

## 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\*

### Spatial Temporal Analysis of Human Activities in Disaster Recovery Processes\*

梶谷 義雄\*\*, 岡田 憲夫\*\*\*, 多々納 裕一\*\*\*

By Yoshio KAJITANI \*\*, Norio OKADA \*\*\* and Hirokazu TATANO \*\*\*

#### 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<sup>1)</sup>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。ここでは、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、共棲といった生物的な行動として捉えることが有用であろう。

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、そこには人間生態学的な行動としてみた意味付けは組み込まれていない。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意味付けることを試み、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. 人間活動の空間分布のモデル化

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、空間統計学の観点では異なる属性を持つ人間同士の空間的な分布重なり合いの問題と解釈できよう。空間統計学の分野において、Haining<sup>2)</sup>は異なる二変数の空間的な分布重なりを表す指標として空間的相関 (Spatial Correlation) と空間的類似性 (Spatial Association) の二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

\*キーワード：時空間分析、災害復興過程、ニッチ分析、GIS

\*\*学生員 京都大学大学院工学研究科 博士課程

(〒606-01 京都市左京区吉田本町, Tel 075-753-5070)

\*\*\*正員 工博 京都大学防災研究所

(〒611 宇治市五ヶ庄, Tel 0774-38-4308,

Fax 0774-38-4044)

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, 生物学あるいは生態学の分野では, 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, 棲み分け, 共棲が異なる生物種の空間的重なり合いの度合いであるとの解釈は, ニッチ分析からの発想である。実際に, 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<sup>3)</sup>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<sup>1)</sup>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。ここでは, Whittaker, Fairbanks<sup>4)</sup>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,  $L$  は地域数である。  $P_{hj}, P_{ij}$  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。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。しかしながら, 生態学的な観点からこのニッチ重なり合い指標の意味付けは現在のところなされていない。

その他, ニッチ重なり合いの指数は数多く存在するが, 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。

$$\alpha_{hi} = \sum_{j=1}^L P_{hj} P_{ij} / \left( \sum_{j=1}^L P_{hj} \right) \quad (4)$$

$\alpha_{hi}$  は異種の固体が「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<sup>3)</sup>は, 式 (4) を修正した以下の式を提案している。

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

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でと考えられる。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。

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

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,

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

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し, 生態学的にも分布重なり合いとしての空間統計学的にも意味付けがなされる指標となる。また, Pianka の指標は Iwao<sup>3)</sup>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が, 本研究ではその生物学的な意味も明瞭なことから Pianka の指標<sup>3)</sup>をコミュニティの状態を示す一つの尺度として使用する。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」の状態を特徴付けるとする。

### 3. 時空間分析手法と時間情報管理型 GIS

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。伊藤は都市の時空間構造には

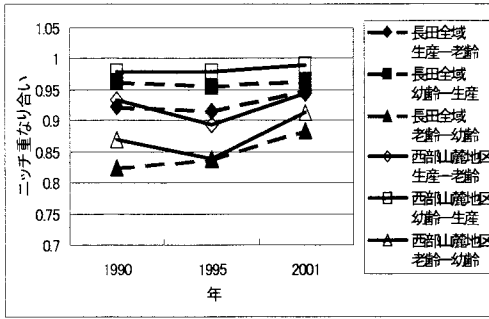


図-1: 長田区におけるニッチ重なり合い指数の時系列プロット. ( $\alpha_{hi}$  Values)

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<sup>6)</sup>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。荒井ら<sup>7)</sup>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<sup>8)</sup>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、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。その際、角本ら<sup>9)</sup>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ら<sup>9)</sup>に譲るが、DiMSISには建物の復興状況などが時間管理されており、人間活動の分布とデータベースに蓄積されている建物の復興状況などを併せた分析などが可能となる。

#### 4. 異なる年齢層の空間的重なり合いの推移と復興状態との関係

表-1は、1990年、1995年、2001年における神戸市長田区の各年齢層のニッチ重なり合いの度合いを式(5)を用いて計算した結果である。長田区全体と前

表-1: 1990年、1995年、2001年における長田区のニッチ指数.  $\alpha_{hi}$  値を使用。

平成2年 (1990)	生産年齢 -老齢	生産年齢 -幼齢	老齢-幼齢
長田区全体	0.922	0.962	0.823
長田西部山麓地区	0.933	0.979	0.869
クラスターB	0.972	0.983	0.922
クラスターC	0.964	0.991	0.939
クラスターD	0.985	0.977	0.935
平成7年(1995)			
長田区全体	0.915	0.956	0.837
長田西部山麓地区	0.893	0.979	0.838
クラスターB	0.982	0.986	0.951
クラスターC	0.960	0.976	0.946
クラスターD	0.986	0.987	0.958
平成13年(2001)			
長田区全体	0.947	0.964	0.883
長田西部山麓地区	0.945	0.990	0.913
クラスターB	0.984	0.993	0.977
クラスターC	0.978	0.990	0.956
クラスターD	0.987	0.990	0.965

