

## 人間活動分布の時空間解析に関する研究

### —— ニッチ分析による ——

岡田憲夫・梶谷義雄\*・多々納裕一

\* 京都大学大学院工学研究科

#### 要 旨

本研究では年齢層空間分布重なり合いを「居合わせ交流度」としてとらえ、地域コミュニティの活力に影響を及ぼす生活の質的水準を表す指標とした。このような分析視点は災害の被害を受けた地域における非物理的なコミュニティの変容を分析する上で有効である。ケーススタディ地域において年齢層別人口の時間・空間分布の重なり合いを表す交流評価指標を用いた結果、復興の遅い地域では交流度が低いあるいは交流度低下度合いが大きいなどの知見が得られた。この際、生態統計学分野で用いられているニッチ重なり合い指標を居合わせ交流度の指標として着目し、空間統計学的な観点から再解釈することを試みた。

キーワード：時空間分析，災害復興過程，ニッチ分析，GIS

#### 1. はじめに

阪神大震災では多くの地域が人的・物的被害を受けた。しかし、このような被害とその後遺症に苦しみながらも、多くのコミュニティではよりよい地域を目指し、復興に向けての努力を行っている。その結果、いくつかの地域においては区画整理などを通し、震災以前の住環境よりも表面上ははるかに整備の行き届いた地域を実現しつつある。ただし、人口分布の変化などに反映されているように、被災地域には復興の比較的早いコミュニティもあれば、やや復興が停滞しているコミュニティも存在するといわれる。もちろん被害の大きさが影響していることが予想されるが、このように復興に地域的な差異が生じる一つの要因として、コミュニティの活力状態の違いが考えられる。しかし、地域コミュニティは時間的・空間的に刻一刻と変化することが予想され、また物理的な現象として捉えられないため、その状態を評価することは必ずしも容易ではない。そこで本研究では、この種のコミュニティ活性度の問題を異

なる年齢層の「居合わせ交流度」としてみたコミュニティの活動ポテンシャルの問題として解釈することが有効であることを示す。

岡田・前川(1997)は生き物としてみた人間活動の住み合わせの場としてコミュニティを捉え、その状態を生態学的指標であるニッチ重なり合い指数を用いて評価することを提案している。そこでは、コミュニティを構成する年齢層を異なる生物種と見なし、その空間的な重なり合いがコミュニティの活動リスクを評価する指標になり得ることを指摘している。上述した活動ポテンシャルの問題もこのように異なる属性を持つ人間の棲み分け、共棲といった生物学的な行動として捉えることが有用であろう。例えばお年寄りと若者との交流が盛んな地域は、緊急時の避難・救助、日常生活における助け合いなど様々な面においてより安心・安全な地域と考えられる。本研究では、こうした「居合わせ交流度」が長期にわたり高いレベルで保たれているような地域を健全な活力あるコミュニティのと考え、年齢層別人口の

構成から判断される「居合わせ交流度」の大きさ及びその時間上の変容を地域コミュニティの活力に影響を及ぼす一要因と想定する。

一方、時間・空間的に分布が変容する問題は空間統計学、及び時系列解析の観点から時空間解析として研究が進んできた。しかしながら、そこでは生態統計学分野で発達しているニッチ指標との関連性は十分に議論されておらず、またニッチ分析指標自体も人間社会への適用において、十分にその解釈や指標間の比較が行われていない。そこで本研究ではコミュニティの活動ポテンシャルの変化を評価するために、生態学指標としてのニッチ重なり合い指数を空間統計学の観点から再評価を試み、その解釈上のインプリケーションを加えた有効な指標を提案することを目的とする。次いで、阪神淡路大震災で被害を受けた神戸市長田区を対象に、コミュニティの時空間的な変容を、提案した指標を用いて間接的に評価し、復興状態との関連性を議論する。

## 2. 既存の研究と本研究の位置付け

### 2.1 生態統計学におけるニッチ分析手法と空間統計学の関連性

鉱物や植物などの空間分布を分析する手法としては、空間統計学が広く用いられてきた。この空間統計学を用いれば、鉱物や植物などと同様に人口分布の地理的集積性や距離に応じた確率的な変化などを分析することができる。ただし、本研究で対象とする人間活動は単なる人口分布を意味するのではなく、前述したようにコミュニティの異なる年齢層の「居合わせ交流度」としてみたコミュニティの活動ポテンシャルである。この種の問題は、異なる属性を持つ人間同士の空間分布、つまり2変数空間分布の問題と解釈できよう。空間統計学の分野において、Haining (1990) は異なる2変数の空間的な分布を分析する指標として空間的相関 (Spatial Correlation) と空間的類似性 (Spatial Association) の2種類を紹介している。空間的相関としては Pearson の積率相関係数、Spearman の順位相関係数、空間的類似性の尺度としては地理的な距離により評価した Tjøstheim の指標等が紹介されている。

