

# ポテンシャルモデルによる平地農村の集落分布パターン解析

中園真人\*・有田禎之\*\*・高海克彦\*・栗山 憲\*\*\*

## Analysis of the Distributional Pattern of Houses in Rural Area by Potential Models

Mahito NAKAZONO, Yoshiyuki ARITA, Katuhiko TAKAMI  
and Ken KURIYAMA

### Abstract

It is well known that there are some distributional patterns of houses in rural areas. This paper presents a method which explain the patterns by Morishita's  $I_{\delta}$  and potential model, and applies the method to actual data of observations. The results are as follows.

The models are effective method which explain the difference of distributional patterns. In case study, Saga-district is presented as concentrated type by Morishita's  $I_{\delta}$  and presented as pulled type by potential model. The difference of concentration is showed by  $I_{\delta}$  and parameter  $(\alpha, \beta)$ .

### 1. はじめに

農村空間は地形・地質（土壌）・気候等の自然を基盤とし、永年の自然＝土地を直接対象とした人間の生産活動の蓄積の上に成立している歴史を包含した一つの体系であり、農村景観はこの体系の空間的表象である。従って農村景観は第一義的には自然条件、とりわけ地形条件に規定されるが、農村集落を立地する場の地形により区分すれば、大きくは山間地農村・丘陵地（盆地）農村・平地農村に区分される。山間地農村の景観は山岳地形と森林植生の自然条件に第一義的に規定され、また丘陵地農村では丘陵の地形・植生、農耕地の土地利用形態（畑作・水田）や作目が集落形態とともに主要な景観構成要素となる。一方平地農村特に平野の水田地帯の場合には、地形や自然植生よりも生活の拠点である農家の屋敷構えや共同体としての集落の空間形態、さらには集落の分布形態が農村景観を特徴付ける景観構成要素である。

この農村集落の歴史的・社会的・空間的諸関係に関しては、史学、社会学、地理学、建築学等の分野での研究成果の蓄積があるが、集落の空間形態分類に関してはこれまで集村・散村、塊村・列村といった定性的分類法が主であり、集居の場合の屋敷の集中度や集落の相対距離、散居の場合の屋敷の配置パターン等の、平地農村の景観特性を規定する空間的相互関係に関する数理統計学的アプローチは少ない。

本論は以上の視点から平地農村の地域景観を構成する主要な要素である集落分布形態の定量的判別方法に関し、森下の集中度指数及び最小A I C法によるポテンシャルモデル選択法の適用妥当性の検討を行い、佐賀平野を対象に両手法を用いて集落分布パターン解析を行うものである。

分析に使用する資料は、国土地理院発行の国土基本図（1/2,500）である。

### 2. 区画法によるパターン分類法

平面上の有界領域内に点が相互独立に、どの地点にも同一の生起確率で出現するとき、生起した点配置をポアソン分布と呼び、個体間に相互作用が全く働かない場合に相当する。個体間に反発的相互作用が働く場

\*社会建設工学科

\*\*パシフィックコンサルタント

\*\*\*共通講座

合には、最終的に各個体が他と互いに一定の距離を保つ配置パターンが現れ、これを規則型配置と呼ぶ。逆に個体間に誘因作用が働く場合には、多数の個体が存在すると所々に個体が集中する配置が出現し、これを集中型配置と呼ぶ。

与えられた配置の個体間相互作用を推定する方法の一つとして、その配置がポアソン分布と同一かあるいはどの程度偏りがあるかを、集中度指数で表示する手法がある。集中度指数はデータタイプに応じて種々提案されているが、平面領域を等面積の区画に分割し各区画に含まれる個体数を算定する区画法はその代表的手法である。

本論では区画法による集中度指数として、森下の指数  $I_\delta$  を用いる。これは、 $q$  個の等面積区画における各区画内の個体数を  $n_i$  ( $i=1,2,\dots,q$ ) とするとき、

$$I_\delta = q \cdot \delta \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\delta = \frac{\sum_{i=1}^q n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

$$N = \sum_{i=1}^q n_i$$

で定義される量で、点配置パターンがポアソン型・規則型・集中型に応じてそれぞれ  $I_\delta = 1$ ,  $I_\delta < 1$ ,  $I_\delta > 1$  となる。また区画の大きさに対する  $I_\delta$  の変化から、配置パターンの詳細な構造を知る事ができる。

