

災害時と平常時の交通マネジメントのための データ融合解析システムの紹介

大畑 長¹・浦山 利博²・花井 健太²・彦坂 健太³
花房 比佐友⁴・今井 武⁵・津田 博之⁶・江藤 和昭⁷

¹正会員 東北大学大学院情報科学研究科 (〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉6番3号09)
E-mail: ohhata-ta@plan.civil.tohoku.ac.jp

²非会員 アジア航測株式会社 空間情報事業部 (〒215-0004 神奈川県川崎市麻生区万福寺1-2-2)
E-mail: tsh.urayama@ajiko.co.jp, knt.hanai@ajiko.co.jp

³非会員 一般財団法人日本気象協会 東北支局情報事業課 (〒982-0841 宮城県仙台市太白区向山4-20-14)
E-mail: hikosaka@jwa.or.jp

⁴正会員 株式会社アイ・トランスポート・ラボ (〒101-0051 東京都千代田区神田神保町1-4)
E-mail: hanabusa@i-transportlab.jp

⁵非会員 本田技研工業株式会社 グローバルテレマティクス部 (〒351-0188 埼玉県和光市本町8-1)
E-mail: takeshi_a_imai@hm.honda.co.jp

⁶非会員 住友電工システムソリューション株式会社 モバイルシステム事業部開発部
(〒550-0001 大阪市西区土佐堀2-2-4) E-mail: tsuda-hiroyuki@seiss.co.jp

⁷非会員 株式会社オリエンタルコンサルタンツ 東北支店 (〒984-0065 宮城県仙台市若林区土樋104)
E-mail: etoh@oriconsul.com

3.11 東日本大震災の避難行動上の課題としては、「様々な行政組織からの情報が錯綜し住民は混乱した。」「津波規模やその方向がわからず、安全な避難場所が不明であった。」「交差点や踏切などのボトルネックから渋滞が発生し避難が遅れた。」「避難時に変化する交通状況を把握出来なかった。」等が明らかになっている。このような甚大な自然災害に備えて、地域防災力の向上に努めるべく、防災に加えて、被害を最小限に食い止める減災対策の重要性が強く認識されている。

本稿では、災害直後のモビリティを初めとする避難者の行動を支援する情報の生成や、災害事前段階からの減災のための道路インフラ整備や避難所配置などの検討を支援するデータ融合解析システムの研究開発の取り組みについて紹介を行う。

Key Words : *evacuation, database, data fusion, disaster, monitoring, landslide*

1. はじめに

我が国は、今般の東日本大震災や集中豪雨、豪雪など、甚大な自然災害を経験しており、地域防災力の向上に努めていく必要がある。特に東日本大震災のような大規模災害においては、防災に加えて、被害を最小限に食い止める減災対策の重要性が強く認識されている。

東日本大震災の検証では、図 - 1 に示すように「様々な行政組織からの情報が錯綜し住民は混乱した。」「津波規模やその方向がわからず、安全な避難場所が不明であった。」「交差点や踏切などのボトルネックから渋滞が発生し避難が遅れた。」「避難時に変化する交通状況を把握出来なかった。」等が明らかになっている。従って、減災のための道路インフラ整備や避難所配置などの

検討、及び災害後の住民避難を支援する迅速な情報提供が重要な課題となっている。

これらの課題の解決を目指し、Data Oriented Mobility Information Group：データ指向型モビリティ情報生成グループでは将来の大規模災害の減災に資するため、①道路インフラ整備・管理計画（道路配置、容量など）を支援するシステム、②災害後の住民の避難に有用な災害・交通状況のモニタリングシステムと交通状況の予測手法を確立するべく、「1.多様なデータの一元管理のためのデータベースの構築」「2.素因と誘因を考慮したリスク解析」「3.道路交通・災害状況のモニタリング手法の確立」「4.徒歩と車両の錯綜考慮型交通シミュレーションの構築」といった融合解析システムの技術開発を行っている。

