

3. 3. 5 プレート間地震モデル化の研究

(1) 業務の内容

(a) 業務題目 プレート間地震モデル化の研究（史料・震度）

(b) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
東京大学地震研究所	助教授	都司嘉宣	tsuji@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	教授	瀨瀬一起	koketsu@eri.u-tokyo.ac.jp
東京大学地震研究所	大学院生	行谷佑一	namegaya@eri.u-tokyo.ac.jp
鹿島建設小堀研究室	室次長	武村雅之	takemura@kajima.com
鹿島建設小堀研究室	上席研究員	神田克久	kanda@kajima.com
筑波大学システム情報工学研究科	助教授	境 有紀	sakai@kz.tsukuba.ac.jp
筑波大学システム情報工学研究科	大学院生	大月俊典	e011269@edu.esys.tsukuba.ac.jp

(c) 業務の目的

地震は低頻度の自然現象であり、比較的頻繁なプレート間地震でもその繰り返し周期は数十年以上になっている。そのため、ある震源域の特性を調べるために過去の地震を遡ろうとしても、地震計の記録がまったく得られないか、得られても遡れるのは直近の一地震だけという場合がほとんどである。直近を越えてさらに過去の地震へ遡るとなると、震度の情報が唯一のデータとならざるを得ない。その震度データも明治・大正時代ならば中央气象台などから発表されたものが存在する可能性があるが、それ以前では古文書などから被害の情報を抽出し、それを震度データに変換することになる。こうした過去の地震を解析するには、唯一のデータである震度情報を活用する道しか残されていない。本研究ではその活用方法を開発して、地震計記録のない時代の地震、特に相模トラフおよびその延長上で発生した元禄地震から震源の情報を引き出し、強震動予測における震源モデル化の精度向上を図ることを目的とする。

(d) 5カ年の年次実施計画

- 1) 平成14年度：検証用被害データ収集
- 2) 平成15年度：元禄地震の被害データ収集、解析手法の検証、中程度被害の震度変換法
- 3) 平成16年度：元禄地震の解析、建物耐震性能等の時代変遷の検討
- 4) 平成17年度：元禄地震の津波データ収集、社会的状況の被害への影響評価
- 5) 平成18年度：元禄、宝永、安政南海地震の詳細な震度マップ作成、詳細な地震被害予測プログラムの開発

(e) 平成18年度業務目的

前年度に引き続き、歴史資料の解読により元禄地震（1703）の房総半島ならびに宝永（1703）、安政南海（1854）地震の大阪市街地における被害データを収集し、詳細な震度マップを作成する。また、表層地盤の増幅特性を考慮した地震被害予測プログラムを開発し、近年発生した被害地震を用いて手法の妥当性を検討する。

(2) 平成 18 年度の成果

(2-1) 歴史史料における詳細震度分布の研究

(a) 業務の要約

近年、地震研究所から発行された歴史地震に関する史料集である「新収・日本地震史料」に集積された古文書類の記載を、1 地点での 1 事象を 1 枚の電子カード単位として、データベース化し、その事象に相当する現行の気象庁震度を推定することによって歴史上に生じた海溝型巨大地震による詳細震度分布を解明してきた。平成 18 年度には、(A) 大阪市内、および大阪平野部での宝永地震(1707)、および安政南海地震(1854)による詳細震度分布、および (B) 元禄南関東地震(1703)による房総半島の詳細震度分布、を取り上げた。

(b) 業務の実施方法

宝永地震(1707)と安政南海地震(1854)はともに、西日本の各地方に大きな被害をもたらした、南海沖の地震系列に属する巨大地震である。地震研究所から発行された「新収・日本地震史料」の第 3 巻別巻 (1983) ²⁾および第 5 巻別巻 5-2 (1987) ³⁾には、この 2 つの地震に関する古文書資料が多数紹介されている。今回の研究では、これらの史料集に載せられた古文書の記事の中から、現在の大阪府の領域での両地震による詳細震度分布を推定する材料となる記事をデータベース化した。そのさいその記事の記載の対象となった場所を現代の地図の上に照合して、ピンポイント震度を得た。

昨年度は関東を襲った海溝型巨大地震の一つとして元禄地震(1703)を取り上げ、それによる江戸市中の詳細震度分布を解明したが、平成 18 年度には、房総半島での詳細震度分布を解明した。

(c) 業務の成果

(A) 大阪平野部での宝永地震(1707)、および安政南海地震(1854)による詳細震度分布



図 1 弥生時代(AD200-400)の大阪平野の地形図
太線は、『古事記』による神武天皇の行路



図 2 縄文時代 (BC7000-6000) の
ころの大阪平野の地形図

弥生時代(AD200-400年ころ)、大阪府の河内平野には、「河内湖」とも言うべき大阪湾と水域のつながったラグーン状の入り江があった。その一番奥の地点は現在の生駒山系の西の斜面のふもとにまで達していた。現在の近鉄・奈良線の生駒トンネルの西の出口付近に盾津の地名があり、吉備国(岡山県)から船で東進してきた神武天皇の一行がここで上陸したところ、ナガスネ彦の軍勢の攻撃を受けて紀の国(和歌山)への退却を余儀なくされたと、『古事記』に記載されている。大阪湾の入り江が現在でははるか内陸となった盾津の地まで伸びていて、この地点が弥生時代の当時には海岸線上にあったことを物語る事実を反映している。

このように、大阪平野の内陸部には、縄文時代から弥生時代にかけての時期に水域があったことは、後世におきた地震の震度分布に影響を生じていないだろうか?このことを、宝永地震(1707)、および安政南海地震(1854)の詳細震度分布を解明することによって明らかにした。

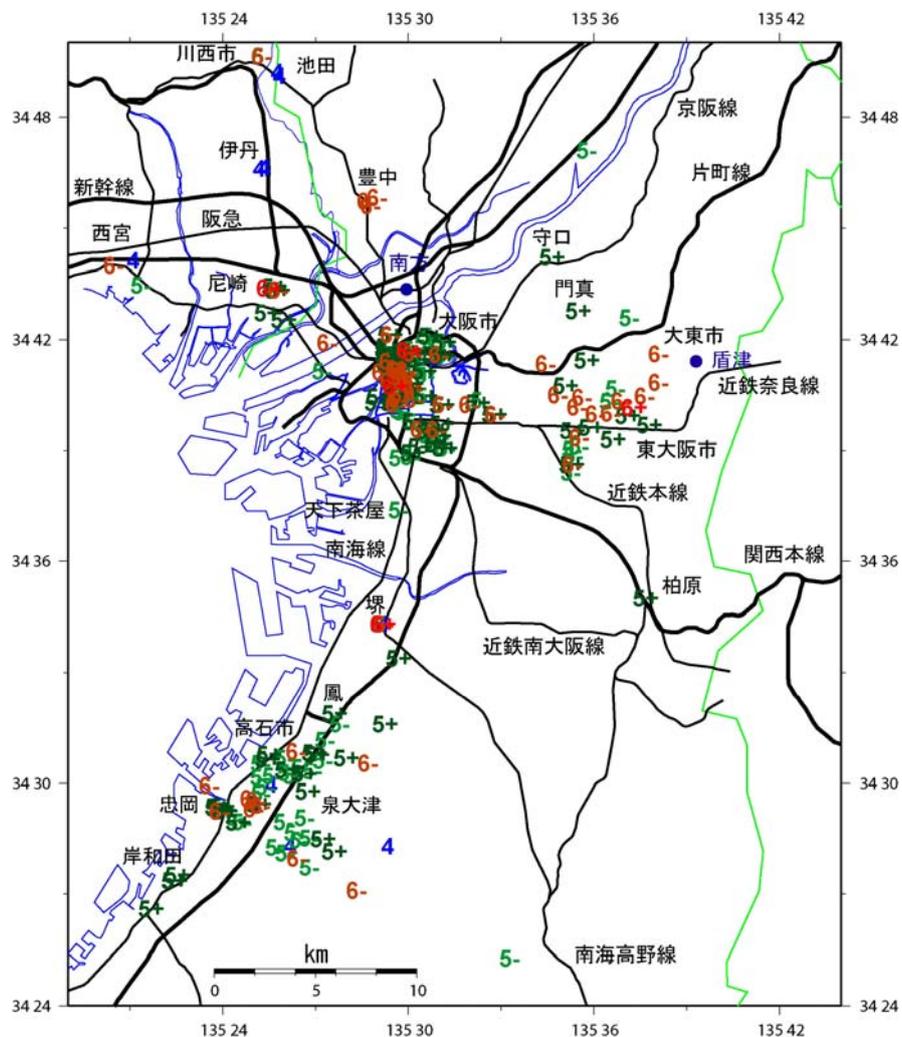


図3 安政南海地震(1854)による大阪府のピンポイント震度分布図

図3は、安政南海地震(1854)による大阪府域のピンポイント震度分布図である。この図には、大阪市の真東、近鉄奈良線沿線の東大阪市、大東市にあたる地域に家屋の全壊を伴う震度6弱から6強の著しい被害域のピークが現れている。その中心は、東大阪市小坂のあたりであって、この付近で震度6強の地点が出現している。この震度分布の「山」の裾を震度5強の範囲としてたどると、北は門真市、守口市から淀川まで、南は近鉄本線弥刀駅付近にまで、東は大東市の生駒山系の麓まで延びていることがわかる。その範囲はまさしく図1に示された、弥生時代(AD200-400年頃)の河内湖の範囲にぴったり一致していることが見て取れる。すなわち、安政南海地震の大阪平野での震度は、弥生時代の地形を忠実に反映しているのである。

次に、宝永地震のさいの大阪府域のピンポイント震度を見ておこう(図4)。

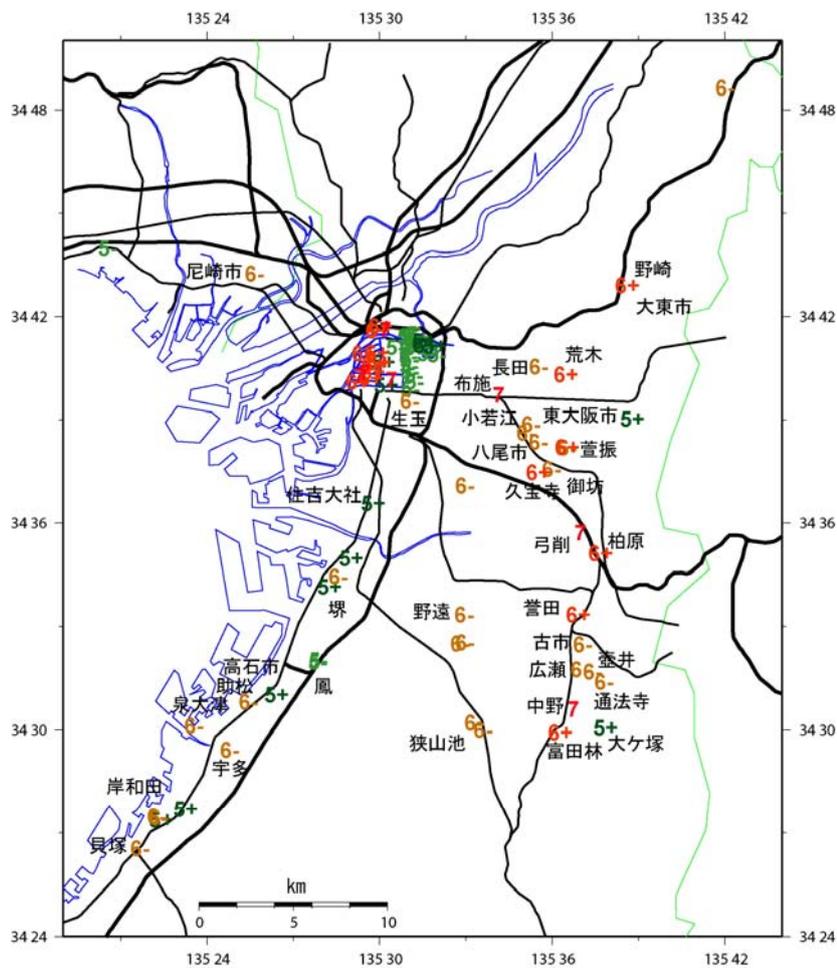


図4 宝永地震(1707)による大阪府域のピンポイント震度分布図

図4から分かるように、震度6弱から7の範囲は、安政南海地震(1854)のさいピークをなしていた近鉄奈良線沿いの東大阪市、大東市の範囲を包み込みながら、さらにこれより南方に広がりを見せて、八尾、藤井寺、富田林のあたりにまで達している。南海高野線の狭山池付近にも震度6弱の範囲が及んでいる。震度の絶対値を見ても、布施、弓削、富田

林市中野などで震度7に達しているのを始め、河内平野全体で震度5強にとどまった所はほとんどなく、震度6弱以上の範囲が全面的に広がっていることが分かる。この図の河内平野部の震度6弱以上の範囲は、図2の縄文時代(BC7000-6000)の内湾域にほぼ一致することが見て取れるであろう。すなわち、宝永地震の震度は、弥生時代より古い、縄文時代の水域を反映している、ということが出来る。さらに、震度の絶対値は、安政南海地震のそれより気象庁震度階にして0.5から1程度大きかったということが出来るであろう。

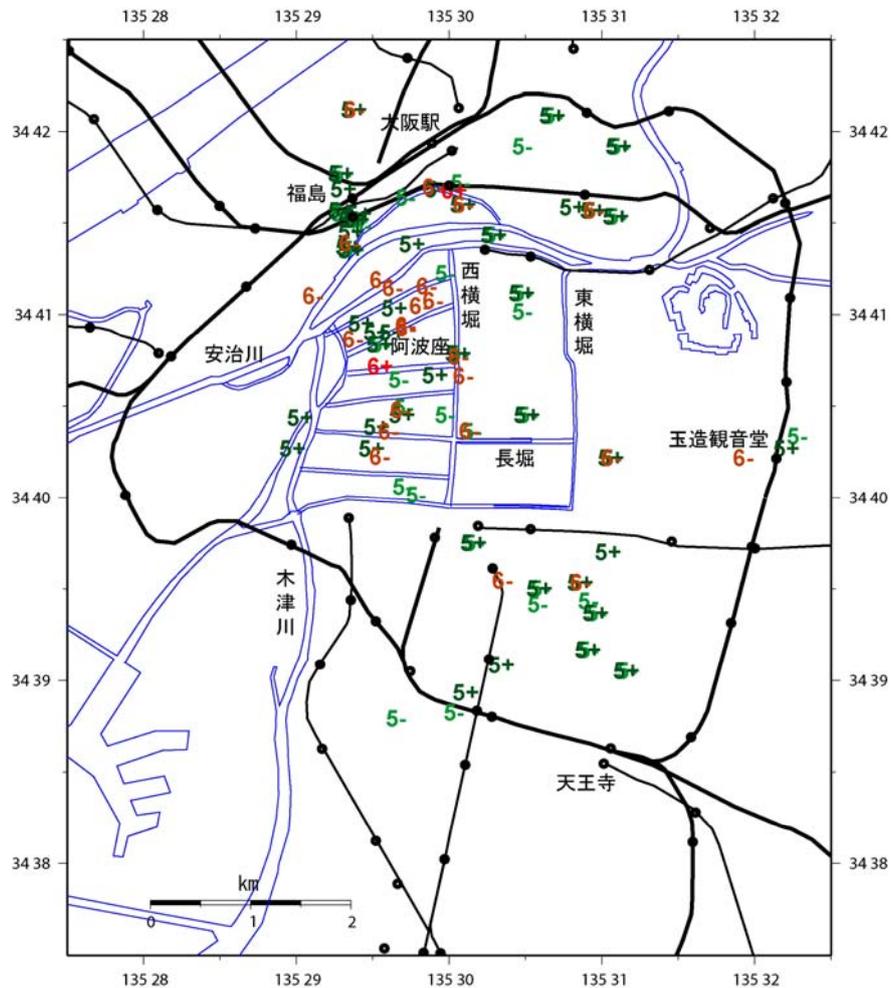


図5 安政南海地震(1854)による大阪市域のピンポイント震度分布

こんどは大阪市域のピンポイント震度分布図を見ておこう。図5は、安政南海地震の大阪市域のピンポイント震度である。現在のJR大阪環状線で囲まれた地域はほぼ、江戸時代の大阪三郷(北組、南組、天満組)の領域に相当する。そのほぼ中心部を南北に西横堀という人工水路が走っているが、この線がほぼ平安時代の海岸線であって、この堀以西の土地は鎌倉時代以後に陸化したものである。さらに西横堀に平行して、その西約1.5キロのところ木津川が流れているが、これが鎌倉・室町時代の海岸線で、江戸時代初期には海岸線はこのさらに西、現在のJR環状線のあたりまで陸化していた。このように大阪の

市街地は、西に行くにつれて陸化した時代が後の年代になって行く。さて、このような状況を念頭に置いて、安政南海地震の大阪市街地でのピンポイント震度図(図5)を見ると、震度6弱以上を記録したのは、ほぼ西横堀以西の土地と、近年まで川中島であった堂島、中ノ島の上にほぼ限定されていることが分かる。すなわち、大阪市域内で、震度6弱以上をしめしたのは、平安時代以後に陸化した地域である、とすることができる。これに対して、平安時代にはすでに陸化していた、西横堀以東の地域と、旧淀川(現在の大川)の北である天満の地域は震度5強にとどまっていた。

