

市町村の震災リスク評価と リスクマネジメントに関する研究

清水康生¹・萩原良巳²

¹正会員 博(工) (株) 日水コン (〒163-1122 東京都新宿区西新宿 6-22-1 新宿スクエアタワー)

²正会員 工博 京都大学 防災研究所教授 (〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄)

本研究では、淀川水循環圏に位置する自治体を対象として、循環圏内に存在する6つの活断層に対する市町村(行政区)単位の震災リスク評価を水循環ネットワークの安定性と安全性の2つの観点から行った。そして、リスク評価の結果から各市町村(行政区)にどのような対策が求められているかを明らかにした。次いで、被害が広域に及ぶ震災リスクに対してリスク管理を行う方法論としてリスクマネジメント・アプローチを提案した。リスクマネジメントの方法論は様々な分野で提案されているが、本稿で提案するモデルは、リスクマネジメントの主体を明らかにすることで、他主体との連携(リスクコミュニケーションやモニタリング)の重要性を強調したモデルである。

Key Words : structural index, evaluation index of safety, risk management approach, earthquake risk

1. はじめに

我が国では大都市域の水循環圏(water circulation sphere)¹⁾において震災の可能性があり、ハザードマップ等が公開されている地域もある。このような震災の被害は広域となることが予想され、その対策を考える際には、市町村や県などの広域にわたる自治体の協力が必要不可欠である。

本稿では、まず、淀川水循環圏を対象として市町村(行政区)の震災リスクの評価を行った。リスク評価の方法としては、水循環ネットワークの安定性²⁾と安全性³⁾に着目し、両者を併せた評価手法を採用した。ここで、ネットワークの安定性とは、水循環ネットワークの形態に着目しグラフ理論を援用した14の指標による評価手法である。また、ネットワークの安全性とは、到達可能性と損傷度の二つからなる評価手法である。これらの評価手法を合成して水循環圏内の市町村(行政区)に対して適用した。

次いで、それら市町村単位のリスク評価の結果を受けて、自治体が何をなすべきかを明らかにするための方法論としてリスクマネジメント・アプローチを提案した。リスクマネジメントについては多くの紹介がなされているが、本稿ではリスクマネジメントを行う主体(subjects)

の役割の重要性を強調したモデルを提案する。これは、震災のような広域にわたる災害であれば、ひとつの自治体では対応が困難であり、複数の自治体の各主体による、日々の情報交換などを踏まえた災害時の連携が非常に重要であると考えたためである。

本稿では、水循環圏内の市町村のリスク評価結果を踏まえて、リスクマネジメントとして市町村相互の連携が重要となることを事例分析より考察する。

2. 市町村の震災リスク評価

(1) 水循環ネットワークのモデル化

都市の水循環は都市活動を中心として河川、水道、下水道により構成される。この水循環の要素を河川レイヤー、水道レイヤー、都市活動レイヤー、下水道レイヤーとして考え、4階層システム構造で表したモデルが大都市域水循環システムモデルである(図-1)¹⁾。階層構造により水循環を表すことで、複雑に関係する事業体を水循環の中で位置づけることができ、各レイヤーが持つ目的とレイヤー間の関連を明らかにすることができる。この水循環ネットワークは都市の中での構造を示しているが、震災の場合には複数の都市が広域的に被害を受ける、このことを以下に示す。

