

震災リスク軽減のための水辺環境の創成計画に関する研究

萩原良巳・畑山満則・神谷大介*

*琉球大学 工学部 環境建設工学科

要 旨

都市生活者にとって公園・緑地や水辺は日常時における遊び空間であり、震災時における減災空間である。本研究ではこれらを自然的空間と呼び、その避難空間としての減災機能に着目して研究対象地域の震災ハザードを分析した。そして、最も地震に対して脆弱である地区を明らかにした。さらに、下水処理水を利用した水辺環境創成計画を提案し、水辺空間が存在しない現況とこの水辺空間が創成された場合の減災価値を評価することによって、この水辺空間創成の有効性を示した。

キーワード：環境創成，避難行動，減災

1. はじめに

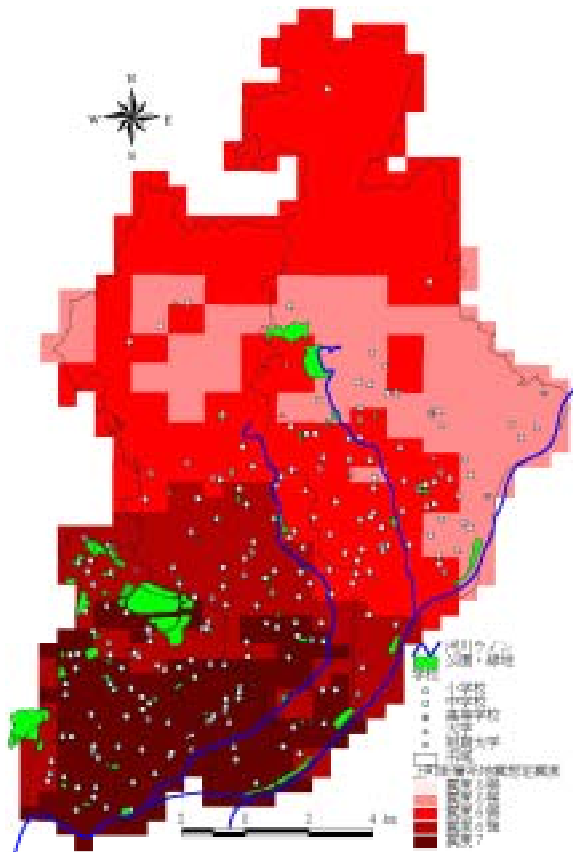
自然的空間は日常時における遊び空間であり、震災時における減災空間である。しかしながら、これまでこの空間は日常時を対象とした環境（創成）計画と震災時を想定した防災計画とで個別に取り扱われてきた。著者らは都市域における環境創成による震災リスクの軽減が重要であるという認識の下、これまで大阪府の北摂地域（吹田市・茨木市・高槻市・摂津市）を対象にして、遊び空間としての空間配置の評価を行ってきた（神谷ら，2000，神谷ら，2001）。本研究では特に、地震による被害を軽減するために、対象地域の震災ハザードを分析し、最も地震に対して脆弱である地区を明らかにする。さらに、都市域に多く存在するがあまり利用されていない下水処理水に着目し、これを用いた水辺創成（構想）計画を提案する。そして、この減災効果を分析することによって、水辺空間創成の有効性を示す。

2. 対象地域の概要と震災ハザードマップ

本研究の対象地域は、大阪市と京都市の間に位置し、主としてベッドタウンとして開発されてきた。特に、鉄道沿線という利便性の高いところから市街化が進行し、現在、この周辺の人口密度は高くなっている。現在の人口は4市の合計で100万人を越えている。

この地域の特徴として交通施設の集中があげられる。鉄道では、東海道新幹線，JR 東海道本線，阪急京都線・千里線，北大阪急行，大阪モノレールが通っており，道路では名神高速道路，中国縦貫自動車道，近畿道，国道171号線等がある。特に，東海道本線，阪急京都線は狭い幅に平行に通っている。

また，この地域は3つの活断層系地震（有馬高槻・上町・生駒）によって震度7が想定されている。最も大きな被害が想定されている上町断層系地震の想定震度を Fig.1 に示しておく（大阪府総務部消防安全課，1998）。



