都市域における水辺創成による震災リスクの 軽減に関する研究

神谷 大介*, 萩原 良巳**, 畑山 満則**

1. は じ め に

高度経済成長期以降、経済効率性を重視した都市施設整備や土地利用は、水辺やため池そして雑木林等の緑地の多くの身近な自然を住宅地や商工業用地、道路へと変化させてきた。この結果、現在の都市域の多くでは、生活者（萩原・須田 [2]）が日常的に自然と触れあうことが困難となってきた。さらに、阪神・淡路大震災等の経験から、高密につくられてきた都市域が震災に対していかに脆弱であるかがわかる。都市域の「ゆとり」としての公園・緑地や水辺といった自然的空間は災害時の被害を軽減し、復旧・復興に向けた諸活動を行う上で不可欠である。今日、地震のような再現期間の長い災害のためだけの施設整備は財政的にも困難な状況であることから、都市域では環境創成を通じた災害リスク軽減のための計画方法論が必要であると思われる。

以上の認識のもと、著者らはこれまで、都市域の自然的空間を4階層システム（近隣レベル；2 ha を標準、地区レベル；4 ha，市レベル；10 ha，広域レベル；30 ha）（神谷・吉澤・萩原・吉川 [7]）としてモデル化し、利用者心理（神谷・萩原 [5]）と遊び（神谷・坂元・萩原・吉川 [4]）に着目して、空間とその質の配置に関する評価を行ってきた。

上記の研究をふまえ、本研究では、特に震災時に被災者自らが身を守るために行う避難行動と自然的空間の偏在ならびに交通ネットワークなどによる地域コミュニティの分断に着目した地域の事前安全性を評価する。このため、地域分断の分析と、避難行動に関するシミュレーション・モデルの構築とその分析を行う。この結果を受けて、地域内で最も危険な孤立地区を明確にし、これらの地区の震災リスク軽減のためにどこに自然的空間を創成する必要があるかを実証的に明らかにする。そして、都市化のために失われてきた水辺を、都市域に多量に存在するがその殆どが使われていない下水処理水の再利用によって再生するという1つの代替案を提示し、その減災効果を論じ、新たな地域災害リスク軽減のための計画方法論構築の第1歩とする。

2. 対象地域の概要と分断

本研究の対象地域は大阪市と京都市の間に位置する吹田市・茨木市・高槻市・摂津市である。この地域は1960年代から千里ニュータウンの開発や万国博覧会の開催にともなって、多くの自然が

* 琉球大学 工学部 環境建設工学科

** 京都大学防災研究所

図1 地域の分断と地区番号

失われ、震災リスクが増加してきた（神谷・萩原 [6]）。

現在、ここには名神高速道路や中国縦貫自動車道、新幹線、JR 東海道本線等の日本の主要幹線交通や、阪急京都線等の大阪市と京都市を結ぶ交通施設が多く存在する。北摂地域は山と淀川に挟まれており、また、有馬高槻・上町・生駒という3つの活断層系地震によって震度7が想定されている（大阪府 [11]）。このような地形や土地利用から、この地域は阪神・淡路大震災で大きな被害が生じた神戸市と類似していることがわかる。

また、対象地域にある交通施設の多くが高架や盛土でつくられており、これらの倒壊や崩壊による地域の分断は非常に危険な孤立する地区を形成する可能性がある。これは各市のヒアリングにおいて、防災担当者が懸念していたことでもある。したがって、本研究では図1に示すように、対象地域を国道・高速道路、鉄道・モノレール、河川によって分断された地区を単位として分析を行う。

3. 1次避難行動に関する分析

3.1 分析の考え方

震災時の避難行動に着目したとき、地域の安全性を高めるためには、避難の必要性を低くすることと、安全に避難が出来るようにすることが重要になる。

避難の必要性は「建物の倒壊およびその危険性（指標 A）」と「火災の発生及びその延焼の危険性（指標 B）」の2つの要因が大きく影響していると考えられる。しかし、これらを厳密に把握することは、一戸毎の建物の構造や震災時の天候等により非常に困難である。このため、前者の近似として、耐震に関する建築基準法の改正を考慮し、1980年以前の建物延べ床面積を用いてその

