

リアルタイム地震被害推定システムの開発

J-RISQ

中 村 洋 光

防災科学技術研究所では、国の地震本部による「全国地震動予測地図」や基盤データを提供するポータルサイトとして開発した地震ハザードステーション (J-SHIS) において蓄積してきた地盤や建物・人口等に関する基本情報や、地震動の予測手法、建物の被害評価手法と、全国を覆う強震観測網 K-NET や KiK-net 等の観測データ等を組み合わせることで、即時的に被害推定を行い、情報を提供するリアルタイム地震被害推定システム (J-RISQ; ジェイ・リスク) の開発を進めている。J-RISQ は、観測網から得られる震度等から面的な地震動分布を逐次推定し、それを入力として、一定のレベル以上の揺れに暴露した可能性のある人口を表す震度暴露人口や建物被害推定を行う。その結果は、WebGIS を用いて Web ブラウザやメールでユーザに提供することができる。我々は、2010 年からこのシステムの試験的な運用を行い、これまでに 600 以上の地震に対して、リアルタイム推定を行っている。その結果、システムは一定レベル以上の震度情報を受信してから 30 秒程度で第 1 報を提供しており、情報提供の即時性の観点からは十分な性能を有している。現在、J-RISQ の推定情報の一部を「J-RISQ 地震速報」として広く一般にも公開している (URL: <http://www.j-risq.bosai.go.jp/>)。

キーワード: J-RISQ, J-SHIS, K-NET, KiK-net, リアルタイム, 地震被害推定, J-RISQ 地震速報

1. はじめに

日本では 1995 年阪神・淡路大震災における応急対策活動の反省から、被災状況を迅速に把握するとともに、事前対応、応急対策及び復旧・復興対策の各段階における情報を統合化し、総合的な意志決定を迅速に行うことの重要性が改めて指摘された。内閣府では、こうした状況を踏まえ、地理情報システム (GIS) を活用した地震防災情報システム DIS 及びそのサブシステムとして地震被害早期評価システム EES の整備、運用を行っている¹⁾。その他にも地震に関する被害推定システムは、様々なレベルで構築されているものの、推定精度の不足、災害全体の俯瞰的・面的な把握の困難性がこれまでに指摘されてきた。

地震本部では、地震発生の長期的な確率評価と強震動の評価を組み合わせた「確率論的地震動予測地図」と、特定の地震に対してある想定されたシナリオに対する詳細な強震動評価に基づく「震源断層を特定した地震動予測地図」の性質の異なる地図から構成された「全国地震動予測地図」を公表している。防災科学技術研究所 (以下、防災科研) では、全国地震動予測地図を Web 上で公開し、その他にも地図作成の前提条件となった地震活動モデル、震源モデル及び地下構造

モデル等の評価プロセスに関わるデータを提供するシステムとして地震ハザードステーション (J-SHIS) を開発した²⁾。

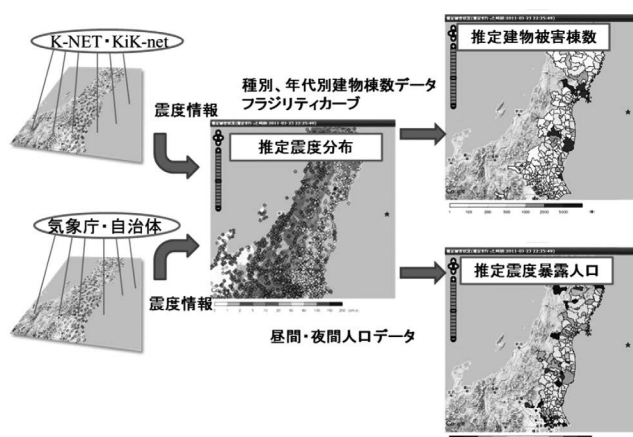
一方、1995 年阪神・淡路大震災以後は、全国を対象とした均質な強震観測網や震度観測網の整備が進められ、世界的にも希な高精度かつ高密度な観測網が構築された。防災科研が全国約 1,700 箇所に整備、運用している K-NET 及び KiK-net は、基本的な強震計としての基本性能を充実させているだけではなく、気象庁の測器検定に合格した正式な震度計としての震度演算機能を搭載し、トリガー式準リアルタイム波形伝送を実現させている等の特長がある³⁾。また、常時接続回線が利用可能であればリアルタイムでの観測及びデータ伝送も可能な機能を搭載しており、一部の観測点においてリアルタイム観測が試みられ、その結果は「強震モニタ」として Web 上に公開している⁴⁾。