ここで集落分布形態の異なる3地区をとりあげ  $I_\delta$  を算定する。対象としたのは佐賀平野(集居村)、簸川平

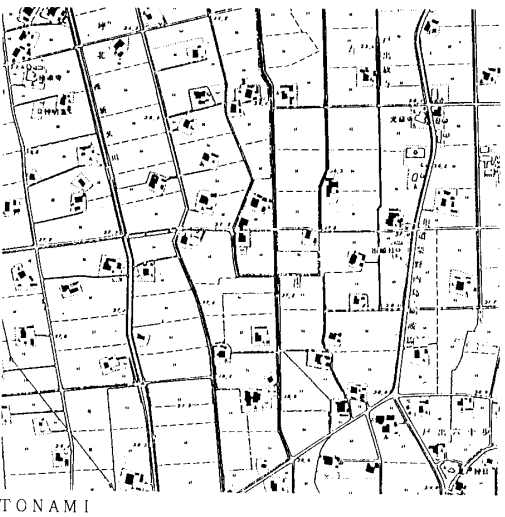
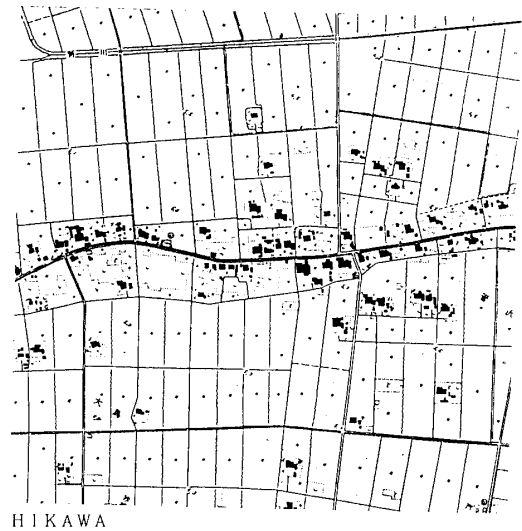


Fig. - 1 Mesh maps of sample arers

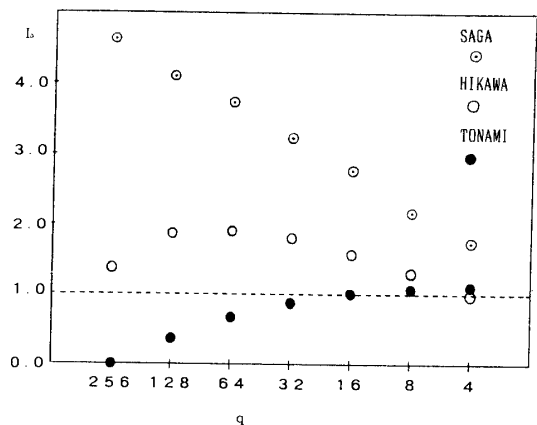
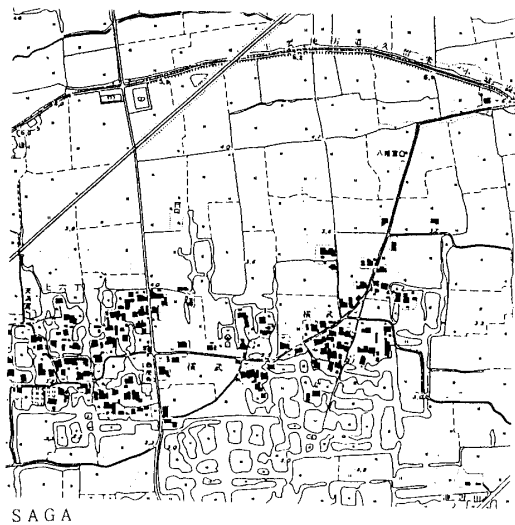


Fig. - 2 Artificial populations and corresponding  $I_\delta$ -quadrat size relation

野(列村), 砺波平野(散居村)で国土基本図から典型集落を抽出し, 一辺1kmの正方形領域を設定した(Fig. - 1). この領域を等面積区画に分割したときの $I_\delta$ の振舞いを Fig. - 2に示す. 佐賀は典型的な集中型を示し, また簸川は集中型ではあるが, 区画数が64を越えると $I_\delta$ が減少している. これは列村で家屋間の相対距離が筑紫よりも長い点が影響しているためである. 砺波は区画数の増加とともに $I_\delta$ が0に収束してゆく典型的な規則型を示す. これより集落分布パターンの相違が森下の集中度指数により定量的に表現されることがわかる.

3. 最小AIC法によるポテンシャルモデル選択法

区画法は配置パターンに関しては部分的な情報しか含まないデータに基づくものであり, 詳細な解析のためには各個体の位置座標がデータとして与えられる必要がある.

ここで位置座標が確定した点配置パターンが一つのポテンシャル関数で特徴付けられると仮定し, N個の個体が面積Vの平面領域内に存在するとする. そして, 推定するポテンシャル関数は2個体間の距離rのみの関数であり, その形状及びスケールはパラメータ $\theta$ で規定されるとして, そのポテンシャル関数の族を $\{\Phi_\theta(r); \theta \in \Theta\}$ と表す( $\Theta$ は適当なパラメータ空間). また各個体の位置座標 $X_i (i=1, 2, \dots, N)$ をまとめてXで表す.