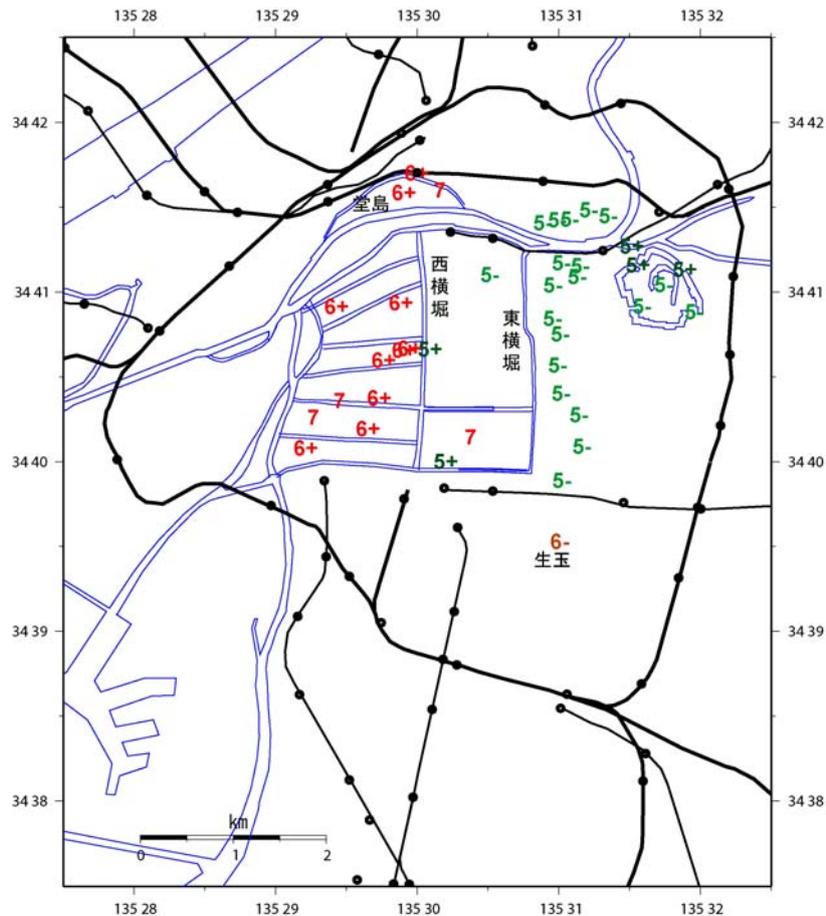


図6 宝永地震(1707)による大阪市域のピンポイント震度

こんどは宝永地震(1707)による大阪市域でのピンポイント震度を見ておこう(図6)。宝永地震においても、震度6強以上の場所は、ほぼ西横堀の線から西と、堂島の地域に限定されていることが、安政南海地震(1854)の場合よりもさらに鮮明に現れていることが読みとれる。しかも、震度6弱の場所はほとんど現れて居らず、ほとんどの場所で震度6強から震度7に達していた。すなわち大阪市域での絶対震度もまた、宝永地震(1707)のほうが安政南海地震(1854)のそれより大きかったのである。これに対して東横堀以東の市域は「ほとんど別条なし」と書かれるほど、震度が小さかった。

(B) 元禄地震(1703)の房総半島におけるピンポイント震度分布の解明

「新収・日本地震史料」の第2巻別巻(1982)¹⁾には、元禄地震の資料が集められている。その中から房総半島の記事を拾い出し、大阪の場合と同様にデータベースを作成して、ピンポイント詳細震度図を描くことを試みた。

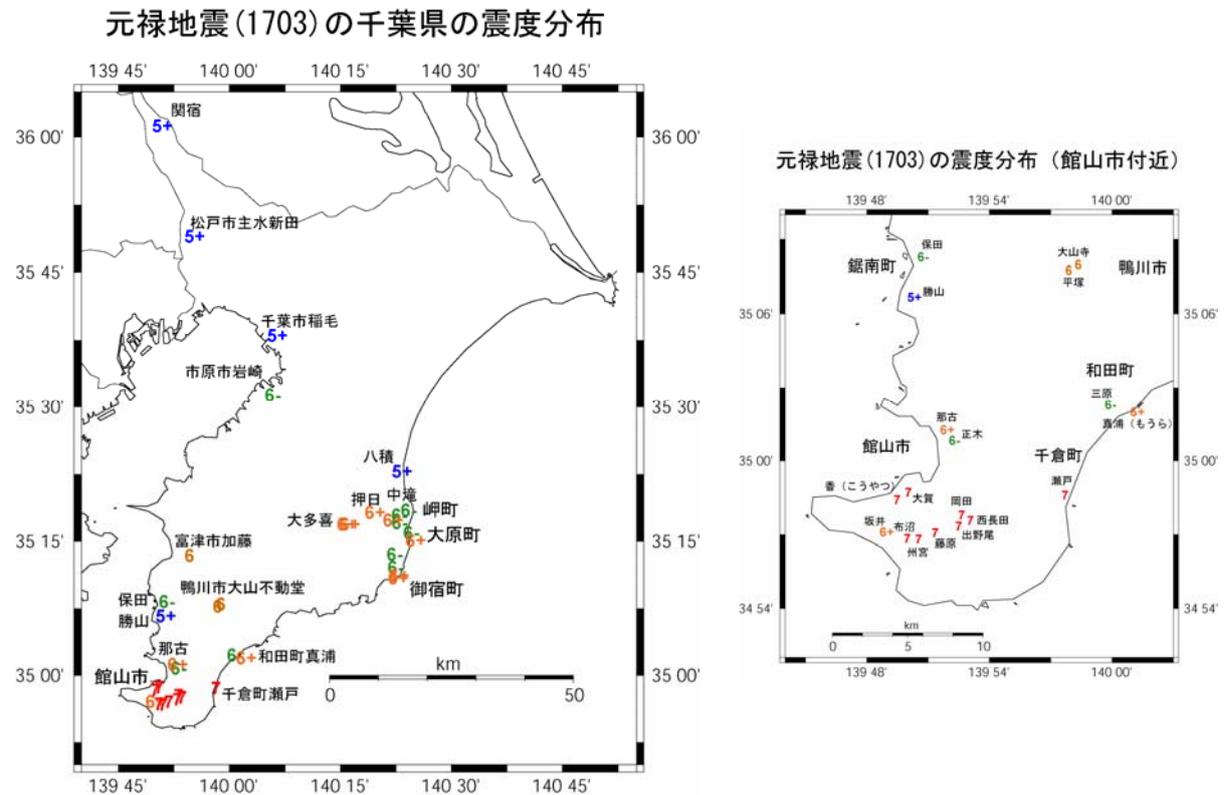


図7. 古文書の直接記載のみによって描いた房総半島のピンポイント震度分布図

図7が古文書の文面に直接表記された被害記事によって得られた房総半島のピンポイント震度分布図である。房総半島先端部に震度7の範囲が現れており、大正関東地震(1923)との共通性が見られる。この地域の集落名を個々に明記した詳細図を図7の右に切り出して表示しておいた。震度7の範囲は現在の館山市域にあたる、館山・千倉町瀬戸を結ぶ線以南の場所に現れる。西長田、出野尾、藤原など地質的に軟弱ではない、台地の上野集落で震度7を記録したことに注目すべきである。

さて、図7には、房総半島先端部と半島の東南にあたる御宿・大原付近の震度は解明されているが、その中間にあたる和田町、円山町、鴨川市などの領域はほとんど空白である。これらの地域は、震度を直接に知る古文書の文面が史料中に現れず、プロットできる点が多かった事による。ところが、本年の研究で、この空白の地域の震度を知る手段があることが判明した。それは江戸幕府の公式記録「楽只堂年録」に記された次のような記載である。

原文「大久保大膳 安房国知行所、村高376.2石余場。潰家283軒、怪我人5人」
この原文には、地点名(村名)が明記されていないため、これまでの研究では使いようがなかった。ところが、「日本歴史地名大系.12,千葉県」(平凡社)⁴⁾の第1130ページに、千

葉県丸山町川谷集落について次の記載がある。

「川谷（かわやつ）村、元和4年(1618)検地によって村高は376石余。寛永10年(1633)年旗本大久保幸信に与えられ、この大久保領は天保14年(1843)まで続く。」

この記載によって、①川谷村が376.2石の村であること、②元禄16年(1703)の支配者が大久保氏であることがわかる。すなわち不明であった原文の村が川谷村であることが判明する。以上によって、上の原文は、当時の川谷村、現在の千葉県安房郡丸山町川谷集落のことが判明し、ここで潰家283軒を出した事が判明した。石高から人口400-500人ほどの集落とみられ、ほぼ全戸倒壊(震度7)と判断される。同様の操作で現在の丸山町・和田町にまたがる12ヶ所の地点で震度7であったことが解明された。

さらに、「楽只堂年録」には、次のような文例があった。

原文「本多修理知行所、安房国安房郡の内、2000石11ヶ村にて、潰家380軒、寺潰3、流家109、流船52、死49人、死牛馬12」

これも、安房国本多領の11個の村での被害合計しか明記されず、その11ヶ村がどこであるかが不明であるため使えないデータとして放置するほかなかった。しかしながら、「日本歴史地名大系12,千葉県」には、江戸時代の安房国安房郡に属した84ヶ村のすべてについて、元禄16年(1703)当時の支配者(幕府・大名・旗本)が書かれている。そのなかから元禄16年(1703)当時本多氏が知行支配する村を抜き出すと、ぴったり11ヶ村が合ったことが判明した。このような記載例は本多氏のほかに、大久保、松平、京極、前田の4氏についても存在し、おのおの支配村の位置を確定することが出来た。これらの例の場合、複数の村の合計家屋倒壊数しか判明しないため、個々に震度を区別して確定することは出来ないが、それら複数の村の合計家屋数の概数は知りうるので、平均的な震度は推定することが出来る。

以上の作業により、房総半島先端部のおよそ80あまりの集落地点について、ピンポイント詳細震度の図を描くことが出来た。

この図で注意すべきは、勝浦市、御宿町、大原町の領域で、震度5強から6に達する大きな震度であったことである。この場所は、大正関東地震(1923)のさいにはそれほど大きな家屋被害はなく、震度はせいぜい5弱程度としか判定されない場所であった。元禄地震は大正関東地震とともに相模トラフのプレート境界面の滑りによって生じたとされ、多くの共通性が指摘されているが、詳細な震度分布図を描いてみると、両者の差もまた歴然と存在したことには、注目すべきである。

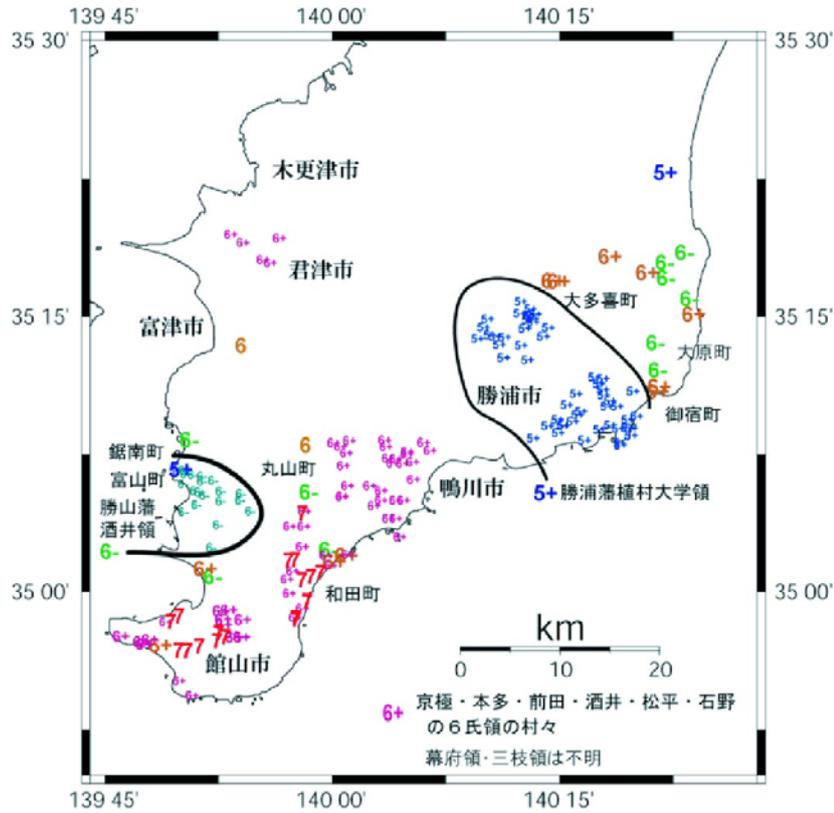


図 8 元禄地震(1703)による房総半島先端部のピンポイント詳細震度分布

(d) 結論ならびに今後の課題

平成 18 年度は、大阪府域での安政南海地震(1854)と宝永地震(1707)、および元禄地震に対する房総半島のピンポイント詳細震度分布を解明した。その結果、大阪では、先史時代から古代にかけての古い時代の水域と震度の大きかった場所とがきれいな対応を持っていることが判明した。また元禄地震に対しては、房総半島先端部で震度 7 の範囲が広がっていたことをはじめとして、大正関東地震と共通性があった事もいっそう鮮明になったが、一方では勝浦市・御宿・大原などの地域で震度の大きな場所があり、これは大正関東地震とは異なる一面を示していることが判明した。

本研究で、古文書記録にもとづくピンポイント詳細震度を描く技術が開発された。多量に集積された古文書をさらに有効に活用する一つの突破口として本研究全体の一翼を担うことが出来たと考えられる。

(e) 引用文献

- 1) 地震研究所：「新収・日本地震史料・第二巻・別巻」, 290pp., 1982.
- 2) 地震研究所：「新収・日本地震史料・第三巻・別巻」, 290pp., 1983.
- 3) 地震研究所：「新収・日本地震史料・第五巻・別巻五」, 2528pp., 1987.
- 4) 平凡社：「千葉県の地名、日本歴史地名大辞典、12」, 1345pp., 1996.

(f) 成果の論文発表・口頭発表など

著者	題名	発表先	発表年月日
都司嘉宣	安政南海地震(1854)、および宝永地震(1707)による大阪府の詳細震度分布	第23回歴史地震研究会	2006年9月17日～19日

(g) 特許出願，ソフトウェア開発，仕様・標準等の策定

1) 特許出願

なし

2) ソフトウェア開発

なし

3) 仕様・標準等の策定

なし

(2-2)震度・史料データと対応する震度を用いた地震動強さの面的分布の予測

境 有紀（筑波大学大学院システム情報工学研究科）

大月俊典（筑波大学大学院システム情報工学研究科）

額 綱 一起（東京大学地震研究所）

(a) 業務の要約

歴史地震資料における震度に対応するように提案した算定法による震度を対象として、地震発生直後に表層地盤の増幅特性を考慮した被害予測が可能である地震被害予測プログラムの開発を行い、実際の被害地震の震度分布や実被害数との対応性について検討した。

このプログラムは、既に関連した強震記録を基に空間補間を行って地震動強さの面的分布を求めて被害を予測するプログラムに、表層地盤の増幅特性を考慮してよりきめ細かい震度分布を求めることができるようにしたものである。また、強震記録に加えて震度情報のみが得られる場合も想定して、これを使用する方法も考案、検討を行う。

(b) 業務の実施方法

まず、地表での震度から工学的基盤面での地震レベル（以下、基盤レベル）を表層地盤の増幅特性を考慮して推定する関係式を導くために、地震レベルによる震度と地盤パラメタの関係式を既に関連した方法¹⁾に倣って求める。そして、増幅特性を考慮する部分を既存のプログラムに組み込む。震度情報の追加の有無との組み合わせで4つの方法を考え、過去に日本で発生した地震について被害予測を行い、震度分布や被害分布、総被害数などで比較して方法の妥当性を検討する。

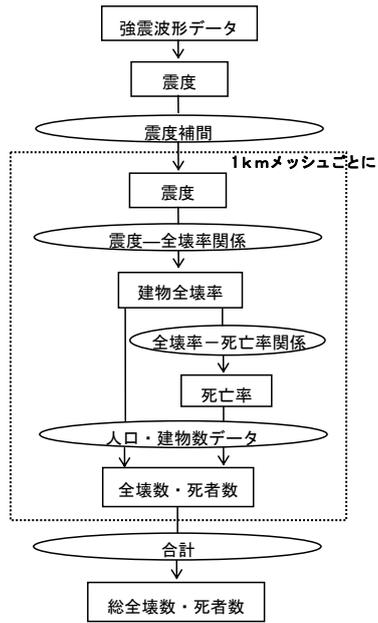
(c) 業務の成果

1) 地震被害予測プログラムの場合分けと手順

地震動強さの面的分布を求める際に防災科学技術研究所の強震ネット（K-NET）、基盤強震観測網（KiK-net）の強震記録に加えて、震度情報を使用するかどうかと、表層地盤による増幅特性の考慮の有無との組み合わせで4つの方法を検討した。その場合分けを表1に示し、各方法のプログラムのフローチャートを図1に示し、説明を記述する。

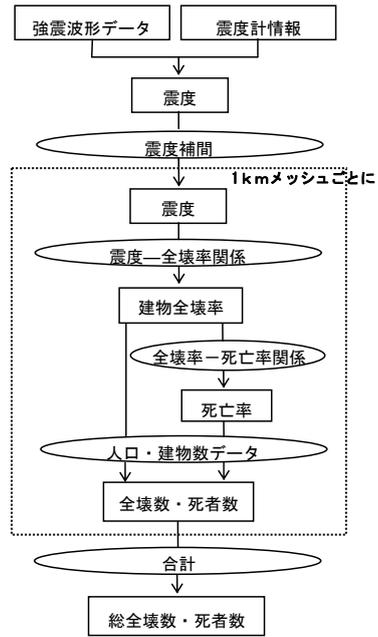
表1 地震動強さの面的分布を求める際の条件による場合分け

	K-NET・KiK-netの強震記録を使用	計測震度4以上を観測した震度計の情報を加える
表層地盤の増幅特性を考慮しない	KKiK	KKiK&震度計
表層地盤の増幅特性を考慮する	KKiK-表層考慮	KKiK&震度計-表層考慮

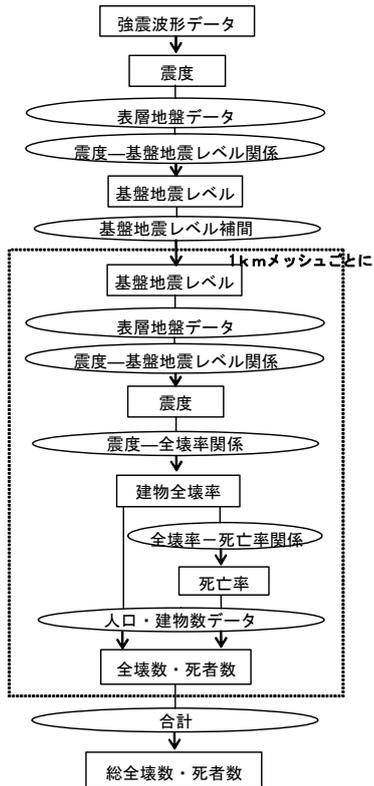


(a) KKiK

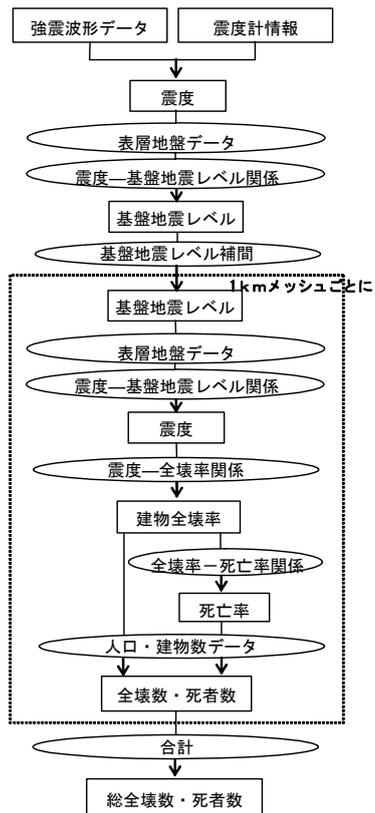
- ①
- ②
- ③
- ④
- ⑤
- ⑥



(b) KKiK & 震度計



(c) KKiK—表層考慮



(d) KKiK & 震度計—表層考慮

図1 各方法のプログラムフローチャート

「KKiK」のプログラムの手順について説明する。まず①強震波形データから震度を計算し、②補間を行って1km四方メッシュごとの震度を決定する。そして、③震度—全壊率関係を介して死亡率を求め、④全壊率—死亡率関係を介して死亡率を算出した後、⑤メッシュごとの人口・建物数データとあわせてメッシュごとの被害数を求める。そして最後に⑥全メッシュの被害数を合計し、総被害数を求める。予測プログラムで求める建物被害は人命の損失につながる全壊・大破（以下、全壊）、被害率は全壊・大破の割合（以下、全壊率）とした。震度計の情報を追加する「KKiK&震度計」「KKiK&震度計—表層考慮」の方法では手順①の際にK-NET、KiK-netの強震記録から震度を求めるのに加えて、震度計情報を使用する。また、「KKiK—表層考慮」「KKiK&震度計—表層考慮」の方法では、手順②の際に表層地盤情報から求めた震度—基盤地震レベル関係を用いて面的補間前に震度から基盤地震レベル、補間後に基盤地震レベルから震度に変換して表層地盤の増幅特性を考慮する。これらについては次章で詳しく説明する。

