

全国地形分類図による表層地盤特性のデータベース化、  
及び、面的な早期地震動推定への適用

工学院大学 久保智弘、久田嘉章、柴山明寛  
防災科学技術研究所 大井昌弘、石田瑞穂、藤原広行  
ジオ・システム・ソリューション 中山圭子

**Development of Digital Maps of Site Amplification  
Factors in Japan, and Their Applications  
to Early Strong Motion Estimations**

**Tomohiro Kubo, Yoshiaki Hisada, Akihiro Shibayama**  
Kogakuin University, Dept. of Architecture  
Nishi-Shinjuku 1-24-2, Tokyo 163-8677, Japan

**Masahiro Ooi, Mizuho Ishida, Hiroyuki Fujiwara**  
National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention  
Tennodai 3-1, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

**Keiko Nakayama**  
Geo System Solution, Inc.  
Hikarigaoka 6-1-1-214, Nerima, Tokyo 179-0072, Japan

**Key Words: geomorphological land classification, digital map, site amplification factor,  
early strong motion estimation, attenuation relation, K-Net**

2002年3月30日 日本地震学会「地震」へ投稿  
2002年7月23日 日本地震学会「地震」へ再投稿  
発行：日本地震学会・地震、第56巻、pp. 21-37, 2003

## **ABSTRACT**

We developed digital maps of the geomorphological land classifications and the site amplification factors in Japan, and applied them to strong motion estimations immediately after earthquakes. For making the maps, we first digitized the geomorphological land classification maps of Japan (1:200,000 or 1:100,000 scale) and constructed 500 m mesh data. Then, we made up the maps of site amplification factors using the empirical relation by Midorikawa and Matsuoka (1995). We evaluated their accuracies by comparing the estimated strong ground motions with the records of K-Net for recent earthquakes in the Kanto area. We estimated the strong motions using the site amplification factors and the two methods: the attenuation relation (Si and Midorikawa, 1999), and an interpolation method using the records. We found that the second method gave more reliable results than the first method, because the first method strongly depended on accuracies of the source and path effects. However, since we may not be able to obtain quickly the strong motion records near highly damaged areas, it would be efficient to evaluate the strong motions using the first method immediately after an earthquake, then to replace them by the second method after getting the records. Finally, we compared the site amplification factors using the two methods. The first is based on the average of shear wave velocities from the free surface to the 30m depths using boring data. The second is the above-mentioned method based on the geomorphological land classifications. The comparisons showed that the first method was more accurate and reliable. Therefore, it is necessary to replace the digital maps of the site amplifications by those using the first method, when we obtain boring data.

## 1. はじめに

1995年阪神・淡路大震災を契機に、多くの自治体において活断層を考慮した大規模災害に対する地震防災対策の必要性が指摘され、新たな地震被害想定調査が行われ[例えば損害保険料率算定会(1998)]、また被害想定のための各種のツールも開発されている。例えば、内閣府は全国を網羅できる地震被害想定支援ツールを作成し、Web上で公開している〔内閣府(1999)〕。また消防庁でも簡易型地震被害想定システム[座間・細川(1996)、座間・他(2000)]を開発し、CD-ROMにて公開している。しかしながら、地盤データとして用いている国土数値情報は1 km 間隔の基準地域メッシュ(第3次地域区画)であり、また表層地形分類に基づく地盤増幅特性[松岡・翠川(1994)]を用いているため、精度と解像度に劣るということが問題点として挙げられる。一方、自治体の被害想定においては、原則として500mメッシュ(2分の1地域メッシュ)単位で行われており[例えば損害保険料率算定会(1998)]、またボーリングデータなども用いて地盤増幅特性を考慮しているため、より解像度と精度に優れていると考えられる。しかしながら地震動や被害推定は、各自治体ごとに独自の手法を用いているため、想定結果に隣県同士で不整合なども起こり、広域な地域を対象とした地震動・被害推定を行うことに難点がある。

一方、阪神・淡路大震災では地震直後での適切な地震災害情報の把握と、それに基づいた初動体制の遅れという問題も指摘された。その結果、国・自治体、企業などでは大規模な地震計ネットワークの設置が行われ、様々な早期地震情報・被害予測システムが起動するようになった〔例えば翠川(1996)〕。例えば気象庁では全国で約600点の震度計ネットワークを整備し、震度情報を地震発生から約2分後にはテレビなどで一般に公表している[例えば、横田(2002)]。一方、内閣府では緊急災害対策本部等の応急対策実施を支援するための地震防災情報システム(DIS)の整備を進めている[例えば、桐山(2000)]。DISには気象庁の震度情報から被害推定を行うEES(地震被害早期推計システム)が含まれているが、推定手法には国土数値情報による地震被害想定支援マニュアル〔内閣府(2001)〕を用いており、解像度は1kmメッシュである。また2000年鳥取県西部地震や2001年芸予地震の際、EESは被害を過大に評価しており、評価法の見直しが行われている〔例えば、翠川(2002)〕。一方、自治体や企業では独自の高密度な地震計ネットワークを用いた早期地震防災システムを開発している。例えば、横浜市では約2 km 間隔で市内150箇所に強震計を配置しており、これを利用した早期地震防災システム(READY)を開発した〔Midorikawa et al.(2000)〕。また東京ガスのSUPREME[清水・他(2002)]ではSIセンサーを首都圏の約3700箇所という高密度で設置し、それぞれ早期地震防災システムを構築している。一方、海外でも同様な試みが行われており、米国・南カルフォルニアではCalifornia Institute of Technology (Caltech)、U.S. Geological Survey (USGS)、及びCalifornia Division of Mines and Geology (CDMG)が共同して強震観測ネットワーク(TriNet)を開発している。このシステムを用いて、地震後に数分間で地表加速度・速度・震度マップ(Shake Map)をWeb上で公開している〔Wald et al. (1998)〕。

一方、独立行政法人・防災科学技術研究所では近年、高感度地震観測網 (**Hi-net**)、広帯域地震観測網 (**FREESIA network**, 2002 年 4 月より **F-net**)、強震観測網 (**K-NET**, **KiK-net**) を整備してきており、それを活用したリアルタイム地震情報伝達システム (**ROSE; Real-time Operation System for Earthquake**) [大井(2001)、石田・大井 (2002)] の開発を進めている。このシステムでは地震発生後、数分以内に震源決定を行い、距離減衰式を用いた面的な地震動推定を行う予定である。さらに強震観測記録が得られ次第、推定地震動の精度を向上させ、得られた推定結果を **Web** 上にて公開することを予定している。

本研究の目的は、防災科学技術研究所のリアルタイム地震情報伝達システム (**ROSE**) の基礎となる全国の地盤増幅特性マップを整備し、さらに距離減衰式及び強震記録を元にした地震動推定の精度のチェックを行うことにある。現在、利用可能な全国規模での表層地盤の数値地図は、**1km** メッシュ (基準地域メッシュ) の地形分類図である国土数値情報のみである。最近、若松・他(2002)は国土数値情報と土地分類基本調査による縮尺 5 万分の 1 の地形分類図を基にした精度の高い **1km**メッシュの地形分類データを作成中である。それに対して本研究では全国土地分類図の地形分類図を独自にデジタル化し、まず **500m** メッシュ単位で地形分類図のデータベースを作成する。次に内閣府の地震被害想定支援ツールをもとに、全国を網羅する **500m** メッシュの地盤増幅マップを構築する。さらに関東平野を対象として、地震被害想定支援マニュアルをもとに、距離減衰式と **K-NET** による強震動記録を用いた面的な地震動推定を行い、実際に観測された強震記録の結果との比較から精度の検討を行う。その際、地盤増幅特性の評価は地形分類と標高データをもとにした手法 [松岡・翠川 (1994)、翠川・松岡(1995)] と、ボーリングデータをもとにした手法 [Midorikawa et al. (1994)] の比較検討も行う。最後に、面的に推定した震度と気象庁による震度と比較を行い、精度の検討も行う。

## 2. 表層地盤特性のデータベース化

全国を対象に面的な地震動推定を行うため、本研究ではまず地形分類図をもとに **500m** メッシュ単位での表層地盤特性のデータベースを作成する。同時に国土数値情報の **1km** メッシュ単位の地形分類図との比較を行い、解像度を比較検討する。次に、本研究で用いる地震被害想定支援マニュアルによる速度の増幅率マップの作成法を簡単に説明する。増幅率は(1)式による経験式 [Midorikawa et al. (1994)] を用いる。

$$\log R = 1.83 - 0.66 \log AVS_{30} \quad (1)$$

ここで  $R$  は工学的基盤に対する表層地盤による速度の増幅率、 $AVS_{30}$  は地表から深さ **30m** までの平均 **S** 波速度 (m/s) である。 $AVS_{30}$  は地形分類と標高より以下の経験式 [松岡・翠川 (1994)、翠川・松岡(1995)] で評価する。

$$\log AVS_{30} = a + b \log H \quad (2)$$

ここで  $H$  は標高 (m)、 $a$ 、 $b$  は Table.1 により地形分類により決まる係数である。本研究では 500m メッシュの標高データとして、250m メッシュ [国土地理院(1997)] をもとに該当する 500m メッシュ内での平均値を求め使用した。一方、K-NET の観測点ではボーリングによる速度データが使用できるため、 $AVS_{30}$  の評価に用いた。但し、K-NET の観測点では深さ 20m までのデータしか使用できないため、司・翠川 (1999) の基準に従い最下層の値を深さ 30m まで引き伸ばして使用した。

