

都市域拡大への傾向面分析の適用

札幌市を例として――

東 廉

一、はじめに

周知のごとく、狭小な国土に稠密な人口をようし今後とも高度な経済活動を持続せしめようとしている我が国においては、国土の一層の有効利用とともに、各種の土地利用の調整が重要な政策課題となっている。とりわけ、大都市及びその周辺に位置する市町村においては、当該大都市の成長と面的拡大の動向を察知しつつ、農林業的土地利用と都市的土地利用の調整、適切な都市的土地利用の形成を図っていかねばならない。

本稿は、都市の面的拡大の動向の把握という課題に対して傾向面分析を実験的に適用するとともに、その有効性の評価を試みる。

△ノット▽ 都市域拡大への傾向面分析の適用

二、傾向面分析

傾向面分析 (Trend Surface Analysis)* あるいは傾向面図の作成 (Trend Surface Mapping) とは、複数の立地点について測定される変数 Z の値と、立地点をその上にもつ平面の直交座標 X 、 Y が既知である場合、 Z を X 、 Y の種々の数学的関数で表現し、地図化する手続きである。この手続きの背景には、 Z の値の空間的変動のパターンと立地が関連を持っているという考え方が存する。実際の計算に当たっては、最も弾力的な適用が可能であるという理由から、次のような X 、 Y の累乗の多項式が用いられることが多い。

$$Z = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^m \alpha_{ij} X^i Y^j + \epsilon$$

ここで、パラメーター α_{ij} の推定は、重回帰分析とみなして、最小二乗法により行われ、誤差項は、通常の回帰モデルの誤差項の確率分布に関する諸条件が満たされる。⁽¹⁾

この傾向面分析における面モデル (Surface model) の性格は、三次元空間における観測点の分布に最もよくあてはまる曲面を見い出す、もしくは、曲面の平準化を行うという意味で形態記述的な側面が強く、面の形成を説明する因果連関を明示的に含むものでないことに注意すべきである。したがって、複雑な空間パターンの記述の単純化や客観化、空間パターンの地域間比較とか、小地域単位の国土情報の視覚的表示などにおける

傾向面分析の効用の大きいことは疑いないとしても、そこから傾向面を現出させた規制要因にアプローチする「過程反応モデル」の作成に進んだり、そのまま傾向面形成の因果関係に関する命題の検証を行う道具とするには、難しい点があると思われる。事実、最近(3)はむしろこの方法の限界の方が強く意識されているようである。

都市域の面的拡大の動向把握という場合にも、傾向面形成の過程の考察が不可欠であるが、今述べた事情から、本稿においても、さしあたり、傾向面図の作成による都市域拡大の様相の記述を試みることにし、過程・反応モデルに立脚した、課題の考察への足がかりとする。

なお、傾向面分析についての詳しい説明は関連のテキスト・ブック等に譲る。

注(1) 傾向面分析の説明は主として、Peter Haggett, Andrew D. Cliff and Allan Frey, *Locational Analysis in Human Geography*, London: Edward Arnold, 1977, p. 378 を参照した。

(2) 例えば、Peter Haggett et al., *ibid.*, p. 382.

(3) 例えば、石水照雄『計量地理学概説』(昭和五一年)、石水照雄、大友篤、磯部邦昭『地域傾向面の適用事例と数値実験』(昭和五一年)。

三、札幌市の人口分布の傾向面分析

(1) 対象 対象地域としては札幌市を選んだ。理由は、傾向面分析にとって必須な小地域統計が、一〇五の国勢統計区を更に細分した一七二の統計区別に集計されていること、一九六〇年から一九七五年にかけて約五〇%という、五〇万人以上の大都市としては全国的にみて異常なほどの人口増加と、それに伴う都市域の大幅な拡大が観察されること等による。

なお、札幌市は南部に広大な山岳部を含んでいるので実際の対象地域としては、一七二統計区のうち、今後自然条件等から都市化の進む可能性の薄い地域等を除き一五一統計区を選んだ。