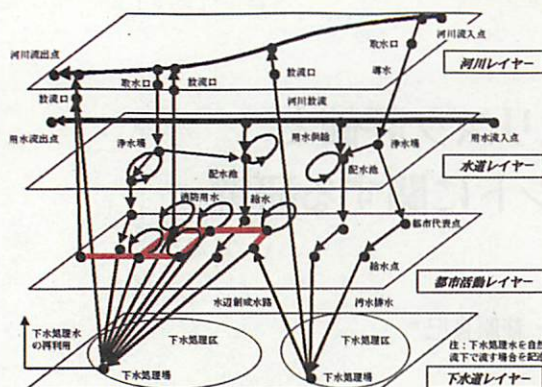


図-1 水循環ネットワークのグラフ表示³⁾

(2) 水循環ネットワークの安定性の評価

ここでは、淀川水循環圏に含まれる103区町村の水道ネットワークに安定性の指標³⁾を適用し、ネットワークの評価を行った。具体的には、平均連結度、点連結度、冗長な道の数を用いて評価を行った。すなわち、グラフのノードに接続するリンクの個数をノード数で除した比率を平均連結度とし、グラフにおける最小の関節集合の個数を点連結度とする。そして、グラフ内の隣接しないノードの複数の経路の数を冗長な道の数とする。最後に、安定性は各々の指標の値を5段階表示し、それらを加算して算出した。下表にその結果を府県市でまとめたものを示す。

表-1 淀川水循環圏の安定性の評価³⁾

	京都市	京都府	大阪市	大阪府	神戸市
リンク数	114	40	160	574	174
ノード数	55	22	83	235	87
平均連結度	2.07	1.82	1.93	2.44	2.00
点連結度	1	1	1~2	1~3	1~2
冗長な道の数	1~14	1	18	1~4860	1~560
安定性	7.3	3.0	5.9	10.3	9.9

(3) 淀川水循環圏の安全性の評価

ネットワークを構成するユニットが破壊することなく水循環ネットワーク全体の機能に影響を及ぼさない状態が安全である。水道ネットワークの機能とは浄水と水供給で、下水道ネットワークの機能とは処理と排除である。安全性の評価指標は到達可能性と損傷度の2つから成り、想定被害箇所数を用いて定式化される⁴⁾。本稿ではこの指標を淀川水循環圏の市町村に適用した。

(4) 安定性と安全性による評価

以上より図-2に示す考え方により、水循環圏内の主要活断層を対象とした市町村の評価結果を図-3～図-8に示す。以下に分析結果を考察する。

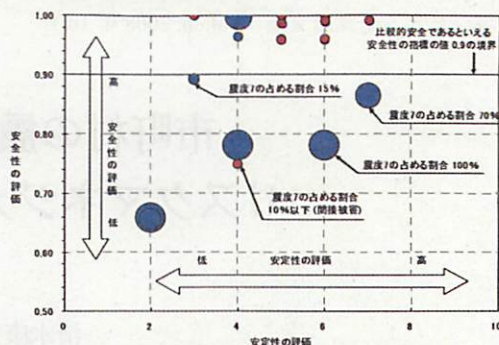


図-2 安定性と安全性による評価の記述方法

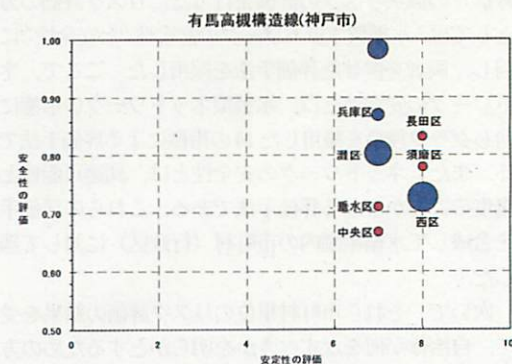
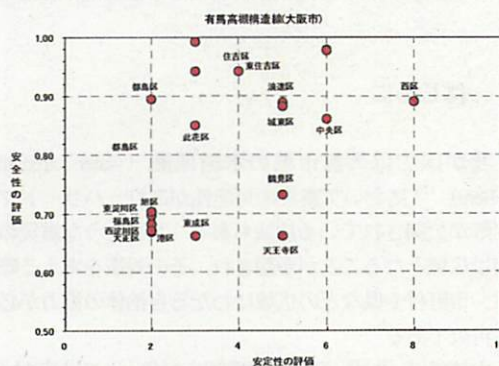
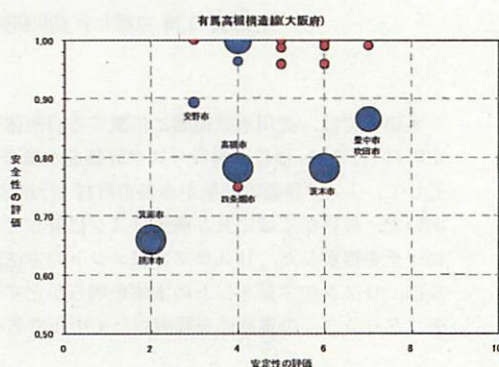


