

地震危険度評価における歴史地震の役割について

—地震危険度マップ試算と震度VI・VIIの分布—

東電設計(株) * 中村亮一・菅原正晴

東京電力(株) ** 八代和彦

東京大学名誉教授*** 宇佐美龍夫

大和探査技術(株) **** 渡邊 健

A Role of Historical Earthquake Data on Evaluation of Seismic Hazard

Ryoichi Nakamura, Masaharu Sugahara

Tokyo Electric Power Services Co., Ltd.,

Hibiya Chunichi Bldg., 2-1-4, Uchisaiwai-Cho, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan

Kazuhiko Yashiro

Tokyo Electric Power Company, 1-1-3, Uchisaiwai-Cho, Chiyoda-ku, Tokyo, Japan

Tatsuo Usami

Nara Nissei Eden-no-Sono, 1-8-1, Takatsukadai, Kawai-cho, Nara -Pref., Japan

Takeshi Watanabe

Daiwa Exploration & Consulting Co., Ltd

2-2-11, Huruishiba, Koutou-ku, Tokyo, Japan

In order to check the validity of strong motion estimation in hazard map, we compared the distribution of areas of 1) JMA intensity of VI and VII appeared in historical earthquakes and 2) strong ground motion calculated by method employed in hazard maps. Coincidence of both areas [ex. Fig1, Fig5-(a)] seems to be satisfactorily well as a first step.

§1. はじめに

地震危険度評価において地震動を想定することができても、その結果の妥当性を検証することは一般的に困難である。しかし、最近、米国西部において、不安定でありながら1万年近くにわたってバランスを保っている岩石の存在をもとに、地震危険度評価手法を検証しようとする研究がおこなわれている[例えばBrune(1996)など]。

このような検証は、今後、地震危険度評価モデルを改善するのに重要と思われるが、日本国内ではこれほど長期間に被ってきた地震動の大きさを見積もることのできる直接のデータは見いだされ

ていない。しかしながら、日本の歴史地震は数百年から千年程度の比較的長期間の地震動のデータとして利用可能である。また、活断層は直接地震動の大きさを表さないが、過去数千年以上の地震発生源としての意味を有するものであろう。これらのことから、活断層の分布やバックグラウンド的な地震活動と歴史地震の地震動の大きさ分布との間になんらかの相関性を見いだすことができれば、地震危険度評価の妥当性検証に重要な一歩を踏み出すことができる可能性がある。

宇佐美・他(1999)は、歴史地震による震度Ⅲ～Ⅶを受けた地域性と活断層分布の対応を調べ、震

* 〒100-0011 東京都千代田区内幸町 2-1-4 日比谷中日ビル naka@tepsco.co.jp, sugar@tepsco.co.jp

** 〒100-0011 東京都千代田区内幸町 1-1-3 yasiro.k@tepc.co.jp

*** 〒636-0071 奈良県北葛城郡河合町高塚台 1-8-1 奈良ニッセイエデンの園

**** 〒135-0045 東京都江東区古石場 2-2-11 watanabt@orion.ocn.ne.jp

度VI・VIIを被った場所は、活断層分布域やプレートの潜り込みに伴うような地震の断層位置付近に多く生じていることを報告している。

そこで、今回、地震危険度評価手法に使われる計算手法により得られる最大加速度による地震動の地域性と、歴史地震の震度VI・VIIのような強い地震動にみられる地域性の整合性を検討した。

§ 2. 歴史地震のデータによる震度VI・VIIの地域性

宇佐美・他(1999)は、宇佐美・大和探査(1994)『わが国の歴史地震の震度分布・等震度線図』によるすべての歴史地震(599年～1884年)の震度データを、各震度毎に全国的にプロットした。その結果、地震活動や残存資料が少ないと考えられる北海道や九州南部を除くと震度Ⅲ～Ⅴが日本全国に比較的均一に分布しているのに対して、震度Ⅵ及びⅦは地域的な特徴を示し、図-1に示すように活断層分布域(活断層から10km程度)[垣見(1991)]やプレートの潜り込みに伴うような地震の断層位置付近に多く生じることを示した。