このように、J-SHIS の開発にあたり蓄積してきた表層地盤の増幅特性データや建物・人口に関する情報等の基本情報や、地震動の予測手法、建物の被害評価手法と、K-NET や KiK-net から得られるリアルタイム強震データ等の観測データを組み合わせることで、地震発生直後において、これまでよりも更に早い段階で初動対応の適切な意志決定等に役立つマクロ的な被

害推定情報を提供するシステムが構築可能と考え、リアルタイム地震被害推定システム（Japan Real-time Information System for earthQuake）の試作版（以下、J-RISQ）を構築し、現在試験的な運用を行っている。本論では、このJ-RISQの概要と、実際の地震における推定状況について述べる。

2. J-RISQ の概要

J-RISQ の概要を図一1に示す。システムを構成する要素は、震度データ受信部、地震動・被害推定部、情報表示・配信部である。システムは以下の特徴を持っている。



図一1 リアルタイム地震被害推定システム（J-RISQ）の概要

- ・被害推定のための外力（地震動）に関する情報として、基本的に震源情報は用いず、計測震度情報を用いる。
- ・WebGISを用いて推定した面的な地震動及び震度暴露人口、建物被害分布をWebブラウザ上に表示する。
- ・推定した情報はPCブラウザ上で閲覧するだけでなく、登録ユーザの携帯メール端末へ情報配信され、ユーザは携帯端末ブラウザ用Webサイトから推定結果の地図等も閲覧できる。
- ・J-RISQによる推定情報の一部（推定震度分布や震度暴露人口等）はJ-RISQ地震速報として、Web上に公開している。

(1) 震度データ受信部

震度データ受信部では、K-NET及びKiK-netの計測震度データの他に、気象庁より提供される地方公共団体や気象庁の計測震度データを受信している。震度データは地震が発生した後に同時に送られてくるものではなく、地震動が広がるにつれて順次それぞれの観

測点から、時間的にばらばらに送信されてくる。J-RISQでは、一定の時間範囲に、受信した計測震度2.5以上の観測点数が閾値を超過した場合に推定状態に移し、推定を開始する。また、時間的にばらばらに送られてくる震度データに対して、その時点で入手したデータを用いて推定を行い、逐次的に「報」を重ね、情報を更新していくことで情報の迅速性を確保している。第1報は初めに震度データを受信してから30秒程度で出され、10分程度の間に多い場合には100報以上の「報」が更新される。

(2) 地震動・被害推定部

建物被害や震度暴露人口の評価を行うためには、まず評価地点への入力となる地震動の情報が必要となる。しかし、多くの場合評価地点の極近傍で、かつ評価地点と同等と見なせるような地盤上に観測点はない。そこで、観測点位置でしか得られていない地震動の観測情報から空間的に広がりのある面的な地震動を推定する必要がある。ここでは、地表で観測された震度データから、経験式を用いて最大速度に変換し、各観測点における地盤増幅率を考慮して工学的基盤の最大速度を推定し、それに対して内挿処理を行うことで面的な分布を求め、再度増幅率を乗じることで面的な推定を行っている。

具体的には、計測震度と地表最大速度との関係式⁵⁾を用いて、計測震度を地表最大速度に変換する。次に、求めた地表最大速度から地表での増幅率を除することで、工学的基盤最大速度を求める。なお、ここで用いる増幅率は、全国を対象として作成された地形・地盤分類250mメッシュマップ⁶⁾から求められた地表から深さ30mまでの平均S波速度(AVS30)に基づくものであり⁷⁾、それに増幅率とAVS30との経験的な関係⁸⁾を用いた。

こうして得た観測点直下の工学的基盤の最大速度から、GMT⁹⁾に実装されたDelaunay三角形を用いた補間法¹⁰⁾を用いて250mメッシュに空間補間した後、増幅率を乗じて地表最大速度を推定し、変換して震度の面的分布を算出する。ここで、日本全国を覆う250mメッシュ数は約600万と膨大なものとなるため、J-RISQでは計算するメッシュの範囲を震度データが得られている地点を含む矩形の領域に限定することで、処理の高速化を図っている。