本稿ではこれまで開発してきたデータ融合解析システムの内容並びに今後の開発方針について紹介する。

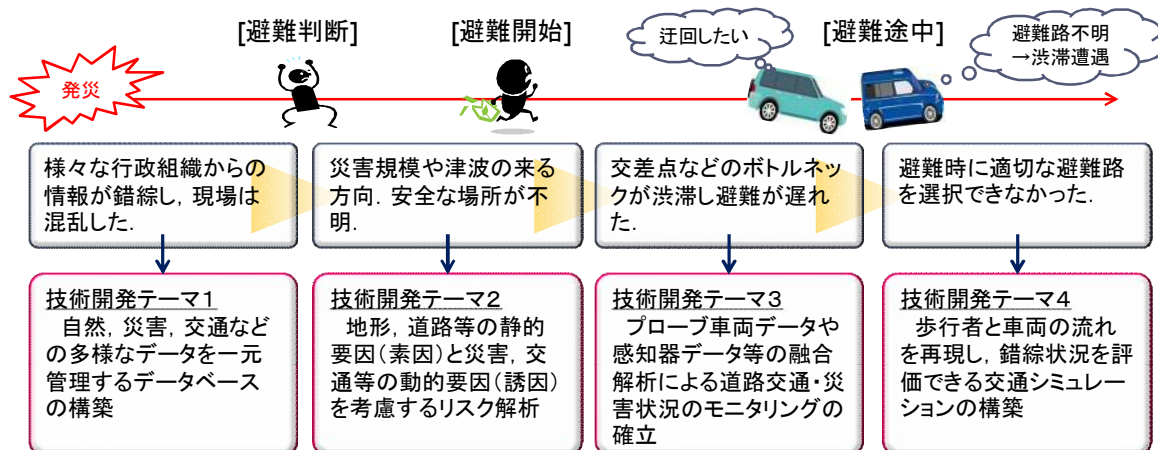


図-1 東日本大震災における避難上の課題に対応するための技術開発テーマ

2. 多様なデータを一元管理するためのデータベースの構築

災害が発生した際には、住民、ドライバー、警察、消防、自治体など立場は異なれどそれぞれその後の対応を判断していく必要がある。そのような判断を下していくに当たっては、各々が所管する情報だけでは不足しており、現在の被災状況やその後の危険度など判断を必要とする情報を一斉に把握することが必要とされる。しかし、現状では、地形データ、道路ネットワーク、施設、交通、気象、被災情報など個別の情報（データ）を管理するデータ基盤は存在しているものの、多様な情報（データ）を同時に管理する受け皿が存在しておらず、お互いに情報をリアルタイムに共有するには至っていない。そこで本項では、立場を異にする者がそれぞれの情報を共有し、分析した上で判断する際に必要となるデータ融合基盤として、災害、交通、社会インフラなど多様な情報を一元的に管理するデータベースを構築する。このような交通情報、災害情報を一元的に管理するデータベースの構築は、道路管理者や災害対応の主体である市町村の防災担当者において適切かつ迅速な判断を支援するものである。

(1) データベースの構成

データベースおよびデータを融合し分析するシステムの構成を図-2に示す。

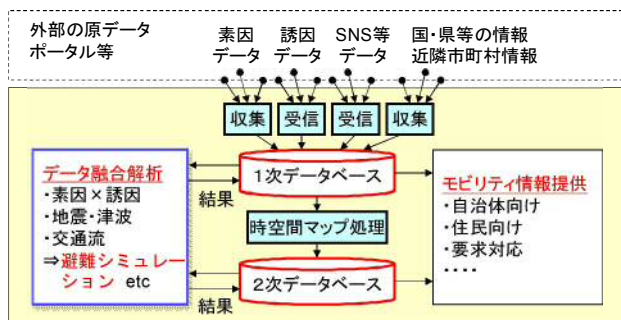


図-2 データベース構成と融合解析システムとの関係

データ格納領域の構成としては、自然情報・災害情報・交通情報の素因・誘因・融合解析結果、個人発情報などの原データにメタデータを付加し、原データをそのままアーカイブする1次データベースと、各種データを時間軸と空間軸で整合（時空間マップ処理）を図り、仮想世界上での表現や融合解析時のデータの利用性を考慮した2次データベースとの2段階構成とする。本稿では、現在完成している1次データベースまでを紹介する。

