

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 Activity Distributions 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。そしてその結果、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。しかし、復興状態を総合的に議論するためには、こうした表面上の物理的な復興状況だけでなく、コミュニティの活力状態のような最終的に被害影響を被るコミュニティの生活の質を観察することも必要であろう。ただし、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。

岡田・前川¹⁾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標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みなし、その空間的な重なり合いが災害時における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。例えば、お年寄りと若者の空間分布の重なり合いが大きい場合、緊急時の避難・救助の側面で、災害弱者であるお年寄りをその場に居合わせた若者が補助しやすいといった構図が想定されている。上述したコミュニティの生活の質に関する問題も、コミュニティを構成する年齢層別人口の分布重なり合い状況とその時間的な変容から観察・評価するアプローチが考えられよう。本研究では、異なる年齢層の空間分布重なり合いが地域での居合わせ度合いを特徴付けるものと考え、さらに居合わせ度合いが交流状態と関連していると想定する。そして、居合わせ状態と交流状態をまとめて「居合わせ交流度」と呼ぶこととする。この「居合わせ交流度」は災害時における活動リスクの観点のみでなく、平常時におけるお年寄りと若者の交流・助け合いなどの観点からも地域コミュニティの活力状況に影響を及ぼし、地域の健全性に関わる生活の質を表し得ると想定する。そして、この

「居合わせ交流度」の観点から地域の復興状態の質的側面を評価するアプローチについて検討を行う。

ところで、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重なり合い指標との関連性は十分に議論されておらず、またニッチ重なり合い指標自体も地域コミュニティへの適用において、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、これまで提案されてきた生態学指標としてのニッチ重なり合い指標を空間統計学の観点から再評価することを試みると同時に、コミュニティ評価の観点から比較・検討することで、ニッチ重なり合い指標によるコミュニティ評価アプローチの有効性を検討する。次いで、阪神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、建物復興状態との関連性を議論する。

2. 人間活動の時空間分布に着目したコミュニティ評価方法の開発

(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生活の質である。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、Haining²⁾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Tjostheim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

*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)

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⁴⁾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。しかし、ニッチ重なり合い指標と空間統計学における空間分布重なり合い指標との差異や混同することが可能な理由については十分に議論されていない。そこで、以下ではニッチ重なり合い指標として代表的な指標をいくつか比較し、空間統計学における空間分布重なり合い指標との関係について議論を行う。

岡田・前川¹⁾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, Fairbanks³⁾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¹⁾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、Levins⁵⁾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。

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

β_{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、Lotka-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。Pianka⁶⁾は、 β_{hi} を修正した以下の式を提案している。

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

α_{hi} は β_{hi} 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。ここで、統計学分野でよく使用されている Pearson の積率相関を以下の式で表現する。

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

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、

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

となる。 α_{hi} における各変数を平均値に基づき標準化し、係数の値が取り得る範囲を -1 から 1 までに標準化したものが $\hat{r}$ 相当する。ただし、 α_{hi} は生物学的な解釈に立脚して構築された式であるのに対し、 $\hat{r}$ は統計学的な観点から、あらゆる変数間のばらつき度合いの共通性を分析する目的で構築されている。そして、後者の式はどのような変数に対しても指標の値が理解しやすいよう基準化が行われている。しかし、このように式形成過程は違えども、 $\hat{r}$ は α_{hi} が取り得る値の範囲を基準化したものであり、 α_{hi} で示されるニッチ重なり合い指標の発展形と考えることができよう。また、 $\hat{r}$ と α_{hi} は、生態学的に以下の条件で一致すると考えることもできよう。まず、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、 $\hat{r}$ は α_{hi} 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。このような観点からも $\hat{r}$ は α_{hi} の特殊なパターンに相当する。また、Pianka の指標は Iwao⁴⁾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おり、その解釈上の意味合いが多様となっている。

さて、 C_{hi} , β_{hi} , α_{hi} で表されるニッチ重なり合い指標は、幾何学的な重なり合いあるいは生物種の出会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、いかなるデータ分布であろうとも指標の理解が比較的容易であるという利点を持つ。一方、 $\hat{r}$ 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ことに対する注意事項と考えられる。しかし、 $\hat{r}$ が α_{hi} で示されるニッチ重なり合い指標の発展形となり得るを考慮すると、 α_{hi} と同様にいかなるデータ分布でも使用が可能であり、その場合は同種の生物の出会いやすさという α_{hi} を基準化したものとして解釈することが必要である。

