

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

岡田憲夫・前川和彦*

*阪神高速道路公団

要 旨

本研究では、都市の災害リスクを「(人間の)活動リスク」と「場のリスク」との複合併存状態のリスクと捉え、リスク要因の重なり合いを生物群集の分布解析に用いられているニッチ分析の手法を用いて評価する。重なり合いによって評価するリスクの特性として、「活動」同士の「共棲性」及び、「場のリスク」等との「集積性」に着目する。さらに、ニッチ分析の手法を実在の都市に対して適用し、その適用可能性についても検討を行う。

キーワード：ニッチ分析，活動リスク，場のリスク，共棲性，集積性

1. はじめに

都市には人口が集中し、様々な活動が行われ、多くの都市機能が集積している。しかし、一度災害が発生すれば、多くの機能が麻痺し、都市活動が阻害され、結果的に、大きな被害を受ける。特に大きな都市にあっては、都市活動や機能は多様化し、これらが複雑に絡み合っているため、いったん災害が起こると、複合災害の様相を呈することになる。このように、人の活動と都市機能の地理的な分布の重なり具合が、災害による被害の程度を大きく左右する可能性がある。本研究では、こうした都市の複合災害リスクの評価法の開発を試みる。

2. 都市(災害)リスク

都市のリスクをいくつかの種類に分けて考える。まず、人の地区別分布に注目すれば、お年寄りなどの災害弱者になりやすい人たちが多く住む地区など、特定の年齢層に偏っている地区とそうでない地区がある。また多くの都市活動が集中する地区があるかと思うと逆に万遍なく各地区に活動が分散していることもある。このような都市活動の集中性や偏在性

は都市の活力の源であるとともに、ある種のリスクの発生源とも考えられる。従って、都市にいったん震災などが起きた場合、特定の地区に人口や活動が集中していればいるほど被害は大きなものになり得ると思われる。このような人間の活動の分布状況によってもたらされるリスクを「活動リスク」と呼ぶことにする。

一方、活断層や軟弱地盤、老朽化した建物などが、都市内の特定の場所に存在するならば、それだけ複合災害のリスクは高くなる。そこでこの種のリスクを「場のリスク」と呼ぶことにする。

さらに、この「場のリスク」は次の2つに分けられる。第1が、地区内の建物の老朽度等の「環境の質」に関わるもので、この「環境の質」の善し悪しが、その地区で災害が発生した際の被害の程度に影響を与える。これを「環境の質のリスク」(誘因＝ハザード)と呼ぶ。もう1つは、自然災害が発生する可能性が高い箇所、例えば、活断層や河川や海沿いの地域などに関わるもので、そこには「災害発生のリスク」(素因＝ペリル)が潜在していると考えられる。実は、これら3つ(活動、環境、災害発生)のリスクは相互に関係しあっている。内部に「災害

発生のリスク」を含んだ「環境の質のリスク」が分布する場（都市）に対して、人々の「活動」が多重に分布し、折り重なる。このように都市という場には都市災害リスクが潜在的にかつ重層的に醸成されている。例えば、「場のリスク」の高い場所と「活動リスク」の高い場所とが重なり合えば、その地域の災害に対する都市のリスクはそれだけ大きなものになる。

以上のような観点から、本研究では都市災害リスクを、「活動リスク」と「場のリスク」の「複合的併存状態」のリスクとして捉えるとともに、都市内における空間的な分布の重なり多重リスクとして評価するための技法について検討する。なお、本稿の一部は既に前川(1997)、前川・岡田(1996)、岡田・前川(1996)が発表したものと重複しているが、本稿は特にニッチ重なり合いの指数の基本的特性や実証分析において新しい展開を試みる。

3. ニッチ重なり合い

3.1 ニッチ分析

リスクの空間的分布の2種類の重なり合いを、「活動」を中心にして次の3パターンに分けて考える。

- ・「活動」と「活動」のリスクの重なり合い
- ・「活動」と「環境の質」のリスクの重なり合い
- ・「活動」と「災害発生」のリスクの重なり合い

これらの空間的分布の重なり合いを定量的に分析するための指標としてニッチ分析の手法を用いる(小林, 1995; 木元・武田, 1987; MacArthur, 1982)。ニッチ分析は生物群集の棲み分けの分布解析に主に用いられている。生物は生活資源や環境要因を変量とする一定の範囲内に生息する。これらの環境変量を座標軸に選ぶと、生物は、餌の種類や活動の時間、生息場所などの座標軸上で、一部は重なりつつも大半は単独で存在するなどの棲み分けを行っている。また、生物種によっては、多種類の餌をとるものもあれば、特定の種類の餌しかとらないものもあるなど、環境(資源)利用の幅がそれぞれ異なる。生物種のニッチについての代表的な定義では、「環境要因や食物などの生活資源を座標軸とする多次元座標系における、その中の1つの多次元空間」が個々の種のニッチとされる(小林, 1995)。ニッチ分析では、各生物種のニッチの広がりを表す「ニッチ幅」や、生物種間の「ニッチ重なり合い」の程度を表す定量的な指標が用いられている。

本研究では、都市をいくつかの地区に分け、その地区毎に存在する「各種の活動(を行う人々)」、「環境の質を表す量」、および「自然災害発生危険箇所」のそれぞれをニッチ分析における生物種、すなわち

リスクの源となる種と見なし、それらのニッチ重なり合いを評価する。

3.2 重なり合いの特性:「共棲性」と「集積性」

本研究では、「重なり合い」によって複合災害リスクを評価する。その際、重なり合いの性質として、「共棲性」と「集積性」という二つの特性に着目する。

「共棲性」とは、リスク要因1とリスク要因2が、その分布パターンを同じくし、共に場所を共有して存在しているというイメージの概念である。本研究では、様々な人の活動や年齢や職業等を異にする人の分布の仕方を「活動リスク」として捉える。つまり、「共棲性」が高いということは、比較された一对の「活動」分布の類似性が高く、都市内で空間的に同所で活動が行われている可能性が大きくなると推察される。その際、ある「活動」と別のある「活動」が共に場所を共有して行われていることで、災害時の対応等に有利になる場合が考えられる。また、その逆に不利になることもあるだろう。

例えば、「災害弱者」と見做されるお年寄りや幼い子供と、他の人々とは、当該の都市や都市圏において、共に居住していたり、あるいは似た行動パターンで都市内部を移動しているとする。また、場所を同じくするという事は、時間を同じくして活動している(同期している)ということでもある。このように、同じ場所に居たり、同時に活動して共に存在する可能性が高いほど、より「共棲」しており、災害が起こった時に、「災害弱者」が他の人々の支援を受けやすい状況にある、と推察される。事実これは阪神・淡路大震災で実際に確認されたことでもある。つまり、このような共棲(の重なり)の度合の大きさが、災害に対する地区の抵抗力の強さを表す指標となり得るであろう。

「共棲性」は、分布パターンの相似性・周期性に着目している。互いの分布が似ているか、そしてそのフェイズ(位相)は同期しているかが問題で、分布の広がりや狭さは考慮されない。一方、「集積性」では、分布の幅、ニッチ幅の大きさが考慮される。ニッチ幅が狭いということは、そのリスク要因が都市内の特定の地区に局在化して集積しているということである。一方のリスク要因の集積地区と、もう一方のリスク要因の集積地区が重なっているということは、それだけその二つのリスク要因からなる複合災害リスクが局在する形で高まっていることを示している。

例えば、「場のリスク」のうち「環境の質のリスク」を考える。これは、地震などが発生した際、被害を拡大する要因となる。その場合、環境の質のリスク

要因と、他の「活動リスク」や「場のリスク」との重なり合いが局在化して集積しているということは、それだけ、危険な地域にその活動が集中して、災害リスクが高まっているということである。あるいは、「場のリスク」同士が二重に集積していて、非常に危険な地区が特化して存在しているということであったりする。

