

重力型モデルによる距離測度別人口ポテンシャルの比較

—福島県の都市間人口移動を事例として—

南 榮 佑

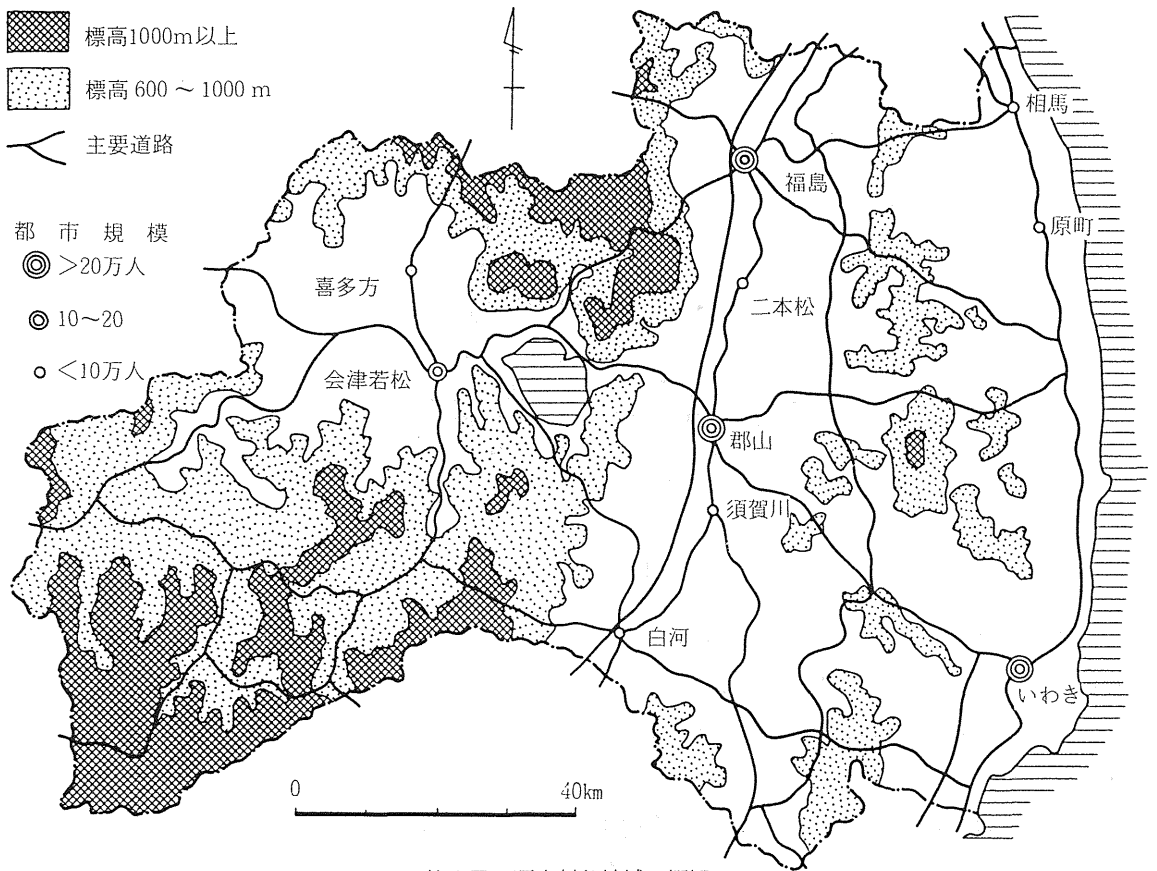
- | | |
|-------------------------|---------------------------|
| I はじめに | III-1 修正重力モデルの適用 |
| II ポテンシャルモデルによる人口ポテンシャル | III-2 移動人口ポテンシャルとそのモデルの構築 |
| II-1 一般ポテンシャルモデルの適用 | III-3 移動人口ポテンシャル場の距離別比較 |
| II-2 人口ポテンシャル場の距離別比較 | IV おわりに |
| III 重力モデルによる人口ポテンシャル | |

I はじめに

近年、地理学においては、空間的相互作用による地域間移動の規模や方向などが空間的秩序を把握するための有力な指標として多く用いられている¹⁾。地域間移動を扱った研究は人口移動・商品流通・情報の流れなどが分析対象として取り上げられ、また重力型モデル・介在機会モデル・エントロピー最大化のモデル・アロンゾモデルなどが分析手段として利用されてきた²⁾。

本研究では、福島県を事例とする都市間人口移動を分析対象とし、重力型モデルを援用して距離による人口ポテンシャルの分布パターンを明らかにするとともに、そのモデルの構築を試みる。人口移動に関する地理学的研究は、移動の距離や方向といった空間的側面に注目し、その空間的パターンの形成メカニズムに関心を払うことが多い³⁾。しかし、空間的要素のうち距離に注目する場合は、必ずしも直線的距離のみを指すのではない。すなわち、それには直線距離・道路距離のような地理的距離や時間距離・運賃距離・認知距離などの様々な種類の測度がある⁴⁾。そこで、本研究では、比較的簡単に入手可能な直線距離・道路距離・運賃距離の3種類を取り上げ、距離測度によって生じる人口ポテンシャル場ならびに移動人口ポテンシャル場の差異に対する分析を試みる。

本研究で取り扱う分析資料は⁵⁾、人口移動の種々のタイプの中で、人口を個々の現象としてではなく集団としてとらえ、非周期的に居住地を変更する都市間移動を対象としたものである。研究対象地域である福島県は、太平洋沿岸部の平野を除くと、そのほとんどが山岳地や盆地となっており、幹線交通路がそれらの盆地を結んでいる(第1図)。このことは、人口ポテンシャルを考察することによって、自然的要素が人口移動にどの程度影響を与えるかを明らかにできることを意味する。