平衡状態の統計力学によれば, パラメータ値 $\theta = \theta_0$ に対応するポテンシャル $\Phi_{\theta_0}(r)$ の下での配置Xの確率分布はギブス分布

$$\exp \{-U(X; \theta_0)\} / Z_N(\theta_0) \dots \dots \dots (2)$$

で与えられる. ここで $U(X; \theta_0)$ は全ポテンシャルエネルギーで, 2個体間のポテンシャルエネルギーの和

$$U(X; \theta_0) = \sum_{i < j} \Phi_{\theta_0}(|\vec{X}_i - \vec{X}_j|) \dots \dots \dots (3)$$

で表される. また $Z_N(\theta_0)$ は配位分配関数で,

$$Z_N(\theta_0) = \int_{V^N} \exp \{-U(X; \theta_0)\} d\vec{x}_1 \dots \dots \dots (4)$$

で表される.

いまデータXが与えられたとすると, このときXを式(2)に代入して得られる関数を $\theta$ の関数とみなせ

ば,

$$L(\theta; X) = \exp \{-U(X; \theta)\} / Z_N(\theta) \dots \dots \dots (5)$$

は $\theta$ の尤度関数となる. そこでパラメータ $\theta$ で規定されるポテンシャル関数のいくつかのモデルを用意し, モデルの選択基準として情報量規準AICを用いる. これは,

$$AIC = -2(\text{モデルの最大対数尤度}) + 2(\text{モデルのパラメーター数}) \dots \dots \dots (6)$$

で定義されるもので, このAICを最小にするモデルが最適なモデルであり, そのときの対数尤度を最大にするパラメータ値が推定値となる.

ところで尤度関数(5)の分母にある配位分配関数を解析的に求めるのは一般に容易ではない. そのためいくつかの近似法が考案されており, 点配置が希薄気体とみなせる場合には, 近似

$$Z_N(\theta) \approx V^N (1 - a(\theta)/V)^{N(N-1)/2} \dots \dots \dots (7)$$

を利用できる. ここで,

$$a(\theta) = \int_0^\infty 2\pi r [1 - \exp \{-\Phi_\theta(r)\}] dr \dots \dots \dots (8)$$

であり, 式(7)の近似のもとでは対数尤度は,

$$\log L(\theta; X) = -\sum_{i < j} \Phi_\theta(|\vec{X}_i - \vec{X}_j|) - \frac{1}{2} \cdot N(N-1) \log \{1 - a(\theta)/V\} \dots \dots \dots (9)$$

となる.

ここで典型的なポテンシャル関数として, 次の3つのモデルをとりあげる.

- [1]  $\Phi_\theta(r) = -\log \{1 + (\alpha r - 1) e^{-\beta r^2}\},$   
 $\theta = (\alpha, \beta), \alpha \geq 0, \beta > 0$
- [2]  $\Phi_\theta(r) = -\log \{1 + (\alpha - 1) e^{-\beta r^2}\},$   
 $\theta = (\alpha, \beta), \alpha \geq 0, \beta > 0$
- [3]  $\Phi_\theta(r) = \alpha (\beta / r)^n,$   
 $\theta = (\alpha, \beta), \alpha \geq 0, \beta > 0$

ここでモデル3については $n=3$ とした. これらはパラメータ値を変えることにより, 反発型, 誘引型, 反発誘引混合型のいずれの相互作用をも表すことができ, ポアソンモデル( $\Phi_\theta(r) \equiv 0$ )も含んでいる(Fig.-3).