§ 3 地震危険度の試算

(1) 地震危険度の計算手法

地震危険度の計算手法には、大きく分けて次の3種がある(日本建築学会,1993)。

- ①地震動の相対度数による推定
- ②確率分布の当てはめによる推定
- ③地震発生確率モデルによる推定

ここでは、地震発生確率モデルによる推定方法を採用する。この手法は、Cornell(1968)によるもので、仮想的な地震活動モデルを想定し、地震動(超過確率)を求める方法であり、活動モデルとしては活断層で発生する地震の他、ある領域内でバックグラウンドとして発生する地震も仮想的にモデル化したものである(図-2)。また、距離減衰式による地震動の推定についても平均値でなくバラツキが考慮されることが多い。米国などで数多く実施され[たとえば、Working Group on California Earthquake Probabilities(1995)]、日本においても多くの計算例がある[たとえば Annaka and Yashiro(2000)]。

(2) 計算条件

地震活動モデルの一つとして、次に示す条件で

計算した。計算ケースとしては、図-3に示すように活断層で発生するモデル(ケース1)及び地殻内でのバックグラウンド地震発生モデル(ケース2)の2種類を計算する。(プレートの潜り込みに伴う活動は、今回検討対象外とした。)

活動モデル1

活断層で固有地震が発生するモデルであり、断層全長が活動すると仮定し、断層長さ、位置、再来期間は Kumamoto(1997)による。規模Mは次の松田式(1975)による。

$$\log L = 0.6 M - 4.0 \quad (L: \text{断層長さ km})$$

断層と各計算点の距離は断層の上端深さを1kmとした場合の最短距離を用いる。

活動モデル2

地殻内で面的に一樣に地震が発生するモデルであり、地震は Gutenberg - Richter の関係式による規模別頻度分布に適合して発生するものとする。萩原編(1991)の地震地体構造マップの各領域内での規模別頻度を与えることとする。規模別頻度については、気象庁による1926年以降M5以上深さ30km以浅の震源データにより求めた。その領域内での最大規模Mmaxについても設定する。震源深さについては、ある深さを面的に仮定する。

なお、加速度A(Gal)を求める距離減衰式は、次の福島・田中式(1992)に基づいた。

$$\log A = 0.51 M_j - \log(R + 0.006 \cdot 10^{0.51 M_j}) - 0.0033 R + 0.59$$

ここで、Mjは気象庁マグニチュードであり、Rは断層距離(km)である。ただし、今回はRを震源距離とした。

距離減衰の予測誤差として与えるバラツキは自然対数標準偏差 $\beta=0.5$ とした。

(3) 計算結果

活動モデル1(活断層)による年間超過確率が 2.5×10^{-3} /年となる最大加速度分布を図-4(a)に示す。また、図-4(b)～(d)に、深さ5kmを仮定し、地震規模の最大Mmaxを6.5, 7.0, 7.5と変化させた場合の結果を示す。

活動モデル1(活断層)では、活断層が多く密集する中部地方で加速度が大きい、その他の地域では小さい。それに対し、活動モデル2(面的震源)では中部地方を除いて、活動モデル1(活断層)よりも大きくなるのがわかる。活断層の再来周期に比べて、この超過確率 2.5×10^{-3} /年

($=1/400$ 年) は小さい可能性が考えられる。そこで、図-5 に 1×10^{-4} /年 ($=1/10000$ 年) の場合の計算結果を示す。 2.5×10^{-3} /年に比べて、活動モデル1 (活断層) では、活断層の分布域において加速度が大きくなる傾向が強まることがわかる。しかし、活動モデル2 (面的震源) の加速度も同時に大きくなり、統計期間の長短にかかわらず、活動モデル2 (面的震源) の結果への影響は大きい。