第1図 研究対象地域の概観

II ポテンシャルモデルによる人口ポテンシャル

II-1 一般ポテンシャルモデルの適用

人口分布を記述する方法としては、従来は、単に人間の存在を図示する方法がすべてであった。しかし、人口分布を記述するには、人口のもつエネルギーとその相互作用によって生じる潜在的人口までを考慮しなければならない。このようなことを可能にする適切な方法がポテンシャルモデル (potential model) である⁶⁾。

ポテンシャルモデルは、場合によっては、重力モデル (gravity model) と区別せずに一括して取り扱われることがあることからみて、理論的根拠が薄弱かも知れない⁷⁾。ポテンシャル概念は、それに対する解釈や評価が研究者によって様々であり、統一された1つの概念とはなっていない。この概念は、人間の行動分析を通して地域的な活動の決定メカニズムを探り、これをポテンシャルと対比してみることによって、その妥当性が明らかにされる。したがって、ポテンシャル概念を定着させるためには、ポテンシャルモデルを適用した実証的研究が理論的研究に先立って行なわなければならない。

ポテンシャルの表現は次のような数式で与えられる。

$$\pi_x = k \int_D \frac{\{X(t)\}^\beta}{t^\alpha} dt \dots\dots\dots (1)$$

ここで、Xは対象とする変量であり、座標原点からの距離 t の関数である。αとβはパラメータ、kは補正係数、Dは定義域を表わす。物理学での重力モデルの場合は、α = β = 1であり、D = (0, ∞)となる。しかし、地理的事象または社会・経済的現象の空間的分布を扱う場合は、パラメータと定義域は適当に修正されて計算することになる。また、実証的研究を試みる場合にはデータが地域別あるいは都市別の集計値であるので、ポテンシャルは距離の連続関数として表現できる。すなわち、

$$\pi_x = k \sum \frac{\{X(t)\}^\beta}{t^\alpha} \dots\dots\dots (2)$$

となる。上式(2)は式(1)と原理的には変わらないものである。

このような形式をとるポテンシャルモデルは19世紀半ばのアメリカの経済学者 H. C. Careyによって初めて提起され⁸⁾、その後 E. R. Ravensteinや E. C. Youngなどによって受け継がれた⁹⁾。彼らがポテンシャルを帰納法的に表現したのに対して、J. Q. Stewartは物理学的に表現しようとしたが¹⁰⁾、そのほとんどの分析対象は人口流動、特に都市の人口移動量であった。分析対象をさらに幅広く導入したのは G. K. Zipfであり、彼は貨物流動や電話通話などにもポテンシャルモデルを適用した¹¹⁾。このポテンシャルモデルはその後も多くの学者らによって修正が加えられ発展してきた¹²⁾。

以上で述べたように、ポテンシャルモデルは地表上に分布している地理的事象の法則性（または規則性）に着目し、これを数学的に表現したものである。このモデルは、その形式において万有引力の法則ならびに重力ポテンシャルとかなり類似する。これを地理学的な観点から定義すると、「ポテンシャル」とは、1つだけの変量を指標にして定式化されたモデルに適用することによって得られる解を指すものである。ここでの変量とは多くの他の変量との相互依存によって決められる実際の変量（人口移動量）を意味する。また、そのモデルから得られる数値の空間的分布域を「ポテンシャル場」、あるいは「圏域」と呼ぶ。

一般に、ポテンシャルという用語は、あるものの潜在的能力を表わす際に用いられる場合が多い。たとえば、重力ポテンシャルの場合は、2つの質量の間に作用する反対方向の引力がなくなる際に、潜在化されていた引力が顕在化されて現われる力をポテンシャルと呼ぶ。この意味で、ポテンシャルをもって潜在的能力と表現するのは決して間違いとは言えない。しかし、ポテンシャルモデルは万有引力の法則に基づいて誘導されたものでなく、あくまでも表現上において万有引力の法則と類似しているに過ぎない。

II-2 人口ポテンシャル場の距離別比較

都市で発生する人口移動に関して分析した従来の研究は、概ね、① 移動人口の人口学的特性（年齢・性別など）と社会・経済的特性（職業・所得など）を明らかにした研究、② 環境認知に基づい

て行動論的分析（メンタルマップ・意思決定過程など）を試みた研究、③ 都市または定められた地域内で発生する移動人口の空間的特性（距離・方向など）を明らかにした研究の3類型に大別される¹³⁾。本研究はこれらの類型のうち③に相当するものであり、特にポテンシャルモデルを使って距離測度と距離パラメータとの関係を把握するという点で重要な意味を有する。