2) 各手順の説明

a) 震度の算定

震度は、歴史地震資料における震度と対応するように、強震波形から1-2秒震度²⁾を求めた。1-2秒震度とは、建物の塑性化による周期の伸びを考慮した等価周期に基づいた指標であり式(1)で与えられる。

$$I_{1-2}=2.171*\log(V_{1-2})+1.002 \quad (1)$$

ここで、 I_{1-2} : 1-2秒震度、 V_{1-2} : 1~2秒の平均弾性速度応答（減衰定数5%、水平2成分ベクトル和、cm/s）である。この1-2秒震度は1995年兵庫県南部地震などの過去に日本で発生した地震の強震記録と被害データ（表2）により大きな建物被害と相関が高いことが示されている²⁾。また、比較のため計測震度による被害予測も行う。

「KKiK&震度計」「KKiK&震度計—表層考慮」の方法では、震度計情報を加えるが、1-2秒震度については、各々の震度計のスペクトル形状が最も近い場所にあるK-NET、K-net強震観測点のそれと同じであると仮定して求める。ここで、震度計の計測震度情報は「4」「5強」などの離散値であるため、表3に従って換算を行うこととする。また、用いる震度計情報は計測震度が4以上の震度計のものとする。

表 2 用いた強震記録と周辺の建物被害率²⁾

発生年	地震名	地点	I ₁	I ₁₋₂	d(%)	s軸(d)
1995	兵庫県南部	葦合	6.49*	6.39	15.3	-1.025
1995	兵庫県南部	JR鷹取	6.48*	6.63	34.9	-0.389
1995	兵庫県南部	神戸JMA	6.43	6.09	2.5	-1.961
1995	兵庫県南部	JR宝塚	6.15	5.92	6.2	-1.539
1995	兵庫県南部	本山第一小	6.12	5.73	5.3	-1.617
2000	鳥取県西部	境港測候所	6.01	5.92	1.4	-2.198
1995	兵庫県南部	関電総合技研	5.95	5.54	0.7	-2.458
1995	兵庫県南部	NTT神戸	5.83	5.94	6.1	-1.547
1994	三陸はるか沖	八戸市庁舎	5.82	5.37	3.1	-1.867
1995	兵庫県南部	尼崎竹谷小	5.70	5.57	1.2	-2.258
1995	兵庫県南部	尼崎高架橋	5.69	5.84	2.2	-2.015
1995	兵庫県南部	尼崎港	5.74	5.70	0.0	
1995	兵庫県南部	六甲アイランド	5.70	5.72	0.0	
1995	兵庫県南部	JR新大阪	5.42	5.01	0.0	
1995	兵庫県南部	大阪JMA	4.54	4.49	0.0	
2000	鳥取県西部	K-NET米子	5.82	5.76	0.0	
1993	釧路沖	釧路JMA	5.95*	5.35	0.0	
1993	北海道南西沖余震	乙部小	6.15	4.93	0.0	
2001	芸予	K-NET大野	5.63	4.82	0.0	
2001	芸予	K-NET東予	5.57	4.74	0.0	
2001	芸予	K-NET三原	4.98	3.92	0.0	
1997	鹿児島県北西部3/26	K-NET宮之城	5.53	4.72	0.0	
1997	鹿児島県北西部5/13	K-NET宮之城	5.92	4.94	0.0	

I₁: 現行の計測震度 (*がついているものは水平2成分による値)
 I₁₋₂: 1-2秒震度, d: 観測地点周辺における大破・全壊以上の建物の割合

表 3 計測震度換算表

発表計測震度	換算計測震度
7	7.00
6強	6.25
6弱	5.75
5強	5.25
5弱	4.75
4	4.00

b) 震度—基盤地震レベル関係および表層地盤データ

「KKiK—表層考慮」「KKiK&震度計—表層考慮」で用いる「震度—基盤地震レベル関係」の決定には、各震度に対する表層地盤の増幅特性を評価する簡便式が必要である。この簡便式を参考文献 1) に倣って作成した。参考文献 1) で用いた土の非線形特性を表すモデルを最新の研究成果³⁾のものに置き換えて等価線形地震応答解析⁴⁾を行い、得られた地表での加速度時刻歴から求めた震度に、簡便式で求まる震度が整合することを目標とした。具体的な手順を以下に示す。

① 改正建築基準法の告示で規定された解放工学的基盤のスペクトル（以下、告示スペクトル）にフィットするように解放工学的基盤波を位相ランダムで 10 波作成する。解放工学的基盤でのレベルは、稀に発生する地震動（以下、中地震動）と極めて稀に発生する地震動（以下、大地震動）の 2 レベルを対象とする。大地震の波形の例を図 2 に、基盤動の弾

性加速度応答スペクトルを図 3 に示す。

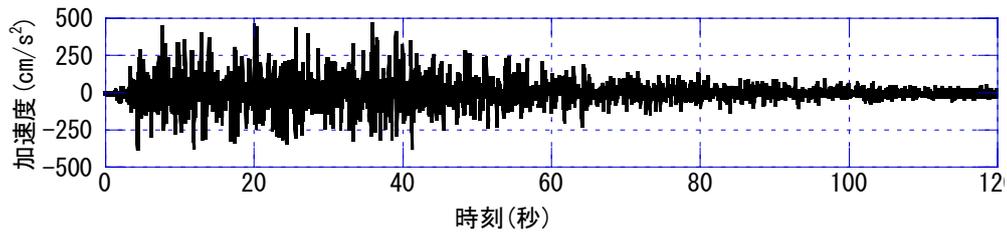


図 2 解放工学的基盤の波形例（大地震動）

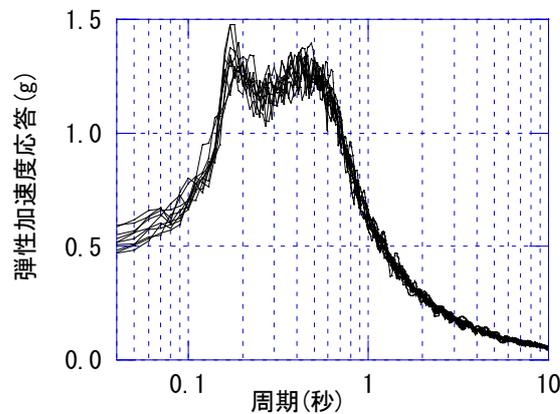


図 3 告示の解放工学的基盤スペクトルにこれにフィットするように作成した基盤動の弾性加速度応答スペクトル（減衰定数 5%、大地震動）

② 式(2)(3)に示すインピーダンス比 α 、等価 1 次周期 T_1 (秒)で表現するパラメタを用いて表層地盤の特性を表現する。表層地盤の縮約は、表層 30m を一層（ただし工学的基盤まで 30m 以下の場合は表層全体とした）に置換した。表層 30m を一層としたのは、表層地盤の増幅特性が、より表層に近い部分の影響が大きいことおよび、表層地盤の増幅率を推定するのに表層 30m の平均せん断波速度が有効であることが指摘されているため¹⁾である。

$$\alpha = \rho_e V_{se} / \rho_b V_{sb} \quad (2)$$

$$T_1 = 4H / V_{se} \quad (3)$$

$$V_{se} = (\sum V_{si} d_i) / H \quad (4)$$

$$\rho_e = (\sum \rho_i d_i) / H \quad (5)$$

ここで、 ρ_i : 表層地盤各層の単位体積重量(tf/m^3)、 ρ_b : 工学的基盤の単位体積重量(tf/m^3)、 V_{sb} : 工学的地盤のせん断波速度(m/s)、 H : 表層地盤全体の厚さ(m)、 V_{si} : 表層地盤各層のせん断波速度(m/s)、 d_i : 表層地盤の各層の層厚(m)である。

③ 地震応答解析で使用する土の非線形モデルの設定を行う。参考文献 1)では、土の非線

形モデルに大崎・原モデル（以下、告示モデル）を使用しているが、せん断歪に対する減衰を過大に評価していることが指摘されていた。そこで、古山田らにより提案されたモデル³⁾（以下、古山田モデル）を用いて等価線形地震応答解析⁴⁾を行った。告示モデル、古山田モデルそれぞれのせん断歪と減衰定数の関係を図4に、せん断歪とせん断剛性比の関係を図5に示す。

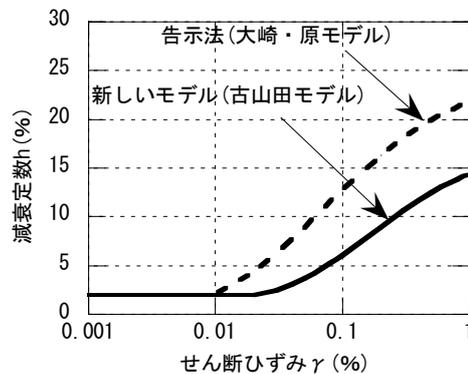


図4 せん断ひずみと減衰定数の関係³⁾

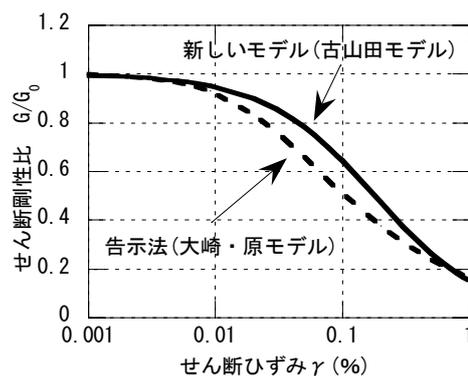


図5 せん断ひずみとせん断剛性の関係³⁾

④ 日本全国の様々な特徴をもつ表層地盤の一次元表層地盤モデルに対して地震応答解析を行い、それぞれの表層地盤での地表加速度時刻歴を求める。基盤動が10波に対する各一次元表層地盤モデルでの地表加速度時刻歴10波から1・2秒震度、計測震度を算出して平均を求める。

⑤ 1・2震度 I_{1-2} 、計測震度 I_j を α 、 T_1 の回帰式として表現した。1・2秒震度について得られた回帰式を式(6)、(7)に示し、回帰式と地震応答解析から求めた値との対応を大地震動、中地震動と図6、7に示す。同様に計測震度についても、式(8)(9)、図8、9に示す。

$$\text{大地震動} \quad I_{1-2} = -0.285\alpha + 0.850T_1 + 5.300 \quad (6)$$

$$\text{中地震動} \quad I_{1-2} = -0.294\alpha + 0.994T_1 + 3.750 \quad (7)$$

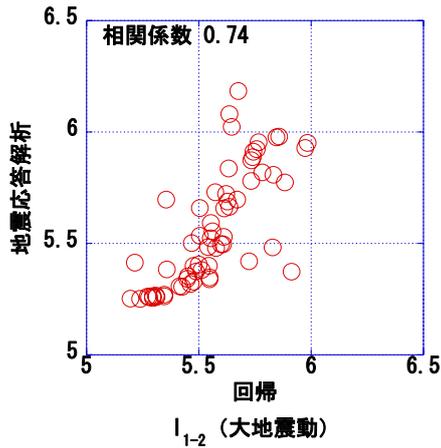


図6 1-2秒震度の地震応答解析と回帰解析結果の対応(大地震動)

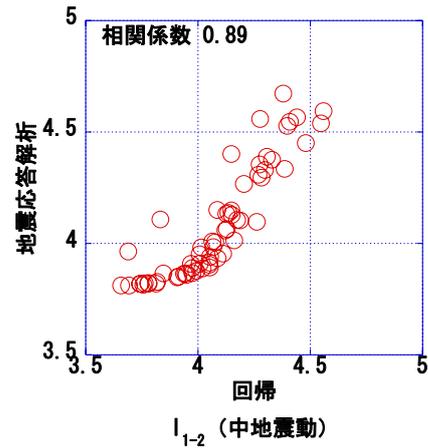


図7 1-2秒震度の地震応答解析と回帰解析結果の対応(中地震動)

$$\text{大地震動} \quad I_j = -0.493 \alpha - 0.132T_1 + 6.080 \quad (8)$$

$$\text{中地震動} \quad I_j = -0.578 \alpha + 0.511T_1 + 4.515 \quad (9)$$

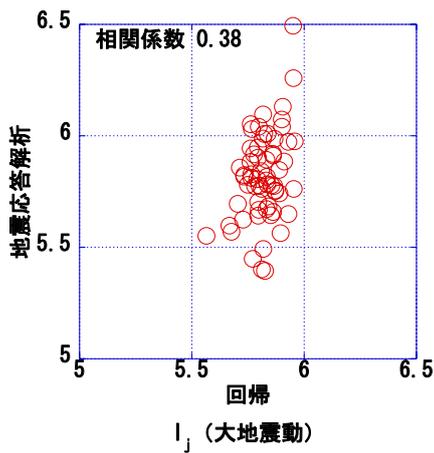


図8 計測震度の地震応答解析と回帰解析結果の対応(大地震動)

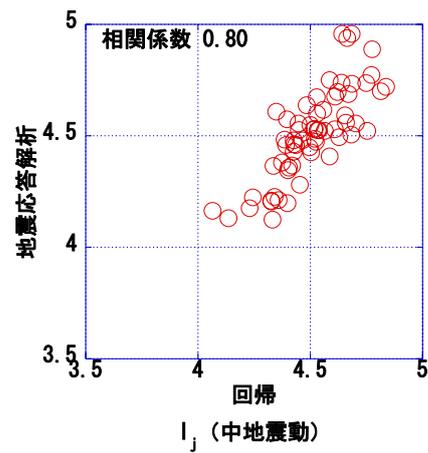


図9 計測震度の地震応答解析と回帰解析結果の対応(中地震動)

簡便式と1kmメッシュ表層地盤データを用いることで、せん断波速度から求まるパラメータ α 、 T_1 から、各メッシュでの大地震動、中地震動に対する震度が求まる。告示スペクトル⁵⁾では大地震動、中地震動の地動最大加速度を320、62(cm/s²)としていることから、大地震動をレベル5、中地震動をレベル1として線形関係であると仮定することで「震度—基盤地震レベル関係」を決定し(図10)、表層の震度から基盤レベル、またその逆を求めることができる。なお、表層地盤データとして用いる表層30mのせん断波速度 V_{se} は、防災化学技術研究所による地震ハザードステーションJ-SHIS⁶⁾(以下、J-SHIS)のデータを利用した。これは、国土数値情報の地形分類と地盤の平均S波速度の関係から、日本全国を1kmのメッシュで区分し、各メッシュに対して表層30mの平均せん断波速度を求めたもの⁷⁾である。

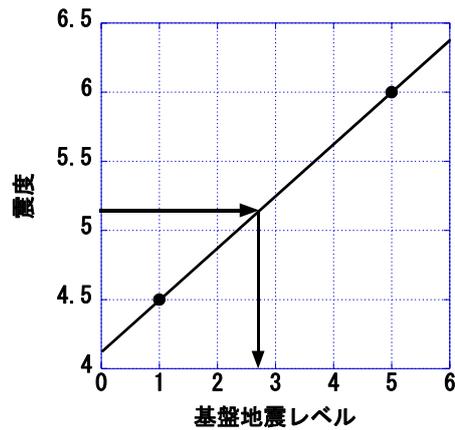


図 10 基盤レベル-震度関係例

c) 震度・基盤地震レベル補間方法

強震観測点や震度計は一定間隔で存在するものではないので、強震データなどから求めた震度・基盤地震レベルを平面補間し、メッシュデータにする必要がある。メッシュ間隔は人口・建物データのメッシュ間隔と対応するように 1 km 四方とした。補間方法として本研究では三角線形補間法⁸⁾を用いる。これは、三角形に囲まれた任意点を(図 11)近似するものであり、連立方程式を使用して解く方法である。一つの要素(三角形)の頂点を図のように反時計回りに接点番号を i, j, k と置き、震度を u_i, u_j, u_k とする。要素の一次式で近似できるとすれば、式(10)で表すことができ、これを 3 つの要素で連立方程式にすると式(11)になる。この連立方程式から式(10)の係数が求まり、任意点での震度・基盤地震レベルを求めてメッシュごとの値が求まる。

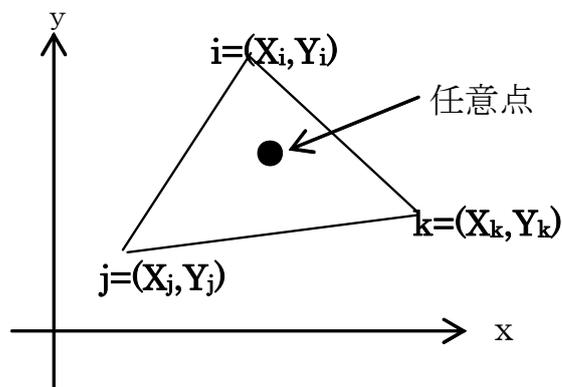


図 11 三角線形補間法の概念図

$$u(x, y) = \alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 y \quad (10)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} u_i = \alpha_0 + \alpha_1 x_i + \alpha_2 y_i \\ u_j = \alpha_0 + \alpha_1 x_j + \alpha_2 y_j \\ u_k = \alpha_0 + \alpha_1 x_k + \alpha_2 y_k \end{array} \right. \quad (11)$$

d) 震度—全壊率関係

表 2 の 23 記録の中から全壊率 0%を除いた 11 点のデータを基に震度—全壊率関係（被害関数）を求めた。被害関数は、計測震度は地動最大加速度、震度は 1-2 秒平均速度応答に対して対数の関係があるので標準正規分布の累積確率（以下、正規分布）を用いた。全壊率 0%の点を除いたのは正規分布には理論上全壊率 0%の点が存在しないからである。求めた各震度と全壊率の関係を図 12 に、1-2 秒震度と全壊率の関係式を式(12)、計測震度と全壊率の関係を式(13)に示す。