500m メッシュ単位での地形分類図の作成は以下のように行う。Fig.1 に東京下町における例を示す。まず県別の土地分類図 (1/10 万または 1/20 万) [国土庁土地局国土調査課 (1976)] の地形分類図をスキャナーによりパソコンに取り込む (Fig.1a)。次に地理情報システム (GIS) を用いて地形分類図を緯度経度系に合わせ、2分の1地域メッシュ (500m メッシュ) と重ねる (Fig.1b)。さらに各メッシュの代表点 (中心点) から地形分類を読み取り (Fig.1c)、500m メッシュの地形分類図を作成する (Fig.1d)。但し、ここでは地形分類図において自然堤防・砂州となっている場合は自然堤防としている。Fig.1e には比較のため国土数値情報の 1km メッシュの地形分類図を示しているが、Fig.1a の地形分類図や Fig.1d の 500m メッシュ地図に見られる沖積谷や埋立地などの微細な地形が表現できていないことが分かる。但し、ここで作成した 500m メッシュの地形分類図では、代表点としてメッシュ中心点を用いているため、Fig.1d に見られるように例えば中心点が河川である場合、メッシュ全体を河川として評価してしまうことに注意を要する。今後はメッシュ内での地形分類図の面積比を考慮して代表点を決定するなどの改善の余地がある。

同様な作業を全国の地形分類図に対して行い、500m メッシュの地形分類図、さらには Fig.2 に示すように式 (1)、(2) を用い 500m メッシュの速度増幅率マップを作成した。さらに地震動評価の例として、次章で説明する 2000 年 6 月の千葉県北東部の地震を対象とし、Fig.3a には距離減衰式を用いた工学的基盤における最大速度分布を、Fig.3b には地表における最大速度分布を示す。表層地盤の増幅特性により基盤上の単純な最大速度分布が複雑な分布へと変わり、表層地盤特性の評価の重要性が分かる。

次に、得られた全国の 500m メッシュの表層地盤データベースと、国土数値情報との比較を広域な地域を対象として行う。Fig.4 には例として関東地方を含む地域メッシュコード 5339 (80km×80km, Fig.3 を参照) を対象として、国土数値情報の地形分類コード (Table.1) から、該当する 1km メッシュ内での 500m メッシュ地形分類コードを引いた値を図示する (Fig.4 各図の地形分類は 1km メッシュによる)。図より、「山地」、「台地」、「河川・その他」など、地形が比較的単純な地域では、コード差がほぼ 0 に集中しているが、「扇状地」、「自然堤防」、「谷底平野」、「三角州」などの地形が入り組んでいると考えられる地域ではコードの差異が目立っている。また「埋立地」ではコード差が 0 の次に 8 の値が目立っているが、これは 1km メッシュで埋立地 (コード 8) と与えられている地域が、500m メッシュでは海や河川 (コード 0) と評価されているためである。

以上のことから既存の国土数値情報と比較し、本研究で作成した 500m メッシュの地形

分類図データベースはより微細な地形分類を表現しており、全国を対象とした面的な地震動推定に用いるのに有効であるといえる。次章では、実際に観測された強震記録を用いて、ここで作成した表層地盤による増幅率のデータベースと、地震動推定手法の妥当性を検討する。

### 3. 地震動推定法

地震動推定には地震被害想定支援マニュアルをもとに2つの推定方法を用いる。ひとつは震源データから距離減衰式を用いて地震動推定を行う方法である。**Fig.3** 及び **Fig.5a** に示すように、まず工学的基盤上の最大速度を求め、(1)式による地盤増幅率を乗じて地表面における最大速度を求める。距離減衰式として、ここでは司・翠川 (1999) を用いる。

$$\log V = b - \log(X + c) - k * X$$

$$c = 0.0028 * 10^{0.50 * M_w}$$

$$b = a * M_w + h * D + \sum d_i * S_i + e \quad (3)$$

$$k = 0.002$$

ここで、 $V$ は最大速度値 (cm/s)、 $X$ は断層面からの最短距離[km]、 $k$ は粘性減衰係数、 $M_w$ はモーメントマグニチュード、 $D$ は震源深さ(km)、 $a, h, d_i, e$ はTable.2より求まる係数である。 $S_i$ はダミー変数で、断層タイプから決まる係数であり、断層のタイプは、地殻内地震、プレート間地震、プレート内地震と分類されている。(3)式は同じ距離にある場合、プレート間地震、地殻内地震、プレート内地震の順番で最大速度値が大きくなる特徴がある。

もうひとつの地震動推定法は、強震観測データを補間して任意点における地震動を求める方法である。**Fig.5b** に示すように、この方法では、まず観測された各点における強震観測データの最大速度値から、それぞれの地盤増幅率で除して工学的基盤上での最大速度値を求める。次に、求めたい任意点から最大 50km 以内かつ最大 5 点の観測点における工学的基盤上の最大速度値を用いて、(4)式による距離の重み付けを行い、任意点における最大速度値を算出する。最後にその任意点における増幅率を乗じて地表面における最大速度の推定値を求める。

$$V_b = \frac{\sum_{i=1}^5 \frac{V_{bi}}{d_i}}{\sum_{i=1}^5 \frac{1}{d_i}} \quad (4)$$

ここで、 $V_b$ と  $V_{bi}$ は任意点と  $i$  観測点における工学基盤面での最大速度値、 $d_i$ は任意点と  $i$  観測点における距離を表す。この補間推定法は、観測値の抽出が機械的に行えるため、即時的な地震動推定に適している。

地震動推定に必要な表層地盤による増幅率は 2. で述べたボーリングデータの平均 S 波速度から計算したものと、地形分類と標高から算出したものの 2 つの方法を用い、比較検討する。

震度  $I$  は、地震被害想定支援マニュアル〔内閣府(2001)〕により最大速度値  $V$  から次式を用いて推定する。

$$I = 2.02 * \log V + 2.4 \quad (5)$$

一方、**K-NET** の強震記録から計測震度を計算し、面的な震度推定を行う場合は、(5)式を用いて各観測点の最大速度に変換し、上記の補間法を用いて行う。

#### 4. 表層地盤特性と地震動推定法の検討

##### 1) 対象とする地震と強震観測データ

上記に示した表層地盤特性データと地震動評価法による推定値と、実際に観測された強震記録を比較することによって手法の妥当性を検討する。近年、関東地方で観測された地震記録のうち広範囲な地域でデータが得られた **Table.3** に示す 3 つの地震を選んだ。表の震源パラメータは、千葉県東方沖地震では東京大学地震研究所 (1996) より、東京湾の地震及び千葉県北東部地震では防災科学技術研究所の **F-net** による値 [防災科学技術研究所 (1998), (2000)] を用いた。Fig.6 にはそれぞれの地震で使用する **K-NET** の観測点および震源位置を示す。

本研究での地震動の比較は、最も簡便な強震動の尺度の一つである観測震度と推定震度で行う。すなわち、観測震度は **K-NET** により観測された加速度波形から定義通り [気象庁 (1996)] に計算した計測震度を用い、推定震度は推定した地表最大速度から (5) 式により算出した震度を用いる。

##### 2) 距離減衰式による推定結果

距離減衰式は司・翠川 (1999) による (3) 式を用いるが、**Table.2** のパラメータ  $d$  を決定するための断層タイプは、対象とした地震の震源の深さが **50km** から **59km** と深いため、ここでは地震直後における早期の地震動推定を目的とすることから、推定値が安全側に (大きめに) 評価されるようにすべてプレート内地震とした。

**Fig.7** は、横軸に距離減衰式と (5) 式により求めた推定震度を取り、縦軸に観測された計測震度をとった時の散布図である。図中、地形分類図による増幅率を使用した結果 (**Method A** とする) を黒印で、それらの最小二乗法による近似線を太い線で示した。また、ボーリングデータによる増幅率を使用した結果 (**Method B** とする) を白印で、散布図の最小二乗法による近似線を細い線で示している。正解値である対角線 (破線) と比較すると、千葉県東方沖地震や東京湾の地震では、どの増幅率を用いても推定結果にはそれほど違いが見られないが、千葉県北東部の地震では、推定結果が過大評価となっている。従って距離減衰式による地震動推定は不安定な結果を示すことがわかる。

**Fig.8**は推定震度から観測震度の値を引いた誤差のばらつきの分布図を示したものである。図中、地形分類図による増幅率を使用した結果を実線で、ボーリングデータによる増幅率を使用した結果を破線で示す。また、**Table.4**は、**Fig.7**の散布図から求めた相関係数と、**Fig.8**の分布図から求めた誤差の平均値及び標準偏差を示す。**Fig.8**では、千葉県東方沖地震や東京湾の地震ではほぼ誤差が0軸に近いところでデータが集中しているものの、千葉県北東部の地震では推定値が過大に評価されているため、+1付近にデータが集中している。また地形分類図(**Method A**)とボーリングデータ(**Method B**)による結果を比較すると後者の方が誤差は0に近いことがわかる。また**Table.4**より、いずれの地震でもボーリングデータによる結果が地形分類図による結果よりも高い相関係数を示し、誤差の平均値と分散も小さな値となっている。また千葉県北東部の地震では誤差の値が大きく、推定値が過大に評価していることが分かる。

以上のことから距離減衰式と表層地盤特性を考慮した地震動推定法を用いると、簡便に面的な地震動推定が行え、かつ比較的良好な推定結果が得られるものの、場合によっては結果が大きな誤差を示すなど不安定な結果を示すことが分かった。ここで使用した距離減衰式はあくまでも全国の平均値であるため、今後は地域ごとの震源・伝播・地盤特性を考慮して、より精度の高いものに改善していくことが望ましい。一方、ボーリングデータによる増幅率は、地形分類図による増幅率よりも精度が高いことも確認できた。

### 3) 強震動データによる推定結果

**Fig.9**は**Fig.7**と同様に、対象とする観測点の周辺の強震動データから(4)式による補間法を用いて推定した震度を横軸にとり、対象とする観測点の観測された計測震度を縦軸にとった時の散布図を示す。地形分類図による結果(**Method A**)を黒印で、それらの最小二乗法による近似線を太い線で示し、一方、ボーリングデータによる結果(**Method B**)を白印、それらの最小二乗法による近似線を細い線で示している。**Fig.7**と比べると、ややばらついているものの、正解値である対角線上に近く、どの地震でも安定した結果を示している。