建物被害予測に用いる建物データ（全国約6,000万棟）については、全国一律の現地調査に基づき作成されている住宅地図と市区町村が公開している固定資産税概要調書等を用いて、全国を対象とした3次メッ

シュ単位で推定した構造種別の建物棟数データと、国勢調査や住宅・土地統計調査等の統計データを用いて推定した建築年別の棟数データ¹¹⁾を4分割し、250 mメッシュの構造種別（木造／S造／RC造）、耐震基準別（旧／新耐震）のデータを用いた。そして、推定された地震動から構造種別、耐震基準別、被害レベル別（全壊／全半壊）のフラジリティカーブを用いて被害率を算出する。フラジリティカーブは、既往の研究において様々なデータセットに基づいた複数の提案がなされている¹²⁾。J-RISQでは、表1に示すようにそれぞれの構造種別に対して複数のフラジリティカーブを適用し、それらの組み合わせにより、試験的に4パターンの中から推定手法を選択することができるようにした。こうして求められるメッシュ毎の被害率から、メッシュ毎の被害レベル別の被害棟数を推定する。

表1 J-RISQ で選択可能な建物被害推定手法の一覧

方法	建物構造種別	参考文献
方法1	木造	堀江 (2004) ¹³⁾
	RC造	村尾・山崎 (2000) ¹²⁾
	S造	村尾・山崎 (2000) ¹²⁾
方法2	木造	堀江 (2004) ¹³⁾
	RC造	村尾・山崎 (2002) ¹⁴⁾
	S造	村尾・山崎 (2002) ¹⁴⁾
方法3	木造	村尾・山崎 (2002) ¹⁴⁾
	RC造	村尾・山崎 (2002) ¹⁴⁾
	S造	村尾・山崎 (2002) ¹⁴⁾
方法4	木造	内閣府 (2004) ¹⁵⁾
	RC造	内閣府 (2004) ¹⁵⁾
	S造	内閣府 (2004) ¹⁵⁾

人口データは、地震の発生した時刻に対応できるように昼間人口と夜間人口の2種類を用意している。昼間人口データは平成17年国勢調査及び平成18年事業所・企業統計調査結果に基づき、夜間人口データは平成17年国勢調査に基づいており、もともとは500 mメッシュであるデータを250 mメッシュに細分化して用いている。こうして行われる建物被害や震度暴露人口の推定はメッシュ毎であるが、それらの推定結果を市町村毎や都道府県毎に集計することもできる。

(3) 情報表示・配信部

推定結果は、情報表示・配信部によって可視化及び外部配信することができる。被害推定結果の可視化についてはWebGISを用いて構築しており、汎用的なインターネット上の地図サービスに重ねて表示することができる。図2に表示例を示す。ユーザは、期

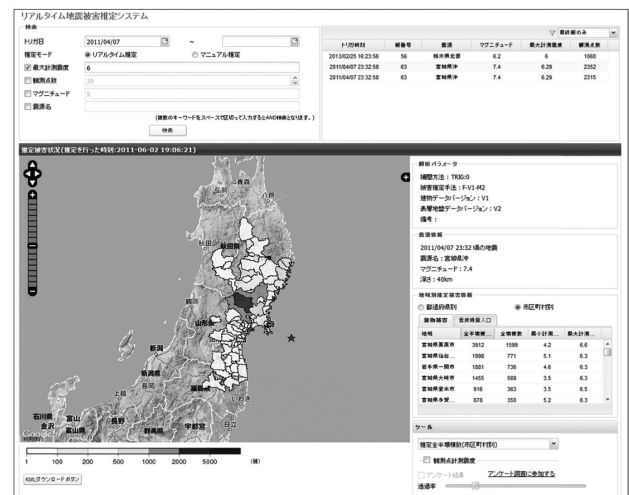


図2 J-RISQ の推定結果の表示例

間や観測された最大震度、観測点数等の他に、震源地名やマグニチュードの震源に関する情報もキーワードとして推定結果を検索することができる。検索した結果は一覧表となつて表示され、それぞれの選択した結果に対応する250 mメッシュ図や都道府県別、市町村別の主題図として地図表示される。更に、震源情報や解析条件等の情報と共に、都道府県別と地町村別の推定結果（建物被害及び震度暴露人口）の数値データの一覧が表示される。

