

# 大規模災害に対する 減災情報システム…前編

最近、防災分野では、災害を完全に防止するのではなく、発生した災害の影響を最小限に抑える「減災」という考え方が広がってきている。減災においては情報システムが重要な役割を果たす。自然の観測、災害の可能性の予測、影響のシミュレーション、対策立案の支援、避難誘導、被害の把握、応急対策の決定支援、復旧・復興計画の立案支援、被災者の精神的支援などが主な機能となる。これらの減災のための情報システムについて、課題、現状システム、研究開発の動向などを紹介する。今回は前編として、減災の概要と災害準備期のシステムの紹介を行う。

## 防災から減災へ

2002年1月に東南海・南海地震という大規模地震の発生可能性が文部科学省地震調査研究推進本部から数値として公表された。南海地震と東南海地震の発生確率はそれぞれ30年間で40%、50%という(2004年3月にはそれぞれ47%、58%と改められた)。30年間に交通事故で個人がけがをする確率が20%程度であることを考えれば、非常に高率であるといえ、極論すれば明日起こってもおかしくない。南海地震の予想規模はマグニチュード(M)8.4、東南海地震はM8.1、同時発生でM8.5に達する。2002年7月には「東南海・南海地震に係る地震防災対策の推進に関する特別措置法」が成立し、中央防災会議から2003年12月17日には震度6弱以上の揺れや3m以上の津波の可能性のある防災対策推進地域として21都府県652市町村(当時)が指定公表され、特に津波被害が大きいと予想される地域については2004年3月31日に16都府県、244市町村(当時)が対策推進地域として指定公表された。これらの地域には3,700万人が居住し、東海、東南海、南海の3地震が同時発生すれば<sup>☆1</sup>、M8.7、死者は最悪28,000人と予想されている。防災対策推進地域では防災対策推進基本計画により国、自治体、公共施設、企業などが防災計画の立案の義務を負う。

我が国は改めていうまでもなく災害大国であり、東海・東南海・南海地震に加えて、集中豪雨による浸水や土砂災害(土石流、がけ崩れ、地滑り)、高潮、越波(えっぱ)、火山災害、豪雪、山火事などの自然災害や、コンビナート火災などの大規模事故などの可能性を常に抱える。このような災害・事故がいったん発生すると甚大な被害が発生し、復旧や立ち直りに時間的、資金的、人的に膨大なコストがかかる。

災害対策といえば、これまでは防潮堤、砂防ダム、水門などのハードウェアの整備が中心であった。基本的な考え方は、災害を完全に防いで100%の安全を確保しようという「防災=被害の抑止力」で、大規模な災害や事故を発生させない、少なくともそれらによる被害を発生させないというものであった。これに対して最近では、「災害はいつか起こるもの、被害は発生するもの」という考え方にに基づき、「被害の軽減力」をこれまで以上に重視する「減災 mitigation」という考え方が広がってきている。災害を起ささない対策は重要であることは当然として、それでも発生する場合を想定し、具体的被害を予想し、被害回避や被害低減のための手段を計画実施し、被災した場合の被害を最小限に抑制し、受けた被害からの復興を早めることを重視する考え方であり、そのための一群の対策である。元来は日本と同様に防災先

<sup>☆1</sup> 歴史的にこれらの地域では100～150年の間隔で巨大地震が9度記録されているが、そのたびに3つの地震が同時に、あるいは非常に短期間の間に連続して発生したと考えられている。したがって、この被害想定は決して過大ではない。ちなみに、東海地震および南関東地震が今後30年間に発生する確率はそれぞれ84%(M8級)、70%(M6.7～7.2)と考えられている。

リスク・マネジメント	クライシス・マネジメント
<b>予測</b> 発生時刻, 規模, 被害 <b>警報</b> 予想時刻, 規模, 被災予測地域, 避難場所, 避難ルート <b>事前対策</b> 水門・陸閘の閉鎖, 緊急体制, 要注意個所の強化 <b>教育訓練</b> ハザードマップ, 避難場所・経路, 住民の教育訓練	<b>災害対策情報管理</b> 情報の統合管理, 関係機関連携, 指示・命令 <b>被災地情報管理</b> 被災地, 被災規模の把握 <b>救援情報管理</b> 避難所管理, ボランティア管理, 救援物資管理 <b>復旧管理</b> 体制, 復旧方法, 復旧予定時刻

表-1 減災に必要な活動と関連情報

進国である米国で生まれ、被災後の心的ストレスの軽減という観点から始まった。危機管理の国際的規範となっている米国連邦政府機関FEMA (Federal Emergency Management Agency) の活動方針において、減災は重要な柱とされている。我が国でも、阪神・淡路大震災を契機として、自然災害を人間の努力や工夫によって完全になくすことは難しいこと、およびあらゆる被害をハードウェアで防ぐことの困難さが強く認識された。東南海・南海地震では津波高さが高知県の一部で12m以上、和歌山県や徳島県でも7~8mに達すると予想されており、長い海岸線のすべての地域にこれを防ぐための施設を設けることは、時間的にもコスト的にも難しい。むしろ、避難を中心とした考え方で、津波が来ても被害を出さない、最小限にとどめる、という考え方が現実的である。地震被害に合ったつもりで、被害を軽減できる町を作るために地震前に投資する「事前復興」という考え方も同様の立場である。すでに静岡県ではTOUKAI-0(東海/倒壊ゼロ)というプロジェクトを推進するなど、減災のための具体的な活動が行われている。

本稿では、このような減災のための情報の収集、管理、運用、提供を担う一群のシステムを「減災情報システム」と呼ぶことにする。これまでの、いわゆる防災情報システムの多くは、明確な意識はなかったが、「防災」というより「減災」を目的としてきたといえる。しかし、減災のために必要な活動のすべてが従来の防災情報システムで支援されてきたとはいえない。また、これまでは特定の目的のための個別のシステムが独立して運用される形態が主であったため、効果的に利用されてきたとはいえない面もあった。最近では、情報ハイウェイを始めとする大容量の有線・無線のデジタル(IP)ネットワークが広まり、センサ技術、画像利用技術、GIS(地図情報システム)、携帯電話などの進展と相まって、高機能で相互連携可能な統合システムの構築が可能になってきている。

以下では、減災関連の最新の技術をこれらの2つの時期に分けて、各時期での活用を念頭において開発された、あるいは開発途上にある減災情報システムの種類や利用

技術の現状と課題を紹介・整理する。内容が非常に広範囲に渡るため、1つの解説記事としてまとめられなかった。そこで、一般的に減災のための対応は、減災前の災害準備期と、発災後の応急対応期(災害到来時)および復旧・復興期とで大きく異なることを考慮して、それぞれを前編と後編で扱うことにした。後編の最後で、今後の展望と全体としての課題を整理する。

