

3

安全・安心な社会を実現するためには、大災害や大事故に迅速かつ柔軟に対応することが求められる。一方、ますます複雑化する現在の社会システムでは、災害時の被害の波及がさまざまな事象で影響し合うようになっており、これまでの組織ごとの対応策だけでは十分に対処できなくなっている。情報技術はこの複雑化した災害被害を軽減するものとして期待されているが、10年・100年に一度の災害というような時間スケールや、日常業務などの社会システムと密な連携が必要であるなど、情報技術を活用する上で留意しておかないといけない点がいくつか存在する。本稿では、災害情報学の成り立ちと、安全安心社会の実現のために必要な情報の活用技術について述べ、研究動向についても紹介してゆく。

>> はじめに

災害とは稀な現象である。そしてその稀さゆえに情報が持つ価値が非常に高まる。頻繁に、あるいは定期的に起きる災害は、それはもう災害ではなく、日常・平常である。冬場に流行する季節性インフルエンザでは、毎年、他の自然災害によるものをはるかに上回る人的被害が出るが、災害とは普通呼ばない。そこでここでは、地震や風水害、テロや大規模な事故・火災、新型伝染病など、発生の時期や場所の特定が難しく、あるいは被害の拡大に多くのバリエーションがあり、それがために万全の対処をとることが困難あるいは経済的に見合わないものを「災害」と呼ぶことにして論を進めることにする。

このように災害では常時万全の体制をとることが難しいため、災害への対応を行うためには、防災組織だけでなく、一般の市民や組織全員が状況に応じて適切

特集 新しい○○情報学

災害情報学

野田 五十樹

産業技術総合研究所

山下 倫央

産業技術総合研究所

副田 俊介

産業技術総合研究所

下羅 弘樹

産業技術総合研究所

秋山 英久

産業技術総合研究所

な判断・行動を行う必要がある。この判断・行動のためにはどうしても災害の状況や可能な対処法に関する情報が不可欠である。つまり、災害情報学とは、災害という特殊な対象であり状況であることに対して、いかに情報を活用する術を構築していくかという学問である。

災害に関する情報は非常に多岐にわたっている。たとえば、震度や風速・降水量などの災害そのものの情報に加え、家屋倒壊や土砂崩れなどの1次被害、火災延焼や交通遮断・帰宅困難者などの2次・3次被害の情報



図-1 ユビキタスステレオビジョンとそれによる人流追跡

が、災害の規模や広がりやを把握するのにまず必要である。さらに救助資材や物資の所在、近隣あるいは海外からの支援の可能性などの救助・救援のリソース情報、都市の建造物の構成（木造・鉄筋の別や築年数）、要介護者のリストなど被害予想や被害拡大防止に必要な情報なども自治体レベルの判断に必要なようになってくるだろう。また、これらの情報は災害前も災害後も時間とともに変化するため、常日頃の管理と配信が大事になってくる。

本稿では、これらの困難を克服して安全安心社会を実現するために必要な災害情報学を、情報の活用技術を中心に研究動向を含めて解説してゆく。以下では、災害情報学で重要な視点となる「集める」「共有する」「補う」という3つの側面について、研究要素や関連研究を概観していく。

>> 情報を集める

災害情報を集めることはさまざまな困難を伴う。それでも災害大国である日本では、気象や地震などを対象として緻密な観測網を構築し、災害そのものの予測や被害の把握をかなり可能としてきている。一方、実際の災害救助の方針を判断するためには、これらの自然現象の情報だけでなく、建物倒壊や火災延焼、人や車の集中など、都市的・社会的被災状況の把握も重要となる。本章ではこの後者を中心として、単に物理的被害だけにとどまらない災害情報の集め方について、さまざまな取り組みや課題について議論を進める。

【ユビキタスセンシング】

コンピュータネットワークの整備やモバイル機器の普及に伴い、人間が活動する場所の多くで、人の活動や相互作用を常時観測するユビキタスセンシング環境も現実味を帯びつつある。中でも人の移動に関する観測はさまざまな方式が検討されてきている（文献3）の第12章）。

画像を使った例では、ユビキタスステレオビジョンを使った人流計測がある⁵⁾（図-1）。画面上の特徴点のみに着目する単眼ビジョンによる方法に比べ、ステレオビジョンの場合は対象の3次元位置による特徴も活用できるため、照明条件などの厳しい場でも頑健に人の追跡ができる利点があり、野外など広い範囲で活用できる。