一方、数理生態学あるいは生態統計学の分野では、生物種重なりを分析するニッチ分析が1950年代の後半から研究が進み、様々な種重なり指標が考案されてきた。実は、ニッチ分析における重なり合いの指数は多数存在し、小林 (1995) によれば上述の空間統計学で紹介されている積率相関など空間的分布

重なり合いの指標全てがニッチ重なり合い指数と見なすことができると述べている。

岡田・前川 (1997) は地域コミュニティにおいて老人、若者を別の生物種として捉え、その重なり度合いをニッチ指数によって指標化し、重なり度合いと活動リスクとの関連性を議論している。そこでは、Whittaker・Fairbanks (1957) によって提案されたユークリッド距離に関連する以下のニッチ重なり合いの指標が用いられている。

$$C_{hi} = 1 - 0.5 \sum_{j=1}^L |P_{hj} - P_{ij}| \quad (1)$$

$$P_{hj} = n_{hj} / \sum n_{hj} \quad (2)$$

$$P_{ij} = n_{ij} / \sum n_{ij} \quad (3)$$

ここで、 $n_{hj}$ 、 $n_{ij}$  は種  $h$  と  $i$  の存在数であり、 $L$  は資源の傾度に沿う地域数である。資源の傾度とは高度、乾・湿度、餌の分布などを意味しており、岡田・前川 (1997) は居住可能な地域の数としている。 $P_{hj}$ 、 $P_{ij}$  は相対アバンダンスと呼ばれる。 $C_{hi}$  は0と1の間で評価され、 $C_{hi}$  が1に近づくにつれて重なりが大きくなり、逆に  $C_{hi}$  が0に近づくにつれて重なりが小さくなる。式1の右辺第二項は二種の相対アバンダンスの重なり部分の面積の和となるため、その意味合いの直観的な理解が容易なことから広く用いられている。

その他、ニッチ重なり合いの指数は数多く存在するが、Levins (1962) によって提案された生態学的な意味付けが行われている次のニッチ重なり合い指数に注目する。

$$\alpha_{hi} = \frac{\sum_{j=1}^L P_{hj} P_{ij}}{(\sum_{j=1}^L P_{hj}^2)(\sum_{j=1}^L P_{ij}^2)} \quad (4)$$

$\alpha_{hi}$  は異種の個体が「出会う確率」と同種の2個体が「出会う確率」との比を示しており、Lotoka-Volterra モデルという生態学で用いられる競争関係モデルに含まれる競争係数の近似値として使用されている。Pianka (1973) は、式 (4) を修正した以下の式を提案している。

$$\alpha_{hi} = \frac{\sum_{j=1}^L P_{hj} P_{ij}}{(\sum_{j=1}^L P_{hj}^2)(\sum_{j=1}^L P_{ij}^2)^{1/2}} \quad (5)$$

式 (5) は式 (4) が対称行列となるように基準化したものである。あるいは、生態学的には、同種の2個体が出会う確率の相乗平均と考えられる。この式は空間統計学における Pearson の積率相関係数とある

条件において一致する。変数  $y_1$  と  $y_2$  の Pearson の積率相関係数は以下の式により表現される。

$$\hat{r} = \frac{\sum_{j=1}^L (y_{1j} - \bar{y}_1)(y_{2j} - \bar{y}_2)}{(\sum_{j=1}^L (y_{1j} - \bar{y}_1)^2 (y_{2j} - \bar{y}_2)^2)^{\frac{1}{2}}} \quad (6)$$

ここで  $\bar{y}_1$  と  $\bar{y}_2$  は  $y_1$  と  $y_2$  の平均値である。  $y_1$  と  $y_2$  を相対アバンダンス  $P_{hj}$ ,  $P_{ij}$  に置き換えると、式 (6) は、

$$\hat{r} = \frac{\sum_{j=1}^L (P_{hj} - \frac{1}{L})(P_{ij} - \frac{1}{L})}{(\sum_{j=1}^L (P_{hj} - \frac{1}{L})^2 (\sum_{j=1}^L (P_{ij} - \frac{1}{L})^2))^{\frac{1}{2}}} \quad (7)$$

となる。ここで、ある生物種の活動地域を考え、そのうちの一部地域でのみの分布重なり合いを考えたとする。その活動地域が十分大きい場合、 $\frac{1}{L} \rightarrow 0$  となり、式 (7) は式 (5) に一致する。これは、注目する一部地域以外での重なり合いが無視できるほど小さい場合とも解釈できる。このように式 (5) は Pearson の積率相関係数の特殊なパターンに相当する。また、Pianka の指標は Iwao (1995) により提案された重なり合い指標とも完全に一致することが知られている。積率相関は空間統計学の立場では変数の分布が正規分布であることが条件となり、それ以外の場合では順位付け相関の使用が推奨されている。これはデータが外れ値などを含む場合も同様で、頻度は少ないが平均値からの乖離が大きな値に指標が大きく影響を受けてしまい、その他多数の変数間の相関関係が反映されにくい構造をしているためである。