図2 火災延焼の危険性評

図3 火災の延焼の危険性評価結果

危険性を捉える。また、後者の近似として、阪神・淡路大震災において火災の発生原因の約半数が不明であったため、延焼に着目し、建物の多さ（市街地率＝建物面積／町丁目面積）、木造建物率、水辺の有無によってその危険性を判断する。これを図2に示す。なお、本研究では、各地区の絶対的危険度を評価するのではなく、相対的に最も危険な地区を明確にすることに重点をおいている。

震災時の1次避難行動において、被災者はより居住地に近く、安全性の高いより大きな空間へ避難すると考えられ、人のつながりも震災時の助け合い等において重要である。このため、地域の分断と町丁目のつながりに着目して、1次避難行動に関するシミュレーション・モデルを作成し、これを運用することにより、新たな避難空間の創成が必要な地区を明らかにする。

3.2 避難の必要性に関する分析結果とその考察

火災の延焼に関して、図2をもとに分析した結果を図3に示す。これより、早くから都市化が

進んだ JR 東海道本線及び阪急京都線沿線の町丁目が火災の延焼の危険性が高いことがわかる。なお、図中の ①～⑤ は図 2 に対応している。

3.3 1次避難行動シミュレーションの考え方

震災時の避難行動に関するシミュレーションとしては、実際の道路ネットワークを用いたもの（金子・梶 [8]）（熊谷・雨谷 [9]）や仮想ネットワーク（安東・片谷 [1]）を用いた分析が行われている。これらは非常に限られた小さな地区を対象としており、災害事前における広域的な計画方法論にはなじまない。そこで、震災時における広域的な地域の安全性を避難行動から評価するシミュレーション・モデルを提案する。すなわち、このシミュレーション・モデルは少なくとも以下の要件を満たしていなくてはならない。すなわち、

- 1) 町丁目毎の避難先と避難経路（どの町丁目を通過するか）が分析できる、
- 2) 避難住民が避難空間に何回入れなかったかが計算でき、彼らのあせりやいらだちを間接的に表現できる、

ことである。このような目的を果たす、町丁目の隣接関係に着目したシミュレーション・モデルのフローチャートを図 4 に示す。そして、モデルで重要な役割を果たす step 数の説明を行い、次いで、フローの基本的な考え方を説明する。

このモデルで用いる基本となる step 数とは、ある町丁目に着目した時、その町丁目が含まれる

図 4 シミュレーション・モデルのフローチャート

図5 step数の考え方

双対グラフ (R.J. ウィルソン [12]) の面から避難空間のある町丁目が含まれる面までの数である。この考え方を図5に示す。また、この図は1つの地区内の町丁目のつながりをも表している。例えば、Ⅲの町丁目に避難空間があり、①の町丁目に着目すればstep数は2となる。

モデルの基本的な流れは、後述の仮定の下で、以下のようになる。

1) 各町丁目のstep数を決定する。

まず、町丁目*i*から最も少ないstep数の避難空間を選択する。これが複数ある時、より大きな(上の階層の)空間を選択する。(step_iの決定)

2) step数が小さい町丁目から空間へ移動する。

避難するためには、最悪1人あたり2m²以上の空間が必要である。そして、町丁目の住民全員が避難できれば、その時の最小のstep数がその町丁目のstep数となる。なお、避難空間に入れない人がいるとき、その空間から最も近い空間を選択すると考え、新たにstep数を計算する。

3) 終了

シミュレーションの終了は、全ての人が避難したか、あるいは全ての避難空間が満杯になったときとする。

ここで、モデルの仮定を具体的に示せば、以下のようになる。

- ① 避難空間選択は分断された地区内でのみ行われる。
- ② 最も近い(step数の小さい)避難空間を選択する。
- ③ ②を満たす避難空間が複数ある時、より大きな(階層が上の)空間を選択する。
- ④ 避難空間に避難するためには、最悪、1人あたり2m²以上必要である。
- ⑤ 避難空間から近い町丁目の住民から避難できる。
- ⑥ ある避難空間に入らなかったとき、その空間から近い空間を新たに選択する。
- ⑦ 避難空間に入らなかった時、次に入れる空間の選択情報を持っている。
- ⑧ 標高は考慮しない。

