

### 3.4.2 震源断層モデルの高度化に関する調査研究

#### (1) 業務の内容

##### (a) 業務の目的

震源断層モデル等の構築のため、広帯域強震動生成に関係するすべり分布や応力降下量、破壊様式といった震源断層のパラメータの把握とその地域性・深さ依存性についての分析を行う。そのため、既往のプレート境界地震、スラブ内地震を中心とした震源断層モデルの収集及び広帯域地震波を用いた震源過程の解析による結果の分析を行い、首都直下で発生する地震に対する震源断層モデルの高度化に寄与する。

##### (b) 平成22年度業務目的

平成21年度に検証をはじめたスラブ内地震の強震動予測のための特性化震源モデル構築手法の適用性検証を継続する。対象とする地震としては、主に太平洋プレート内で起きているスラブ内地震とする。いくつかの破壊シナリオを設定し、経験的グリーン関数や統計的グリーン関数法による強震動シミュレーションを行い、観測記録と比較して、モデル構築手法の適用性を検討する。

##### (c) 担当者

所属機関	役職	氏名	メールアドレス
京都大学防災研究所	教授	岩田知孝	
	准教授	関口春子	
	助教	浅野公之	

#### (2) 平成22年度の成果

##### (a) 業務の要約

平成21年度に検証をはじめたスラブ内地震の強震動予測のための特性化震源モデル構築手法の適用性検証を継続した。対象とする地震としては、太平洋プレート内で起きているスラブ内地震として、1987年千葉県東方沖地震とし、観測記録や震度分布等の情報を収集した。1987年の地震の震源域付近で発生した小・中地震の波形記録が十分に得られないことから、経験的グリーン関数法によるシミュレーションではなく統計的グリーン関数法によるシミュレーションを行った。平均的なパラメータ値の震源モデル設定を行って波形を合成し、観測地震波形や震度分布との比較を行い、観測をほぼ再現できることを示した。これにより、我々が提唱しているスラブ内地震の震源モデル構築手法の妥当性が示された。

##### (b) 業務の成果

###### 1) はじめに

平成20年度までにスラブ内地震震源モデルの不均質すべりモデルのデータを収集し、Somerville et al. (1999)<sup>1)</sup>の方法に従って、断層面積( $S$ )、アスペリティ総面積( $S_a$ )、平均すべり量( $D$ )を求め、特性化に利用できる地震モーメントに対する経験式を提案した(Iwata and Asano, 2011<sup>2)</sup>)。

$$S \text{ (km}^2\text{)} = 6.57 \times 10^{-11} M_0^{2/3} \quad (1)$$

$$S_a \text{ (km}^2\text{)} = 1.04 \times 10^{-11} M_0^{2/3} \quad (2)$$

$$D \text{ (cm)} = 2.25 \times 10^{-5} M_0^{1/3} \quad (3)$$

( $M_0$ の単位はNm)。

この経験式に基づいて、岩田・浅野、(2010<sup>3</sup>)では、2001年芸予地震と2003年宮城沖のスラブ内地震の震源のモデル化を行い、経験的グリーン関数法によって合成波形を求めて観測波形と、PGA, PGV, また計測震度といった指標で比較を行った。2001年芸予地震に対してはよい再現が行われたが、2003年宮城沖地震については、上記の経験式(平均値)では過小評価となっていたため、標準偏差分面積等を小さく設定したモデルに基づいて合成波形を推定すると、ほぼ観測値を説明することができた。震源深さもしくはプレートの特性としてパラメータの適切性を検討する必要があることがわかった。

ここでは、1987年千葉県東方沖地震をターゲットとして、予測(評価)を行い、本特性化震源モデルの適用性を検討する。

## 2) 1987年千葉県東方沖地震の概要

1987年千葉県東方沖地震は、12月17日11時8分に房総半島沖の深さ47.3km(国立防災科学技術センター)で発生した。気象庁マグニチュードは6.7で銚子、勝浦、千葉で震度Vが観測されている。千葉九十九里や利根川沿いの沖積低地、東京湾岸の埋立地において液状化現象とその被害が観測された。断層面のパラメータは走向349度、伏角69度、すべり角163度である。