体的な分断要因を Table.1 に示し、分断した結果を Fig.2 Dividing the region and names of districts

Fig.2 に示しておく。

3.2 避難の必要性に関する分析

(1) 避難の必要性に関する要因の整理

震災時の避難行動は、住民自らが命を守るための重要な行動である。この行動が必要になる原因、つまり避難の必要性には、「建物の倒壊およびその危険性」と「火災の発生およびその延焼の危険性」の2つの要因が大きく影響していると考えられる（建設省建築研究所ら、1999）。

前者は建物の構造による影響が大きいと考えられるが、それと倒壊との関係は明確でなく、さらに、全ての建物の構造を把握することも困難である。そこで本論文では、耐震に関する建築基準法の改正に着目し、1980年以前の建物延べ床面積を用いてこの危険性を判断することとする。後者については、火災の発生原因を特定することが困難である。そこで、ここでは特に火災の延焼に着目することとする。これについては、木造建物の密集および消火用水の有無がこの危険性に大きく影響すると考えられる。以

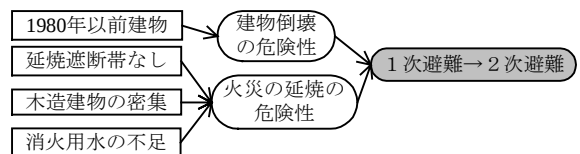
Table1 Factors of dividing a region

道路	・近畿自動車道・中国自動車道・名神高速道路 ・国道 170 号線・国道 171 号線・国道 479 号線
鉄道	・JR 東海道本線・JR 東海道新幹線 ・北大阪急行電鉄・大阪高速鉄道 ・阪急電鉄京都線・阪急電鉄千里線
河川	・安威川・芥川・神崎川

3. 地域の分断と震災ハザードに関する分析

3.1 地域の分断

この地域は北部の山麓部と淀川との狭い幅に交通施設を集中させ、そこで多くの人が生活している。さらに、Fig.1 に示すように、地震の被害が想定されていることから、この地域は阪神・淡路大震災で甚大な被害が想定された神戸市と類似していることがわかる。また、この地域に存在する多くの交通施設は高架や盛土になっている。これは地震によって倒壊する危険性があり、非常に危険な孤立する地区を形成する可能性がある。したがって、本研究では交通施設や河川によって分断された地区毎に分析を行うこととする。つまり、最悪の状況を想定して震災ハザードに関する分析を行うということである。具



上の考えをまとめたものを Fig.3 に示しておく。

Fig.3 Factors of necessity of evacuation action

(2) 分析結果とその考察

まず、「建物の倒壊の危険性」に関して、1980年以前建物延べ床面積を Fig.4 に示す。

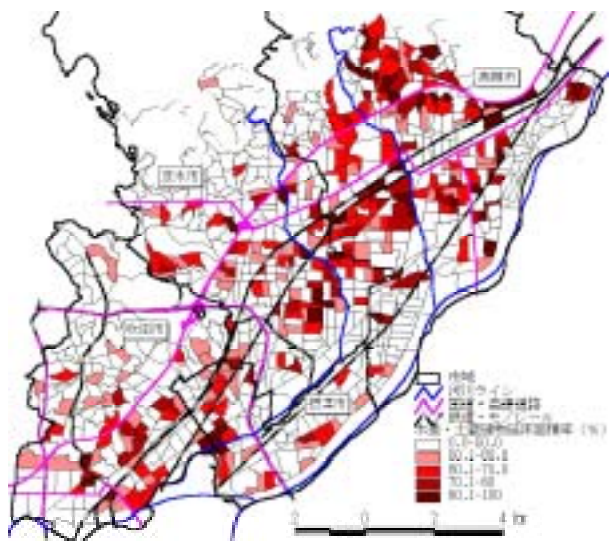
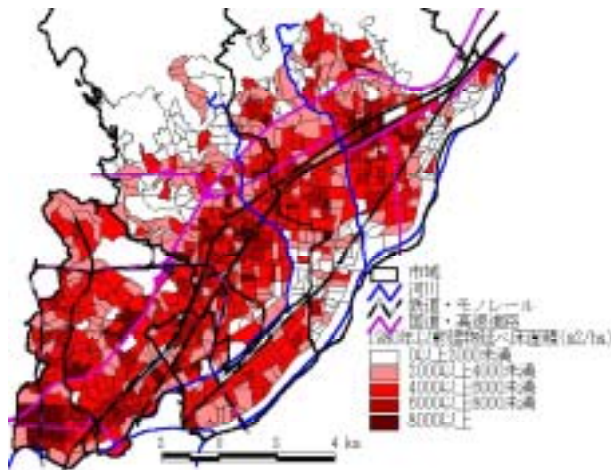


