

阪神高速道路公団 正員 近藤豊太郎

阪神高速道路公団 正員 浜口 義之

○ (社)システム科学研究所 正員 竹内 新一

1. はじめに

都市圏を対象とした地域構造の分析については、国勢調査やパーソントリップ調査、物資流動調査等の大規模調査が実施され、これらの基礎的データが整備されてくるに従い比較的容易なものとなり地域計画や道路計画の分野においてもこれらのデータが有効に活用されつつある。人や物、車の移動実態を把握するこれらの大規模調査の一つに全国交通情勢調査があるが、自動車OD表はこの調査をもとに作成されており、経年的なOD表を得ることも可能である。近年のモータリゼーションの急激な進歩は、地域構造の変化にも大きな役割を果たしていると考えられるが、自動車OD表にはこのような変化が反映されていると見ることができる。本調査では自動車OD表を地域構造分析の観点から活用する一つの方法としてOD表のエントロピー指標を用いて地域の一体化の程度を計量化する方法を提案し、多核心構造を持つ京阪神都市圏における適用を通じて具体的に検討するものである。

2. 京阪神都市圏の地域構造

京阪神都市圏は経済圏としてみれば大阪市を中心とした1核型の構造を持っていると考えられるが、通勤通学圏や自動車OD圏のいわゆる一日生活圏の分析を行うと大阪、京都、神戸を中心とした多核型の都市圏構造を有していることがわかる。これは東京を中心とした1核型の構造を持つ首都圏と大きく異なる点であり、一例として昭和55年国勢調査における10%通勤・通学圏を首都圏、中京圏、京阪神圏についてみると、図-1～図-3のようである。図でも明かなように京阪神都市圏では大阪、京都、神戸の通勤圏が互いに接して独立した圏域を構成しており、中京圏においても岐阜、名古屋の2核圏域が構成されている。一方首都圏では横浜圏、千葉圏の圏域がみられるもののそれらが同時に東京圏にオーバーラップする構造となっており、他と異なった様相を呈している。しかしながら京阪神都市圏では3核都市が全く独立した地域構造を有しているわけではなく、経済・業務中心としての大阪、文化・芸術・観光中心としての京都、貿易・運輸中心としての神戸と各々機能の分担を図りつつ、都市圏としての一体性を有する構造を持っている。以下では自動車OD表を用いてこうした一体化が経年的に進行してきているのか、あるいは独立性を強めているのかを分析することとする。

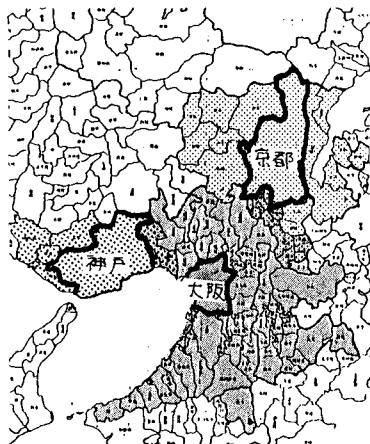


図-1 京阪神圏の10%通勤通学圏

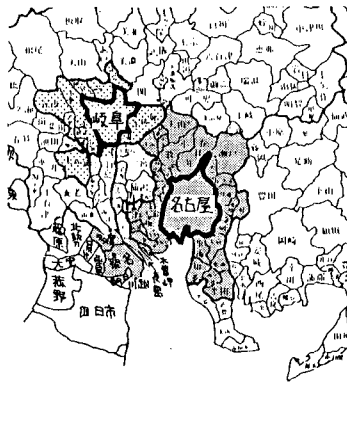


図-2 中京圏の10%通勤通学圏

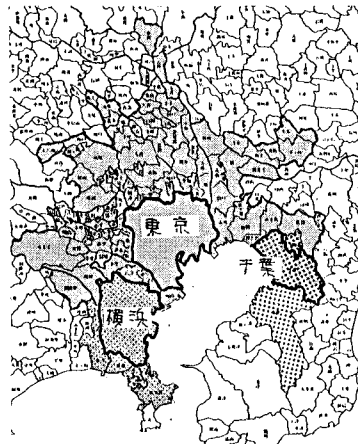


図-3 首都圏の10%通勤通学圏

3. エントロピー指標による地域構造分析の方法

(1) 分析の方針

自動車OD表はそのものが地域間の交流の程度、結び付きの強さを示すデータであるが、これのエントロピー値はそうした結び付きの強さを示す指標となる。たとえばすべてゾーン内々交通量のみから成るOD表であればエントロピー値は最小であり、逆にすべてのゾーンと等しく交流のある均質化したOD表であればエントロピー値は大きくなる。