図-3 有馬高槻断層に対する震災リスク評価

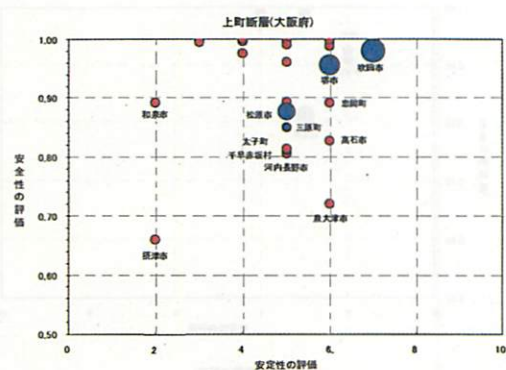
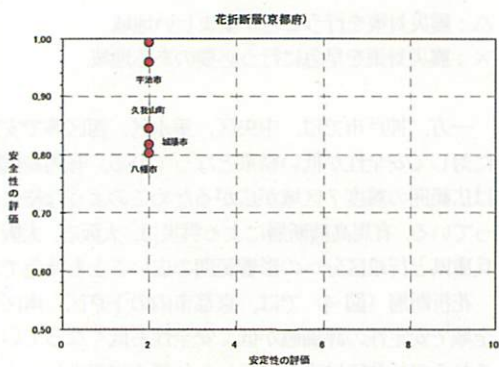
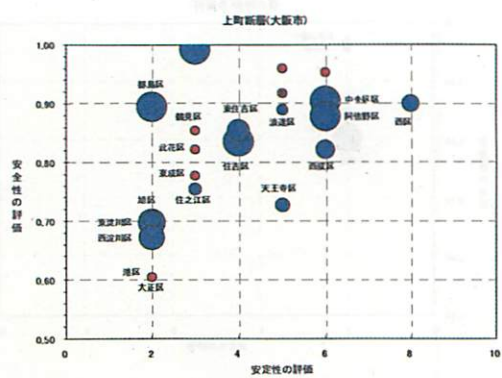
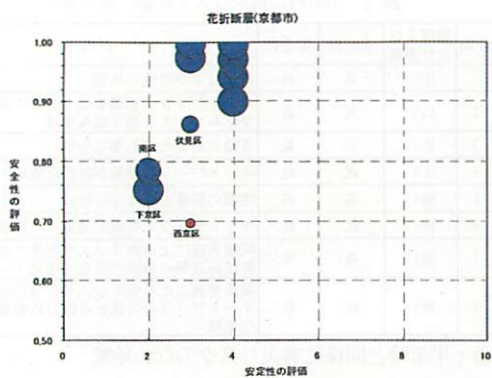