次に、活動モデル1 及び活動モデル2 の両者を同時に考慮して年間超過確率が 2.5×10^{-3} /年となる加速度を計算したものを図-6 (a) ~ (d) に示す。ここで活動モデル2 の $M_{\max}$ は7 とし、設定する震源深さを 1km, 5km, 10km, 15km に変化させた。

図-1 の震度VI・VIIと活断層分布域の対応と比較すると、東北地方では日本海側で震度VI・VIIが多いのに対して、地震危険度評価では面的太平洋側で加速度が高く逆の傾向となった。これは活動モデル2 (面的震源) の寄与が大きいと考えられる。

§ 4. 地震危険度評価に与える役割及びまとめ

地震危険度評価において、地震活動の不確定性をモデルとして考慮できるが、計算結果の妥当性を検証することは一般に困難である。

しかし、歴史地震のデータから震度VI・VIIの高い地震動レベルは活断層やプレートの潜り込みに伴うような地震の断層位置付近に限定される傾向が強いことが示されており、歴史地震データは、地震危険度評価における地震活動のモデル化に役立つことが期待される。

今回、活断層によるモデルとバックグラウンドで発生する地震活動モデルの両者の計算を行った結果、歴史地震のデータの傾向を説明することができなかった。島崎・Wahyu (2001) は、1926 年から 1997 年の中小地震から求めた規模別頻度分布 (Gutenberg - Richter の関係式) は大地震の予測能力を持っているとは限らないことを示しており、同様な結果と考えられる。歴史地震データは、地震危険度評価における地震活動のモデル化に役立つことが期待される。今後、さらにこのようなデータを拘束条件的に用いた検討等が必要と考えられる。

参考文献

- Annaka, T and H. Yashiro, 2000, Temporal Dependence of Seismic Hazard in Japan, 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, Jan. 30 to Feb. 4, ID0316
- Brune, J. N., 1996, Precariously Balanced Rocks and Ground-Motion Maps for Southern California, Bull. Seism. Soc. Am., 86, 1A, 43-54
- Cornell, C. A., 1968, Engineering Seismic Risk Analysis, 58, 5, 1583-1606
- 福島美光・田中貞二 (1992) 新しいデータベースを用いた最大加速度の距離減衰式の改訂、地震学会講演予稿集、No2, B18
- 萩原尊禮編, 1991, 日本列島の地震—地震工学と地震地体構造、鹿島出版会、pp. 209
- 垣見俊弘, 1991, 地形・地質学からみた地震地体構造、日本の地震、日本列島の地震、鹿島出版会、pp. 215
- Kumamoto, T., 1997, Long-Term Conditional Seismic Hazard of Quaternary Active Faults in Japan, 博士論文
- 松田時彦, 1975, 活断層から発生する地震の規模と周期について、地震、28, 269-283
- 日本建築学会, 1993, 建築物荷重指針・同解説, pp. 512
- 佐藤良輔編, 1989, 断層パラメーターハンドブック、鹿島出版会、pp. 390
- 島崎邦彦・Wahyu, T (2001) 地震発生確率の空間分布 (地震危険度) モデルの評価、日本地震学会大会講演予稿集
- 宇佐美龍夫・大和探査, 1994, わが国の歴史地震の震度分布・等震度線図、日本電気協会, pp. 647
- 宇佐美龍夫・渡邊健・八代和彦・中村亮一, 1999, 歴史地震データに基づく震度Ⅲ~Ⅶの分布の特徴と活断層分布域、歴史地震, 15, 35-42
- Working Group on California Earthquake Probabilities, 1995, Seismic Hazards in Southern California: Probable Earthquakes, 1994 to 2024, Bull. Seism. Soc. Am., 83, 2, 379-439