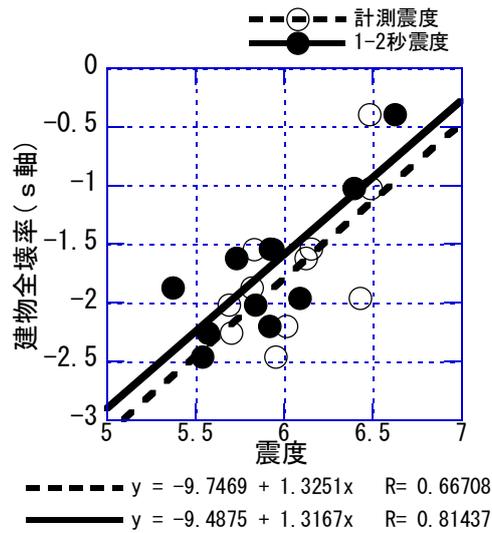


図 12 震度と全壊率の関係

$$D_{1-2} = \Phi(-9.488 + 7.317 \cdot I_{1-2}) \quad (12)$$

$$D_j = \Phi(-9.747 + 1.325 \cdot I_j) \quad (13)$$

ここで、 D_{1-2} : 1-2 秒震度による全壊率(%), D_j : 計測震度による全壊率(%), I_{1-2} : 1-2 秒震度, I_j : 計測震度, $\Phi(x)$: 標準正規分布の累積確率である。

なお、震度 5 強以下 (5.5 未満) では大きな建物被害は発生しないと考え、全壊率は 0%とした。求めた被害関数と表 2 の 23 記録の関係を図 13 に示す。計測震度は実際の被害と相関が低いのに対して 1-2 秒震度は被害とよく対応していることがわかる。

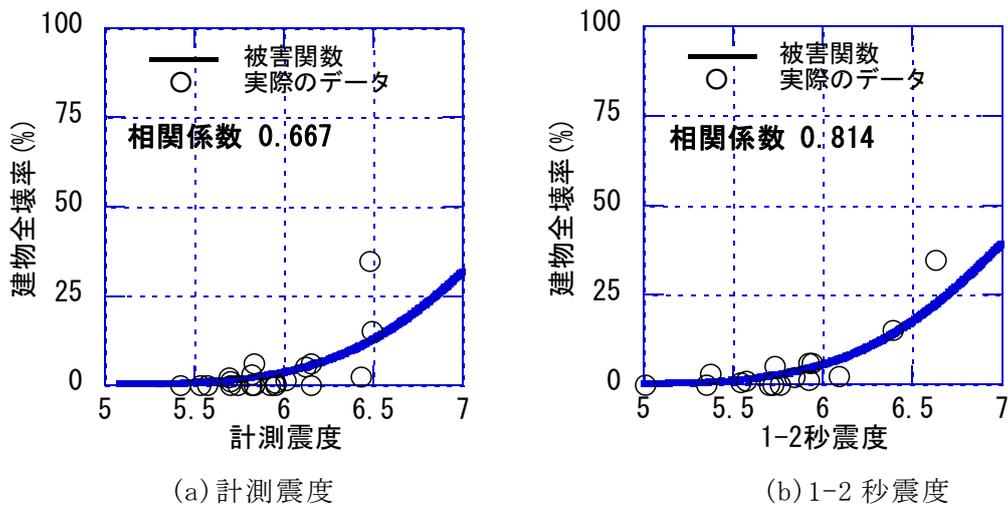


図 13 被害関数と実際のデータとの対応

e) 全壊率—死亡率関係

死亡率は建物全壊率と関係があると考え、建物全壊率と死亡率の関係を多田による研究⁹⁾より決定した(式 14)。建物全壊率—死亡率関係を図 14 に示す。

$$F=0.00107 \cdot D^2 \quad (14)$$

ここで F:死亡率(%）、D:建物全壊率(%)である。

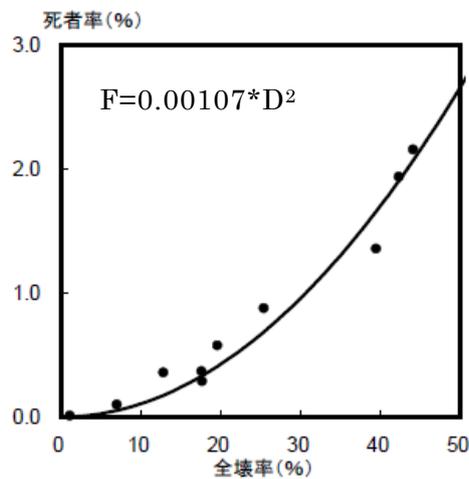


図 14 建物全壊率と死亡率の関係⁹⁾

f) 人口・建物データ

人口・建物データとしては、「平成 12 年国勢調査 地域メッシュ統計第 1 次地域区画別人口及び一般世帯数 (財団法人統計情報研究開発センター)」の 3 次メッシュデータ (約 1km 四方)¹⁰⁾を使用した。人口はそのまま使用し、建物棟数は世帯数と同じであると仮定した。メッシュごとに求めた全壊率・死亡率を建物棟数・人口とかけあわせて被害数を算

出し、全メッシュの被害を合計して被害予測値とする。

3) 過去の地震での被害予測

開発したプログラムを使用して過去に起こった地震で 1-2 秒震度、計測震度を用いた場合の被害予測を各方法で行い、実際の震度分布や被害分布、総被害数と比較して、各方法の妥当性を検証する。

a) 対象地震

対象としたのは、1995 年兵庫県南部地震、2000 年鳥取県西部地震、2001 年芸予地震、2003 年三陸南地震、2003 年宮城県北部地震、2003 年十勝沖地震、2004 年新潟県中越地震の 7 つとし、各地震データを表 4 に示す。ただし、兵庫県南部地震は K-NET、KiK-net が設置される前に発生したものであるため公開されている強震波形データを使用し、震度情報としては、現在設置されている震度計の中で藤本らによる推定震度分布¹¹⁾の震度 6 弱以上の範囲内にあるものを対象とした。他の地震では K-NET、KiK-net の地震データを使用した。

表 4 被害予測対象地震データ

地震名	発生時刻	震央北緯	震央東経	震源深さ	マグニチュード
兵庫県南部地震	1995/01/17-05:46	34.60N	135.33E	16km	M7.3
鳥取県西部地震	2000/10/06-13:30	35.27N	133.35E	11km	M7.3
芸予地震	2001/08/24-15:24	34.12N	132.71E	51km	M6.7
三陸南地震	2003/05/26-18:24	38.80N	141.68E	71km	M7.1
宮城県北部地震	2003/07/26-07:13	38.40N	141.17E	12km	M6.4
十勝沖地震	2003/09/26-04:50	41.78N	144.08E	42km	M8.0
新潟県中越地震	2004/10/23-17:56	37.30N	138.80E	20km	M6.8

b) 各地震での被害予測結果

各方法による震度分布を地震ごとに示す。また、各市町村の全壊率から求めた推定震度分布と V_{se} 分布、市町村位置図、予測被害数と実被害数についても示す。推定震度分布は消防庁が発表している市町村による全壊数を世帯数で除して参考文献 11) の震度—全壊率関係表(表 5)を用いて震度に換算する。その際、自治体による全壊率は、建築研究所データにおける低層・独立住宅全壊率の半分である¹²⁾ことから、全壊数を半分にしている。実全壊数についても同様に半数としている。また、本研究では建物の大きな被害を予測することを目的としているので、震度 6 弱以上を対象とする。地図上の黒丸は K-NET、KiK-net の強震観測点、二重丸は震度計の位置を示している。

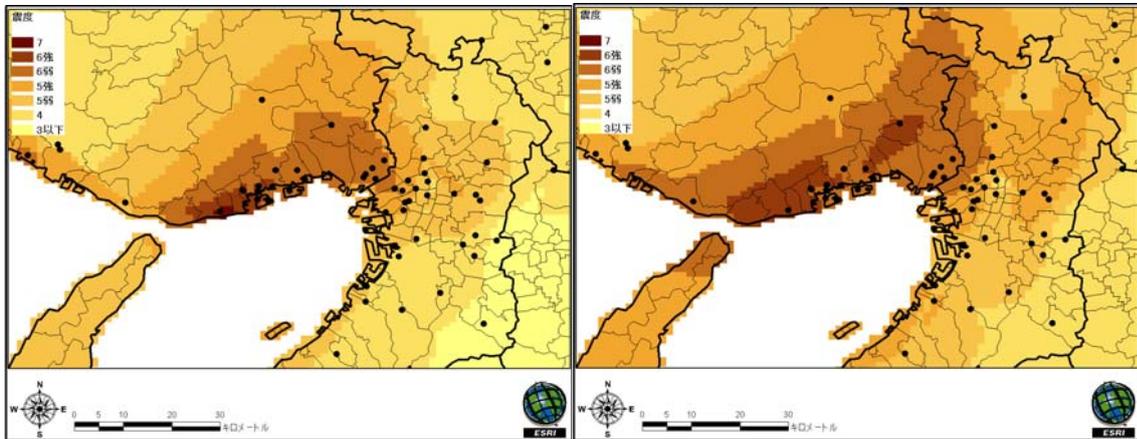
表 5 震度—全壊率関係表¹¹⁾

震度	6弱	6強	7
全壊率	1~8%	8~30%	30%~

i) 1995 年兵庫県南部地震

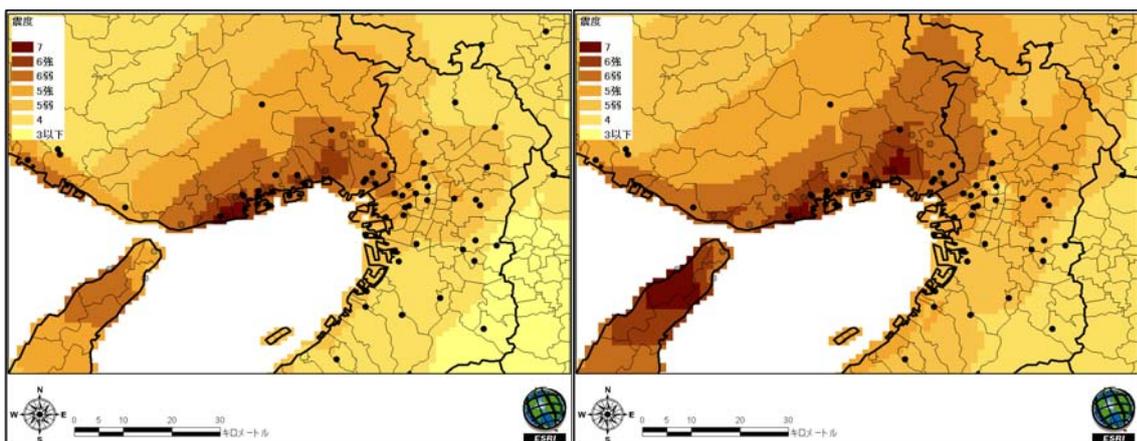
各方法による震度分布を図 15 に、推定震度分布を図 16 に、 V_{se} 分布を図 17 に、市町村位置図を図 18 に示し、予測被害数と実被害数を表 6 に示す。この地震に関しては、市町

村よりも細かい推定震度分布として、参考文献 11)の被害から推定した推定震度分布を使用した。実被害数としては参考文献 13)を使用した。死者数に関しては、死者数の 88%が建物の倒壊による圧死であり 14)、本研究では建物倒壊による被害を対象としているので実死者数を 5147 人とした。



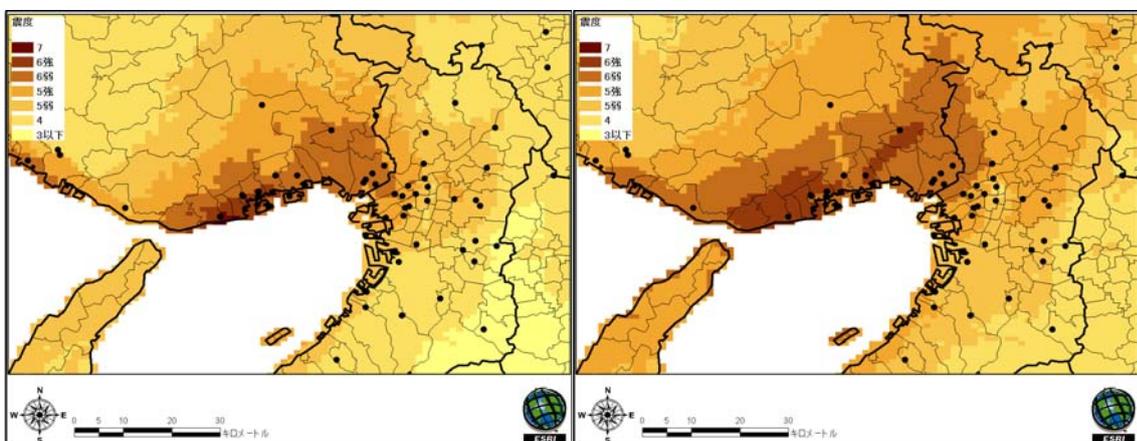
(a)KKiK(1-2 秒震度)

(b)KKiK(計測震度)



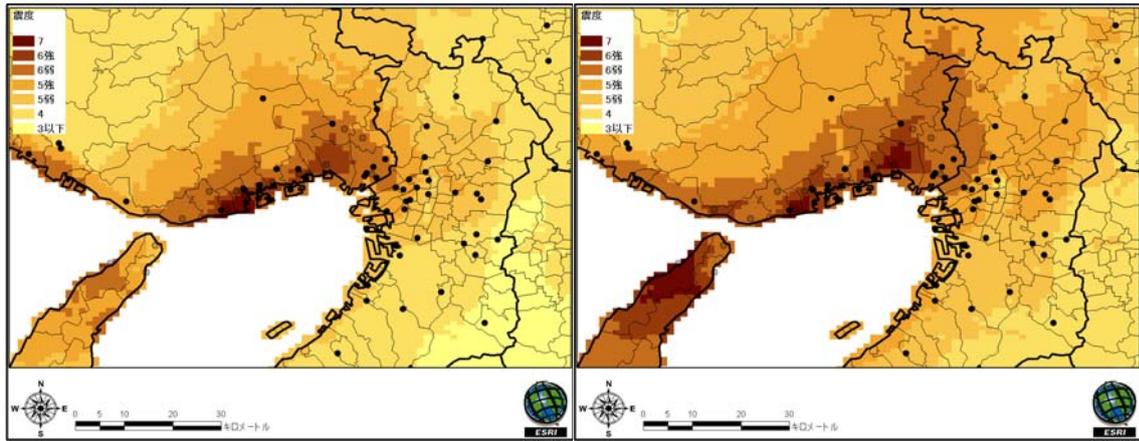
(c)KKiK&震度計(1-2 秒震度)

(d)KKiK&震度計(計測震度)



(e)KKiK-表層考慮(1-2 秒震度)

(f)KKiK-表層考慮(計測震度)



(g) KKiK&震度計-表層考慮(1-2秒震度)

(h) KKiK&震度計-表層考慮(計測震度)

図15 各方法による震度分布

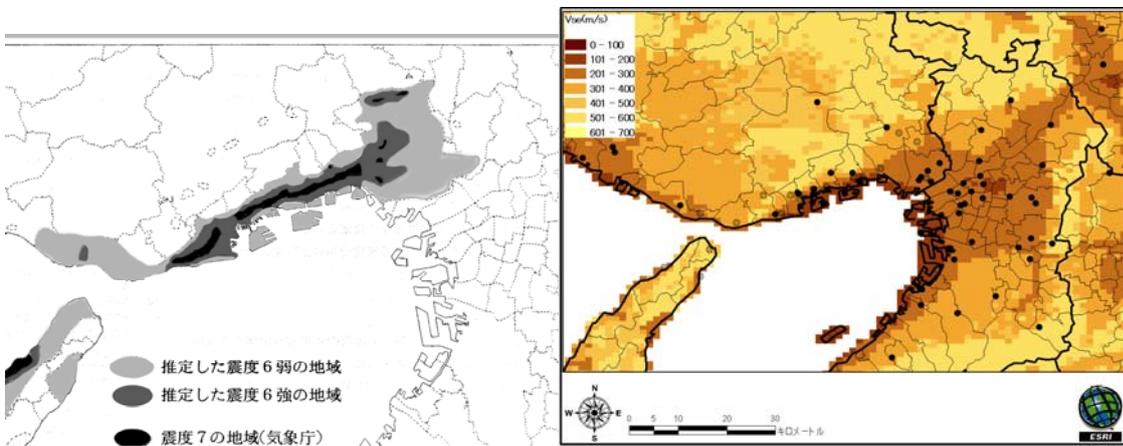


図16 実被害分布

図17 V_{se} 分布

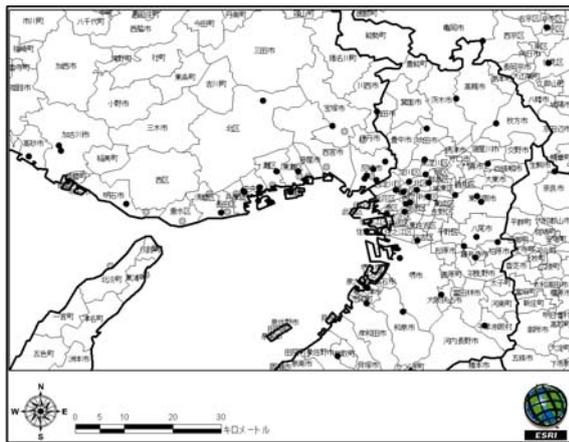


図18 市町村位置図

表6 被害予測結果と実被害

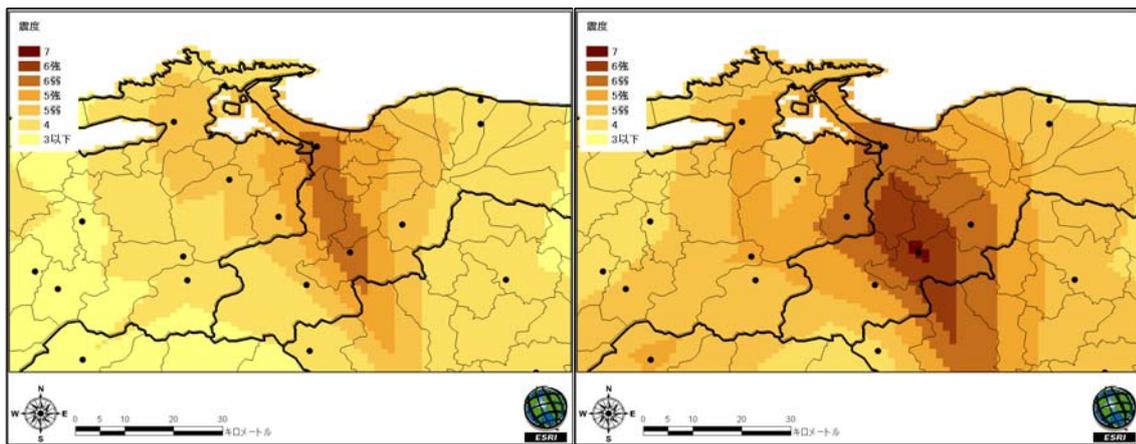
方法 指標	KKiK		KKiK&震度計		KKiK-表層考慮		KKiK&震度計-表層考慮		実被害
	I_{1-2}	I_j	I_{1-2}	I_j	I_{1-2}	I_j	I_{1-2}	I_j	
全壊数(棟)	41570	52143	60675	76735	38991	51502	63991	76729	52453
死者数(人)	729	663	1896	2015	651	644	2154	2014	5147