**Fig.10**は観測値と推定値の誤差の分布図を、**Table.5**は相関係数、誤差の平均値、及び標準偏差を示す。**Fig.10**から、いずれの地震でも誤差が0軸に集中していることがわかる。また地形分類図とボーリングデータによる結果を比較すると、**Table.5**に見られるように後者の方が相関係数の高さや、標準偏差の小ささなどから良好な結果を示している。一方、距離減衰式を用いた結果(**Fig.8**、**Table.4**)と比較すると強震動データによる推定結果はばらつき(標準偏差)がやや大きくなっている。これは距離減衰式では、対象とするサイトの増幅率を一度だけ用いるのに対し、補間法ではサイトの増幅率に加え、周辺の観測点(最大5点)における増幅率も用いるため、経験式である(1)式の誤差がより大きく評価されてしまうためだと考えられる。従って観測点ごとの増幅率の精度を向上させることが今後の重要な課題である。

以上のことから強震動データを用いた推定結果は、距離減衰式のように震源データや伝

播特性の精度に依存しないため、安定した結果を示すことが確認された。また距離減衰式による場合と同様に、ボーリングデータによる増幅率の方が地形分類図による増幅率より精度が高いことも確認できた。

#### 4) 気象庁震度との比較

最後に、推定した面的な震度と気象庁発表の計測震度と比較検討する。推定する面的震度分布として、上で説明した距離減衰式を用いた方法と、**K-NET**の最大速度から補間法を用いて推定した方法とに加え、**K-NET**から計測震度を計算し、それを補間して推定した方法、の3ケースを比較する。**K-NET**の計測震度を補間する際、(5)式を用いて最大速度に変換して行った。参考としてFig. 11に1996年東京湾の地震と2000年千葉県北東部地震に対して、観測した最大速度値と、計測震度から速度値に変換した値とを比較する。また、ここでは表層地盤の増幅率はすべて地形分類によるものを使用する。図よりこの地震の場合、計測震度から変換した速度値は、実際の最大速度値より大きめに評価されることが分かる。

次にFig. 12とFig. 13に、1996年東京湾の地震、及び2000年千葉県北東部地震について、距離減衰式を用いた震度分布と**K-NET**の最大速度を用いた震度分布、及び**K-NET**の計測震度を用いた震度分布を示す。図には気象庁発表による計測震度の値も同じスケールで示している〔地震予知総合研究振興会(1998)、(2000)〕Fig. 12では3手法による違いは明瞭ではないが、Fig. 13では距離減衰式による推定結果は関東平野全域で過大な評価となっており、一方、他の2手法では明瞭な差は見られない。さらに2つの地震についてFig. 14とFig. 15には、縦軸に気象庁の計測震度を取り、横軸には3手法で推定した震度をとった散布図を示す。気象庁の計測震度は5弱を5とし、1~5の整数値であるのに対し、推定した震度は実数値で表示している。各図にある数値は、気象庁の計測震度に対する推定震度の誤差の平均値を示している。Fig. 14では距離減衰式による推定結果が他の2つの推定結果よりも良好な結果を示しているが、Fig. 15では逆に距離減衰式による推定結果は他の2つよりも過大な評価となっている。両図より、強震観測データを用いた推定方法は、距離減衰式による推定方法より震源パラメータや伝播特性の精度に依存しない点では安定した結果を示すが、より大きな結果のばらつきを示している。これは強震観測データを補間する際、多数の観測点を用いているため、各観測点のサイト特性の誤差が累積されていることを示唆している。今後は観測点ごとにサイト特性の精度を向上させることが大きな課題である。一方、**K-NET**の計測震度による推定値は、最大速度値による推定値に比べ、やや過大に評価する傾向が見られる。これはFig. 11に示したように、計測震度から変換した速度値は、実際の最大速度値より大きめに評価されているためである。さらに計測震度による推定値は最大速度値による推定値よりも大きな誤差を示しているが、これは使用した表層地盤の増幅率が最大速度の増幅率に対応し、より広い周期帯域を持つと考えられる計測震度には対応できていないことが一因と考えられる。従って、計測震度を用いて面的な地震動推定を

行う場合、広い周期帯域を持つ計測震度に関する地盤の増幅特性を適切に評価する必要がある。

## 5. 議論及びまとめ

本研究では全国を対象に、地震直後における早期の地震動推定を行うことを前提として、表層地盤特性を考慮した地震動推定を行い、関東平野を対象に実際に観測された強震記録との比較から精度を検討した。まず全国の表層地盤特性のデータベースを作成するため、地形分類図をデジタル化し、全国の **500m** メッシュの地形分類図と、地震被害想定支援ツール〔内閣府(1999)〕を用いた表層地盤による速度の増幅率マップを作成した。国土数値情報の **1km** メッシュによる地形分類図と比べると、ここで作成した地形分類図は谷底平野など微細に入り組んだ地形も評価でき、より解像度の高いデータベースとなっていることを確認した。

次にデジタル化した増幅率マップを用いて、距離減衰式及び強震動データによる補間法を使用した地震動（震度）の推定を行い、実際に観測された強震記録による計測震度との比較から精度を検討した。その結果、強震観測データによる推定結果は、距離減衰式のように入力データや伝播特性の精度に依存しないため、安定した結果を示すことが確認された。一方、計測震度を用いて面的な地震動推定を行う場合、計測震度に対応した地盤の増幅特性を評価する必要があることも明らかとなった。

以上より地震直後の即時地震動推定を行う場合、まず震源情報が得られた段階で、距離減衰式による暫定的な地震動推定を行い、その後、強震動データが得られた段階で逐次強震動データによる推定結果に置き換えて行くことが有効であると考えられる。特に地震発生後しばらくは、被害の甚大な地域からは強震動データが入手できない可能性があるため、強震動データが利用できるまで距離減衰式による推定結果を有効に活用すべきである。今後、距離減衰式を用いてより安定した結果を得るためには、高精度の震源パラメータに加えて、地下構造などの地域特性を適切に評価する必要がある。従って地域ごとの補正項を距離減衰に導入するなどの検討が必要になると考えられる。

一方、地形分類図による地盤増幅率と、**K-NET** 観測点におけるボーリングデータによる増幅率を比較すると、後者の方が高い精度を示すことも確認した。最近では **K-NET** などの強震動データを利用し、地域特性を考慮した地盤特性データも作成されている〔例えば、伊藤・川瀬(2001)、加藤(2001)、福和・他(1999)など〕。さらに計測震度に対応した地盤の増幅特性の評価も行われている〔例えば大西淳一,他(1999)〕。従って、様々な地域でボーリングデータや強震動記録を用いて、より精度の高い地盤増幅特性のデータベースを作成し、順次データベースのバージョンアップを図る必要がある。また自治体でも地震被害想定の実施の際、ボーリングデータ等を利用して地域特性を考慮した地盤データが整理されているため、それらのデータも有効に活用したいと考えている。

なお本研究でデジタル化したデータベースは一般に公開されているため、使用を希望す

る場合、著者まで連絡されたい。

## 6. 謝辞

本研究で地形分類のデジタル化を行うにあたり、工学院大学の今北統夫氏、佐久間景子氏、近藤 寿氏をはじめ、多くの学生に手伝って頂きました。また本論文は東京工業大学の翠川三郎氏、2名の査読委員によるご指摘・ご議論により改善されました。本研究は防災科学技術研究所との共同研究「地震素過程と地球内部構造の解明に関する総合研究(平成10～12年度)」、及び「強震動・震災被害予測システムに関する研究(平成13年度)」、大成建設との共同研究「GISを用いた地震被害予測システムの構築(平成11年度)」、文部科学省による学術フロンティア事業である「工学院大学 地震防災・環境研究センター」による研究助成によって行われました。地形分類図のデジタル化に際し、日本地図センターによる土地分類図を使用させて頂き、強震記録として K-NET のデータを使用させて頂きました。記して感謝させて頂きます。

## 文献

- 防災科学技術研究所, 1998, **Freesia** による地震のメカニズム情報 (8/28 東京湾の地震), <http://argent.geo.bosai.go.jp/freesia/event/tdmt/19980828234500/update1/index-j.html>
- 防災科学技術研究所, 2000, **Freesia** による地震のメカニズム情報 (6/3 千葉県北東部), <http://argent.geo.bosai.go.jp/freesia/event/tdmt/20000603085300/update2/index-j.html>
- 伊藤茂郎・川瀬 博, 2001, 統計的グリーン関数法による強震動予測法の検証と仮想福岡地震への適用, 日本建築学会構造系論文報告集, **540**, 57-64
- 石田瑞穂・大井昌弘, 2002, 地震情報伝達システム ROSE の開発、日本建築学会大会・災害部門パネルディスカッション、「インフォメーションテクノロジーと地震防災」資料集
- 加藤研一, 2001, K-NET 強震記録に基づく 1997 年鹿児島県北東部地震群の震源・伝播経路・地盤増幅特性評価, 日本建築学会構造系論文報告集, **543**, 61-68
- 気象庁, 1996, 震度の算出方法, 震度を知るー基礎知識とその応用ー
- 桐山孝晴, 2000, 国におけるリアルタイム地震防災システムのあり方, 第 2 回リアルタイム地震防災シンポジウム論文集ーリアルタイム地震防災の近未来の姿を探るー, 107-112
- 国土庁土地局国土調査課, 1976, 土地分類図 13(東京都)(1/10 万), (財)日本地図センター
- 国土地理院, 1997, 数値地図 250m メッシュ(標高), 財団法人日本地図センター
- 福和伸夫・荒川政知・小出栄治・石田栄介, 1999, GIS を用いた既存地盤資料を活用した都市域の動的地盤モデル構築, 日本建築学会技術報告集, **9**, 249-254
- 松岡昌志・翠川三郎, 1994, 国土数値情報とサイスミックマイクロゾーニング, 第 22 回地盤震動シンポジウム, 日本建築学会, 23-34
- 翠川三郎, 1996, 最近の強震計ネットワークについてー阪神大震災以降の動向ー, 建築防災, 12 月号, pp.12-16
- 翠川三郎・松岡昌志, 1995, 国土数値情報を利用した地震ハザードの総合的評価, 物理探査 Vol.48, No.6, 519-529
- Midorikawa, S., M. Matsuoka, and K.Sakugawa, 1994, Site effects on strong-motion records observed during the 1987 Chiba-ken-toho-oki, Japan earthquake, Proceeding of ninth Japan Earthquake Engineering Symposium, **3**, 85-90