また、文献3)に紹介されている例のように超音波デバイスをを用いて人の位置・移動を計測する試みもある。超音波デバイスは比較的安価であるため、発信器・受信機を稠密に配置しやすく、cm単位の精度で位置を計測できる利点がある。

町中でのインフラを必要としないユビキタスセンシングとして、GPSを用いた方法も最近では広がりつつある。たとえば、カーナビや携帯電話のGPS情報を使った情報収集としては、タクシーなどプローブカーによる交通情報収集が実用化されてきている。全力案内^{☆1}では全国の1万台以上のタクシーなどの走行データを集約し、実時間の稠密な交通状況を把握しサービスに結び付けている。同様の取り組みとしては、平成19年の中越沖地震の際にプローブカーの通行状況をもとに震災後の通行可能な道路の洗い出しを試みた防災推進機構による「通れた道路マップ」^{☆2}がある。いずれの例においてもその特徴は、非常に多数のプローブカー情報を集約することにより、精度が高くかつ稠密・広範囲に道路状況を把握できている点である。

このようなユビキタスセンシングの重要な課題は、いかに簡便にかつ永続的にセンシングできる体制を整えるかという点にある。上で取り上げた例のように、画像や超音波などのデバイスを用いて街全体をセンシングする場合、かなりのインフラ投資が必要となる。また、GPSなどもビル内や地下街といった空間で利用できるためには、疑似衛

☆1 http://www.z-an.com/services/traffic_prove.html

☆2 <http://admire.jpn.org/toretamap/070716ToretaRoadMap.html>

星などの設置が必須となる。これらのインフラ投資で重要なのは、都市の変化や多様性に対応するかという点である。地震計やアメダスのように人間の活動の影響をできるだけ受けないところに設置されることが望ましい物理的災害センシングとは反対に、都市という人間の活動の中心で永続的にセンシングできる仕組みがどうしても必要となってくる。そして、都市の形態は年々変化するものであり、また、新旧の町並みが入り交じっているのが都市の現実である。このような変化や多様性に対応でき、かつ長期にわたるセンシングを実現するためには、今後もデバイスやデータ処理技術、運用手法などを開発していく必要がある。

【集合知的情報収集】

災害という事象の特徴の1つに、当事者、つまり被災者が多数存在することがある。このことを活用した情報を集める枠組みが集合知的情報収集である。一般に、災害情報は権威および責任がある機関に属する専門家が収集し広報するものとなっている。これは、災害対策という人々の命を左右する情報を扱う上では当然のことであるが、大災害では専門家の数が不足し、情報収集に手間取ってしまう可能性がどうしても出てきてしまう。これを補うものとして、現在 Wikipedia などでも注目されている集合知の考え方が試みられつつある。

村上ら⁴⁾は大地震の際に公民館等に避難してくる住民から街の被災状況を収集する手法を提案している。さまざまなセンサが開発されている現在でも、人の認識力は総合的に優れた情報収集手段であり、さらに被災地の地元住民であれば土地勘もあり、通報における位置情報も精度が期待できる。これを活用するため、村上らは避難訓練において住民に街で発生している被害や異変を報告してもらい、自治会長や区長などを通じて集約して情報システムに入力する、という方法を提案している。この方法の特徴は、自治会という顔見知りのグループ内で情報を集約・整理することで勘違いなどのエラーを低減できる点と、いきなり情報システムへ入力するのではなく、適度に人手による集約作業を入れることで、情報システムを操作する特別な技能の習得を必要とする人の数を減らすことができる点である。

また、市民からの通報を活用した災害情報サービスも実用化されてきている。RescueNow.com^{☆3}は災害情報配信サービスを提供する企業であるが、その情報収集の手法で特にユニークなのが集合知の仕組みを使った鉄道運行情報の収集である。