Fig.4 Total floor space of building before 1980

Fig.5 Total floor space of building constructed with wood

これより、名神高速道路と阪急電鉄京都線に挟まれる地区、および阪急千里線周辺の地区でこの密度が高いことがわかる。これらの地区は都市化が早くに進行した地区であり、建物の倒壊による避難の必要性が高い地区であるといえる。

次に、「火災の延焼の危険性」に関する要因として、木造建物の密集について示す。Fig.5は市街地率（町丁目面積に対する住宅地・商工業用地・官公庁用地の割合）が50%以上の町丁目の木造・土蔵建物延べ床面積率（全建物延べ床面積に対する木造・土蔵建物延べ床面積の割合）を表している。つまり、この指標は建物が密集しており、かつ、木造建物の割合が多い町丁目を表現した図である。これより、名神高速道路と東海道新幹線の間と、高槻市の名神高速道路以北に木造建物が密集した町丁目が多いことがわかる。

これら2つの図より、阪急電鉄京都線および JR

東海道本線沿線の地区は避難の必要性が高い地区であるといえる。

4. 1次避難行動に関する分析

4.1 分析の方法

(1) 分析の仮定

震災時に住民は知人が多い居住地近くの空間へ避難すると考えられる（亀田ら、2000）。さらに、火災のことを考えると、より大きな空間へ避難すると考えられる。また、住民のつながりは、町内会や小学校区等の基本単位となっている町丁目内で強いと考えられる。以上の考えの下、ここでは町丁目のつながりに着目し、以下の仮定をおいて1次避難行動に関するシミュレーションを行うこととする。

- ①空間選択は分断された地区内でのみ行われる。
- ②最も近い空間を選択する。
- ③②を満たす空間が複数あるとき、より大きな空間を選択する。
- ④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。つまり、空間に入れる人数は、空間の面積（m²）を2で除した値となる。
- ⑤空間から近い町丁目の住民から避難することが出来る。
- ⑥ある空間に入れなかったとき、その空間から近い空間を新たに選択する。
- ⑦空間に入れるか否かの情報はその空間で得ることが出来る。つまり、どこかの空間で入れなかったとき、次の選択には入れる空間の情報を持って選択する。
- ⑧標高は考慮しない。

仮定①はこれまで述べたことより、地域の分断を考慮して設定した。仮定②と③は上述したとおりである。仮定④は避難可能人数の設定を意味している。仮定⑤は、避難してきた人は、空間に到着した順番で入ることができることを意味している。この順番を、空間までの距離で判断しているということである。仮定⑥は、ある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、そこへ避難するというを表している。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。つまり、仮定⑦は実際より安全な状況を想定しているといえよう。これより、次節での分析結果は、「安全な状況を想定しても、避難が困難な人がいる」ことを表現したも

のになる。仮定⑧は、北部の山麓部を（殆ど人が住んでいないため）研究対象としていないこと、さらに、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。なお、空間はその規模により4階層システム（近隣レベル；2haを標準、地区レベル；4ha、市レベル；10ha、広域レベル；30ha）としてモデル化している（神谷ら，2000）。ここでは、住民はこれらの階層毎に空間の大きさを判断していると考え。