## 減災のための情報システム

一般に、災害準備期の対策をリスク・マネジメント、災害到来時の応急対応期と復旧・復興期の対策をクライシス・マネジメントと呼ぶ。リスク・マネジメントでは、災害予知、早期避難勧告、水門閉鎖などの事前対策、住民の教育訓練などが重要であり、クライシス・マネジメントでは、被災状況把握、避難者支援、ボランティア管理、国・自治体・消防・警察等の広域連携、復旧活動支援などが重要である(表-1)。

これらの対策を情報でどのように支援したらよいだろうか。中央防災会議の「防災情報の共有化に関する専門調査会」は2003年3月に、防災情報システム整備の基本方針を策定した<sup>1)</sup>。下記の内容が公表されている。

基本方針:

- ①時間的・空間的な情報空白の解消
- ②情報活用体制の確立
- ③平常時からの防災情報の共有・活用
- ④防災電子政府の構築
- ⑤防災情報システム整備推進体制の整備

表-2に具体的施策を整理する。防災情報の防災機関内、および住民との間での共有が重要視されていることが分かる。情報共有を図るためには、情報の入手、管理、提供が統合的、総合的に行われる必要がある。「基本方針」ではいくつかの具体的システムが挙げられているが、具体的なイメージの見えていない施策が少なくなく、今後はこれらの施策を具体的なシステムとして構想する必要がある。

表-3は、災害に関する時期ごとに、関連する減災情

- 防災関係機関内の情報共有化
  - 迅速・的確な情報収集
    - ・被災全体像の早期把握の精度向上
    - ・悪条件下における情報収集
    - ・画像情報等の体系的収集
    - ・防災情報システムを運用する人員体制の充実
  - 信頼性の高い大容量防災通信ネットワークの整備
    - ・全国的な大容量防災通信ネットワークの整備
    - ・通信網の相互利用
    - ・通信施設等の被災対策
  - 総合化による情報の有効活用
    - ・官民の施設管理情報等の活用
    - ・防災 GIS の整備
    - ・災害関係情報の体系的保存と活用
    - ・研究者等との連携
  - 情報の共通化・標準化
    - ・防災情報共有プラットフォームの構築
    - ・現地における高度情報化
    - ・情報共有に当たっての役割・責任の明確化
    - ・緊急時の的確な情報運用

- 住民等の間、住民等と行政の間の情報共有化
  - 情報が確実に伝わる社会を実現
    - ・情報共有の実現に関する責任の明確化
    - ・多様な手段による情報提供
    - ・緊急な避難誘導に関する情報の確実な伝達
    - ・災害時要援護者への確実な情報提供
    - ・日常使われている通信手段の耐災害性向上と輻輳の回避
    - ・予備的な情報通信手段の確保
    - ・情報伝達の確認・検証
  - 住民等と行政との双方向の情報流通体制を確立
    - ・情報の受け手のニーズへの的確な対応
    - ・双方向性を持つ情報共有
    - ・住民等からの情報収集
    - ・住民等との連携の強化
  - 平常時からの情報の的確な活用
    - ・災害時の防災行動に関する平常時からの周知
    - ・リスク・コミュニケーションの実施
    - ・地域の特性に応じた防災対策のための情報共有
    - ・地域の災害関係情報の伝承と活用
  - マスメディアとの連携
    - ・体系的情報提供と連携の強化
    - ・情報提供体制の充実
  - ボランティア、NPO 等への支援
    - ・平常時からの情報提供を通じた活動支援
    - ・災害時における活動の場の提供

- 情報共有化の推進体制
  - 防災計画に情報共有について規定
  - 防災情報共有化推進会議
  - 防災情報共有化研修・訓練の実施と責任者の設置

	フェーズ	関連項目	関連情報システム
発災前	被害抑止	危険個所の居住制限	危険個所公開システム
	被害軽減	避難教育・訓練 防災計画	DIG（災害図上訓練）システム 防災計画立案支援システム （シミュレータ） 防災物資・機材管理システム 水門・陸閘遠隔監視制御システム
発災後	応急対応	災害状況把握 緊急体制確保 初動対応 避難誘導 情報ルート確保	現地映像・データ収集配信システム GIS 災害情報管理システム 職員参集システム 緊急連絡システム （同報 / 移動無線 / 衛星） 災害対策室・総合防災情報システム 避難誘導システム 被災者向け情報提供システム 関係組織間情報連携・報告支援システム
	復旧・復興	被災情報管理 避難所管理 復旧計画立案 支援受入 復旧状況管理	現場作業員支援携帯情報システム ボランティア管理システム 避難所管理システム 物資手配・受入支援システム 復旧管理システム 被災者支援システム

表-2 防災情報システム整備の基本方針

表-3 減災に関する情報システム

報システムを整理したものである。ここに挙げたシステムが減災情報システムのすべてではないが、現時点で具体的なイメージのあるシステムである。以下の章では、これらのうちの主要なシステムを紹介する。いくつかのシステムは実用化されているが、研究途上のシステムも含む。

### 災害準備期のシステム

災害発生以前のリスク・マネジメントは、災害が発生した場合の被害を最小限度に抑えるための準備活動として、非常に重要である。このための対策には、①常時災害を監視し、発生を的確に予測すること、②予測される災害に対する対策を迅速かつ効果的に実施すること、③発災時に個人が的確な行動をとれるように災害や対応行



動に関する教育・訓練を計画・実施すること、などが含まれる。

## 災害監視

### (1)リアルタイム地震情報システム

地震や津波の発生について、防災科学技術研究所によってリアルタイムに情報の収集と提供を行うリアルタイム地震情報システム(ナウキャスト地震情報)の整備が進められている。これは、地震のP波(初期微動、伝播速度6~8km/時)とS波(主要動、3~4km/時)の伝達速度が異なることから、速く伝わるP波だけで地震を検知する新型地震計を使用し、震源や津波の判断を行うものである。たとえばP波とS波の到達時刻に10秒あれば、列車やエレベータなどの交通やガスを止めたり、危険な作業を中断するなどの対応が可能になる<sup>☆2</sup>。2004年1月時点で茨城県から宮崎県までに80個の新型地震計が設置され、今後も整備が進められる。