(2) 指標 都市域の拡大をいかなる指標で表わすかという問題については、土地関係や生産関係の指標、あるいはそれらを合成・縮約した「都市度」という指標なども検討したが、今回は資料の利用可能性等から最も単純に人口指標によることとした。人口という場合も、人口密度、人口増加率、単位面積当たり人口増加などが考えられる。三つそれぞれについて計算を行ったが、人口増加率は縁辺の一部地域の異常に大きな増加率のため、決定係数の水準が低く採用しなかった。これは多項式近似を用いたからで二重フリーエ級数近似を用いればよいという考えもあるが、これによっても全く新しく宅地開発を行っている場合など処理が困難である。そこで、面積当たり人口増加を考え

だがこれも後に述べるような理由で決定係数の水準が低く参考にとどめざるを得なかった。したがって、最終的には、人口密度を指標に選んだ。

ここで、人口密度＝人口／可住地面積であり、可住地面積とは、総面積から公共施設敷地、公園、河沼等を差し引いたものである。人口は国勢調査を市で統計区ごとに再集計したもの、可住地面積も市発表の数値を用いた。ただし、南部の山麓を有する統計区については、五万分の一地形図により、丘陵の傾斜と市街化の状況を勘案して可住地面積の修正を行った。

(3) 計算結果及び傾向面図の解釈 一九六〇年、一九六五年、一九七〇年、一九七五年の四時点につき、一次から六次の傾向面を求め、傾向面図及び残差分布の地図化を行った。⁽⁴⁾当面の課題に対して何次元を採用すべきかという問題があるが、分散分析の結果、一次面に対し二次面、二次面に対し三次面、……、五次面に対し六次面というように六次面まで独自性が認められ⁽⁵⁾（第一表）、六次面の決定係数等の誤差尺度も十分満足すべきものであった（第二表）。四次面対五次面、五次面対六次面の分散比が遞減傾向にあることから四次面を採用することも考えられたが、都市の面的拡大の動向の把握という課題にとって、極値の確認は重要であり極値の数を確保するにはある程度まで次数を上げる必要があること、また、後述するヘクタル当たりに四〇人の等密度線の挙動を観察するに当たっては、六次面が

第1表 札幌市の人口密度分布に対する傾向面の分散分析

VS		分散比				F 値	
次数	次数	1960年	1965年	1970年	1975年	自由度	
1次	2次	16.53**	24.90**	26.51**	22.28**	3/145	2.67 3.91
2次	3次	4.60**	5.52**	3.55**	2.16	4/141	2.43 3.44
3次	4次	11.50**	12.35**	9.23**	8.09**	5/136	2.27 3.13
4次	5次	5.70**	4.51**	2.58*	2.63*	6/130	2.16 2.92
5次	6次	4.68**	3.67**	2.89**	2.07*	7/123	2.07 2.76

注: * 5%, ** 1%の有意水準。

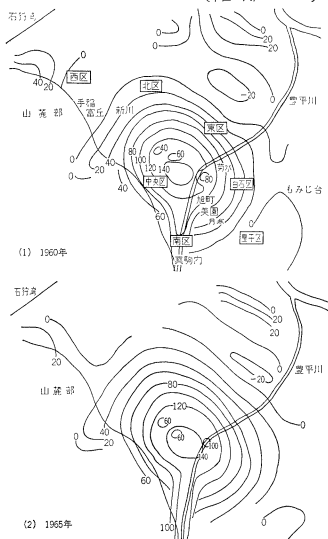
最適と認められたことから、六次面を採用した。各年次の人口密度六次傾向面及び一九七五年の残差分布は、第一、第二図に示すとおりであり、参考として面積当たり人口増加の六次傾向面（一九七〇年から一九七五年）を第四図に示した。これらより適用上の問題点も含めて概略次のようなことが読みとれる。

① 等人口密度線の分布は都心部を中心として、ほぼ同心円状ないしは同心楕円状である。しかし、南部真駒内方面に突出部が観察され、七〇年以降この突出部は都心と分離して別個のピークを形成している。このピークの