(2) step 数の考え方

上述した住民のつながりを考慮し、居住地（のある町丁目）から空間（のある町丁目）間での距離を表現するために、ここでは step 数を用いる。

これは、町丁目の隣接関係に着目したグラフからこれを算出する方法である。具体的には、Fig.6 に示すように、町丁目をノードとし、その隣接関係をリンクとしたグラフを地区毎に作成する。そして、これは、ある町丁目に着目した時、その町丁目が含まれる双対グラフ（Reinhard Diestel, 2000）の面から空間のある町丁目が含まれる面までの数である（神谷

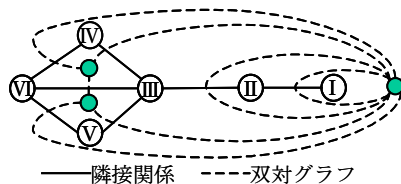


Fig.6 Concept of number of step

大介・萩原良巳，2002）。

(3) 分析の流れ

上述した仮定と step 数を用いて1次避難行動に関する分析を行う。各町丁目の人口と避難空間の有無およびその階層をノード（町丁目）に与え、45の地区毎に避難行動に関するシミュレーションを行う。主な流れを以下に述べる。

まず、居住地の町丁目空間が存在するかどうかを判断する。空間があるときは町丁目 i の step 数 $step_i$ は0となり、ないときは隣接する町丁目を探す。これを空間がある町丁目まで繰り返す。同じ step 数で複数の空間があるときは、規模の大きい方を選択する。選択した結果の空間の数がゴール数である。これも複数あるときは、各空間へ人口を空間の数で割った人数が避難することとする。このようにして、全ての町丁目について最も近い空間までの step 数を計算する。同時に、空間のある町丁目までのルート数（空間への行き方の数）を計算する。この空間選択に関するフローチャートを Fig.7 に示しておく。