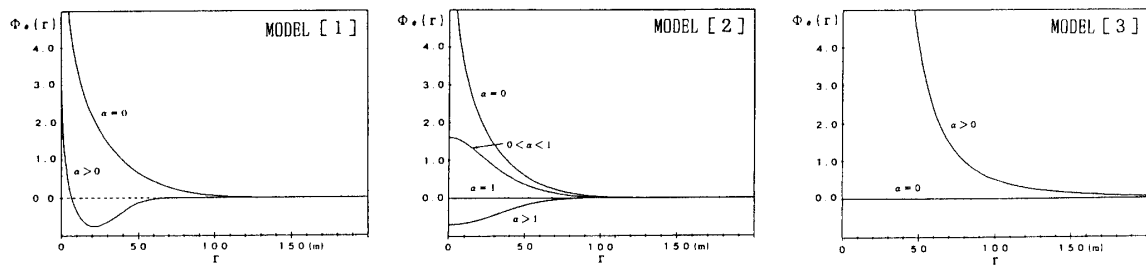


Fig. - 3 Patterns of potential model shape

Table-1 Parameter and AIC of potential model

	MODEL	$\alpha$	$\beta$	AIC
SAGA	{ 1 }	10.27	35.41	-120.24
	{ 2 }	1.00	6.28	4.00
	{ 3 }	0.00	0.00	0.00
HIKAWA	{ 1 }	5.19	19.45	-28.13
	{ 2 }	1.00	6.28	4.00
	{ 3 }	0.00	0.00	0.00
TONAMI	{ 1 }	3.32	13.57	-27.16
	{ 2 }	0.00	3.14	-16.29
	{ 3 }	8.83	0.30	-28.96

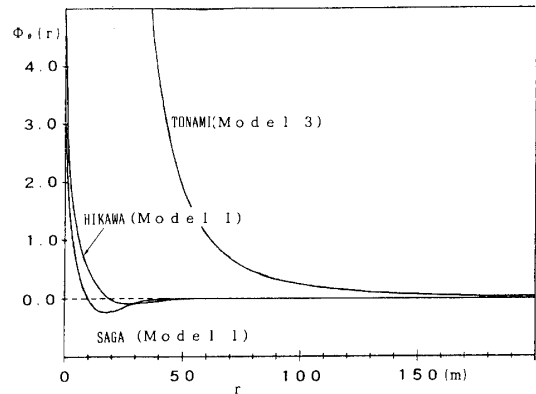


Fig. - 4 Shape of selected potential model

以上の手順により前述の3地区についてパラメータ推定を行った結果を Table-1 に示す。これより佐賀、簸川はモデル1が選択され、砺波はモデル3が選択される。Fig. - 4 に選択ポテンシャル関数の形状を示すが、佐賀・簸川は誘引型の形状で、佐賀は相対距離約17mで、簸川は約28mでポテンシャルエネルギーが最小となり最も安定し、また砺波は純反発型の形状で、直径約40mの殻を持つことが明らかとなった。区画法において同じ集中型を示しながら、集中度指数に相違がみられた佐賀・簸川の両地区の関数形状を比較すると、簸川に比べ佐賀はより短い相対距離で安定しておりその安定度も高い。Fig. - 5 の2点間の最短距離分布にもこの傾向が表れており、佐賀は大半が50m以下で特に10~20m間に4割以上が集中し、一方簸川は30~60m間に分散している。これは佐賀の分布が塊状であるのに対し、簸川は列状に集中しているためである。また砺波は相対的に分散が大きい、40m以下のケースは皆無で、ポテンシャル関数の形状から見出された直径約40mの殻の存在を裏付けている。

これより集落分布パターンの相違はポテンシャル関数のモデルタイプ及びパラメータ値により明示的に表

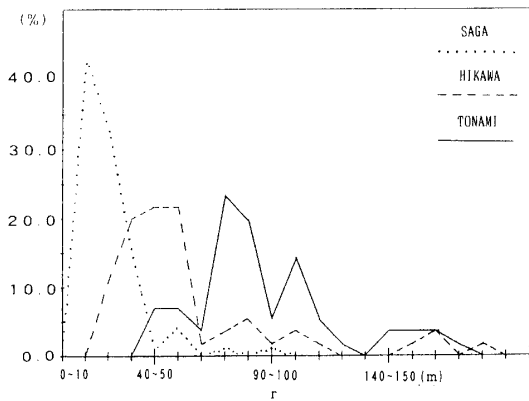


Fig. - 5 Histogram of shortest length between two points

現できることがわかる。

#### 4. 佐賀平野を対象としたケーススタディ

本章では両手法を適用して広域平野部の集落分布パ

ターンの解析を行う。対象は集居型集落分布の典型地域である佐賀平野全域である。Fig. - 6 に対象区域を示すが、佐賀市を中心とし、筑後川、有明海、牛津川、背振山地に囲まれた面積約378km<sup>2</sup>のエリアを設定した。ただし背振山地沿いは標高30m以上は除外し、また建築物が集中する市街地帯も対象外とした。

4.1 4 kmメッシュを単位とした集中度分析

まず全体的な分布パターンを知るため、対象区域を4 kmメッシュに地域区分し(Fig. - 6)、各メッシュについて区画法により集中度指数を求めた(Fig. - 7)。これより全ての地区が集中型に分類されることがわかるが、区画数に対するの変化の様子から、地域的に3つのブロックに区分される。特に高い集中度を示す南部ブロックは有明海に面した干拓地を含み、列状の計画的に建設された新村が多い地域である。東部ブロックの集中度は南部ほど高くはないが、区画数512の場合の $I_{\delta}$ は3.0~5.0と高い値の範囲にあり、塊村を主とした集居村地域である。また相対的に集中度が低い佐賀市周辺の西部ブロックにおいても $I_{\delta}$ は3.0前後で典型的な集中型である。