リアルタイム地震情報を活用するためのシステムがリアルタイム地震情報活用システム(Realtime Earthquake Information System: REIS)である。これは、全国に展開されている地震観測網から得られる地震情報を、関係行政機関、企業、住民などの最終的ユーザが防災対策上有効に利用できるような形態で、地震発生後から即時かつ経時的に伝達するためのシステムである。ユーザのニーズを調査分析するためにリアルタイム地震情報利用協議会(<http://www.real-time.jp/index.html>)が組織され活動を行っている。

津波については、1999年4月から、津波の予測を経験式に基づく方式から、計算機シミュレーション技術を用いた方式に改め、予報対象区域を全国66区に詳細化し、予測精度の向上が図られている。この方式は一種の事例ベース方式である。海域で発生可能なさまざまな地震についてシミュレーションを行い、沿岸各地での津波の高さと到達時刻を予測計算し、その結果をデータベースに蓄積しておく。実際に地震が発生したときには、震源と規模に近い計算結果をデータベースから検索することにより、各予報区における津波の高さと到達予想時刻を求める。現在では地震発生の約3分後に津波発生可能性の情報を提供しているが、30秒程度に短縮する試みが行われている。

### (2)豪雨災害監視システム

近年の都市型集中豪雨の増加と扇状地への宅地開発の進展の結果、都市近郊の土砂災害が問題となっている。従来は危険河川が平野に流れ出る扇状地には家を建てな

かったが、災害特性や現地の災害履歴の知識に乏しい都市住民が近郊に移り住む状況が増えたための現象である。土石流を始めとする土砂災害に対するハードウェア対策の実施率は全国的に20%程度であり、当面は情報システムに基づく事前避難が有効な対策と考えられる。

ローカルに発生する集中豪雨そのものを監視するシステムは精度を上げてきている。全国1,300カ所の観測点を用いたアメダス(Automated Meteorological Data Acquisition System: 地域気象観測システム)、気球を用いた高層気象観測、気象レーダ、ドップラーレーダ、気象衛星による短時間予測(ナウキャスト)などが用いられている。最近では、気象庁の雨量計だけでなく、国土交通省や自治体の雨量計も使用されており、都市型集中豪雨の観測能力が向上してきている。

さらにGPSによって集中豪雨を観測する手法の研究が気象庁気象研究所で進められている<sup>2)</sup>。激しく雨が降っている場所では水蒸気が多く、その西側では少ない。激しく降っている場所は常にこの水蒸気の状態を保ちながら東へと移動するため、GPS衛星からの電波の伝送速度が遅くなり、データに誤差を生じる。これを利用して、集中豪雨に特徴的な水蒸気の状態を早期発見し、集中豪雨の予測を行う。これまで大気中の水蒸気量を測るには気球を用いた観測を行っていた。観測点(全国18カ所)や観測回数(1日2回)に制約があったが、GPS観測点は全国に1,000点(国土地理院の全国GPS連続観測網GEONET)もあるため、きめ細かな観測が可能となる。

豪雨によって斜面の堆積土砂が土石流となるには、堆積土砂がその場所にとどまろうとする力(剪断抵抗力)以上の力(剪断力)が加わる必要がある。斜面の表面を流れる水が剪断抵抗力を強める。剪断力と剪断抵抗力が釣り合うときの水深に見合う降雨量が土石流の限界降雨量となる。いつ限界降雨量になるかが予測できれば土石流の発生時期を予測できる。しかし流域の流出特性、地形、渓床堆積物などが影響し、これらを予測モデルに考慮することは現時点では難しい。1984年に「土石流災害に関する警報の発令と避難指示のための降雨量設定指針(案)」で示された国土交通省砂防部の手法は、雨量強度が小でも積算雨量が大のときや、積算雨量が小でも雨量強度が大のときには土石流が発生していることを考慮して、雨量強度と積算雨量(実際には実効雨量)の組合せで土石流を予測する(図-1)もので、現在の方法のベースとなっている<sup>3)</sup>。ここで実効雨量とは、過去に降った雨量の影響を時間とともに減少させて計算した雨量の目安である。過去の雨量実績と災害発生の記録から危険な

☆2 想定 M8.0 の東海地震の場合、P 波と S 波の時間差は、静岡市で 12 秒、名古屋で 26 秒といわれている。

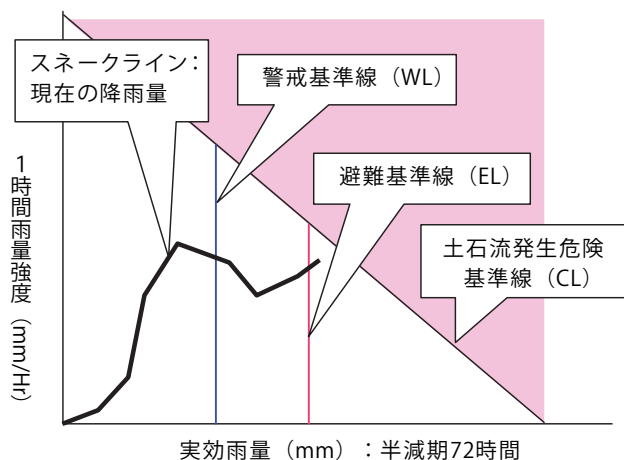


図-1 実効雨量－1時間雨量強度平面を用いた土石流予測手法

領域と安全な領域に区分し、その区分線を土石流発生危険基準線(クリティカルライン:CL)とする。既往最大雨量などに基づいて警戒基準雨量と避難基準雨量を求め、1時間雨量強度と実効雨量から求める観測雨量の履歴(スネークライン)が警戒基準雨量と避難基準雨量を超える場合に警報や避難指示を出す。時間的な目安として、観測雨量がCLに到達する2時間前に警報発令、1時間前に避難指示を出す。

上記手法は土壌の違いによる土中の雨水貯留量をうまく考慮できないという問題がある。そこで最近では、雨水の山体貯留量(地下水水位、表層水など)をタンクの貯留高として扱い、土壌の違いをタンクからの流出係数に反映させるタンクモデルによる予測手法も用いられている<sup>3)</sup>。

しかし既往最大雨量に基づいて避難基準を設定するに限り、降雨量が既往最大雨量に達しなかった場合には避難指示は空振りとなる。そこで、既往最大雨量ではなく短時間降雨予測を用いることで空振りをなくす方法として、雨域をレーダ雨量情報によって連続的に把握し、雨域の移動履歴に基づいて予測する運動学的短期降雨予測手法などが開発されている<sup>3)</sup>。特に10分間更新短時間降雨予測は1999年の広島土砂災害に適用され、災害規模の降雨を高い精度で予測できた。最近ではこれらの予測手法はGIS上で運用され、CLを超えた地域の表示色を変えたり、その地域に関するより詳細な情報を入手できる。