この地震の震度分布については、石辺・他(2009)<sup>4)</sup>にまとめられている。図1に荒(2003)<sup>5)</sup>、宇佐美(2008)<sup>6)</sup>の資料を掲載した。参照とした震源モデルはFukuyama(2001)<sup>7)</sup>とした。Fukuyama(2001)<sup>7)</sup>は、近地の強震記録の波形インバージョンにより不均質断層すべりを推定している。逆問題を解く際には、詳細な余震分布を元にして共役な面もターゲットとし、滑り分布を求めている。これによれば、断層面中央というよりエッジ部分にすべりの大きい部分があることがわかる(図2)。

本イベントに関して、強震観測記録を収集した。例として、港湾空港研究所の川崎観測点の本震及び余震の記録を掲載する(図3)。図は水平動の2成分を示している。これまでの検討と同じように、経験的グリーン関数法によるシミュレーションのために、震源域で発生した小(中)地震記録も調査したが、小地震記録が得られた点が少なかったこと、また小地震の震源パラメータを推定するのに適切な岩盤上の観測記録等があまり得られなかったことから、ここでは統計的グリーン関数法によるシミュレーションを行い、観測地点においては同じメッシュ内のシミュレーション結果との計測震度の比較を行う事と、面的な震度評価をして、観測震度分布と比較することによって、震源モデル化手法の妥当性を検討することとした。

## 3) 震源モデルの設定とシミュレーション結果

震源モデルの構築の手順は、日本建築学会(2009)<sup>8)</sup>のスラブ内地震の震源の設定法を参

考に、起きた地震の断層パラメータを参考として以下の手続きで行う。

- [1] 地震規模を設定する。Mw6.7 を与える。
- [2] 経験式(1)及び(2)から断層面積、アスペリティ総面積を決める。それぞれ、219km<sup>2</sup>、35km<sup>2</sup> となる。
- [3] 震源断層は正方形（長さと同幅）と仮定する。
- [4] 震源断層の走向、傾斜角、すべり角は想定地域のメカニズムを用いる。走向 349 度、伏角 69 度、すべり角 163 度を与える。
- [5] アスペリティは 1 つもしくは 2 つを仮定する。ここでは 1 つを中央に与えた。
- [6] 破壊開始点、破壊様式の選択をする。破壊開始点はアスペリティの南下とした。

ここでは統計的グリーン関数でのシミュレーションを行うため、要素断層を 2 × 2 km<sup>2</sup> とし、断層分割を設定した。断層面全体は 16 × 14 km<sup>2</sup>、アスペリティは 6 × 6 km<sup>2</sup> と設定した。

統計的グリーン関数のモデリングには、大西・堀家(2000)<sup>9)</sup>を用いた。計算に用いた地下構造モデルは、Sekiguchi and Yoshimi (2010)<sup>10)</sup>で用いられたもので、多数の既存研究をコンパイルして作成されている。関東平野の堆積層構造モデルには内閣府中央防災会議(2004)<sup>11)</sup>により提案されているものを用いている。これらにより工学的基盤までの波形を求める。工学的基盤以浅の増幅率は、松岡・他(2005)<sup>12)</sup>と若松・松岡(2006)<sup>13)</sup>を用いて、AVS30 による増分を考慮して、工学的基盤の PGV を地表の PGV に置き換え、PGV と震度の関係式<sup>14)</sup>から計測震度を求めた。計算範囲は千葉・茨城・東京等を含む領域とした。図 4 には地震基盤分布と地表の地形区分データを示す。

図 5 には震度の面的評価を行った結果を示す。九十九里浜に震度 5 強から一部震度 6 弱の領域が見られる。震度 5 弱以上の領域が、図 1 の宇佐美(2003)<sup>5)</sup>の震度 5 の領域と対応がよいことがわかる。また、荒(1990)<sup>6)</sup>と比較すると、シミュレーション結果がやや大きな値であるものの、震度分布の特徴は似ている。