システム外部への情報配信は、登録ユーザのメールアドレスに対して行われる。ユーザは予め希望する配信エリア（全国・都道府県、及び市町村から選択可能）と、最大震度を閾値とする配信レベルを登録しておき、その登録条件を満たした場合に、震源情報等と合

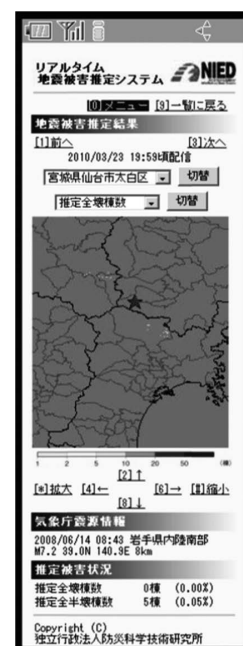
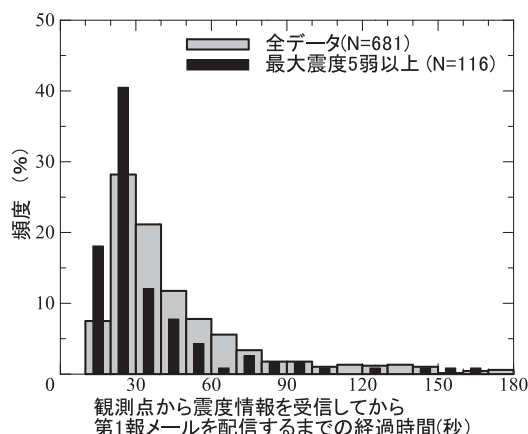


図3 携帯端末用 Web システムでの表示例

わせて、登録エリアの推定建物被害情報（全壊棟数及び全半壊棟数）と推定震度暴露人口の情報がメール配信される。ユーザは配信されたメール文中のリンクから携帯端末用 Web システムにアクセスし、図—3に示すように被害分布地図等を閲覧することも可能である。この携帯端末用 Web システムでは、即時的な推定被害地図の閲覧以外にも、過去の配信履歴と関連付いた地図を閲覧することもできる。また、メール配信の他に、国際標準規格である WMS（Web Mapping Service）で提供することもできる。

3. J-RISQ の動作状況

実際に発生した地震における J-RISQ の動作状況について述べる。システムの試験的な運用は 2010 年から行っており、2014 年 6 月時点で 600 以上の地震に対して推定を行っている。図—4 に K-NET・KiK-net 観測点から震度情報を受信してから第 1 報メールを配信するまでの経過時間のヒストグラムを、推定を行った全地震（681 地震）とそのうち観測された最大震度が 5 弱以上であったもの（116 地震）について示す。分布は全地震及び 5 弱以上の地震共に 20～30 秒程度をピークとし、推定した全地震の約 76% のケースについて 1 分以内に第 1 報を送信、また震度 5 弱以上の地震に関しては、約 83% の地震で 1 分以内に第 1 報を配信しており、地震発生直後の情報提供としては、十分な即時性を有していることが分かる。