土石流の検知手法にも新しい流れがある。これまでの土石流のリアルタイム監視は、電流の通るワイヤーセンサを土石流の通り道に張り、それが切断されることで土石流を検知していた。ところがワイヤーセンサには、①動物などの他の理由で切断される可能性がある、②切断後の状況の進展が分からない、③設置個所が多く必要、

④切断されると再設置が必要、などの課題がある。そこで最近では、監視カメラを設置し、その映像の画像処理から土石流を検知する方法が研究されている。河川流速、河川幅などのパラメータの変化を読み取ったり、MPEG方式における動き補償ベクトルが大きくなることを検出するもので、ワイヤーセンサと比べて、①土石流の検知からその後の進展までを監視できる、②1カ所に設置すれば河川を線的、面的に監視できる、③カメラが被害に合わないかぎり何度も利用できる、などの長所がある。ただし、①監視対象が山間地の場合には電源供給や通信路の確保が必要、②樹木が成長してカメラの視野を妨げないよう維持管理が必要、③夜間監視の可能な高性能カメラは高価、などの問題がある。画像処理センサのほか、振動センサ、音響センサが開発されている。地滑り監視には3次元レーザスキャナや光ファイバセンサなども使われている。

洪水については、2001年の水防法と気象業務法の一部改正により、従来の国土交通大臣が気象庁長官と共同で行う洪水予報に加えて、都道府県管理河川でも気象庁長官と共同で洪水予報を行う制度が整い、2004年6月時点で全国28の河川で洪水予報システムが稼働している。上記の10分間更新短時間降雨予測(2.5kmメッシュの降水ナウキャストデータ)を気象庁から都道府県に送り、都道府県の河川管理事務所が観測データに基づいて6時間先までの水位予測を行う。水位が一定以上になると予想される場合には報道機関を通じて住民に洪水予報や警報などを周知徹底する。このような活動を支援するための洪水予報システムは、気象庁と都道府県との情報交換機能(観測水位、雨量、予測水位を都道府県から気象庁へ送信、都道府県が予測雨量を気象庁から受信、予報文案の自動作成と気象庁への送信)、水位予測機能(都道府県の実測水位と気象庁の実測・予測メッシュ雨量に基づく6時間先までの予測、地図表示、横断図表示、一覧表表示など)を持つ。また平時より都道府県知事がハザードマップの整備を実施し、浸水想定区域と想定される浸水深をインターネット等で公表している。

これまでは、河川沿いの洪水対策が中心であり、現在も大きな課題であるが、最近では都市型集中豪雨による地下街やビル地下の浸水被害が目立ってきている。1999年の福岡豪雨で注目され始めたもので、地下街・ビル管理者の減災情報システムの見直しや整備が急務である。

### (3) カメラ映像伝送システム

道路、河川、港湾には国(国土交通省の各地方整備局など)、自治体、警察が監視カメラを整備しており、その映像をリアルタイムに監視センタに伝送している。監視対象は、たとえば道路では交通流、路面、法面(のり

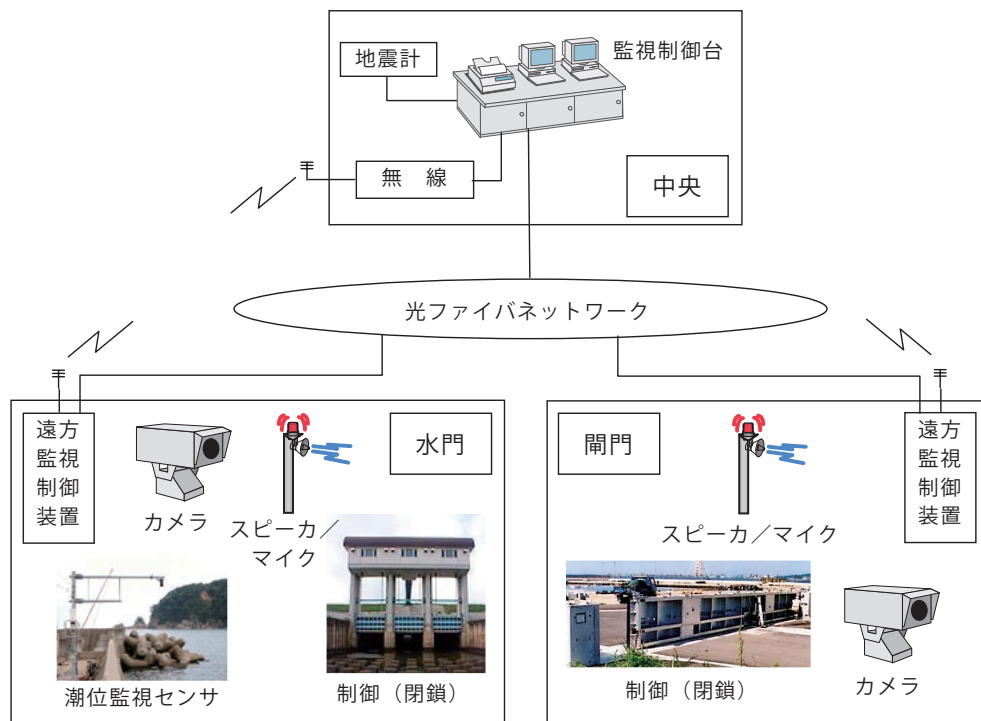


図-2 津波防災ステーションの基本構成

めん) 崩壊, 落石・落下物, 橋脚の劣化などであり, 河川では水量・流速, 河川敷への侵入者, 土石流などである。映像は国が進める情報ハイウェイ構想に則って整備されている光ファイバ網を用いて伝送される。かつてはアナログ映像で監視していたが, 伝送の長距離化, 関係機関への配信や卓上PCでの簡易監視の便などの理由でMPEG4, MPEG2などの圧縮方法によりデジタル伝送されるようになってきた。災害時にはこれらの映像が災害対策室に転送されるほか, NHKを始めとするテレビ局, 消防などにも転送されるようになってきている。また伝送方式も2003年度頃より, 単純なIP伝送ではなく, 伝送路の障害からの復旧特性に優れるRPR (Resilient Packet Ring) の利用が進んできている。PC上での監視を支援するためのユーザインタフェースも改善されてきている。GIS上にカメラ設置個所をアイコンとして表示しておき, マウスのクリックで簡単にカメラ映像を選択, 制御できるようなWebトップインタフェースである。今後は, カメラ映像を中心に, 各種センサ情報, 災害対応の進展状況, ハザードマップなどの防災情報などを統合型GIS上で統一的に見ることのできる通時的災害情報統合システムとして整備が進むものと考えられる。これは, 後編で述べる災害対策室と類似の情報内容を扱

