

大地震発生の長期的予測

島崎 邦彦*

Recent Progress in Long-term Earthquake Forecasts in Japan

Kunihiko SHIMAZAKI *

Abstract

After the devastating Kobe earthquake of 1995, the Headquarters of Earthquake Research Promotion was established in the prime minister's office. Among the mandates given to the headquarters are collection, analysis, and evaluation of the results of surveys and observations related to earthquakes. The headquarters set up a plan to survey 98 major active faults in Japan for studies of paleoearthquakes on those faults. Mainly on the basis of the survey results and investigations on historical earthquakes, the Earthquake Research Committee of the headquarters evaluated earthquake potential and made public long-term earthquake forecasts in many source regions. These will be a basis for a new probabilistic estimate of seismic hazards throughout Japan, which will be completed by March 2005.

The size of a future earthquake is estimated from the empirical relationship between earthquake magnitude and fault length/source area. The location of the event is fairly precisely known from active fault data and historical earthquake catalogs, except for a certain types of earthquake such as deep events. For the occurrence time, we can only give a probabilistic estimate.

Several renewal models have been tested against available recurrence data in Japan by the Sub-committee for Long Term Evaluation. They are log normal, gamma, Weibull, double exponential, and BPT (Brownian passage time) distributions. Because none of the distributions can fit the data significantly better than the other models, the BPT model has been chosen because of the clear physical meaning of its model process and of the stability of parameters. The BPT model consists of a regular loading process and irregular Brownian motion disturbances. We found that the common relative standard deviation explains the data set better than different relative standard deviations for each sequence, so far as the four examples of Japanese shallow crustal earthquake sequence are concerned. By extrapolating the results, we use the common relative standard deviation to evaluate shallow crustal events.

When sufficient data on successive events of co-seismic slip are available, the time-predictable models is used for evaluations of subduction-zone earthquakes.

Key words : earthquake , long-term forecast , active fault , Japanese Islands

キーワード : 地震 , 長期予測 , 活断層 , 日本

* 東京大学地震研究所

* Earthquake Research Institute, University of Tokyo

I. はじめに

1995年阪神淡路大震災は、当然のことながら地震の調査研究にも大きな衝撃を与えた。国としての施策の面で言えば、地震防災対策特別措置法によって総理府に地震調査研究推進本部がおかれ、地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進について、総合的かつ基本的な施策を立案すること（第7条2項の一）となった。具体的に立案されたのが、平成11年4月に公表された『地震調査研究の推進について 地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策』である。この中で当面推進すべき地震の調査研究として、四つの課題があげられている（地震調査研究推進本部、1999）。その第一番目は「活断層調査、地震の発生可能性の長期評価、強震動予測等を統合した地震動予測地図の作成」であり、長期的な地震発生の予測に基づいて将来起こりうる強震動を予測し、地震対策に役立てるという道筋が明らかとなった。

比較的活動度が高く、長さが20 kmを超える陸域の活断層帯98が選ばれ、それらの調査は、「地震に関する基盤的調査観測計画」の一環として位置づけられた（地震調査研究推進本部政策委員会、1997）。これらの活断層帯を図1に示す。地方交付金によって各自治体により、或いは産業技術総合研究所活断層研究センターによって調査が進行中であり、既に主要活断層帯の多くについて、その調査結果が報告されている。これらの結果と既存の研究結果とに基づいて、それぞれの活断層帯における長期的な地震活動が地震調査委員会によって評価され、その結果は随時公表されてきた。また、歴史地震を含む地震活動の研究結果に基づいて、海域で発生する大地震や巨大地震の長期評価も行われている。

本稿ではこのような地震発生の長期予測をとりあげ、その現状を述べる。将来発生する地震の震源域やその規模については、既に多くの研究成果があるので、本稿では発生時の予測を主にとりあげることにする。また、これまで地震調査研究推進本部から公表されている個々の活断層や海溝で

起こる地震の評価についても触れる。なお、将来発生する地震の震源域やその規模についてのこれまでの研究成果の概要は、『地震予知計画の実施状況等のレビューについて（報告）』（測地学審議会地震火山部会、1995）の“「地震予知」の現状認識と評価”にまとめられているので、参考として頂きたい。