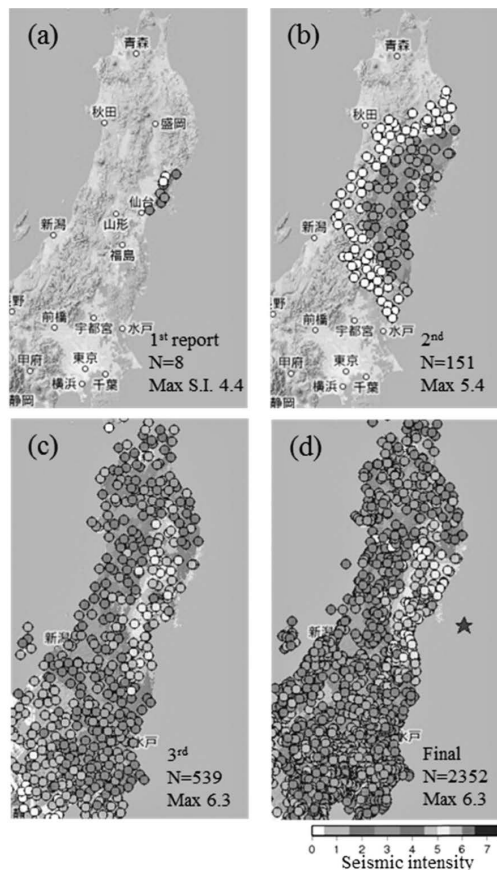


図—4 第 1 報配信までの動作時間の頻度分布（グレーは全地震、黒は全地震のうち観測された最大震度が 5 弱以上の地震）

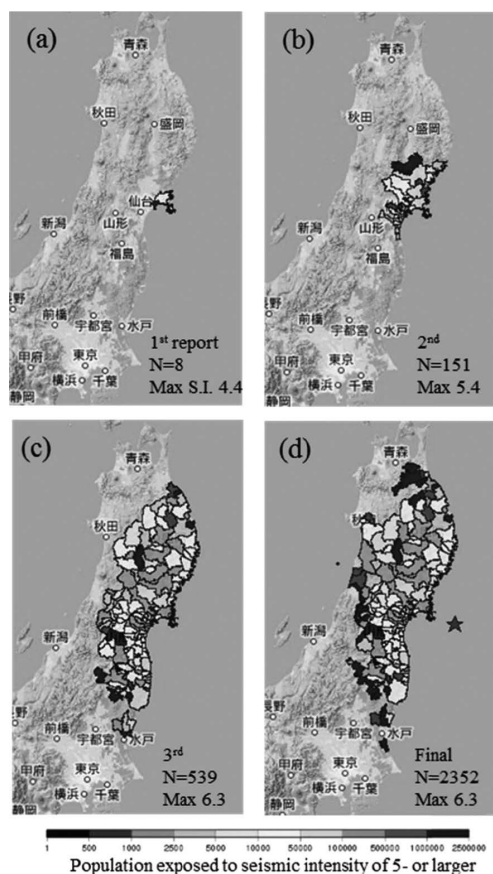
次に個別の地震の推定状況について述べる。試験運用期間中に発生した最大の地震は 2011 年 3 月 11 日に発生した東北地方太平洋沖地震であった。しかし、J-RISQ の運用を行っていた防災科研本所（茨城県つくば市）においては、震度 6 弱の強震動に見舞われ、

停電等の影響で強震観測網のデータセンタ機能が停止したことにより十分な推定を実行することができなかった¹⁶⁾。

震災後運用を再開してから発生した最大の地震は、2011 年 4 月 7 日 23 時 32 分に発生した宮城県沖を震源とする地震（ M_{JMA} 7.1, 最大震度 6 強）である。図—5 及び図—6 にこの地震による地震動分布とそれに基づいた震度 5 弱以上の暴露人口の市町村別の推定結果を発信した報ごとに示す。J-RISQ は地震発生から約 31 秒後に 8 観測点のデータを用いて第 1 報を配信した（図—5 (a), 図—6 (a)）。その後地震動の伝播に伴って観測点は増加し、地震発生から約 1 分 9 秒後には 151 観測点のデータを使って第 2 報（内部処理としては第 18 報）を配信し（図—5 (b), 図—6 (b)）、約 5 分 36 秒後には 539 点のデータを使って第 3 報（内部処理としては第 40 報）を配信し（図—5 (c), 図—6 (c)）、約 19 分 39 秒後に 2352 観測点のデータを用いた最終報（内部処理としては第 63 報）を配信した（図—5 (d), 図—6 (d)）。その結果、震度 5 弱以上の揺れに暴露した人口（夜間）が約 440 万人、震度 6 弱以上が約 120 万人にも及ぶという推定をしている。また震災後の建物データの変化等は考慮されていない