このことから自動車OD表の経年的なエントロピー値の動きを調べることによって地域の一体化が進んでいるのか、分散化の方向にあるのかの分析が可能であるが、エントロピー値の増加は必ずしも構造的な一体化を意味するものではない。そこでエントロピー値を発生集中分布のもつエントロピーとODパターンのもつエントロピーに分解して両者の変動を分析する方法が考えられる。

(2) エントロピー指標の考え方

OD表のもつエントロピー値の定義は、次のようである。

D \ O	j	計
i	x _{ij}	U _i
計	V _j	T

エントロピー

$$H = - \sum_i \sum_j P_{ij} \log_2 P_{ij}$$

ただし

$$P_{ij} = x_{ij} / T$$

$$\sum_i \sum_j P_{ij} = 1$$

さて、対象地域が一体的になっている場合のOD表の状態をエントロピーHが最大になる場合と定義すると、このようなOD分布P_{ij}を求める数学的な定式化は次のようになる。

$$\text{Max } H = - \sum_i \sum_j P_{ij} \log_2 P_{ij} \quad (1)$$

$$\text{ただし} \quad \sum_i P_{ij} = v_j \quad (2)$$

$$\sum_j P_{ij} = u_i \quad (3)$$

$$\text{ここで} \quad v_j = V_j / T \quad u_i = U_i / T \quad (4)$$

この定式化は、OD表推計の一手法として佐佐木が提案したエントロピー法に類似したものである。エントロピー法のうち重力モデル的エントロピー法と呼ばれるものはOD分布の先験確率P'_{ij}を

$$P'_{ij} = \frac{\alpha u_i v_j}{t_{ij}^r} \quad (t_{ij} \text{ はゾーン } i, j \text{ 間の距離}) \quad (5)$$

という重力モデルを仮定した場合に(2)および(3)の条件のもとで確率的に最も起こりやすいODパターンを求めようとするものであるが、(5)式においてr=0とした場合、すなわちOD間の分布交通量に対して距離抵抗が全く作用しない場合には、エントロピー法の定式化は上記(1)～(3)の定式化と一致し、その解は、

$$P_{ij} = u_i \cdot v_j \quad (6)$$

として求められる。

OD交通量x_{ij}は

$$\begin{aligned} x_{ij} &= P_{ij} \cdot T \\ &= u_i v_j T \end{aligned} \quad (7)$$

となる。この方法は狭い地域のOD表を予測する時によく用いられる簡便法と呼ばれるものである。

以上のように一体的な状態を示すODパターンを簡便法により求め、このODパターンのもつエントロピー値を基準として現実のODパターンの一体性を評価する方法が考えられる。

(3) エントロピー指標による一体性分析の方法

経年的なOD表のもつエントロピー値の動きは、もし圏域が一体化していれば増加していくはずであり、最も高いエントロピー値を示すOD表は

- 発生集中分布がまったく均一で
- OD分布がまったく均一な

ものである。現実のOD表の動きもこの2つの要素に左右されることになり、発生集中分布の均一化とODパターンの広域化の要素に分解して考える必要がある。この観点から簡便法で予測したOD表のエントロピーを検討すると、次のように発生エントロピーと集中エントロピーに分解することができる。