3.3 ニッチ重なり合いの指数

ニッチ重なり合いは、2つの異なる生物種のニッチがどの程度重なっているのかを示す量であり、その指数はこれまでに生物学の分野においていくつか提案されている。それらの指数にはそれぞれ異なる特徴があり、考え方の違いがある。そこで次に、上で述べた二つの重なり合いの特性、すなわち「共棲性」と「集積性」を定量的に評価する方法について検討する。そのために、これまで生態学で提案されてきたニッチ重なり合いの指数の中から、それぞれの特性を表すのにふさわしいものとして C_{hi} (Whittaker・Fairbanks, 1958) と LO (Hurlbert, 1978) の2つを用いることにし、その指数の基本的な特性について予備的な検討を行う。

(1) C_{hi}

「共棲性」を表すニッチ重なり合いの指数として、 C_{hi} を用いることにする。 C_{hi} は、ユークリッド距離に関連するニッチ重なり合い指数の一つである。

ニッチ分析において、ある環境変数を表す座標軸での生物種の好適度(相対アバンダンス)の変化を表したものを利用曲線と呼ぶ(小林, 1995)。本研究においては、環境変数として、都市内の各地区を選ぶので、各地区を横軸にとり、各地区内での種の存在数を全地区の種の存在数で除したもの(相対アバンダンス)を縦軸にとって、座標上で連ねたものが利用曲線となる(Fig. 1参照)。 C_{hi} はニッチの重なり合いをみる2つの種の利用曲線が重なる部分の割合を表す。利用曲線が完全に重なるとき1、利用曲線の重なる部分が全くないとき0となる。種*h*と種*i*の C_{hi} は次式で表される。

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

ここで、 j は L 個に分けられる都市内各地区を表し、 p_{hj} と p_{ij} は各々種*h*と種*i*の地区*j*での相対アバンダンスを表す。この式より、ニッチ重なり合いを調べる2種の分布形が近い場合、 C_{hi} は大きく、1に近い値をとり、逆に、形が異なり、重なる部分が少なくなるほど小さくなって0に近づくことがわかる(これは理論的に証明できる。)

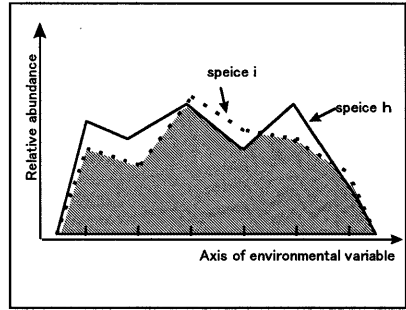


Fig. 1 C_{hi} as the area overlapped by distributions of two species

さて、この指数は、0から1の間の値を取るが、どのような分布の重なり合いに対して、どのような値をとるのか、典型的な分布パターン同士の重なり合いをモデルにしてその基本的な特性を実計算により解析した。具体的には、ある地区を中心に、周辺の地区ほどその地区内における種の相対アバンダンスが小さくなる分布パターンを用いた。すなわち Fig. 2に示す7つの基本的な分布パターンに対して、最も相対アバンダンスが大きい中心地区(以下、最頻分布地区と呼ぶ)の位置と、相対ニッチ幅の値を少しずつ変らした分布パターン同士を組み合わせ、ニッチ重なり合いの値を確認した。ここで、相対ニッチ幅とは、大きさが0から1の値を取るよう基準化されたニッチの広がりを表す指数であり、1に近いほど分布が全地区に万遍なく、0に近いほど一ヶ所に集中的に分布することになる。結果をニッチ重なり合いを標高とする等高線で表現した Fig. 3に示す。この図から分かる特徴を列挙すると、次のようである。

- C_{hi} の値は、最頻分布地区及び相対ニッチ幅が一致する所を中心に、分布同士がずれるほど小さくなっていく。

- 基準となる分布パターンの相対ニッチ幅が大きくなる程、最頻分布地区のずれは、 C_{hi} の大きさに影響を与えなくなる。つまり、もう一方の相対ニッチ幅のみに依存して C_{hi} が変化ようになる。

- 基準となる分布パターンの相対ニッチ幅が小さいほど、もう一方の分布パターンの相対ニッチ幅が、それと異なるものとなっていき、それにつれて、 C_{hi} の値は急激に減少する。

これらのことから、「活動」が最も盛んに行われて

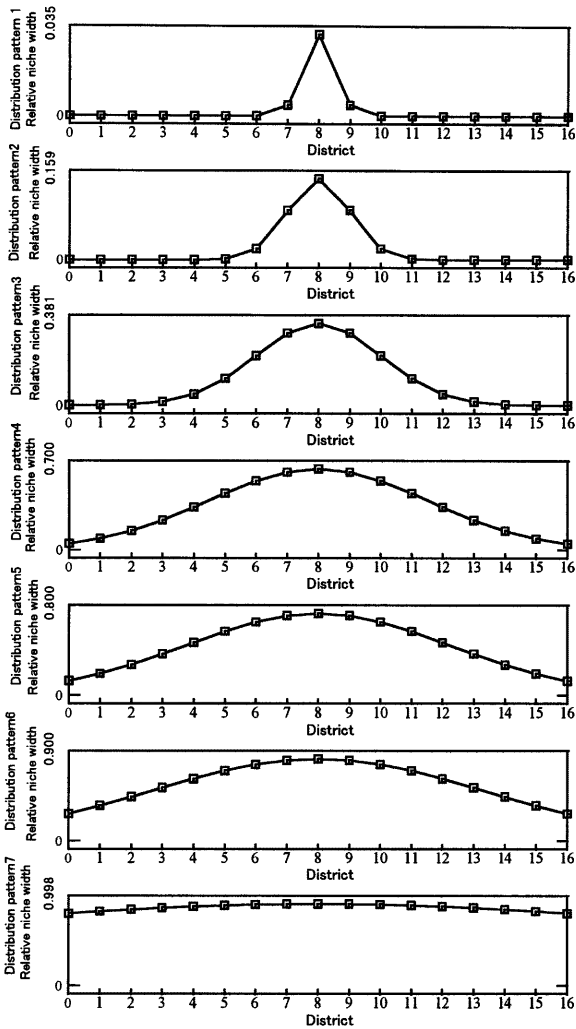
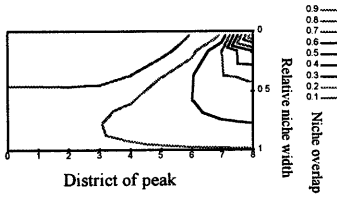


Fig. 2 Model distribution patterns

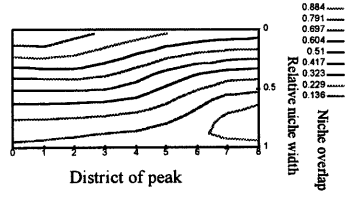
いる地区、つまり最頻分布地区が「活動」同士で一致しているとしても、互いの相対ニッチ幅の大きさが異なれば、 C_{hi} は1に近い値をとらないという傾向が認められる。つまり、 C_{hi} は同一の分布パターンで

あることが1に近い値をとることに大きく影響を与えることが分かる。従って、この意味で C_{hi} は、「共棲性」を表す指数として適切であると言える。また、相対ニッチ幅の小さな分布パターンほど、他の分布

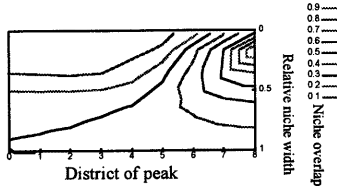
overlapped with distribution pattern 1



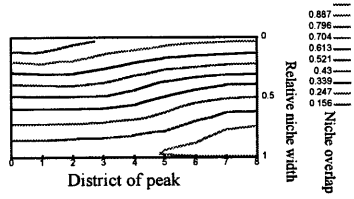
overlapped with distribution pattern 5



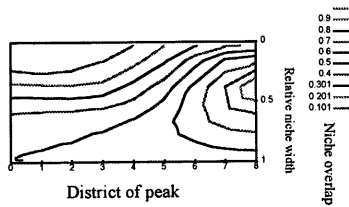
overlapped with distribution pattern 2



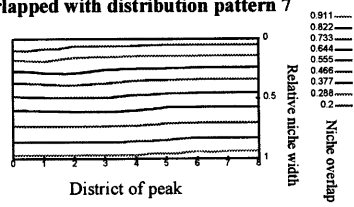
overlapped with distribution pattern 6



overlapped with distribution pattern 3



overlapped with distribution pattern 7



overlapped with distribution pattern 4

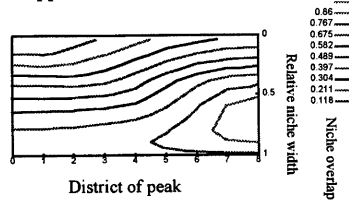


Fig. 3 Comparison of distribution patterns by C_{hi}

パターンとの C_{hi} が大きくなり、分布地区が特殊化していると言える。つまり、他の活動と「共棲」しにくいことがわかる。このようなことを勘案して、 C_{hi} を「共棲性」を表す指数として用いること