一方、ニッチ分析は、生物種の出会いやあるいは幾何学的な重なり合いといった非常に単純な行動や分布状態の地域全体における集計値を評価しようという発想に基づいており、分布の重なり合いの程度を表す指標となりうる点が最大のメリットであろう。従って、ブラックボックス的に異常値の影響が過大評価される積率相関に比べ、データがどのような分布であっても指標の理解が比較的容易であるという特徴を持つ。ただし、Pianka の指標のように生態学的な意味付けがあるとされる指標は生物行動原理に基づいた指標ではなく、あくまでもデータから推測される生態学的な行動の不可能性を表現した指標である。つまり、環境傾度に沿った資源上にどのような生物種が集まっており、それらが果たして共棲しているのか棲み分けているのかをデータから推測することを目的としている。もちろん行動原理に基づいた指標ではないため、共棲なのか競合なのかを分析するには別のアプローチが必要となる。

## 2.2 地域の居合わせ交流度の指標化

地域の居合わせ交流度を指標化する上でニッチ分析指標が有効であることは前述した通りである。本研究においては人々の交流という観点からの指標理解の容易さを考慮し、ニッチ分析と同様のアプローチを試みる。つまり、復興の速い地域と遅い地域を異なる環境傾度とみなし、その傾度に沿った地域上でのどのように人々の交流が時空間上で変化しているのかを分析する。この際本研究では、高齢人口、幼齢人口、生産年齢人口の3種の年齢層からコミュニティが構成されていると考え、それらの空間的な重なり合いの度合いがコミュニティの「居合わせ交流度」の状態を特徴付けているとする。しかし、これまでに提案されてきた数ある指標の中でも一体どのような指標がコミュニティ分析を行う上で有効であるかに関しては十分な議論がなされていない。紹介してきた Whittaker, Fairbanks (1957), Levins (1962), Pianka (1973) による指標は全て全体数に対する各地域の生物種の割合に関する分布を用いたものであり、これらは基準化した分布という前提のもとでの指標である。まず、ニッチ分析で使用される資源についてであるが、本研究における資源としては復興の速いあるいは遅い地域が挙げられる。上記の指標では資源の量は一定であるとして取り扱われているが、同数の高齢者と生産年齢者が生活する場合、狭い地域における異なる年齢層間の重なり合いと広い地域における重なり合いとは意味合いが異なる。この意味では生物社会も同じであり、Hurbert (1978) は従来の指標が持つ以上のような欠点に着目し、資源量を考慮した種重なり合い指標を考案した。Hurbert の指標を説明するため、まず最初に以下のような種間遭遇率と呼ばれる指標を定義する。

$$E = \sum_j \left( \frac{n_{hj}}{a_j} \right) \left( \frac{n_{ij}}{a_j} \right) a_j = \sum_j \frac{n_{hj} n_{ij}}{a_j} \quad (8)$$

ここで  $a_j$  は資源量であり、 $n_{hj}$  と  $n_{ij}$  それぞれ地域  $j$  における種  $h$  と種  $i$  の数である。もし種が地域ごとに均一に分布しているような場合の種間遭遇率は

$$E_u = N_h N_i / A \quad (9)$$

となる。ここで、 $N_h = \sum_j n_{hj}$ ,  $N_i = \sum_j n_{ij}$  であり、 $A = \sum_j a_j$  である。このとき、Hurbert (1978) のニッチ重なり合い指標  $LO$  は以下の式で与えられる。

$$LO = E/E_u = \frac{A}{N_h N_i} \sum_j n_{hj} n_{ij} / a_j \quad (10)$$

LO は生態学的に解釈可能な指標であり、資源量の分布を考慮したニッチ重なり合い指標である。基本的に、 $LO = 1$  は生物種重なり合いのがどの地域でも一様となっていることを意味しており、 $LO > 1$  と  $LO < 1$  が大きくなるに従い重なり合いの地域集積性が大きくなっていく。

もう一つ地域の活力度の観点から考慮すべき点は種の相対比である。基本的にこれまで紹介した全ての指標において全体数に対する割合である相対アバンダンスが用いられており、これらは種の相対比を1として基準化していることを意味する。しかしながら、地域の活力度の観点から考えると、高齢者が多い地域と生産年齢者が多い地域とではたとえ相対アバンダンスが同じであっても意味合いが異なることが予想される。(種の相対比の違いがニッチ指数に与える影響の例としては Appendix 1 を参照。)そこで種の相対数と資源量を併せて考慮するため、Levins (1962) と Hurbert (1978) を融合した以下の指標  $O_{hi}$  を提案する。

$$O_{hi} = \frac{\sum_j n_{hj} n_{ij} / a_j}{\sum_j n_{hj}^2 / a_j} \quad (11)$$

もし異なる種同士の種間遭遇率が同種同士の種間遭遇率よりも大きければ、指標の値が大きくなるという Levins (1962) の指標と同じアイデアであるが、資源量を考慮している点で少し異なる。さらに  $O_{hi}$  は以下のように変形可能である。

$$\begin{aligned} O_{hi} &= \frac{N_h N_i \sum_j P_{hj} P_{ij} / a_j}{N_h^2 \sum_j P_{hj}^2 / a_j} \\ &= \frac{N_i \sum_j P_{hj} P_{ij} / a_j}{N_h \sum_j P_{hj}^2 / a_j} \end{aligned} \quad (12)$$

