よりも緩やかで, 5年程度の期間が経過すると検出される。

今後は, 割引航空運賃を考慮するなどデータの信頼性を高め, より精度の高い分析を行う必要がある。さらに2000年前後の構造変化についても, データ期間を延長して検証する必要がある。

謝辞: 本研究にあたり, 平成13年度東日本鉄道文化財団の助成を得た。記して, 謝意を表す。

参考文献

- 1) 塚井誠人, 奥村誠人: 情報伝達の複雑性を考慮した通信と交通の情報交流量分担モデル, 土木学会論文集, No.667/IV-50, pp.113-121, 2001
- 2) 今川拓郎: 通信と交通は代替的か? - [ITと都市]へのインプリケーション, 郵政研究所月報, pp55-69, 2001
- 3) Chow, G., C.: Test of Equality Between Subsets of Coefficients in Two Linear Regression Models, *Econometrica*, pp591-605, 1960