鉄道などの交通機関の運行情報については、それを統括する公的機関はまだ整備されていない。これに対し、RescueNow.comはユーザに情報を提供してもらうことで、迅速に情報を収集し、ユーザにフィードバックする仕組みを確立している。彼らのシステムでは、まず、実際にトラブルのあった交通機関を利用しているユーザが携帯電話でそのトラブルをRescueNow.comに通報する。RescueNow.comはそれを受け、交通機関などに確認の後、その情報を全ユーザに配信する。当然、通報してもらえるユーザの数がこのサービスの質を決定する大きな要因となるが、十分な数のユーザを確保できれば、かなりの精度で交通機関のトラブルを検出することが可能になっている。また、このような集合知による情報収集では、その情報の確度をどう担保するかが重要であるが、彼らは社員による交通機関への問合せという人手を経ることで、この問題を解決している。つまり、集合知による感度の良いトラブル検出と専門担当者による判断の組合せにより情報の質を高めることに成功している。

これら両者に共通するのは、情報システムのみで情報収集を完結させず、人手とコンピュータによる処理を組み合わせることで情報の信頼性を高めている点である。人の生命にかかわり高い信頼性が要求される災害情報では、単に集合知的な手法を直接用いるのではなく、情報の確度を人為的に高める工夫が必要であり、これらの取り組みはその好例となっている。

一方、これらの集合知的情報収集では、十分な数の情報提供者をいかに確保するか、という問題が残っている。センシングの指標は感度とカバー率と確度の3つといえるが、集合知の場合、この前者2つが情報提供者の数に依存することになる。先のRescueNow.comの事例では、ユーザが数万に達した時点で交通機関の運行会社よりも情報が早くなったといわれている。幸か不幸か最近では交通機関の遅延などが日常茶飯事となり、

☆3 <http://www.rescuenow.net/>

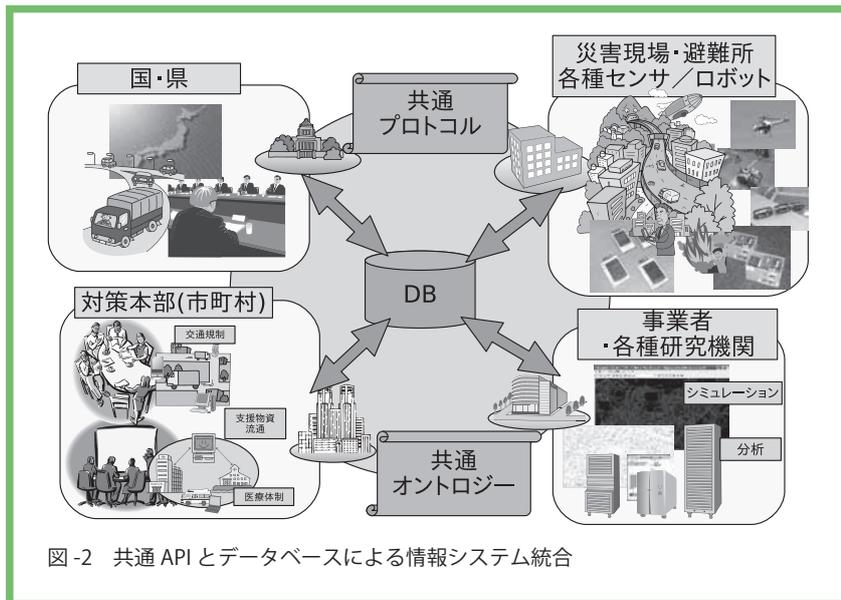


図-2 共通 API とデータベースによる情報システム統合

RescueNow.com のようなサービスが日常的に活用できるため十分な数のユーザを引き付けるのに成功しているが、稀にしか起きない災害に対しても同様の仕組みを導入するためには、平常時から多くの人を引き込める工夫が必要となるだろう。

>> 情報を共有する

災害はさまざまな事象の複合体であり、それを把握し対処するためには多くの組織・機関の間で多様な情報を効率よく共有することが求められる。このため、各都道府県や各種機関の間で、災害のための情報共有の仕組みの整備が進められてきている。

たとえば、広域緊急医療情報システム (Emergency Medical Information System, EMIS) は、主要医療機関の患者受け入れ状況や被災状況を都道府県をまたがって広域で集約・共有することで、効率的な医療資源配分を実現するものである。ただ、この EMIS は自己完結的な災害専用システムであるため平常業務のシステムとの連携が難しく、その存在の認知度や平常時の活用が広まらず、いざ災害というときの利用率は高いとは決して言い難いのが現状である。つまり、発生頻度の低い災害という対象を扱う災害情報システムでは、認知度や利用率をいかに高め、かつ、さまざまなシステムと連動して応用範囲を広げるかが大きな課題となる。