図—5 2011 年 4 月 7 日宮城県沖の地震における震度の面的な推定状況（図中○は観測された計測震度）



図一六 2011年4月7日宮城県沖の地震における市町村別の震度5以上の暴露人口の推定状況

が、この地震における方法1(表一1)での建物被害推定結果は、全壊棟数は約6,000棟、全半壊棟数は約16,000棟であった。

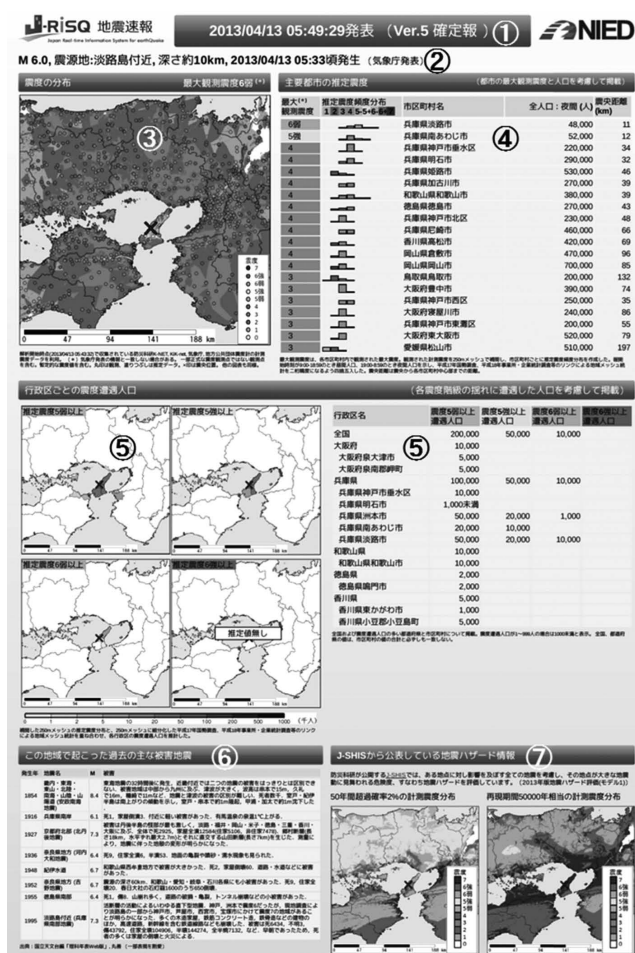
4. J-RISQ 地震速報の公開

地震発生直後に揺れの状況や震度暴露人口の情報をコンパクトに分かり易く提供することを目的に、J-RISQによる推定情報の一部(推定震度情報及び震度暴露人口等)を、「J-RISQ 地震速報」として、2013年10月よりWeb上に実験的な公開を開始した(URL: <http://www.j-risq.bosai.go.jp/>)。図一七に2013年4月13日発生した淡路島の地震(M_{JMA} 6.3, 最大震度6弱)におけるJ-RISQ地震速報の確定報を示す。図一七中に示した番号に従ってJ-RISQ地震速報の概要を述べる。

①情報発表時刻：J-RISQ地震速報の発表時刻を示す。

J-RISQは地震発生直後より、最新の観測データに基づいて情報を発信する。そのため1地震につき、第1報から最終の確定報まで数報の情報が提供される。

②震源情報：気象庁発表による対象地震の震源に関する



図一七 2013年4月13日淡路島の地震におけるJ-RISQ地震速報の確定報

る情報を表示する。

③震度の分布：観測された震度やそれに基づいて推定された震度分布を表示する。観測データは防災科研のK-NET、KiK-net及び気象庁や地方公共団体のデータを使用している。

④主要都市の推定震度：揺れの大きい都市の最大観測震度や、250 mメッシュで推定した行政区内推定震度の頻度分布を全人口のデータ等と併せて表示する。この推定震度頻度分布により、これまで例えば地域内で一つの震度の情報しかなかったものが、揺れやすさを考慮することで、幅のある分布として揺れの状況の概要を一目で把握できるようになる。

⑤行政区ごとの震度暴露(遭遇)人口：震度5弱以上、5強以上、6弱以上、6強以上の揺れにどれくらいの人が暴露された可能性があるかを行政区別に地図と表で表示する。

⑥この地域で起こった過去の主な被害地震：周辺地域で過去に発生した地震を、被害の状況等と併せて年表で表示する。

⑦J-SHISから公表している地震ハザード：周辺地域の地震ハザード(50年間超過確率2%と再現期間5

万年相当の震度分布)を地図で表示する。

このように、地震発生直後のリアルタイムな情報に加え、過去の被害地震に関する情報や、将来の地震ハザード情報も併せて、Webブラウザで閲覧可能としている。また、利用者は同様の情報をA4一葉にコンパクトにまとめたPDFでダウンロードすることも可能としている。