うことから, 同一のアーキテクチャの上の構築されるべきシステムである<sup>☆3</sup>。またこのようなシステムは, インターネットベースということで誰でも利用できることから, カメラの制御権やプライバシーなどの機密情報の扱いという課題も残るが, 基本的には行政内部だけでなく, 部分的には住民にも公開されるシステムが指向されるだろう。

## 災害対策支援

### (1) 津波防災ステーション

津波防災ステーションは, 東海, 東南海, 南海地震などの海洋性大規模地震による津波から港湾施設やその後背地を守ることを目的としたシステムである。河川に設置された水門や樋門, 道路に設置された陸閘を, 地震計のデータに基づいて, 通常は離れたところ (役場や消防署など) にある監視制御室から遠隔監視制御にて閉鎖することが一義的な機能である (図-2)。水門や陸閘の高さを超える大きな波がくる可能性もあるが, 閉鎖により, 少なくともその影響を抑制することが期待できる。大阪湾や高知県浦戸湾には300を超える水門, 樋門, 陸閘があるが, 現在は地元の水防団員などが閉鎖することになっている。しかし太平洋に面して津波が地震発生

☆3 災害対策室システムが関連諸機関との連携を扱うのに対して, 本システムは関連情報を広く公開する点に主眼を置いていること, および平時にも監視用や啓蒙用に利用できるという違いがある。



後5~10分で到達する可能性のある静岡県や高知県などでは、水防団員が閉鎖作業を行う時間的余裕がないため、遠隔監視制御が求められているのである。特に静岡県相良町のステーションでは、各水門、陸閘に地震計を設置して、ローカルで自動閉鎖できるようになっている。一方、時間的に余裕のある大阪府や兵庫県などでは、水防団員による確実な閉鎖が基本で、中央には、遠隔制御を補助機能とし、接点信号による閉鎖の確認機能や、監視カメラによる人や車などの安全の確認機能が求められている。最近では、より発生頻度の高い高潮への適用も考慮して津波高潮防災ステーションという呼び名で整備される事例が増えている。

2003年9月26日に北海道で発生した2003年十勝沖地震で初めて、浜中町の津波防災ステーションが実稼働し、その有効性が実証された。地震は朝4時50分にM8.0(最大震度6弱)の本震が発生。4時56分に津波警報が発令され、5時6分に避難勧告、5時18分に浜中町に第1波が到着した。6時56分の第4波と8時19分の第6波が最大波で、約2mを観測している。町では2001年に津波防災ステーションを設置し、4基の水門と5基の陸閘を、役場敷地内のステーション庁舎から遠隔で閉鎖できるようにしていた。当日は地震発生の7分後の4時57分に水門班職員がステーション庁舎に登庁し、安全を確認しながら4時58分に閉鎖開始。8分間で閉鎖を完了している。津波は閉鎖完了の12分後に到着している。浜中町霧多布港では海岸地帯の1,400世帯4,500名に避難勧告が出されたが、町内12カ所の避難所への避難者は最多時でも1,200人であった。水門陸閘閉鎖が少しでも遅れていれば、被害が出ていた可能性がある。

津波防災ステーションはまだ設置数が少なく(2003年時点で8カ所<sup>☆4</sup>)、これまではその設計を試行錯誤的に実施してきている。地震による液状化のために水門が故障したり、車の停車により陸閘が閉鎖できない場合への対応、自動閉鎖時に水門・陸閘の外に置き去りにされる人への対応、押し寄せる津波と同程度の強さで戻る引き波を外に逃がすための水門操作方法、電動化できない小型・旧式水門の扱いなどは、残された課題である。今後は、これらの課題を解決するとともに、後背地に住む住民へのさまざまな情報提供機能、関連機関との情報共有機能などを強化し、総合的な防災情報システムの中に統合されたシステムとして整備される必要がある。

## (2) 避難誘導支援システム

避難誘導は3段階(事前避難の決定、避難勧告の全住

民への伝達、避難の実行)に分けて考えることができる。

避難の判断は市町村が行うが、タイミングが難しい。津波などの圧倒的な被害が予想される災害の場合には比較的判断しやすいが、豪雨による洪水や土砂災害の場合には、過去の事例などを参考にして決めることが多い。そのときに、短時間に急激に大量の雨が降る場合には、判断の時期を逸してしまうことになる。その例が2004年の新潟や福井の水害(7.13新潟水害、福井豪雨)に見られる。ハザードマップを用意していたとしても、災害の規模の判断に誤りがあれば、適切なタイミングでの避難の判断はできない。最近では、避難の最終的な判断主体は住民自身であるとして、住民の判断を支援するための情報提供を強化すべきとの主張もなされている<sup>4), 5)</sup>。

避難勧告の全住民への伝達については、市町村は避難勧告や災害情報を住民に提供する最終的な責任を持つ。多くの市町村は、自治会長に対して電話やFAXで避難勧告を伝達するほか、住民に直接情報を提供するための手段として同報無線システムを保有する。これは災害対策室などから音声情報(生放送あるいは録音)を、無線によって街角に設置した屋外拡声子局(スピーカ)に送るもので、広域に住む多数の住民に迅速かつ正確に情報を伝達するには効果的である。しかし音声を直接放送するものであるため、他の情報システムとは切り離されて運用されることが多く、時間を要したり、読み間違いが起こる可能性がある。この点を解決するため、最近ではデジタル同報無線が導入され始めている。デジタル化されているため、国、都道府県、市町村の各種災害情報システムと接続することが可能となり、国や都道府県から情報が入手した時点でそのまま音声化して放送できるなど、迅速で柔軟な運用が可能となっている。

屋外拡声子局を用いた同報無線システムは効果的ではあるが、豪雨時や強風時には聞こえにくく、夜間も寝ている人にとっては聞き取りにくい。また情報が片方向なので、住民に伝わったかどうかの確認が難しい。そこで、各住居に放送を受信するための戸別受信機を設置する自治体もある。デジタル同報無線からは音声だけでなく文字や画像などのデータを伝送できる。また双方向のデータ通信も可能となっている。しかし戸別受信機を全戸に配備することは、特に都市においてはコスト面から限界がある。戸別受信機を持つ市町村と持たない市町村が合併する際に、情報格差が問題となった事例もある。