(2) メタデータ方式による1次データベース

1次データベースは、以下を基本方針として設計・試作した。利用イメージを図-3に、利用フローを次頁の図-4に示す。

■データベースの基本方針

- ・原データの提供・収集促進のため、原データにメタデータ¹⁾を付加し格納。
- ・地図からの検索、および、インデックスからの検索・位置参照が可能。
- ・データベース管理と利用のし易さ（簡便な操作、応答性、継続性、汎用性等）に配慮。
- ・地図プラットフォームは、Google Earthを利用。簡易ビューアとしても利用可能。
- ・融合解析結果の登録と二次的利用も可能。



図-3 GoogleEarth地図とインデックス検索のイメージ

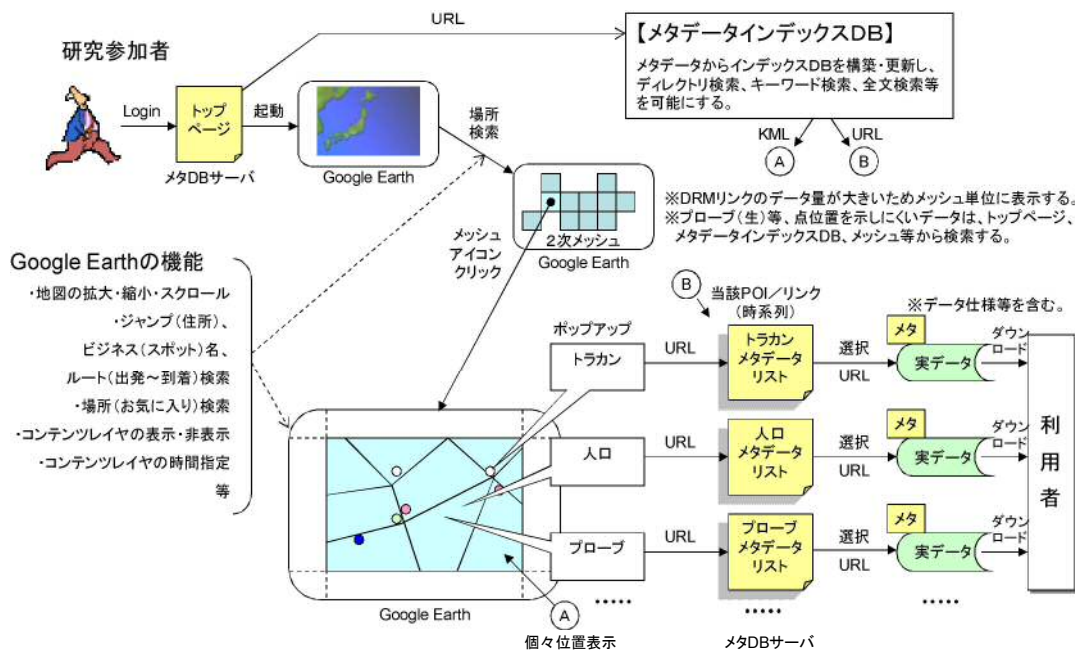


図4 1次データベースの利用フロー

3. 素因と誘因を考慮したリスク解析

自然災害に脆弱な我が国においては、災害素因(そいん)(地形・地質等に由来する地盤本来の潜在的な災害ポテンシャル)と災害誘因(ゆういん)(降雨、地震等、災害を引き起こす外部要因)の双方の視点からリスクが評価され、防災情報として住民に提供されている。

前者の視点では、「ハザードマップ」の作成が盛んであり、さまざまな危険箇所の公開が進んでおり、一方、後者の視点では、気象・水象観測技術および情報伝達技術の向上により、より精緻な気象警報や地震情報がさまざまな媒体を通じてわれわれの生活に届くようになっていく。