とする。

(2) LO

「集積性」を表すニッチ重なり合いの指数として、 LO を用いることにする。 LO は各地点での資源量を

考慮したニッチ重なり合い指数である。

前述したように、ニッチ分析では、ある環境変数における個々の環境傾度における対象となる生物種の分布数が用いられて、ニッチ幅やニッチ重なり合いが求められる。例えば、水辺からの距離が、どれだけ離れた地点ではどんな種がどれだけいる、といったことが調べられる。そして、水辺からの距離がどれぐらいの範囲でどのように対象となる生物種が分布しているかが、ニッチ分析の指標で表現される。ここで「資源量」あるいは「資源利用可能性」という特性が関わってくる。ある水辺から、ある距離にある地点に、他の地点よりも特定の生物種が多くいたとしても、それは、水辺からの距離が最適であるというだけの影響とは限らない。その距離において、その生物種が利用可能な餌などの資源が豊富にあるということかもしれないのである。

よって、ニッチ重なり合いを求める上で、資源量の多寡を考慮する必要がある。ある地点において、ニッチ重なり合いを求める2つの生物種が互いに集中して存在しているとしても、資源量が他の地点に比べてその地点で豊富であるならば、必ずしも、ニッチが極度に重なり合っているというわけではなくなる。このようなことから、ニッチ重なり合いの指数 LO が提案された (小林, 1995)。

ある地点に存在する資源量を消費するのに適切な数以上に、その地点に種が存在するならば、そこでは種間資源の争奪が生じ、種間の遭遇頻度が他の地点に比べて大きくなる。そこで、各地点での2種の遭遇頻度が、その地点での資源量に対する種の数(一種の密度)の双方の積と、その地点での資源量に比例すると仮定する。このとき、種間遭遇頻度 E は次式で表される (小林, 1995)。

$$E = \sum_j \left(\frac{n_{hj}}{a_j} \right) \left(\frac{n_{ij}}{a_j} \right) a_j = \sum_j \frac{n_{hj} n_{ij}}{a_j} \quad (2)$$

ここで、 a_j は地区 j での資源量、 n_{hj} 、 n_{ij} はそれぞれ地区 j での種 h 、種 i の存在数である。また、全地点に一律に資源とそれぞれの種が分布しているとした場合の種間遭遇頻度 E_u は、次式で表される。

$$E_u = \frac{M_h M_i}{A} \quad (3)$$

ここで、 $A = \sum a_j$ 、 $M_h = \sum n_{hj}$ 、 $M_i = \sum n_{ij}$ である。種間の資源利用に地区によって偏りがない場合は、種間遭遇頻度 E は E_u と一致する。 LO は E と E_u の比として次式のように表される。

$$LO = \frac{E}{E_u} = \frac{A}{M_h M_i} \sum_{j=1}^L \frac{n_{hj} n_{ij}}{a_j} \quad (4)$$

この式より、対象となる2種が特定の地区に集中するほどに、 LO の値が1よりも大きくなっていくことが分かる。さらに、その集中する地区が資源量が少ない地区である程 LO は大きくなる。逆に、特定の地区に集中しているとしても、その地区の資源量が多ければ、 LO の大きさはそれほどでもなくなる。また、一方の種の分布が、資源量に比例している場合、もう一方の種がどのように分布しているのかにかかわらず、 LO は1となることが容易に分かる。(理論的にも証明可能である。)つまり、資源量が全地区で同一であるならば、少なくとも一方の種の分布が一様であるときに、 LO は1となる。

C_{hi} と同様に、Fig. 2 に示される分布パターンを基準として、異なる分布パターンを重ね合わせた際の LO を求めて、その変化の仕方を検討した。この際、各地区の資源量はどこも一定であるとした。結果を Fig. 4 に示す。この図から分かる特徴を列挙すると、以下のようである。

- ・互いの最頻分布地区が一致している場合、一方、もしくは双方の相対ニッチ幅が小さく、分布が特定の地区に集中的な分布パターンであるほど、 LO は大きな値となる。また、その値の変化は、互いの相対ニッチ幅が小さくなる程に1よりも急激に大きな値となる。

- ・相対ニッチ幅が小さく、分布が特定の地区に集中的な分布パターンである程、互いの最頻分布地区がずれることにより、 LO は急激に小さな値となる。

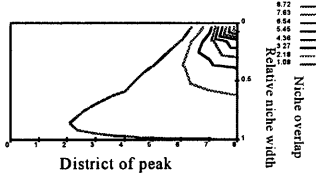
- ・一方の相対ニッチ幅が1に近い、すなわち一様な分布パターンである(資源量が各地区で変化する場合は、資源量に比例した分布パターンの場合)ならば、もう一方の分布パターンの如何にかかわらず、 LO は1に近い値をとることになる。

- ・一方の相対ニッチ幅が小さい場合、 LO の値の変化は、互いのニッチ幅の違いによる影響をほとんど受けず、最頻分布地区のずれによる影響を強く受け、最頻分布地区がずれる程に LO は小さくなる。

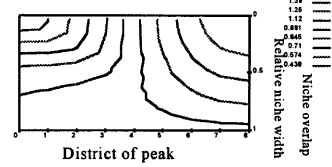
このように、 LO は C_{hi} とは異なる特性を示す。 C_{hi} では相対ニッチ幅が同じもの同士の間でニッチ重なり合いが大きくなっていったのに対し、相対ニッチ幅よりも、最頻分布地区が一致しているか、ずれているかが LO の値の大小に大きく関わってくる。また、相対ニッチ幅がせまく、集中的な分布が重なるときに LO の値はきわめて大きくなる。

このことから、 LO が大きいことは、比較する2種の集積リスクが高まり、集積性に関してリスク分散が行われていないことを示すといえる。よって、 LO を「集積性」を表すニッチ重なり合い指数として採用する。

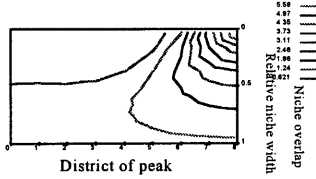
Overlapped with distribution pattern 1



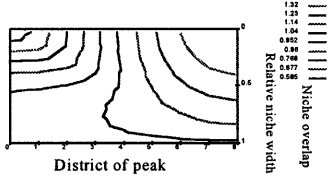
Overlapped with distribution pattern 5



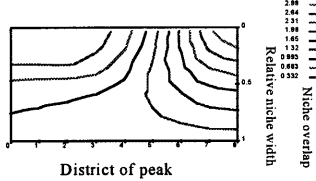
Overlapped with distribution pattern 2



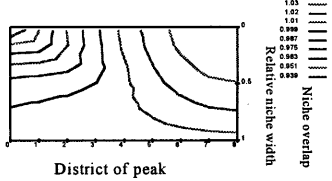
Overlapped with distribution pattern 6



Overlapped with distribution pattern 3



Overlapped with distribution pattern 7



Overlapped with distribution pattern 4

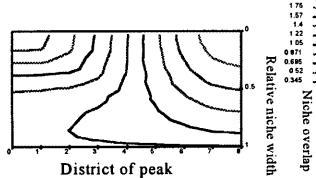


Fig. 4 Comparison of distribution patterns by LO

具体的な資源量として本研究では、都市内の各地区の「面積」を取る。その理由は、人間や「場のリスク」の分布データが、一定面積の地区毎に収集・整理されているのではなく、むしろ、面積の異なる行