本章では式(2)を人口ポテンシャル V_i に変形して用いることにする。すなわち、

$$V_i = k \sum_{j=1}^n P_j / (d_{ij})^\alpha \quad \dots\dots\dots (3)$$

と変形する。ここで、 P_j は都市 j の人口、 d_{ij} は都市 i と都市 j 間の距離、 α は距離パラメータである。

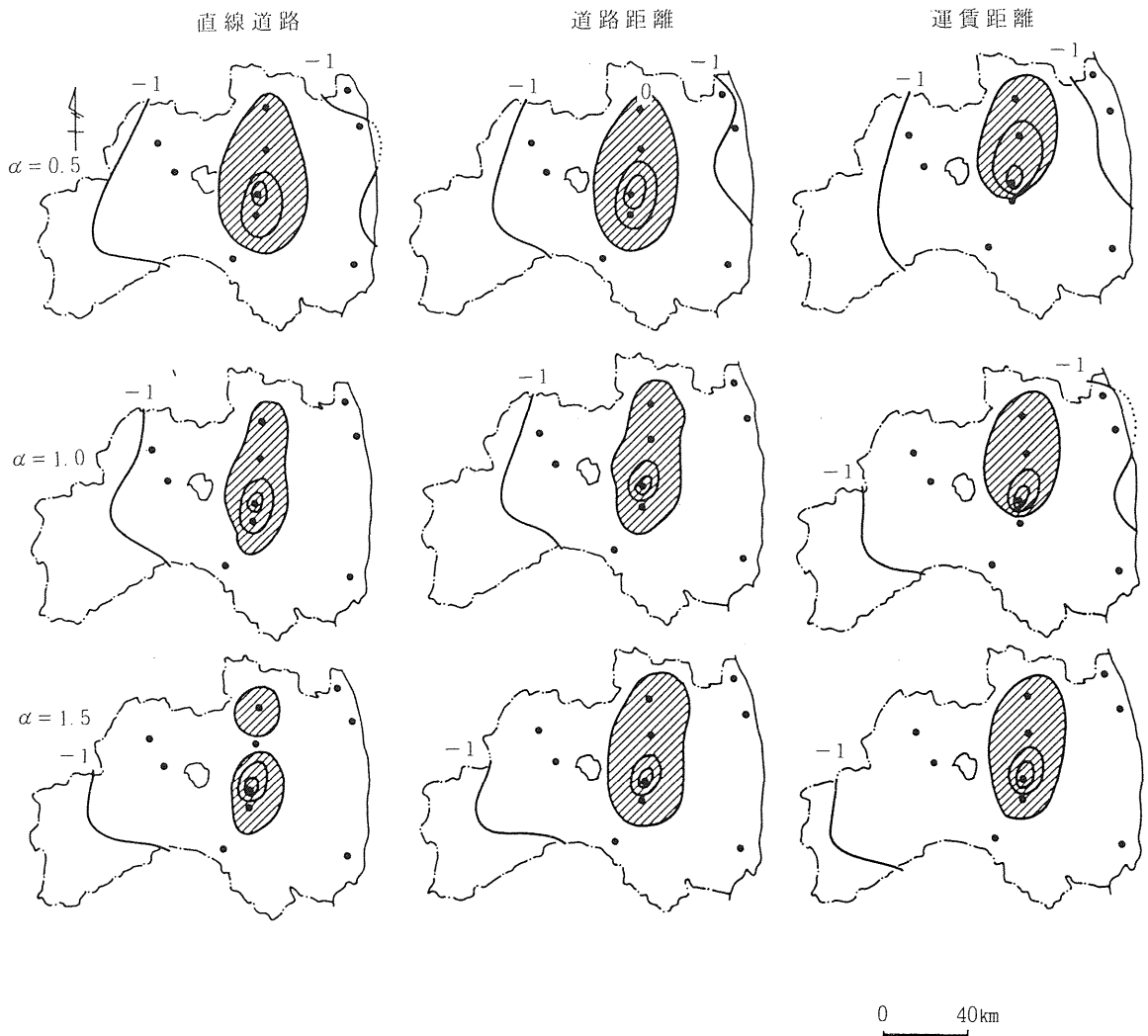
ところが、本研究のように重力型モデルを用いる場合には次のような2つの問題が提起される。1つは、前述したように、都市間の距離 d_{ij} をいかなる種類の測度にするかという問題であり、もう1つは、距離パラメータを最小二乗法を利用して算出するのか、もしくはあらかじめ固定させておくのかという問題である。

ここでは、 d_{ij} 値については直線距離・道路距離・運賃距離の3つの距離を用い、 α 値については0.5、1.0、1.5に固定させた¹⁴⁾。このような方法によって、福島県における都市群の人口ポテンシャル場が構築される。その結果は第2図に示したとおりである。

第2図から明らかなように、人口ポテンシャル V_i の分布¹⁵⁾は、距離パラメータの値によって多少異なり、さらに距離の測度によってもそれぞれ異なるパターンを示す。すなわち、距離パラメータ α が高い値をとるほど人口ポテンシャル V_i は増加し、距離パラメータ α が低い値をとるほど人口ポテンシャル V_i は減少する傾向がみられる。このような傾向は運賃距離の方が他の距離より顕著であり、直線距離の場合はその傾向が比較的弱い。しかも、 α が1.0以上の値をとる際に、 V_i は本県の東部において $\alpha=0.5$ の V_i と相当の差異がみられる。このことは、郡山盆地東部に南北方向に広がる阿武隈山地の影響であると思われる。しかし、 $\alpha=0.5$ の場合は、 $\alpha=1.0$ や $\alpha=1.5$ の場合に比べて地形的障害の影響をより受けている。

平均人口ポテンシャル $\bar{V}_i = 0$ の等値線は α 別の特徴的な差異や変化がみられないが、直線距離の $\alpha=1.5$ の場合には二本松を境にして福島と郡山の両市をそれぞれ頂点とする2圏域に分けられるのが注目される。これらの2つの都市は、いわきとともに福島県では最大規模の人口を有する都市である。また、郡山の南部に位置する須賀川は $\bar{V}_i = 0$ の等値線の内側に含まれており高い人口ポテンシャルをもつが、 d_{ij} が運賃距離であり、 α が0.5と1.0をとる場合には平均人口ポテンシャル場から離れる。

一方、距離測度別に人口ポテンシャル場を考察してみると、 $\alpha=1.5$ の場合を除き、概ね、直線距離、道路距離、運賃距離の順に高い値の V_i を示すことがわかる。 α が1.5の値をとり、 d_{ij} が直線距離の場合は前述したように二本松の V_i が低くなるため平均人口ポテンシャル場が2つに分かれる。二本松の V_i は、 $\alpha=0.5$ でしかも運賃距離の場合に最も高くなる。このことは、小都市である二本松が中都市である郡山と福島との両市の間に位置しており、空間的に自己相関が作用したからであろう。



第2図 一般ポテンシャルモデルによる人口ポテンシャル場
(分布値は標準化しており、斜線部分は \bar{V}_i を上回るポテンシャル場である。)