次に、step 数の小さい町丁目から順に空間へ住民

を移動させる。この人数が避難可能人数より小さい

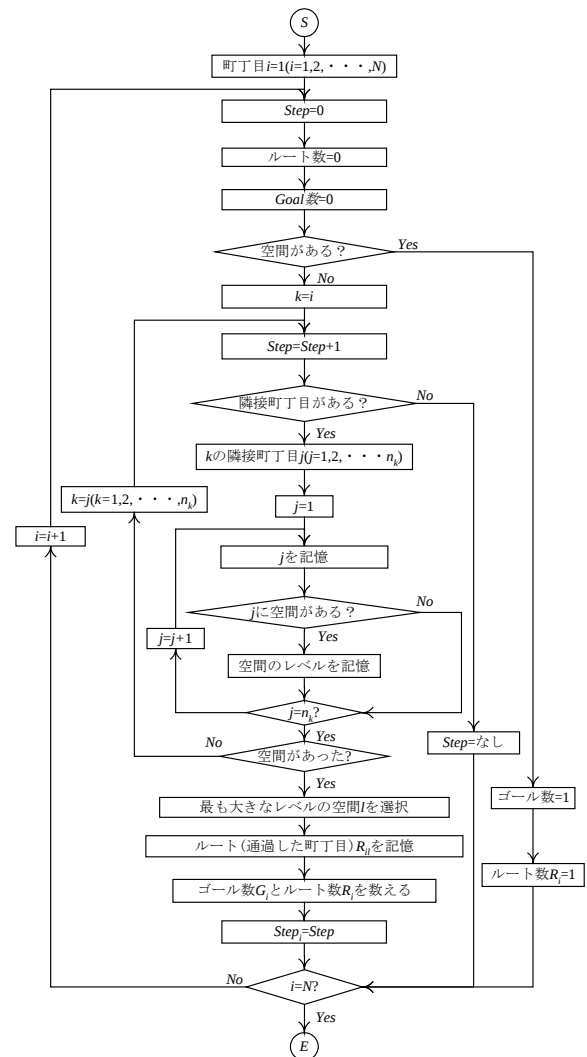


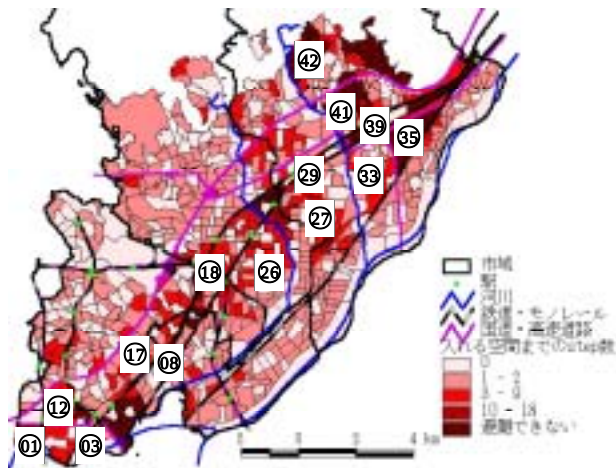
Fig.7 Flow of spaces selection

ときは、その町丁目の最終的な step 数は最初に算出した値となる。もし、空間に入れないときは、そこから近い空間を探して移動する。最終的に全ての人が空間に入った、もしくは全ての空間の避難可能人数が0になったときに計算を終了させる。

そして、ある町丁目 i の「step 数」は、最も遠い空間へ避難する人の step 数であり、町丁目の人のうち1人でも避難した空間の数が「ゴール数」である。また、空間への行き方の数が「ルート数」であり、その町丁目の全員がどこかの空間に避難できるまでに通過する避難空間の数が「空間を通過する数」である。以上から、各町丁目から何人がどの空間へ避難するかがわかり、避難空間からみれば何人避難してくるかが計算できる。

