

(別添)

## 震源を予め特定しにくい地震等の評価手法について(中間報告)

### 1 震源を予め特定しにくい地震等の評価手法に係わるこれまでの主な調査研究

「震源を予め特定しにくい地震等」の評価手法に関しては、近年いくつかの検討結果がある。日本国内の調査研究では、損害保険料率算定会(2000)において作成された地震ハザードマップでは、「震源を予め特定しにくい地震等」を地震地体構造にもとづく地震活動地域区分における領域内の地震活動により地震ハザード(強い揺れに見舞われる可能性)を評価する確率モデルを用いた。また、米国地質調査所が地震ハザードマップを作成するプロジェクト(Frankel, 1995)においては、地震活動度の低い東部・中部地域について、微小な地震活動にもとづいて地域区分をしない手法で地震ハザード(強い揺れに見舞われる可能性)を評価する確率モデルが既に検討されている。

島崎・Wahyu(2001)は、これらの確率モデルを日本国内の内陸地震へ適用して、その評価結果について検討するとともに、地震活動や活断層以外に地殻歪の情報にもとづく地震ハザードモデルについても評価結果を比較している。

本報告では、このような調査研究を踏まえて、地震動予測地図を作成するうえで必要となる「震源を予め特定しにくい地震等」の評価手法について検討結果をとりまとめた。

### 2. 用語の定義

全国を概観した地震動予測地図とは、「確率論的地震動予測地図」のことをいう。この地図では、強震動予測にもとづく「震源断層を特定した地震動予測地図(シナリオ地震地図)」についてその長期的な発生確率と地震動レベルを合わせて評価するとともに、「震源断層を予め特定しにくい地震等」を統計的に評価し、その上でこれら全てを統合するものである。

したがって、「震源断層を予め特定しにくい地震等」の評価法を現時点でとりまとめることは、今後の地震動予測地図作成の検討結果に重要な影響を及ぼすと考えられるため、地震動予測地図の試作版の作成に向けて明らかにしておく必要がある。

地震動予測地図の作成において取り扱われる地震の定義を以下に示し、「震源断層を予め特定しにくい地震等」を明らかにしておく。

(1) 次のものを除いたものを「震源断層を予め特定しにくい地震等」と定義する。

- 98 の主要な活断層帯に発生する固有地震
- 海溝型地震として扱おうとしているプレート境界で発生する大地震

(2) 「震源断層を予め特定しにくい地震等」の内訳

1) 震源を予めある程度特定できる地震

- ・グループ1：98 断層帯以外の活断層に発生する地震
- ・グループ2：98 断層帯に発生する固有地震（最大地震）以外の地震

2) 震源を予め特定しにくい地震（地表に痕跡を残さない地震）

- ・グループ3：海溝型地震として扱おうとしているプレート境界で発生する大地震以外の地震
- ・グループ4：沈み込むプレート内地震
- ・グループ5：陸域のプレート内で発生する地震のうち震源を予め特定しにくい地震

### 3 「震源を予め特定しにくい地震等」の評価手法について

前章で定義したグループ1から5の地震について、それぞれ以下に示す6項目に関する評価法を示す。

- a. 評価の方針と対象
- b. データベース
- c. 時系列
- d. 地震規模
- e. 位置
- f. 連動

#### 3.1 グループ1：98断層帯以外の活断層に発生する地震

a. 評価の方針と対象

松田(1990)の起震断層の基準<sup>1)</sup>に当てはまる断層のうち、主要な98活断層帯以外のものを対象とする。現時点では、暫定的に既存のハザードマップ(損害保険料率算定会, 2000)を参考に、該当する活断層を抽出する。

98断層帯以外の活断層の内訳は、以下に示す活断層が対象となる。

---

1) 起震断層の基準について

ここで、松田(1990)の起震断層の基準とは、以下に示すものである。

- (1) 周辺5km以内に他の活断層線のない孤立した長さ10km以上の断層
- (2) 互いの相互間隔が5km以内であるほぼ同じ走向の断層群
- (3) 断層線の中心の位置が主断層線から5km以上離れている走向を異にする断層
- (4) 走向方向に5km以内の分布間隙をもって、ほぼ一線にならぶほぼ同じ走向の複数の断層

#### 損害保険料率算定会(2000)の「主要起震断層」

ここでは、松田(1995)の主要起震断層を中心に整理した主要な活断層のことを示す(損害保険料率算定会, 1999)。主要な 98 活断層帯に対応しない 11 活断層を対象とする。