以下のことがわかる。

- いずれの場合も、震度計情報を用いた方法でも震度7の震災の帯は再現できていないが、震度6強の範囲は再現できている。
- 総被害数で比較すると、実際の全壊数の多さを予測できているが、死者数については実被害よりも少ない値となった。
- 推定被害数が実被害より小さくなったのは、南北にわずか1kmの震度7の「震災の帯」が再現できなかったためと考えられる。これは、震災の帯の発現要因が表層地盤の増幅特性ではなく震源特性によること、強震観測点、震度計が震災の帯を再現するには密度が足りなかったためと考えられる。

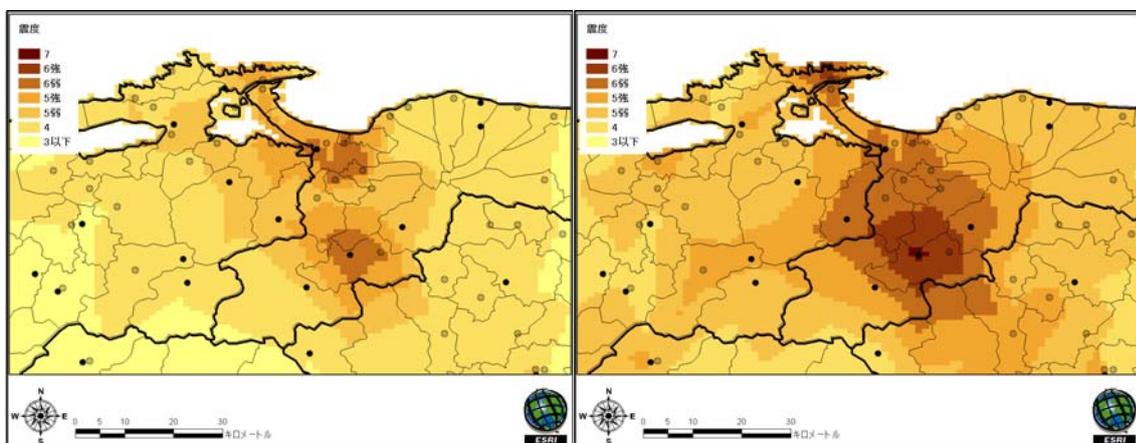
ii) 2000年鳥取県西部地震

各方法による震度分布を図19に、推定震度分布を図20に、 V_{se} 分布を図21に、市町村位置図を図22に示し、予測被害数と実被害数を表7に示す。実被害数については参考文献15)16)のデータを用いた。



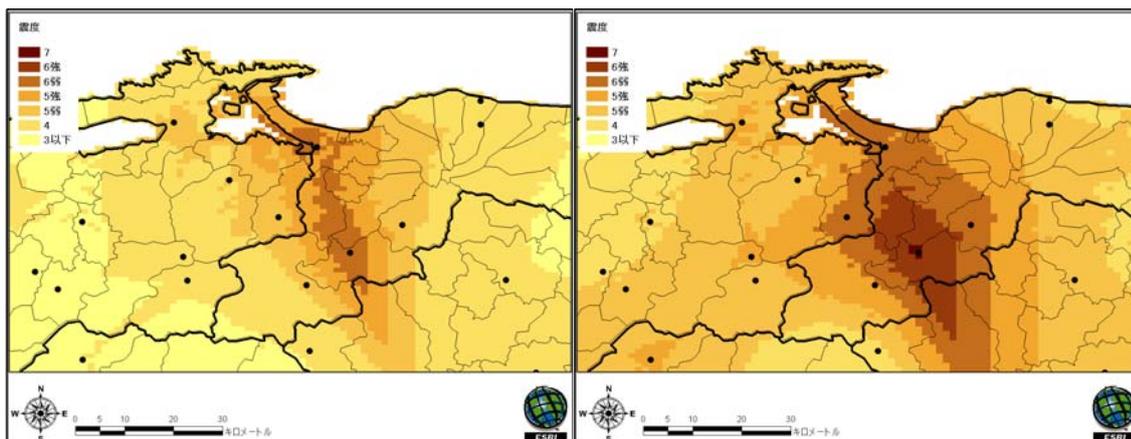
(a) KKiK(1-2秒震度)

(b) KKiK(計測震度)



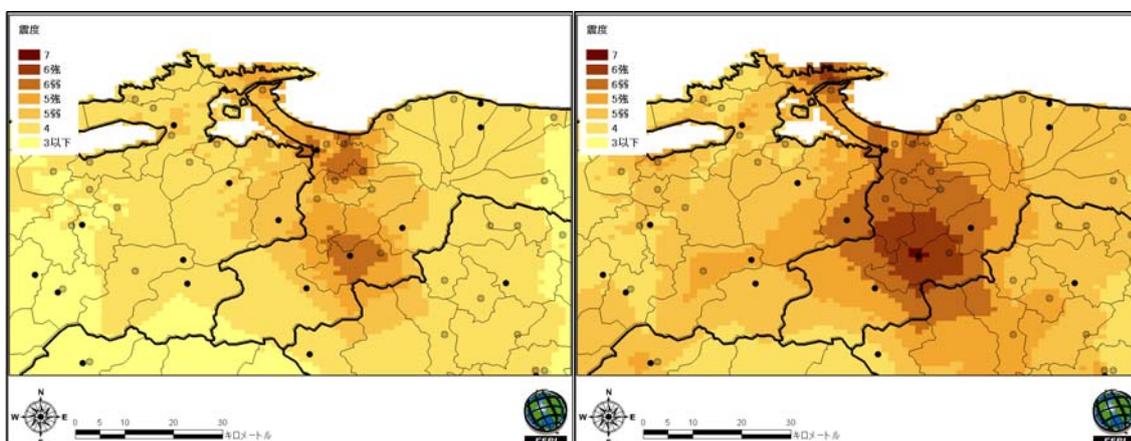
(c) KKiK&震度計(1-2秒震度)

(d) KKiK&震度計(計測震度)



(e) KikK-表層考慮(1-2秒震度)

(f) KikK-表層考慮(計測震度)



(g) KikK&震度計-表層考慮(1-2秒震度)

(h) KikK&震度計-表層考慮(計測震度)

図19 各方法による震度分布

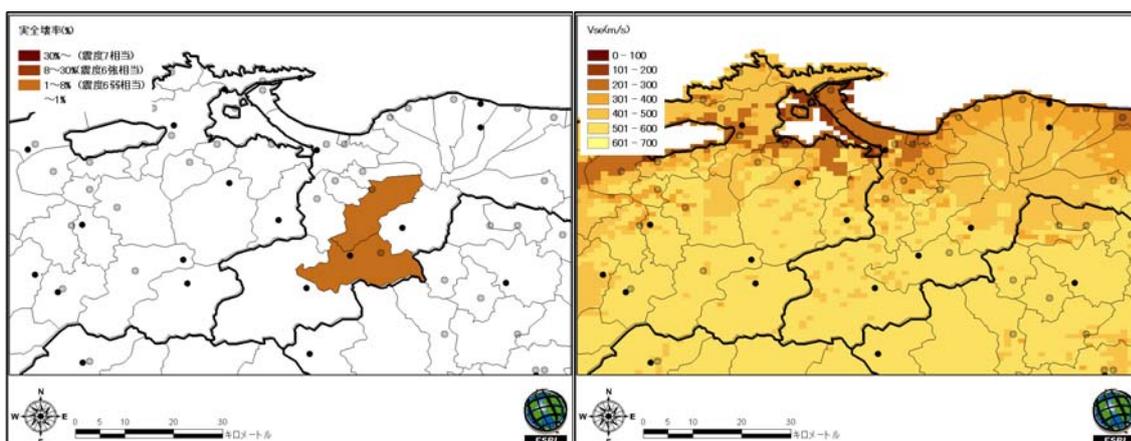


図20 実被害分布

図21 V_{se} 分布

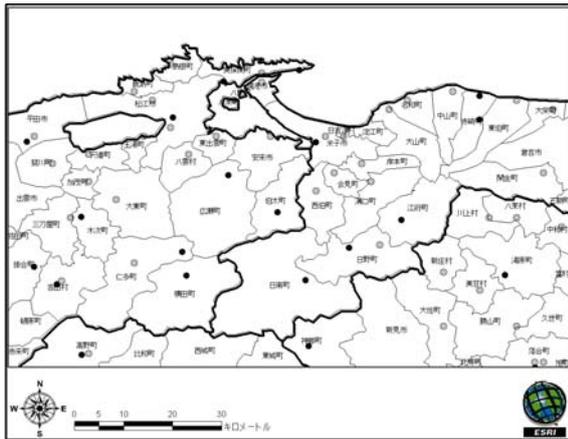


図 22 市町村位置図

表 7 被害予測結果と実被害

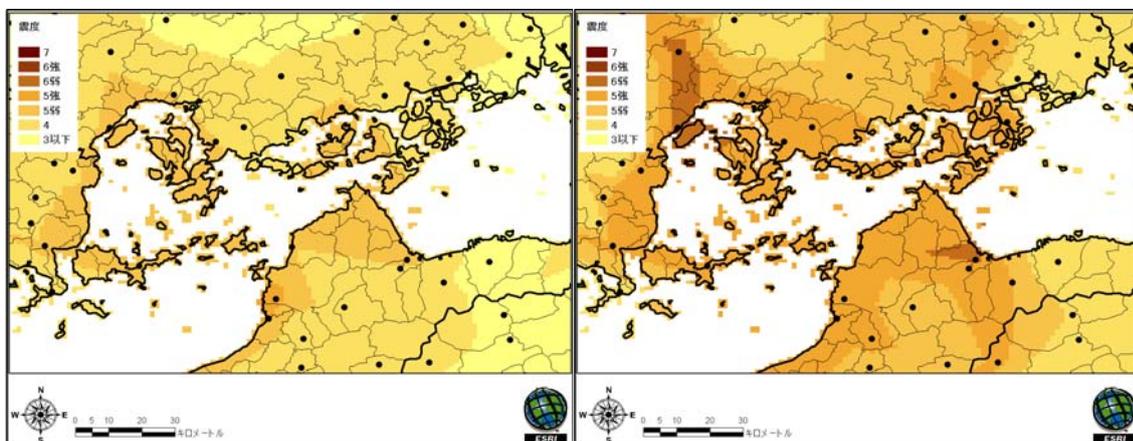
方法 指標	KKiK		KKiK&震度計		KKiK-表層考慮		KKiK&震度計-表層考慮		実被害
	I ₁₋₂	I _j							
全壊数(棟)	605	1035	453	846	559	1009	488	865	218
死者数(人)	3	9	3	8	3	8	3	8	0

以下のことがわかる。

- ・ いずれの方法についても、計測震度分布は実被害分布よりも高めである。特に、日野町の計測震度は6強～7と予測されているが、実際は6弱相当の被害しか生じていない。
- ・ 1-2秒震度分布は実被害分布と良く対応している。
- ・ 表層地盤の増幅特性を考慮したことによる震度分布の違いは、高震度地域ではあまり見られない。
- ・ 総被害数でも1-2秒震度が計測震度に比べて実被害に近く、震度計情報を追加した方がより実被害に近い。

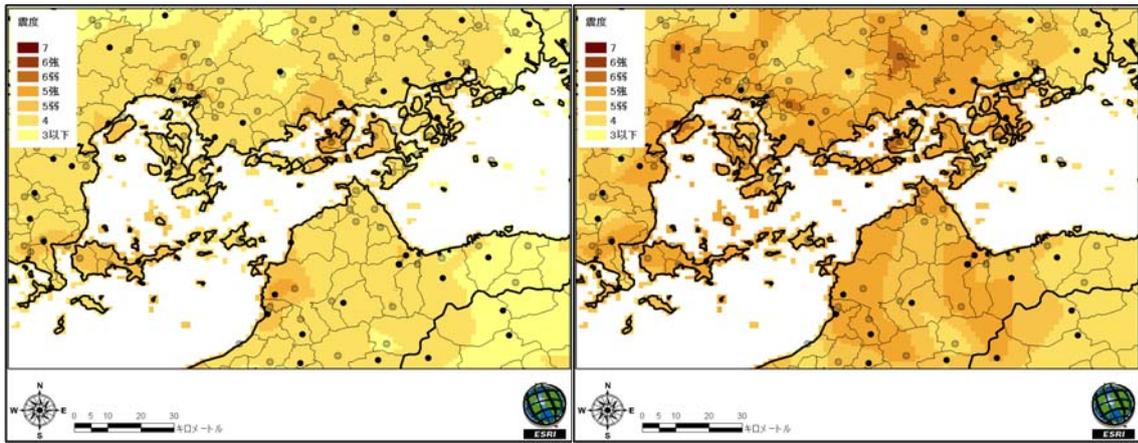
iii) 2001年芸予地震

各方法による震度分布を図23に、推定震度分布を図24に、V_{se}分布を図25に、市町村位置図を図26に示し、予測被害数と実被害数を表8に示す。実被害数については参考文献17)のデータを用いた。



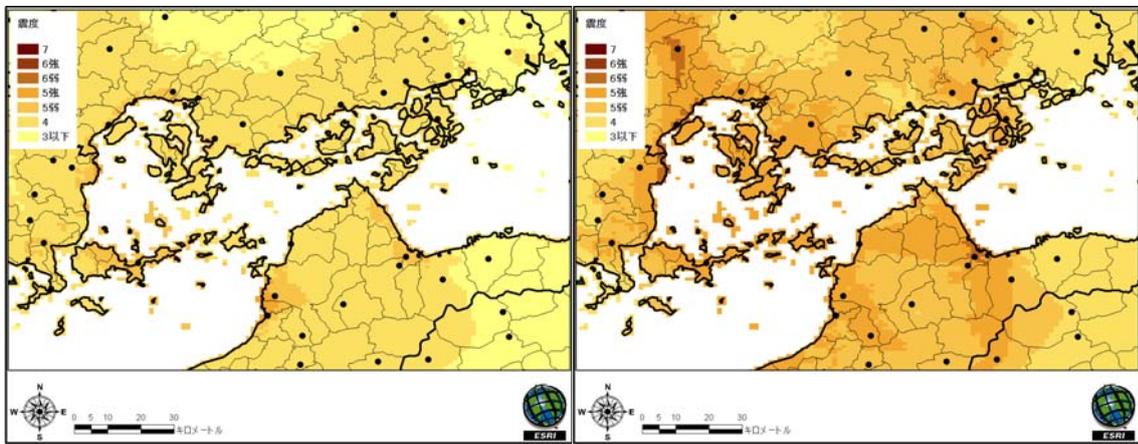
(a)KKiK(1-2秒震度)

(b)KKiK(計測震度)



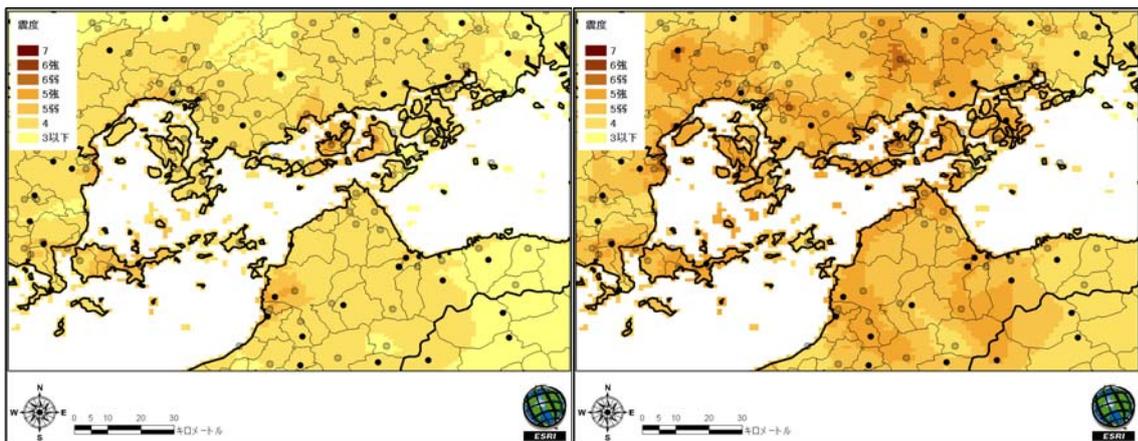
(c) KKiK&震度計(1-2秒震度)

(d) KKiK&震度計(計測震度)



(e) KKiK-表層考慮(1-2秒震度)

(f) KKiK-表層考慮(計測震度)



(g) KKiK&震度計-表層考慮(1-2秒震度)

(h) KKiK&震度計-表層考慮(計測震度)