地震調査研究推進本部は2001年1月から文部科学省におかれている。本稿は、地震調査研究推進本部に設置されている地震調査委員会の活動の成果に基づいており、公表された成果についての詳細は、同本部のホームページ <http://www.jishin.go.jp/main/welcome.htm> を参照頂きたい。地震調査委員会の下には、長期評価部会が設置されており、このもとに設置された確率評価手法検討分科会で、地震発生確率の評価手法が検討された。また、活断層分科会（平成12年度より、東日本、中日本、西日本の三活断層分科会）と海溝型分科会が設置され、それぞれ活断層と海溝で起こる地震の長期評価を行っている。

本稿では、まず同じ震源域から繰り返し発生する地震について、次の地震の発生時を確率で予測する手法について述べる。次に活断層の評価手法とその結果について述べ、さらに海溝で発生する地震の評価手法とその結果について述べる。

II. 地震の繰り返し発生のモデル化

それぞれの震源域で発生する固有の規模の地震について、地震の発生を時間軸上の点として取り扱い、更新過程の統計モデルを用いる方法と、地震発生の物理的過程を考慮して、震源域でのずれの量から次の地震発生までの時間を推定する手法とがある。両者は一見別々の手法のように見えるが、更新過程のモデルとして、後に詳述するBPT（Brownian Passage Time）モデルを用いることによって、統合的に扱うことが可能となる。

1) 更新過程モデル

株価や温度の変化、電子部品からのノイズなど、地震の発生と同様に時間的に変化する事象の統計モデルが、これまで地震発生の確率予測に用いられてきた。更新過程では地震の発生は時間軸上の

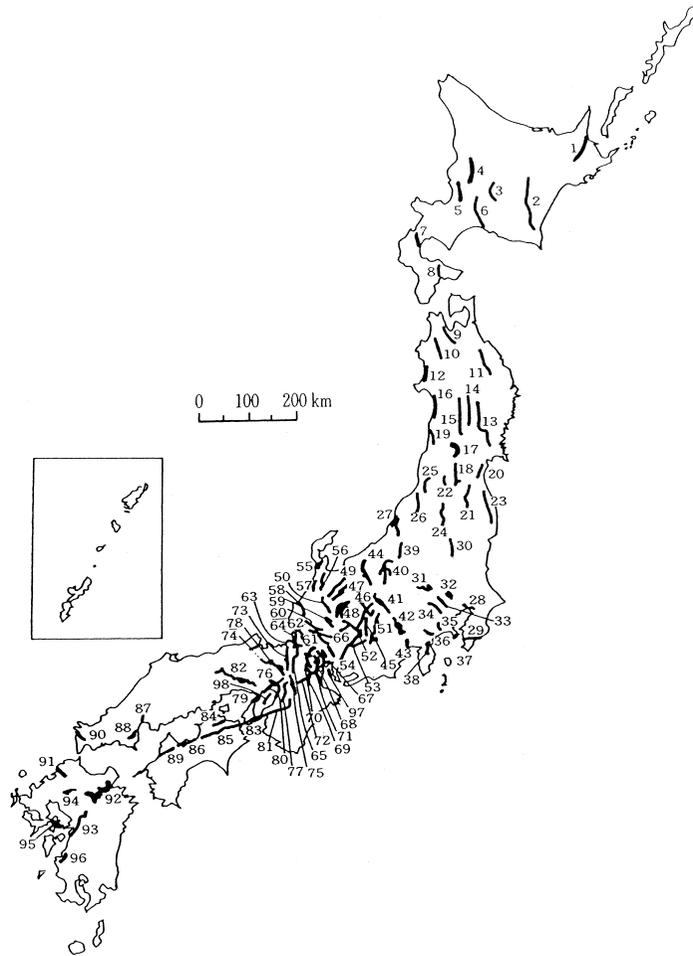


図 1 活断層調査が推進されている，98 の主要活断層．

Fig. 1 Active fault zones subject to the national basic survey of earthquakes.

点として扱われ，地震発生後の状態はいつも同じであると仮定される。すなわち，次の地震までの時間間隔は，いつも同じ確率分布で表されるものとする。その確率分布としては，これまで次のような分布が用いられてきた（Utsu, 1984；島崎，1989）。

- a．対数正規分布（Nishenko and Buland, 1987）
- b．ガンマ分布（Utsu, 1984）
- c．ワイブル分布（Hagiwara, 1974）
- d．二重指数分布（成ヶ沢，1972）
- e．BPT 分布（Matthews *et al.*, 2001）