図 6 には、強震観測波形がある点での実際の計測震度と本シミュレーションで得られた震度の比較を行った。地図上においても、また相関を見ても系統的には観測を再現できている。これらから 1987 年千葉県東方沖地震に関しては、Iwata and Asano (2011)<sup>2)</sup>で提案した特性化震源モデルの平均像のパラメータ設定によって、ほぼ適切な地震動の再現ができるといえる。2001 年芸予地震、2003 年宮城沖地震、そして本事例から、パラメータ設定に関しては、地震の起きている深さによる特性の違いを考慮する必要があると考えられる。具体的には Iwata and Asano (2011)<sup>2)</sup> で提案されている経験式は、深さ 50km 程度に震源があるものに対して平均パラメータ(アスペリティの応力降下量が 28.9MPa)による再現性がよく、深さが 70km 程度のやや深いイベントであった 2003 年宮城沖地震に関しては平均パラメータでは過小評価になっており、より大きな応力降下量の想定を行う必要と考えられる。

### (c) 結論ならびに今後の課題

平成 21 年度に検証をはじめたスラブ内地震の強震動予測のための特性化震源モデル構

築手法の適用性検証を継続した。太平洋プレート内のスラブ内地震として、1987年千葉県東方沖地震を対象とした。統計的グリーン関数法によるシミュレーションを行った。平均的な震源モデル構築手法に基づいてモデル設定を行って地震動を合成し、震度分布や観測記録との比較を行い、観測をほぼ再現できることを示した。震源（断層）の深さによる特性の違いが考えられるため、今後これまでの検証をもとに、モデル化手法の整理を行う。

(d) 引用文献

- 1) Somerville, P., K. Irikura, R. Graves, S. Sawada, D. Wald, N. Abrahamson, Y. Iwasaki, T. Kagawa, N. Smith, and A. Kowada: Characterizing Crustal Earthquake Slip Models for the Prediction of Strong Ground Motion, *Seism. Res. Lett.*, 70, 59-80, 1999.
- 2) Iwata, T. and K. Asano: Characterization of Heterogeneous Source Model of Intraslab Earthquakes toward Strong Ground Motion Prediction, *Pure Appl. Geophys.*, 168, 117-124, 2011
- 3) 岩田知孝・浅野公之: 強震動予測のためのスラブ内地震の特性化震源モデルの構築と検証, 第13回日本地震工学シンポジウム論文集, 1893-1898, 2010.
- 4) 石辺岳男・西山昭仁・佐竹健治・島崎邦彦: 南関東で発生したM7級地震に対する既往研究とデータの収集、—1921年茨城県南部の地震, 1922年浦賀水道付近の地震および1987年千葉県東方沖地震—, 地震研究所彙報, 84, 183-212, 2009.
- 5) 宇佐美龍夫: 最新版・日本被害地震総覧 416-2001, 東京大学出版会, 605pp, 2003.
- 6) 荒 孝一: 直下型地震に備える-1987年千葉県東方沖地震の教訓-, 地震ジャーナル, 10, 33-39, 1990.
- 7) Fukuyama, E: Inversion for the rupture details of the 1987 East Chiba earthquake, Japan, Using a fault model based on the distribution of relocated aftershocks, *J. Geophys. Res.*, 96, 8205-8217, 1991.
- 8) 日本建築学会, 最新の地盤震動研究を活かした強震波形の作成法, 164pp, 2009.
- 9) 大西良広・堀家正則: 統計的グリーン関数を用いた3成分地震動合成法の兵庫県南部地震への適用, 構造工学論文集, 46B, 389-398, 2000.
- 10) Sekiguchi, H. and M. Yoshimi: Broadband Ground Motion Reconstruction for the Kanto Basin during the 1923 Kanto Earthquake, *Pure and Applied Geophysics*, DOI 10.1007/s00024-010-0142-9, 2010.
- 11) 内閣府中央防災会議: 「首都直下地震対策専門調査会」第12回会議資料2-1、<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/shutochokka/12/shiryo2-1.pdf>, 2004.
- 12) 松岡昌志・若松加寿江・藤本一雄・翠川三郎: 日本全国地形・地盤分類メッシュマップを利用した地盤の平均S波速度分布の推定, 土木学会論文集, 794, I-72, 239-251, 2005.
- 13) 若松加寿江・松岡昌志: 日本の250mメッシュ地形・地盤デジタルマップの構築とサイスミックマイクロゾーニングへの適用例 若松加寿江・松岡昌志 地震研究所彙報, 81, 317-324, 2006.
- 14) 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.