図 23 各方法による震度分布

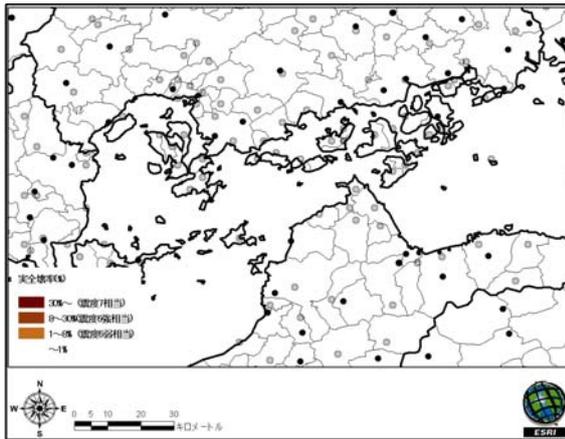


図 24 実被害分布

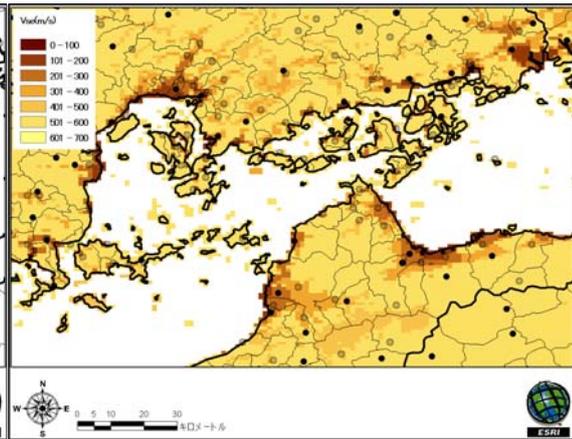


図 25 V_{se} 分布

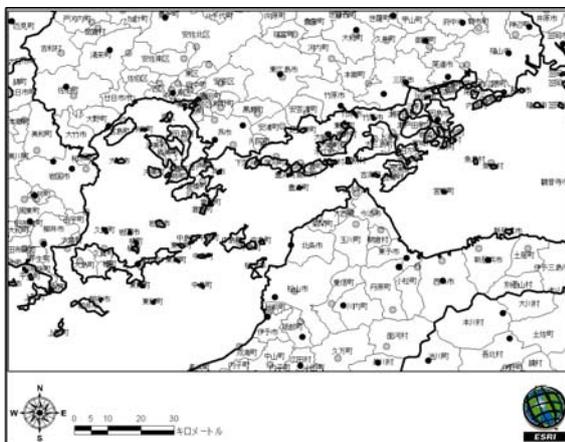


図 26 市町村位置図

表 8 被害予測結果と実被害

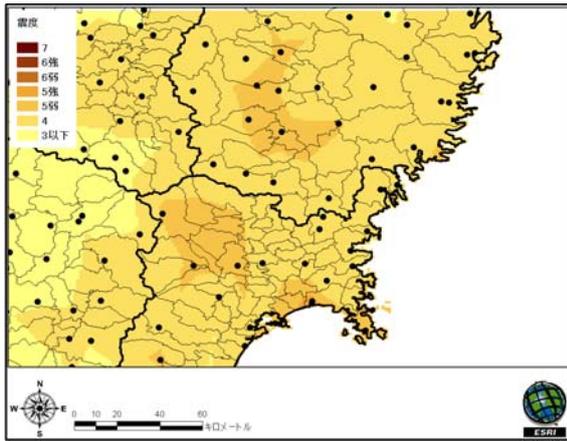
方法 指標	KKiK		KKiK&震度計		KKiK-表層考慮		KKiK&震度計-表層考慮		実被害
	I_{1-2}	I_1	I_{1-2}	I_1	I_{1-2}	I_1	I_{1-2}	I_1	
全壊数(棟)	0	356	3	120	0	251	6	224	35
死者数(人)	0	1	0	0	0	1	0	1	2

以下のことがわかる。

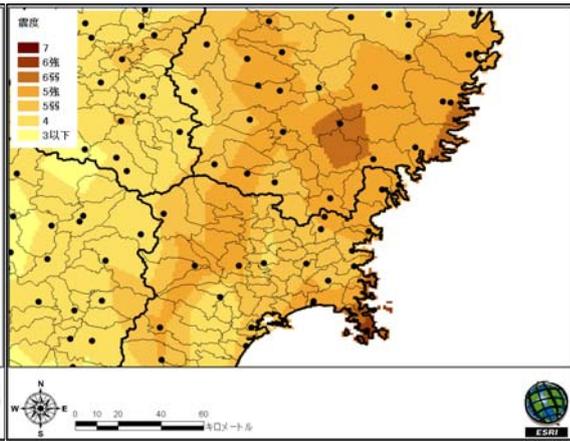
- ・ 実被害分布では震度 6 弱以上の地域は無く、計測震度分布は過大なものになっている。
- ・ 1-2 秒震度分布はいずれの方法でも震度 6 弱以上の地域はほとんど無く、実被害に対応している。
- ・ 総被害数では 1-2 秒震度による予測がいずれの方法でも実被害値に近くなっている。
- ・ 1-2 秒震度に関しては、震度計情報を追加した場合、表層地盤の増幅特性を考慮した場合についても震度分布、総被害数の大きな違いは見られない。

iv) 2003 年三陸南地震

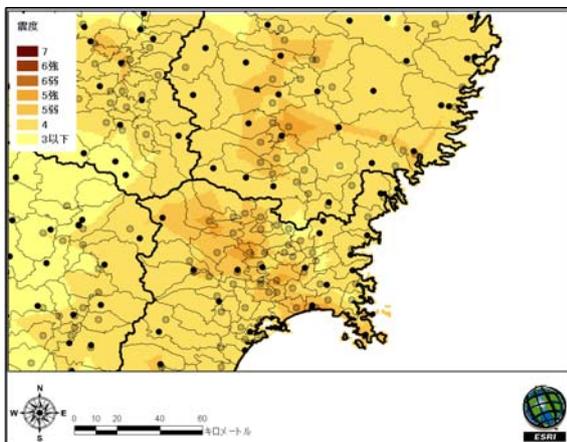
各方法による震度分布を図 27 に、推定震度分布を図 28 に、 V_{se} 分布を図 29 に、市町村位置図を図 30 に示し、予測被害数と実被害数を表 9 に示す。実被害数については参考文献 18) のデータを用いた。



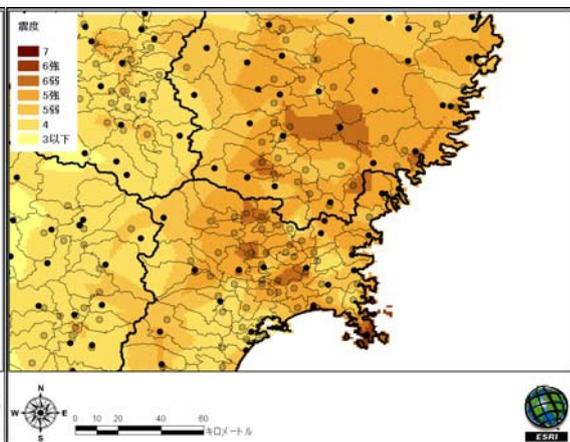
(a)KKiK(1-2 秒震度)



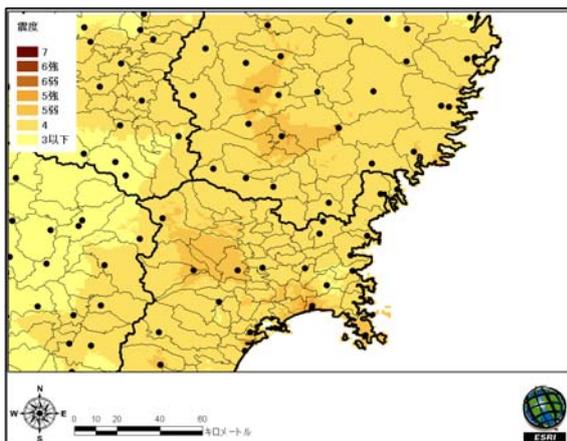
(b)KKiK(計測震度)



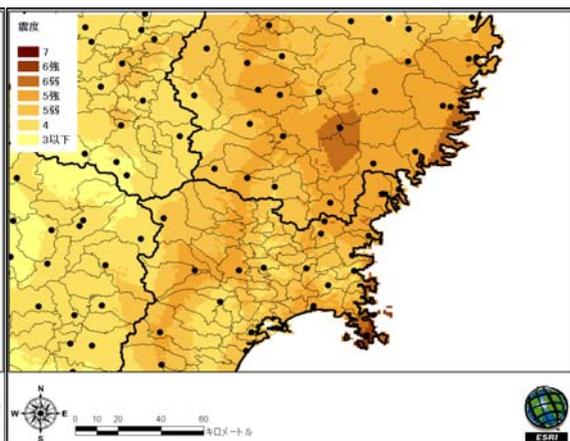
(c)KKiK&震度計(1-2 秒震度)



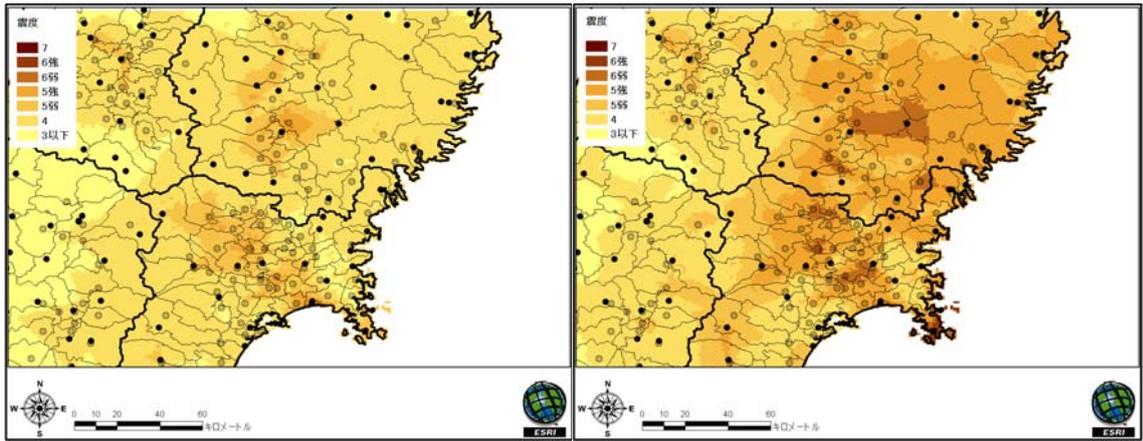
(d)KKiK&震度計(計測震度)



(e)KKiK-表層考慮(1-2 秒震度)



(f)KKiK-表層考慮(計測震度)



(g)KKiK&震度計-表層考慮(1-2秒震度)

(h)KKiK&震度計-表層考慮(計測震度)

図 27 各方法による震度分布

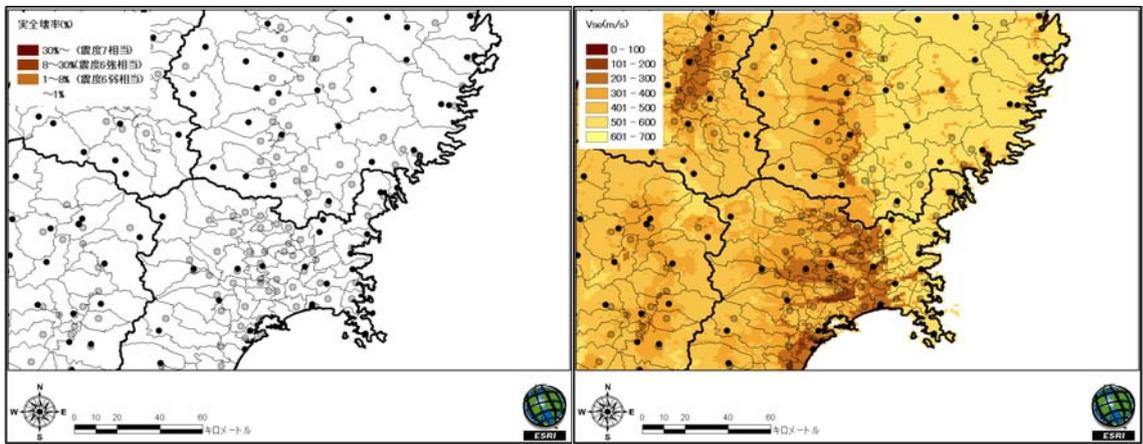


図 28 実被害分布

図 29 V_{se} 分布

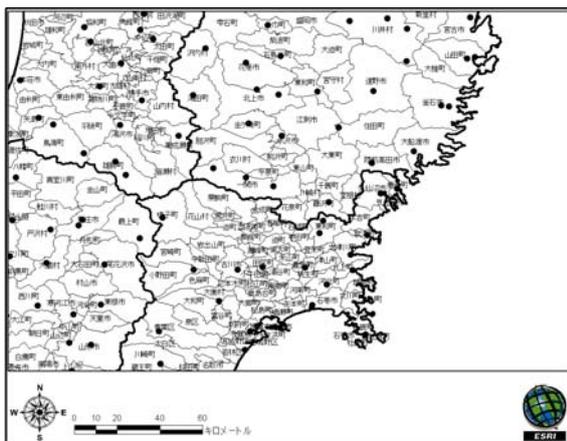


図 30 市町村位置図

表 9 被害予測結果と実被害

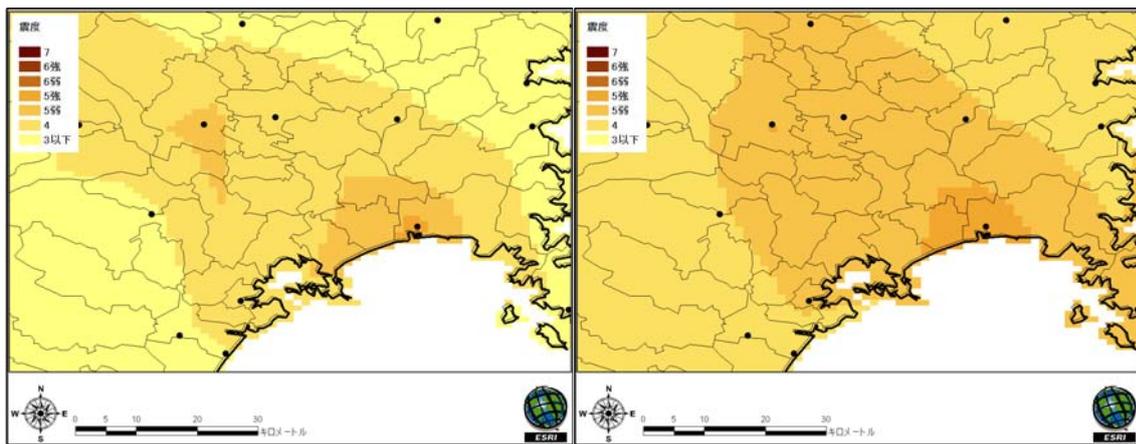
方法 指標	KKiK		KKiK&震度計		KKiK-表層考慮		KKiK&震度計-表層考慮		実被害
	I ₁₋₂	I _j							
全壊数(棟)	0	239	24	475	0	424	118	604	1
死者数(人)	0	2	0	3	0	2	1	3	0

以下のことがわかる。

- ・ 計測震度は高い震度分布になっており、1-2秒震度とは対照的である。
- ・ 実被害分布では震度6弱以上の地域は無く、1-2秒震度による震度分布の方が対応している。
- ・ 総被害数は、震度計情報を追加することにより、過大に予測され、表層地盤の増幅特性を考慮することにより、更に過大なものとなっている。

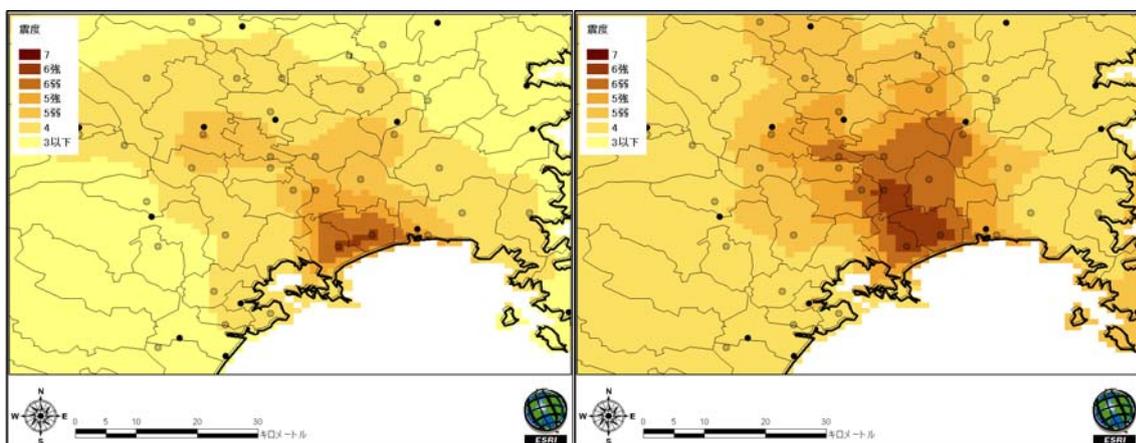
v) 2003年宮城県北部地震

各方法による震度分布を図31に、推定震度分布を図32に、V_{se}分布を図33に、市町村位置図を図34に示し、予測被害数と実被害数を表10に示す。実被害数については参考文献19)20)のデータを用いた。



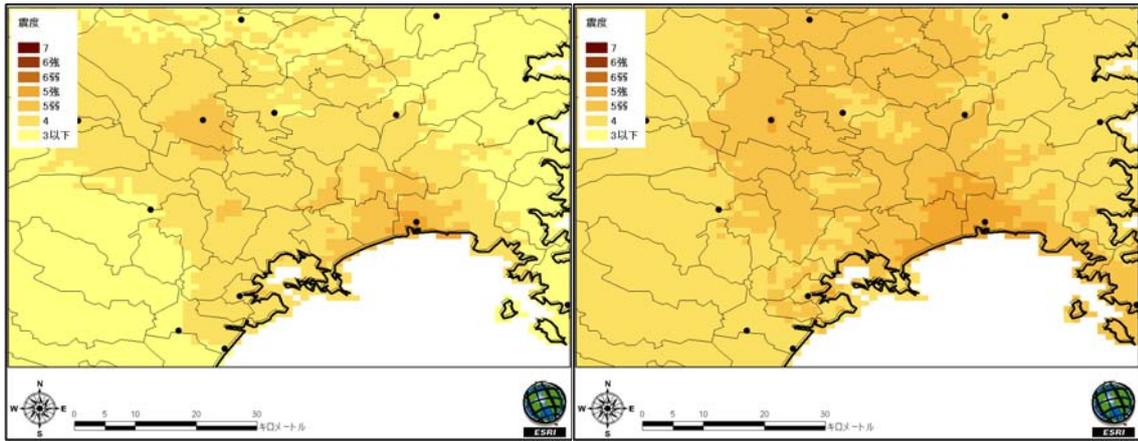
(a)KKiK(1-2秒震度)

(b)KKiK(計測震度)