地震発生確率の推定は 1970 年代前半に日本に

おいて始まり，その初期には Rikitake (1974) 他によって，正規分布（時間軸上でマイナスを含み，更新過程ではない）も用いられた。米国では 1980 年代半ば頃から，長期予測が試みられるようになった。1984 年末から地震予知評価評議会（National Earthquake Prediction Evaluation Council，以下 NEPEC と略称）が活動を開始し，米国地質調査所に地震発生確率算定のためのワーキンググループの設置を 1987 年に勧告した。このワーキンググループの報告『サンアンドレアス断層におけるカリフォルニア州大地震発生の確率

(Probabilities of large earthquakes occurring in California on the San Andreas fault)』(Working Group on California Earthquake Probabilities, 1988)は、1988年にNEPECによって了承されている。その後数回にわたって見直しが行われ、サンフランシスコ周辺を中心とするカリフォルニア北部と、ロスアンゼルスを中心とするカリフォルニア南部とが別々に評価されるようになってきている(島崎, 1990; Working Group on California Earthquake Probabilities, 1995; Working Group on California Earthquake Probabilities, 1999)。

更新過程に基づいて地震発生の確率を推定するには、まず特定の震源域を選び、その震源域のほぼ全域を破壊させる地震(固有規模の地震)を特定する必要がある。前述の時間軸上の点として並ぶのは、これらの地震の発生時である。次に、これら発生間隔のデータを上記確率分布にあてはめて、分布のパラメータの値を推定する。そしてそのパラメータ値を用いて、地震発生確率を計算する。最後の地震発生から計算時点までには地震が発生していないので、そのような条件のもとでの地震発生確率、すなわち条件付き確率を求める。

図2に既述の5つの更新過程モデルの例をあげる。縦軸に集積確率、すなわち、その時点までに地震が発生する確率を示す。また、歴史上の南海地震の発生間隔の累積頻度を併せて示した。データ数が無限にあれば、累積頻度分布は集積確率と同じ曲線になるはずである。なお更新過程のモデルのパラメータ値は、南海地震の発生間隔のデータから最尤法によって推定した。対数正規分布とBPT分布とは異なるモデルにもかかわらず、この図では見分けがつかないほど、類似している。この二つが最も良く実際のデータを説明するモデルとなっているが、ガンマ分布も似た変化を示し、この二者との差は有意ではない。やや異なっているのがワイブル分布で、有意に異なるのが二重指数分布である。なお、この図には指数分布(ポアソン過程)をも示した。指数分布は既述の更新過程モデルの特別な場合に当たる。時間軸上の点がでたらめに分布している場合に対応するが、図か

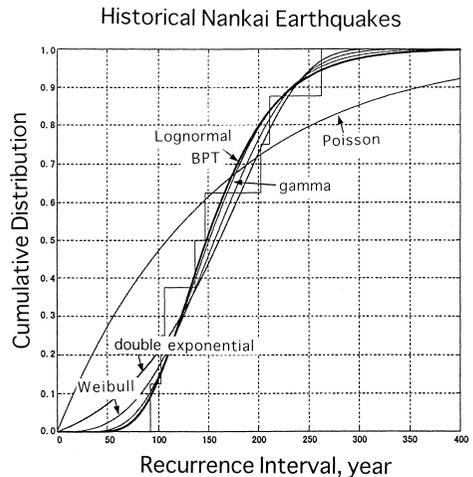


図2 歴史上の南海地震の発生間隔の累積頻度分布と更新過程の集積確率。

Fig. 2 Cumulative distribution of repeat times of historical Nankai earthquakes and the distribution functions for six renewal models fitting the Nankai sequence.

らわかるように、指数分布は実際のデータと全くあわない。地震の発生がでたらめではないことは、明らかである。

地震発生確率の推定に用いるべきモデルは、データを最も良く説明するモデルでなければならない。また、地震発生の物理的過程に対応する確率分布であることが望ましく、さらに発生確率を推定する立場から言えば、ややはずれたデータが存在しても安定した結果となることが望ましい。また、パラメータの意味が物理学的に、或いは統計学的に把握しやすい方が使いやすい。このような基準で地震発生確率の計算に用いられるモデルが選定された(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2001a)。まず、既述の更新過程のモデルを、陸域の活断層や海溝で繰り返し発生する地震に対して適用し、どのモデルが最も良くデータを説明するかが調査された。その結果、指数分布を除けば、どのモデルも実際に観測されたデータのある程度説明することができ、明らかに他より優れているモデルはないことがわかった。そこで次の基準である、物理的な意味付け、安定性、およびわ