- Midorikawa, S., S. Abe, 2000, Real-time assessment of earthquake disaster in Yokohama based on dense strong-motion network, 12WCEE, 1036
- 翠川三郎, 2002, リアルタイム地震防災システムの現状と利用例、日本建築学会大会・災害部門パネルディスカッション、「インフォメーションテクノロジーと地震防災」資料集 内閣府, 1999,内閣府地震被害想定支援ツール (1999 改訂版)  
[http://www.bousai.go.jp/manual/tool/tool\\_index.html](http://www.bousai.go.jp/manual/tool/tool_index.html)
- 内閣府, 2001,内閣府地震被害想定支援マニュアル (2001 改訂版)  
<http://www.bousai.go.jp/manual/manual.html>
- 日本地図センター, 1992, 数値地図情報 KS-156-1
- 大井昌弘, 2001, 地震情報伝達システム(ROSE), 強震観測ネットワークに関するシンポジウム 21 世紀の強震観測ネットワークとそのデータ流通をデザインするー鳥取県西部地震・芸予地震の経験を踏まえてー, 日本地震学会主催, 21-24
- 大西淳一・山崎文雄・若松加寿江, 1999, 気象庁地震記録の距離減衰式に基づく地点増幅特性と地形分類の関係, 土木学会論文集, 626, I-48, 79-91
- 司 宏俊・翠川三郎, 1999, 断層タイプ及び地盤条件を考慮した最大加速度・最大速度の距離減衰式, 日本建築学会構造系論文報告集, 523, 63-70
- 清水善久・小金丸健一・中山 渉・山崎文雄, 2002, 超高密度地震防災システム(SUPREME)の開発, 国土セイフティネットシンポジウムー広域リアルタイム地震ネット構築へ向けてー, 17-20
- 東京大学地震研究所, 1996, EIC 地震学ノート No.2 , Sep. 11,'96  
[http://wwweic.eri.u-tokyo.ac.jp/EIC/EIC\\_News/960911.html](http://wwweic.eri.u-tokyo.ac.jp/EIC/EIC_News/960911.html)
- 損害保険料率算定会, 1998, 地震被害想定資料集
- 横田 崇, 2002, 気象庁におけるナウキャスト地震情報への取り組み, 国土セイフティネットシンポジウムー広域リアルタイム地震ネット構築へ向けてー, 37-47
- 若松加寿江・松岡昌志・久保純子・長谷川浩一・杉浦正美, 2002, 全国地形・地盤デジタルマップの構築と K-NET,KiK-net 観測点の微地形特性, 第 11 回日本地震工学シンポジウム (投稿中)
- Wald D.J., V. Quitoriano, T.H. Heaton, H. Kanamori, and C. W. Scrivner, 1998, Trinet ``ShakeMaps``: Rapid generation of peak ground motion and intensity maps for earthquakes In Southern California, SMIP98 Proceedings, Oakland.
- 座間信作・細川直史, 1996, 簡易型地震被害想定システムの開発, 消防研究所報告, 82、26-33
- 座間信作・遠藤 真・細川直史・畑山 健, 2000, 簡易型地震被害想定システムの改良, 消防研究所報告, 90、1-10
- 地震予知総合研究振興会, 1998, 地震加速度情報の検索ページ,  
<http://www.adeq.or.jp/shindo/Screen/C9197.html>
- 地震予知総合研究振興会, 2000, 地震加速度情報の検索ページ,  
<http://www.adeq.or.jp/shindo/Screen/C20526.html>

表

**Table.1 Geomorphological land classifications and the corresponding coefficients for the site amplification factors**

classifications	classification code	coefficient		the extent of hight	
		<i>a</i>	<i>b</i>	lower	upper
Mountain	1	2.64	0	-	-
Plateau	2	2	0.28	10m	400m
Alluvial fan	3	1.83	0.36	15m	200m
Natural levee	4	1.94	0.32	5m	30m
Sand bar	5	2.29	0	-	-
Valley plain	6	2.07	0.15	10m	500m
Delta	7	2.34	0	-	-
Reclaimed land	8	2.23	0	-	-
River,others	0	-	-	-	-

**Table.2 The parameters for the attenuation relations (Si and Midorikawa, 1999).**

a	h	d			e
		crustal	inter-plate	intra-plate	
0.58	0.0038	0	-0.02	0.12	-1.29

**Table.3 Catalog of the three earthquakes used in this study.**

Earthquake	Date	Longitude	Latitude	Depth(km)	Mw	Mjma
Off Chiba	1996/9/11	141.3	35.7	59	6.1	6.6
Tokyo bay	1998/8/29	140	35.6	56	5.3	5.4
Chiba Northeastern	2000/6/3	140.8	35.7	50	6.1	5.8

**Table.4 The correlation coefficients from Fig.7, the average errors of the estimated seismic intensities, and the standard deviations from Fig. 8, for the (a) Off Chiba (b) Tokyo bay (c) Northeastern Chiba earthquakes. Methods A and B correspond to the amplification factors evaluated by the geomorphological land classification data and the boring data, respectively.**

Earthquake	Correlation coefficient		Average of error		Standard deviation of error	
	Method A	Method B	Method A	Method B	Method A	Method B
Off Chiba	0.824	0.876	0.196	0.002	0.455	0.424
Tokyo bay	0.772	0.850	0.132	-0.066	0.498	0.434
Chiba Northeastern	0.810	0.888	0.833	0.623	0.457	0.393

**Table.5** The correlation coefficients from Fig.10, the average errors of the estimated seismic intensities, and the standard deviations from Fig. 11, for the (a) Off Chiba (b) Tokyo bay (c) Northeastern Chiba earthquakes. Methods A and B correspond to the amplification factors evaluated by the geomorphological land classification data and the boring data, respectively.

<b>Earthquake</b>	<b>Correlation coefficient</b>		<b>Average of error</b>		<b>Standard deviation of error</b>	
	<b>Method A</b>	<b>Method B</b>	<b>Method A</b>	<b>Method B</b>	<b>Method A</b>	<b>Method B</b>
<b>Off Chiba</b>	0.818	0.856	0.140	0.140	0.446	0.405
<b>Tokyo bay</b>	0.693	0.757	-0.103	-0.122	0.574	0.512
<b>Chiba Northeastern</b>	0.734	0.818	0.096	0.065	0.524	0.447

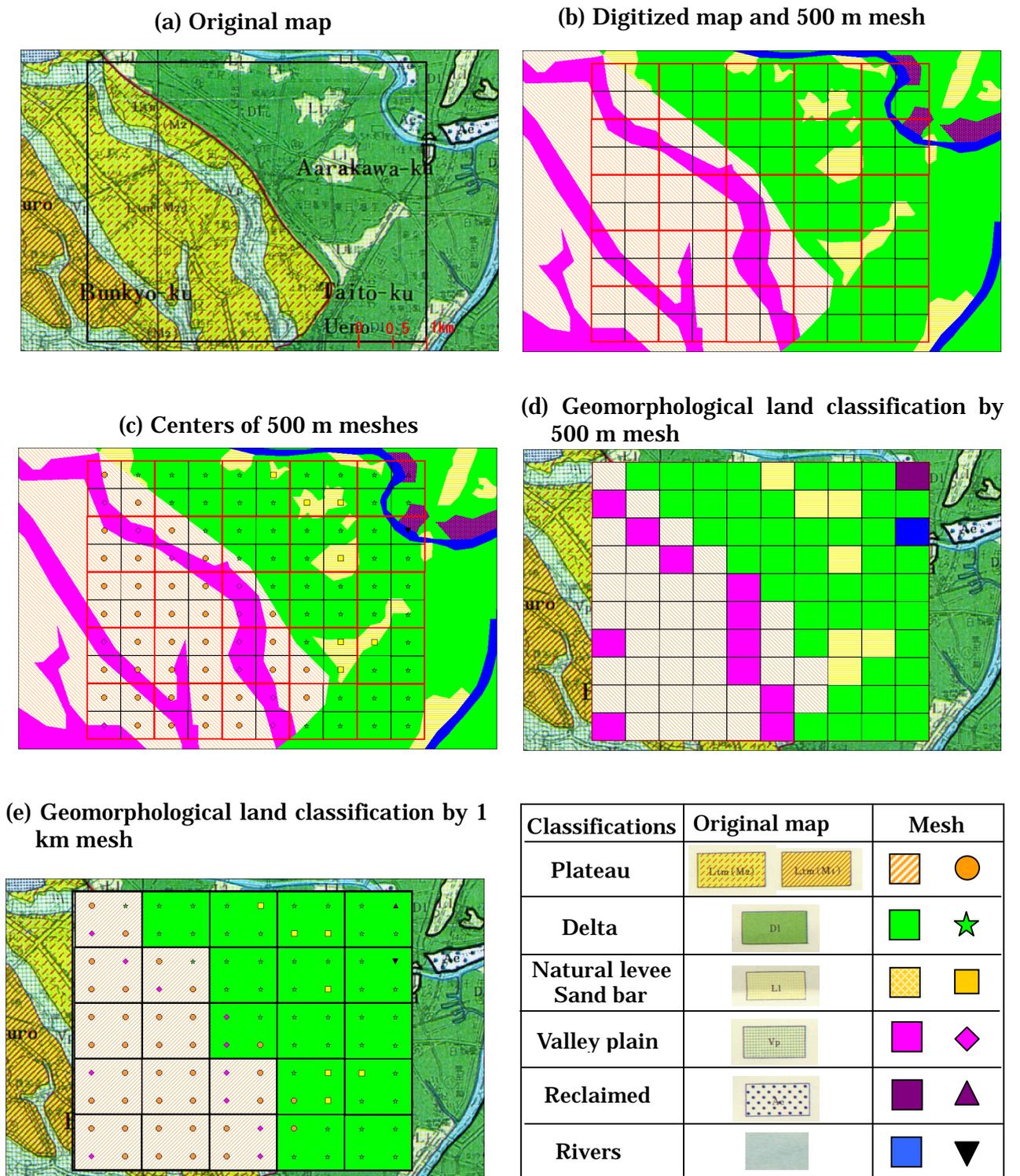


Fig.1 Maps of the geomorphological land classification in Arakawa-ward, Tokyo. (a) The original map of the geomorphological land classification. (b) The geomorphological land map digitized from the original map. (c) 500 m meshes and the central points in each mesh. (d) Map of the geomorphological land classification of 500 m meshes. (e) Map of the geomorphological land classification of the digital national land information (1 km mesh).