#### 「主要起震断層以外でモデル化した活断層」

新編日本の活断層(活断層研究会編, 1991)に記載された活断層に松田(1990)の基準を適用したものを示す。

松田(1990)の起震断層の基準により抽出した 10 km 以上の活断層で、主要起震断層で対象外となっている 20 km 未満のもの、あるいは長さが 20 km 以上でも活動度 C 級のものを対象とする。98 断層帯を除いた 111 活断層を対象とする。

上記の計 122 をグループ 1 の活断層とする。これ以外の活断層は含まないものとする。また、原則として确实度の断層線は考慮外とする。ただし、松田他(2000)等の新しい知見を参照して、追加される断層は適宜加えるものとする。

#### b. データベース

新編日本の活断層(活断層研究会編, 1991)等、既存の活断層資料を用いる。

#### c. 時系列

活動履歴が明らかな場合は、活動間隔が BPT 分布に従う更新過程でモデル化し、活動履歴が不明な場合は、定常ポアソン過程を用いる。

#### d. 地震規模

固有規模(断層長にもとづき松田式; 松田, 1975 を適用)のマグニチュード(M)を用いる。

#### e. 位置

上端深さを一律 3km として設定し、単独の鉛直断層、もしくは複数の鉛直断層とする。ただし、傾斜角が明らかな場合には、角度を考慮する。

#### f. 連動

それぞれ、独立に活動するものとし、連動は考慮しないものとする。

### 3.2 グループ 2 : 98 断層帯に発生する固有地震以外の地震<sup>2)</sup>

---

<sup>2)</sup> 固有地震モデルとは、Schwartz & Coppersmith(1984,1986)のいう Characteristic earthquake model の訳で、「個々の断層またはそのセグメントからは、基本的にほぼ同じ(最大もしくはそれに近い)規模の地震を繰り返し発生させる」というもの。98断層帯については、長期評価部会での評価結果による起震断層を活動単位とした地震を固有地震としてモデル化することとする。ここでは、この固有地震を98断層帯に発生する固有地震(最大地震)と定義している。

現時点では確定した評価手法はない、あるいは評価することが困難である。そのため、グループ5の地震の中に含めて想定することが考えられる。

今後の可能性として、例えば、想定される活断層帯内部での発生位置が可能ならば確定し、活断層帯で推定される最大規模地震より M が 0.5~1 程度小さく、下限値 M 6.5 程度の地震を想定するなどの評価法が考えられるが、さらに合理的な評価法を検討して、適宜、決定してゆく必要がある。

### 3.3 グループ3：海溝型地震として扱おうとしているプレート境界で発生する大地震以外の地震

#### a. 評価の方針と対象

- ・ 歴史地震および最近の小地震のうちプレート境界地震に該当するものを抽出し、そのデータに基づきモデル化する。
- ・ プレート境界地震とプレート内地震は、プレート境界のスラスト帯の深さ（例えば太平洋プレートでは 60km、（瀬野，1995）までをグループ3の地震と想定する。あるいは、最近のデータに基づく比率で分ける等が考えられる。これらのいくつかの手法を検討した上で、今後、適した区別方法を確定する。
- ・ 各々のプレートにおける地域区分は、地体構造にもとづく地震活動域（図 1~3，（損害保険料率算定会，2000））ごとに地域区分する方法と地域区分しない方法の両方について検討する。
- ・ 地域区分する方法は、地体構造にもとづく地域区分の地震活動度が一様な領域ごとの多角形で分割し、地域区分しない方法は米国地質調査所（Frankel，1995）の考え方（smoothed seismicity）を参考にして評価する。

#### b. データベース

以下のデータベースを用いる。（ただし、プレート境界の大地震「海溝型地震」は除く）

- ・ 1885年以降の地震カタログ（例えば宇津カタログ；宇津，1982など）
- ・ 最近の小地震データ（例えば気象庁データなど）
- ・ 地震地体構造に関する文献（例えば萩原編，1991；垣見・他，1994など）

#### c. 時系列

- ・ 定常ポアソン過程を用いる。

#### d. 地震規模

- ・ 地震ハザード評価に用いる最小マグニチュードは、一定値（例えば 5.0）を用いる。
- ・ 地震発生頻度は、地震カタログにもとづき Gutenberg-Richter 式（以後、「G-R 式」と呼ぶ）による地震発生頻度（G-R 式の a 値）を地域区分する方法（地体

構造にもとづく方法)と地域区分しない方法(smoothed seismicity)の両手法について検討する。

- b 値と最大マグニチュード M は、以下のように定める。  
[地域区分する方法(地体構造にもとづく方法)]
  - 地震カタログにもとづく地震発生頻度(G-R 式の a 値)が、各地域区分ごとに決定される。
  - b 値は一定を与え、最大 M は、例えば垣見・他(1994)を参考に地域区分ごとに設定する。  
[地域区分しない方法(smoothed seismicity)]
  - 地震カタログにもとづき、格子点ごとにガウス分布で平滑化して a 値を求める。
  - b 値は一定を与え、最大 M は予め決めた地域区分ごとに定める。ただし、地震カタログにもとづき、格子点ごとにガウス分布で b 値を平滑化して求めることもできる。