5. おわりに

今後、建物被害推定結果に関しても検証を進めると共に、被害推定手法の高度化及び推定の基盤となる地下構造モデルの充実、より現実的な建物や人口モデルの構築、また地震動だけではなく津波被害等の地震に随伴する被害の総合的な評価研究を進めていく必要がある。また、このような推定の高精度化に向けた取り組みと合わせて、時には大きな誤差を含む可能性のある推定情報をどう賢く利用していくかについても想定される利用者を巻き込んだ検討が重要と考えている。

謝 辞

リアルタイム地震被害推定システムで用いている地方公共団体及び気象庁の震度データにつきましては、気象庁より提供して頂いているものです。記して感謝致します。

J C M A

《参考文献》

- 1) 内閣府：地震防災情報システムの整備，平成14年版防災白書，pp.89-93, 2002.
- 2) 藤原広行・河合伸一・青井真・森川信之・先名重樹・工藤暢章・大井昌弘・はお憲生・若松加寿江・石川裕・奥村俊彦・石井透・松島信一・早川譲・遠山信彦・成田章：「全国地震動予測地図」作成手法の検討，防災科学技術研究所研究資料，第336号，2009.

- 3) 功刀卓・青井真・藤原広行：強震観測一歴史と展望一，地震第2輯，61, S19-S34, 2009.
- 4) S. Aoi, T. Kunugi, H. Nakamura, and H. Fujiwara : Deployment of new strong motion seismographs of K-NET and KiK-net, Earthquake Data in Engineering Seismology, Geotechnical, Geological, and Earthquake Engineering, Vol. 14, pp. 167-186, Springer, 2011.
- 5) 藤本一雄・翠川三郎：近年の強震記録に基づく地震動強さ指標による計測震度推定法，地域安全学会論文集，No.7, 241-246, 2005.
- 6) 若松加寿江・松岡昌志：地形・地盤分類250mメッシュマップ全国版の構築，日本地震工学会大会梗概集，pp.222-223, 2008.
- 7) 松岡昌志・若松加寿江：地形・地盤分類250mメッシュマップ全国版に基づく地盤の揺れやすさデータ，産業技術総合研究所，知的財産管理番号 H20PR0-936, 2008.
- 8) 藤本一雄・翠川三郎：近接観測点ベアの強震記録に基づく地盤増幅度と地盤の平均S波速度の関係，日本地震工学論文集，第6巻，第1号，pp.11-22, 2006.
- 9) P. Wessel and W. H. F. Smith : New, improved version of Generic Mapping Tools released, EOS Trans., Vol.79, No.47, 579, 1998.
- 10) J. R. Shewchuk : Triangle : Engineering a 2D Quality Mesh Generator and Delaunay Triangulator, First Workshop on Applied Computational Geometry (Philadelphia, PA) , pp.124-133, 1996.
- 11) 大井昌弘・石橋圭太・藤原広行：地震リスク評価のための全国建物分類データベースの開発，第13回日本地震工学シンポジウム，pp.1708-1715, 2010.
- 12) 村尾修・山崎文雄：自治体の被害調査結果に基づく兵庫県南部地震の建物被害関数，日本建築学会構造系論文集，第527号，pp.189-196, 2000.
- 13) 堀江啓：阪神・淡路大震災における木造建物の層破壊被害，地震ジャーナル，38号，pp.30-40, 2004.
- 14) 村尾修・山崎文雄：震災復興都市づくり特別委員会調査データに構造・建築年を付加した兵庫県南部地震の建物被害関数，日本建築学会構造系論文集，第555号，pp.185-192, 2002.
- 15) 内閣府：首都直下地震に係る被害想定手法について，<http://www.bousai.go.jp/jishin/syuto/pdf/shiryous3.pdf>, 2004
- 16) 功刀卓・青井真・鈴木亘・中村洋光・森川信之・藤原広行：2011年東北地方太平洋沖地震の強震動，防災科学技術研究所主要災害調査，48, 63-72, 2012.

【筆者紹介】

中村 洋光 (なかむら ひろみつ)
 (独)防災科学技術研究所
 社会防災システム研究領域 災害リスク研究ユニット
 主任研究員