述した西部山麓地域とに分かれているが、西部山麓地域とは河野ら<sup>10)</sup>に指摘されているように復興の遅いといわれている地域である。クラスターの種類は、西部山麓地域における49の小地域を土地利用状況に着目して分類したものである。大型建造物のあるクラスターAを除くと、概ねクラスターD>クラスターC>クラスターBの順に復興している家屋の割合が多くなっていることが示されている<sup>10)</sup>。1990年における長田区全体と長田西部山麓地域におけるニッチ指数に着目すると、全ての異なる年齢層の重なり合いにおいて、長田西部山麓地域の方が大きなニッチ指数の値を示しており、西部山麓地域は他地域と異なる年齢層のニッチ重なり合いのパターンを示していることがうかがえる。図-1に示されるニッチ重なり合いの経年変化に関しては、どちらの地域においてもニッチ重なり合いの指数値は概ね増加傾向にあり、異なる年齢層の「居合わせ交流度」が震災後増加していることを意味している。ただし、1990年から2001年にかけて西部山麓地区では生産年齢人口と幼齢人口のニッチ重なり合いが増加しているのに対し、長田区全体では、生産年齢人口と幼齢人口のニッチ重なり合いが減少している。西部山麓地域では、高齢人口と生産年齢人口の重なり合いの増加も長田区全体に比べて小さくなっており、長田区全域と比べ経年変化の様子も異なる。このような傾向を

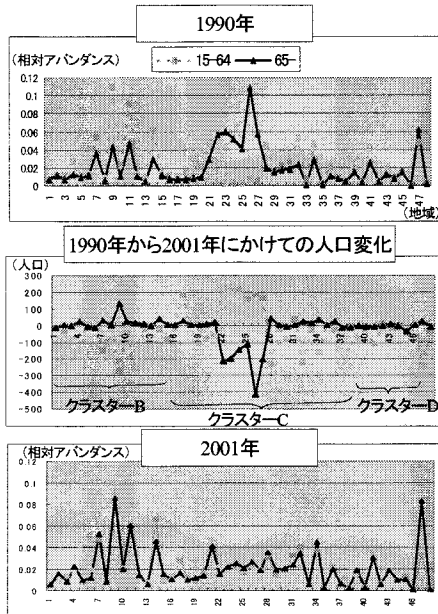


図 2: 1990 年から 2001 年にかけての長田区西部山麓地域における相対アバンダンスの変化と人口の変化

規定している一つの要因として考えられるのは、老齢化した人々が他地域に移動し、その代わりに新しく若い世代がその後のスペースを埋めるように同地域で増加しているというコミュニティ自体の構成人員空間分布の変化である。実際にコミュニティ構成年齢層の変化を地域ごとに調べた結果が図 2 に示されており、特にクラスター C がこのパターンに相当することが分かる。クラスター C は戦前から発展した長田区の町を多く含んでおり、商店街や鉄道へのアクセスもクラスター B より条件が良い。このことが良いか悪いかは別として、このように歴史的背景や地理的立地が要因となって、同じ山がちな西部山麓地域内でもクラスター C における地域の代謝的機能が促進されていると推測される。

## 5. まとめ

本研究では年齢層空間分布重なり合いの時間推移と復興状態の関係を異なる年齢層の「居合わせ交流度」の観点から分析した。そして「居合わせ交流度」を評価する一つの指標としてニッチ指数を用いることに着目した。使用したニッチ重なり合いの指数は

Pianka により提案されたもので、これは同種間の生物の出会い確率と異種間の生物の出会い確率の比をとったものと解釈される。そしてこうした生物学的な指標が実は空間的相関の指標と見なせることを空間統計学の観点から位置付けた。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、西部山麓地区が他地域とは異なるコミュニティ活動ポテンシャルを呈していることが明らかとなった。このような差異が生じる背景として、山麓部という地形条件や乱開発により経済性を重視して生じた狭小な道路はより長いタイムスパンで築かれた生活環境であるが、これらが復興過程における人間個々の活動、コミュニティ形態の時空間変動にも大きく影響を及ぼしている可能性があり、この点についても今後検討していく必要がある。

## [参考文献]

- 岡田憲夫, 前川和彦: 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, 1997.
- Haining, R: Spatial data analysis in the social and environmental sciences, Cambridge, 1990.
- 小林四郎: 生物群集の多変量解析, 蒼樹書房, 1995.
- Whittaker, R.H. and Fairbanks, C.W.: A study of plankton copepod communities in the Columbia basin, southeastern Washington. Ecology 39, pp.46-65, 1958.
- 伊藤 悟: 都市の時空間構造—都市のコスモロジー, 古今書院, 1997.
- 金安岩男, 村上研二: 時空間の構図 空間行動と地域展開, 朝倉書店, 1995.
- 荒井良雄, 岡本耕平, 神谷浩夫, 川口太郎: 都市の空間と時間, 古今書院, 1996.
- 村山祐司 (研究代表者): 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, 1998.
- 角本 繁, 亀田 弘行, 畑山 満則: 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, 1998.
- 河野 俊樹, 岡田 憲夫, 多々納 裕一: 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—, 土木計画学会講演論文集, Vol23, 2000.