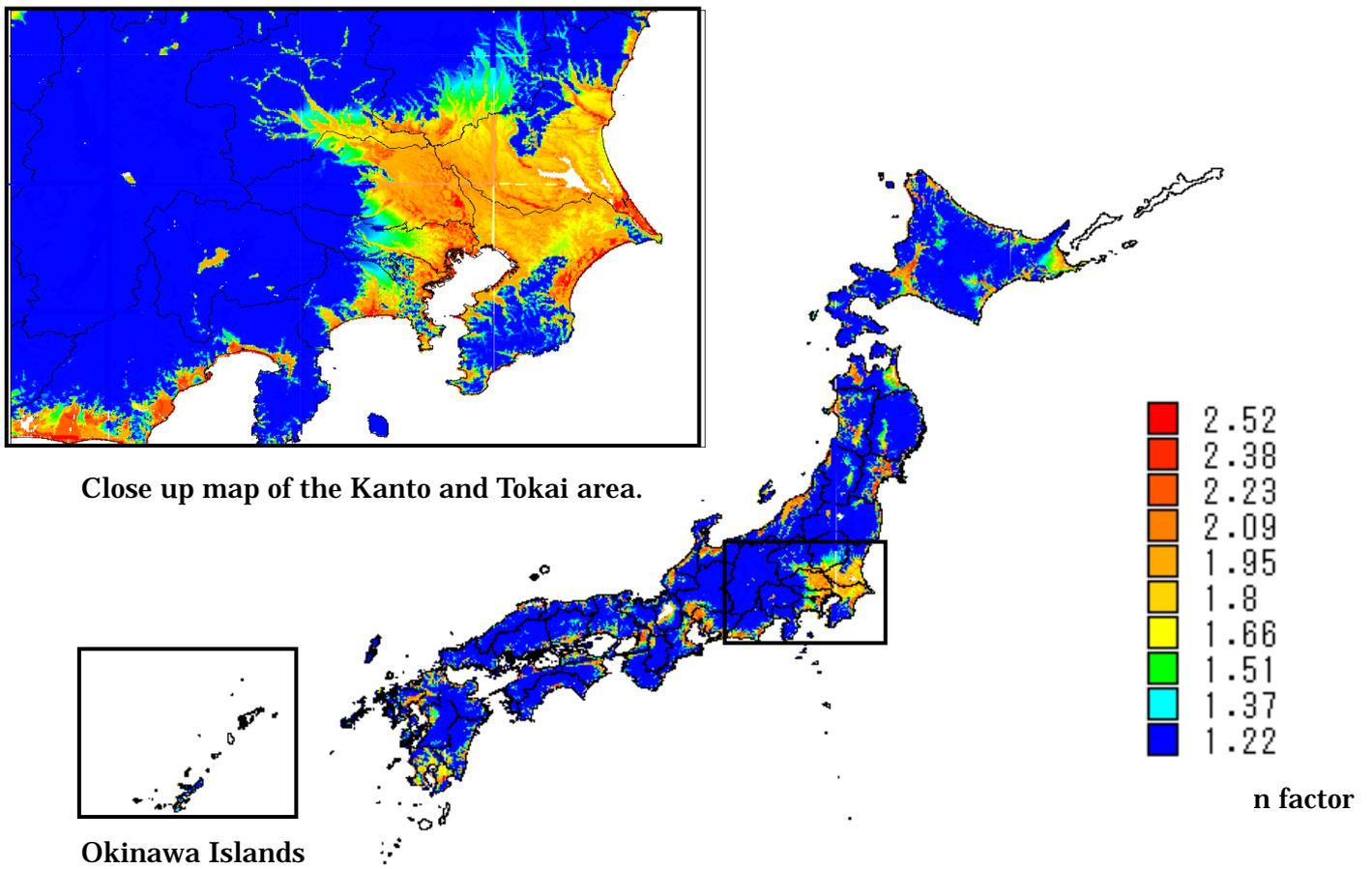
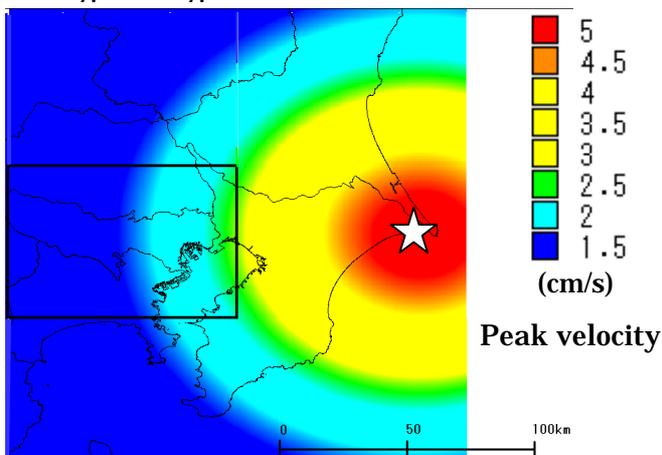


Fig.2 Map of the amplification factor using the 500 m mesh data.

(a) Distribution of peak velocity on engineering bedrock



(b) Distribution of peak velocity on free surface

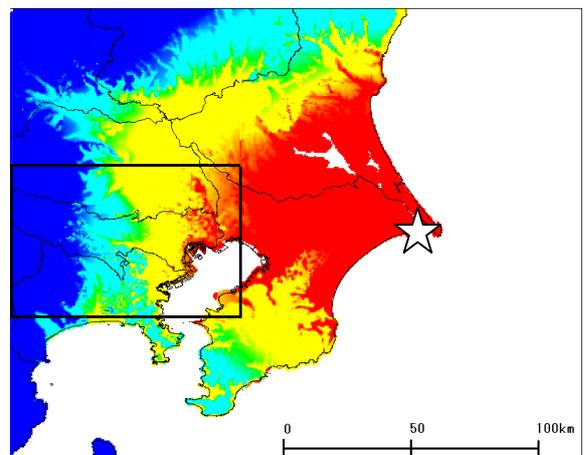


Fig.3 The distribution of peak ground velocities (a) on bedrock and (b) on surface for the 1966 Off-Chiba earthquake, using the attenuation relation (Si and Midorikawa, 1999) and the amplification factors developed in this study. The rectangular area indicates the mesh code 5339.