政区画単位でしか得られない場合が現実には多いからである。その際、資源量として地区面積を採用することにより、各地区の面積の大小による偏りを基準化することができる。すなわち、面積の大き

い地区では地区内の種の数が多くても、種の密度が小さく評価され、また、面積の小さい地区で種の数が多ければ種の密度がより大きく評価されるようになり、このようにして空間的な密度が考慮できる。

4. ニッチ分析手法の大阪都市圏への適用

4.1 「活動」分布の推定

本章では、前章で検討したニッチ分析の手法を、実在の都市に適用して都市災害リスクの評価を行う。対象としては、大阪府下の都市・地域を取り上げて、比較分析を行う。その際、異なる時刻・時間帯によって、人々の活動分布が変わることに着目する。また、そのような異なる時刻のいろいろな活動に従事する人々の分布を知るために、パーソントリップ調査のデータを用いることとする。実際に用いるデータは、第3回京阪神都市圏パーソントリップ調査のデータである（京阪神都市圏交通計画協議会、1990；大阪府、1992）。

活動の種類としては、年齢層、産業、職業の3属性を取り上げるとともに、各都市・地域について時間帯別の各活動地域分布を調べることにした。これは阪神・淡路大震災が早朝以外の別の時間帯に起こっていたとすれば、被害の規模や形態が相当に異なったものになったであろうと推測されるからである。このことを共棲性や集積性という観点から何らかの定量的なリスク指標を提示しておくことが不可欠と考える。

なお、パーソントリップ調査の設問における分類に基き、本研究において分布を調べた属性の例をTable 1に示す。

「活動リスク」の推定人数分布はTable 2のような形で得られる。Table 2の単位は人数である。パーソントリップ調査でアンケート調査された調査圏域内に居住する人の約3%に当たる人数である。

4.2 「活動」間の共棲性の評価

(1) 「活動」間の共棲性の夜間と昼間の比較-堺市、豊中市

「活動」間の共棲性の評価を行うに当たり、対象都市として、大阪府下の堺市（人口約80万人）と豊中市（人口約40万人）の2市を取り上げて、比較分析を行う。また、昼と夜では、人々の移動による分布の変化があると考えられるので、午前4時と正午の分布を調べて比較分析を行う。午前4時のものは、夜間人口として各地区に居住する人口を表し、正午のものは昼間人口のうち、各地区のおもに従業員を表すものと想定する。このようにして、都市に存在するリスクの性格をつかむことにする。用いるニッ

チ重なり合いの指数は、「共棲性」を表す C_{hi} である。パーソントリップ調査結果データに基づき、堺市は33、豊中市は14の地区に分け、地区毎に職業、産業、年齢層の3属性に関して、当該活動に従事している人の数を推定する。

求めた各種活動間のニッチ重なり合い C_{hi} の例をTable 3に示す。

全体の傾向として、夜間は各種活動間のニッチ重なり合いが昼間に比べて高くなっている。夜間における分布は、居住地の分布を示すと思われることから、居住地に関しては、どの「活動」間にも、昼間の分布が示すであろう従業地の分布ほどには、分布に差がないものと判断される。昼間の分布が示す各種活動に従事している地区は、それぞれ異なってくる傾向があり、昼間は、各種活動間の「共棲性」が低くなっていると言える。

「災害弱者」と考えられるお年寄り（70歳以上の老人）と、他の年齢層とのニッチ重なり合いを示したのが、Fig. 5である。これより、夜間では堺市、豊中市ともに似た傾向を示す。すなわち、10代、20代の若者とお年寄りとの共棲性が高くなっているが、昼間は共棲性が低くなり、比較的、高い年齢層との共棲性が高くなっている。災害時の避難や救助活動等を考えると、若者がお年寄りと同時に「居合わせる」ことが、それだけ被害の軽減に繋がると考えられる。この点、夜間は比較的良い傾向が見られるが、昼間は災害リスクが高くなっていると判断できる。

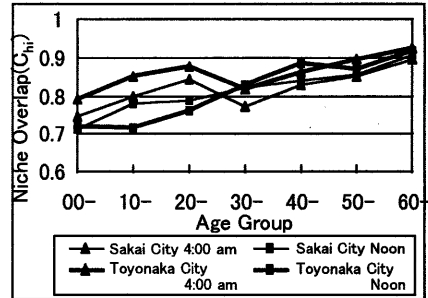


Fig. 5 Niche Overlap for both Age 70 and Other Age Groups

このように、夜間と昼間では、各種活動の分布に差が生じている。また、災害リスクの観点からは、「災害弱者」と他の人々との「共棲性」を知ることが重要である。その点で、「活動」同士のニッチ重なり合いの分析により、堺市、豊中市ともに認められた特徴として、夜間に比べ昼間の年齢層毎のニッチ重

Table 1 Lists of three representative items

Profession	Age
1.Farmer	below 9
2.Mining	10~19
3.Factory Worker	20~29
4.Salesperson	30~39
5.Service Worker	40~49
6.Transportation and Communication	50~59
7.Security Service	60~69
8.Office Worker	above 70
9.Engineer	
10.Manager	
12.Student(below 15)	
13.Student(above 15)	
14.Housewife	
15.Others	

Table 2 Estimated distribution of people by district and by age

Toyonaka Noon	District number													
	11	12	13	14	15	16	17	21	22	23	24	25	26	27
below 9	59	16	100	37	30	25	0	26	22	42	20	23	42	25
10~19	78	81	200	53	79	137	3	100	32	103	60	97	67	19
20~29	84	129	53	107	27	47	31	95	49	71	66	48	53	43
30~39	86	58	97	81	38	49	19	73	79	89	75	53	77	43
40~49	102	66	83	91	50	69	14	115	107	88	102	50	73	72
50~59	71	53	44	78	39	61	8	121	67	69	59	25	54	65
60~69	54	33	40	40	17	46	4	66	53	39	38	15	44	55
above 70	38	22	36	25	13	42	0	55	42	24	44	9	38	34

なり合い(共棲性)の低下が指摘でき、世代間に非同期居所性があることが予想される。

(2) 年齢層のギルド構造の24時間変化-堺市、豊中市、大阪市

そこで、次にこの世代間の非同期的居所性の構造を分析する。その際、堺、豊中両市に加えて、大阪府の中心都市であり、昼間人口が特に増加する大阪市(人口約250万人)についても分析を行い、都市構造の比較を行う。パーソントリップ調査のデータによる活動分布の推定により、堺市、豊中市では昼間の人数が夜間に比べて少なくなっているのに対し、大阪市では昼間の方が多くっており、昼間に人口が流出するか、人口が流入するかで堺、豊中市と大阪市では違いがある。なお、大阪市はパーソントリッ

プ調査のデータにより、27の地区に分割して人数分布を推定する。また、それぞれの都市について、構造の時間変化にも着目し1日24時間、1時間毎の構造を比較分析する。この分析に当たっては、ギルドの概念を用いる。ニッチ重なり合いの指数によって、異なる2つのリスクの重なりを評価することが可能であるが、「活動リスク」を構成する種は一般に2つ以上存在し、それら相互の関係を2つの「活動」の重なり合いだけで表現し評価するのは困難である。そこで、ギルドの概念を使用する。ニッチ分析においてギルドとは、似たような生活資源を利用する生物種のグループのことを言う。つまり、ある環境変量における特定の環境傾度の付近に複数種の生物種が同じように分布しているときに、それらをギルドとしてまとめることができる。ギルドを検出するため

Table 3 Niche overlap between age groups

Sitei 40AM	Below9	10~19	20~29	30~39	40~49	50~59	60~69	Above70
Below9	1.000	0.894	0.835	0.899	0.856	0.807	0.780	0.745
10~19		1.000	0.887	0.911	0.909	0.886	0.830	0.798
20~29			1.000	0.899	0.920	0.914	0.893	0.842
30~39				1.000	0.922	0.871	0.829	0.773
40~49					1.000	0.908	0.876	0.830
50~59						1.000	0.889	0.851
60~69							1.000	0.896
Above70								1.000