## (e) 学会等発表実績

## 学会等における口頭・ポスター発表

発表成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表場所（学会等名）	発表時期	国際・国内の別
強震動予測のためのスラブ内地震の特性化震源モデルの検証（口頭）	岩田知孝・浅野公之	日本地球惑星科学連合2010年大会,	2010年5月	国内
Testing of the methodology of strong ground motion prediction for intraslab earthquake based on the characterized source model (Oral)	Iwata, T. and K. Asano	Western Pacific Geophysics Meeting 2010, S54B-04	June, 2010	国際
Validation of Characterized Source Model of Intraslab Earthquakes for Strong Motion Prediction (Poster)	Iwata, T. and K. Asano	American Geophysical Union, Fall meeting, S41A-2003	Dec., 2010	国際

## 学会誌・雑誌等における論文掲載

掲載論文（論文題目）	発表者氏名	発表場所（雑誌等名）	発表時期	国際・国内の別
強震動予測のためのスラブ内地震の特性化震源モデルの構築と検証	岩田知孝・浅野公之	第13回日本地震工学シンポジウム論文集, 1893-1898.	2010年11月	国内
Characterization of the Heterogeneous Source Model of Intraslab Earthquakes toward Strong Ground Motion Prediction,	Iwata, T. and K. Asano	Pure Appl. Geophys., <b>168</b> , 117-124.	2011年2月	国際

## (f) 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

**(3) 平成23年度業務計画案**

スラブ内地震の強震動予測のために、これまでの震源断層パラメータおよび地域性・深さ依存性の分析結果をもとに、特性化震源モデルを改良・検証し、モデル構築手法を提案する。これまでの研究成果のうち強震動予測のためのスラブ内地震の震源モデル構築手法を提供し、震源断層モデルのモデル化の研究成果取りまとめに協力する。

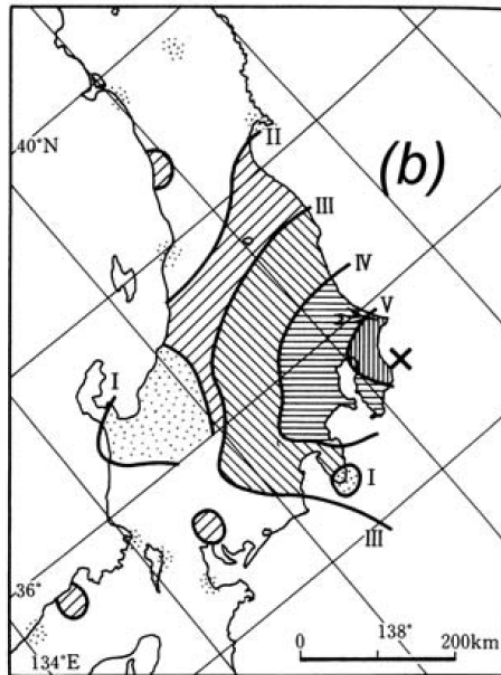


図1. 1987年千葉県東方沖地震の震度分布。上) 宇佐美(2008)の震度分布。下) 荒(2003)の千葉県内の詳細な震度分布。図面は石辺・他(2009)による。