ところで、 β_{hi} , α_{hi} 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一可能性を表現した指標である。つまり、資源の傾度に沿って集まった生物種の共棲、棲み分けの度合いがどのぐらいなのかをデータから推測することは可能であるが、共棲なのか棲み分けなのかを分析するには別のアプローチが必要となる。

(2) 地域の居合わせ交流度の指標化

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。ニッチ重なり合い指標、空間統計学で用いられている変数相関の指標などの空間分布重なり合いはこうした「居合わせ交流度」を分析する上で有用な指標になると考えられる。しかし、これまでに提案されてきた数ある空間分布重なり合い指標の中でも、「居合わせ交流度」を考慮したコミュニティ評価の視点から一体これら指標がどのような意味づけを持つのかに関しては十分な議論がなされていない。そこで、以下では「居合わせ交流度」というコミュニティ評価の視点からみたニッチ重なり合い指標の有効性について検討を行う。まず、これまで紹介された指標である C_{hi} , β_{hi} , α_{hi} , $\hat{r}$ は地域の異質性について充分考慮していない。つまり、餌などの資源の傾度に沿って定義されている地域 j は全て均質であると考えられている。これは地域分割の方法、サンプリング方法やデータ上の制約に大きく依存する問題であるが、地域を同質なものと想定することができない場合もある。地域における異なる年齢層の交流には、滞留人口のみでなく、地域のサイズや公園の数なども影響することが予想される。このような問題は生物の分野も同様であり、Hurbert⁷⁾ は地域内の資源量の観点から、資源量の地域間異質性を考慮した種重なり合い指標を考案している。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 E_{hi} を定義する。

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

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を EU_{hi} とすると、 EU_{hi} は

$$EU_{ij} = N_h N_i / A, \quad (9)$$

と表現される。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、Hurbert⁷⁾ のニッチ重なり合い指標 LO_{hi} は以下の式で与えられる。

$$LO_{hi} = E_{hi} / EU_{hi} = \frac{A}{N_h N_i} \sum_j \frac{n_{hj} n_{ij}}{a_j} \quad (10)$$

LO_{hi} は生態学的な解釈がなされている種間遭遇率を用い、資源量の分布を考慮したニッチ重なり合い指標である。集積性を表すニッチ重なり合い指標とも言われている。基本的に、 $LO_{hi} = 1$ は生物種重なり合いがどの地域でも一様となっていることを意味しており、 $LO_{hi} > 1$ と LO_{hi} 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と解釈される。つまり、 LO_{hi} は「居合わせ交流度」に関連すると想定されている重なり合いの度合いそのものを議論するのではなく、重なり合い状態の空間分布を評価する指標となっている。集積している場合とそうでない場合が地域の活力や災害リスクとどのよう

な関連があるかについてはさらなる検討が必要である。

次に地域の活力状態の観点から考慮すべき点は種の数の相対比である。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、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地域の活力状態は異なると考えられる。そこで種の相対数と資源量を併せて考慮するため、Levins⁵⁾ と Hurbert⁷⁾ 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 Levins⁵⁾ 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 Levins⁵⁾ の指標、もしくは Hurbert⁷⁾ 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 α_{hi} 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。

(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を統計的に検定することは災害影響の分析を行うにあたり非常に重要である。しかし、コミュニティの変容をどのように定義するかは難しい。そこで本研究ではコミュニティの老化や若返りといった現象はおこらず、適当な世帯の入れ代わり状況が発生するという年齢構成の均衡状態をコミュニティ変容がないと定義する。こうした基準的なコミュニティを規範とすることで、コミュニティの変容を評価するアプローチを考えている。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。

A. 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。これは、将来のコミュニティの年齢別人口の空間分布が現在の分布のままである一種の想定的なものを意味している。

B. A. の確率分布をもとに人口変化をシミュレーションし、得られた人口変化数をもとにニッチ重なり合い指標の値を計算する。全存在数 N のうち ΔN 変化したときの α_{hi} 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。

C. B を数千回繰り返すとニッチ重なり合い指標の H_0 のもとでのシミュレーション分布を求めることができる。得られたシミュレーション分布から棄却領域を決定することで、観測値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するが、あくまでもこの検定はニッチ重なり合い指標値の変化量が安定的と想定される仮想コミュニティにおいてどの程度変化するかを知るためである。そのため、確率分布としては様々な分布を想定することが可能であるが、本研究では代表的な多項分布を採用した。