Sitei Non	Below9	10~19	20~29	30~39	40~49	50~59	60~69	Above70
Below9	1.000	0.835	0.693	0.779	0.734	0.716	0.725	0.714
10~19		1.000	0.741	0.781	0.754	0.738	0.794	0.780
20~29			1.000	0.872	0.880	0.847	0.855	0.787
30~39				1.000	0.915	0.885	0.859	0.820
40~49					1.000	0.921	0.880	0.838
50~59						1.000	0.874	0.854
60~69							1.000	0.908
Above70								1.000

Toyouka40AM	Below9	10~19	20~29	30~39	40~49	50~59	60~69	Above70
Below9	1.000	0.908	0.871	0.984	0.879	0.849	0.813	0.730
10~19		1.000	0.886	0.990	0.941	0.881	0.845	0.852
20~29			1.000	0.894	0.908	0.893	0.891	0.878
30~39				1.000	0.920	0.867	0.829	0.817
40~49					1.000	0.885	0.873	0.862
50~59						1.000	0.906	0.866
60~69							1.000	0.925
Above70								1.000

Toyouka Non	Below9	10~19	20~29	30~39	40~49	50~59	60~69	Above70
Below9	1.000	0.795	0.727	0.824	0.778	0.737	0.745	0.720
10~19		1.000	0.715	0.776	0.747	0.729	0.721	0.715
20~29			1.000	0.850	0.855	0.842	0.810	0.799
30~39				1.000	0.913	0.861	0.856	0.828
40~49					1.000	0.912	0.911	0.894
50~59						1.000	0.908	0.898
60~69							1.000	0.919
Above70								1.000

にはいくつかの方法があるが、ニッチ重なり合いの指数を用いたクラスター分析による方法がある(小林, 1995)。すなわち、クラスター分析では、複数の対象をグループ分けするのに、対象間の類似度から距離を計算し、その近いものを同一のクラスターとして統合する。ここでは、ニッチ重なり合いの指数を種間の類似度として採用し、ニッチ重なり合いの大きい種同士をクラスターとして統合していく。そして、あるクラスターに属する種同士のニッチ重なり合いの大きさが、他のクラスターに属する種とのニッチ重なり合いと比べて、明らかに大きいものであるとき、そのクラスターに属する種のグループを

ギルドとみなすことができる。このようなギルドの概念を使用することにより、複数の「活動リスク」を構成する種間の構造を分析することが可能となる。

本研究では、10代、20代と言った年齢層をそれぞれ種とみなし、種間のニッチ重なり合い(C_{hi})を種間の「距離」として、最長距離法によるクラスター分析を行う。ニッチ重なり合いを距離の指標として用いるために、ここでの「距離」は通常の距離とは逆に、距離が近いほど数値が大きくなる。すなわち、1のとき最も距離が近く、0のとき距離が最も離れていることになる。

さて、堺市、豊中市、大阪市の3市について、1日

24時間、1時間毎の年齢層のギルド構造をクラスタ分析により調べた結果がそれぞれ Fig. 6, Fig. 7, Fig. 8 である。

本研究では、年齢層に関しては、「災害弱者」と考えられる年齢層と、他の年齢層の居合わせの度合に注目している。以下の分析では、0代、10代と60代、70代以上を災害弱者に当たる年齢層とみなす。

クラスタ分析により、距離の近い、すなわちニッチ重なり合いの大きい年齢層（のグループ）同士からクラスタに統合される。本研究では、9歳以下、10代、20代、30代、40代、50代、60代、及び70代以上の8つの年齢層に分ける。

これらの図より認められる結果を以下にまとめる。

夜間と昼間に構造が一定である時間帯、その間に構造が変化する時間帯が存在することが、堺市において顕著にみられた。これは、在宅時と勤務時、及び通勤時のそれぞれの年齢層のギルド構造を表していると考えられる。そして、豊中市と大阪市においては、構造が一定である時間帯は細切れになっているが、これは、豊中、大阪両市においては、通勤などの人の移動以外の移動の影響が大きいと考えることが可能である。そのことが関係していると推定されることとして、堺市では朝と夕方において、1時間毎に構造が変化する時間帯があるのに対して、豊中市においては朝、大阪市においては夜だけに1時間毎に構造が変化する時間帯があるという違いが認められる。

また、3市ともに3時間以上、構造が一定となっている時間帯は、3時から6時の明け方の時間帯であり、その時間帯には多くの人が居住地に存在し、移動中の人はほとんど存在しないという共通の特徴も認めることができる。

世代間の非同期居所性に関しては、夜間において、50代以上ないし60代以上の年齢層が一つのギルドを構成する傾向が、3市ともに見られた。これは比較的高年齢層が一定の地域に居住していることを示していると思われる。また、昼間は、0代、10代が他の年齢層と孤立居所する傾向が見られる。これは学校に通っていることの現れと思われる。

その他、夜間は、大阪市の各年齢層のニッチ重なり合いが、堺市、豊中市に比べて大きくなっているのに対し、昼間は、レベル7の結びつきにおけるニッチ重なり合いが極端に小さく、災害弱者と他の年齢層との非同期居所性が際立っている。すなわち、堺市、豊中市では、市全体で昼間に若者の人口流出があるのに対し、大阪市では逆に、昼間に若者の人口流入があることによる。これは、人口構造の違いに原因があるう。

(3) 正午における年齢層のギルド構造の他地域での比較

以上、堺、豊中、大阪の3市に関する分析より、昼間のニッチ重なり合いの低下がいずれの都市にもみられた。次に、大阪南部の泉南市、阪南市、岬町の3市町からなる地域（人口約14万人、以下では泉南南地域と呼ぶことにする）を対象に比較分析を行う。併せて参考として、堺、豊中、大阪、泉南南全市（地域）を含む大阪府全体を1つの地域として取り上げた場合について、正午における年齢層のギルド構造を分析し、それぞれの構造を比較する。なお、泉南南地域は5、大阪府全域は30の地区に分割して、人数分布を推定する。クラスタ分析の結果を Fig. 9, Fig. 10, Fig. 11, Fig. 12, Fig. 13 に示す。

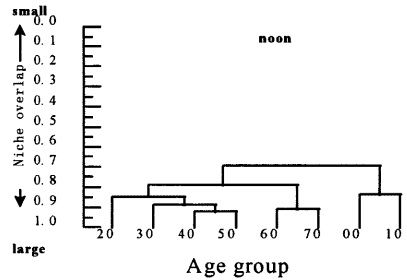


Fig. 9 Clustering by dendrogram (age groups in Sakai city)

堺、豊中、大阪市も含めた正午における全体の傾向として、クラスタの統合は近い年齢層同士の間で行われていくことが指摘できる。ここでは、年齢層を異なる種として扱ったが、年齢層は本来、連続的なものであり、しかもこれらのより広い年齢層全体での都市における活動状況が、ある程度似ていることがその理由として考えられる。ただし、大阪市の場合など、10代と20代、50代と60代の距離は大きく、むしろ10代と60、70代との距離に近いことも留意すべきである。次に、堺市、豊中市と大阪市を比較する。堺、豊中市ではともに、0～10代と20代以上が、大きく2つのクラスターに分けられる。そして、20代以上のクラスターが、20～40代と50代以上、もしくはは20～50代と60代以上の2つに分けられる。一方、大阪市では、大きく、20～50代のクラスターと、0～10代及び60代以上が一つになったクラスターの2つに分けられ、堺、豊中市と若干構