災害時に着目すると、津波災害であれば地震以降に、土砂災害や河川氾濫であれば大雨や集中豪雨など降雨の開始以降に災害リスクを予測し、安全な避難場所や避難経路の把握に努める必要がある。

特に土砂災害リスクの分析方法としては、素因と誘因

の2つがあり、素因分析では統計的手法や土質工学的な物理モデルによる危険度評価手法が実用化されている。また、誘因解析では降水量や土壌雨量指数を用いた土砂災害警戒情報が実用化されている。ただし、素因・誘因の双方を融合したリスク情報の提供はあまり進んでいない。

本項では、土砂災害を対象にこれら2つの情報(素因と誘因)をリアルタイムに組み合わせることで、時々刻々と変化する災害リスクを追跡し、また予測する手法を紹介する。

(1) 素因と誘因を融合したリスク解析の流れ

図-5に示すように、素因データベース(地形、地質、植生等)と災害実績の関係から、素因に対する危険度分布を算出し、これらにリアルタイムな誘因データベース(降雨、地震等)の情報を掛け合わせることで時々刻々と変化する災害リスクを分析する。

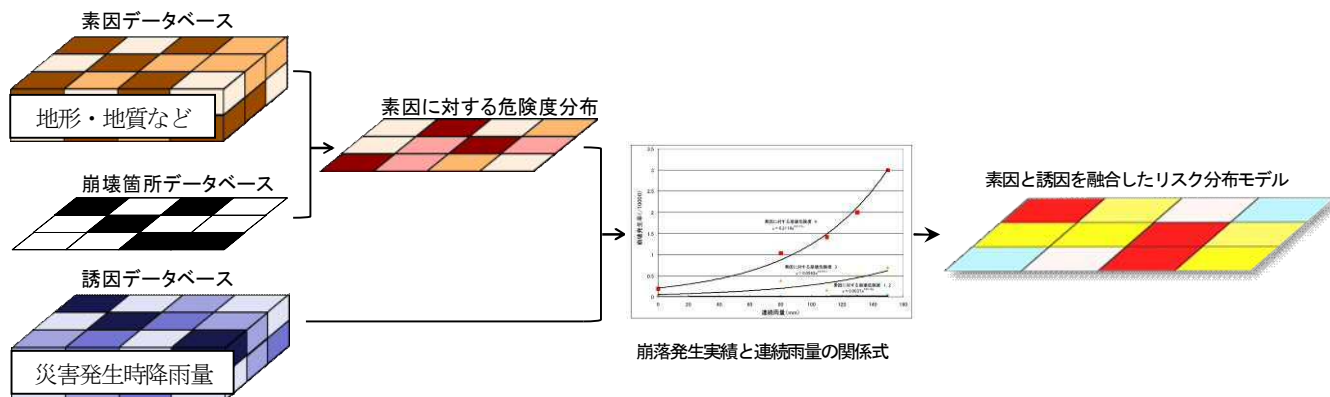


図5 災害素因と災害誘因によるリスク分析の流れ

(2) 数量化Ⅱ類解析による素因に対する危険度分布評価の実施

素因解析の方法として、採点による方法は点数の与え方を決定するのが困難であるが、統計的手法や物理モデル法は比較的容易に評価が可能である。このうち、物理モデル法は計算処理が煩雑であり、リアルタイムに刻一刻と変化する誘因データとの融合を考える上では実用的ではない。したがって、本研究では統計的手法による危険度評価を基本とする。いくつかある統計的手法のうち今回は、多変量解析の手法のひとつであり、カテゴリデータ（素因）を説明変数とし、カテゴリデータ（崩壊/非崩壊）の目的変数との関係を分析する、数量化Ⅱ類を適用し、以下の素因に対する危険度分布を評価した。