次に、都市人口 P_i と人口ポテンシャル V_i との関係について考察してみる。両者の関係を把握するため、ここでは各距離パラメータ別の V_i および各距離測度別の V_i と都市人口 P_i との相関分析をそれぞれ行なうことにする。その結果は第1表より明らかなように、 P_i と V_i との相関はかなり低い。これは必ずしも都市人口が多いほど人口ポテンシャルが高くなるとは限らないことを意味する。しかし $\alpha=1.0$ の運賃距離の場合は比較的高い相関係数が得られたことから、 P_i と V_i とは若干の相関があると言える。有意な相関係数は $\alpha=0.5$ の運賃距離の場合にもみられるが、これ以外の相関係数はt検定で帰無仮説が棄却できないので統計的に意味がない。また自由度修正の相関係数を算出してみると、その全てが有意でないことがわかる。

第1表 人口P,と人口ポテンシャルV,との相関行列

距離測定	距離パラメータ		
	$\alpha=0.5$	$\alpha=1.0$	$\alpha=1.5$
直線距離	0.321 (0.099)	0.364 (0.144)	0.402 (0.238)
道路距離	0.343 (0.086)	0.373 (0.170)	0.403 (0.240)
運賃距離	0.428* (0.271)	0.469* (0.336)	0.340 (0.071)

*は10%水準にて有意。
()は自由度修正の相関係数。

第2表は、各都市のもつ V_i 相互間の相関分析を距離パラメータ α 別に行なった結果を示したものである。これによると、相関係数は0.789~0.998の間で全体的にきわめて高い値を示している。その中で特に高い値をもつのは直線距離の V_i と道路距離の V_i との相関係数であり、これに道路距離の V_i と運賃距離の V_i 、直線距離の V_i と運賃距離の V_i が続く。また、距離パラメータの中では $\alpha=1.5$ の場合の相関係数が他の場合より高い値を示している。

前節で指摘したように、当然ながら人口ポテンシャル V_i は距離パラメータである α 値によって変化する。一般に V_i は α が高い値をとるほど減少する。したがって、両者の関係は負の相関が生じる。しかし、 V_i は α の大きさによって一様には減少せず、また距離の種類によりその減少の程度はそれぞれ異なる。

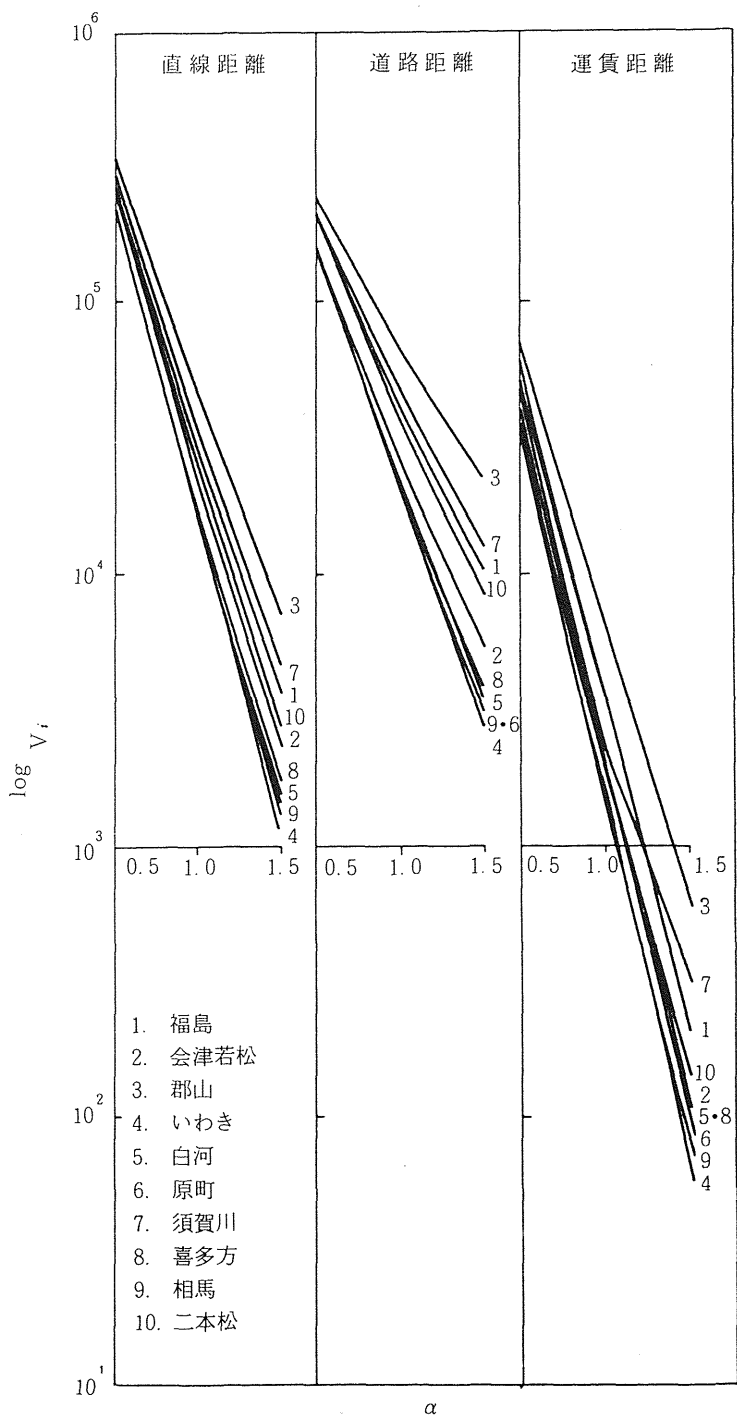
第2表 距離測定別 V_i の相関行列

距離測定	距離測定 α	距離測定		
		直線距離の V_i	道路距離の V_i	運賃距離の V_i
直線距離の V_i	0.5	1.000		
	1.0	1.000		
	1.5	1.000		
道路距離の V_i	0.5	0.995 (0.994)	1.000	
	1.0	0.997 (0.996)	1.000	
	1.5	0.998 (0.997)	1.000	
運賃距離の V_i	0.5	0.789 (0.758)	0.830 (0.806)	1.000
	1.0	0.895 (0.881)	0.911 (0.899)	1.000
	1.5	0.994 (0.993)	0.994 (0.993)	1.000