#### e. 位置

以下のように定める。

- 深さは地震活動域にもとづく地域区分における最近の地震データの平均値とする。
- 平面位置は、地域区分によって以下のように与える。  
[地域区分する方法(地体構造にもとづくモデル)]
  - 地域区分内で一様ランダムとする。  
[地域区分しない方法(smoothed seismicity)]
  - 格子点の位置に求められた頻度で地震が発生すると仮定する。

### 3.4 グループ4：沈み込むプレート内地震

#### a. 評価の方針と対象

- 歴史地震および最近の小地震のうちプレート内地震に該当するものを抽出し、そのデータに基づきモデル化する。
- プレート境界地震とプレート内地震の分離は、太平洋プレートに関しては、例えば、瀬野(1995)のプレートテクトニクスの基礎より、グループ3の地震はスラスト地震と考え、スラスト帯の深さ 60km より深い地震をグループ4の地震として区別する。この場合、これより浅い地震で生じたプレート内地震(1933年の三陸沖地震)などは、グループ3に含まれるため、プレート内地震として区別する必要がある。また、フィリピン海プレートに関しては、最近のデータに基づき比率で分けることを試みる。これらのうち、いくつか手法を検討した上で確定する。

評価項目 b. データベース、c. 時系列、d. 地震規模、e. 位置は、グループ3の地

震と同様に取り扱うこととする。ただし、最大マグニチュードは、海域の物理的な構造にもとづく最大値の設定などが考えられる。

### 3.5 グループ5：陸域の地殻内で発生する地震のうち震源を予め特定しにくい地震

#### a. 評価の方針と対象

- ・ 歴史地震および最近の小地震のうち、陸域の地殻内地震に該当するものを抽出し、そのデータに基づき評価する。
- ・ ユーラシアプレート内の地震活動領域でランダムに発生する地震として評価する。
- ・ 地域区分としては、グループ3、4地震と同様に地震活動領域ごとに地域区分する方法と地域区分しない方法の両方について検討する。

#### b. データベース

グループ3、4地震と同様なデータベースを用いる。(ただし、内陸活断層の大地震「98断層帯の地震」とグループ1地震は除く)

評価項目 c.時系列、d.地震規模、e.位置についても、グループ3、4地震と同様に取り扱うこととする。

#### 4．今後に向けて

「震源を予め特定しにくい地震等」の評価手法に関して、今後の課題を述べる。

##### 4．1 最大マグニチュード

最大マグニチュードは、固有地震の考え方や地体構造や歴史地震にもとづいて設定され、地震ハザード評価に与える影響は大きい。したがって、現時点での地震発生の評価条件による数値を与える必要があるが、今後も十分な注意をして検討する必要がある。

##### 4．2 余震の除去

地震の発生の可能性を過大評価することのないように、気象庁の地震カタログから大地震後の余震を除去する必要がある。しかし、余震の除去については様々な方法が考えられるが、最適な手法の選択については今後の検討課題である。また、余震だけでなく、前震、群発地震などの除去をこれまでの研究成果にもとづいて検討する必要がある。

##### 4．3 グループ5地震の検討

グループ5の地震は、98の主要な活断層帯やグループ1の地震では表現できない地震であるが、近年の研究によれば、活断層のデータから評価して推定される地震発生確率が比較的良い対応を示すとの指摘（島崎・Wahyu, 2001）もある。このため、過去に発生した地震のデータに基づいて評価する方法に加えて、活断層のデータに基づく評価についても検討する必要がある。

そこで、今後の検討として松田(1990)の基準にもとづく活断層のほかに、Kumamoto(1999)の活断層カタログにもとづき、一括放出モデル（隈元, 1998；一度に破壊が活断層系全体に及ぶ場合を仮定したモデル）を適用する。このモデルは、利用可能性を検証するMの範囲が限定されるうえに、松田(1990)の基準にもとづくグループ1の地震との仕分けの問題などがあるため、これらの地震活動の情報を整理して検討する。

##### 4．4 グループ2地震

活断層帯で想定される固有地震以外の地震で、地震被害に影響を及ぼすと考えられる地震の可能性については、今後の課題として評価方法を検討する必要がある。現時点では、グループ2地震として定義しているが、一定の評価を行うことが確定していない地震であり、グループ5の地震に含めて評価する。したがって、4．1節の最大マグニチュードは、グループ2地震についても考慮して設定しておく必要がある。