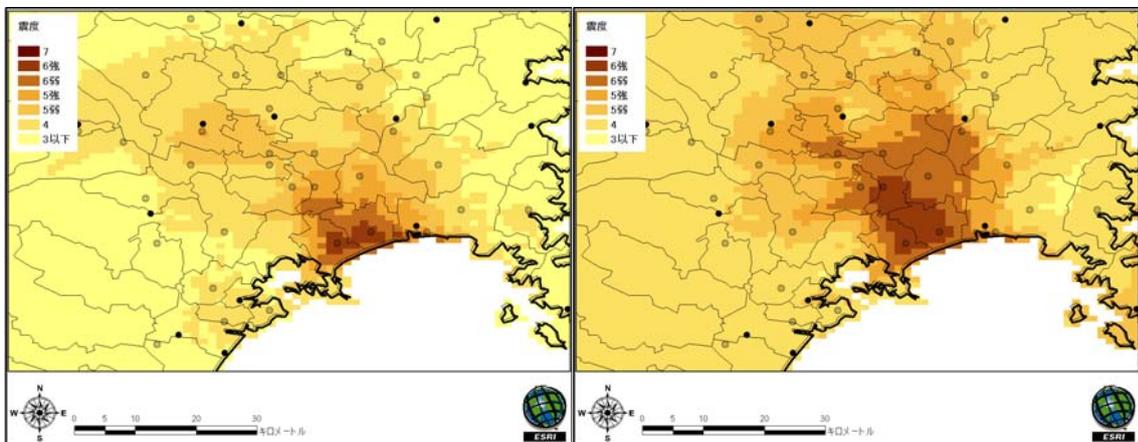
(c)KKiK&震度計(1-2秒震度)

(d)KKiK&震度計(計測震度)



(e)KKiK-表層考慮(1-2 秒震度)

(f)KKiK-表層考慮(計測震度)



(g)KKiK&震度計-表層考慮(1-2 秒震度)

(h)KKiK&震度計-表層考慮(計測震度)

図 31 各方法による震度分布

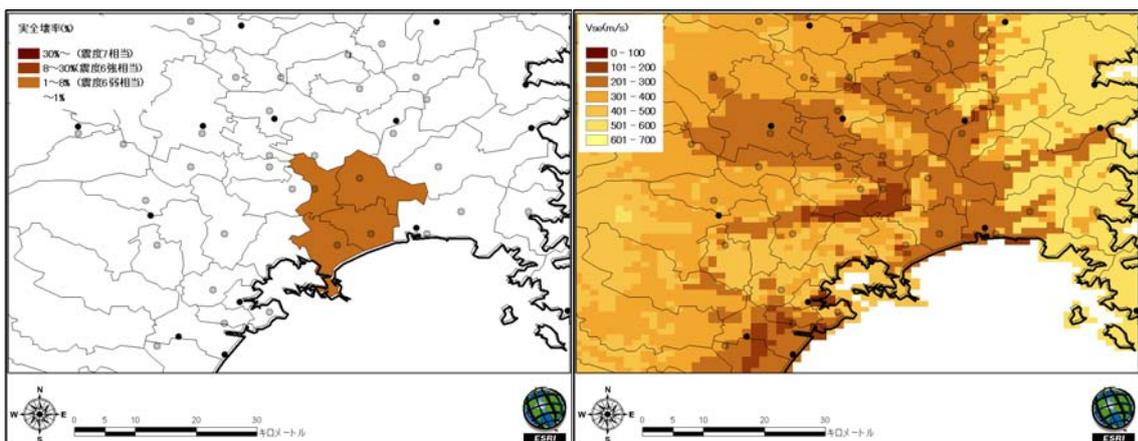


図 32 実被害分布

図 33 V_{se} 分布

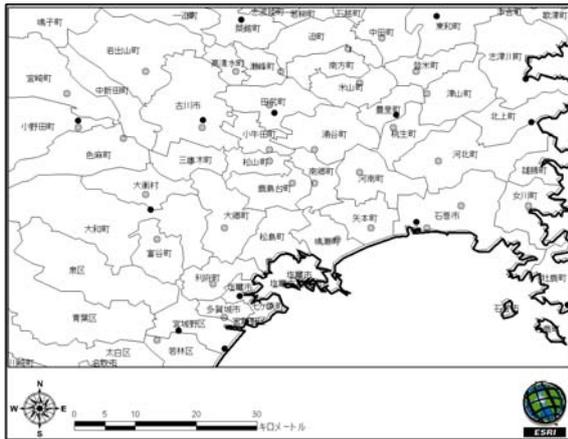


図 34 市町村位置図

表 10 被害予測結果と実被害

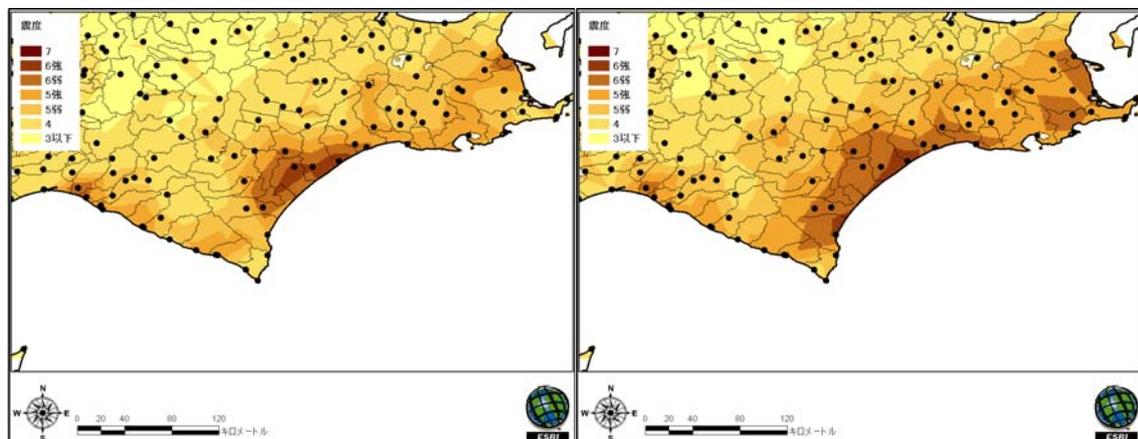
方法 指標	KKiK		KKiK&震度計		KKiK-表層考慮		KKiK&震度計-表層考慮		実被害
	I ₁₋₂	I _i							
全壊数(棟)	0	0	376	740	0	0	556	848	638
死者数(人)	0	0	6	10	0	0	13	13	0

以下のことがわかる。

- ・ 被害が局所的であるため、K-NET、KiK-net のみを使用する予測では観測点密度が全く不足し、実際の被害分布は推定できていない。
- ・ 震度計情報を加えることで、実被害分布に対応するような震度分布を再現できている。
- ・ 計測震度による震度分布は実被害分布に比べて高くなっている。
- ・ 1-2 秒震度では実被害分布を正確に表現できており、表層地盤の増幅特性を考慮することで分布も変化して、総被害数も実被害値に近くなっている。

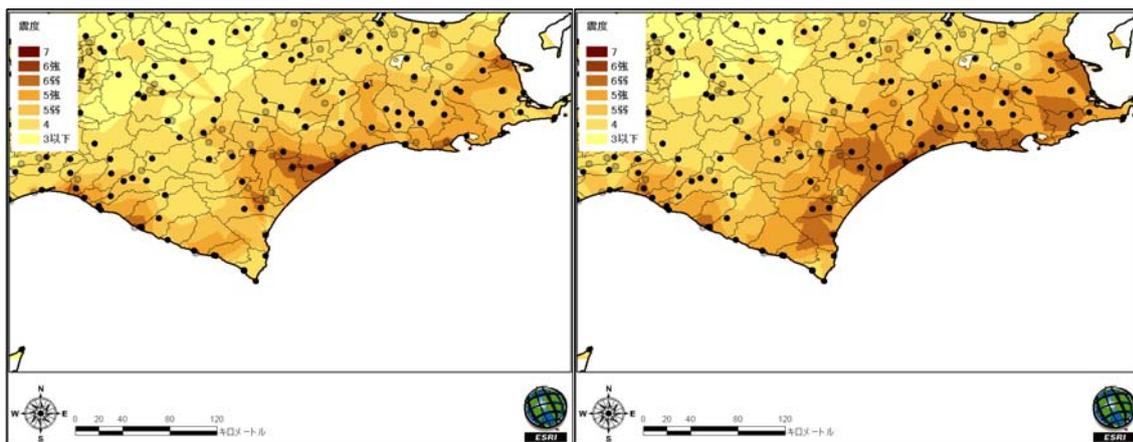
vi) 2003 年十勝沖地震

各方法による震度分布を図 35 に、推定震度分布を図 36 に、V_{se} 分布を図 37 に、市町村位置図を図 38 に示し、予測被害数と実被害数を表 9 に示す。実被害数については参考文献 21)22)のデータを用いた。



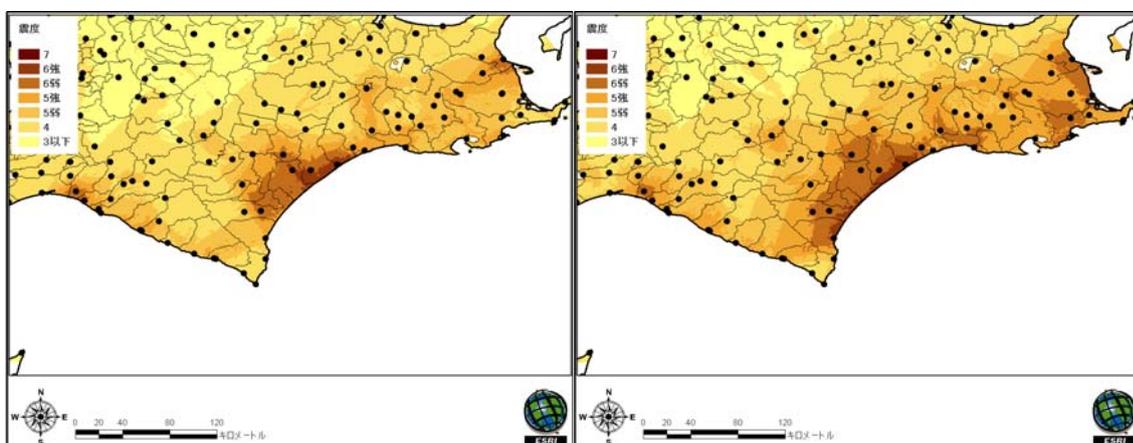
(a)KKiK(1-2 秒震度)

(b)KKiK(計測震度)



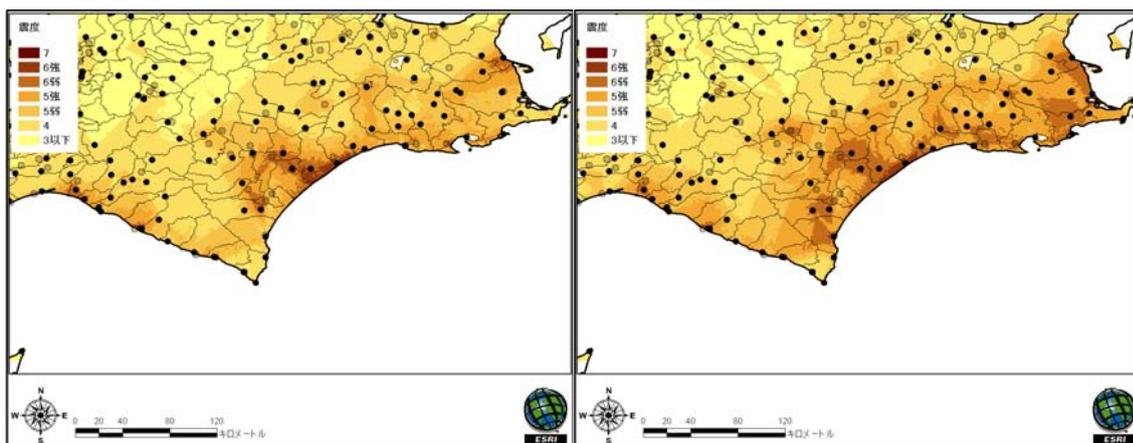
(c) KKiK&震度計(1-2秒震度)

(d) KKiK&震度計(計測震度)



(e) KKiK-表層考慮(1-2秒震度)

(f) KKiK-表層考慮(計測震度)



(g) KKiK&震度計-表層考慮(1-2秒震度)

(h) KKiK&震度計-表層考慮(計測震度)

図 35 各方法による震度分布

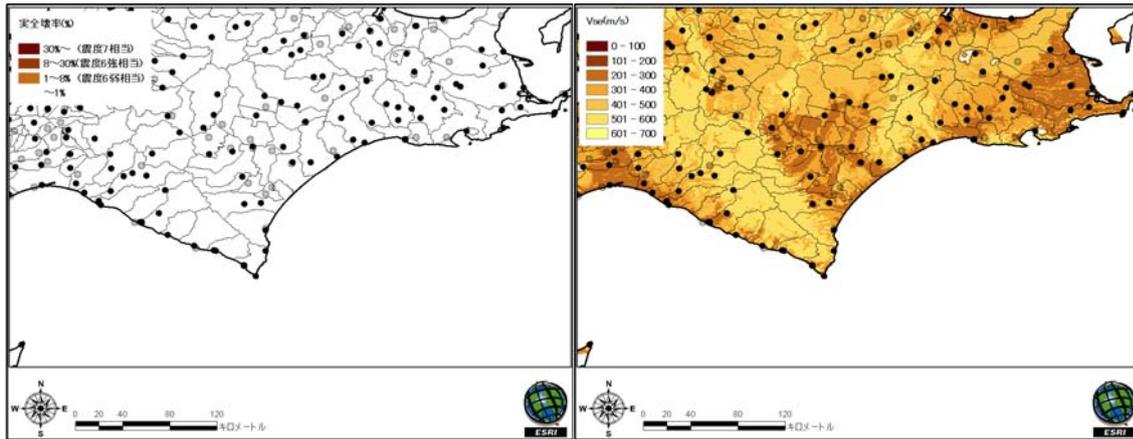


図 36 実被害分布

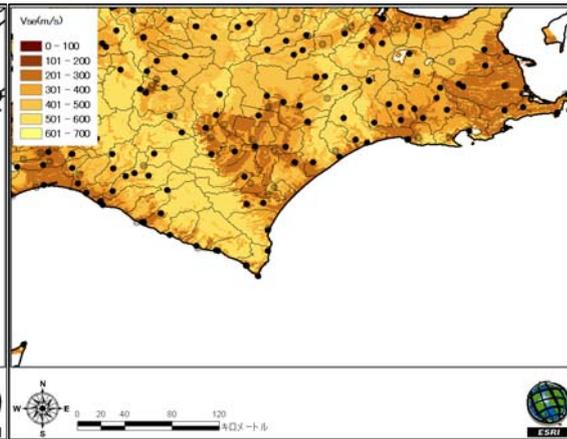


図 37 V_{se} 分布

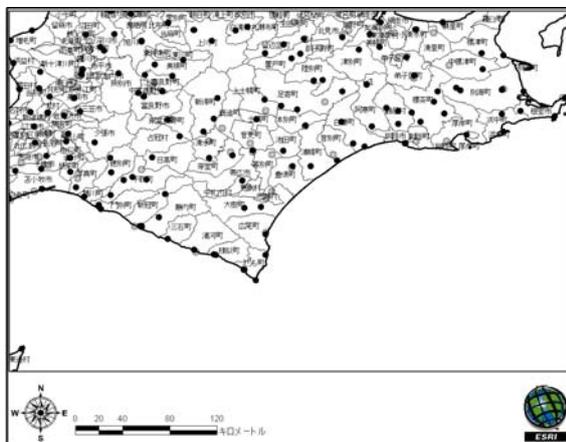


図 38 市町村位置図

表 10 被害予測結果と実被害

方法 指標	KKiK		KKiK&震度計		KKiK-表層考慮		KKiK&震度計-表層考慮		実被害
	I_{1-2}	I_1	I_{1-2}	I_1	I_{1-2}	I_1	I_{1-2}	I_1	
全壊数(棟)	647	1425	687	999	787	1302	878	917	58
死者数(人)	9	7	8	6	13	8	12	6	0

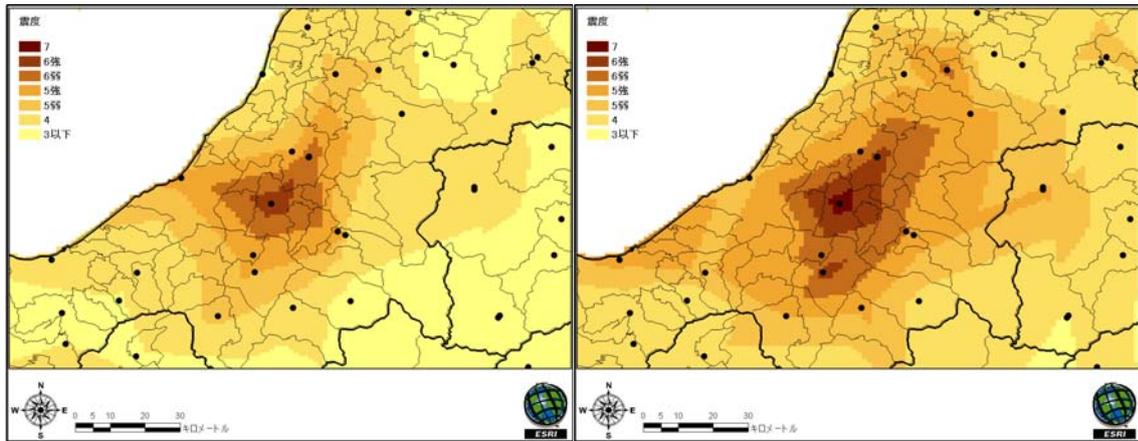
以下のことがわかる。

- ・ 両震度ともに実被害分布に比べて高い震度分布になっており、浦幌町周辺では高い震度分布が現れている。
- ・ 震度計情報を追加した場合や、表層地盤の増幅特性を考慮した場合は震度分布が若干変化している。
- ・ 総被害数を比較しても、実被害より過大予測してしまっている。

vii) 2004 年新潟県中越地震

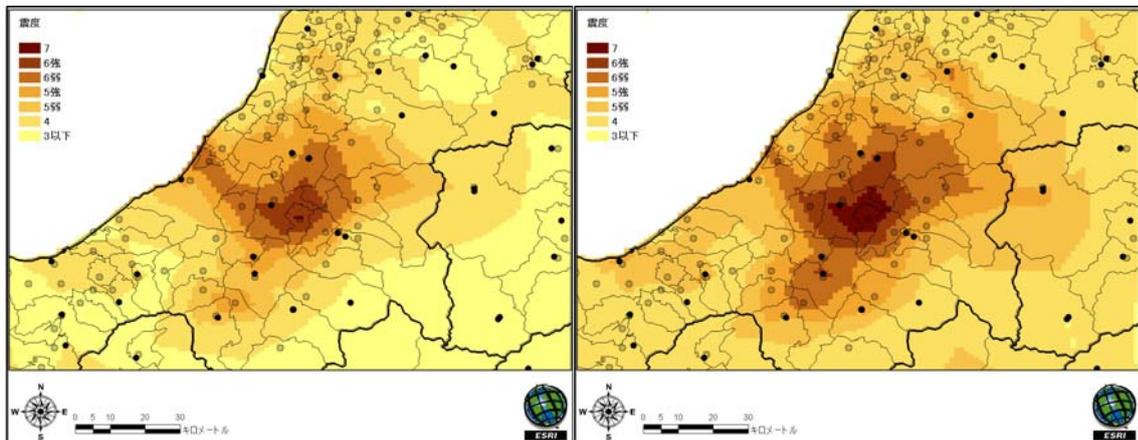
各方法による震度分布を図 39 に、推定震度分布を図 40 に、 V_{se} 分布を図 41 に、市町村位置図を図 42 に示し、予測被害数と実被害数を表 11 に示す。実被害数については参考文献 23)24)のデータを用いた。死者数については、心的要因・エコノミークラス症候群などの建物被害とは関係しない死者も含まれている²⁴⁾ので、それらを除外して死者数を 16 人