()は自由度修正の相関係数。
全ての相関係数は1%水準にて有意。

第3図は V_i と α との相関関係を示したものである。この図から明らかなように、 V_i は道路距離においては α 値の変化にさほど反応しないが、運賃距離の場合に最も敏感に反応する。 α 値による影響が少ない都市は郡山であり、須賀川は運賃距離の $\alpha=1.0$ において V_i の変動幅が大きい。各都市の V_i は、距離の種類や α 値を問わず、比較的一定な順位を保つ傾向にあるが、道路距離の場合の原町と相馬の順位が $\alpha=1.5$ において入れ換わっている。このことは、両市が太平洋の沿岸部に位置し互

いに隣接しているものの道路ネットワークによる近接度の差異が相馬の V_i に影響を及ぼしているからであろう。



第3図 人口ポテンシャル V_i と距離パラメータ α との関係

Ⅲ 重力モデルによる人口ポテンシャル

Ⅲ-1 修正重力モデルの適用

本章では W. W. Leontief と A. Strout が開発した重力モデル¹⁶⁾ に若干の修正を加え、その修正モデルを都市間人口移動に適用することによって移動に関するポテンシャルの分析を行う。まず、ここではそのモデルを定義してから原データ行列に適用してみる。

都市間人口移動のOD行列Tは、第3表に表わしたような形式をとるのが一般的である。つまり、このOD行列では、行方向に転出入口、列方向に転入人口が配列される。したがって、行和である全転出入口は移動人口の供給プール (supply pool) であり、列和である全転入人口はその需要プール (demand pool) に相当する。

上記の行列Tの (i, j) 成分を T_{ij} とおくと、都市 i の全転出入口 D_i 、全転入人口 S_i はそれぞれ $D_i = \sum_{j=1}^n T_{ij}$ 、 $S_i = \sum_{j=1}^n T_{ji}$ ($D_i \neq S_i$) と表わせる。さらに全都市間の総移動量Xは、

$$X = \sum_{i=1}^n D_i = \sum_{i=1}^n S_i \dots\dots\dots (4)$$

となる。したがって、都市 i と都市 j の間における人口移動の構造は次のように説明できる。

まず供給プールの移動量のうち、それが都市 i からの転出入口である確率は S_i / X であり、逆に需要プールの移動量のうち、それが都市 j への転入人口である確率は D_j / X となる。したがって、全都市間の総移動量のうち、それが都市 i から都市 j への移動人口である確率は、 $S_i / X \cdot D_j / X$ で表わされる。ゆえに、ある特定の移動が「都市 i から都市 j への移動」である期待値を W_{ij} とおくと、 W_{ij} は、

$$W_{ij} = \frac{S_i}{X} \cdot \frac{D_j}{X} \cdot X = \frac{S_i \cdot D_j}{X} \dots\dots\dots (5)$$

となる。

第3表 都市間人口移動行列 (T)

	都市 1	都市 2	.....	都市 j	.....	都市 n	供給プール (全転入人口)
都市 1	T_{11}	T_{12}	.....	T_{1j}	.....	T_{1n}	S_1
都市 2	T_{21}	T_{22}	.....	T_{2j}	.....	T_{2n}	S_2
.....
都市 i	T_{i1}	T_{i2}	.....	T_{ij}	.....	T_{in}	S_i
.....
都市 n	T_{n1}	T_{n2}	.....	T_{nj}	.....	T_{nn}	S_n
需要プール (全転出入口)	D_1	D_2	.....	D_j	.....	D_n	X

III-2 移動人口ポテンシャルとそのモデルの構築

移動人口の転入人口総量 $\sum_{i=1}^n S_i$ と転出人口総量 $\sum_{i=1}^n D_i$ は、前記の第3表により、共にXであり同一の値をもつ。しかし、都市間人口移動のデータ行列における現実の移動量 T_{ij} とその期待値 W_{ij} とは一致しないのが普通である。両者の不一致の度合い、つまり残差 e_{ij} は、期待値行列 W と現実の移動量行列 T に基づいて得られる。

第4表は T と W に基づいて e_{ij} とその比率を計算したものである。ここでは、各都市の残差が、距離測度別ならびに距離パラメータ別に求めている。まず、距離測度別の残差について検討してみると、いわき・福島・郡山などのように比較的規模の大きな都市は運賃距離の場合の残差が直線距離や道路距離のそれより大きい。一方、白河・原町・須賀川などのように比較的規模の小さな都市は直線距離の場合の残差が最も小さい。これに対して、距離パラメータ別の残差について考察すると、比較的規模の大きい都市は $\beta=1.5$ の場合の残差が他のそれより大きくなり、小都市の場合は $\beta=1.5$ を除くと、その他の残差が大きい。小都市はそのほとんどが $\beta=0.5$ において負の残差が現われる。

次に、都市間人口移動が都市間距離の影響をどう受けるかについて考察してみる。一般に、現実の移動量と期待される移動量との比 (T_{ij}/W_{ij}) や都市間距離 (d_{ij}) との間には線型の関数関係が存在していることが経験的に知られている¹⁷⁾。両者の関係は次のような関数式で表わされる。つまり、

$$\log (T_{ij} / W_{ij}) = \gamma - \beta \log d_{ij} \quad \dots\dots\dots (6)$$

という線型モデルであり、この式により

$$T_{ij} / W_{ij} = e^{\gamma} / (d_{ij})^{\beta} \quad \dots\dots\dots (7)$$

が導かれる。上式を T_{ij} に関して変換させると、

$$T_{ij} = \frac{e^{\gamma}}{(d_{ij})^{\beta}} \cdot W_{ij} \quad \dots\dots\dots (8)$$

または、

$$T_{ij} = \frac{S_i \cdot D_j}{X} \cdot \frac{e^{\gamma}}{(d_{ij})^{\beta}} \quad \dots\dots\dots (9)$$