4.2 分析結果とその考察

まず、step 数の結果を Fig.8 に示す。なお、この図



で「避難できない」と書いているのは空間に入れな

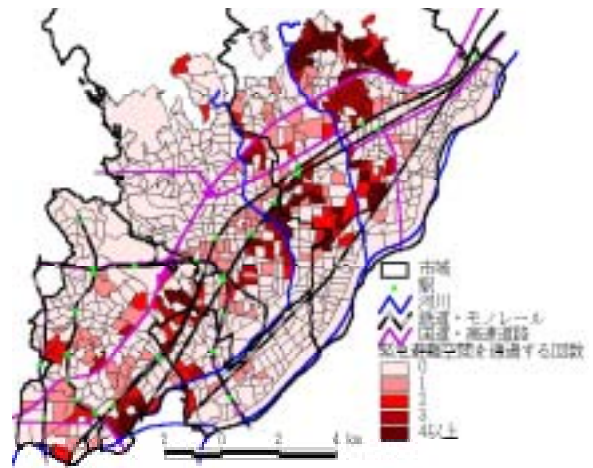


Fig.11 Number of pass spaces

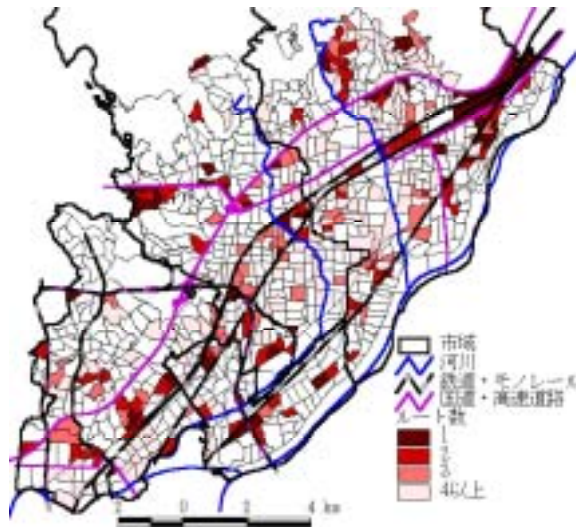


Fig.8 Number of step

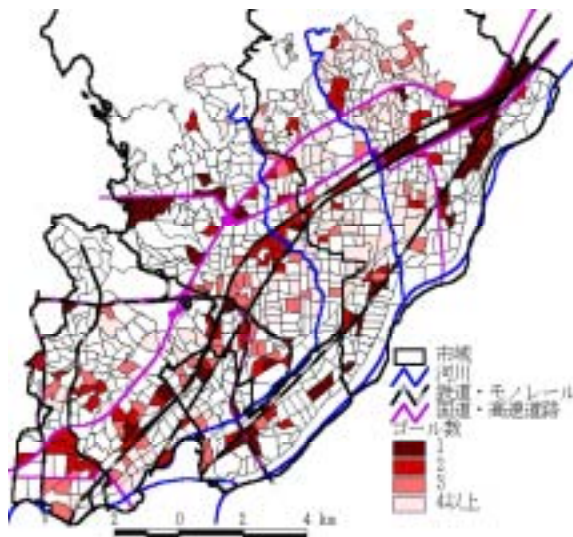


Fig.9 Number of Roots

Fig.10 Number of evacuation spaces

い住民がいることを表しており、図中の番号は Fig.2
で示した地区番号に対応している。

この図より、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⑫⑬⑭⑮⑯⑰⑱⑲
の地区、高槻市北部の⑳の地区で避難できない人が
いる。また、㉑㉒㉓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
ない人がいることがわかる。

次に、避難空間までのルート数を Fig.9 に示す。
これが少ないということは、あるルートが通れない
とき、避難できなくなる可能性が非常に大きくなる
ことを意味し、ルートは複数ある方が好ましいとい
える。しかし、避難空間がある町丁目や、空間が隣
の町丁目にあるとき、ルート数は少なくなる。つま
り、ルート数は避難空間までの step 数が大きいとき
に意味を持つ。そこで、step 数が 2 以上の町丁目に
ついてのみ、ルート数を表現した。

この図より阪急電鉄京都線と JR 東海道本線に挟
まれた地区はルート数が少ないことがわかる。これ
より、地域の分断が避難経路を限定させることによ
り、避難の危険性を増加させているといえる。
次に、空間の選択肢数をゴール数として Fig.10 に示
す。なお、この指標もルート数と同様に step 数が 2
以上の町丁目についてのみ結果を表現している。

これより、ゴール数の少ない町丁目は Fig.9 で示し
たルート数の少ない町丁目とほぼ同じであることが
わかる。つまり、Fig.10 で示した町丁目の住民は限
られた空間に限定されたルートでしか行くことがで
きないという非常に危険な状況であることがわかる。

これまで示した 3 つの図では、避難する住民のい
らだちやあせりといった心理が表現できない。そこ
で、何度も空間に入れないことを表す「空間を通過
する回数」を Fig.11 に示す。

これより、Fig.9 および Fig.10 と異なった町丁目
が高い値を示している。被災者の精神的な不安感や苦

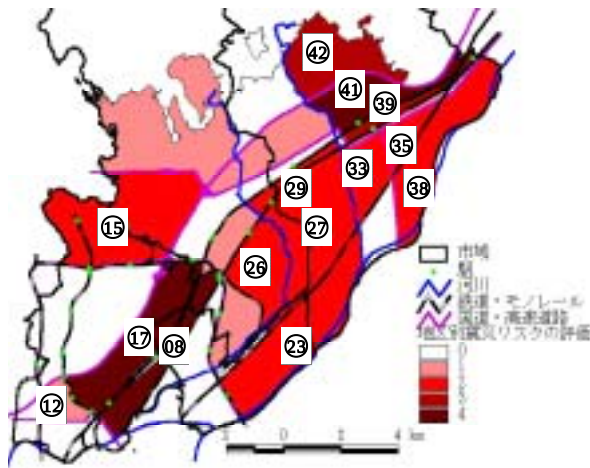
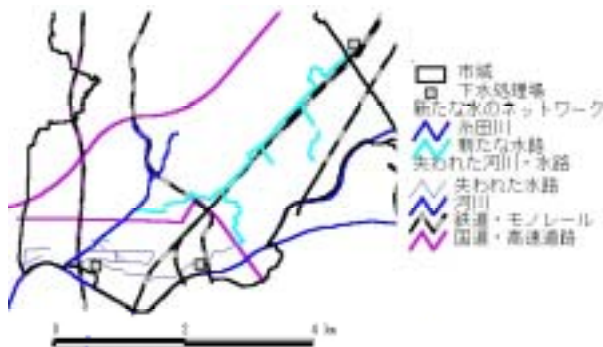