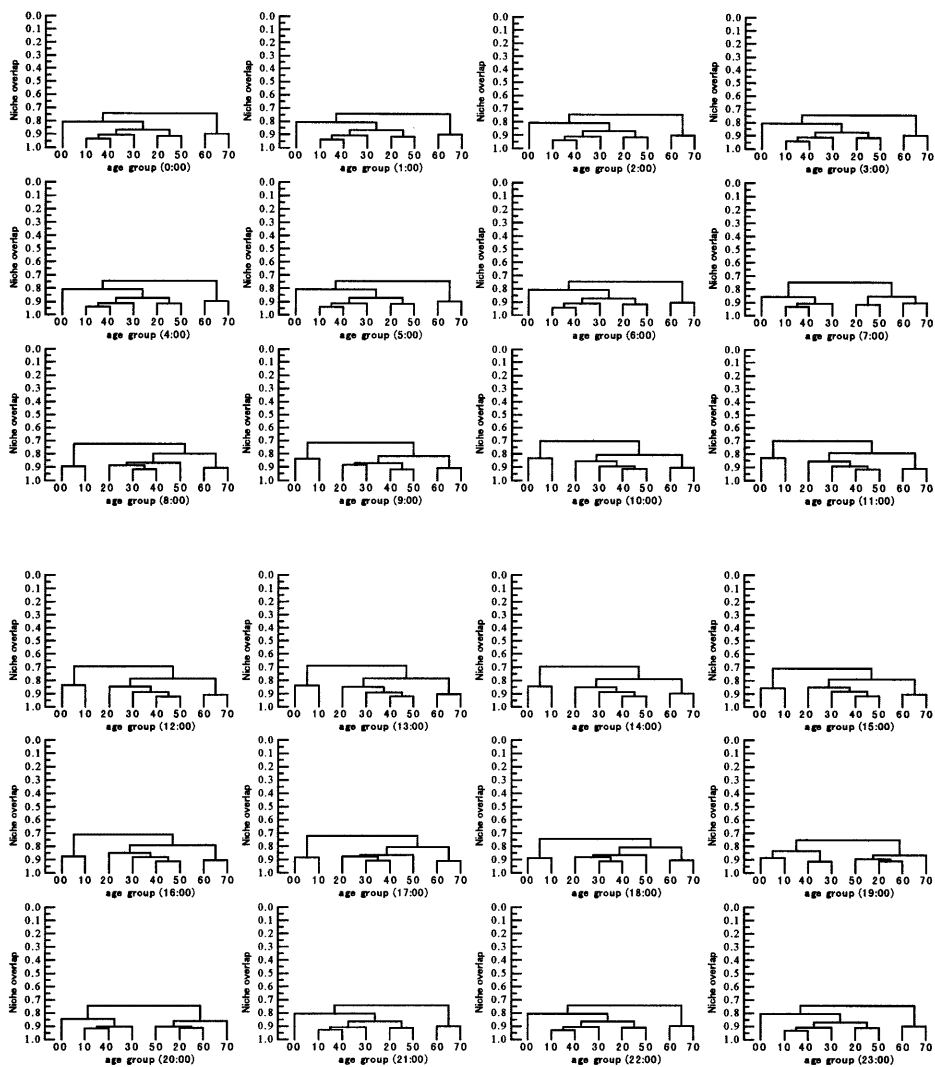


Fig. 6 Change of guild structure of age groups in Sakai city (from 0 hr. to 24 hrs.)

造が異なり、また、堺、豊中市に見られるクラスターに比べて、クラスター間の距離が離れている。

泉南地域について見ると、ここでも、堺、豊中、大阪市と構造の違いはあるが、幼年層、老年層と中間の年齢層との孤立居所性の傾向が見られる。ただ、

泉南地域では、堺、豊中、大阪市に比べて、年齢層間の距離が互いに近くなっている。

以上要するに、「災害弱者」層と他の年齢層との孤立居所性の傾向は、いずれの地域でも見られるが、大きな都市であるほど「災害弱者」層の孤立度が高く

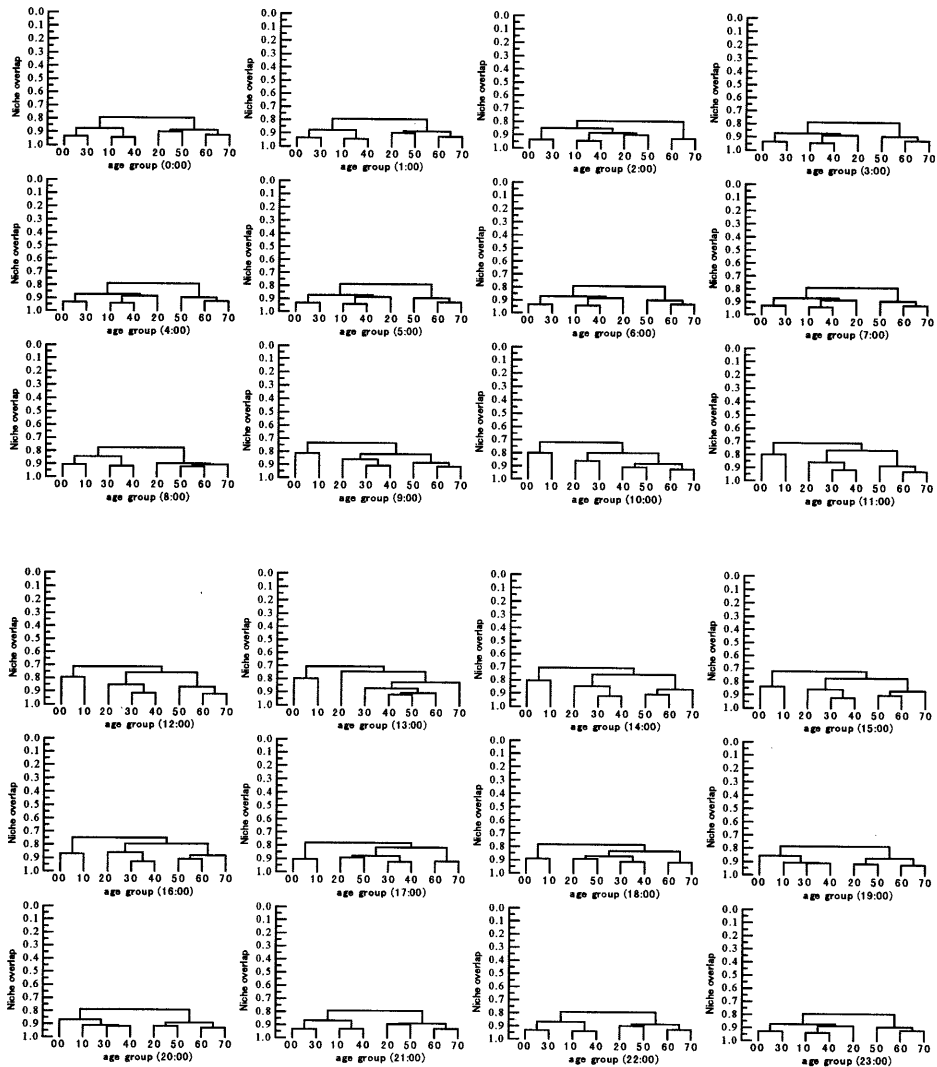


Fig. 7 Change of guild structure of age groups in Toyonaka city (from 0 hr. to 24 hrs.)