式(12)より、 $O_{hi}$  は2つの項から構成されていることが分かる。最初の項は種  $i$  と種  $h$  の比を表し、二番目の項は資源量の分布を考慮した Levins (1962) の指標、もしくは Hurbert (1978) の指標の拡張となっている。ここで  $n_h$  を高齢者の数、 $n_i$  を生産年齢者の数、 $a$  を生活空間の大きさとしよう。もし  $n_h$  が大きくなれば  $O_{hi}$  は小さくなる。また、重なり合いが小さくなれば  $O_{hi}$  は小さくなる。高齢者によく出会う地域であるのか、それとも若者によく出会うような地域なのかでコミュニティの性質は異なる。この違いを分析するための指標が  $O_{hi}$  であり、 $O_{hi}$  は高齢者の集中/孤立化の指標と考えられる。

次に時空間分布の観点から資源量に時間を考慮したニッチ重なり合い指標を考える。基本的にニッチ分析では、資源として様々な環境要素を含めることが可能であるが、それらは主に空間に関するものが

多い。しかしながら本研究では各年齢層の空間分布のみでなく時間的な変化も対象としている。もちろん、空間分布評価指標の時間的な変化を分析するアプローチにより評価が可能であるが、時空間分布状態を集約的に評価する指標も有用であろう。そこで、資源として空間に加え時間を加えた時空間重なり合い指標としてニッチ指標を用いることを提案する。例えば Pianka (1973) の指標では以下ようになる。

$$\alpha_{hi} = \frac{\sum_{j=1}^L \sum_{t=1}^M P_{hjt} P_{ijt}}{\sqrt{\sum_{j=1}^L \sum_{t=1}^M P_{hit}^2 \sum_{j=1}^L \sum_{t=1}^M P_{hjt}^2}} \quad (13)$$

ここで  $j = 1, \dots, L$  は空間を表し、 $t = 1, \dots, M$  は時間を表すものとする。 $P_{hjt}$  は空間  $j$ , 時点  $t$  における種  $h$  の数を全ての時間空間における種  $h$  の総和で割ったものとなる。

### 2.3 居合わせ交流度の観点からみたコミュニティ変容の検定方法

コミュニティの変容が異時点間において果たして有意であるかどうかというのは災害影響の分析を行うにあたり非常に重要である。そこで本研究では以下のような手順で空間重なり合い分布変化を検定する方法を用いる。ただし、ここでは時点  $t_1$  から時点  $t_2$  への変化を考慮する。

1. 帰無仮説として  $H_0$ : 時点  $t_1$  から時点  $t_2$  への種  $h$  と種  $i$  の地域  $j$  における存在数変化が時点  $i$  の存在数に関する確率分布  $p_h(j|t_1, t_2)$ ,  $p_i(j|t_1, t_2)$  に従うと考える。確率分布としては多項分布、SAR(Simultaneous Autoregressive) 分布、MA(Moving Average) 分布などが考えられる。

2. の確率分布をもとに人口変化数を計算し、得られた値をもとにニッチ指数の値を計算する。全存在数が  $\Delta N$  変化するときにおける Pianka (1973) の指標の場合、

$$\alpha_{hi}(t_2) = \frac{\sum_{j=1}^L P_{hj}(t_2) P_{ij}(t_2)}{(\sum_{j=1}^L P_{hj}(t_2)^2 \sum_{j=1}^L P_{ij}(t_2)^2)^{1/2}} \quad (14)$$

$$P_{hj}(t_2) = \frac{N_h(t_1) + \Delta N p_h(j|t_1, t_2)}{\sum_j (N_h(t_1) + \Delta N p_h(j|t_1, t_2))} \quad (15)$$

$$P_{ij}(t_2) = \frac{N_i(t_1) + \Delta N p_i(j|t_1, t_2)}{\sum_j (N_i(t_1) + \Delta N p_i(j|t_1, t_2))} \quad (16)$$

となる。

3. 2を数千回繰り返しニッチ指数の分布を求めることで、観測値との有意性を検討する。

本研究は上記の方法により、異時点間におけるコミュニティ変容の有意性を検討した。また、災害前の各個人の年齢に経年数を加算することで災害がなく、かつ他地域からの流入がない場合どのようなコミュニティ形成がなされるかについても検討を行った。

### 3. 時空間分析に関する既往の研究立場と本研究における研究アプローチ

都市の時空間変化の分析に関してはこれまでいくつか研究成果がある。伊藤 (1997) は都市の時空間構造には大きく「都市空間の時系列変化」と「時間地図上での空間構造」の2つが存在するとしている。また、金安、村上 (1995) は地理学からのアプローチとしてセル空間の地理学における時空間モデルを紹介している。荒井 et. al. (1996) は時間地理学からのアプローチとしてアクティビティパスなどの生活活動における時間-距離のグラフを用い、都市近郊の人々がデイリーサイクルでリズムを刻むように行動している様子を表現している。