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

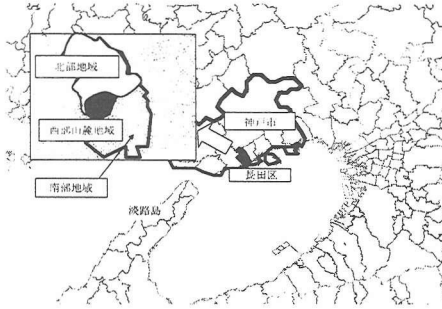
都市の時空間変化の分析に関してはこれまでいくつか研究成果がある。伊藤⁸⁾は都市の時空間構造には大きく「都

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⁹⁾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¹⁰⁾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일리-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¹¹⁾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、角本ら¹²⁾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¹²⁾に譲るが、河野ら¹³⁾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。岡田ら¹⁴⁾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・シーケンスで) 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。ただし、本研究で使用する人間活動分布分析は国勢調査データを用いるため、比較的大きな時間スケールを対照している。また、空間スケールとしては最小行政単位の町丁目を対照としている。従って、DiMSISで行っている比較的小さな空間・時間スケールにおける物理的な建物復興分析とは必ずしも対応していない。しかし、住民基本台帳を GIS とリンクさせる、あるいはコミュニティベースで人口変化を管理するなどで、日々変化するコミュニティの様子を観察することが可能となろう。また、本研究では時間情報管理のメリットを十分に活かしたものとはなっていないが、事後的にデータを追加することによって分析の対象とする時空間スケールを調整することが可能となると考える。今後の地域復興状況観察のための有効なアプローチ手法を考える上で、こうした時空間情報システムと時空間分析手法の連繋が重要であろう。

4. 神戸市長田区における事例分析

(1) 事例分析エリアの説明



図－1：長野市西部山麓地域

表－1：図－1中の長野市各地区における1990年から2001年にかけての人口変化

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

本研究の対象地域である長野市西部山麓地域（図－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、西部山麓地域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、表－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ものではなく、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。長田西部山麓地域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。

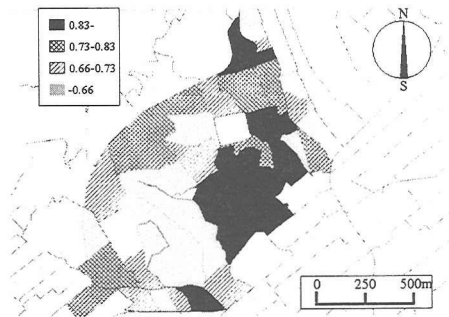
(2) 居合わせ交流度指標によるコミュニティ変容の分析

西部山麓地域の分析を行うのに際し、DiMSISデータベース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。

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

ここで、

N_N ：新築家屋の戸数、 N_P ：駐車場の数、 N_V ：空き地の数である（2000年1月時点において）。復興率を四分位法で分類し、地図上に表示した結果が図－2である。地



図－2：復興率

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クラスターと定義する。その結果、西部山麓地域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（図－3）。

表－2は地域1と地域2の特徴を示したものである。被害率は全建物に対する倒壊した建物を示しており、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。

表－3は地域1、地域2の1990年、1995年、2001年における生産年齢者と高齢者に関するニッチ重なり合い指標の値を示している。ただし、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。指標としては、相対アバundanceのみを用いたニッチ重なり合い指標で

表- 2: 地域の特徴

	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

表- 3: 地域 1, 地域 2 における高齢者と生産年齢者の重なり

	α_{hi}		LO_{hi}		O_{hi}	
	地域 1	地域 2	地域 1	地域 2	地域 1	地域 2
1990	0.985	0.980	1.237	1.143	3.689	4.486
1995	0.982	0.966	1.408	1.145	3.766	3.882
2001	0.971*	0.977	1.294*	1.157*	2.960*	3.102*
5%の有意水準	0.981	0.976	1.246	1.151	3.654	4.399

(5%の有意水準は H_0 :1995 年 1 から 2001 年の人口変化が 1995 年の人口分布に従う (確率分布としては多項分布を仮定) . * は 5%水準で有意であることを意味する.)