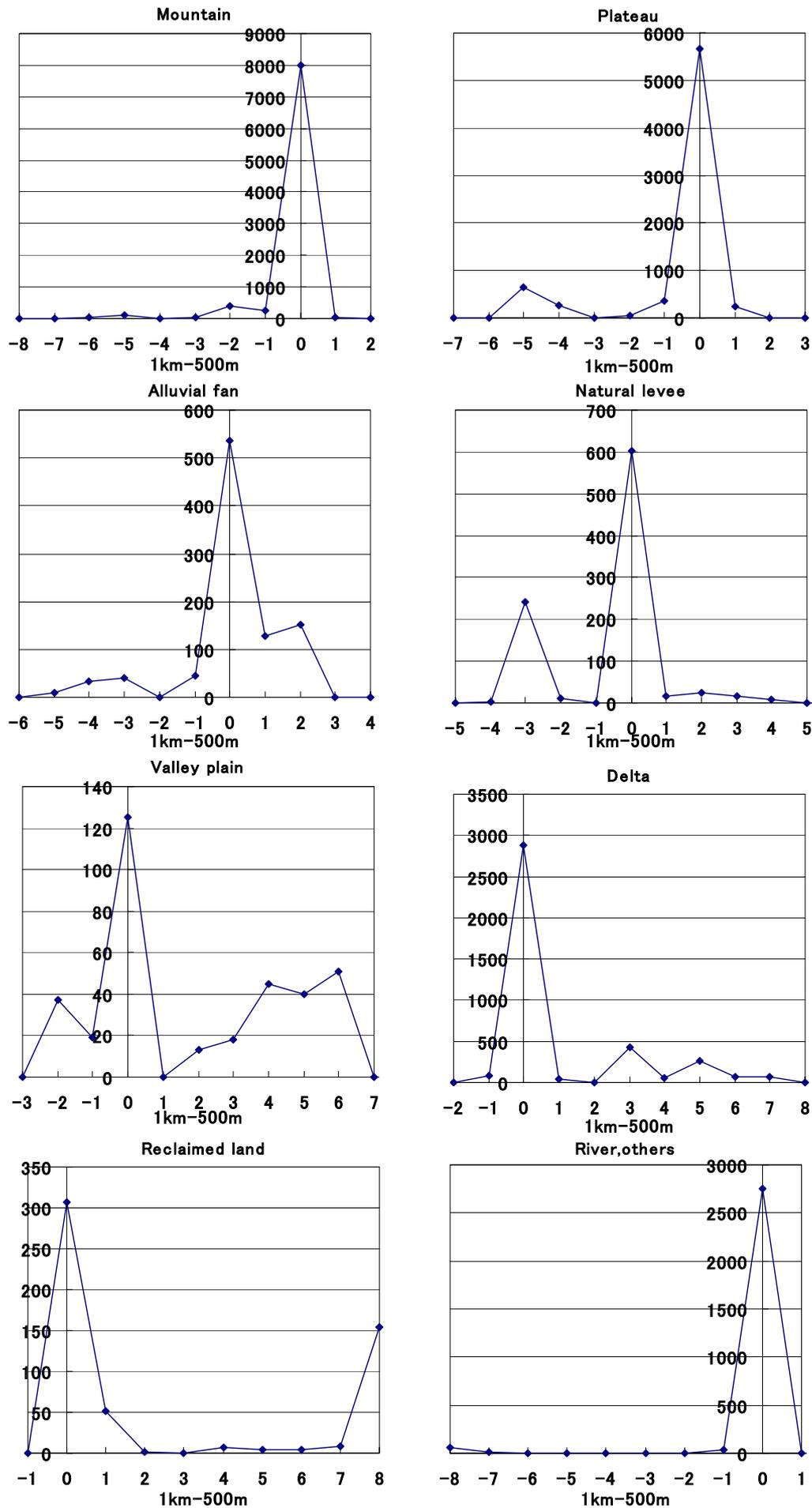


Fig.4 The distributions of differences of the geomorphological land classification code (see Table.1) between this study (500 m mesh) and the digital national land information (1km mesh).

(a) Estimation of peak velocity using the attenuation relation

(b) Estimation of peak velocity using strong ground motion records

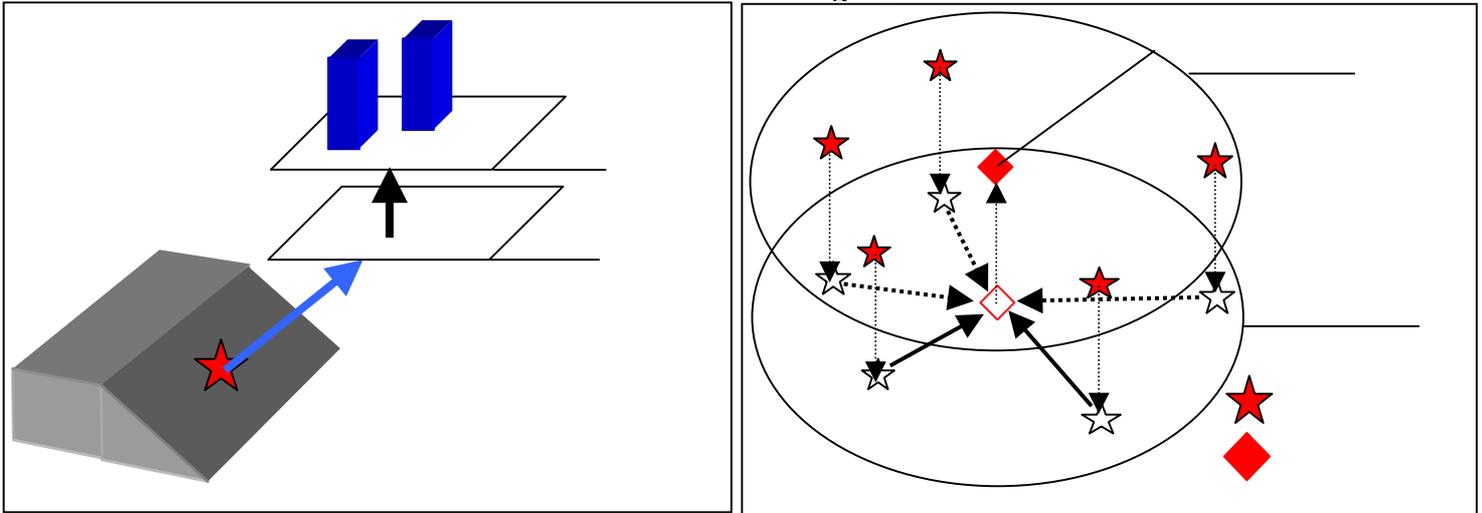
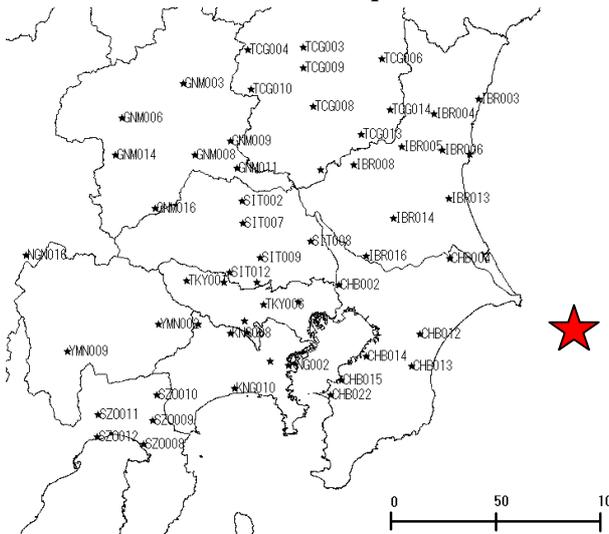


Fig.5 The methodologies for estimating the peak ground velocities using (a) the attenuation relations, and (b) the strong motion records.

(a) 1996 Off Chiba Earthquake

(b) 1998 Tokyo Bay Earthquake



(c) 2000 Northeastern Chiba Earthquake

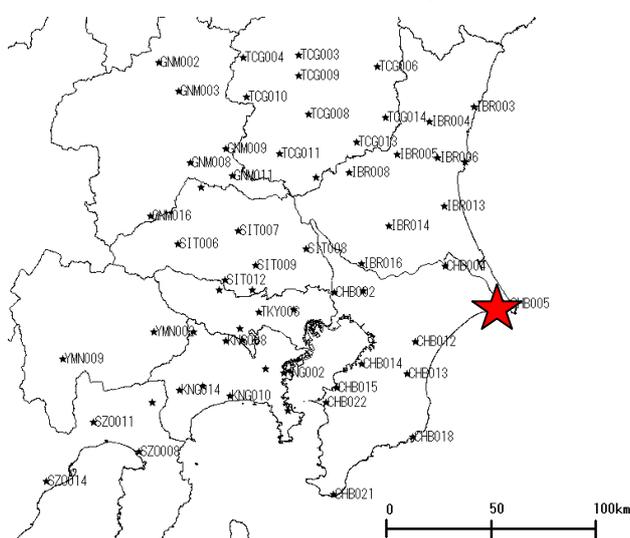


Fig.6 The locations of the epicenters and the K-Net stations for (a) Off Chiba, (b) Tokyo bay, and (c) Northeastern Chiba earthquakes.

(a) 1996 Off Chiba Earthquake (b) 1998 Tokyo Bay Earthquake (c) 2000 Northeastern Chiba Earthquake

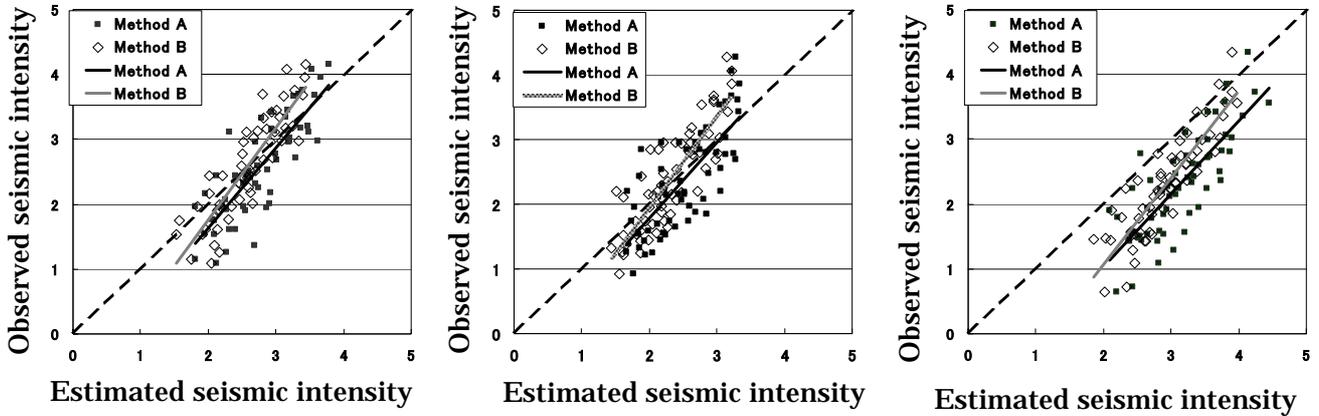


Fig.7 The comparisons of seismic intensities between the observations and the estimations using the attenuation relation, for the (a) Off Chiba (b) Tokyo bay (c) Northeastern Chiba earthquakes. Methods A and B correspond to the amplification factors evaluated by the geomorphological land classification data and the boring data, respectively.