なっていると言える。また、大阪府全域についても、同様に、「災害弱者」層と他の年齢層との孤立居所性の傾向が認められる。

世代間の非同期居所性の理由としては、昼間において、就労層が職場に、就学層が学校に滞在するこ

との影響が大きいことが挙げられる。

4.3 「活動」と「場のリスク」の集積性の評価

ここでは、「活動リスク」と「場のリスク」の重なり合いによる複合災害リスクの評価を行う。対象都

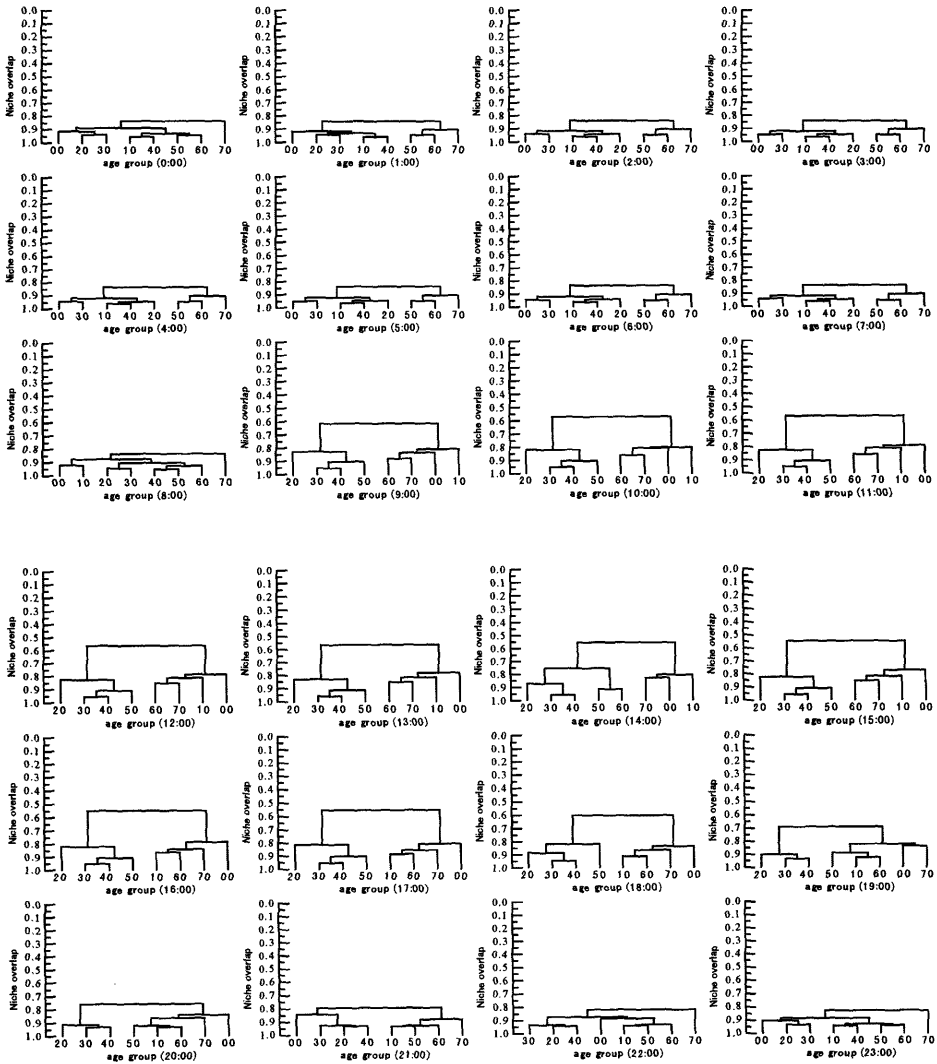


Fig. 8 Change of guild structure of age groups in Osaka city (from 0 hr. to 24 hrs.)

市としては、4.2(1)同様、堺市と豊中市を取り上げ、比較分析を行う。また、夜間（午前4時）と昼間（正午）の比較も行う。

「場のリスク」のうち、「環境の質のリスク」としては、次の2種類について分析する。一つは、地震

による倒壊の恐れや火災時の延焼の危険性に関わると考えられる、「木造家屋の存在」である。大阪府による平成4年度建物構造別床面積調査の結果に基づき、堺市33、豊中市14の地区毎に、地区内に占める木造・土蔵建造物床面積を求める。同様にして、地

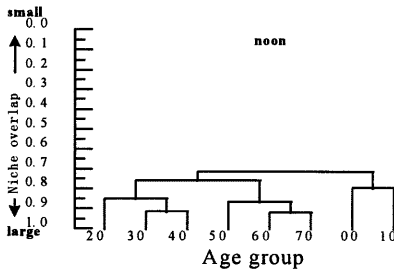


Fig. 10 Clustering by dendrogram (age groups in Toyonaka city)

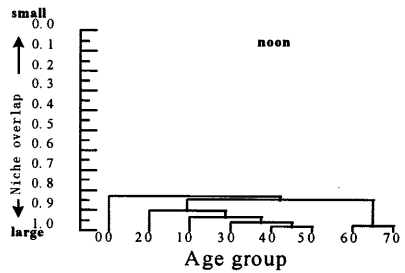


Fig. 12 Clustering by dendrogram (age group in Sennan-minami)

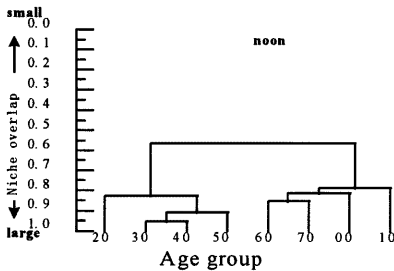


Fig. 11 Clustering by dendrogram (age group in Osaka city)

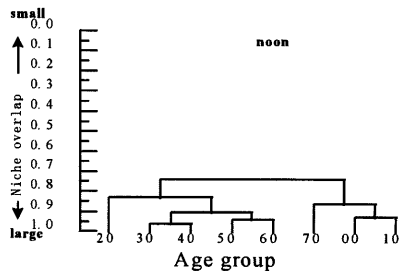


Fig. 13 Clustering by dendrogram (age group in Osaka Pref.)

震による倒壊などの危険性に関わると考えられる、「老朽家屋や旧耐震基準の下で建てられた現行の耐震基準を満たしていない古い建築物の存在」に着目する。データとしては、大阪府による平成4年度建物年齢別床面積調査により、堺市33地区、豊中市14地区毎に、地区内に占める昭和55年以前建築の建物床面積を求める。これらを「環境の質を表す量」として、「各種活動を行う人々」とのニッチ重なり合いLOを計算し、これによって、集積性を評価する。

「場のリスク」のうち「自然災害発生のリスク」としては、活断層が確認されている場所と、台風による浸水経験のある場所の2種類を「自然災害発生危険箇所」として選ぶ。これも同様に、堺市33、豊中市14の地区毎に、活断層が存在するか、台風によ

る浸水経験があるかどうかを調べ、それぞれを「ある地区」と「ない地区」に分類する。活断層及び浸水経験のある地区では、それぞれ、地震及び浸水被害に関する「災害発生のリスク」が存在すると考える。

以上の4つの場のリスクと、各種活動リスクとのニッチ重なり合いLOの値を求めた。ここで、まず、「災害弱者」と「環境の質のリスク」のニッチ重なり合いに着目すると、Fig. 14に示されるように、年齢層が高くなるにつれて、木造家屋とのニッチ重なり合いが大きくなる傾向が堺市、豊中市ともに見られ、文字どおり災害に弱いお年寄りのリスクが高くなっていることがわかる。その他の例をFig. 15, Fig. 16, Fig. 17に示す。Fig. 15に示されるように、「活動」と「活動」のニッチ重なり合いの場合は、その大

小関係が堺市と豊中市で比較的に良く似た傾向が見られたが、ここではそれとは異なり、堺市と豊中市とでは「活動」と「環境の質のリスク」の組み合わせの違いにより、ニッチ重なり合いの大きが大きく異なっている。また、ニッチ重なり合いが際立って大きくなる「活動」はないが、活動の如何にかかわらず、「活動」と「環境の質のリスク」のニッチ重なり合いも概ね1より大きくなっている。「活動」と「活動」のニッチ重なり合いと比較すると、堺市と豊中市とでは、「活動」と「災害発生のリスク」の組み合わせの違いにより、ニッチ重なり合いの大きが若干異なっているが、堺市と豊中市とで近い数値を示すものもある (Fig. 16)。また、昼間と夜間ではニッチ重なり合いの数値が変化する「活動」と、あまり変化しない「活動」がある。年齢層について見ると (Fig. 17), 20代から50代の昼間の「災害発生のリスク」(浸水経験)が夜間よりも高くなっている。職業についても昼間のリスクが夜間よりも高くなるものがあることが示される。