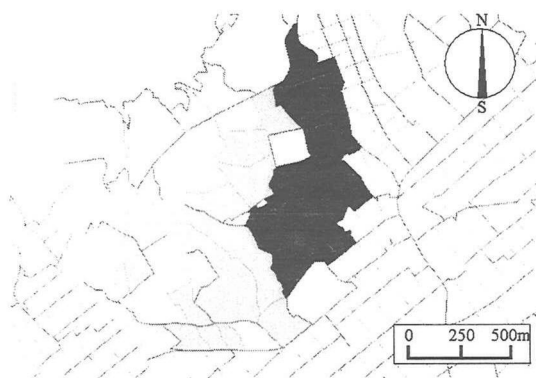


図- 3: 復興の速い地域 (黒色) と復興の遅い地域 (灰色)

ある α_{hi} , 資源量の分布を考慮し, かつ人々の重なり合いの空間的な集積性を評価する LO_{hi} , さらに資源量の分布と種の相対比を考慮した O_{hi} を使用する. LO_{hi} , O_{hi} で使用される地域の異質性を考慮するための資源量 a_j としては, 岡田・前川で用いられているように地域の面積を使用した. また, 指標の値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しており, 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.

まず 1990 年, 2001 年それぞれの時点におけるニッチ重なり合い指標の値に注目し, 地域 1 と地域 2 の比較を行う. 1990 年においては α_{hi} , LO_{hi} の値は地域 1 の方が大きいため, 地域 1 のほうが高齢者と生産年齢者の空間分布重なり合いが大きく, そしてその重なり合いが一部地域に集積していることが分かる. 地域 1 における集積性が高い理由としては, 地域 1 では居住不可能な地区や大きな公園などを地域 2 よりも多く含んでいるため, 人々の居住が一部の地域に集積していることが考えられる. 一

方, 1990 年における O_{hi} の値は地域 2 の方が地域 1 より大きく, 高齢者の集中化/孤立化の観点で見ると地域 2 の方が健全なコミュニティであると解釈できる. 地域間比較の場合の数値差をどのように解釈するかについてさらなる検討が必要であろうが, 1990 年の年齢層別分布を用いた分析では用いるニッチ重なり合い指標によって, 地域 1 と地域 2 の解釈が異なる結果となった. 2001 年のニッチ重なり合い指標に関しては, 1990 年に見られた各ニッチ重なり合い指標の地域 1 と地域 2 の間の大小関係のうち, 2001 年では α_{hi} の値の大小関係が地域 1 と地域 2 の間で逆転している. 1990 年とは異なり, 2001 年では α_{hi} の値が地域 1 において地域 2 よりも小さくなっており, 居合わせ交流度に係わると想定されている α_{hi} , O_{hi} の二指標から, 地域 2 の方が健全なコミュニティと考えられる.

次いで 1990 年から 2001 年へのニッチ重なり合い指標値の変化度合いの観点から分析を行う. LO_{hi} については地域 1, 地域 2 とともに上昇しており, 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の地域内差異が 1990 年に比べ 2001 年の方が大きくなっ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. α_{hi} についても地域 1, 地域 2 とともに減少しており, 特に地域 1 では有意な変化として現われている. 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/孤立化が進んでいる. 特に地域 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. 以上, α_{hi} , O_{hi} の二指標から, 地域 1, 地域 2 とともに居合わせ交流度が減少していることが推定される.

最後に, 時空間重なり合い指標を用いた分析を試みる. 表- 4 は各指標における資源の項目として空間だけでなく時間を加えて分析した結果である. 具体的には 1990 年と 2001 年の 2 時点を使用している. α_{hit} は地域 1 の方が地域 2 よりも大きく地域 1 の方が時空間を通して高齢者

表- 4: 地域1と地域2における時空間ニッチ重なり合い

	α_{hit}	LO_{hit}	O_{hit}
地域 1	0.972	1.262	3.288
地域 2	0.961	1.139	3.718

と生産年齢者の重なり合いが大きくなっている。 LO_{hi} の値に関しては時空間を通して地域1の方が地域2よりも大きくなっており、表-3を用いた分析結果と同様の結論が得られる。また、 O_{hit} の値に関しては地域2の方が地域1よりも大きくなっており、用いるニッチ重なり合い指標により異なる結果が得られた。式(12)で示したように O_{hit} は高齢者と生産年齢者の相対比の項と時空間分布重なり合いの項から構成されており、 α_{hit} 同様に時空間分布重なり合いは減少しているが、高齢者と生産年齢者の相対比の関係で α_{hit} とは異なる結果となっていることも考えられる。