4.2 典型地区の分布パターン

つぎに同じ集中型でありながら、4 kmメッシュでの集中度指数の変化に差異が見られる2地区を、2 km、1 kmメッシュの小区域に分割して分布パターンの相違を明らかにする。ここでは干拓地を含む南部地域を除き、4 kmメッシュで比較的高い集中度を示すF地区と、集中度の低いJ地区を対象とした。Fig. - 8 に両地区の家屋分布とメッシュ分割線及び番号を示す。

区画法により2 km、1 kmメッシュの集中度指数を算定し、 $q = 256$ の場合の $I_{\delta}$ の値を比較すると(Fig. - 9)、F地区では2 km分割の場合、集中度指数5付近に3メッシュが集中するが、1メッシュは10を上回る。1 km分割では $I_{\delta}$ が4を下回るのは3メッシュのみで、10を越える集中度の高いメッシュも3例あり、2 kmの場合よりも集中度が高くかつ分散も大きい。一方J地区では2 km分割の場合、 $I_{\delta}$ は全て5を下回り、1 km分割の場合にも7を越えるものはなく分散も小さい。これよりJ地区より集中度の高いF地区は2 km、1 kmいずれのメッシュにおいても集中度指数が高く、メッシュを細分割してゆくと $I_{\delta}$ の分散が大きくなることが確認された。

次にA I C法によるポテンシャルモデル選択を行った結果を Table - 2 に、また4 kmメッシュの選択ポテンシャル関数を Fig. - 10に示す。ここで、F、J地区

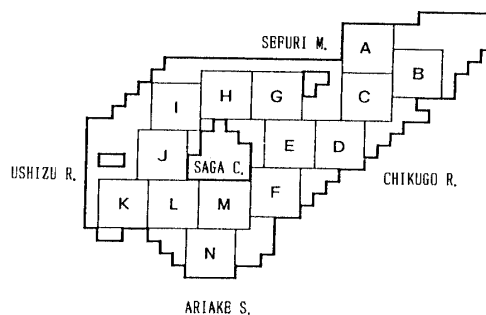


Fig. - 6 Map of analysis area in Saga pre.

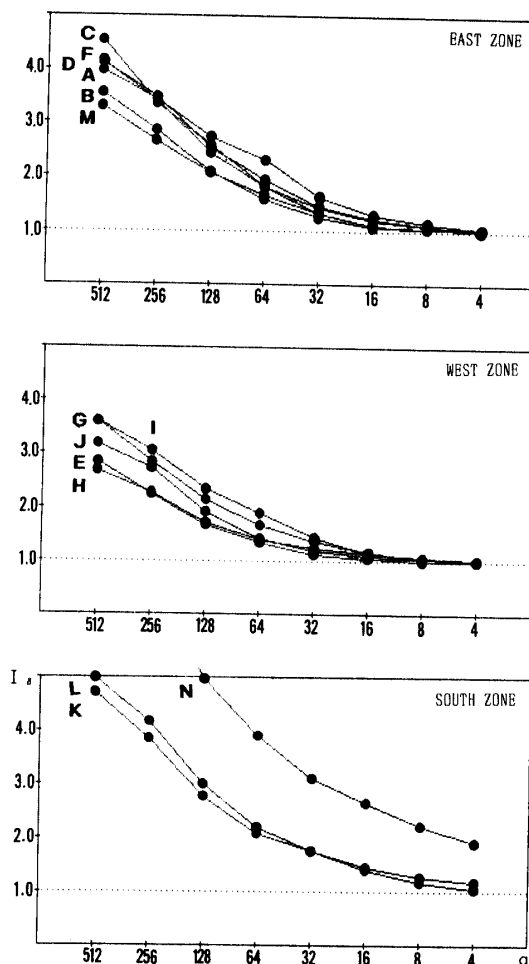


Fig. - 7 Artificial populations and corresponding  $I_{\delta}$ -quadrat size relation of three zones in Saga Pre.