となる¹⁸⁾。

本節では、式(6)にデータをあてはめることによって T_{ij}/W_{ij} と d_{ij} との間に存在する一般的な線型式を導いた。

$$\log (T_{ij} / W_{ij}) = 1.870 - 0.747 \log (d_{ij}) \quad \dots\dots\dots (6-1)$$

これを上式(9)のような形式に変換すると、

$$T_{ij} = W_{ij} \cdot \frac{1}{(d_{ij})^{0.747}} \cdot e^{1.870} \quad \dots\dots\dots (9-1)$$

と書ける。また、これを転出移動と転入移動に分けて式(6)のような線型モデルを算出すると、

$$\text{転出モデル} : \log (T_{ij} / W_{ij}) = 1.910 - 0.752 \log (d_{ij}) \quad \dots\dots\dots (6-2)$$

$$\text{転入モデル} : \log (T_{ij} / W_{ij}) = 1.746 - 0.707 \log (d_{ij}) \quad \dots\dots\dots (6-3)$$

第4表 移動量Tと期待値Wの残差e_i, およびその比率(%)

都市	直線距離				道路距離				運賃距離						
	0.5	1.0	1.5	合計*	%	0.5	1.0	1.5	合計*	%	0.5	1.0	1.5	合計*	%
1 福島	-15.260	227.937	253.144	496.341	13.4	54.586	215.282	246.439	516.307	16.3	202.018	251.690	256.562	712.270	21.7
2 会津若松	-121.613	91.204	109.919	382.736	8.7	-50.499	85.792	106.731	243.022	7.7	66.481	109.999	162.081	288.571	8.8
3 郡山	-53.384	231.981	269.921	555.286	15.0	25.971	209.645	251.917	487.533	15.4	205.599	271.899	277.052	754.550	23.0
4 いわき	122.541	321.299	335.948	779.798	21.1	184.970	317.235	334.419	836.624	26.4	294.255	335.413	337.143	966.811	29.5
5 白河	-181.569	25.534	41.533	248.636	6.7	-116.177	20.387	39.401	179.966	5.6	-2.639	41.076	42.931	86.646	2.6
6 原町	-168.711	29.074	43.846	241.631	6.5	-98.375	25.874	41.976	156.225	5.2	8.971	43.843	45.175	97.989	3.0
7 須賀川	-237.838	22.778	51.540	312.156	8.5	-158.929	9.231	43.590	211.750	6.9	15.312	53.805	55.660	124.777	3.8
8 喜多方	-178.087	20.408	36.037	234.532	6.4	-109.793	17.097	34.017	160.907	5.1	-3.140	35.871	37.585	76.696	2.3
9 相馬	-169.773	22.519	36.594	228.886	6.2	-107.580	18.291	34.664	160.535	5.1	3.732	36.585	39.844	78.161	2.4
10 二本松	-239.664	7.568	31.210	278.442	7.5	-174.469	-5.282	25.605	205.356	6.5	-30.401	30.357	33.742	94.500	2.9
合計*	1,488,440	1,000,302	1,209,692	3,698,434	100.0	1,081,349	924,116	1,158,759	3,064,224	100.0	832,548	1,212,638	1,255,785	3,280,971	100.0
%	40.3	27.0	32.7	100.0		34.2	29.2	36.6	100.0		25.4	36.9	37.7	100.0	

*残差の合計は絶対値の合計である。

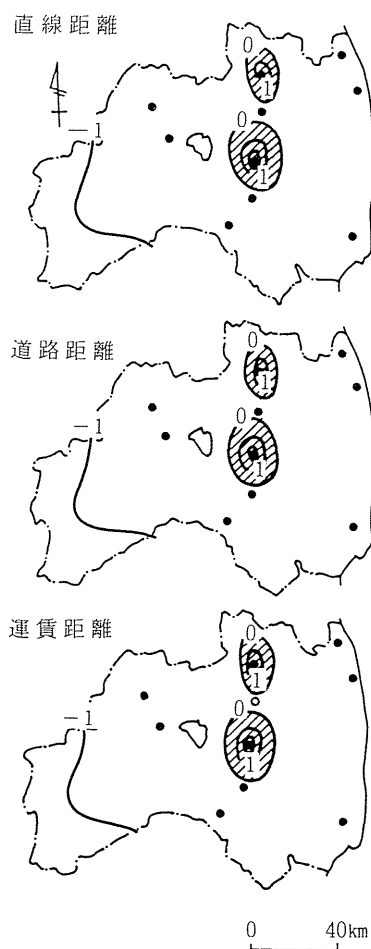
が得られる。2つの上式(6-2, 6-3)は福島県の都市間人口移動に関するモデルであろう。ここで、パラメータ β に相当する値は、都市 i から都市 j へ移動する人口 T_{ij} が都市相互間の距離に従って減衰していく程度を示す係数¹⁹⁾である。上式から転出モデルの β は、転入モデルのそれより大きいことがわかる。換言すれば、本県の都市間人口移動は、転出移動が転入移動に比べ距離の影響をより受けやすいといえる。

III-3 移動人口ポテンシャル場の距離別比較

ここでは、前節で示した修正重力モデルに式(6-1)や式(9-1)から求められた β と γ 、ならびに第4表の W_{ij} を代入して距離測度別の移動人口ポテンシャルを算出する。その結果得られた移動人口ポテンシャル T_{ij} の分布値は、第4図のように地図化できる。この地図における T_{ij} の値は標準化されたものである。

この図から明らかなことは、どの距離測度を用いた場合も、ほとんどが同様のポテンシャル場を形成していることである。これは、ポテンシャルモデルと重力モデルが同種の重力型モデルでありながらも、両モデルの間に差異が認められることであろう²⁰⁾。ただし、修正重力モデルによるポテンシャル場は、一般ポテンシャルモデルによるそのうち、運賃距離の $\alpha=1.0$ のパターンと似ている。