$$\begin{aligned}
 \text{OD交通量 } x_{ij} &= P_{ij} \cdot T \\
 P_{ij} &= u_i v_j \quad (\text{簡便法}) \\
 H &= - \sum_i \sum_j P_{ij} \log_2 P_{ij} \\
 &= - \sum_i \sum_j u_i v_j \log_2 u_i v_j \\
 &= - \sum_i \sum_j u_i v_j \log_2 u_i - \sum_i \sum_j u_i v_j \log_2 v_j \\
 &= - \underbrace{\sum_j v_j \left(\sum_i u_i \log_2 u_i \right)}_{\parallel 1} - \underbrace{\sum_i u_i \left(\sum_j v_j \log_2 v_j \right)}_{\parallel 1} \\
 &= - \sum_i u_i \log_2 u_i - \sum_j v_j \log_2 v_j \quad (8) \\
 &\quad \text{発生エントロピー} \quad \text{集中エントロピー}
 \end{aligned}$$

すなわち簡便法による予測OD表のもつエントロピー値は発生エントロピーと集中エントロピーの和として表されることになる。

現実のOD表について同様に、ODパターンのもつエントロピーと発生集中のもつエントロピーに分離することを考えてみよう。

$$\begin{aligned}
 H &= - \sum_i \sum_j x_{ij} / T \log_2 x_{ij} / T \\
 &= - \sum_i \sum_j \frac{x_{ij}}{T} \log_2 \frac{x_{ij}}{U_i} \cdot \frac{U_i}{T} \quad \text{ただし } U_i = \sum_j x_{ij} \\
 &= - \sum_i \sum_j \frac{x_{ij}}{T} \log_2 \frac{x_{ij}}{U_i} - \sum_i \sum_j \frac{x_{ij}}{T} \log_2 \frac{U_i}{T} \\
 &= - \sum_i \sum_j \frac{x_{ij}}{T} \log_2 \frac{x_{ij}}{U_i} - \sum_i \log_2 \frac{U_i}{T} \left(\sum_j \frac{x_{ij}}{T} \right) \\
 &\quad \parallel U_i/T \\
 &= - \underbrace{\sum_i \sum_j \frac{x_{ij}}{T} \log_2 \frac{x_{ij}}{U_i}}_{\text{残りのエントロピー}} - \underbrace{\sum_i \frac{U_i}{T} \log_2 \frac{U_i}{T}}_{\text{集中エントロピー}} \quad (9)
 \end{aligned}$$

ここで左辺はエントロピーの定義式そのものの形とは異なっているがODパターンのエントロピーに類似するものと考えられる。以下では左辺の値を便益上ODパターンのもつエントロピーと称することとする。

同様の考え方により発生エントロピーとODパターンのもつエントロピーに分解した時には

$$H = - \underbrace{\sum_i \sum_j \frac{x_{ij}}{T} \log_2 \frac{x_{ij}}{V_j}}_{\text{ODパターンエントロピー}} - \underbrace{\sum_j \frac{V_j}{T} \log_2 \frac{V_j}{T}}_{\text{発生エントロピー}} \quad (10)$$

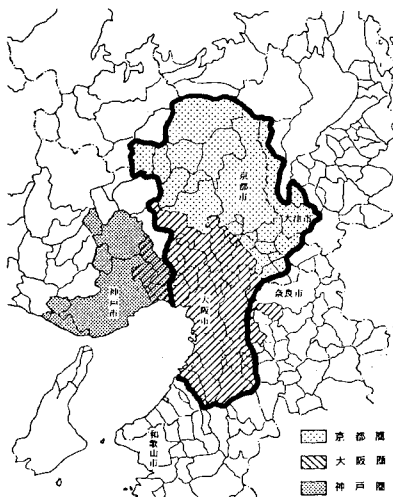
以上のように（９）式あるいは（１０）式で示されるような形に分解して考えると、経年的にOD表のもつエントロピー値の動きが増大しているとすれば、その原因が発生集中分布の均一化（例えば大都市周辺への発生集中の分散）によるものなのか、ODパターンそのものの構造的な変化によるものなのかを分析することが可能となろう。