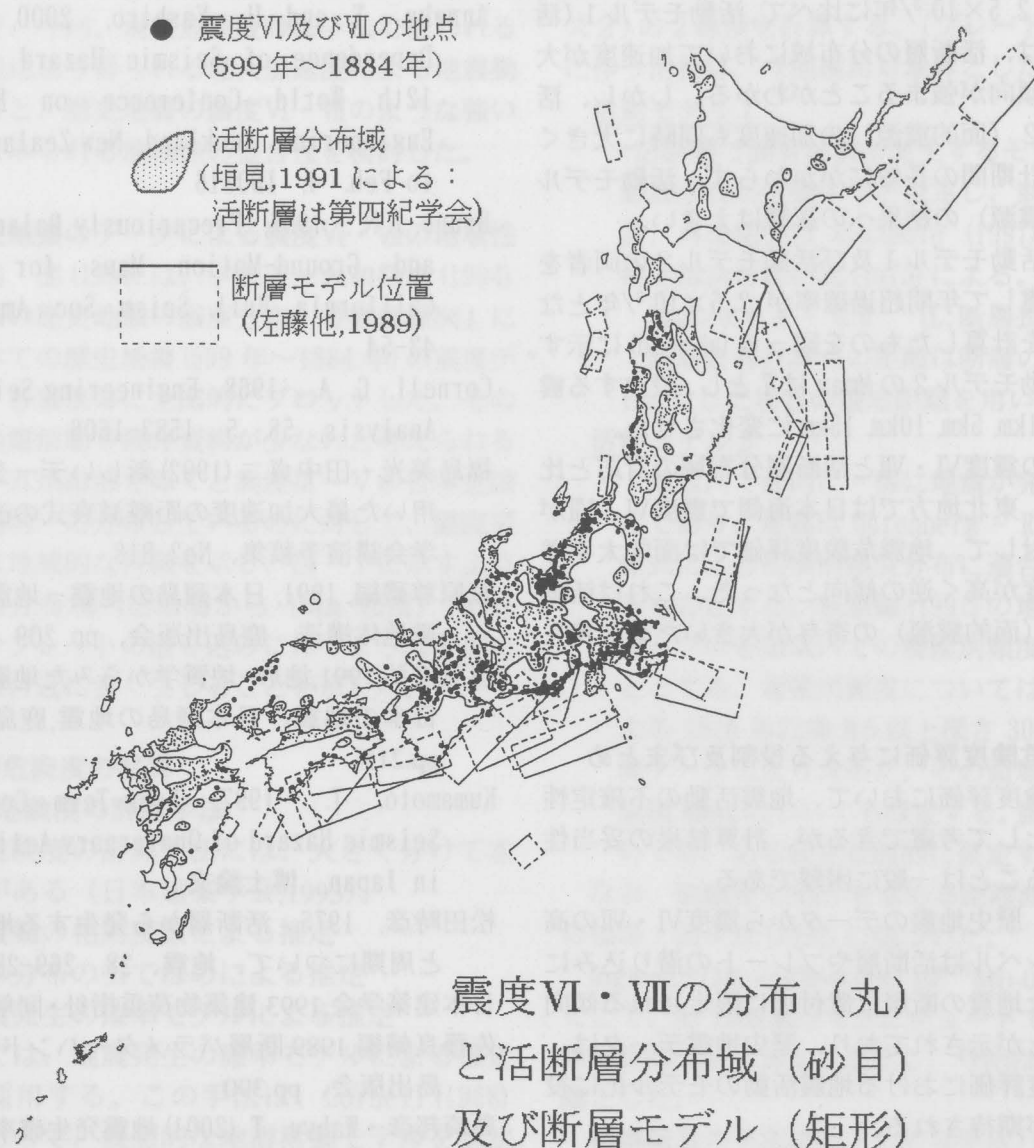


図-1 震度VI・VIIの分布 (黒丸) と活断層分布域 (砂目) 及び断層モデル (矩形) 宇佐美・他 (1999)による。ここで、活断層分布域は垣見(1991)による。また断層モデルは佐藤・他(1989)による

Fig.1 Distribution of seismic intensity VI and VII in JMA scale (solid circle) and area of active fault (shaded area) after Usami et al(1999). Rectangular shows fault model of big earthquakes 1498-1987. The seismic intensity data are from historical earthquakes from A.D.599 to 1884. Most of the seismic intensity VI and VII concentrate in the area of active fault and area of the subduction fault.