(a) 1996 Off Chiba Earthquake (b) 1998 Tokyo Bay Earthquake (c) 2000 Northeastern Chiba Earthquake

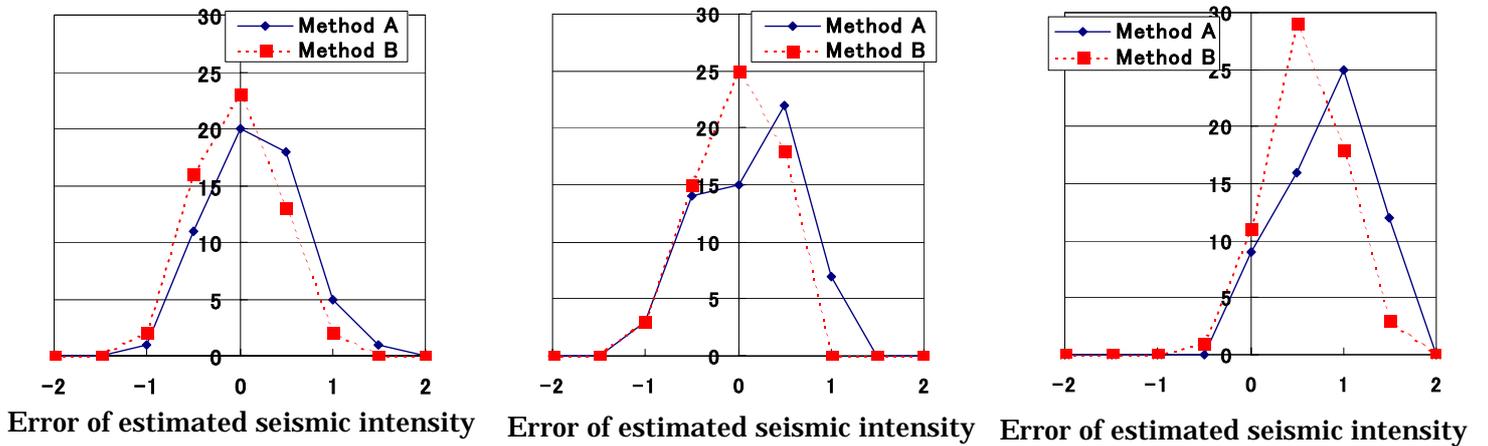


Fig.8 The distributions of the errors of the estimated seismic intensities as compared with the observed seismic intensities, for the (a) Off Chiba (b) Tokyo bay (c) Northeastern Chiba earthquakes (from Fig.7).

(a) 1996 Off Chiba Earthquake (b) 1998 Tokyo Bay Earthquake (c) 2000 Northeastern Chiba Earthquake

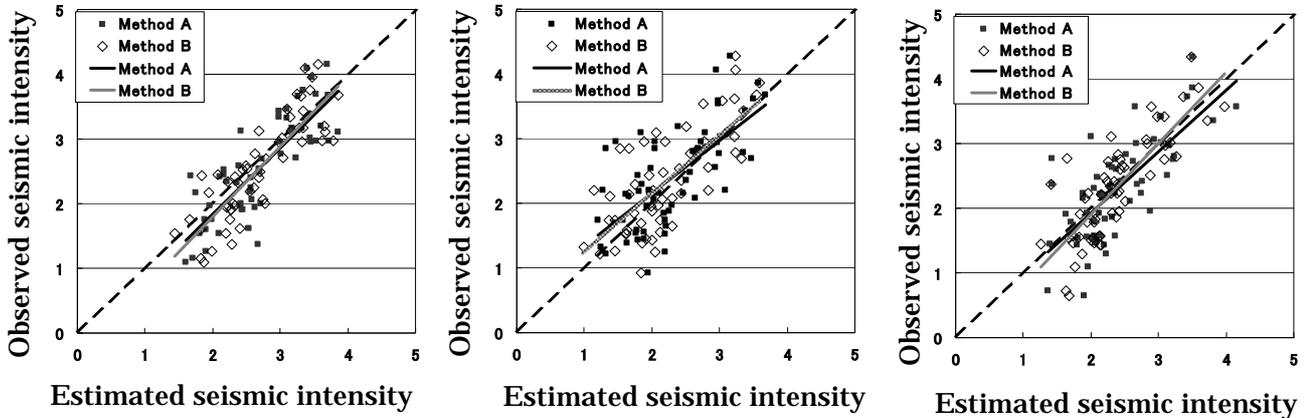


Fig.9 The comparisons of seismic intensities between the observations and the estimations using strong motion records, for the (a) Off Chiba (b) Tokyo bay (c) Chiba Northeastern earthquakes. Methods A and B correspond to the amplification factors evaluated by the geomorphological land classification data and the boring data, respectively.

(a) 1996 Off Chiba Earthquake (b) 1998 Tokyo Bay Earthquake (c) 2000 Northeastern Chiba Earthquake

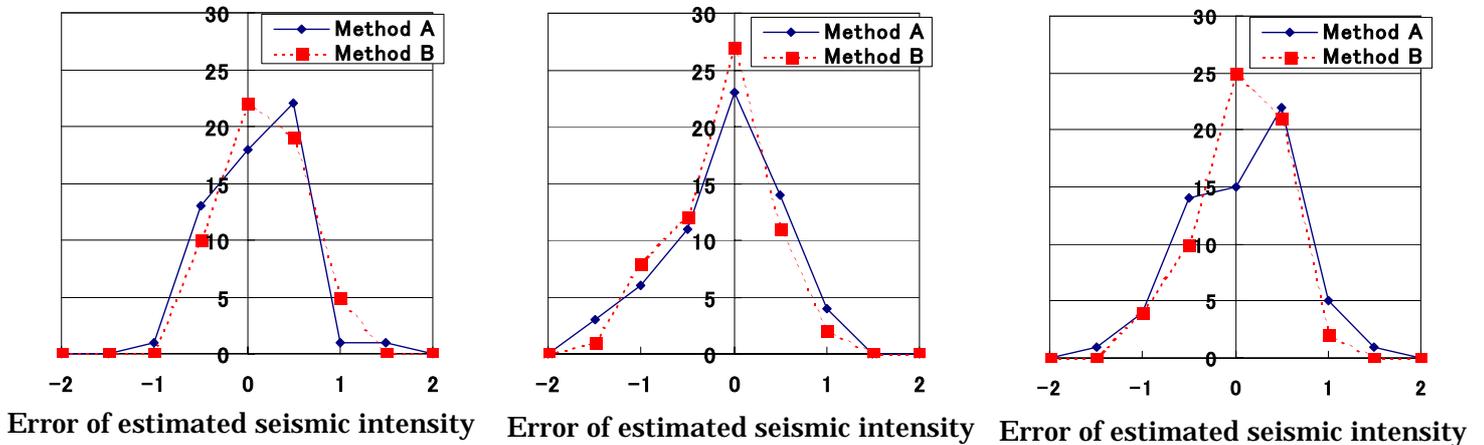
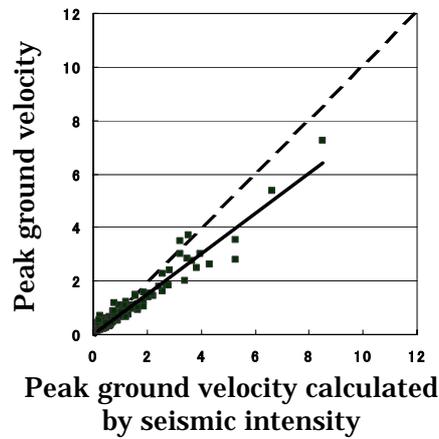


Fig.10 The distributions of the errors of the estimated seismic intensities as compared with the observed seismic intensities, for the (a) Off Chiba (b) Tokyo bay (c) Northeastern Chiba earthquakes (from Fig.9).

(a) 1998 Tokyo Bay Earthquake



(b) 2000 Northeastern Chiba Earthquake

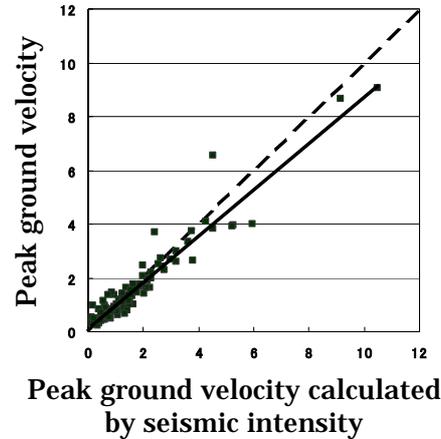
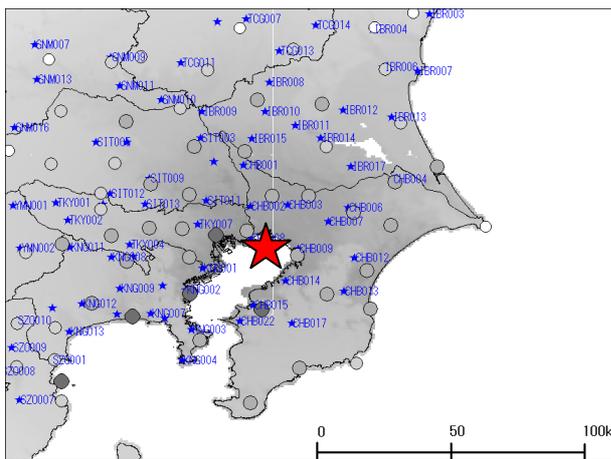
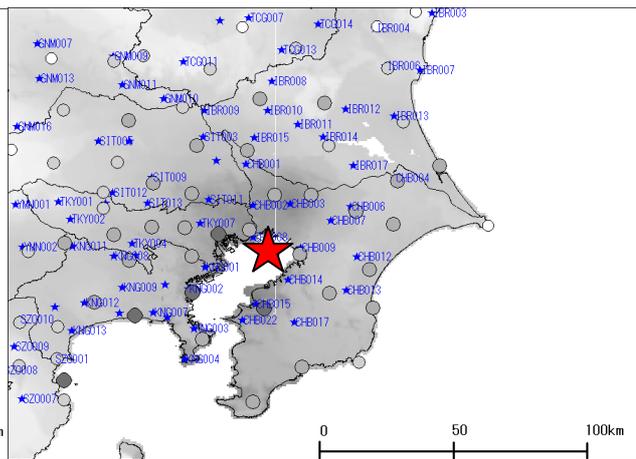


Fig.11 The comparisons of peak ground velocities between the observations and the calculations using the seismic intensities, for (a) Tokyo bay (b) Northeastern Chiba earthquakes.