第2表 札幌市の人口密度分布への傾向面分析適用の誤差尺度

次 数	年 次	標準偏差	説明される 変動 ($\times 10^6$)	説明され ない変動 ($\times 10^6$)	全 変 動 ($\times 10^6$)	決定係数	相関係数
1 次 面	1960	55.56	0.2687	0.4630	0.7319	0.3674	0.6061
	1965	52.72	0.4446	0.4170	0.8615	0.5160	0.7184
	1970	51.05	0.5896	0.3910	0.9806	0.6013	0.7754
	1975	48.10	0.7337	0.3470	1.0807	0.6789	0.8240
2 次 面	1960	47.96	0.3869	0.3450	0.7319	0.5286	0.7270
	1965	42.83	0.5863	0.2752	0.8615	0.6805	0.8250
	1970	41.03	0.7281	0.2525	0.9806	0.7425	0.8617
	1975	39.79	0.8432	0.2375	1.0807	0.7802	0.8833
3 次 面	1960	45.11	0.4266	0.3052	0.7319	0.5829	0.7635
	1965	39.77	0.6243	0.2373	0.8615	0.7246	0.8512
	1970	39.10	0.7512	0.2294	0.9806	0.7661	0.8753
	1975	38.63	0.8569	0.2238	1.0807	0.7929	0.8905
4 次 面	1960	37.81	0.5174	0.2145	0.7319	0.7069	0.8408
	1965	32.98	0.6984	0.1632	0.8615	0.8106	0.9003
	1970	33.79	0.8093	0.1713	0.9806	0.8253	0.9085
	1975	33.91	0.9082	0.1725	1.0807	0.8404	0.9167
5 次 面	1960	33.64	0.5621	0.1698	0.7319	0.7680	0.8764
	1965	30.01	0.7265	0.1351	0.8615	0.8432	0.9183
	1970	31.95	0.8274	0.1531	0.9806	0.8438	0.9186
	1975	32.02	0.9270	0.1538	1.0807	0.8577	0.9261
6 次 面	1960	29.90	0.5977	0.1341	0.7319	0.8167	0.9037
	1965	27.30	0.7498	0.1118	0.8615	0.8703	0.9329
	1970	29.60	0.8491	0.1315	0.9806	0.8659	0.9306
	1975	30.29	0.9431	0.1376	1.0807	0.8727	0.9342

第1図 札幌市の人口密度に対する6次の傾向面
(単位:人/ヘクタール)



(1) 1960年

(2) 1965年

この傾向が一層強まり北西部は新川から手稲富丘に達し、東は白石区の東端のみみじ台まで開いた曲線を形成するまでに至った(第三図)。こ

存在は真駒内団地の建設にもよるが、公共施設敷地等が多く存することにもよると思われる。

② 都心部に密度分布の陥没地区が認められるとともに、一九六五年以降都心部周辺に存在する最高の等人口密度線の水準が漸次低下している。

③ 縁辺部の低位の等人口密度線の動きが激しい。これは、縁辺部の統計区にいくにしたがって面積が広くなるため、デー

タ・ポイントの数が少なくなり時点間の変動が大きく出やすいこと、これに加えて地図化の段階で補間法によって非観測点の数値を推定しているため、一層変動を大きくしているものと思われる。したがって縁辺部の傾向面の適合度は低いものと思われ、これを解決するためにはメッシュ・データの整備が必要である。

④ 縁辺部に、非現実的な負の人口密度領域が現われている。

これは、累乗の多項式によって近似したからであり、これを解決する一つの方法として対数変換を行うことが考えられる。

⑤ ヘクタール当たり四〇人の等

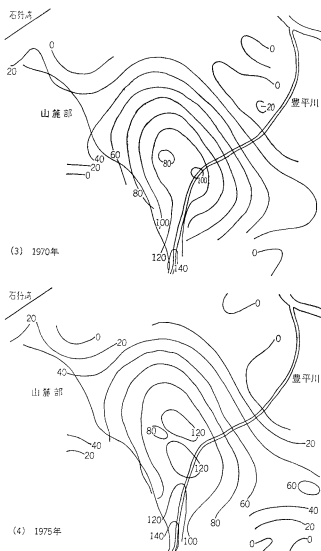
密度線を市街化前線とみなすと、六〇年にはほぼ円形だったものが六五年、七〇年にかけて北北西及び東部