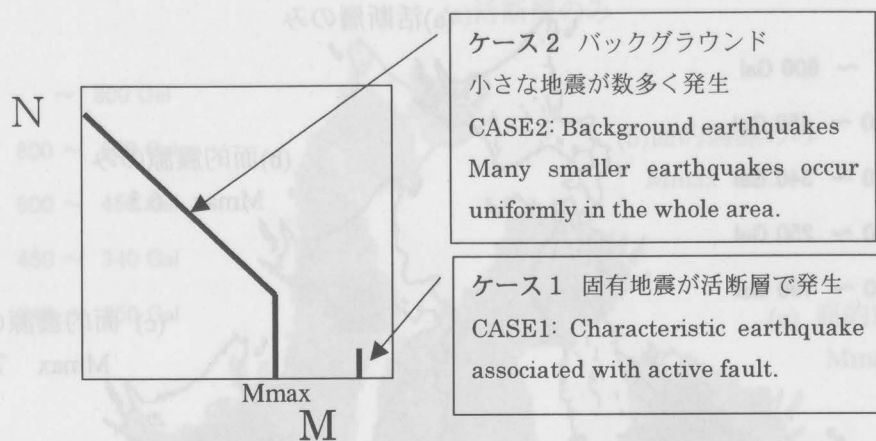


図-3 活断層モデルと面的震源（バックグラウンド）モデル

Fig.3 Distribution of the models of case1 (shown as lines) and case2 (shown as polygons). Active fault (case1) after Kumamoto(1997) and seismotectonic area (case2) after Hagiwara(1991).

Case1: Magnitude calculated from total length of the faults using Matsuda's(1975) relation. Active faults and recurrence periods after Kumamoto(1997) are employed.

Case2: a and b-value of Gutenberg-Richter's relation are calculated using data of JMA(1926-2000). Earthquakes shallower than 30km depth are used.