近年ではGISを用いた建物・土地利用の変化状況を分析した研究が数多く存在する(例えば村山 (1998) など)。時空間の解析方法自体は無数に存在すると考えられるが、本研究では復興状態を分析するにあたり、一つは伊藤の定義における「都市空間の時系列変化に関する分析」という立場をとる。すなわちある時点における活動分布の空間的重なり合いの状態をコミュニティの状態として捉え、それらの時間的変化を分析するアプローチを取る。もう一つは時空間ニッチ重なり合いに示されるように、時空間頻度分布をもとにそれらの集約的な特性を分析するというアプローチを取る。その際、角本 et. al. (1997) の開発した時間情報管理型GISであるDiMSIS (Disaster Management Spatial Information System) を用いた。DiMSISの詳細な説明は角本 et. al. (1997) に譲るが、河野 et. al. (2000) にあるようにDiMSISには建物の復興状況などが時間管理されている。岡田 et. al. (2001) は「観察の対象としての「復興という複合的社会事象」は、単に地理空間上での情報として取り扱われるだけでは十分ではない。すなわち、後述するように、復興過程は日々、週、月、旬、季節、年単位で刻々と変化する事象でもある。従って、時間軸上で情報が新しい情報に即して(イベント・シークエンスで)更新されるような機能を持った

地理情報システム (GIS) が必要になってくる。」と復興過程分析や都市診断分析における時間管理型GISの有効性を述べている。このように日々変化するコミュニティの変容を時間・空間両面から分析するためには、時空間情報を完備したデータベースあるいは情報システムの面からのサポートが不可欠である。本研究では、DiMSISに蓄積されている建物の復興状況をもとに人間活動の時空間分析を行うが、時空間情報システムと時空間分析手法の連繫を計ることでより有効なアプローチとなる。

## 4. 神戸市長田区における事例分析

### 4.1 事例分析エリアの説明

本研究の対象地域である長田区西部山麓地区 (Fig. 1) は、北部丘陵地の西南端に位置し、骨格となる道路である長田箕谷線、山麓線、大道通に囲まれた地区で、商業施設や工業施設は少なく、学校等の文教施設や住宅が多い。このため震災により住宅の被害が比較的大きかったといわれている。当該地域は他の北部丘陵地と同じく、山や谷の入り込んだ複雑な地形をしており、斜面に建てられている家屋も多く存在する。また、地区内では道路幅員が非常に狭い地域や階段しかなく車両の進入できない場所が多い。震災前には、西部山麓地区の全建物面積に対する木造の建物面積の比率は80%を越えており、これが建物の倒壊(全半壊)の被害を大きくした。また被害も空間的に全地区にまたがっている。震災後、本地区は、土地区画整理事業や市街地再開発事業は行われておらず、住居ブロック形成の骨格的な道路パターンは変化していない。西部山麓地域より以北(以下北部地域)も同様に山がちで西部山麓地区よりさらに急峻な地形であるが震災による被害の少なかったことから、この地域を他地域と区別する。西部山麓地域より以南(以下南部地域)は西部山麓地域同様被害の大きかったところであるが、いくつかの震災復興事業を通し、建物復興の観点からはきれいな街並みが整いつつある。北部地域を被害の少なかった地域として考えると、西部山麓地域はこの南部地域に比べて、建物復興が困難となっている地域と考えられる。

しかしながら、Table 1に示されるように、この地域における人口減少率は被害が少なかった北部地域よりも小さくなっている。北部地域における人口減少は建物復興状況に起因したのではなく、むしろ長田全体における経済状況などが影響していることが予想される。長田西部山麓地区における地域状況をさらに詳しく把握するため、次節ではGISデー

Table 1 Population Changes in Nagata Ward from 1990 to 2001

	1990	1995	2001	1990-2001 減少率
北部	42558	38712	35211	0.173
西部	21003	15005	17792	0.153
南部	72945	43058	55785	0.235
計	136506	96775	108788	0.203

タベースをもとにより細かなスケールにおける分析を行う。

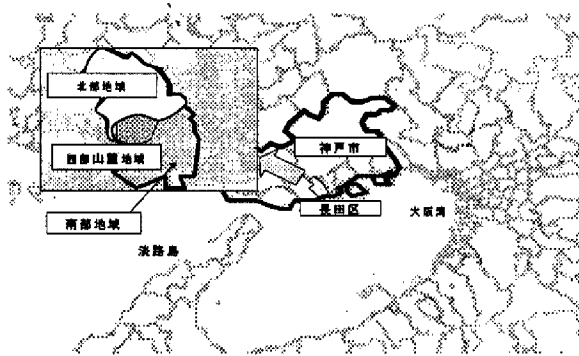


Fig. 1 Nagata West Area

#### 4.2 居合わせ交流度指標によるコミュニティ変容の分析

西部山麓地域の分析を行うのに際し、GISによる調査データをもとに以下の復興率  $R$  を建物復興の観点から定義する。

$$R = (N_N + N_P + N_V) / (N_N + N_E + N_P + N_V),$$

ここで、

$N_N$ : 新築家屋の戸数,  $N_E$ : 既存家屋 (震災前から存在していて震災後もそのまま利用されている家屋) の戸数,  $N_P$ : 駐車場の数,  $N_V$ : 空き地の数である (2000年1月). 復興率を四分位法で分類し、地図上に表示した結果が Fig. 2 である。