4. 経年のOD表からみた京阪神都市圏の一体性の変化

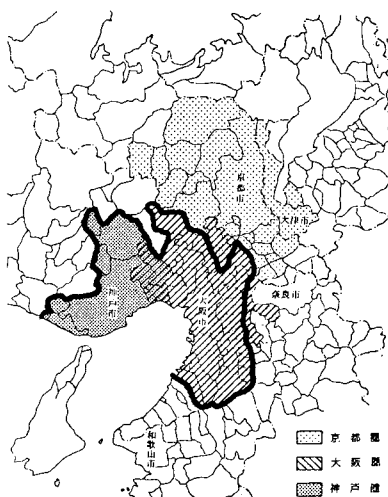
ここでは、次のような観点から京阪神都市圏の自動車OD表のもつエントロピー値をS46～S55年の全国交通情勢調査OD表をもとに検討した。

- ① 都市圏を京都大阪圏と神戸大阪圏に分け、両者の経年的な相違を検討し、現在の京都大阪圏のエントロピーと過去の神戸大阪圏の値とを比較する。（図－４、図－５）
- ② 両都市圏のエントロピーの経年変化を発生集中パターンのもつエントロピーとODパターンのもつエントロピーに分けて考え、一体化の進行がどちらの要素によるものかを検討する。
- ③ 目的別のエントロピーを検討し、通勤・業務における比較を行う。

対象圏域の設定はS52年情勢調査における核都市の5%OD流動圏を基本に、両圏域の広さ、ゾーン数等がほぼ同じサイズになるように設定している。この結果、両都市圏のOD表のサイズはともに47ゾーンとした。



図－４ 京都大阪圏の範囲



図－５ 神戸大阪圏の範囲

表－１、表－２に両地域のOD表のもつエントロピー値を示している。ここでは最大値を簡便法による予測OD表のもつエントロピー値とし、発生集中量は均一分布を最大値として比較している。

これによると大都市周辺地域を含めた都市圏域内の自動車交通発生集中の分散の程度は、神戸大阪圏、京都大阪圏の両地域ともほぼ同程度になっているが、ODパターンからみると神戸大阪圏の方が一体性が強い結果になっている。すなわちODパターンからみた一体性は神戸大阪圏に比べ京都大阪圏はまだ弱い、大都市周辺および大都市間地域への市街地の拡大、外延化を通じて発生集中交通が分散し、続いてODパターンが広域化して一体化が進んでいくとみることができる。

一方、エントロピー値の経年変化を図示すると、図－6～図－8 のようであり、S 5 2～S 5 5 にかけて減少しているが全般にはエントロピー値が増大し、一体化が進行している傾向が読みとれる。特に発生分布のエントロピーは明らかな増大傾向を示し大都市周辺への分散化が進んだことが示されている。しかしODパターンのエントロピーは増加傾向は読みとれるもののそれ程顕著ではなく近年のOD表の一体化傾向の主因は発生集中分布の分散化であると結論される。

表－1 京都大阪圏のエントロピー値（全車種）

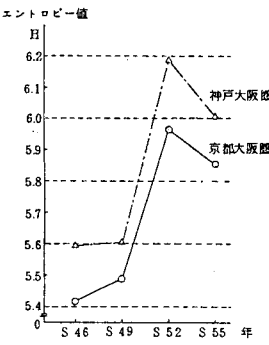
	OD表エントロピー値			発生量エントロピー値			ODパターンエントロピー値
	現実OD表(A)	最大値(増減率)(B)	割合(A/B)％	現実OD表(A)	最大値(均一分布)(B)	割合(A/B)％	
S.46	5.419	7.176	75.52	3.616	5.555	65.09	1.808
S.49	5.489 (1.01)	7.280	75.40	3.675 (1.02)		66.16	1.814 (1.01)
S.52	5.963 (1.09)	7.830	76.16	3.945 (1.07)		71.02	2.018 (1.11)
S.55	5.853 (0.98)	7.864	74.43	3.960 (1.00)		71.29	1.893 (0.94)