仮定①はこれまで述べたことより、地域の分断を想定して設定した。仮定②と③は、住民はより近くの、より大きな空間へ避難するとした。ここでは事前評価の計画方法論の作成が目的であるから、避難の「予測」ではなく「予定」という概念を用いることとする。仮定④は避難可能人数の設定を意味しており、この値は防災公園の基準として用いられているものである(都市緑

表1 町丁目別の震災リスクの計量化に関する指標

指標	内容	①	②	③	④	⑤
A 建物倒壊	1980年以前建物延床面積	0以上2,000(m ² /ha)未満	2,000以上4,000(m ² /ha)未満	4,000以上6,000(m ² /ha)未満	6,000以上8,000(m ² /ha)未満	8,000(m ² /ha)以上
B 延焼	木造建物延床面積と水辺	市街地率50%未満 or 水辺有	市街地率が50%以上、木造建物が少なく、隣接町丁目も少ない	市街地率が50%以上、木造建物が少なく、隣接町丁目は多い	市街地率が50%以上、木造建物が多く、隣接町丁目は少ない	市街地率が50%以上、木造建物が多く、隣接町丁目も多い
C step数	step数	step数が0	step数が1	step数が2	step数が3以上	避難できない人がいる
D ルート数	step数を考慮したルート数	step数が0もしくは1	step数が2以上、ルート数が4以上	step数が2以上、ルート数が3	step数が2以上、ルート数が2	step数が2以上、ルート数が1
E ゴール数	step数を考慮したゴール数	step数が0もしくは1	step数が2以上、ゴール数が4以上	step数が2以上、ゴール数が3	step数が2以上、ゴール数が2	step数が2以上、ゴール数が1
F 通過空間数	通過する空間の数	通過する空間数が0	通過する空間数が1	通過する空間数が2	通過する空間数が3	通過する空間数が4以上

化技術開発機構・公園緑地防災技術共同研究会 [11])。なお、自然的空間の面積は水面の面積を除いて算定している。また、樹木の量を考慮せずに面積の算定を行っているため、ここで用いた面積は実際に避難できる面積より広く見積もっていることを断っておく。仮定⑤は、避難してきた人は、避難空間に到着した順番に入ることができることを意味している。仮定⑥は、ある避難空間に入れなかったとき、その空間から最も近い空間を選択し、そこへ避難することを表している。仮定⑦は、様々な町丁目から空間へ避難するため、周辺の状況を判断できると考えて設定した。もし、この仮定をはずすと、ここで行う分析結果以上に空間に入るために移動し続けなければならない可能性が大きい。仮定⑧は、地区内での避難を想定していることより、高低差は小さいものとなるため、標高は考慮しないこととする。

以上の仮定の下に避難行動シミュレーション・モデルは、震災リスク評価にとって重要な以下の指標の算定を可能とする。

指標 C; step 数

指標 D; ルート数 (避難空間までの行き方の数)

指標 E; ゴール数 (避難できる空間の数)

指標 F; 通過空間数 (避難するまでに通過する空間の数)

これまであげた指標を表1にまとめておく。

3.4 シミュレーション結果とその考察

まず、step 数を図6に示す。これより、吹田市南部の⑪⑬の地区、阪急京都線およびJR東海道本線沿線の⑯⑭⑮⑰⑱⑲⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺の地区、高槻市の北部の㊼の地区で避難できない人がいる。また、⑳㉑㉒㉓㉔㉕㉖㉗㉘㉙㉚㉛㉜㉝㉞㉟㊱㊲㊳㊴㊵㊶㊷㊸㊹㊺の地区でもstep数が10を越え、1次避難のために非常に遠くまで行かなければなら

図6 step数

図7 避難空間を通過する回数

らない人がいることがわかる。上記の鉄道沿線は、早くから都市化が進行した地区であるとともに、細長く分断された地区が多い。これらのため、避難空間が人口に対して不足し、1次避難のために遠くまで行かなければならない人がいるようになったと考えられる。指標DとEについては紙面の都合上割愛するが、step数と同様の地区において、避難のためのルートや空間が限定されていることが明らかになった。