図-4 花折断層に対する震災リスク評価

図-6 上町断層に対する震災リスク評価

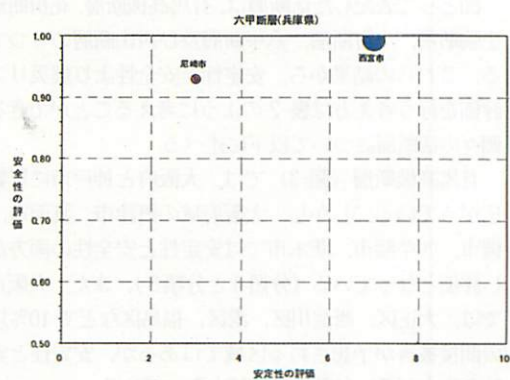
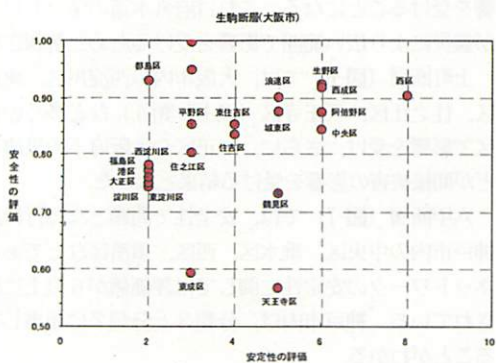
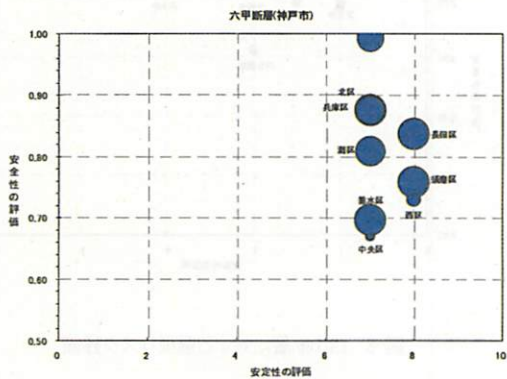
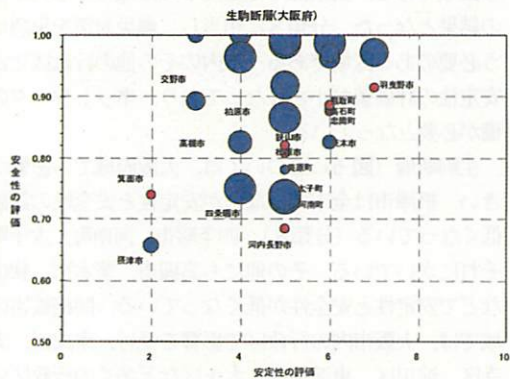


図-5 生駒断層に対する震災リスク評価

図-7 六甲断層に対する震災リスク評価

表-2 市町村の震災リスク評価の考え方⁹⁾

分類	震度7以上分布域	安定性	安全性	評価	
1	広い	高	高	震災リスクに強い地域	○
2	広い	低	高	ネットワークの整備を行うことで震災リスクに対してより強くなる地域	△
3	広い	高	低	管路の耐震化が必要な地域	×
4	広い	低	低	ネットワークの整備が必要な地域	×
5	狭い	高	高	地震の影響を受けない地域	◎
6	狭い	低	高	ネットワークの整備が望ましい地域	△
7	狭い	高	低	間接被害による震災リスクを受ける地域。貯留施設等の整備が必要な地域	×
8	狭い	低	低	間接被害による震災リスクを受ける地域。ネットワークの特性を考慮した整備が必要な地域	×

◎：平常時と同様に震災リスクのない地域

○：震災リスクが少ない地域

△：震災対策を行うことが望ましい地域

×：震災対策を早急に行う必要のある地域

一方、神戸市では、中央区、垂水区、西区等で安定性に対して安全性が低い結果となっている。有馬高槻断層は広範囲の震度7区域が広がるためこのような結果になっている。有馬高槻断層による震災は、大阪府、大阪市、兵庫県と行政区分への影響範囲の広いことも特色である。

花折断層（図-4）では、京都市内の下京区、南区では全域で安定性の評価値が低く安全性も低くなっている。これらの行政区は表1に示した分類4に相当し、ネットワーク整備を中心とした震災対策を早急に行う必要のある区域である。西京区では震度7の区域は少ないが同様の結果となった。分類8に相当し、震災対策を早急に行う必要のある区域である。市内のその他の行政区では、安定性の評価値が小さくなっており、ネットワークの整備が必要となっている。

生駒断層（図-5）については、大阪府域での影響が大きい。摂津市は全市ではないが安定性と安全性の評価が低くなっている（分類8）。四条畷市、河南町、太子町もそれに次いでいる。その他にも高槻市、茨木市、狭山市などで安定性と安全性が低くなっている。間接被害の区域では、大阪市内の行政区で影響を受け、東成区、天王寺区、淀川区、東淀川区、大正区など多くの行政区で影響を受けることになる。これは府営水道のネットワークが震災により広い範囲で影響を受けるためと解釈される。

上町断層（図-6）では、大阪市内の西淀川区、東淀川区、住之江区、天王寺区（以上分類4）など多くの行政区で影響を受け、さらに、大正区や大阪府下の摂津市などが間接被害の影響を受ける結果となった。