への拡大により、北西、南東を結ぶ線を長軸とする楕円形へと変形して

いる。七〇年から七五年にかけてはこの傾向が一層強まり北西部は新川

から手稲富丘に達し、東は白石区の東端のみみじ台まで開いた曲線を形

第1図 つづき



せる。

なお、残差の分布に組織だった隣接性効果がみとめられないことから空間的自己相関は無視しうと考えられる。⁽⁸⁾

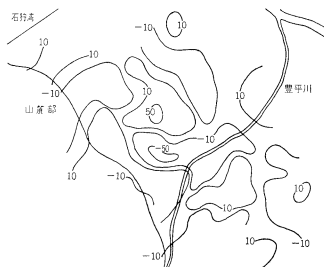
⑧ 単位面積当たりの人口増加の傾向面(第四図)によれば、市街化前線の内側に接するように三つのピークが存在する。増加傾向を示す尺度であるので都市の面的拡大の動向を把握するのに適切と考えられるが、難点は決定係数が $\cdot$ 四程度と低い

れは、六〇年以降市街地の面的拡大方向が北北西及び北西、東部にあること、また七一年の地下鉄南北線の開通等によりこの傾向が一層強められたことを示すものと考えられる。

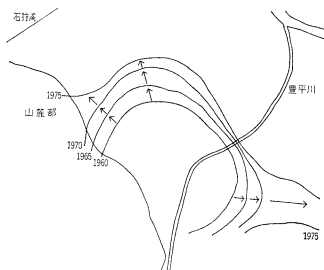
⑥ ②及び⑤より明らかなように、一九六五年以降ヘクター当たり四〇人以上の等人口密度線の間隔は拡大してきた。いかえれば、人口の急激な増加は都市面域の拡大によってまかなわれたばかりでなく、既存住民の郊外移転の現象も存在した

⑦ 残差分布をみると(第二図)、都心部及びその周辺の旧市街地やそれに隣接する菊水、旭町において過大評価されており人口減少が都心部の空洞化を進行させていることがうかがわれる。また、東区東部は市街化調整区域等により市街地の拡大が阻止されているため実質は理論値よりも低く、新川から手稲にかけての地区も過大評価されている。それに反して新川を除く北区及び東区西側、あるいは、東南の美園、月寒を中心とする地区、南西の丘陵沿いの地区は過小評価されており市街地化が重点的に進行してきたことをうかがわ

第2図 札幌市の人口密度に対する6次の
傾向面の残差値分布(1975年)
(単位:人/ヘクタール)



第3図 札幌市の1ヘクタール当たり40人の
人口密度等値線の変動



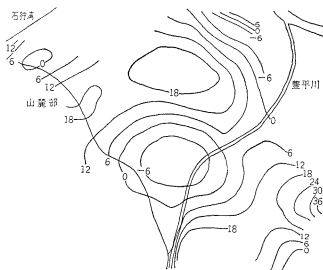
ことである。これは、単純な同心円パターンでなく、極値の多い複雑な空間パターンをとっていることによるものと思われる。また、縁辺部の統計区においては、まとまった非市街地を含むことによって、データの段階から過小評価されているという問題もある。

(4) 傾向面の時系列分析 傾向面によって表示される空間パターンの時系列的、定量的な取り扱いを行う場合、傾向面式の係

数の変化に注目する方法がある。⁽⁹⁾すなわち、傾向面式の関数型が空間パターンそのものであるから、同一次の傾向面の係数の変化は空間パターンの変化を意味するわけである。もっとも、一般論としてはこのようであっても、傾向面式の各係数(特に高次の係数)の幾何的な意味が明らかでなく、⁽¹⁰⁾取り扱いを難しくしている。

今、札幌市の人口密度分布の変化の場合、前項の読図より、

第4図 札幌市の単位面積当たりの人口増加
に対する6次の傾向面 (1970~1975年)



大雑把にみて、ほぼ同一の空間パターンの外延的拡大と考えられるので、各項係数の変化も一定の時系列傾向線上にあると予想される。また、一定の空間パターンの変動は傾向線からの乖離として表わされるであろう。各項係数 a_{pq} (第三表) を時点 t の関数と考へ、 $\hat{a}_{pq} = k_{pq} + m_{pq} \cdot (\hat{a}_{pq} : a_{pq}$ の推定値、 $t : 1960, 1965, 1970, 1975$) の傾向線をあはめた結果は第四表のとおりである。一次から四次項までの係数の変化はほぼ一定の傾向線上にあるが、五次、六次項の係数は決定係数が低い場合