地図表示することにより、比較的西側における復興率が小さく、逆に東側における復興率が大きくなっていることが分かる。ここで四分位法で分類された復興率上位1番目と2番目の町丁目が地形的に連続している場合、それらを復興の早いクラスターと定義し、逆に復興率下位1番目と2番目の町丁目が地形的に連続している場合、それらを復興の遅い

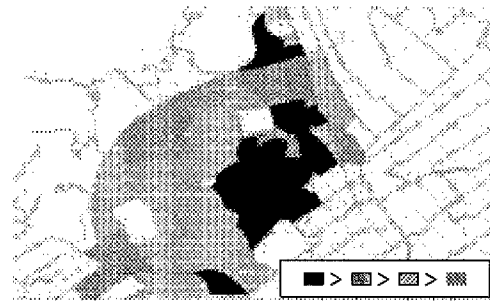


Fig. 2 Recovery Ratio

クラスターと定義する。その結果、西部山麓地区には復興の早い地域 (以下地域1) と遅い地域 (以下地域2) を示す2つの大きなクラスターが定義される (Fig. 3)。



Fig. 3 Region 1 (higher recovery ratio, black) and Region 2 (smaller recovery ratio, gray)

Table 2 は地域1と地域2の特徴を示したものである。被害率は前建物に対する倒壊した家屋を示しており、地域1は地域2より被害が大きかったが、復興はより早く行われていることを意味する。人口比も地域1の方が高く、減少した人口が少なくなっている。平均高度はこの地域においては地形の急峻さを示す代理変数と考えることができる。つまり、復興の遅い地域ほど地形が急峻になっていることが予想される。

Table 3 と Table 4 は1990年、1995年、2001年における生産年齢者と高齢者の重なり合いに関するニッチ指数の値を示している。 $\alpha_{hi}$  は Pianka (1973),  $LO$  は Hurbert (1957),  $O_{hi}$  は本研究で提案

**Table 2** Characteristics of Regions

	町丁目数	復興率	2001/1990 人口比	被害率	平均高度
地域 1	15	0.868	0.912	0.547	35.077
地域 2	14	0.634	0.805	0.389	45.077

**Table 3** Niche Overlaps between Young People and Old People in Region 1

	$\alpha_{hi}$	$LO$	$O_{hi}$
1990	0.985	1.237	3.689
1995	0.982	1.408	3.766
2001	0.971*	1.294*	2.960*
5%の有意水準	0.981	1.246	3.654
2000 予想値	0.979	1.26	1.734

**Table 4** Niche Overlaps between Young People and Old People in Region 2

	$\alpha_{hi}$	$LO$	$O_{hi}$
1990	0.980	1.143	4.486
1995	0.966	1.145	3.882
2001	0.977	1.157*	3.102*
5%の有意水準	0.976	1.151	4.399
2000 予想値	0.984	1.138	2.139

した指標をそれぞれ表す。指数変化の有意性に関する検定は2-3で示した方法をもとに計算されており、ここでは1990年の人口分布より得られた多項分布を確率分布として用いている。地域2のPiankaの指標以外の全ての項目において1990年から2001年にかけての空間重なり合い指標値の変化が有意となっている。2000年予想値は1990年の5歳別人口から推定した人口で、死亡率や人口の転入・転出などを全く考慮していない参考の値である。従って、 $O_{hi}$ は2001年における実現値よりも大幅に小さくなっている。また1995年の人口データは災害後の混乱期における調査データのため、参考値として掲載しているが、分析には用いていない。

まずPiankaによる指標に注目すると、復興の遅い地域2の方が震災前も震災後も高い値をとっており、かつ地域2では地域1のように有意な減少も発

**Table 5** Spatial Temporal Niche Overlaps in Region 1 and Region 2

	$\alpha_{hi}$	$LO$	$O_{hi}$
地域 1	0.972	1.262	3.288
地域 2	0.961	1.139	3.718

生していない。もちろん、他の要因がコミュニティの活力に負の影響を与えている可能性が考えられるが、時点、時点における人口割合分布の重なり合いの面から考えると地域2の方が居合わせ交流度が高く、この意味では健全なコミュニティが保たれているとも解釈できる。両地域とも比較的小さな値を取っているが、震災の影響であるかどうかは判断できない。

$LO$ については地域1、地域2とも上昇しており、重なり合いの集積化が進行していることが分かる。このことは居合わせ交流度減少度合いの地域内差異を大きくしていることを意味し、両地域において好ましい状況であるとはいえない。