六甲断層（図-7）では、安全性で問題となる行政区が神戸市内の中央区、垂水区、西区、須磨区などである。ネットワークの安定性に関しては評価値が6以上に確保されている。神戸市内は、分類3と分類7に相当していることがわかる。

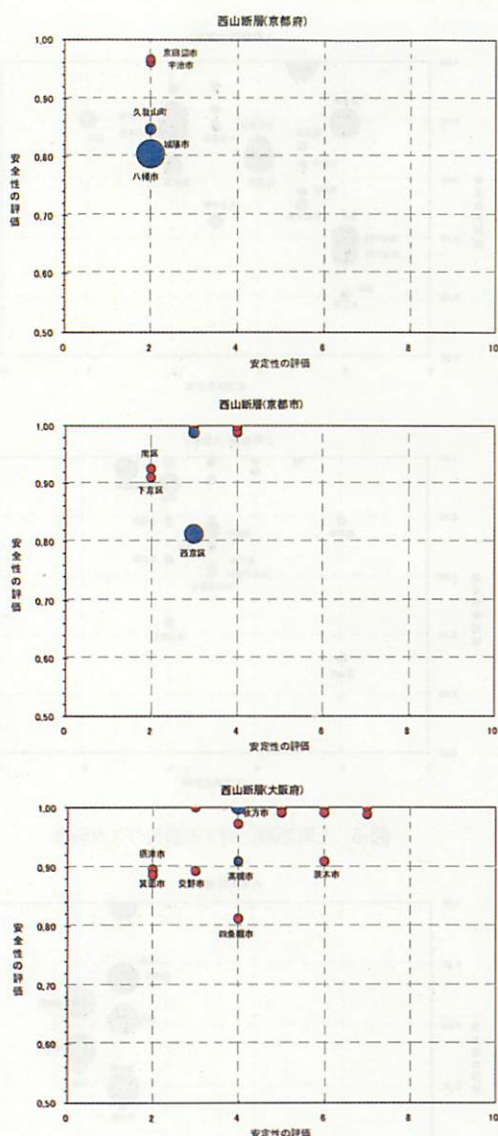


図-8 西山断層に対する震災リスク評価

図として表記した活断層は、有馬高槻断層、花折断層、生駒断層、上町断層、六甲断層及び西山断層の6つである。これらの結果から、安定性と安全性より震災リスク評価を行う考え方は表-2のように考えることができる。個々の活断層について以下に述べる。

有馬高槻断層（図-3）では、大阪府と神戸市に影響が広がっている。しかし、大阪府域の摂津市、箕面市、高槻市、四条畷市、茨木市では安定性と安全性の両方が低い評価となっている（分類4と分類8）。また、大阪市内では、大正区、西淀川区、港区、福島区などで10%以下の間接被害が予想される区域ではあるが、安定性と安全性の両方が低い分類8の区域となっている。

西山断層（図-8）による震災では、京都府下の八幡市、城陽市、京都市の西京区がネットワークの安定性が低く、安全性についても低い値となっている。また、西山断層による震災は、京都市、京都府、大阪府と行政区域を広く超えて影響が予想される点も特色である。

以上では、6つの活断層を想定した震災リスクを考察したが、一つの断層による震災リスクは単独の市町村ではなく必ず複数の市町村（行政区）に影響を及ぼすことが明らかとなった。さらに、複数の活断層に見舞われる可能性を有した市町村も存在した。例えば、摂津市は、有馬高槻断層・生駒断層（以上直接被害）、上町断層・西山断層（間接被害）と4つの活断層による震災リスクを有していることになる。

震災に対する対策として表-2に示した内容を考慮した様々な対策を講じることが必要である。そして、その際には、複数の行政（市町村や都道府県・国）が連携して対策を講じることが必須であるといえる。行政区域界を超えて対策を講じようとした時にどのように問題を認識すべきかについて、次章ではリスクマネジメントによるアプローチ方法を述べる。