試験放送が開始された地上デジタル放送は、データ放送機能を活用して、地域番号(郵便番号)で識別され

<sup>☆4</sup> 津波防災ステーション以外にも、大阪市などで水門陸閘遠隔監視制御システムの整備が行われている。津波到来に時間的余裕がある地域では、水門等をマニュアルで確実に閉鎖し、閉鎖の確認のみを遠隔で行う(接点信号とカメラによる確認)システムが計画/導入されている。

る避難エリアごとに緊急避難情報や被害状況、安否情報を提供できるほか、携帯端末での受信も可能であり、避難支援用に有効活用が期待されている。今後は災害情報・避難情報の提供メディアとして利用方法の研究開発が進むものと期待される。

情報としては住民に届いても、活かされない場合がある。2003年に発生した十勝沖地震では、浜中町の4,500名の住民に避難勧告が出されたが、避難した人数は1,600名ほどであった。一般的に、避難命令があっても避難する割合は住民の2、3割といわれている。避難命令の無視は以前から問題にされていたが、最近の津波被害の頻発を受けて大きく取り上げられるようになってきた。筆者らはかつて、避難勧告を無視する理由を災害の種類や居住地のさまざまな特性などに基づいて推定し、避難促進に資するシステムを開発した<sup>6)</sup>。避難しない理由は多様であり、個別に避難を呼びかけることは難しい。リスク・コミュニケーション<sup>4)</sup>の視点からは、具体的な戸別の危険度情報の提供、若年からの教育訓練などが重要と考える。

津波被害を防ぐ最良の方法は事前避難である。実際の避難は徒歩で行われることは少なく、自家用車での避難が多い。自動車は緊急車両の通行を妨害するだけでなく、渋滞により自らの進行を妨げてしまう。自動車による避難は完全に禁止することが実際には難しいため、何らかの制御を行うことが求められる。現在展開されているITS (Intelligent Transportation Systems: 高度道路情報システム) では、雪氷作業支援などの日常的防災の研究はテーマとして研究されているが、避難誘導や復旧・復興時の渋滞制御などのテーマは取り上げられることが少ない。今後は信号制御、避難経路誘導、地域による時差避難などのテーマに取り組む必要があるだろう。

### (3) その他

災害時に電力やガスなどの社会インフラが破壊されると、社会へのダメージが大きく、また長引くことになる。そのため、災害に強い社会インフラの整備が必要となる。最近、複雑な関係を持つさまざまな存在 (人間関係、経済、情報ネットワーク、伝染病の感染経路など) に共通する構造としてSF (Scale-Free) ネットワークが注目されている<sup>7)</sup>。これは一見複雑なネットワークの自律的で単純な生成原理であり、欧米を中心に研究が活発化している。減災関係では、SFネットワークの考え方をを用いて、災害に強い電力供給システムを検討する研究も行われている。今後、災害に強いネットワークを考える上で重要な方向と思われる。

## 教育訓練支援

### (1) 災害シミュレーション

避難誘導のためにも、災害発生前に具体的な被害の予想を住民に情報提供できれば、避難率が向上し、減災効果が上がると期待できる。このような予想手段として計算機シミュレーションがあり、土木工学を中心として研究が進められている。これまではメカニズムの解明という点を中心であったが、最近ではGISを用いて住民に視覚的に情報提供するという視点が考慮されるようになってきている。

国土交通省国土技術政策総合研究所のリアルタイム河川氾濫予測システムは、テレメータ雨量、レーダ雨量などの雨量データおよび河川の水位などのデータをリアルタイムに取り込んで、1時間後、2時間後の降雨による内水および外水氾濫の浸水域や浸水深を予測し、GIS上に表示するリアルタイム・ハザードマップ・システムである (図-3)。内水と外水の双方を取り込んで予測解析できるよう、小河川や農業用排水路、都市下水道等の排水システムを組み込んだ氾濫解析モデルを用いている点に特徴がある。現在、岐阜県大垣市をモデルフィールドとしてシステム構築が進められている。リアルタイム・ハザードマップは、洪水のほかにも、火山被害などでも実用化が試みられている。

災害シミュレーションとは少し異なるが、地滑り危険度を判定するシステムを京都大学防災研究所が開発している<sup>8)</sup>。1995年の阪神・淡路大震災、1978年の宮城県沖地震、1993年の釧路沖地震で地滑りが発生した谷埋め盛り土の宅地と起きなかった宅地について、谷の深さ (盛り土の厚さ) と幅、底面の傾斜、地下水量、地震規模、震源となった断層からの距離など9つの指標を分析した。その結果、谷の深さと幅の影響が大きく、深さが5m超、幅60m未満だと地滑りが起きにくいこと、地下水面が高いほど危険度が高いこと、傾斜は急なほど危険度が高いことなどが分かった。これらの知見に基づいて、数量化II類により各指標に重み付けをして危険度を予測する判定手法を開発した。宅地100カ所について検証したところ92%の的中率を得ている。

### (2) 人間行動シミュレーション

災害時の避難行動を知ることには、防災・減災のためのハードウェア施設を設計するためにも、避難誘導などのソフトウェア対策を計画するためにも、また住民、関係機関の啓蒙のためにも、効果的であり、重要である。社会心理系の避難行動研究は以前より行われてきたが、被験者実験などから得られる個別的な知見を人間の認知行動の全体の中に取り込んで位置づけ、他の認知行動との