- ① 起伏量（考慮距離 50m）
- ② 土地被覆
- ③ 尾根谷度
- ④ 表層地質
- ⑤ 集水面積（考慮距離 50m）

図-6 数量化Ⅱ類解析に選択した素因

(3) 誘因データの収集整理およびパラメータ設定

誘因データとしては、2002年7月に仙台市および石巻市で豪雨が発生し、多数の斜面崩壊が発生した際の降雨を誘因モデルとして危険度の評価を行うものとした。2002年7月の降雨データとして、国土交通省1kmメッシュ降水短時間データを収集整理し、連続雨量のGISデータとして展開した。

これらの連続雨量と、崩壊発生率（崩壊実績ポイント/全ポイント）との関係をプロットしたものを図-7（各区分の近似曲線はフラジリティカーブとよばれる）に示す。なお、危険度1と2の区分においては、崩壊実績がほとんどないため、区分を統合した。

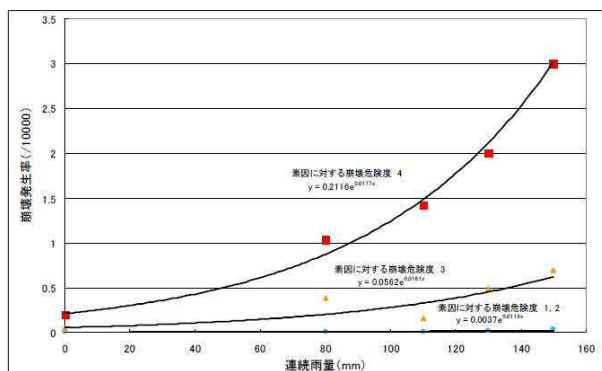


図-7 連続雨量と崩壊発生率の関係

(2)のとおり構築した素因に対する危険度の分布モデルと、(3)にて解析した過去の崩壊発生時における雨量分布データに基づくフラジリティカーブとを用いて素因・誘因に対する危険度分布の関係式を全メッシュに設定した。

(4) 素因・誘因の融合評価

前述までに構築した素因・誘因に対する危険度分布の関係式を用い、連続雨量（2002年7月降雨）の1変数のみを入力データとして、対象地域内全域において素因・誘因を融合評価した土砂災害危険度を算出した。

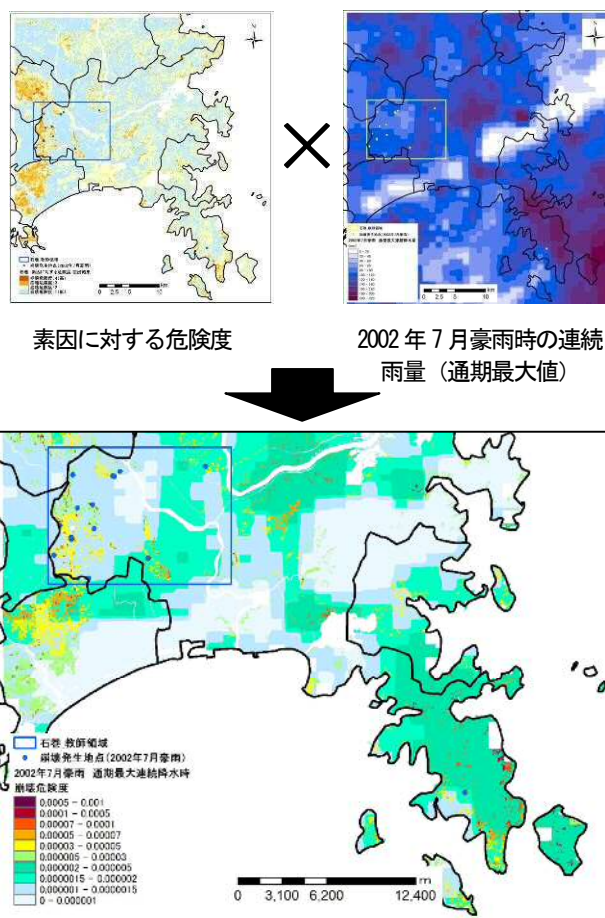


図-8 2002年7月降雨における崩壊危険度

4. 道路交通・災害状況のモニタリング手法の確立

今般の大震災において多くの人が一斉に避難を開始したことで、道路上では多くのところで渋滞が発生し、避難が遅れたため、車を乗り捨てて逃げる人やそのまま津波に飲み込まれてしまった人が見受けられた。