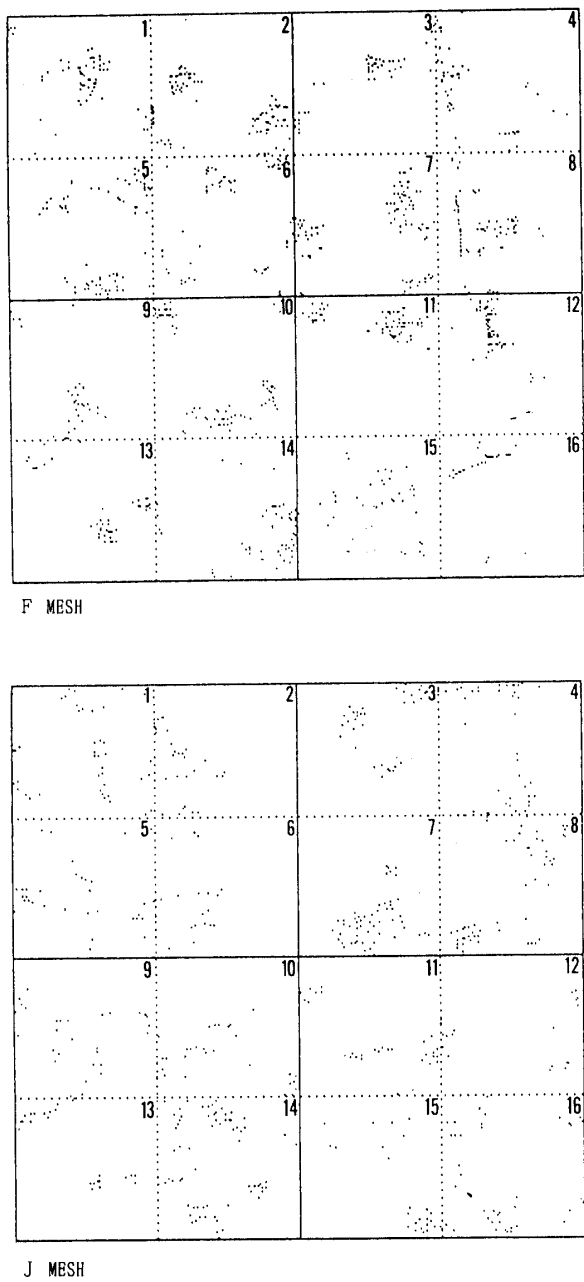


Fig. - 8 Distributional patterns of houses in F and J mesh

の4 km, 2 km, 1 kmメッシュとも, モデル2のパラメータ推定値は  $\alpha=1.00, \beta=6.28$  で,  $AIC=4.00$  となる。またモデル3は  $\alpha=0, \beta=0$  のとき  $AIC (=0)$  が最小となり, ともにモデル1の  $AIC$  より大きな値となるため, ポテンシャル関数としては全てモデル1が選択される。従ってモデル2, 3の結果は省略している。

集中度の高いF地区では, 4 kmメッシュのパラメー

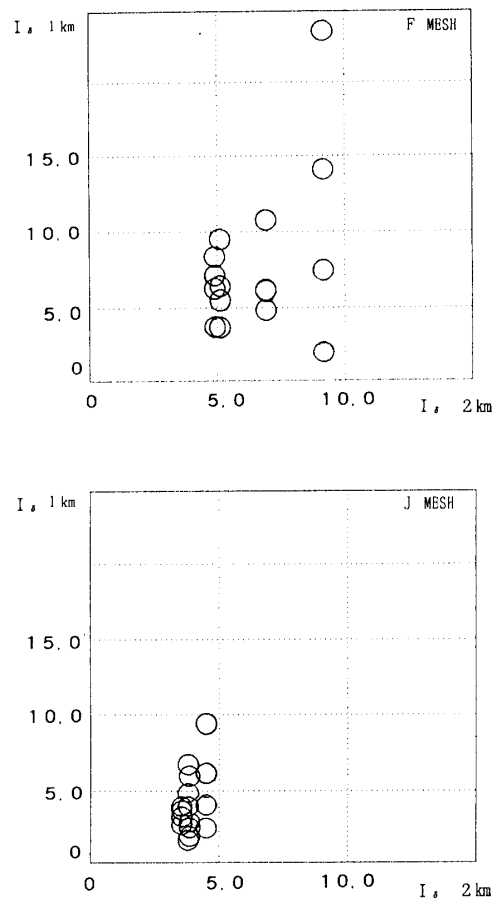


Fig. - 9  $I_{\delta}$ -quadrat size relation between 1km and 2km mesh

タ  $\alpha$  の値は11.72, 2 kmでは10.21~13.93とやや分散し, 1 kmでは6.38~17.00とさらに分散が大きいが, 平均値は2 kmで11.82, 1 kmで11.23となりともに4 kmの場合のパラメータ値と同程度の値である。一方J地区の場合には4 kmの  $\alpha$  値は7.25でF地区よりもかなり小さく, 2 kmの場合も6.91~7.59とパラメータ値, 分散ともに小さい。1 kmの場合も1メッシュを除き5.67~8.30とF地区に比べ類似性が高い。 $\alpha$  の平均値は2 kmで7.26, 1 kmで7.30とF地区同様4 kmのパラメータ値と同程度の値をとる。このように  $I_{\delta}$  と同様集中度の高いF地区のほうが  $\alpha$  の分散が大きくなることがわかる。