Fig.12 An evaluation result about danger of evacuation



action

Fig.13 Location of creating waterside

ート数およびゴール数が少ない町丁目と同様に1次避難行動から見て危険だと考えられる。

以上の結果を用いて、次の条件を設定し、最も危険性の高い地区を明確にする。

- ・step 数；「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。
- ・step 数が2以上でルート数が1の町丁目が複数ある地区。
- ・step 数が2以上でゴール数が1の町丁目が複数ある地区。
- ・空間を通過する回数が4以上の町丁目が複数ある地区。

以上の条件を用いて避難行動から見て危険な地区を表現したものが Fig.12 である。⑩⑪⑫の地区は1次避難行動に関する全ての指標から見て危険性が高いことがわかる。これらは避難の必要性に関する分析でも危険な地区であり、新たな空間の創成が必要であるといえる。特に、⑩⑪は隣接しており、さらに、上町断層系地震で震度7が想定されている。これらの地区に新たな空間を創成することが、結局、最も危険性の高い地区の安全性を高めることになる。

5. 水辺環境の創成とその効果

5.1 水辺創成ルートの決定

これまでの結果より、吹田市の南部が震災に対して危険性が高いことが明らかになった。ここは日常的に水辺とふれあうことが困難な地区でもある（神谷ら，2001）。つまり、自然的アメニティの向上と震災リスクの軽減の両方から見て、新たな水辺創成が必要な地区であるといえる。

水辺を創成するためには水が必要であり、ここでは都市域に多く存在するがあまり利用されていない下水処理水に着目する（西村ら，2001）。この水は高度処理することにより、震災時には消火用水だけでなく、避難生活で必要となる生活雑用水として利用することができる（建設省建築研究所ら，1999）。

ここでは、震災リスクの軽減と水辺での遊びができるようにするために、どのようなルートで水を流すことが好ましいかを示す。以下にルート設定のための条件を示す。

- ア) 震災時に危険性の高い地区（⑩⑪）を通る。
- イ) 自然流下させる。
- ウ) 河川を越えない。
- エ) 今ある水路とつなぐ。
- オ) 学校や公園を通る。
- カ) 失われた水路を再生する。

ア) は震災リスクの軽減を意味しており、イ) ウ) はポンプアップのようにエネルギーを使わないことを表している。電力等に依存していると、震災時に利用できない可能性があるためである。エ) とオ) は水・土・緑のネットワーク化を意味しており、避難空間をつなぐことにより、水辺を避難経路としても利用できるようにする。また、学校や公園を通ることにより、これらの空間で水を貯留しておくことができる。カ) は失われた水辺の再生を意味している。このようにして決定した水辺創成ルートを Fig.13 に示す。

また、この水辺は震災時に通行できるように6mの幅を持たせることとする。これは家屋の倒壊を考慮したとき、樹木があれば人が通行できると考えられている幅である。そして、子供にとって好ましい水路の条件から、水路幅を2m前後とし、水深を約20cm、流速を0.2～0.5m/sと設定した（萩原ら，1998）。

5.2 避難行動から見た水辺創成の効果

ここでは、Fig.13 で示した水辺の創成、現在どぶ川となっている糸田川の再生、および吹田の操車場跡地を公園化する計画を考える。つまり、下水処理



Fig.14 Changing of number of step by waterside creation

水を利用した新たな水辺環境を創成しようとするものである。

まず、1次避難行動からみた水辺環境の創成計画の評価はstep数で行うこととする。避難行動に関する分析で用いた指標（ルート数、ゴール数、空間通過数）はstep数との関係が強いものである。つまり、step数が小さいとき、これまでの避難行動に関する分析では、危険性の低い結果が得られる。したがって、ここではstep数の変化によってこの計画の評価を行うこととする。水辺環境の創成前後のstep数の変化をFig.14に示す。