()内は伸び率

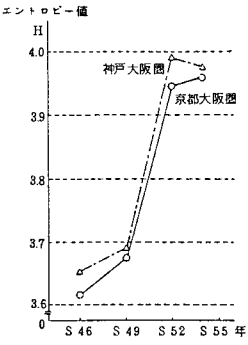
表－2 神戸大阪圏のエントロピー値（全車種）

	OD表エントロピー値			発生量エントロピー値			ODパターンエントロピー値
	現実OD表(A)	最大値(増減率)(B)	割合(A/B)％	現実OD表(A)	最大値(均一分布)(B)	割合(A/B)％	
S.46	5.593	7.246	77.19	3.634	5.555	65.42	1.959
S.49	5.604 (1.00)	7.300	76.77	3.690 (0.98)		66.43	1.914 (0.98)
S.52	6.188 (1.10)	7.904	78.29	3.991 (1.15)		71.85	2.197 (1.15)
S.55	6.003 (0.98)	7.876	76.22	3.976 (0.92)		71.58	2.027 (0.92)

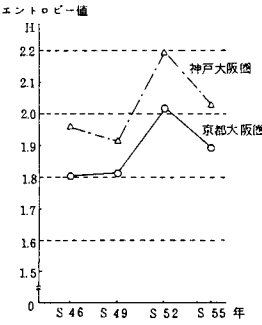
()内は伸び率



図－6 現実OD表のエントロピー値の推移



図－7 発生量エントロピー値の推移



図－8 ODパターンエントロピー値の推移

次に通勤目的、業務目的について同様な検討を行い、この結果を表－3、表－4 に示す。これらの結論は、以下のようである。

- ① 通勤・通学目的のエントロピーの動きは、全車OD表の場合と同じく両都市圏ともS 4 6→S 5 2 年にかけて増加しており、S 5 2→S 5 5 年にかけて減少する結果になっている。
- ② 業務目的についてはS 4 6→S 4 9 年で減少し、S 4 9→S 5 2 年で増加、S 5 2→S 5 5 年で減少という動きを見せている。S 5 2→S 5 5 年の動きは全車の場合と同じく発生パターンについてはエントロピーは上昇しているが、ODパターンエントロピーが減少することが原因となって合計エントロピーが減少するという傾向になっている。

S46→S49年は両エントロピーともに減少しており、石油ショックによる不況の影響などが表われている。

- ③ 通勤・通学の場合のS52→S55の動き（両都市圏とも発生エントロピー、ODパターンエントロピーが減少）は、人口の大都市周辺への分散傾向に歯止めがかかったという解釈もできよう。
- ④ エントロピー値そのものを全車の場合と比較すると、通勤・通学>全車、業務<全車となっており業務目的は相対的に大都市集中型トリップとなっていることが考えられる。
- ⑤ 京都大阪圏、神戸大阪圏の比較をすると、通勤・通学については

S49年京都圏 > S46年神戸圏

となっており、京都圏の一体化がやや遅れている結果になっている。

業務目的では、S55年時点の京都圏はS46年時点の神戸圏を上まわっているが、ODパターンのエントロピーは未だ小さいという結果になっている。

表-3 京都大阪圏の出勤目的・業務目的の

エントロピー値

	OD表エントロピー値			発生量エントロピー値			ODパターンエントロピー値
	現実OD表(A)	最大値(均一分布)(B)	割合(A/B)%	現実OD表(A)	最大値(均一分布)(B)	割合(A/B)%	
S.46	6290	7871	79.9	4341	5555	781	1949
S.49	5781 (108)	8701	77.9	4528 (107)		833 (110)	2153 (110)
S.52	7079 (104)	8911	79.4	4738 (102)		853 (109)	2341 (109)
S.55	6856 (097)	8870	77.3	4610 (097)		830 (096)	2246 (096)

()内は伸び率

	OD表エントロピー値			発生量エントロピー値			ODパターンエントロピー値
	現実OD表(A)	最大値(均一分布)(B)	割合(A/B)%	現実OD表(A)	最大値(均一分布)(B)	割合(A/B)%	
S.46	5435	7091	76.7	3590	5555	645	1846
S.49	5226 (096)	6846	76.3 (097)	3484		627	1742 (094)
S.52	5772 (110)	7681	75.1 (111)	3859		695	1913 (110)
S.55	5680 (098)	7734	734 (110)	3865		696	1815 (095)