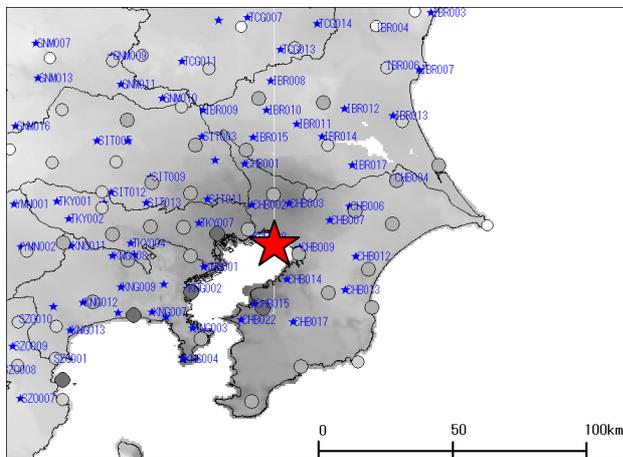
(a) The estimation by the attenuation



(b) The estimation by strong ground motion



(c) The estimation by observed seismic intensities



smic intensity JMA intensity scale

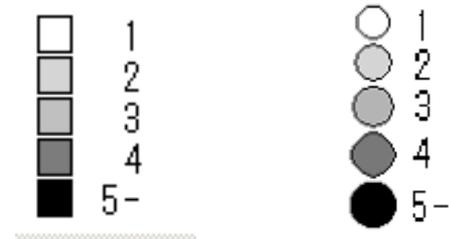
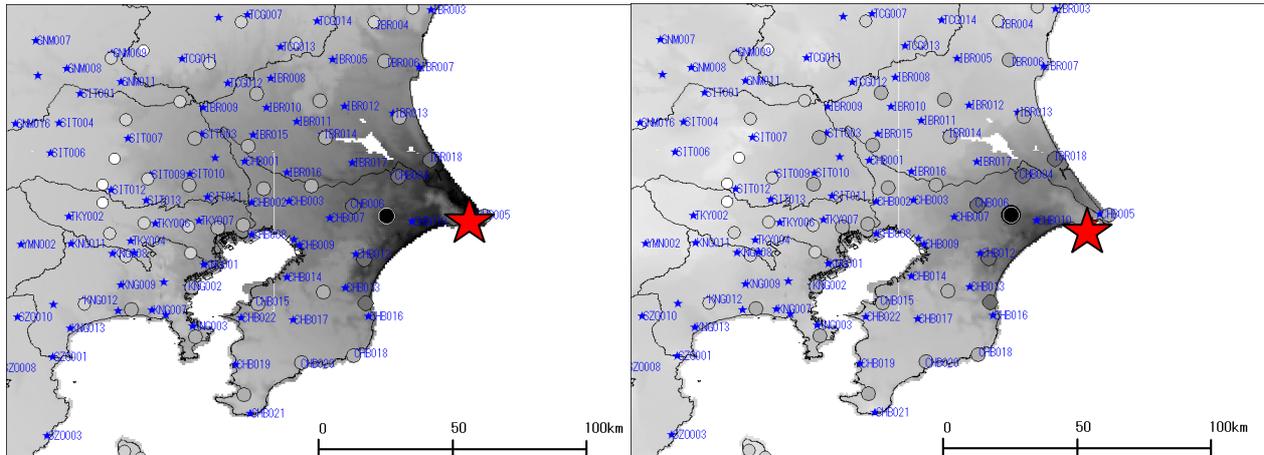


Fig.12 The distribution of estimated seismic intensities and the seismic intensities observed at JMA for 1998 Tokyo Bay Earthquake.

(a) The estimation by the attenuation

(b) The estimation by strong ground motion



(c) The estimation by observed seismic intensities

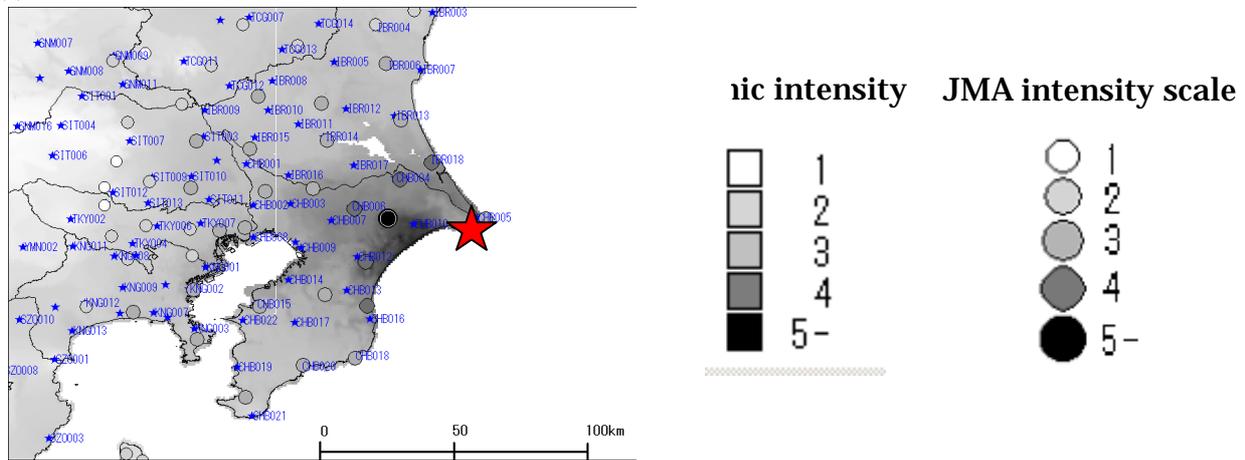


Fig.13 The distribution of estimated seismic intensities and the seismic intensities observed at JMA for 2000 Northeastern Chiba Earthquake.

(a) The estimation by the attenuation relation

(b) The estimation by strong ground motion records

(c) The estimation by observed seismic intensities

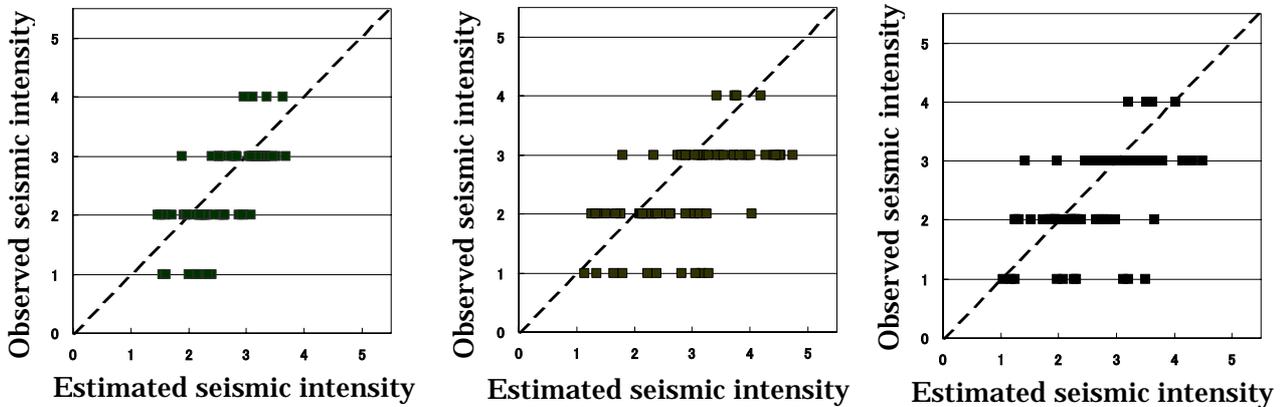


Fig.14 The comparisons of seismic intensities between the observations by JMA and the estimations by this study, for 1998 Tokyo Bay Earthquake.

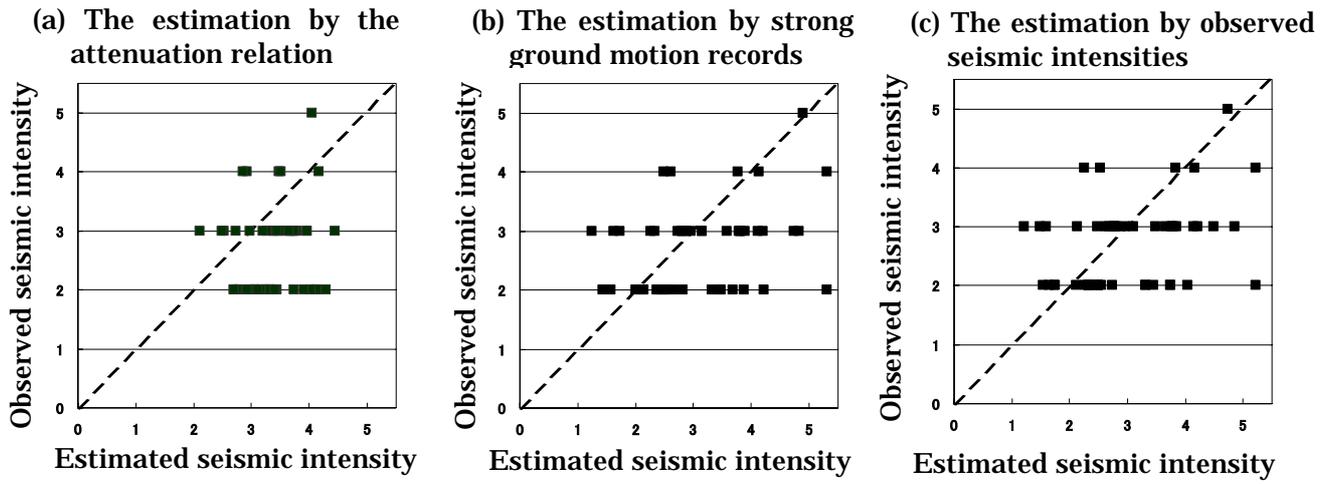


Fig.15 The comparisons of seismic intensities between the observations by JMA and the estimations by this study, for 2000 Northeastern Chiba Earthquake.