$O_{hi}$ 指標は両地域において減少が大きく、高齢者の集中化/孤立化が進み、若者が高齢者と居合わせる機会が減少していることが分かる。復興の遅い地域2における $O_{hi}$ の減少傾向は地域1よりも大きく、地域1よりも高齢者の集中化/孤立化の進行という問題が深刻となっている。**Table 5**は資源として時間を加えて分析した結果である。時間としては1990年と2001年の2時点を使用している。Piankaの指標に注目すると、先ほどの結果と異なり地域2における時空間重なり合いが小さな値となっている。これは $O_{hi}$ における分析と同様の原因に起因する。**Table 4**におけるPiankaの値はあくまでそれぞれの時点における高齢者と生産年齢者の相対比を1と基準化した上での重なり合いである。しかし、実際は高齢者の相対数増加、生産年齢者の相対数減少がダイナミックに発生しており、時空間分布を考えた場合、復興の遅い地域2の方が生産年齢者と高齢者の分布の乖離は大きくなっている。

## まとめ

本研究では年齢層空間分布重なり合いを「居合わせ交流度」としてとらえ、「居合わせ交流度」の大きさ及びその時間上の変容を地域コミュニティの活気に影響を及ぼす一要因として想定した。居合わせ交流度の分析を行うために生態学指標であるニッチ重なり合い指標に着目し、空間統計学分野に用いられている2変数空間分布分析指標との比較において、ニッチ指数の解釈上の容易さを指摘している。また、これまで提案されてきた数あるニッチ重なり合い指標の中から、コミュニティの居合わせ交流度を分析を行う上で有用な指標を整理・提案を行った。次いで、開発・提案された居合わせ交流度指標を用い、被災地域における復興状況の分を行った。対象地域とした西部山麓地区は、土地利用形態から見て復興が遅いといわれている。またそれが何らかの形で地形条件や道路の狭小さなどと関連があるらしいことが指摘されている。一方土地利用などの物理空間形態では捉えられないコミュニティの活性度や構成上の特徴などから、その復興状態の変容を観察することも必要であろう。ニッチ分析はそのような観点からの復興状態を捉えるための有効なアプローチであろう。ニッチ分析の結果、復興の遅い地域における高齢者層と生産年齢者層の時空間分布の乖離が大きく、高齢者の集中化/孤立化傾向が特に大きいことが分かった。地域活力の低下がこうしたコミュニティ状態に反映されている可能性を指摘できよう。しかし、生産年齢者と高齢者の居合わせ交流度というのはあくまでもコミュニティ活気に影響し得るであろう条件の1つにしか過ぎない一方、

建物復興速度にはもちろん経済的要因、環境的要因、制度的要因などのような広域的要因が複雑に影響を及ぼしており、これとコミュニティ活性度などのローカルな要因を合わせた形での影響分析が必要である。

## 参考文献

岡田憲夫, 前川和彦 (1997): ニッチ分析技法を用いた都市災害リスクの評価法開発の試み, 京都大学防災年報, 第40号B-2, pp.1-18.

Haining, R (1990): Spatial data analysis in the social and environmental sciences, Cambridge.

Whittaker, R.H. and Fairbanks, C.W.(1958): A study of plankton copepod communities in the Columbia basin, southeastern Washington, Ecology 39, pp.46-65.

小林四郎 (1995): 生物群集の多変量解析, 蒼樹書房.

Levins, R.(1968): Changing Environments, Princeton University Press.

Pianka, E.R.(1973): The Structure of Lizard Communities, Ann. Rev. Ecol. Syst. 4, pp.53-74.

Hurlbert, S.L.(1978): The measurement of niche overlap and some relatives, Ecology 39, pp.67-77.

伊藤 悟 (1997): 都市の時空間構造—都市のコスモロジー, 古今書院.

金安岩男, 村上研二 (1995): 時空間の構図 空間行動と地域展開, 朝倉書店.

荒井良雄, 岡本耕平, 神谷浩夫, 川口太郎 (1996): 都市の空間と時間, 古今書.

村山祐司 (研究代表者)(1998): 地理情報システム (GIS) を活用した非集計データの時空間分析.

角本 繁, 亀田 弘行, 畑山 満則 (1998): 空間データベースから時空間データベースへの転換と総合防災情報システムの構築—リスク対応型地域空間情報システムの実現に向けて (2) —, 地理情報システム学会講演論文集, VoL7.

河野 俊樹, 岡田 憲夫, 多々納 裕一 (2000): 時間管理型 GIS を用いた震災復興過程に関する類型分析—神戸市長田区を対象として—, 土木計画学研究講演論文集, VoL23.

岡田憲夫, 梶谷義雄, 河野俊樹, 多々納裕一, 角本繁 (2001): 計画論的に見た都市診断の役割と DiMSIS の有効性に関する研究, 京都大学防災年報, 第44号B-2.

梶谷義雄, 岡田憲夫, 多々納裕一: 災害復興過程における人間活動分布の時空間分析に関する研究, 土木計画学会講演論文集, 土木計画学研究講演論文集, VoL23 (投稿中).