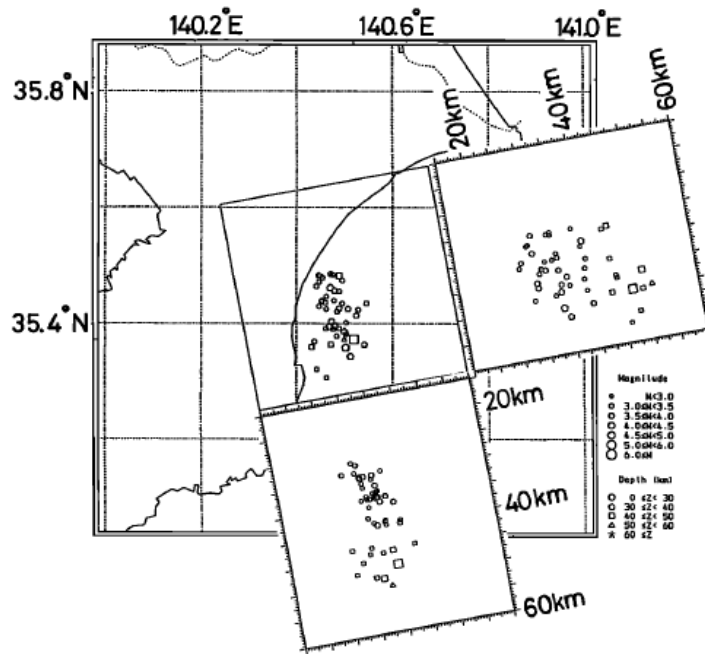


Fig. 3c. Distribution of aftershocks occurring within 1 day and cross sections by the NRCDP.