#### 4.3 1 kmメッシュを単位とした分布パターン分類

F, J地区の1 kmメッシュの集中度指数  $I_{\delta}$ , パラメータ推定値  $\alpha$ , メッシュ内家屋数  $N$  及び森下の集中型の分布パターン細分類  $C^i$  を変数とするクラスター分析により (Fig. - 11), 32メッシュをA~Fの6タイプに分類した。Table - 3に各タイプのクラスター指標の平均

Table-2 Parameter and AIC of potential model

MODEL	F			J			
	$\alpha$	$\beta$	AIC	$\alpha$	$\beta$	AIC	
4 km	11.72	36.82	-736.91	7.25	25.92	-259.62	
2km-1	11.85	40.37	-263.94	7.10	25.45	-42.78	
	2	10.21	35.22	-206.79	6.91	24.85	-100.00
	3	11.28	38.58	-121.87	7.44	26.52	-70.05
	4	13.93	46.90	-150.32	7.59	26.97	-43.33
1km-1	11.42	39.02	-39.55	6.62	23.94	-16.40	
	2	13.68	46.12	-112.23	7.94	28.09	-6.50
	3	8.56	30.04	-24.35	6.61	23.91	-12.86
	4	11.22	38.40	-26.22	5.78	21.30	-15.06
	5	9.38	32.61	-59.70	7.03	25.23	-9.38
	6	11.01	37.74	-46.15	6.00	21.99	-0.03
	7	9.16	31.92	-91.39	6.66	24.06	-26.71
	8	11.70	39.90	-64.05	7.12	25.51	-32.42
	9	8.82	30.85	-9.53	7.34	26.20	-9.11
	10	10.94	37.52	-56.63	6.55	23.72	-5.49
	11	11.37	38.87	-60.34	6.79	24.47	-8.62
	12	15.31	51.28	-67.08	14.26	47.94	-1.97
	13	13.61	45.90	-21.09	8.30	29.22	-4.67
	14	10.05	34.71	-27.85	7.15	25.64	-48.47
	15	6.38	23.19	-10.68	5.67	20.95	-4.04
	16	17.00	56.56	-12.00	7.04	25.26	-19.37

値を示す。これよりタイプの特徴を整理すると以下のようになる。

TYPE-A：個数が少なく，集中度が高く，小さな塊で集落が形成されているタイプ。(11)

TYPE-B：個数が少なく，集中度が低く，大きな塊で集落が形成されているタイプ。(9)

TYPE-C：個数が多く，集中度が高く，小さな塊で集落が形成されているタイプ。(8)

TYPE-D：個数が少なく，集中度が高いタイプ。(1)

TYPE-E：個数が多く，集中度が特に高く，小さな塊で集落が形成されているタイプ。(2)

TYPE-F：個数が少なく，集中度が特に高く，小さな塊で集落が形成されているタイプ。(1)

(1)

Table-3 Average of  $I_\delta$ ,  $\alpha$ , N

	$I_\delta$	$\alpha$	N	$C_{a1}$	$C_{a2}$	$C_{b1}$	$C_{b2}$	OTHER
TYPE A	5.28	7.85	38.18	3	8	-	-	-
TYPE B	2.89	6.72	39.89	-	-	3	3	3
TYPE C	6.89	11.09	71.88	5	3	-	-	-
TYPE D	9.43	14.20	20.00	-	-	-	-	1
TYPE E	12.43	14.45	52.50	2	-	-	-	-
TYPE F	23.63	17.00	26.00	-	1	-	-	-