3. 震災リスクを対象としたリスクマネジメント

(1) リスクマネジメントの考え方

リスクマネジメントの方法論については、ISOの記述をはじめ様々な内容が提案されている。しかし、本稿では、前述の震災リスク評価の内容を的確に記述することができ、かつ、国・都道府県・市町村等の相互の連携を前提とした対策についても示し得る図-9に示す循環フローが有効であると考え、同図は、ある主体（自治体や行政区等）にとってのリスクマネジメントフローを記述している。

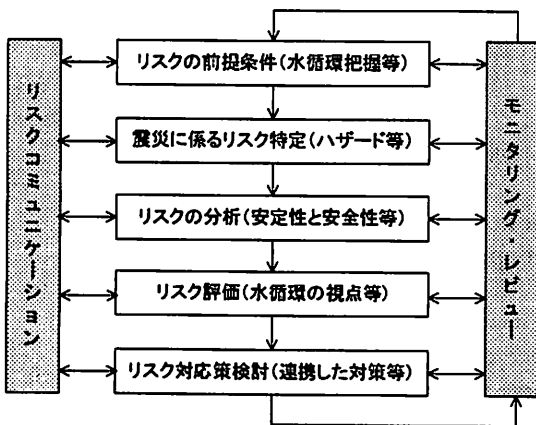


図-9 リスクマネジメントとしての震災評価の位置付け

このため、ハッチングを施した部分については、関係者との連携により様々な情報を交換することとなる。同フローは、当該主体の対策等の意思決定を一層有効なものとし、かつ、それら情報が他の事業体に対しても有効に活用されるように、全体システムの最適化（被害の最小化）を目指す循環フローである。

(2) 震災リスクに対する水循環圏内での連携

ここでは、図-9の手順に従って淀川水循環圏内でどのようなリスクマネジメントを行うべきかについて主な留意事項を記す。

ア. リスクの前提条件

主体は、自分の区域内の詳細な水循環ネットワーク（水道、下水道、河川等）の状況を把握する必要がある。図-1にネットワークの概念図を示しているが、水道、下水道、河川は各部分の情報把握を行うだけでなくネットワーク全体の水循環イメージを共有する必要がある。さらに、淀川では取排水を繰り返すカスケード型の水利用が行われているため¹⁾、水道水源や排水に関しては、前提条件として他の自治体との関係を認識しておく必要がある。区域内でも隣接する他の自治体とのネットワークの連結状態（水道連絡管の有無等）などの地域情報の把握を行うことが必要である。

イ. 震災に係るリスクの特定

当該行政区に被害を及ぼす活断層を予め特定し、次いで震災に係る様々なリスクを特定する。例えば、先述の摂津市ならば、4つの活断層に関するモニタリングを行い特定に資する情報を収集する。活断層の活動状況等に関しては単独の都市では情報収集が困難な場合が多いため、観測システムを有する他の自治体との情報交換により情報を取得する必要がある。

ウ. リスクの分析

震災ハザード（震度分布等）の把握や、前述の安定性や安全性など震災リスクに係る様々な分析を行う。被害に関しては、水循環ネットワークに着目し、震災の直接被害だけでなく、ネットワークの下流で受ける間接被害（断水等）の観点からも分析を行う必要がある。水道水源である淀川の水道取水に関しては、上流に位置する都市が有する下水処理場等の施設の想定被害状況について情報を入手しておく必要がある²⁾。

エ. リスク評価

安定性や安全性について個別に分析した内容を総合的に評価し、当該都市のリスクを把握する。まず、行政区域内を地域や地区（例えば、水道の配水区や下水道の排水区単位等）に分け、各地区の都市内での水循環ネットワークにおける位置付けを表-2に示した観点等から明確とする。次いで、地区を対象として図-3から図-8に示すような断層に関する震災リスク評価を行う必要がある。