が少なくない。決定係数が低いものについて、変動の様子を観察するため、更に残差の分析を試みたが、各時点に変動が分散しており、特定の時点の組織的な空間パターンの変動を示唆するものではなかった。

この方面の今後の課題としては、傾向面式の係数の意味を明確にして時系列比較の方法を確立するとともに、クラーク等による都市人口密度傾斜の経験的なモデルや、都市人口分布の経済モデルの変動分析と関連させることにより、人口密度傾向面形成の空間過程解明を目指すことであると思われる。

注(1) 人口増加率の傾向面作成を行い人口密度傾向面よりも決定係数が良かったという例がある。森川洋「都市の

人口密度分布とその変化——広島市を例として——」

『地学雑誌』第八五巻第五号、昭和五一年) 参照。

(2) 札幌市企画調整局『札幌市の地域構造』(昭和五二年)。

(3) 正確にはN次面でなくN次までの項を含む面と言うべきであるが、以下便宜上このように呼ぶ。

(4) 傾向面の計算に当たっては、O'Leary *et al.* 作成、磯部邦昭改良のプログラムを使用し、SPSS (Statistical Package for Social Sciences Kyoto 6th version) のサブ・プログラム「コンター・マップ」によって、傾向面図及び残差分布図が出力されるようにした。本稿に掲げる図は、これをトレースして等値

第3表 札幌市の人口密度分布に対する傾向面式係数

年次	次数	Constant ($\times 10^5$)	X	Y	X^2 ($\times 10^{-3}$)	XY ($\times 10^{-2}$)	Y^2 ($\times 10^{-2}$)	X^3 ($\times 10^{-4}$)	X^2Y ($\times 10^{-4}$)	XY^2 ($\times 10^{-4}$)	Y^3 ($\times 10^{-6}$)
1975	6次	12.06	48.92	-91.65	-77.77	60.98	75.91	48.02	-26.81	-26.49	-35.17
1970	6次	-19.16	87.84	-41.58	-103.1	27.12	35.05	58.03	-15.39	-9.948	-16.27
1965	6次	-65.19	128.3	51.37	-116.3	39.25	-38.14	57.42	12.63	15.69	19.01
1960	6次	-112.6	182.1	134.8	-144.5	-105.2	-100.6	66.55	36.28	46.12	46.56

年次	次数	X^4 ($\times 10^{-9}$)	X^3Y ($\times 10^{-9}$)	X^2Y^2 ($\times 10^{-6}$)	XY^3 ($\times 10^{-6}$)	Y^4 ($\times 10^{-8}$)	X^5 ($\times 10^{-8}$)	X^4Y ($\times 10^{-8}$)	X^3Y^2 ($\times 10^{-8}$)	X^2Y^3 ($\times 10^{-8}$)	XY^4 ($\times 10^{-8}$)
1975	6次	-15.24	10.28	0.040	11.50	8.059	2.472	-2.411	1.511	-1.999	-1.083
1970	6次	-17.73	8.772	-4.509	8.095	2.714	2.862	-2.693	2.980	-2.611	0.030
1965	6次	-16.19	0.801	-7.800	-1.210	-6.222	2.493	-1.404	2.787	-1.416	1.184
1960	6次	-18.37	-2.846	-15.16	-8.600	-13.31	2.850	-1.241	3.459	0.351	1.516

年次	次数	Y^5 ($\times 10^{-9}$)	X^6 ($\times 10^{-10}$)	X^5Y ($\times 10^{-10}$)	X^4Y^2 ($\times 10^{-11}$)	X^3Y^3 ($\times 10^{-10}$)	X^2Y^4 ($\times 10^{-10}$)	XY^5 ($\times 10^{-10}$)	Y^6 ($\times 10^{-10}$)
1975	6次	-1.170	-0.163	0.239	-0.300	0.385	-0.233	0.227	0.038
1970	6次	-0.525	-0.194	0.324	-0.555	0.663	-0.449	0.249	-0.012
1965	6次	0.730	-0.167	0.246	-0.538	0.617	-0.499	0.166	-0.778
1960	6次	1.915	-0.194	0.254	-0.517	0.398	-0.416	0.076	-0.139