ポテンシャル T_{ij} の分布をみると、郡山が2.0以上の最も高い値をもち、1.0を上回る福島がそれに続いている。 \bar{T}_{ij} を上回るポテンシャル場は、どの距離測度の場合でも、郡山と福島のそれぞれを頂点とする同心円状のパターンを形成している。しかし、負の値の分布は前記の式(3)の場合とかなり異なるパターンを示す。すなわち、 $T_{ij}=-1$ の等値線は会津盆地の西側を南北方向に縦断する形となっている。移動人口の重要なポテンシャル場には、相馬といわき間を通る太平洋の軸でなく、内陸部である福島と白河間を通る軸がより明確に形成されていることがわかる。したがって、式(3)の一般ポテンシャルモデルと式(9)の修正重力モデルは、前者が距離測度によってそれぞれ異なるポテンシ



第4図 修正重力モデルによる移動人口ポテンシャル場
(分布値は標準化されており、斜線部分は T_{ij} を上回るポテンシャル場である。)

ル場を形成するのに対して、後者は距離測度による差異がほとんどなく、この点が両者の最大の相違点であるといえる。

IV おわりに

本研究では、3種類の距離測度による人口ポテンシャル場の差異に着目し、福島県の都市間人口移動を分析対象とすることによって、そのポテンシャルの分布的諸特徴について検討した。モデルとしては一般ポテンシャルモデルと修正重力モデルを用いた。その結果は、以下のようにまとめることができる。

1. 人口ポテンシャル V_i の分布パターンには、距離の測度（直線距離・道路距離・運賃距離）による大きな違いはみられない。ただし、距離パラメータ α 値の増大に伴って各都市の V_i の標準偏差は小さくなり、 V_i は全体的に高くなるが、人口ポテンシャル場の変化は少ない。
2. 福島県の場合、一般ポテンシャルモデルによる \bar{V}_i を上回る人口ポテンシャル場は、郡山を中心に須賀川・二本松・福島一帯に存在する。しかし、修正重力モデルによる \bar{T}_{ij} を上回る移動人口ポテンシャル場には、郡山と福島にそれぞれを中心とする2つの頂点が現われる。
3. V_i と T_{ij} の2つのポテンシャルを分析した結果、本県の最大都市であるいわきは県内の都市群システムとは関連性が薄いことが見いだせた。このことから、都市間人口移動におけるポテンシャル場は、都市規模ばかりでなく、都市間距離・地形的制約・交通ネットワーク・雇用機会などの諸要素を反映する人口移動の潜在的空間と言えよう。
4. 修正重力モデルによる移動人口ポテンシャルの分析において、人口移動量の期待値 $\log(T_{ij}/W_{ij})$ と都市間距離 $\log(d_{ij})$ の間には次のような線型関数が見いだせた。すなわち、都市間人口移動の場合は、 $\log(T_{ij}/W_{ij})=1.870-0.747 \log(d_{ij})$ であり、距離パラメータ β は -0.747 である。また、転出モデルは、 $\log(T_{ij}/W_{ij})=1.910-0.752 \log(d_{ij})$ であり、転入モデルは、 $\log(T_{ij}/W_{ij})=1.746-0.707 \log(d_{ij})$ と表わせる。したがって、それぞれのモデルの距離パラメータはそれぞれ -0.752 、 -0.707 となる。このことから、福島県の場合、転出移動の方が転入移動より距離の影響を受けやすいことが明らかとなった。
5. 修正重力モデルによって構築される都市間人口移動のポテンシャル場は、一般ポテンシャルモデルによって規定されるそれと比較して、距離測度による変化がほとんどない。

本研究では、福島県における都市間人口移動を事例として3つの距離測度によって生じるポテンシャル場の差異について論じてきた。しかし、本研究でとりあげなかった他の距離（時間距離・認知距離など）についても距離パラメータを様々に変化させて分析を試みる必要がある。さらには、分析対象を広域あるいは国家レベルにまで広げて試みる必要もあろう。これらは、今後の課題としたい。

本研究のための現地資料調査の折には、福島県企画調整部統計調査課の方々にも多大なる御協力を賜わった。また、本稿作成に際して、筑波大学文部技官の宮坂和人氏と井上孝氏に製図や和文修正をお願いした。記して厚く御礼を申し上げます。本拙論を今春筑波大学を定年退官される山本正三先生に献呈致します。