#### 4.5 平滑化と相関距離について

地域区分しない確率モデルの平滑化に用いているガウス分布は、相関距離  $c$  に対して定義し、 $n_i$  はグリッド  $i$  から  $3c$  以内のグリッド  $j$  を対象にして次式より求められる。

$$n_i = \sum_j n_j \cdot \exp(-r_{ij}^2/c^2) / \sum_j \exp(-r_{ij}^2/c^2)$$

ここで、

- $n_i$  平滑化されたグリッド  $i$  の地震数
- $n_j$  グリッド  $j$  の地震数
- $r_{ij}$  グリッド  $i$ 、 $j$  の距離
- $c$  相関距離

ここで、日本国内の地域的な地震発生頻度の変動特性を比較的保っているのは、相関距離 25km であるとする検討結果（松本・他，2001）もある。また、更に短い距離 10km が最適であるという例（島崎・Wahyu，2001）もある。これらの検討結果を踏まえて、今後も適正な相関距離を設定していく。

#### 4.6 $b$ 値に関する検討

島崎・Wahyu（2001）は、気象庁一元化より古いデータカタログの分析により 0.85 を用いている。

気象庁一元化(1997.10～2000.12)データの  $M$  が 1 以上の地震で、内陸の深さ 20km 以内のデータ頻度分布では  $M$  3.2～4 くらいで安定し、代表値として  $b$  値が 1.2 という数値が得られている（図 4）。

気象庁一元化(1997.10～2000.12)データで  $M$  2～4 の地震で深さ 25km 以内の地震で領域を分割した場合には、内陸で  $b$  値が 1 以上に決定される（図 5）。

これらの数値の範囲では、確率モデルと地震活動に大きな差異を与えないようであるが、地震活動を示す有用な情報として今後も注意して取り扱う。

## 引用文献（アルファベット順）

- Frankel, A. (1995): Mapping seismic hazard in the central and eastern United States, *Seismological Research Letters*, 66, 4, July-August.
- 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.
- 垣見俊弘, 岡田篤正, 衣笠善博, 松田時彦, 米倉伸之(1994):日本列島の地震地体構造区分と最大地震規模, 地球惑星科学関連学会, 1994 年合同大会予稿集, p 302.
- 活断層研究会 編(1991):新編日本の活断層 - 分布図と資料, 東京大学出版会.
- 建設省土木研究所地震防災部振動研究室(1983):前・余震の頻度および規模に関する調査, 土研資料 No.1995.
- 隈元崇 (1998): 活断層のトレンチ調査結果を用いて推定した日本の内陸地震の長期危険度評価, 地震第 2 輯, 50, pp.53~71, 1998.
- Kumamoto(1999):Seismic Hazard Maps of Japan and Computational Differences in Models and Parameters, *Geographical Review of Japan*, Vol. 72(Ser. B), No.2, pp.135-161, 1999.
- 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, 地震第 2 輯, Vol.28, pp.269-283.
- 松田時彦(1990):最大地震規模による日本列島の地震分帯図, 地震研究所彙報, Vol.65, pp.289-319.
- 松田時彦(1995):陸上活断層の最新活動期の表, 活断層研究 No.13, pp1-13.
- 松田時彦, 塚崎朋美, 萩谷まり(2000):日本陸域の主な起震断層と地震の表 - 断層と地震の地方別分布関係 -, 活断層研究 No.19.
- 松本俊輔, 田村敬一, 中尾吉宏(2001):メッシュ状の活動域に基づく地震危険度解析手法の検討, 第 26 回地震工学研究発表会.
- Schwartz, D.P. and Coppersmith, K.J. (1984): Fault behavior and characteristic earthquake: examples from the Wasatch and San Andreas Fault zones, *J. Geophys. Res.*, 89, B7, pp.5681-5698.
- Schwartz, D.P. and Coppersmith, K.J. (1986): Seismic hazards: new trends in analysis using geologic data in *Active Tectonics*, National Academy Press, pp.215-230.
- 瀬野徹三 (1995): プレートテクトニクスの基礎, pp.99-102, 朝倉書店.
- 島崎邦彦・Wahyu Triyoso(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 2001 年度秋季大会, A49.
- 損害保険料率算定会(1999):被害地震と活断層の都道府県別一覧, 地震保険調査研究 29.
- 損害保険料率算定会(2000):活断層と歴史地震とを考慮した地震危険度評価の研究~地震ハザードマップの提案~, 地震保険調査研究 47.
- 宇津徳治(1982):日本付近のM6.0以上の地震および被害地震の表(1885年~1980年).