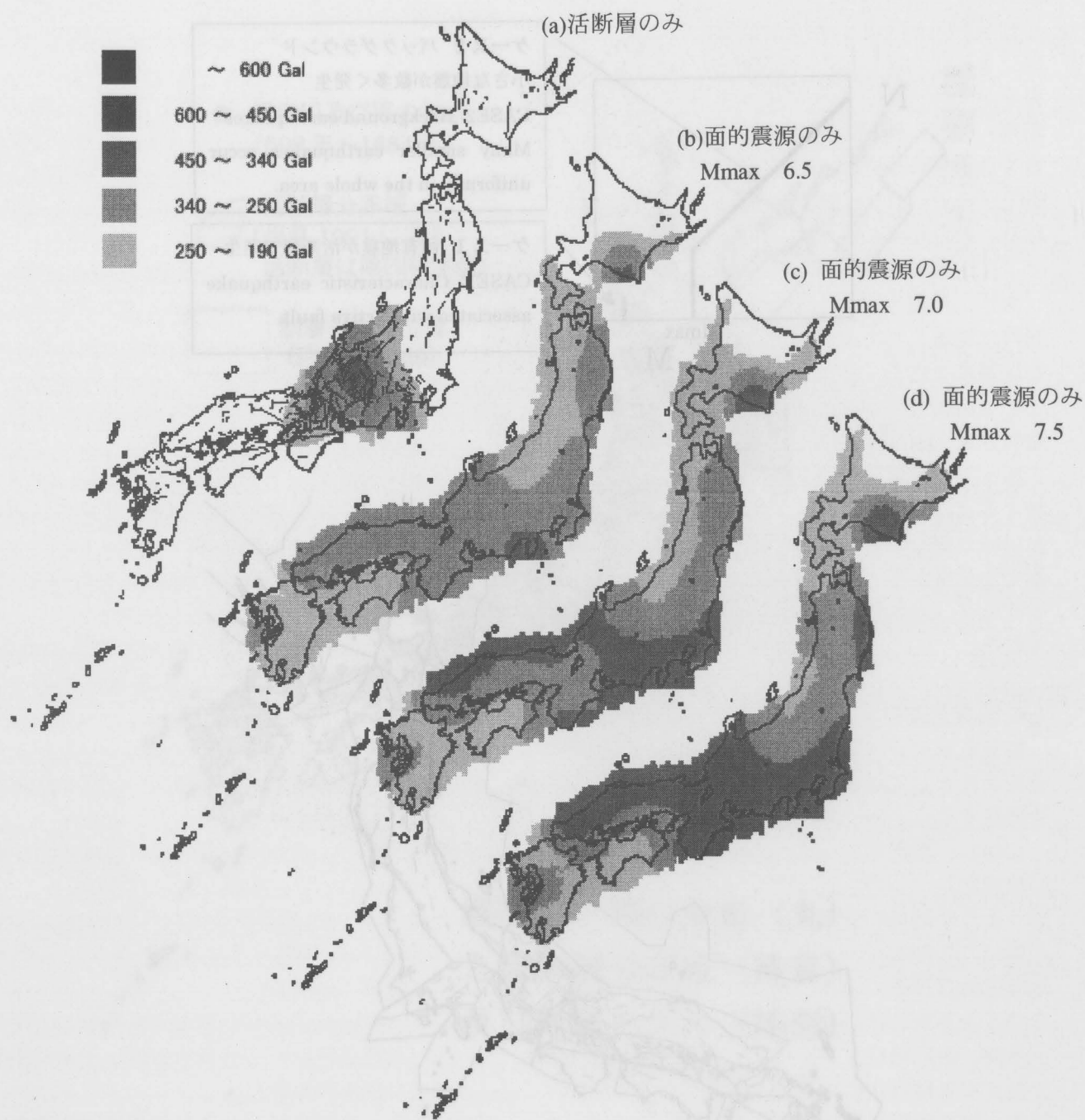


図-4 活断層による地震危険度及び面的モデルによる年超過確率を 2.5×10^{-3} /年としたときの地動加速度

Fig.4 Peak Ground Acceleration at annual probability exceedence of 2.5×10^{-3} /year. Fukushima and Tanaka's(1992) attenuation relation is used and $1\sigma=0.5$ in natural logarithm is used.

(a) case1: only active faults are considered,
 (b) case2: background earthquakes only: $M_{\max}=6.5$, depth=5km
 (c) case2: background earthquakes only: $M_{\max}=7.0$, depth=5km
 (d) case2: background earthquakes only: $M_{\max}=7.5$, depth=5km