()内は伸び率

表-4 神戸大阪圏の出勤目的・業務目的の

エントロピー値

	OD表エントロピー値			発生量エントロピー値			ODパターンエントロピー値
	現実OD表(A)	最大値(均一分布)(B)	割合(A/B)%	現実OD表(A)	最大値(均一分布)(B)	割合(A/B)%	
S.46	6456	7873	820	4380	5555	788	2076
S.49	6902 (107)	8670	796	4626 (106)		833	2276 (110)
S.52	7218 (105)	8863	814	4729 (102)		851	2489 (109)
S.55	7017 (097)	8834	794	4602 (097)		822	2415 (097)

()内は伸び率

	OD表エントロピー値			発生量エントロピー値			ODパターンエントロピー値
	現実OD表(A)	最大値(均一分布)(B)	割合(A/B)%	現実OD表(A)	最大値(均一分布)(B)	割合(A/B)%	
S.46	5556	70531	788	3573	5555	643	1983
S.49	5316 (096)	6826	77.9	3474 (097)		625	1842 (093)
S.52	5961 (112)	7688	77.5	3872 (111)		697	2089 (113)
S.55	5826 (098)	7737	75.3	3873 (100)		697	1953 (093)

()内は伸び率

5. 重力モデルの距離抵抗からみた一体性の検討

エントロピー指標の変化により地域の一体性を検討する考え方に対して、やはり同様に自動車OD表を用いてそのOD分布パターンを重力モデルにより表現する時の距離抵抗の大きさにより一体性を評価することも可能と考えられる。

ここでは前節で用いた京都大阪圏、神戸大阪圏の各年のOD表に対して次のような重力モデルを適用し、モデル中の距離抵抗 γ の変化を比較検討した。

$$P_{ij} = \alpha \frac{u_i v_j}{t_{ij}^\gamma}$$

ここで $P_{ij} = x_{ij}/T$ (x_{ij} : ij 間OD交通量)
 T : 生成量

$u_i = U_i/T$ (U_i : i ゾーン集中交通量)

$v_j = V_j/T$ (V_j : j ゾーン発生交通量)

α, γ : パラメーター

ここで t_{ij} はゾーン中心間の直線距離(km)を用い年度間で変化のないものを採用している。

α, γ の推定は最小二乗法により行い、京都大阪圏、および、神戸大阪圏それぞれについて圏域全体の γ 、

京都市、大阪市、神戸市発生集中交通の γ を推定した。

結果は表－５、表－６、図－９に示されている。

ここにみられるように、昭和４９年を除けば神戸大阪圏の γ は京都大阪圏よりもやや小さく、OD分布が広域化して一体性が高いことが示されている。両都市圏とも経年的にはＳ４６→Ｓ５２年には、年々 γ が小さくなり一体性が高くなってきたことが示されているが、Ｓ５２→Ｓ５５年には再び高くなっており、この点はエントロピーの動きと同様であり一体化の動きに抵抗が生じた結果になっている。

３大核都市関連の γ については、OD表の対象圏域を限定しているため核都市を中心とした近接ゾーンに対する γ であることを考慮する必要があるが、神戸市の γ がもっとも小さく神戸関連の交通は広域的な性格が強いことが示されている。最も大きいのは京都市で、逆に地域的な性格が強いと言える。大阪市を中心にみた場合、京都大阪圏の γ より神戸大阪圏の γ が小さく、神戸圏との結びつきが強いことが示されている。

経年的な動きをみると、京都市の γ はＳ５２年→Ｓ５５年を除くと年々小さくなってきており、逆に神戸市の γ は年々大きくなってきている。また、大阪市の γ も大きくなる傾向をみせており、神戸・大阪についてはODパターンが大都市集中型から周辺への発生集中の分散による分散型へ変化して、大都市集中のパターンについては結果的に γ が大きくなったとみることができよう。すなわち神戸・大阪については、都市化の進展、および都市圏域の拡大、周辺への機能分散が進んだ結果、阪神間も含めた一体化が促進されエントロピーの増加をみせているが、大都市集中型の距離抵抗は結果的に大きくなるというパターンになっている。