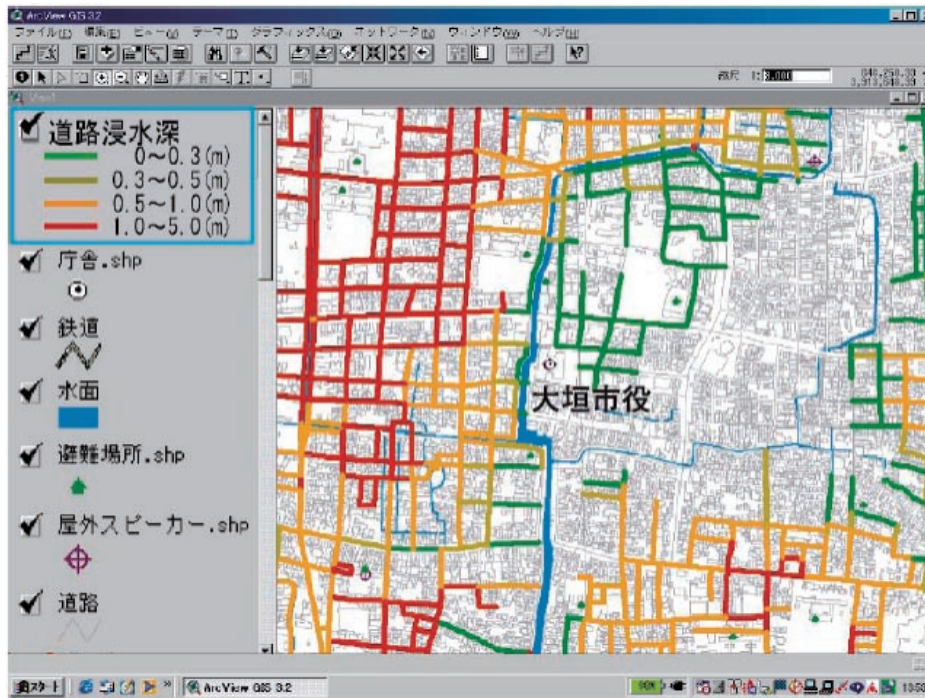


図-3 リアルタイム河川氾濫予測システムの画面表示例

関連を調べるためには、ベースとなるシミュレーション・モデルが必要である。仮想空間での避難行動分析により、被害規模の予想、災害対策の効果の事前評価などが可能となる。

そのような研究の1つにデジタルシティがある<sup>9)</sup>。これはVR (Virtual Reality) によって構築した仮想的な空間における避難行動を、エージェントと人間のインタラクションにより再現するとともに、避難誘導などに関する有効な知見を得ることを目的としている。本システムを用いて人間による避難誘導実験を追試したところ、誘導方法の効果について一致した結果を得ており、エージェントに必要な知識を与え、適切なシナリオを設定すれば、有効な知見を得られる手法であることを証明している。さらに実際の地下鉄駅構内に取り付けた自由局面ミラーカメラの映像に基づいてVR空間内に再現した個々の乗客を遠隔から携帯電話によって避難誘導する実験も行われている。VR空間として表現することで、全体の状況を把握しやすくなるとともに、誘導すべき個々の乗客の位置を特定しやすくなる(図-4)。知見を重ねれば、VR空間だけで、被験者を用いてはできない危険性の高い状況を設定して実験することも可能となるだろう。

片田ら<sup>10)</sup>は、災害情報が住民の間に伝達されてゆく様子を模擬するシステムを構築している。行政からの防災行政無線、広報車、各種メディアを通じた情報提供や、口頭や電話による住民間の情報交換が、地域の地理的特性や世帯状況の影響を受けて伝播する様子を模擬し、そ



図-4 シミュレータを用いた超越型誘導の例

れぞれの効果を評価している。住民への情報提供は減災における最大のテーマであるため、注目される。

### (3) 防災センタ

自治体や消防はそれぞれの地域の防災拠点として防災センタを設立している。そこでは消防職員の教育訓練、来館者への啓蒙活動、資材備蓄、災害対策室のバックアップ用の情報通信機器の管理などを行っている。情報システムとしては、上記のような各種シミュレータや

教育用ソフトなどを導入している。今後はより臨場感のある、地域の災害状況に合った、実際に役立つ経験のできるシステムの導入が求められる。最近では首都圏、中部圏、近畿圏などにおいて、広域防災ネットワークの拠点、被災時のオープンスペース、被災時緊急輸送拠点としての「広域防災拠点」および「基幹的広域防災拠点」の整備が計画されており、防災センターや災害対策室との協体制の強化が進められる。従来の地域を越えた広域の協体制を支援するためには、情報システムとしても新たな枠組みが求められている。

阪神・淡路大震災後、兵庫県は「人と防災未来センター」を設立し、震災体験の継承、防災の研究および教育啓蒙活動の拠点とした。機能として、①上級研究員による調査研究、②教育研修、③大規模災害発生時の広域支援、④国内外の研究機関との交流、⑤震災関連の展示、⑥阪神・淡路大震災に関する資料の収集管理、がある。大型映像と音響効果を用いた震災発生時の阪神・淡路各地域の再現映像シアター、震災にかかわった人々がビデオで体験を伝えるコーナー、パソコンで防災教育コースを自由に学べる防災情報サイトコーナー、災害・防災に関する実践的な知識を実験やゲームで学べる防災ワークショップコーナー、国・自治体などの職員やボランティアに対する実践的防災研修など、そのインパクトと充実度において突出している<sup>☆5</sup>。

#### (4) コミュニティ・マネジメント

大規模災害に対しては広域の住民や行政のすべてが被災することから、自助2割、互助2割、公助1割といわれる<sup>5)</sup>。このうち、阪神・淡路大震災で注目されたのは互助のための地域コミュニティの重要性であり、2004年の7.13新潟水害や福井豪雨でも再認識された。被災時に有効な互助を行うためには、災害準備期において、地域コミュニティの各主体が協調連携して減災に取り組むことが重要である。その意味では、自治会長や地域防災リーダーの役割は重要である。彼らを支援するような情報環境（避難所および避難ルートの情報、要避難支援者リスト、地域の要注意箇所リスト、避難時の注意事項喚起、連絡対象住民への自動連絡、など）が望まれる。

荒川コミュニティ・ネット推進協議会は、1998年から荒川の下流域において、国土交通省荒川下流工事事務所、戸田市、川口市、板橋区、北区、足立区、葛飾区、墨田区、江東区、江戸川区、流域CATV局、警視庁、東京消防庁、住民、地域民間企業などが協力して進める広域防災コミュニティ活動で、「荒川コミュニティ・ネット」を運営している。河川沿いに敷設した国の光ファイ

バ網を用いて、水門の開閉や排水機場の遠隔操作、2kmごとに設置した監視カメラによるリアルタイム荒川監視、1kmごとに設置した情報コンセントを用いた情報収集・伝送、CATV網と連携した住民への防災情報提供などを行っている。広域的な防災情報受配信のモデル実験として、荒川下流工事事務所が防災情報の受信センタ（防災情報ハブ）となって、光ファイバ網、インターネット、携帯電話、CATVなどを使用した情報連携実験も行われ、最適な情報メディアの模索、住民ボランティアによる携帯端末等を利用した避難や誘導・災害情報レポート、学校との協力による一時避難場所から広域避難場所への避難の有効性検証などの成果を得ている。