次に、避難空間に入れない回数(指標F)を図7に示す。通過する回数が多い町丁目は、ルート数

表2 1次避難行動の危険性に関する指標毎の地区別評価

指標	地区番号	備考
C step数	08 17 18 25 26 27 29 33 39 41 42	「避難できない」もしくは「step数が10以上」の町丁目がある地区
D ルート数	08 15 17 22 23 29 35 36 38 39 41 42 44	step数が2以上でルート数が1の町丁目がある地区
E ゴール数	08 12 15 17 23 28 35 38 39 41 44	step数が2以上でゴール数が1の町丁目がある地区
F 通過空間数	08 17 26 27 33 41 42	空間を通過する回数が4以上の町丁目がある地区

図8 最悪の指標値に着目した危険度

およびゴール数が少ない町丁目と同様に、1次避難行動からみて当然危険だと考えられる。そして、この図で高い値を示した町丁目の人は、避難行動の間に何度も空間を通過しなければならず、非常に不安にかけられると考えられる。精神的な不安感や苦痛を考慮すると、1次避難行動からみて非常に危険性の高い町丁目であると考えられる。

以上の結果をまとめると表2になる。この表に示された地区は、地域の分断と町丁目の繋がり、および人口を考慮したとき、一次避難行動からみて好ましくない避難空間の配置になっている地区である。特に⑩⑪⑫の3地区は全ての指標からみて危険性の高い地区であることがわかる。

3.5 新たな空間の創成が必要な地区の決定

表1で示した指標で最悪の評価値(5)の数を図8に示す。つまり、この図で高い値を示した町丁目は避難の必要性および避難行動の安全性から見て非常に危険であることがわかる。さらに、図9に示すように、人口に対して避難空間の面積が足りない地区が多い。このような地区において

図9 新たな空間が必要な地区

は、避難のために利用できる自然的空間の創成の必要性が高いと言える。

特に、吹田市南部の⑯⑰の地区は上町断層系地震で震度7が想定されている。以上より、これらの地区は北摂地域の中で最も新たな避難空間の創成が必要な地区であるといえる。

4. 水辺創成ルートの決定と減災効果

吹田市南部は日常的に水辺に触れあう事が困難な地区であり（神谷・坂元・萩原・吉川 [4]），これは震災時の消火用水確保が困難であることを示し，火災延焼の危険性が高い地区でもあるといえる。このような極めて震災リスクの高い地域に，下水処理水を利用した，水辺創成を考えたこととする。震災時にも利用できるよう，電力等のエネルギーを使わず，さらに，水と緑のネットワークの形成を意図して，水辺創成ルートは次の条件を満たすこととした。

i) 震災時に危険性の高い地区（⑯⑰）を通る。ii) 自然流下させる。iii) 河川を越えない。iv) 今ある水路とつなぐ。v) 学校や公園を通る。vi) 失われた水路を再生する。なお，この水辺は子供が遊ぶ好ましい水路の条件と震災時の通行可能性を考慮し，水辺の幅6m，水路幅2m，水深20cm，流速0.2～0.5m/sとした（萩原・萩原・高橋 [3]）。また，この2つの地区を分断するように広大な吹田操車場がある。このため，この一部を水辺公園として生活者が利用できるものと想定した。

以上のような設定のもとに，水辺の減災効果をstep数の変化として図10に示す。これより，避難できない人が⑯と⑰でいなくなり，その他の地区でもstep数が非常に減少することが示された。もちろん，水辺が創成されることによって火災延焼の危険性は軽減することになる。さらに，日常的に水辺に触れあう機会が増加することにもなることが期待される。

図10 水辺創成による step 数の変化

5. おわりに

本研究では，都市域の震災リスク軽減のために，阪神・淡路大震災における神戸市と自然的・社会的によく似た地域特性を有する北摂地域を対象にして，質の異なる4階層の避難空間の偏在や，震災時における住民の避難経路を遮断する交通ネットワーク等の現状を前提条件として，地域の事前の震災リスクを評価するための避難行動シミュレーション・モデルを構築した。計画方法論的な意味で受容できる8つの仮定を設定し，震災リスクを評価する重要な指標を導出した。そして，最も危険な地区を同定し，それらのリスクを軽減するための1つの代替案として，日常的にはアメニティ空間で震災時には減災空間となる下水処理水を再利用した水辺創成を提案し，これによる減災効果を算定することを可能にした。