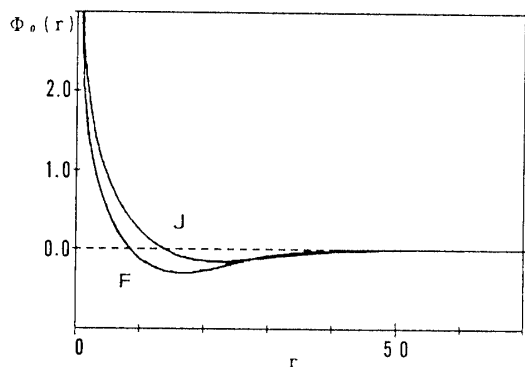


Fig. -10 Shape of selected potential model of F and J mesh

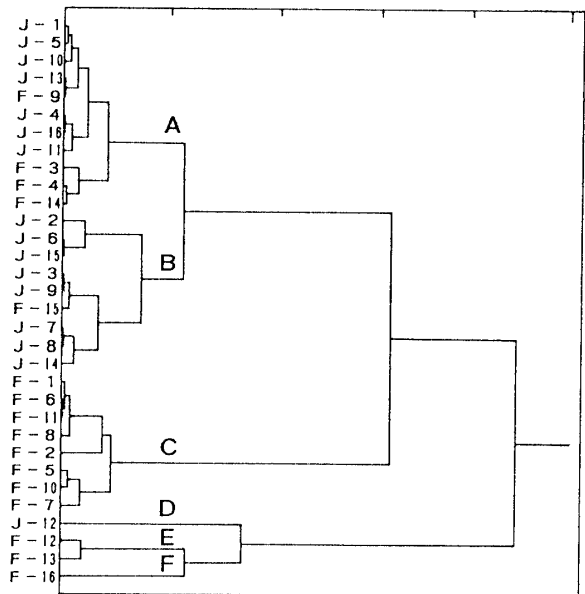


Fig. -11 Dendrogram of mesh-type cluster

2 地区の各メッシュがどのタイプに属するかを示したのが Fig. -12であるが、F地区は集中度が高く個数も多い TYPE-C が半数を占めており、集中度が低くかつ大きな塊の TYPE-B は1メッシュのみである。これに対し J 地区は TYPE-B が半数あり、この分布形態の相違が両地区の集中度指数、ポテンシャルモデルのパラメータ値の差をもたらす要因であることを示す。

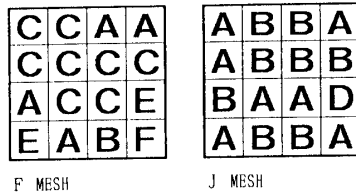


Fig. -12 Distribution of mesh types in F and J mesh

5. 結論

本論では、生物学・数理統計学における点配置パターン解析手法を適用して、平地農村の集落分布パターンの解析を行い、以下の知見を得た。

- 1) 区画法（森下の集中度指数）及び最小A I Cによるポテンシャル関数選択法は、集落分布パターンの定量的判別方法として有効である。
- 2) 集居型平地農村（佐賀平野）は区画法では典型的な集中型を示し、ポテンシャル関数は誘引型が選択される。また地域的な集居パターンの差異は指数値  $I_{\delta}$  及びパラメータ値  $\alpha, \beta$  で表現できる。
- 3) この地域的な集居パターンの差異は、TYPE-B(個数が少なく、集中度が低く、大きな塊で集落が形成されているタイプ) 及びTYPE-C(個数が多く、集中度が高く、小さな塊で集落が形成されているタイプ) の分布の差によりもたらされる。

注1) 森下の区画法による集中型の細分類Cは以下の通りである。

C a1 : 小さな塊で形成され分布はランダム

C a2 : 小さな塊で形成され分布はユニフォーム

C b1 : 大きな塊で形成され分布はランダム

C b2 : 大きな塊で形成され分布はユニフォーム

下図に各タイプの区画数と集中度指数の関係を示す。

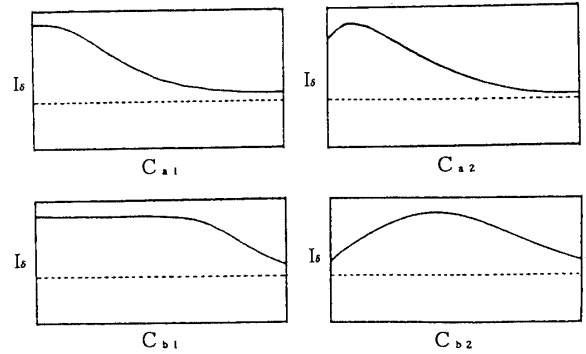


Fig. -13 Types of artificial populations and corresponding  $I_{\delta}$ -quadrat size relation

参考文献

- 1) Measuring of the Dispersion of Individuals and Analysis of the Distributional Patterns: Masaki MORISHITA, Mem. Fac. Kyushu Univ., Ser. E(Biol.) Vol.2, No.4 pp.215-235, 1959
- 2) 統計的検定の新しい考え方: 赤池弘治, 数理科学 NO.198 pp.51-57, 1979.12
- 3) 点の空間配置パターンを測る - なわばりの生態学 - : 種村正美・尾形良彦, 数理科学 NO.213 pp.11-16, 1981.03
- 4) Geometrical Models of Territory I. Models for Synchronous and Asynchronous Settlement of Territories: MASAHARU TANEMURA AND MASAMI HASEGAWA, J. theor. Biol. 82 pp.477-496, 1980
- 5) 平地農村の景観構造に関する基礎的研究(1)(2): 中園眞人・有田禎之, 日本建築学会中国支部研究報告集 第16巻 pp.193-200, 1991.03

(平成3年4月15日受理)