同時に、水循環ネットワークの下流側に位置する自治体に評価結果を伝達し、下流側の都市が想定すべき事項を伝達することも必要である。

オ. リスク対応策検討

リスク評価の結果より、各都市では様々な対策を講じることとなるが、水道、下水道、河川の水循環ネットワークを構成するレイヤー毎（部局毎）に講じる対策と各レイヤーが連携して行う対策がある。両方とも自都市の内部での対策と他の都市や河川管理者等と連携して行う対策を有している。淀川における後者の例としては、震災により、上流の処理場等が被災し、水源である河川の水質が汚染された場合の水道取水の対策（取水制限や給水制限等）⁹や河川管理者の対策（流下時間を短くするための河口堰のフラッシュ放流）がある。また、大都市の上下水道部局では、被災時に自治体相互で連携して対策（資材供給・人員派遣等）を講じる協定を結んでいる。このような対策を講ずるためにはリスクコミュニケーションと各自のモニタリング情報の交換が不可欠である。

カ. モニタリング・レビュー

以上に記述したリスクマネジメントの各手順においては、各主体の時間経過に伴う各種のモニタリング情報を他の市町村や府県等から取得することが重要である。同時に諸情報を他の部局に積極的に提供・発信するよう努めることも必要となる。今後は、モニタリング結果や情報のレビュー結果を共有する情報ネットワークの構築が必要である。

キ. リスクコミュニケーション

リスクコミュニケーションは、上記のA～カに記した連携の場面においてなされる必要がある。そして、図-9に示すよう、リスクマネジメントの繰返される手続きの全過程において実施されることが必要である。

4. おわりに

本稿では、淀川水循環圏を対象として、水循環ネットワークの安定性と安全性に着目した震災リスク評価を市町村（行政区）単位で実施した。その結果、想定した6つの活断層に対して、どの行政区のリスクが高いかを総

合にかつ詳細に評価することができた。その結果、淀川水循環圏内では、ひとつの活断層による震災により複数の市町村（行政区）が同時に被害を受けること、さらに、一部の都市では、複数の震災の影響を受ける可能性があることが明らかとなった。そして、そのような市町村（行政区）は行政の枠組みを超えて連携することが必要であり、その考え方としてリスクマネジメントの概念を提示し、モニタリングやリスクコミュニケーションといった連携を通じてリスクを最小化すべきことを述べた。

今後は、ハザード情報や震災リスク評価に関する情報の精緻化を図ると共に、モニタリング・レビュー、リスクコミュニケーションを行う現実的な仕組みについて検討することが必要である。

【参考文献】

- 1) 清水康生・萩原良己・渡辺晴彦：大都市域水循環圏の水管理に関する考察，環境システム研究論文集，Vol.31，pp.431-438，2003.
- 2) Yasuo SHIMIZU, Yoshimi HAGIHARA：Reconstruction of Urban Water Circulation Systems by Considering Water Reuse for Earthquake Disaster Mitigation, Third International Conference on Water Resources and Environment Research (ICWRER), pp.126-130, 2002.
- 3) 清水康生・萩原良己・西村和司：グラフ理論による大都市域水循環圏ネットワークの構造安定性の評価，環境システム研究論文集 Vol.30，pp.265-270，2002.
- 4) 西村和司・萩原良己・清水康生・阪本浩一：安全性による大都市域水循環圏ネットワークの震災リスク評価，環境システム研究論文集，Vol.31，pp.83-89，2003.
- 5) 亀田弘行監修・萩原良己・岡田憲夫・多々納裕一編著：総合防災学への道，京都大学学術出版会，p367，2006.
- 6) 加藤聖・金納聡志・後藤浩一・榊原康之・中山義一・清水康生：水道事業における取水・給水停止のリスクと対応方策に関する一考察，日本水道協会，第58回全国水道研究発表会，pp.648-649, 2007.

A study of evaluation of earthquake risk in water circulate network and risk management approach

In this paper, the water circulation network is evaluated by structural indexes and safety indexes. The risk of the earthquake damage is analyzed in each city in Yodo river water circulation sphere. The earthquake damage extends two or more cities there. Therefore, the earthquake damage should take steps to meet the situation in wide-ranging cities. And it proposed the risk management approach as a methodology that did risk management to the earthquake risk that damage extends it to the large area. It was assumed the model to emphasize the importance of cooperation (risk communication and monitoring) with others.