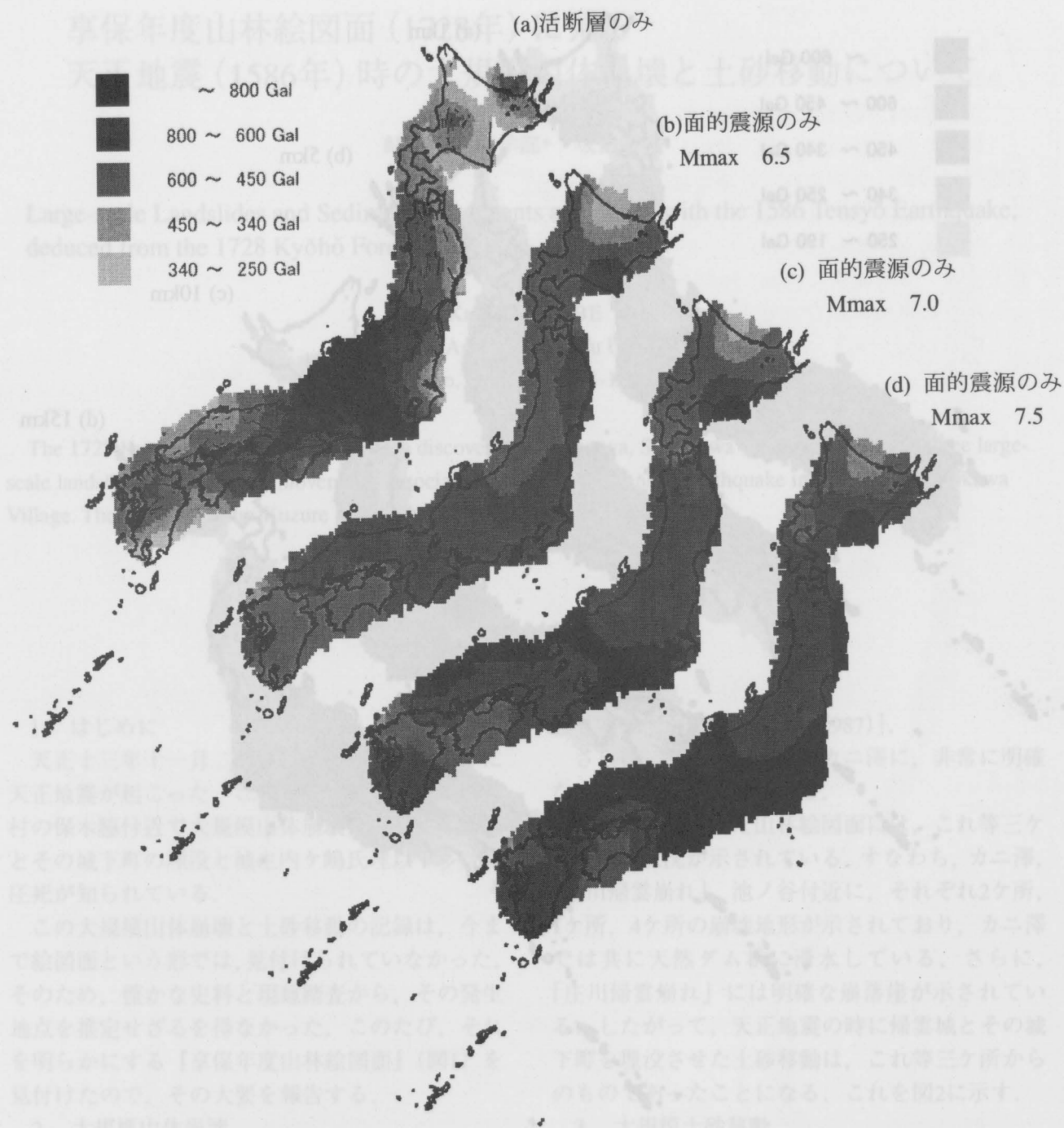


図-5 活断層による地震危険度及び面的モデルによる年超過確率を
 10^{-4} /年としたときの地動加速度

Fig.5 Peak Ground Acceleration at annual probability exceedance of 10^{-4} /year
 Fukushima and Tanaka's(1992) attenuation relation is used and $1\sigma=0.5$ in natural logarithm is used.
 (e) case1: only active faults are considered,
 (f) case2: background earthquakes only: Mmax=6.5, depth=5km
 (g) case2: background earthquakes only: Mmax=7.0, depth=5km
 (h) case2: background earthquakes only: Mmax=7.5, depth=5km