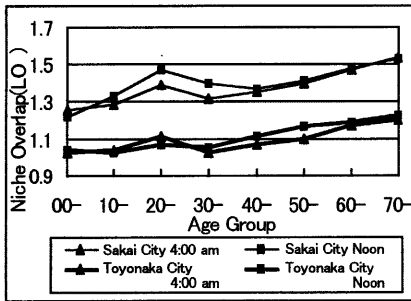


Fig. 14 Niche overlap between each age group and floor area of wooden godown buildings

5. まとめ

以上、ニッチ分析手法による、都市の災害リスクの評価を、大阪府下の実在都市に適用することを試み、いくつかの知見を得た。以下に、災害面からの観点を中心に得られた知見を整理する。

4.2では、都市における「活動」の共接性の評価を試みた。評価指標として第3章で検討したニッチ重なり合いの指数 C_{hi} を用いた。まず、堺、豊中の2市を比較し、災害リスクの観点からは、「災害弱者」にあたるお年寄りの、昼間における若者との共接性が低くなっているという傾向を見出した。

次にこのような「活動」間の非同期居索性について、より詳しく調べるために、1日24時間、1時間

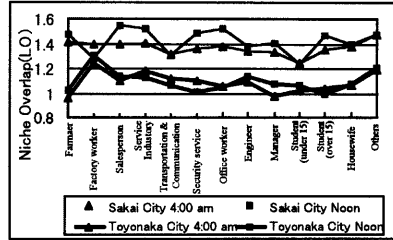


Fig. 15 Niche overlap between each profession group and floor area of wooden godown buildings

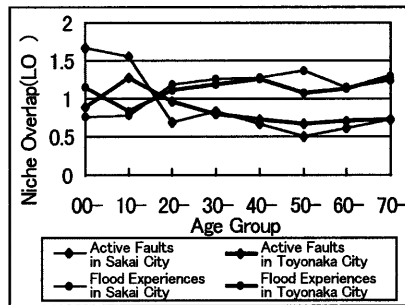


Fig. 16 Niche overlap between each age group and disaster source risks

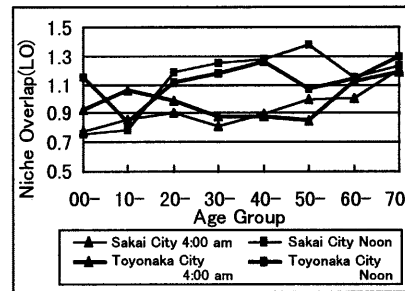


Fig. 17 Niche overlap between each age group and risk of inundation by typhoon

毎の年齢層によるギルド構造とその時間変化について、堺、豊中、大阪市で比較分析を行った。それによりいくつかの相違点が知られた。堺市に典型的に見られた特徴として、夜間と昼間でそれぞれギルドの

非同期居所性の構造が一定になる期間が見られ、朝夕に構造が変化するという様子が確かめられた。阪神・淡路大震災における被害の様相は、その地震発生時刻が、交通機関が活発に動き出した後であれば、また異なるものであったであろうと思われる。阪神・淡路大震災においては、その発生時、多くの人は自宅で就寝中であった。そのときの人の分布は、本研究における分析のうちの夜間におけるものに相当すると思われる。その点、堺市においては夜9時から以降、明け方まで構造が一定である。堺、豊中、大阪の3市全ての場合について見ると、3時から6時にかけてギルド構造が一定で、それ以前、それ以降で構造が変化している。このことから、震災時の人の分布は、ギルド構造においては時間的に特別に限られた時間帯であったことが窺われる。

その他、3市ともに見られた傾向として、比較的高年齢層の人々が、居住地の分布で似通っている傾向が見られた。これは、4.3で示したように、高齢層ほど、木造家屋の多い地域に存在する傾向があるという結果と合わせ、高齢層に対する災害リスクが高まっていることを示唆するものと考えられる。また、昼間の子供の孤立居所性の傾向も見られ、「災害弱者」が孤立して居所することからくるリスクが存在すると思われる。このように、昼間は居住地から離れたところに人々が存在し、「活動」間のニッチ重なり合いが小さくなっていたり、「災害弱者」の孤立居所の傾向が見られた。これにより、地震などの突然の災害が昼間に起こった場合、家族の分断が大量に発生し、その後の被災者の移動や連絡の困難など、多くの問題が生じる恐れがある。

4.2(3)では、「活動」間のニッチ重なり合いが小さくなる昼間におけるギルド構造を、堺、豊中、大阪市さらに泉南地域を加えて比較分析を行い、都市の性格によるギルド構造の違いを確認した。大阪府全域での構造も含め、より普遍的な年齢層毎の孤立居所の傾向が見られた。また、大阪市のような大都市の、年齢層間の非同期居所の傾向が高まっていることが確認された。また、人数分布の変化からは、昼間、堺市や豊中市などの周辺都市から若者が流出し、大阪市に流入しているという傾向が見られ、ギルド構造の変化の原因と推定される。

4.3では、人の「活動」と「場のリスク」との「集積性」の評価を堺市、豊中市について比較した。また夜間と昼間についても比較した。指標としては、第3章で検討したニッチ重なり合いの指数LOを用いた。「活動」と「場のリスク」のニッチ重なり合いは、堺市と豊中市で異なる傾向が見られたが、その中で、共通の傾向として、高齢層ほど、木造家屋の

分布と重なりが大きくなり、災害リスクが高まっているといえる。阪神・淡路大震災においては、木造老朽家屋などの倒壊により、お年寄りに多くの死者が出たが、この同じ被害が、堺市や豊中市に地震災害が発生したならば繰り返される危険性がある。また、「環境の質のリスク」と「活動」とのニッチ重なり合いの指数LOが、概ね1よりも大きくなっている。これは、「活動」が盛んで人の多い地域が存在し、その集積地域と「環境の質のリスク」との分布が重なることによると思われる。

以上のように複合災害リスクのニッチ重なり合いによる評価を行い、都市間の比較により、その相違点が明らかにされた。なお、本研究の課題としては、1.ニッチ指数の政策論的意味づけの吟味、2.GIS等の地理情報システムを活用したニッチ分析の発展可能性、などが挙げられる。

参考文献

- 岡田 憲夫・前川 和彦(1996):「ニッチ重なり合い」を考慮した都市災害リスクの評価法に関する基礎的考察,土木計画学研究・講演集 No.19(1).
- 大阪府(1992):大阪府の人の動き-第3回パーソントリップ調査から-.
- 木元 新作・武田 博清(1987):日本の昆虫群集-すみわけと多様性をめぐって,東海大学出版会.
- 京阪神都市圏交通計画協議会(1990):第3回京阪神都市圏パーソントリップ調査コーディング・ディスクジョナリー.
- 小林 四郎(1995):生物群集の多変量解析,蒼樹書房.
- 前川 和彦(1997):都市診断のための災害リスクの評価法に関する研究-ニッチ分析手法による,京都大学修士論文.
- 前川 和彦・岡田 憲夫(1996):都市診断のための複合災害リスクの評価法に関する実証的研究-ニッチ分析による,日本リスク研究学会研究発表会論文集 No.9.
- MacArthur,R.H.(飯 俊一,大崎 直太 監訳)(1982):地理生態学,蒼樹書房.
- Hurlbert,S.L.(1978):The measurement of niche overlap and some relatives, *Ecology* 59, pp.67-77.
- Whittaker,R.H., Fairbanks,C.W.(1958):A study of plankton copepod communities in the Columbia Basin,southeastern Washington, *Ecology* 39, pp.46-65.

**Niche Analysis Applied to Assessment of Urban Disaster Risk
– A Basic Approach**

Norio OKADA, Kazuhiko MAEKAWA*

* Hanshin Expressway Public Corporation

Synopsis

In this study, we take the stand that urban disaster risks are a composition of "human activity risks" and "field risks". We then adopt the idea of niche, which is used in ecological community analysis. The nature of risk, which is evaluated based on overlap, is "symbiosis" of both activity and "aggregation" of activity and field risks. We propose that the indices of niche overlap are suitable for expressing "symbiosis" and "aggregation". Then we carry out case studies by applying niche analysis and examine its applicability.

Keywords : *Niche analysis, Human activity risks, Field risks, Symbiosis, Aggregation*