しかし実際のコミュニティは、都会を中心に機能していないところが多く、災害時に隣近所で互助することは難しい。このような事態を補う方策として、バーチャル・コミュニティ<sup>11)</sup>が注目された時期があった。互助が重要なのは、どこに誰がどのような状態で住んでいるのかを知っている近所の人達が、実際に救助や避難確認などの行動をとれることにある。これをバーチャル・コミュニティで代替可能かどうかは、バーチャル・コミュニティと実際の社会とがどのような接点を持てるかにかかっている。たとえば、被災時に救助隊が、特定の住居の人に関するバーチャル・コミュニティでの活動に関する情報を入手・利用できれば、救助活動に資するであろう。バーチャル・コミュニティのメンバから救助隊などに対して、プライバシーに触れない限度で被災メンバの個人情報を提供するような制度や仕組みの検討・構築が必要と思われる。

#### (5) その他

地域の災害弱点を住民自らが発見・整理する教育訓練方法としてDIG (Disaster Imagination Game: 災害図上訓練)がある<sup>12)</sup>。これは、1997年に三重県地域振興部消防防災課、防衛庁防衛研究所、防災ボランティア団体が協力して考案したもので、想定した災害シナリオに基づいて、危険だと思われる地域の施設や場所を調べ、地図上に書き込み、対策を考えるものである。住民が住んでいる地域の課題を発見し対策を考えるという点で、教育効果が高く、最近では自治体や企業が防災訓練に取り入れる動きが活発化している。通常は紙の地図上に透明シートを張り、シートに危険の内容や対策をフェルトペンなどで記入する。しかし地図を見て考えるだけでは危険箇所を拾い漏らす可能性があり、また階段や坂道などを登るなど肉体的なコストについて具体的に考えることが難しい面がある。この点を改善するため、GISベースで、

☆5 2002年4月の開館以来、2003年9月までに50万人以上。小中学生、一般市民などを中心に現在も増加傾向にある。



住民が撮影したビデオを電子地図の地番と対応づけ、作成した危険箇所地図をインターネットで公開するような情報システムが考えられる。避難訓練での移動の様子をビデオで見ることができれば、階段や坂道などの課題は具体化され、参加者に問題点が共有されやすい。

しかし最近では地域住民の流動化により、地域の災害歴史を知らない住民が増えており、また地域との日常的つきあいが減少しているために、DIGを実施しても危険箇所が認識できなかったり、対策を検討できない可能性が高くなっている。このような状況を補完するためには、地域で過去に発生した災害や実施されてきた対策の情報を住民で共有できるシステムが必要かつ有効である。また他地域における情報も参考になる。たとえば、住民の災害体験やヒヤリハット体験、地方の新聞情報、各種災害調査報告書などからの情報を抽出整理してデータベースを構築し、Webで公開するなどのシステムが考えられる。

国土交通省の各地方整備局でも、災害の危険性を啓蒙するための工夫が行われている。たとえば土石流体感3Dシアタは、土石流や火砕流が発生する際の予兆や、発生時に起こる現象を、100インチのスクリーンに映された3D映像、立体音響、臭い、熱風、振動により疑似体験できるものである(図-5)。トラックで運搬でき、イベントなどへの貸し出しを行っている。土石流や津波などは身近に感じられないために危険性の認知が低く、被害が絶えないことを考えると、疑似体験の重要性は今後高まると思われる。

また総務省消防庁では2004年3月に、地域住民、消防職員・消防団員、地方公務員などを対象として、インターネット上で防災・危機管理に関する学びの場を提供することを目的とする「防災・危機管理e-カレッジ」というWebサイトを立ち上げている(<http://www.e-college.fdma.go.jp/>)。大地震時に3日間生き延びる方法、公務員の責務、災害の基礎知識、災害への備え、地域防災の実践、ボランティア活動の実践などを、アニメーションを交えたコースとして整備・教授している。

## まとめ

前編では、災害準備期におけるリスク・マネジメントのための減災情報システムの現状と課題について紹介・整理した。被害を最小限にするためには、日頃からの心構えや具体的な準備が必要であり重要である。そのためにはセンサを始めとする情報機器による情報収集と災害の予測、シミュレーションなどによる被害の予測や災害の理解の教育・訓練、避難方法の検討と詳細な計画立案などの整備や効果的な利用が鍵となる。現実には、これ



図-5 土石流3D体験シアター

らの取り組みは本格化してまだ日が浅く、各技術の効果に未知の部分が多い。今後、具体的な災害を想定した各技術の有効性の評価や、現在の技術では難しい課題を解決するための新規技術開発が求められる。

災害の現実感が得にくい災害準備期においては、人々をどのようにして自主的な教育・訓練に向かわせるかのリスク・コミュニケーションの視点を考慮した取り組みが重要となる。行政に頼り切った減災ではなく、住民自らが地域を守るという意識をいかに育てるかが、リスク・マネジメントの鍵かもしれない。いたずらに不安感を煽ることは避けるべきであるが、正しいリスク情報を正確に住民に伝え、行政と住民が協力しながら地域の減災対策を考える姿勢が必要であろう。

後編では、応急対応期と復旧・復興期のクライシス・マネジメント技術を紹介する。

### 参考文献

- 1) 中央防災会議: 防災情報システム整備の基本方針, 防災情報の共有化に関する専門調査会(2003).
- 2) 中村 一(編): GPS気象学, 気象研究ノート, 192号(1998).
- 3) 防災情報通信システム研究会(編著): 防災情報通信システム, 山海堂(2003).
- 4) 広瀬弘忠: 人はなぜ逃げおくれるのか, 集英社新書(2004).
- 5) 林 春男: いのちを守る地震防災学, 岩波書店(2003).
- 6) 仲谷善雄: 知識ベースに基づく広域避難診断システム, 情報処理学会論文誌, Vol.28, No.8, pp.884-893 (Aug. 1987).
- 7) 林 幸雄: ネットワーク生態学—経済, 社会インフラ技術, 生物における共通構造, 計測自動制御学会誌, Vol.43, No.8, pp.599-605 (2004).
- 8) 釜井俊孝, 守随治雄: 斜面防災都市—都市における斜面災害の予測と対策, 理工図書(2002).
- 9) 中西英之, 小泉智史, 石黒 浩, 石田 亨: 市民参加による避難シミュレーションに向けて, 人工知能学会誌, Vol.18, No.6, pp.643-648 (2003).
- 10) 片田敏孝, 浅田純作, 桑沢敬行: GISを用いた災害情報伝達のシミュレーション分析, 土木情報システム論文集, Vol.9, pp.49-58 (2000).
- 11) 西田豊明, 角 康之: コミュニティ支援と人工知能, 人工知能学会誌, Vol.18, No.6, pp.631-636 (2003).
- 12) 高橋秀治: 災害図上訓練への取り組み—自主防災活動としての第一歩, 海岸, Vol.43, No.2, pp.26-29 (2004).

(平成16年10月1日受付)