この図より、⑩と⑫の地区では避難できない人がいなくなることがわかる。⑩は操車場跡地を利用した自然的空間の創成の効果が大きい、⑫の地区では水辺創成のみの効果である。さらに、⑬の地区では、1次避難のために遠くまで行かなければならなかった町丁目が存在していたが、水辺と自然的空間の創成によって大きくstep数が減少した。これは、規模の大きな空間ができることにより、その他の空間へ避難する人が減少したことが影響している。以上より、水辺環境の創成は1次避難行動からみたとき、震災リスクを大きく減少させているといえる。次に、地区のつながりに着目して、避難行動からみた水辺創成を考察する。

設定した水辺と糸田川は避難経路にもなる空間である。この水辺を創成し、糸田川を再生し、さらに操車場跡地を自然的空間に創り変えると地区間のつながりは次のようになる。すなわち、⑩と⑫が自然的空間でつながり、⑬⑭⑮⑯⑰⑱が水辺によってつながる。⑱には万博公園があり、これら7つの地区の中に2つの広域避難空間ができることになる。

さらに、失われた水路を再生することにより、⑬⑭⑯も水辺（避難経路）によってつながることになる。このように、地区をつなぐように水辺を創成することは、step数の減少等のように避難行動の危険性を直接的に軽減させるだけでなく、火災の延焼の防止や遅延といった点からも危険性を軽減させることにもつながる。

以上より、下水処理水を利用した新たな水辺環境の創成が震災リスクの軽減に有効であることが示された。

6. おわりに

本研究では、3つの活断層系地震による被害が想定されている大阪府の北摂地域を対象にして、避難行動に着目した震災ハザードを分析した。その結果最も危険性の高い地区に対して、下水処理水を利用した新たな水辺環境の創成計画を提示した。そして、創成計画による減災効果を実証的に示した。

今後の課題としては、ライフラインの配置や耐震化の状況、病院・老人ホーム等、地震時の被害を軽減させる都市施設を考慮した震災ハザードに関する分析（都市診断）が必要である。

参考文献

- 大阪府総務部消防安全課（1998）：大阪府地域防災計画 関係資料
- 神谷大介・吉澤源太郎・萩原良巳・吉川和広（2000）：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
神谷大介・坂元美智子・萩原良巳・吉川和広 (2001) :
都市域における水・土・緑の空間配置の評価に関
する研究, 環境システム研究論文集, Vol.29,
pp.207-214
建設省建築研究所・建設省土木研究所・国土開発技
術研究センター (1999) : まちづくりにおける防
災評価・対策技術に関する基本的課題の検討調査
報告書
亀田寛之・萩原良巳・清水康生 (2000) 京都市上京
区における災害弱地域と高齢者の生活行動に関
する研究, 環境システム研究論文集, Vol.28,
pp.141-149
Reinhard Diestel (2000) : Graph Theory, Springer

神谷大介・萩原良巳 (2002) : 都市域における環境創
成による震災リスク軽減のための計画代替案の
作成に関する研究, 環境システム研究論文集,
Vol.30, pp.119-125
西村和司・清水康生・萩原良巳 (2001) : 大都市域で
の下水処理水利用による水辺創成と地震被害の
軽減に関する研究, 環境システム研究論文集,
Vol.29, pp.369-376
萩原良巳・萩原清子・高橋邦夫 (1998) : 都市環境と
水辺計画, 勁草書房

A Spatial Planning of Water Side Area for Earthquake Disaster Mitigation in Urban Area

Yoshimi HAGIHARA, Michinori HATAYAMA and Daisuke KAMIYA *

* Dept. of Civil Engineering and Architecture, Faculty of Engineering, University of the Ryukyus

Synopsis

Most of forest, river and pond had been lost by development for housing site, commercial site, industrial site and road, etc. in Japan. These spaces are important for residents to take evacuate in case of earthquake disaster and to do various kinds of plays in daily life.

In this paper, function of natural environmental spaces for evacuation is focused. Firstly, regional analysis is done in order to make where natural environmental spaces should be create for reduction of earthquake disaster risk clear. Secondly, root of creating waterside with sewage treatment water is decided for earthquake disaster mitigation. Finally, the effect of created waterside is evaluated.

Keywords: Environmental Creation, Evacuation Action, Earthquake Disaster Mitigation