情報共有の枠組みを構築する上では、いかに既存のシステムを取り込むかが最重要課題となる。各自治体や国の各機関、ガス・電気・電話等のインフラ事業者は、すでにさまざまな災害情報システムを構築・運営してきており、それらをすべて置き換えるような統一的な災害情報システムを構築することは現実的ではない。そこで、システム間での情報共有の共通の API やプロトコルを設計し、既存のシステムはできるだけそのままに共通 API に適合させるにとどめ、組織やシステムをまたがる情報共有を実現

することが有望な方策となる。その最も一般的な方法としては、情報共有の核としてデータベースを配し、各種システムはデータベースアクセスの形でその核と情報をやりとりすることで、複数のシステムの間で情報共有を行うものである (図-2)。

野田ら¹⁾はこの考え方を進め、データベース機能を Web Service の形で整理し、災害情報共有のためのシステムをサービス指向アーキテクチャ (Service Oriented Architecture, SOA) の考え方で構成する方法を提案・開発している。この研究では、データベース機能のプロトコルとして、WFS (Web Feature Service) を拡張した MISP (Mitigation Information Sharing Protocol) を設計し、それによって各種システムとデータベース Web Service の形で接続する形式をとっている。核となるデータベースおよびそれへの接続ツール/ライブラリ群としては DaRuMa (DaTabase for Rescue Utility MAnagement) を実装している。

この DaRuMa/MISP を核として複数の情報システムの連携がいくつかの実証テストで実現している。たとえば、新潟県見附市を対象にした実証システムでは、10 以上の個別システムを DaRuMa を中核として連携させ、水害対策のための情報共有を実現している。このほか、多数にわたる市民からの通報の集約やそのデータとシミュレーションによる被害拡大推定の連動、センサシステムやロボットによる被害状況のセンシングの分析など、さまざまなシス

テムの連携を DaRuMa/MISP により容易に実現できることを示し、SOA 的な考え方が災害情報システムで有効であることを示している。

SOA に基づく災害情報共有としては、このほかに APPLIC（地方情報化推進協議会）において災害情報システムの API の標準化という形で進められている。この標準化では上記の MISP の思想とは異なり、各自治体における災害情報のシステム化を促進するために、既存システムで用いられている情報項目に特化した API を個別に定める方法をとっている。このような標準化を行う場合に重要なのは、既存システムを接続可能とする簡便さと、将来必要となると予想される機能拡張を、いかに折り合いをつけるかという点にある。MISP では汎用データベース機能に特化するという形で機能拡張性を確保しているが、APPLIC においても、この MISP のような汎用的検索 API などの拡張が検討されつつある。

>> 情報を補う

災害は稀であるがゆえ、対処や対策の判断のもととなる基礎データを十分に用意することは難しい。また、防災の専門家であっても大災害を数多く経験する人は稀であり、多くの人にとっては初めての事態への対処が迫られることになる。災害シミュレーションはこれらの情報や経験の不足を補う有効な方法の 1 つである。

災害シミュレーションとしては従来、地震動や火災延焼など物理的被害の拡大を中心に精力的に研究が進められてきた。一方、近年の計算機能力の向上や、阪神大震災以降重視されるようになってきた人的・社会的被害の推定・軽減化の点から、避難や救助活動、交通などの人々の動きを取り扱うシミュレーションの重要性が増してきている。