以上のように高齢者と生産年齢者に関するニッチ重なり合い指標を用いた各時点における分析、指標の値の変化に関する分析、時空間分布の集約的な分析を行った。各ニッチ重なり合い指標の値の地域間の大小関係、指標の変化の度合いは必ずしも整合的ではなく、指標の値を分析するためには各ニッチ重なり合い指標自体がどのような意味合いを持つのか充分把握しておく必要がある。分析の結果、地域2には各時点においては居合わせ交流度評価指標として想定される α_{hi} と O_{hi} の値が大きく、地域1よりも健全なコミュニティとして想定される。このことは物理的な建物復興速度からは観察し得ない地域2における好ましい条件の一つと考えられる。しかし、 O_{hi} 値の減少傾向の大きさや α_{hit} の値から示されるように必ずしも全ての指標の値が地域2の方が地域1に比べて良好というわけではなく、今後の継続的な観察が必要である。

5. まとめ

災害後の復興状況を議論するためには、建物復興などの物理的な復興状況と同時に最終的に被害影響を被るコミュニティの生活の質に関する非物理的な状況を観察することが必要である。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、災害時の活動リスク、平常時の交流、助け合いなどの観点から地域コミュニティの活力状況に影響を及ぼし、地域の健全性に関わる生活の質を表す指標として想定した。この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た。その際、空間統計学分野に用いられている二変数空間分布分析指標との比較において、その解釈上の関連性を明確にした。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の分析を行う上で有用な指標を整理し、発展させるとともに、コミュニティの時空間的な変容を

分析する上で有用なアプローチ方法を検討した。空間的重なり合い状況の時間的な変化を分析するための統計手法、時空間重なり合いなどを考慮することで、ニッチ重なり合い指標で評価される居合わせ交流度とその変容を評価し得るアプローチをいくつか提案した。それらは都市の時空間分析手法の中で空間分布の時間的な変化、あるいは時空間頻度分布の集約的な評価に分類される。

次いで、開発・提案された居合わせ交流度指標を用い、ケーススタディ地域である長田区西部山麓地域における復興状況の分を行った。いくつか行った分析の結果、建物復興の遅い地域であっても、居合わせ交流度の観点から判断される好ましい指標の値が示された。ただし、ケーススタディ地域では両地域とも今後ますます高齢者の若者との居合わせ交流度が減少する可能性があり、継続的な観察が必要である。以上のようにニッチ重なり合い指標を用いたアプローチは建物復興などの物理的な状況では計り得ないコミュニティの生活の質を観察し、復興状況の質的側面を把握する上で有用ないくつかの知見を得ることができた。ただし、本研究の分析は「居合わせ交流度」が地域の活力状態や災害時のリスクなどに影響し、それらが年齢層の空間的重なり合いと関連しているとの仮説に立脚している。また、本研究では空間スケールや時間スケール、人口分布以外の地域の異質性評価について十分な議論を行っていないなどの問題点も多く、今後の課題として考えていきたい。

[参考文献]

- 1) 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, 京大大学防災年報, 第40号B-2, pp.1-18, 1997.
- 2) Haining, R.: Spatial data analysis in the social and environmental sciences, Cambridge, 1990.
- 3) 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.
- 4) 小林四郎: 生物群集の多変量解析, 蒼樹書房, 1995.
- 5) Levins, R.: Changing Environments, Princeton University Press, 1968.
- 6) Pianka, E.R.: The Structure of Lizard Communities, Ann. Rev. Ecol. Syst. 4, pp.53-74, 1973.
- 7) Hurlbert, S.L.: The measurement of niche overlap and some relatives, Ecology 39, pp.67-77, 1978.
- 8) 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.
- 9) 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.
- 10) 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.
- 11) 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.
- 12) 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, Vol.7, 1998.
- 13) 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, Vol.23, 2000.
- 14) 岡田憲夫, 梶谷義雄, 河野俊樹, 多々納裕一, 角本繁: 計画的に見た都市診断の役割とDiMSISの有効性に関する研究, 京大大学防災年報, 第44号B-2, 2001.

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の観点から地域コミュニティの活力状態に影響を及ぼすコミュニティ生活の質を評価するための指標及びアプローチの検討を行った。こうした分析視点は復興過程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。その際、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交流指標として着目し、空間統計学的な観点から再解釈することを試みた。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ケーススタディの結果、建物復興状態では判断できない地域の内部状態が示された。

Spatial Temporal Analysis of Human Activity Distributions in Disaster Recovery Processes

By Yoshio Kajitani** , Norio Okada*** and Hirokazu Tatano***

This paper presents the effectiveness of monitoring and evaluating 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. Based on the niche overlap index, an attempt has been made to derive theoretical implication of spatial-temporal statistics. It has been shown that community cohabitative communication level as measured by the proposed indicators showed some aspects of the inside of communities which can not be measured by the speed of recovery of buildings.