付録

ニッチ指数が同じで種の相対比の異なる地域同士を統合した場合のニッチ指数の変化 (Whittaker & Fairbanks (1957) のニッチ指数の場合)

種  $h$  と種  $i$  が地域  $R_1$  と地域  $R_2$  それぞれにおいて  $C_{hi}(R_1)$  と  $C_{hi}(R_2)$  というニッチ指数の値で分布しているとする. 地域  $R_1$  には  $L_1$  の小地域, 種  $h$  の数  $N_{h1}$ , 種  $i$  の数  $N_{i1}$  が存在する. 地域  $R_2$  には  $L_2$  の小地域, 種  $h$  の数  $N_{h2}$ , 種  $i$  の数  $N_{i2}$  が存在する. もし,  $C_{hi}(R_1) \leq C_{hi}(R_2)$  and  $\frac{N_{h1}}{N_{i1}} = \frac{N_{h2}}{N_{i2}} = c$  ( $c$  は一定.), ならば,  $C_{hi}(R_1) \leq C_{hi}(R_1UR_2) \leq C_{hi}(R_2)$  となる.

(証明)

地域  $R_1$  と地域  $R_2$  における Whittaker & Fairbanks (1957) の式は,

$$C_{hi}(R_1) = 1 - 0.5S_{1j} \quad (17)$$

$$C_{hi}(R_2) = 1 - 0.5S_{2j} \quad (18)$$

となる. ここで

$$S_{1j} = \sum_{j=1}^{L_1} \left| \frac{n_{hj}}{N_{h1}} - \frac{n_{ij}}{N_{i1}} \right| \quad (19)$$

$$S_{2j} = \sum_{j=L_1+1}^{L_1+L_2} \left| \frac{n_{hj}}{N_{h2}} - \frac{n_{ij}}{N_{i2}} \right| \quad (20)$$

$N_{h1}/N_{i1} = N_{h2}/N_{i2} = c$  より,  $N_{h1} = cN_{i1}$ ,  $N_{h2} = cN_{i2}$ , を代入すると,

$$S_{1j} = \sum_{j=1}^{L_1} \left| \frac{n_{hj} - cn_{ij}}{cN_{i1}} \right| \quad (21)$$

$$S_{2j} = \sum_{j=L_1+1}^{L_1+L_2} \left| \frac{n_{hj} - cn_{ij}}{cN_{i2}} \right| \quad (22)$$

となる. ここで,

$$\begin{aligned} C_{hi}(R_1UR_2) &= 1 - 0.5 \sum_{j=1}^{L_1+L_2} \left| \frac{n_{hj}}{N_{h1} + N_{h2}} - \frac{n_{ij}}{N_{i1} + N_{i2}} \right| \\ &= 1 - 0.5 \left( \sum_{j=1}^{L_1} \left| \frac{n_{hj}}{N_h} - \frac{n_{ij}}{N_i} \right| + \sum_{j=L_1+1}^{L_2} \left| \frac{n_{hj}}{N_h} - \frac{n_{ij}}{N_i} \right| \right) \end{aligned} \quad (23)$$

となり,  $N_h = N_{h1} + N_{h2}$ ,  $N_i = N_{i1} + N_{i2}$  である.  $N_h = cN_i$  を式 (23) に代入すると,

$$\begin{aligned} C_{hi}(R_1UR_2) &= 1 - 0.5 \left( \sum_{j=1}^{L_1} \left| \frac{n_{ij} - cn_{hj}}{cN_i} \right| + \sum_{j=L_1+1}^{L_1+L_2} \left| \frac{n_{ij} - cn_{hj}}{cN_i} \right| \right) \\ &= 1 - 0.5 \left( \frac{N_{i1}}{N_i} S_{1j} + \frac{N_{i2}}{N_i} S_{2j} \right) \end{aligned}$$

となる. もし  $N_{i1} > 0$ ,  $N_{i2} > 0$  ならば,

$$S_{2j} \leq \frac{N_{i1}}{N_i} S_{1j} + \frac{N_{i2}}{N_i} S_{2j} \leq S_{1j}$$

したがって,

$$C_{hi}(R_1) \leq C_{hi}(R_1UR_2) \leq C_{hi}(R_2) \quad (24)$$

等式が成立するのは,

$$C_{hi}(R_1) = C_{hi}(R_2) \quad (25)$$

(証明終わり)

# **Spatial Temporal Analysis of Human Activity Distributions - An Application of Niche Analysis**

Norio OKADA, Yoshio KAJITANI\* and Hirokazu TATANO

\* Graduate School of Engineering, Kyoto University

## **Synopsis**

This paper presents the effectiveness of monitoring and evaluating quality of community life, which can affect community viability, by using "age groups cohabitative communication level". This type of approach is especially useful for evaluating non-visible and constantly changing recovery state of communities from a disaster. It has been shown that community cohabitative communication level as measured by the proposed indicators have some correspondence to the speed of recovery. Based on the niche overlap index, an attempt has been made to derive theoretical implication of spatial-temporal statistics.

**Keywords :** *Spatial Temporal Analysis, Recovery Process, Niche Analysis, GIS*