【避難・人流シミュレーション】

人流シミュレーションは大災害時の避難だけでなく、平常時の商業地やイベント会場などでのマーケティング・通行円滑化など広い応用が見込まれている。

たとえば、山下ら²⁾は複合商業施設やターミナル駅などの大型施設における避難をシミュレーションするシステム

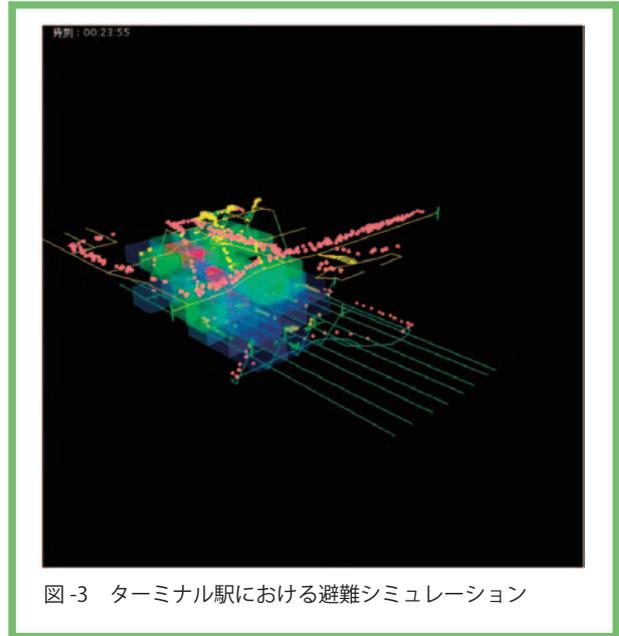


図-3 ターミナル駅における避難シミュレーション

の開発をすすめている（図-3）。このシステムでは、可能な避難経路をリンクとノードのネットワークで表し、その上を個別の移動パラメータや目的地を持ったエージェントが各々判断・行動するネットワーク型のエージェントシミュレーションを行っている。ネットワーク型を採用していることによりシミュレーションが高速であるという特徴があり、大規模な避難のさまざまなケースについて網羅的に調べることが可能となっている。さらに山下らはこのシミュレーションを避難だけではなく、文献5)で得られた人流データをもとに、商業施設のマーケティングなどに応用することを試みている。ここでも多くのケースを網羅的に調べられるという特徴を活かして施設デザインの材料を提供することが狙いとなっている。

このほか、人流を扱う方法としては、空間を連続的な広がりを持つ平面として扱う場合やグリッド上に扱う方法があり、人の移動モデルについても人ごとの個性や目的を明示的に扱うエージェントモデルや、場所のみに依存して行動が決まる流体モデルなどが組み込まれている。最近ではこれらの異なるシミュレーションを組み合わせることでより適用範囲の広い手法を探ることが試みられており、都市設計や空間設計の重要なツールとなると考えられている。これらの各手法については、隔年で開催されている国際会議 International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics などでも研究発表がなされて