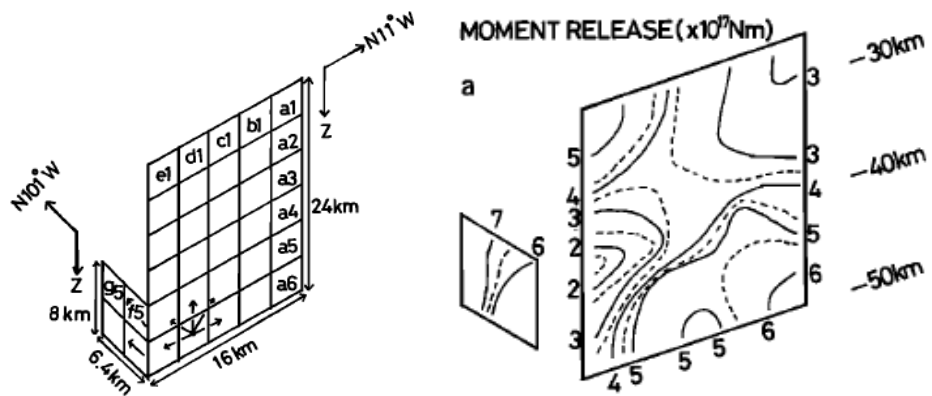


図 2 . Fukuyama(2001)による震源モデル。上) 余震分布と断層面。下左) 仮定した断層面。下右) モーメント解放量分布。



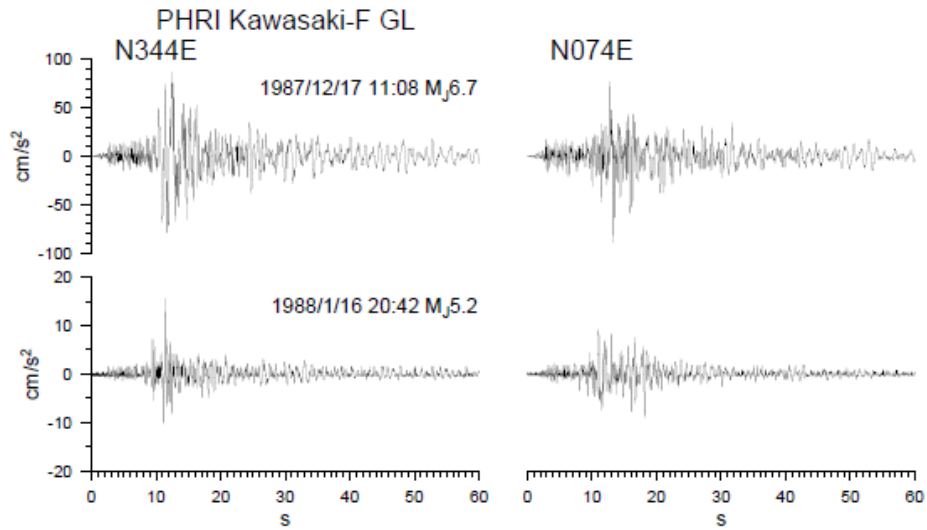


図 3 . 川崎観測点（港湾地域強震観測網）の本震及び最大余震の観測加速度記録（水平 2 成分）。

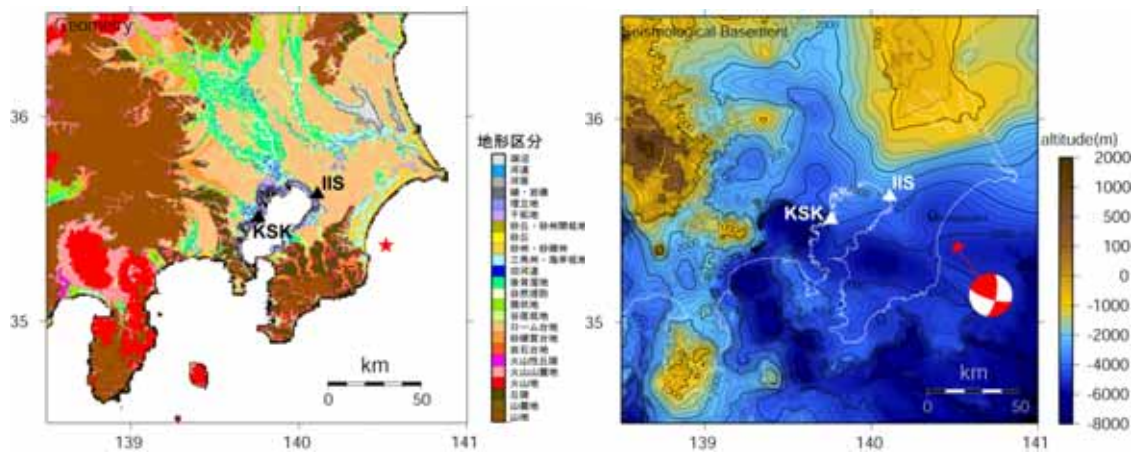