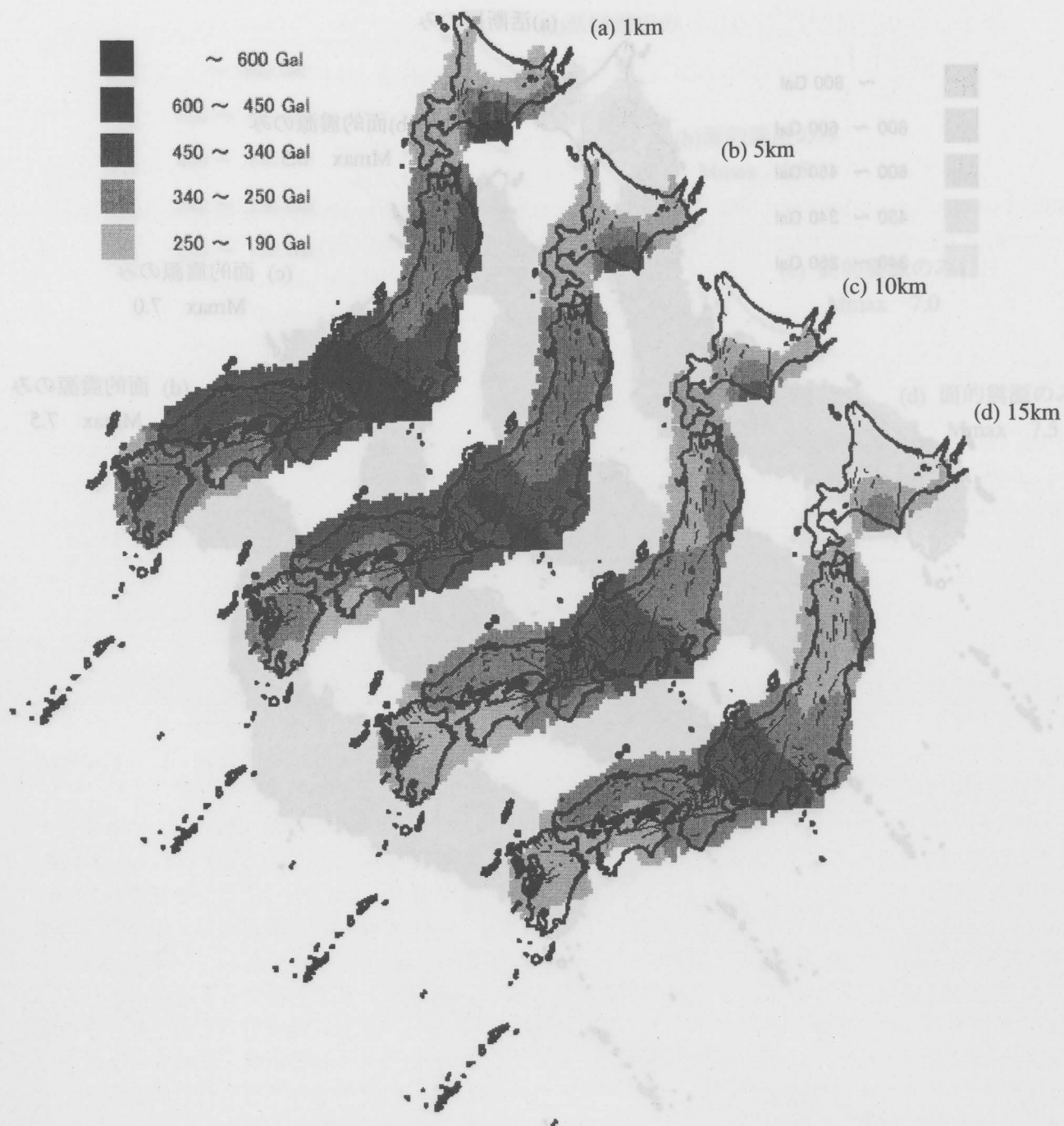


図-6 Case1 と Case2 の合成による結果 バックグラウンドの震源深さを変化
年超過確率を 2.5×10^{-3} /年としたときの地動加速度を示す。

Fig.6 Peak Ground Acceleration at annual probability exceedence of 2.5×10^{-3} /year, both case1 and case2 considered. Depths of case 2 are (a)1km, (b)5km, (c) 10km and (d)15km. $M_{max}=7$ is assumed for (a) to (d). For case1, the same assumption with (a) of fig. 4.