従来から，著者の1人は幾人かの研究者と「水辺の環境評価」を行ってきたが，本論文で，計画方法論的に，「水辺の減災評価」の第1歩となる道を開くことが可能となったと考えている。最後に，本論文を作成するに当たり，有益なコメントを頂いた発表会での座長ならびにコメントターの先生方に感謝いたします。

参考文献

- [1] 安東大介・片谷教孝，“避難者の心理的要因の確率分布を考慮した災害時避難モデル”，『地域安全学会講演集』，pp. 176-179, 1999.
- [2] 萩原清子・須田美矢子編著，『生活者からみた経済学』，文真堂，1997.
- [3] 萩原良巳・萩原清子・高橋邦夫，『都市環境と水辺計画』，勁草書房，1998.
- [4] 神谷大介・坂元美智子・萩原良巳・吉川和広，“都市域における水・土・緑の空間配置に関する研究”，『環境システム研究論文集』，Vol. 29，pp. 207-214, 2001.
- [5] 神谷大介・萩原良巳，“都市域の自然的空間利用における心理的要因と整備内容に関する研究”，『土木計画学研究・論文集』，Vol. 18，No. 2，pp. 79-85, 2001.

- [6] 神谷大介・萩原良巳, “都市域における震災リスクの変化に関する地域分析”, 『日本地域学会第38回年次大会学術発表論文集』, pp. 155-162, 2001.
- [7] 神谷大介・吉澤源太郎・萩原良巳・吉川和広, “都市域における自然的空間の整備計画に関する研究”, 『環境システム研究論文集』, Vol. 28, pp. 367-373, 2000.
- [8] 金子淳子・梶秀樹, “大震時による道路閉塞を考慮したリアルタイム避難誘導のための避難開始時刻決定に関する研究”, 『地域安全学会論文集』 No. 4, pp. 25-30, 2002.
- [9] 熊谷良雄・雨谷和広, “町丁目を単位とした避難所要時間の算定モデルの開発～東京区部の避難危険度測定のために～”, 『地域安全学会講演集』, pp. 172-175, 1999.
- [10] 都市緑化技術開発機構・公園緑地防災技術共同研究会編, 『防災公園技術ハンドブック』, 公害対策技術同友会, 2000.
- [11] 大阪府総務部消防防災安全課, 『大阪府地域防災計画 関係資料』, 1998.
- [12] R.J. ウィルソン, 『グラフ理論入門』, 近代科学社, 1985.

A Study on Waterside Creation Planning for Earthquake Disaster Mitigation in Urban Area

Daisuke KAMIYA*, Yoshimi HAGIHARA** and Michinori HATAYAMA**

Natural open-spaces are essential not only for providing natural amenities, but also for evacuation in the case of earthquake disasters in urban area. These spaces are particularly important as many urban areas are vulnerable to natural disasters. In addition, environmental planning for earthquake disaster mitigation is important because the construction of many disaster prevention facilities can be problematic, particularly when the return period is long.

In this paper, regional diagnoses for earthquake disaster mitigation is carried out, focusing on evacuation activities in the Hokusetsu region (Osaka Prefecture). This region is assumed big damage by three earthquakes. The topographic and land use characteristics of this region resemble those of Kobe city, where big damage occurred as a result of the Hanshin-Awaji earthquake.

Firstly, regional analysis is done to make where these spaces should be create for reduction of earthquake disaster risk clear. This analysis is composed of necessity of evacuation action and simulation model regarding this action. The former is evaluated by the possibility of building collapses and fire spread. The latter is developed for evaluation of danger of evacuation action in earthquake disaster considering with possibility of district isolation and the location of neighboring chou-chou-moku. This simulation model involves eight plausible assumptions with respect to the planning methodology. This model is made possible to derive important indexes in order to evaluate earthquake disaster risk. As a result, it is making clear that districts of southern part of Suita city are most dangerous.

Secondly, this study proposes new approach which is water side creation using sewage treatment water as an alternative for earthquake disaster mitigation. The mitigation effect of this alternative is shown by the analysis using simulation model.

* Civil Engineering and Architecture, University of the Ryukyus

** Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University