このような避難を要する発災時において、避難者が迅速に避難を完了するためには、避難先までの道路の被災状況や経路上の交通状況にかかる情報を入手する必要がある。

平常時や発災時において道路交通状況や災害状況をリアルタイムにモニタリングするセンサーとしては、プローブ、スマホ、ヘリ画像など、個別の情報源は存在するものの、それらの情報は部分的であったりデータが少数であったりと限られている。さらには大地震時には停電の可能性もあり、その入手は困難となる可能性もある。

現状としては、このような個別の情報を融合解析して地域全体の道路交通状況と災害状況を迅速にモニタリ

グする技術はできていない。
そこで本項では、プローブや航空画像などの情報を用

いて地域の道路交通状況や災害状況をモニタリングする
手法の開発状況について紹介する。



図-9 交通・気象・災害などの既存センサーとセンシングデータ

(1) プローブを活用した交通状況の把握

図-9に示す既存センサーのうちのプローブカーは専用のGPS車載器を搭載する車両の数秒ピッチの位置情報や速度情報などを取得することが可能であり、走行軌跡から路線区間の混雑状況などをモニタリングすることが可能である。しかし、現時点ではまだ専用のGPSを搭載する車両の普及率は低く、得られるデータは少なくモニタリングできる範囲・量は限られている。今後はこれらのデータを活用してデータが得られない区間、時間帯の交通状況を推定する手法の開発が期待される。

(2) データ補間手法の開発

車両感知器などの固定センサーもプローブも面的なエリア全体を網羅できるものではなく、これらの散在する情報を時空間で補間推定する手法としてKinematic Waveモデルや機械統計モデルからのアプローチに取り組んでいる。

Kinematic Waveに基づいたVariational Theoryを用いた車両軌跡推定手法は、車両感知器による道路区間の出入り時刻とプローブ車両軌跡を制約条件として混雑区間の把握が可能である。さらに車両軌跡情報からは信号秒数や、車両ボリュームなどの情報を推定する可能性が秘められ

ており、こちらも同様に研究を進めているところである。

さらに、機械統計モデルからのアプローチにおいては、散在する車両感知器情報から面的な交通量を補間推定することが可能であると考えられる。機械学習させるデータセットとしては日常の交通状況を交通シミュレーションで準備することで、当日の感知器データや交通規制方法をインプットすることで交通シミュレーションより迅速な面的な交通状況の推定を可能とするものである。

(3) 画像データを活用した災害状況の把握

津波浸水エリアや土砂災害による道路封鎖箇所を把握する手法として航空画像により把握する方法がある。事前の画像データと災害後の画像データを比較し、変化箇所を機械的に画像解析することで異常箇所をモニタリングする。ただしこれらの画像を入手するには画像データを取り込む、位置情報を付加させるなどの処理が必要であることから、これらの処理を自動的に行うためのツール開発を行っている。画像データは航空測量のみならず、衛星や、スマホなどを利用した個人の撮影した写真を位置情報を自動整理したうえでマッピングするツールの開発を進めている。