注・参考文献

- 1) 伊藤 悟・南 榮佑 (1982) : 空間的相互作用モデルにおける距離パラメータの地域パターンおよびそれに関連する社会・経済的特性—ソウルの事例—, 東北地理, 34, 236~245.
- 2) 石川義孝 (1988) : 『空間的相互作用モデル—その系譜と体系—』 地人書房, 東京, 245ページ.
- 3) 市南文一 (1981) : 都市内家族移動の諸属性の検討—秋田市中央部における場合—. 人文地理学研究, V, 139~163.
森川 洋 (1985) : 人口移動からみたわが国の都市システム, 人文地理, 37, 20~38.
村山祐司 (1990) : 戦後日本における人口移動の時空間分析—T型Dyadic因子分析法を用いて—. 人文地理学研究, XV, 169~188.
Morrill, R. L. (1965) : *Migration and The Spread and Growth of Urban Settlement*. Lund Studies in Geography. Ser. B, 26, C. W. K. Gleerup, Lund, 208p.
- 4) 距離の測度としては, 物理的距離・所要時間・運賃・経済的結びつき・心理的距離・サービス頻度などが考えられる.
Lowe, J. C. and Moryadas, S. (1975) : *The Geography of Movement*. Houghton Mifflin, Boston.
- 5) 福島県 (1978) : 『福島県の人口』
- 6) 信国眞載 (1977) : ポテンシャル・モデル. 『地域経済の計量分析』 勁草書房, 東京, 72~104.
Clark, C., Wilson, F. and Bradleg, J. (1969) : Industrial location and economic potential, *Regional Studies*, 3, 197~212.
- 7) Isard, W. (1960) : *Methods of Regional Analysis : An Introduction to Regional Science*. M.I.T. Press, Cambridge, 493~568.
Black, W. (1972) : Interregional community flows, some experiments with the gravity model, *Journal of Regional Science*, 12, 107~118.
- 8) Carrothers, G. A. P. (1956) : An historical review of the gravity and potential concepts of human interaction, *Journal of the American Institute of Planners*, 22, 94~102.
- 9) 前掲2), 13~17.
- 10) Batty, M. and Mackie, S. (1972) : The calibration of gravity, entropy and related models of spatial interaction, *Environment and Planning*, 4, 205~234.
- 11) Zipf, G. K. (1949) : *Human Behaviour and the Principle of Least Effort*. Cambridge University Press, Cambridge.
- 12) 南亮三郎・館 稔 (1965) : 『人口都市化の理論と分析』 勁草書房, 東京.
鈴木啓祐 (1969) : 『物資輸送量の計測と予測』 交通日本社, 東京.
- 13) 石水照雄 (1979) : 都市間人口移動に対する地理的場の分析新潟県都市群の事例, 東北地理, 31, 205~221.
大関泰宏 (1989) : 福島県における都市人口移動の地域的差異, 地域調査報告, 11, 83~91.
井上 孝 (1989) : 郡山市における都市内人口移動の特性, 地域調査報告, 11, 93~105.
- 14) 空間上で距離減衰原理 (principle of distance-decay) が作用する場合, 距離パラメータ α の値は, 一般に $0.2 < \alpha < 2.0$ の範囲内にある. これに関しては, 次の論文に詳述されている.
Hägerstrand, T. (1957) : *Migration and area : survey of a sample of Swedish migration fields and hypothetical considerations on their genesis*. Lund Studies in Geography, Ser. B, 13, C. W. K. Gleerup, Lund, 27~158.
Holsman, A. J. (1975) : Interstate interaction patterns in Australia, *Australian Geographical Studies*, 13, 41~61.
Groth, A. and Kushman, J. (1983) : A gravity model of foreign travel by citizens of Warsaw Pact states, *The Social Science Journal*, 20, 71~79.
Haynes, K. E. and Fotheringham, A. S. (1984) : *Gravity and Spatial Interaction Models*. Sage, New York, 58~60.
- 15) ここでいう人口ポテンシャル V_i は平均値 (\bar{V}_i) が 0, 標準偏差が 1 となるように標準化された値である..
- 16) Leontief, W. W. and Strout, A. (1961) : Multiregional input-output analysis, *The Review of Economics and Statistics*. この論文

は次の文献に掲載されている。

Barna, T. (1963) : *Structural Interdependence and Economic Development*. MacMillan, London, 119~150.

17) 前掲1).

伊藤 悟(1982) : 東京都市圏における空間的相互作用モデルの距離パラメータの地域的分析. 地理評, 55, 673~689.

南 綏佑 (1984) : ソウルにおける距離パラメータの分布パターン. 地理学研究, 9, 82~96 (韓文).

18) 右辺は式(5)より得られる.

19) この係数は, 距離パラメータ(distance parameter), 距離指数 (distance exponent), 距離減衰パラメータ (distance-decay parameter) などと呼ばれる場合もある.

Haggett, P., Cliff, A. D. and Frey, A. (1977) : *Locational Models*. Arnolds, London, 26~63.

20) これは, 第4図と前章の第2図を比較すればわかることである.

A Comparison of Population Potential Fields by Kinds of Distance Measures : The Case in Inter-Urban Migration of Fukushima Prefecture

Young-Woo NAM

Most of deterministic models are founded on the notion that the rate of flow of matter and energy can be used to construct model equations which predict how the structure of the physical landscape evolves. This paper has outlined an approach for understanding the inter-urban migration as well as providing a framework for estimating the population potential of cities in Fukushima Prefecture. An important contribution of the method is the way hypotheses concerning the inter-urban migration are synthesized, suggestive of a possible generalization to the fields of the inter-urban migration.

Potential model is a kind of the family of gravity models are so called because they were based initially on a formula similar to the Newtonian law of gravitation. General potential model is expressed by the formula commonly :

$$V_i = k \sum_{j=1}^n P_j / (d_{ij})^\alpha$$

where V_i is a population potential, k is a constant, P_j is the population of city j , d_{ij} is the distance between city i and j , and α is a distance parameter. And modified gravity model is used in this paper so as to clarify the characters on migrating population (T_{ij}), which gives the formula :

$$T_{ij} = \frac{S_i \cdot D_j}{X} \cdot \frac{e^\gamma}{(d_{ij})^\beta}$$

where T_{ij} is a migrating population potential, X is total migrating population, D_j is a demand pool of migration in city j , S_i is a supply pool of migration in city i , d_{ij} is the distance between city i and city j , β is a distance parameter, and γ is a constant.

Some problems arise over the question of distance in these two models, although in a small area like Fukushima Prefecture where transport networks are not good as well as

Kanto district.

In general, distance (d_{ij}) is measured in geographical distance, but distance does not necessarily have to be measured in spatial units. Economic distance may be of much greater importance.

The patterns of population potentials V_i is affected for a little by the kind of distance ; straight distance, road distance, and fare distance. But the patterns of migrating population potentials T_{ij} is not affected at all by the kind of distances. This is identified the same result by both models, general potential model and modified gravity model, the ratio $\log (T_{ij}/W_{ij})$ and the distance $\log (d_{ij})$ provide the equation of a straight line of $\log (T_{ij}/W_{ij}) = 1.870 - 0.747 \log (d_{ij})$, where $\log (T_{ij}/W_{ij})$ means the ratio of observed volume and expected volume in the inter-urban migration. The equation of out-migration is $\log (T_{ij}/W_{ij}) = 1.910 - 0.752 \log (d_{ij})$ and the equation of in-migration is $\log (T_{ij}/W_{ij}) = 1.746 - 0.707 \log (d_{ij})$. These results mean that out-migration is more easily influenced by the distance than in-migration in this area.