第4表 札幌市の人口密度6次傾向面係数の回帰分析(1960~75年)

傾向面係数 α_{pqt}	回帰係数 k_{pq}	回帰係数 m_{pq}	決定係数 (自由度修正)	傾向面係数 α_{pqt}	回帰係数 k_{pq}	回帰係数 m_{pq}	決定係数 (自由度修正)
α_{00}	($\times 10^6$) -1.658	840.2	0.9876	α_{50}	($\times 10^{-7}$) 3.279	($\times 10^{-10}$) -1.531	0
α_{10}	($\times 10^4$) 1.743	-8.803	0.9904	α_{41}	18.69	-9.58	0.6039
α_{01}	3.040	-15.44	0.9794	α_{32}	22.62	-11.36	0.6765
α_{20}	($\times 10$)($\times 10^{-3}$) -8.504	42.66	0.9748	α_{23}	32.18	-16.43	0.5375
α_{11}	-22.25	113.0	0.9809	α_{14}	35.27	-17.90	0.9321
α_{02}	-23.72	120.5	0.9828	α_{05}	41.38	-21.02	0.9744
α_{30}	($\times 10^{-1}$)($\times 10^{-4}$) 2.221	-1.099	0.8179	α_{60}	($\times 10^{-10}$) -2.710	($\times 10^{-13}$) 1.286	0
α_{21}	8.552	-4.346	0.9632	α_{51}	-1.078	0.683	0
α_{12}	9.587	-4.869	0.9756	α_{42}	-25.40	12.67	0.2035
α_{03}	11.04	-5.611	0.9819	α_{33}	0.253	0.134	0
α_{40}	($\times 10^{-4}$)($\times 10^{-7}$) -3.278	1.570	0.2566	α_{24}	-23.99	11.99	0.1659
α_{31}	-18.59	9.470	0.9123	α_{15}	-20.97	10.75	0.7001
α_{22}	-19.11	9.677	0.9378	α_{06}	-23.48	11.91	0.9949
α_{13}	-27.36	13.92	0.9577				
α_{04}	-28.76	14.61	0.9876				

注 1. $\hat{\alpha}_{pqt} = k_{pq} + m_{pq} \cdot t$ ($t=1960, 1965, 1970, 1975$).

2. 自由度修正後の決定係数で負の値をとったものは、0とした。

線を書いたものである。

(5) 石水照雄他著『前掲書』で作成された関東地方及び東京主要部の人口密度傾向面あるいは森川洋著『前掲論文』で作成された広島市の人口密度傾向面に比して、はるかに決定係数の水準が高いが、これは人口密度の極大値がさほど大きくない北海道の都市の特質を示唆している。

(6) Joern Barbrock and David L. Green, "Investigation of Population Density Gradients Using Trend Surface Analysis: Comment", *Land Economics*, Vol. 53, No. 2, 1977, pp. 239-245.

(7) 特に理論的根拠はないが、人口集中地区の定義を参考にした。

(8) 空間的自己相関の検定法は、

等につき考察した。

かならずしも確立されていないので、残差による検討にとどめた。参照 Andrew D. Cliff *et. al.*, *Elements of Spatial Structure: A Quantitative Approach*,

London: Cambridge University Press, 1975, pp. 145

-180.

- (9) Eric G. Moore and Daniel J. Old "Some Comments on the Spatio-Temporal Characteristics of a Population Potential Surface", *TIDSCHRIFT VOO R. EN SOC. GEOGRAFIE*, Vol. 72, 1971, pp. 53-72.

- (10) Andrew D. Cliff *et al.*, *ibid.*, pp. 52-54 以下に低次項ではあるが、係数の幾何的意味を探る試みが見られてゐる。

- (11) 森川洋『前掲論文』に詳細なサーベイがある。

- (12) 山田浩之「都市構造と都市環境」(『季刊現代経済』第七号、一九七二年)。

四、結 び

都市の面的拡大の動向の把握という課題に、傾向面分析を適用することの有効性を検討するため、札幌市を例として人口密度分布の傾向面分析を行った。その結果、都市の面的拡大の動向を単純化し、客観的かつ迅速に地図化する方法として傾向面分析のもつ効用が大きいことを確認するとともに、今後の問題