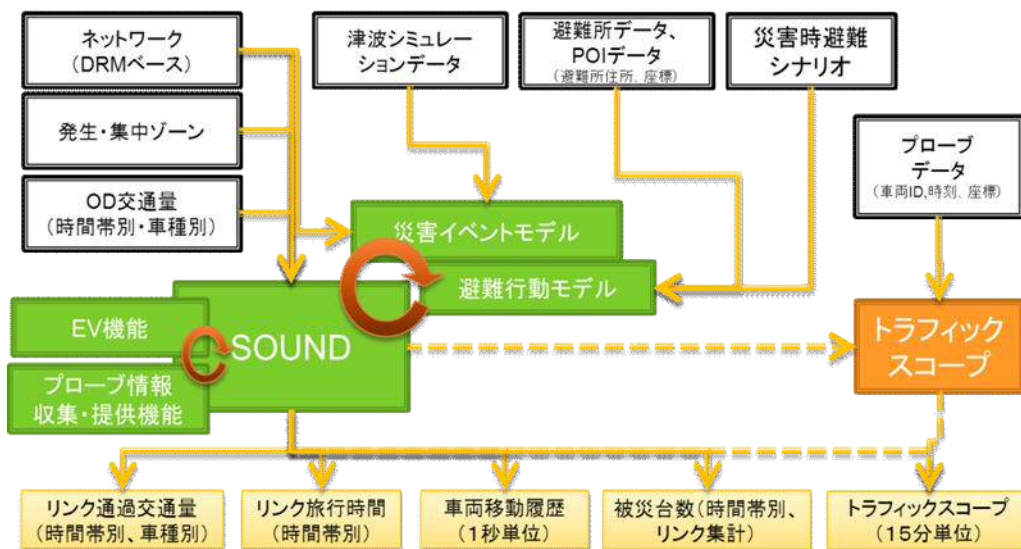


図-10 SOUNDを活用した避難シミュレーションのフレームワーク

5. 徒歩と車両の錯綜考慮型交通シミュレーションの構築

今般の東日本大震災という大規模災害を通じて、災害事前からの減災対策の重要性を再認識することとなった。

東日本大震災の事前においては、原則、自動車による避難が禁止されていたものの当時は地域によらずほぼ半数の人が自動車を利用し、沿岸部の多くの地域で渋滞が発生し避難に支障が生じたことがわかっている。

このことから災害事前の対策として、地域ごとに適切な避難手段を設定したうえで道路ネットワークや避難所位置などの避難施設を配備することが重要であると考えられる。

当プロジェクトチームにおいては、図-10に示すようなフレームワークのもと、災害時における自動車交通による避難計画を評価する「災害時発生時広域自動車交通流シミュレータ」を、広域ネットワークでの交通施策評価に定評のあるSOUNDをベースに開発している。本項では、避難施設計画を評価するツールとして徒歩避難と車両避難との双方を考慮する交通シミュレーションの開発の取組みについて報告する。

(1) 避難シミュレーションの開発経緯

SOUNDでは1台ごとの車両を扱っており、様々な情報に基づいて目的地までの経路を選択させながら、交通流理論に基づいて車両を走行させている。SOUNDをベースに用いて、地震、津波、大雨等の災害発生シミュレーションと連携し、事前の警報発令や、時間帯別の被災状況に応じた交通行動変化や道路閉塞状況を加味して避難シミュレーションを行い、被災車両数等の被害の大きさや、安全に避難するための経路情報提供のあり方等を評価する避難シミュレーションを開発している。

(2) 徒歩と車両の錯綜を考慮するシミュレーション

これまで開発を進めてきた自動車交通の避難シミュレーションをベースに、今後は、歩行者の集中が交通流に及ぼす影響を加味した超混雑（グリッドロック）現象の再現を可能とするなど、歩行者の交通を交流することでより現実味のある交通状況の再現に努めている。

現時点では歩行者と自動車のシミュレーションを個別に開発しており、今後それぞれの錯綜を考慮しうるシミュレーションの開発を進める。

歩行者と車の錯綜を動的に考慮する錯綜考慮型交通シミュレーションは、減災に効果的な道路計画（道路の配置、容量設計など）に貢献するものである。

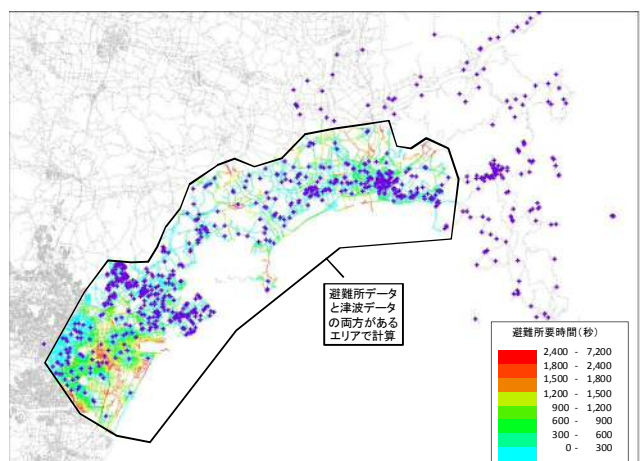


図-11 徒歩避難シミュレーション解析結果
(避難場所までの所要時間分布)