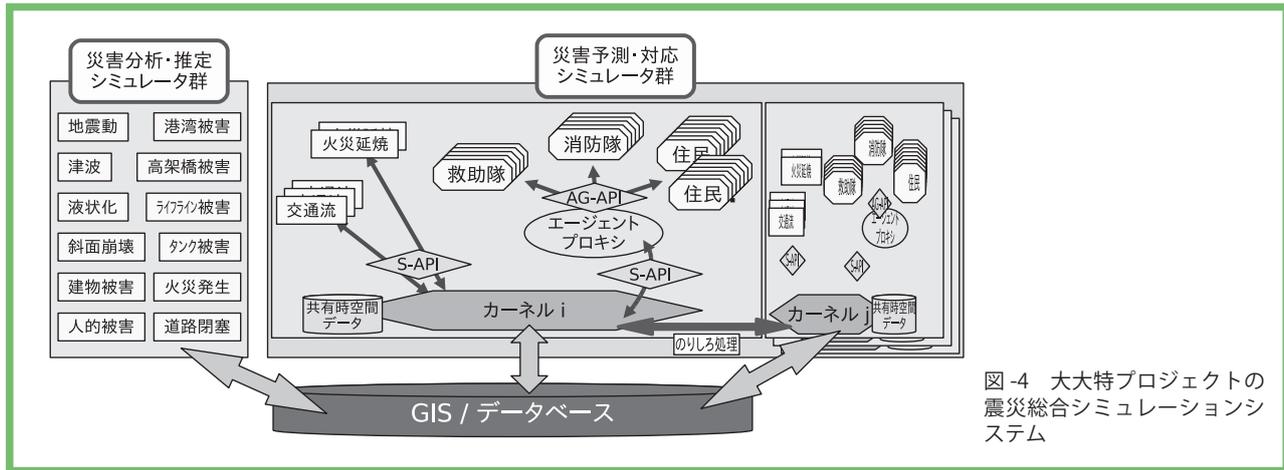


図-4 大大特プロジェクトの震災総合シミュレーションシステム

いるので、参照されたい。

【統合シミュレーション】

前述したように、災害にはさまざまな事象が関与している。このため、シミュレーションにより災害全体を把握するためにはこれらの事象を総合的に扱う必要がある。これに対し、大都市における直下型地震について、その被害の影響と救助活動の効果を総合的にシミュレーションするシステムの構築が文部科学省の大都市大震災軽減化特別プロジェクト（大大特、2003～2007年度）^{☆4}の一部として行われた。このプロジェクトでは、従来の「防災」に加え、災害後の救助・救援活動の効率化により被害の拡大を軽減することを旨とする「減災」の考え方を採り入れ、人々の避難・救援活動を取り込んだ統合的なシミュレータを構築した点で、従来の震災シミュレーションにはない特徴を持っている。

震災総合シミュレーションシステムは災害分析・推定シミュレータ群と災害予測・対応シミュレータ群の2種類のシミュレータ群から構成される（図-4）。災害分析・推定シミュレータは地震動や津波、液状化現象、建物・道路被害など、地震が起きた直後数秒～数分の短時間で発生・推移する物理的現象を扱う。一方、災害予測・対応シミュレータは火災延焼や交通渋滞およびそれらの被害に対する住民や救助隊の活動など、その後数時間～数日にわたって持続的に生じる物理的・人為的現象を扱う。システム全体としては、想定される地震に対して、まず災害分析・推定シミュレータ群が直接的被害推定を行

い、その後、災害予測・対応シミュレータ群により被害の間接的被害の進展や軽減化の効果を予測する形で統合的なシミュレーションを実現している。

【災害シミュレーションの活用場面】

災害シミュレーションの利用法として重要なのが訓練やリスクコミュニケーションでの活用である⁶⁾。計算機シミュレーションの利点は、さまざまな状況や展開を網羅的に調べることができる点である。災害対策の計画策定や訓練・アセスメントにおいて重要なのは、当事者にできるだけ具体的な状況を想定してもらうことである。しかし災害はなかなか実体験として経験することは少なく、現実感を持って災害状況を想定することは、一般の人々にとって難しい。これに対し、具体的な災害の展開を示し、人の想像力をかき立てるといった機能を、計算機シミュレーションは提供できる。たとえば、自分が住んでいる地区において火災延焼の被害が拡大する様子を示されることで、市民は当事者意識を持ちやすくなり、防災訓練を通じた啓発活動の効果向上が期待されている。また、判断基準や判断にかかる時間が被害の拡大・軽減にどのように影響するかを具体的に示すことで、マニュアルや規則を具体的に見直す契機となると考えられる。たとえば、先の山下らの研究²⁾では、ターミナル駅で有害物質が散布されたときの避難シミュレーションをさまざまな対処ケースでシミュレーションし、避難誘導を行う際に必要な判断にかかる時間と被害の関係を網羅的に調べている。この結果では、有害物質の覚知、ついで拡散現場付近の誘導開始にかかる時間が被害に大きく影響することを示している。示された

^{☆4} <http://www.bosai.go.jp/library/gaibu/ddt-all/index.html>

内容自身は「判断を早くすれば被害が軽減できる」というある種当たり前のものであるが、具体的にこのような結果を示されることで、当事者の意識を喚起することに成功している。実際、このデータが提供された机上訓練では、関係機関の連絡体制や対処方針を見直す材料として用いられている。

ただし、現状の災害シミュレーション、特にエージェントシミュレーションについては、結果の精度や再現性をどのように取り扱うかが重要となる。上記で述べているように、災害自体の実例が乏しい上、実験可能な規模の制約、多数の事象の相互作用や人々の振舞いの影響の考慮など、検証用のデータを収集することが難しい。このため、シミュレーションのモデルやパラメータをどう正当化し、結果の統計的性質はどう表現するかについて、現状では十分に議論できていない。この災害シミュレーションの精度向上を目的として、さまざまな状況における人の振舞いのデータなどを蓄積していく技術や枠組みを整備していく取り組みが、今後は重要になってくるだろう。同時に、上記で述べている訓練などでのシミュレーションの活用では、シミュレーションの結果をうのみにして犯人探しをするのではなく、あくまであり得る可能性の1つとして、被訓練者の想像を促す材料として扱う必要がある。

>> おわりに

本稿では、災害にかかわる情報を「集める」「共有する」「補う」という切口で災害情報学というものを概観してきた。そこで共通するものは、稀にしか起きない災害という難物にいかにして情報技術で取り組むかという姿勢である。