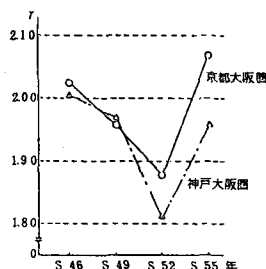
一方、京都についてはエントロピーは増加しているが、これはまだ都市圏域の拡大を反映したものとみることができ、大阪との一体化が進展していく途中段階と考えられる。また、京都市集中パターンの距離抵抗が経年的に小さくなっていることからこの傾向を読みとることができる。

表－５ 京都大阪圏の距離抵抗の経年変化

	重力モデルの距離抵抗 γ		
	神戸市関連	大阪市関連	神戸大阪都市圏
S.46年	0.163	1.190	2.005
S.49年	0.375	1.338	1.969
S.52年	0.387	1.070	1.801
S.55年	0.445	1.482	1.958

表－６ 神戸大阪圏の距離抵抗の経年変化

	重力モデルの距離抵抗 γ		
	京都市関連	大阪市関連	京都大阪都市圏
S.46年	2.205	1.486	2.024
S.49年	1.977	1.507	1.956
S.52年	1.967	1.577	1.879
S.55年	2.127	1.666	2.069



図－９ 京都大阪圏と神戸大阪圏の γ の比較

以上の分析を出勤・登校、業務の両目的OD表について同様に行うと、結果は表－７および図－１０、図－１１のようである。

この結果をみると、業務目的は全OD表の場合とほぼ同様な動きを示しているが、出勤・登校目的の場合はＳ４９とＳ５５に対前年より増加するという結果になっている。全OD表の γ と比べると両目的とも γ は小さくなっていて広域性を示しているが、両者の比較では

出勤・登校 < 業務

となっており、人口のドーナツ化に伴い出勤・登校目的のOD表ではよりODパターンが広域性をもち距離

抵抗が小さくなる結果になっている。

以上のように重力モデルの距離抵抗パラメータはエントロピー指標と同様な動きを示し、地域構造分析の1指標として有用なことが明らかとなった。

表-7 出勤目的・業務目的の距離抵抗の経年変化

	出 勤 目 的		業 務 目 的	
	神戸・大阪 都市圏	京都・大阪 都市圏	神戸・大阪 都市圏	京都・大阪 都市圏
S 46年	1.50	1.56	1.79	1.83
S 49年	1.62	1.68	1.78	1.79
S 52年	1.43	1.49	1.61	1.69
S 55年	1.53	1.62	1.77	1.87

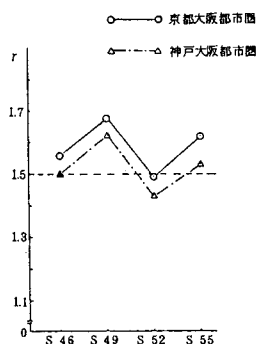


図-10 出勤目的の γ の経年変化

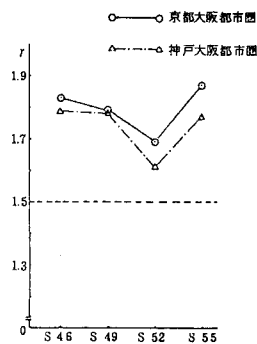


図-11 業務目的の γ の経年変化

6. おわりに

本研究では自動車OD表のエントロピー値、および重力モデルの距離抵抗値を分析し、地域間比較あるいは経年的な動きを通じて地域構造分析に応用する方法を示し、京阪神都市圏に適用した例を紹介した。この分析は単に地域構造の分析にとどまらず、この結果を将来の交通体系、道路網体系のあり方を検討する資料として活用することを主旨としている。今後、この方向で更に検討を加えていきたいと考えている。なお、本研究は阪神高速道路料金体系研究業務の一環として行ったものである。同研究委員会で審議に加わっていただいた京都大学 佐佐木 綱教授ならびに各メンバーに深謝の意を表する次第である。