今後、避難シミュレーションの開発を進めていく上では、徒歩と車両の錯綜を考慮するとともに、災害当日のプローブや携帯端末データをもとに人々の避難時行動をを分析し、避難行動モデルの確立を進める。

6. おわりに

本稿では、災害直後のモビリティを初めとする避難者の行動を支援するための交通状況や災害情報を生成すること、また、災害事前段階からの減災のための道路インフラ整備や避難所配置などの検討を支援するための情報生成ツールにかかる研究開発の取組みについて紹介をした。

多様なデータを一元管理するためのデータベースにおいては、今回作成した1次データベースはGoogle Earthを利用することで原データを視覚的に容易に検索することが可能であるほか、操作性が良く継続的に使用できるものである。今後は原データを時空間上で融合し、データ融合解析時の利用しやすさを考慮した2次データベースを構築していく。

また、素因と誘因を考慮したリスク解析では、土砂災

害リスクの推定方法について紹介を行った。今回作成したリスク分布モデルについては今後他地域などでの活用を見据えその精度の検証が必要である。また、今後は土砂災害に限らず、河川氾濫や大雪などの自然災害のリスクについてもリアルタイムに把握できるよう研究を進めていく予定である。

さらに、道路交通状況及び災害状況モニタリング手法の開発については、現在、既存のセンシングデータを用いた予測手法の開発を行っているところであり、今後とも交通工学や機械統計の両面からアプローチを進める。

最後に、徒歩と車両の錯綜考慮型交通シミュレーションでは、これまで車両単独、徒歩単独で構築してきた避難交通シミュレーションについて、今後は双方を同一のネットワーク上で表現する方法を開発していく。

参考文献

- 1) 桑原雅夫(他13名)：データ融合による災害時および平常時のモビリティ情報の生成，日本災害情報学会，2012.
- 2) 金進英(他11名)：災害時と平常時の交通マネジメントのためのデータ融合と解析，ITSシンポ事務，2012
- 3) Marc Miska, Alexandre Tarday, Hiroshi Warita, Masao Kuwahara: The International traffic database project, 2009.
- 4) 柴田光博, 佐々木靖人(2002)：DEMデータを用いた斜面崩壊のフラジリティ 解析，平成14年度，日本応用地質学会研究発表会講演論文集，pp.351-354.
- 5) 小山内信智, 内田太郎, 野呂智之, 山本悟, 小野田敏, 高山陶子, 戸村健太郎(2007)：既往崩壊事例から作成した地震時斜面崩壊発生危険度評価手法の新
- 6) Miho Asano, Takamasa Iryo, Masao Kuwahara : Microscopic pedestrian simulation model combined with a tactical model for route choice behaviour Original Research Article Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Volume 18, Issue 6, December 2010, Pages 842-855
- 7) Mehran, B., Kuwahara, M. and Naznin, F. : Implementing kinematic wave theory to reconstruct vehicle trajectories from fixed and probe sensor data, Transportation Research Part C 20 (2012), pp.144-163
- 8) R. Horiguchi, M. Kuwahara and I. Nishikawa : The model validation of traffic simulation system for urban road networks: 'AVENUE' • PROCEEDINGS of the SECOND WORLD CONGRESS on INTELLIGENT TRANSPORT SYSTEMS 95 YOKOHAMA, Vol.IV, pp.1977-1982, VERTIS, 1995.11
- 9) 小出勝亮, 白石智良, 飯島護久, 堀口良太, 田中伸治：グリッドコンピューティングによる日本全国交通シミュレーションシステムの開発，第9回ITSシンポジウム2010予稿集，354-358，2010.12.

(2013.5.7 受付)