もちろん災害には多様な側面があるため、本稿で取り上げた側面以外にも数多くの事例や取り組みがある。たとえば、災害救助ロボットなどによる能動的センシング技術や上空・宇宙からの災害直後のリモートセンシング技術など、新しいセンシング手法が数多く試されてきている。また、情報収集や配信の仕組みにしても、携帯電話や情報家電を活用した数多くの取り組みが行われている。

ただ、大災害という現象に対処するためには、単に要素技術を散発的に伸ばすのではなく、それらをうまく連携

させる統合化・システム化を実現することが大事である。さらに災害情報学で重視しなければならないのは、100年に一度といった災害と日進月歩の技術開発の、2つの時間スケールの異なる事象にどう折り合いをつけていくのか、という点である。その意味で、災害情報学は横方向の統合システム化に加え、時間的なシステム化・発展モデルの枠組みや研究・開発を考えていくものと捉えられるべきであろう。

参考文献

- 1) Noda, I., et al. : It Framework for Disaster Mitigation Information Sharing, Journal of Disaster Research, 3(6), pp.467-478 (Dec. 2008).
- 2) Yamashita, T., Soeda, S. and Noda, I. : Assistance of Evacuation Planning with High-speed Network Model-based Pedestrian Simulator, in Proceedings of Fifth International Conference on Pedestrian and Evacuation Dynamics, p.58 (Mar. 2010).
- 3) 松原 仁, 野田五十樹, 松野文俊, 稲見昌彦, 大須賀公一 (編) : ロボット情報学ハンドブック, ナノオプティクス・エナジー出版局, 東京都文京区, 第1版 edition (Mar. 2010).
- 4) 村上正浩, 柴山明寛, 久田嘉章, 市居嗣之, 座間信作, 遠藤 真, 大貝 彰, 関澤 愛, 末松孝司, 野田五十樹 : 住民・自治体協働による防災活動を支援する情報収集・共有システムの開発, 日本地震工学会論文集, 9(2), pp.200-220 (Feb. 2009).
- 5) 大西正輝, 依田育士 : 大型複合施設における長期間にわたる人流比較と可視化手法, 電子情報通信学会論文誌 (D), J93-D(4), pp.486-493 (Apr. 2010).
- 6) 中島 悠, 椎名宏徳, 服部宏充, 八幡博史, 石田 亨 : マルチエージェントシステムを用いた避難誘導実験の拡張, 情報処理学会論文誌, Vol.49, No.6, pp.1954-1961 (June 2008).

(平成 22 年 5 月 6 日受付)

■野田 五十樹 (正会員) l.Noda@aist.go.jp

1992 年京都大学大学院工学研究科博士後期課程修了。博士 (工学)。電子技術総合研究所入所後、組織再編により、現在産業技術総合研究所主任研究員。マルチエージェントシミュレーション、機械学習、災害情報システムなどの研究に従事。

■山下 倫央 (正会員) tomohisa.yamashita@aist.go.jp

2002 年北海道大学大学院工学研究科システム情報工学専攻博士課程修了。博士 (工学)。2003 年産業技術総合研究所サイバーアシスト研究センター入所。2005 年情報技術研究部門研究員。社会システムシミュレーション、マルチエージェントシステム等に興味を持つ。

■副田 俊介 (正会員) shunsuke.soaeda@aist.go.jp

1977 年東京生。2006 年東京大学大学院総合文化研究科博士課程修了。博士 (学術)。公立はこだて未来大学を経て、現在は産業技術総合研究所特別研究員。人工知能技術に興味を持つ。

■下羅 弘樹 (正会員) h.shimora@aist.go.jp

2009 年福井大学工学部システム設計工学専攻博士後期課程単位取得退学。修士 (工学)。現在は産業技術総合研究所テクニカルスタッフ。災害対応システムや人工知能に興味を持つ。

■秋山 英久 (正会員) hidehisa.akiyama@aist.go.jp

2008 年東京工業大学総合理工学研究科知能システム科学専攻博士後期課程修了。(独) 産業技術総合研究所情報技術研究部門特別研究員。博士 (工学)。マルチエージェントシステム、災害情報システムの研究に従事。人工知能学会会員。