とした。



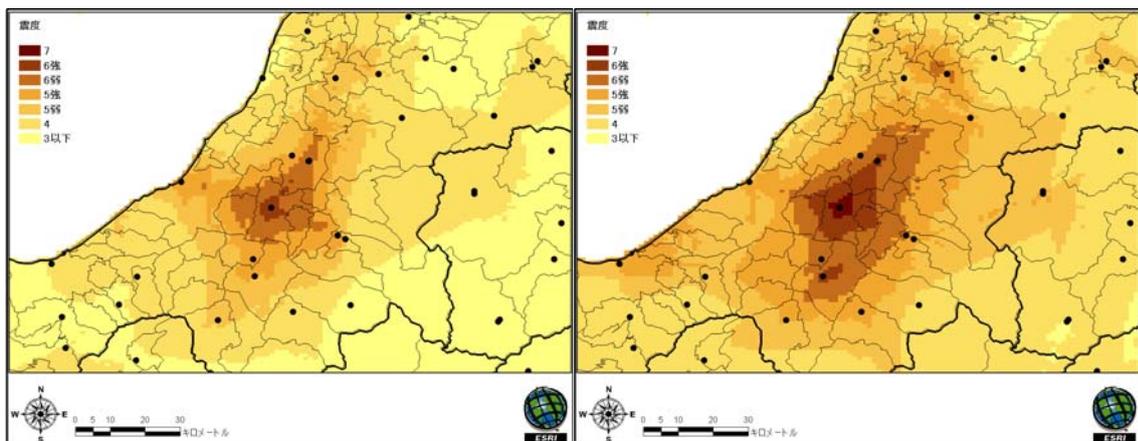
(a)KKiK(1-2 秒震度)

(b)KKiK(計測震度)



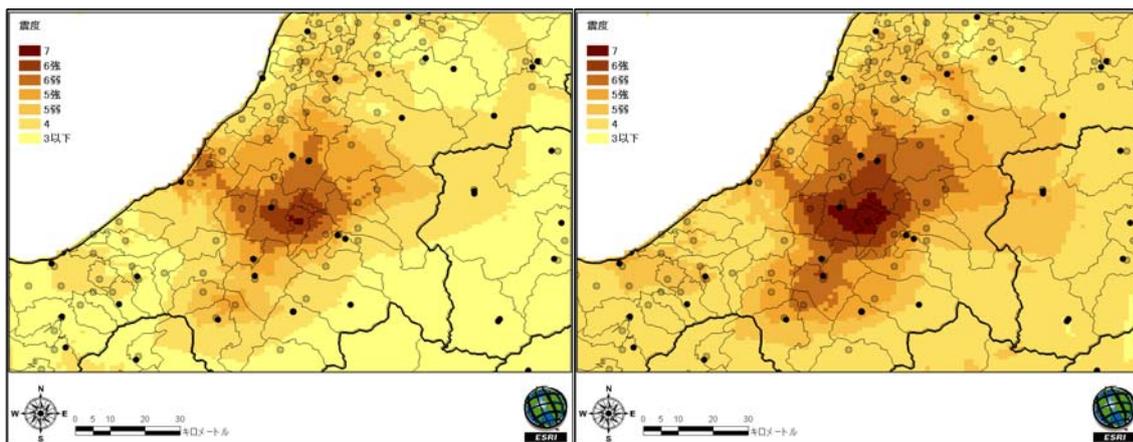
(c)KKiK&震度計(1-2 秒震度)

(d)KKiK&震度計(計測震度)



(e)KKiK-表層考慮(1-2 秒震度)

(f)KKiK-表層考慮(計測震度)



(g)KKiK&震度計-表層考慮(1-2秒震度)

(h)KKiK&震度計-表層考慮(計測震度)

図 39 各方法による震度分布

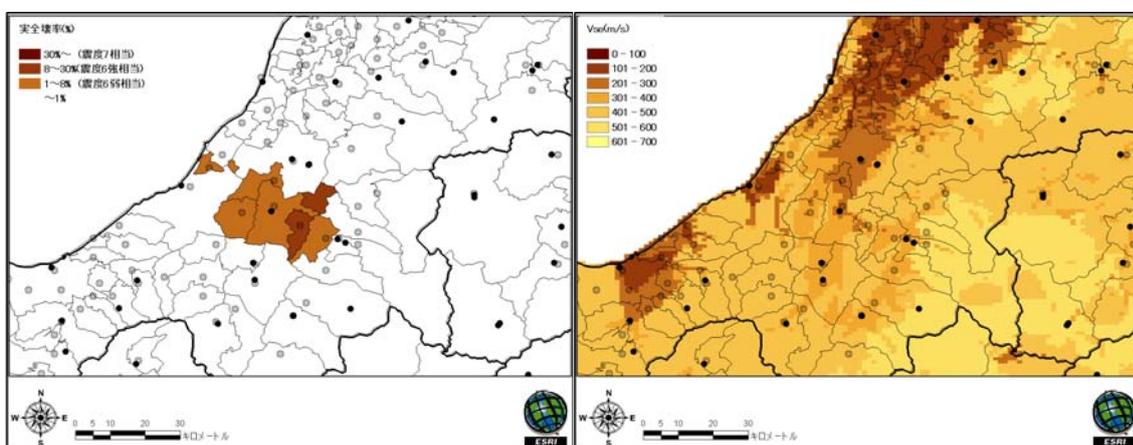


図 40 実被害分布

図 41 V_{se} 分布

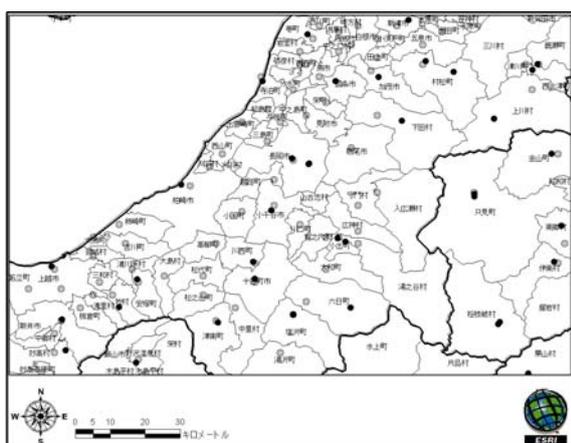


図 42 市町村位置図

表 11 被害予測結果と実被害

方法 指標	KKiK		KKiK&震度計		KKiK-表層考慮		KKiK&震度計-表層考慮		実被害
	I ₁₋₂	I _i							
全壊数(棟)	1202	3295	1426	3753	1134	3247	1475	3727	1588
死者数(人)	30	108	41	140	27	103	47	138	16

以下のことがわかる。

- ・ 1-2 秒震度に比べ、計測震度の分布が高めに出ている。
- ・ 実被害分布と比較してみると、計測震度では、川口町や小千谷市で過大予測している。
- ・ 1-2 秒震度では、実被害を正確に表現できており、総被害数でも同様のことがいえる。
- ・ 震度計情報を追加することで、川口町付近の震度の高さを表現できている。
- ・ 表層地盤を考慮することで震度分布の変化は見られるが、総被害数にはあまり影響しない。

c) 全地震での総被害数の比較

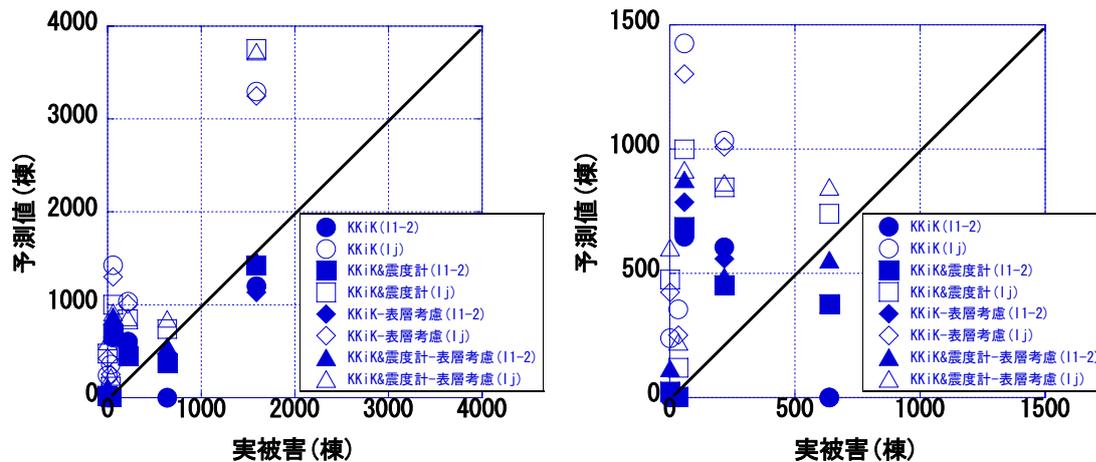
予測を行った地震での各方法による予測値と実被害を表 12、13 に、全壊数についてプロットしたものを図 43 に示す。ただし、兵庫県南部地震については被害数が他の地震に比べて非常に多いため、除いてある。

表 12 各地震での予測全壊数

方法 指標	KKiK		KKiK&震度計		KKiK-表層考慮		KKiK&震度計-表層考慮		実被害
	I ₁₋₂	I _i							
1995年兵庫県南部地震	41570	52143	60675	76735	38991	51502	63991	76729	52453
2000年鳥取県西部地震	605	1035	453	846	559	1009	488	865	218
2001年芸予地震	0	356	3	120	0	251	6	224	35
2003年三陸南地震	0	239	24	475	0	424	118	604	1
2003年宮城県北部地震	0	0	376	740	0	0	556	848	638
2003年十勝沖地震	647	1425	687	999	787	1302	878	917	58
2004年新潟県中越地震	1202	3295	1426	3753	1134	3247	1475	3727	1588

表 13 各地震での予測死者数

方法 指標	KKiK		KKiK&震度計		KKiK-表層考慮		KKiK&震度計-表層考慮		実被害
	I ₁₋₂	I _i							
1995年兵庫県南部地震	729	663	1896	2015	651	644	2154	2014	5147
2000年鳥取県西部地震	3	9	3	8	3	8	3	8	0
2001年芸予地震	0	1	0	0	0	1	0	1	2
2003年三陸南地震	0	2	0	3	0	2	1	3	0
2003年宮城県北部地震	0	0	6	10	0	0	13	13	0
2003年十勝沖地震	9	7	8	6	13	8	12	6	0
2004年新潟県中越地震	30	108	41	140	27	103	47	138	16



(a) 全体

(b) 拡大

図 43 各方法による予測値と実被害（全壊数）

全体を通してみると、指標については 1-2 秒震度が計測震度に比べて実被害をより正確に予測できていることがわかる。震度計情報の追加や表層地盤の増幅特性を考慮することによる予測値の変化については、全地震を通してではないが、K-NET、KiK-net の観測点密度が足りないような、局所的な被害が発生し、狭い地域で表層地盤が大きく変化する地震に対しては有効な手段といえる。

(d) 結論ならびに今後の課題

強震記録を使用し 1km メッシュ単位で歴史地震資料における震度に対応するように提案した算定法による震度の面的分布を求め、全壊数、死者数を算出するプログラムを作成した。また、震度情報を加えて予測を行う方法も検討した。更に、1-2 秒震度、計測震度について表層地盤の増幅特性を考慮する簡便式を求め、震度の面的分布を求める際に使用して増幅特性を考慮する予測方法も開発した。

これらの予測プログラムを使用して過去の地震での被害予測を行った結果、地震動強さ指標に 1-2 秒震度を用いた場合の方が計測震度に比べて、実被害分布、実被害数に近い予測を得られた。また、局所的な被害が生じる地震や表層地盤の変化が著しい地域での地震に対しては、震度情報を追加する方法、表層地盤の増幅特性を考慮する方法はある程度有効であることがわかった。

(e) 引用文献

- 1) 境有紀，津野靖士，工藤一嘉，壁谷澤寿海：改正建築基準法の解放工学的基盤波を想定した表層地盤増幅特性の簡便評価法，日本建築学会構造系論文集，第 565 号，pp. 73-78，2003.
- 2) 境有紀，神野達夫，額綱一起：震度の高低によって地震動の周期帯を変化させた震度算定法の提案，日本建築学会構造系論文集，第 585 号，pp. 71-76，2004.

- 3) 古山田耕司：土の非線形モデルが地盤の応答評価に与える影響，第 32 回地盤震動シンポジウム，2004.
- 4) 吉田望，末富岩雄：DYNEQ・等価線形法に基づく水平成層基盤の地震応答解析プログラム，佐藤工業(株)技術研究所報，pp. 61-70，1996.
- 5) 日本建築学会：建築物荷重指針・同解説，1993.
- 6) 防災科学研究所：地震ハザードステーション J-SHIS，<http://www.j-shis.bosai.go.jp>.
- 7) 藤本一雄，翠川三郎：日本全国を対象とした国土数値情報に基づく地盤の平均 S 波速度分布の推定，日本地震工学会論文集，第 3 巻，第 3 号，2003.
- 8) 川名清三，今北統夫，柴山明寛，佐久間景子，久田嘉章：広域な面的震度情報を対象とした関東におけるリアルタイム地震情報システムに関する研究(その 1)理論(その 2)解析結果，日本建築学会大会学術講演梗概集(東北)，pp. 65-68.
- 9) 多田理：地震時の建物倒壊による死者数の評価式，長岡工業高等専門学校平成 15 年度環境都市工学科卒業研究論文集，
<http://www.nagaoka-ct.ac.jp/ci/sotsuron/2004/pdf/2004ci33.pdf>.
- 10) 平成 12 年国勢調査地域メッシュ統計第 1 次地域区画人口及び一般世帯数，財団法人統計情報研究センター.
- 11) 藤本一雄，翠川三郎：被害分布から推定した 1995 年兵庫県南部地震の震度分布，日本建築学会構造系論文集，第 523 号，pp. 71-78，1999.
- 12) 山口直也，山崎文：1995 年兵庫県南部地震の建物被害率による地震動分布の推定，土木学会論文集，No. 612/ I -46，pp. 325-336，1999.
- 13) 消防庁 H P 災害情報詳報 阪神・淡路大震災について(確定報)，
<http://www.fdma.go.jp/data/010604191452374961.pdf>.
- 14) 消防庁：阪神・淡路大震災の記録 I，ぎょうせい，Vol. 65，1996.
- 15) 消防庁 H P 災害情報詳報 平成 12 年(2000 年)鳥取県西部地震(確定報)，
<http://www.fdma.go.jp/data/010409282158102964.pdf>.
- 16) 損害保険量算出機構，RISK, No. -58(2000)，
<http://www.nliro.or.jp/disclosure/risk/risk58-3.pdf>.
- 17) 消防庁 H P 災害情報詳報 平成 13 年(2001 年)芸予地震(確定報)，
<http://www.fdma.go.jp/data/010409282212087846.pdf>.
- 18) 消防庁 H P 災害情報詳報 5 月 26 日に発生した宮城県沖を震源とする地震(確定報)，
<http://www.fdma.go.jp/data/030526MiyagiJishin.PDF>.
- 19) 宮城県：宮城県北部連続地震による被害について(確定報)，
<http://www.pref.miyagi.jp/kikitaisaku/saigai/0726saigai40.pdf>.
- 20) 消防庁 H P 災害情報詳報 7 月 26 日から 28 日の間に発生した宮城県北部を震源とする地震(確定報)，
<http://www.fdma.go.jp/data/H160330Miyagihokubue.pdf>.
- 21) 北海道；平成 14 年・15 年災害記録 平成 15 年十勝沖地震.
- 22) 消防庁 H P 災害情報詳報 平成 15 年(2003 年)十勝沖地震について(確定報)，
<http://www.fdma.go.jp/data/H160331TokachiJishin.pdf>.
- 23) 新潟県：平成 16 年新潟県中越大震災による被害状況について(第 171 報) 消防庁 H P 災害情報詳報 平成 16 年(2004 年)新潟県中越地震(第 73 報)，

(f) 成果の論文発表・口頭発表等

著者	題名	発表先	発表年月日
境有紀	強震観測点近傍の建物被害	平成16年新潟県中越地震被害調査報告書, 土木学会	平成18年3月
Nakamura, Y., Sakai, Y. and Kato, D.	Investigation on Destructive Power Indices of Strong Motions Using Building Damage Data and Strong Motions Recorded in the 2004 Niigata-Chuetsu, Japan, Earthquake	Proceedings of the 8th National Conference on Earthquake Engineering	平成18年4月
境有紀・飯塚裕暁	実際の被害と対応する地震動強さ指標を用いた既存不適格木造建物の耐震補強における費用対効果の検討 その1 検討に必要な全壊震度と耐震診断評点の関係等の構築	日本建築学会大会学術講演梗概集構造 II, pp.375-376	平成18年9月
飯塚裕暁・境有紀	実際の被害と対応する地震動強さ指標を用いた既存不適格木造建物の耐震補強における費用対効果の検討 その2 費用対効果の評価	日本建築学会大会学術講演梗概集構造 II, pp377-378	平成18年9月
大月俊典・境有紀	表層地盤の増幅特性を簡便に評価して地震動強さの面的分布を求める方法	日本建築学会大会学術講演梗概集構造 II, pp.323-324	平成18年9月
境有紀・月俊典	被害と対応した地震動強さの面的分布を簡便に求める方法の検討	第12回日本地震工学シンポジウム論文集	平成18年11月
大月俊典・境有紀	建物被害と相関を持つ地震動の強さ指標を用いた地震被害早期予測プログラムの開発強さを推定する方法	第12回日本地震工学シンポジウム論文集	平成18年11月
飯塚裕暁・境有紀	実際の建物被害と対応する地震動強さ指標を用いた既存不適格木造建物の耐震補強における費用対効果の検討	第12回日本地震工学シンポジウム論文集	平成18年11月

(g) 特許出願、ソフトウェア開発、仕様・標準等の策定

1)特許出願

なし

2)ソフトウェア開発

名称	機能
震度の面的分布出力プログラム	震度・史料データと対応する震度と計測震度の面的分布を算出し描画する

3) 仕様・標準等の策定

なし