図 4 . 左 ) 地表面の地形区分 ( 若松・松岡、2006 )。右 ) 地震基盤標高分布 ( 内閣府、2004 )。

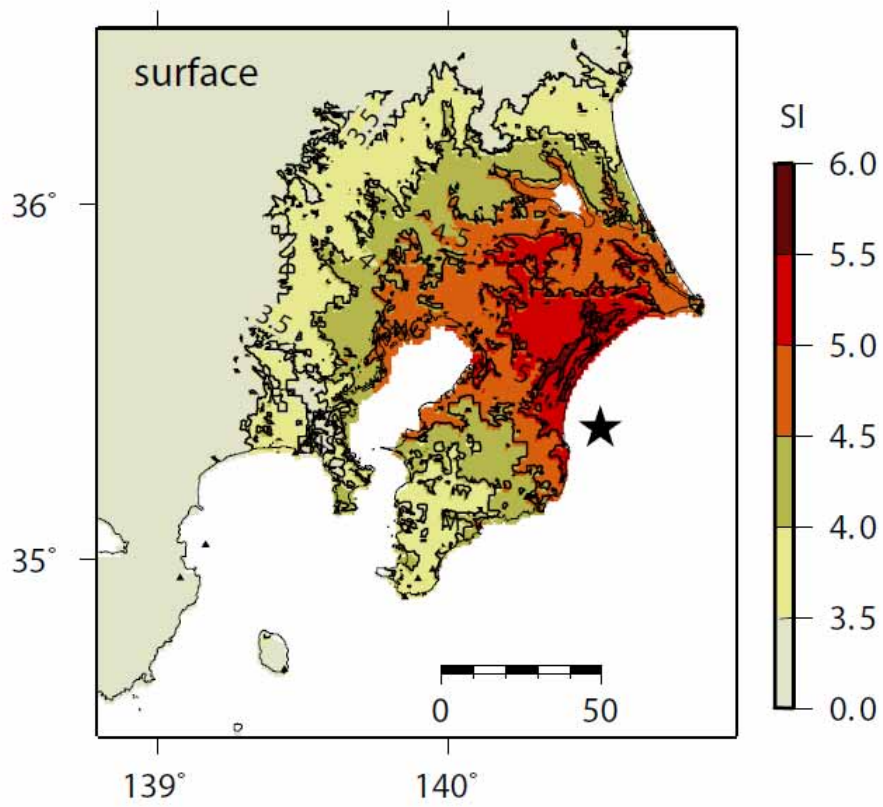


図5 . シミュレーションによって得られた計測震度分布。

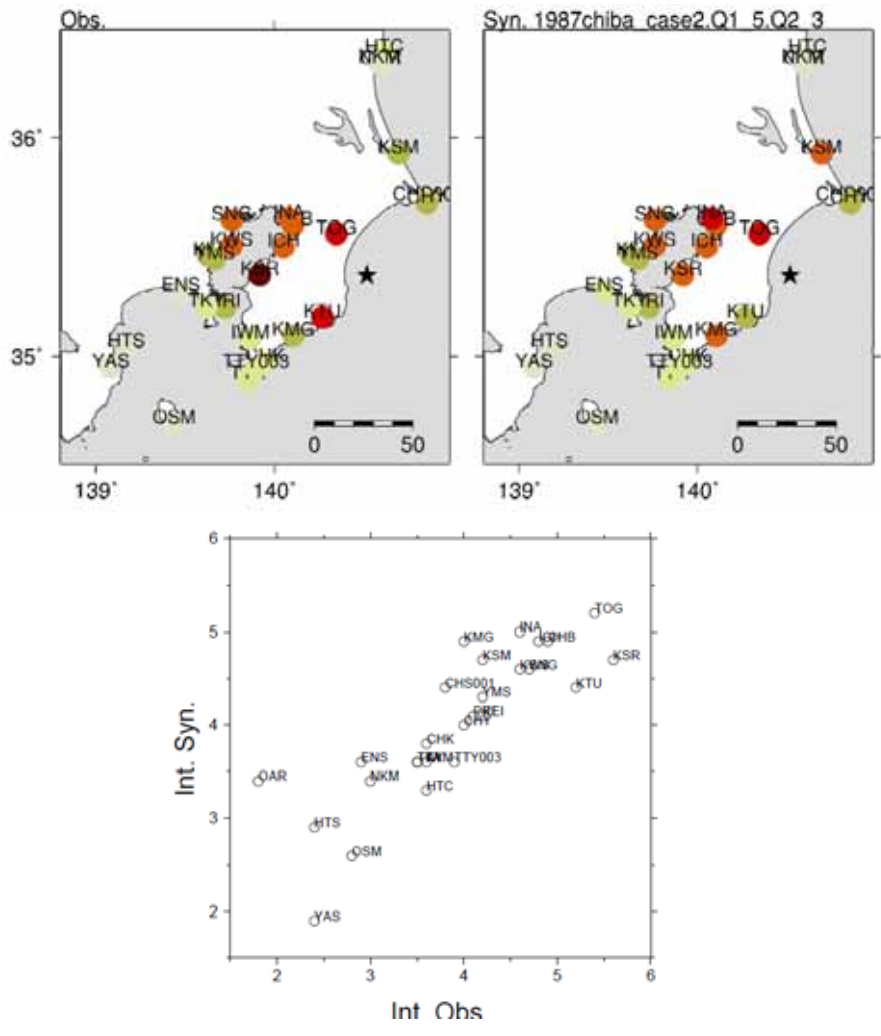


図6 . 強震観測波形から得られた計測震度 (Obs.) とシミュレーションによる震度 (Syn.) の比較。上) 地図での比較。下) 相関。