かりやすいパラメーターから BPT モデルが選ばれた。

このモデルについて簡単に説明しよう。これは、いわば「動く歩道の酔歩モデル」にあたる。地震の発生間隔を、動く歩道に乗って終点に着くまでの時間としよう。歩かずに乗っていれば、一定時間後には終点に着く。しかし、動く歩道上で酔っ払いが前や後ろに動くと、この一定時間より早く、或いは遅く終点に着くことになる。地震の発生間隔も同様に、一定の時間の前後にばらつく。地震は応力の蓄積がある限界に達した時に発生すると考えられる。プレートの運動によって、一定の割り合いで応力が蓄積すれば、限界に達するまでの時間は一定となる。これは、動く歩道に乗った状態に対応している。しかし実際には、周辺で起こる地震などの影響で、応力がさらに加わったり、その一部が解放されたりする。このために地震発生までの時間は一定ではなく、ばらつく。この影響を酔歩（ブラウン運動）として取り入れたのが、動く歩道の酔歩（BPT）モデルで、BPT は Brownian Passage Time の略である。

BPT モデルが提案される前には、対数正規分布が広く用いられた。対数正規分布は、日本の地震発生間隔のデータも良く説明する。その二つのパラメーターは、発生間隔の対数の平均値およびそのばらつき（標準偏差）であって、統計学的な意味が明確である。また、多少はずれたデータが加わっても、パラメーターが大きく変化することはない。このため試案として対数正規分布の採用が考えられた（地震調査研究推進本部震調査委員会長期評価部会、1998）。試案に対しては、意見募集を行って改訂試案が作られた（地震調査研究推進本部震調査委員会長期評価部会、1999；島崎、2000）。しかし、最終的には BPT モデルが採用された（地震調査研究推進本部地震調査委員会、2001a）。BPT モデルは対数正規分布と酷似しており（図 2）、同じように多少はずれたデータに対しても安定している。また、既述のように地震発生の物理過程と対応付けることができる。また二つのパラメーターは、地震発生間隔の平均値とその相対的ばらつき（標準偏差を平均値で割ったもの）であり、理解しやすい。対数正規分布の場合には、地震が

平均発生間隔に比べて十分長い期間発生しないと、計算される確率の値が時間とともに減少するという性質がある。これは分布の裾の形状によるものであるが、発生確率が下がるのは物理的におかしいと批判された（Davis *et al.*, 1989）。一方、BPT モデルでは、このような場合にも一定値に収束する。十分に時間が経過すると定常状態に達し、酔客の位置を示す確率分布の形が一定になるためである。このように BPT モデルの方が優れた性質を持っており、現在、地震調査委員会が地震発生確率の計算に用いられている。

2) 時間予測モデル

地震発生間隔のばらつきの理由として、BPT モデルでは周辺で発生する地震などの影響を考慮した。時間予測モデルでは、地震によって解放される応力が一定ではないためと考える（図 3 の下図）。プレート運動等によって応力が一定の割り合いで蓄積し、応力の限界値が不変であるとするれば、応力の蓄積と解放は図に示すようになる。すなわち、ある地震で応力が大きく解放されれば、次の地震までの間隔は長く、応力解放量と次の地震までの時間間隔とが比例する。断層の面積を一定とすれば、地震時のずれの量と応力解放量とは比例するので、次の地震までの間隔は地震時のずれの量と比例する。大きくずれた場合には、次の地震までの間隔が相対的に長くなる。このモデルは、次の地震までの間隔が予測可能となることから、時間予測モデル（time-predictable model）と呼ばれ、実際のデータと整合することが示されている（Shimazaki and Nakata, 1980）。

時間予測モデルは、単に地震の発生間隔のみを用いる更新過程モデルと比較すると、より実際の地震発生過程を反映していると考えられ、応力解放量、或いは地震時のずれの量という物理量を用いる分だけ、地震発生時予測精度の向上が期待できる。既述の米国における地震発生確率の推定にも、更新過程モデルとともに用いられている。

BPT モデルでは、応力の解放量は常に一定と仮定されている（図 3 上図）が、この値が地震ごとに変化すると考え、地震時のずれの量から推定可能とすれば、BPT モデルと時間予測モデルとが統

合され、擾乱を含む時間予測モデルを構築することができる(島崎・林, 2000)。なお、尾形(2001)は、発生間隔を前に起こった地震のずれの量で割ることによって、時間予測モデルを考慮した更新過程モデルを提案した。

南海地震の系列については、これまで幾つかの研究によって、時間予測モデルが成り立つことが示されている。この点を考慮し、後述するように、次の南海地震の発生確率は時間予測モデルに基づいて計算された。

III. 活断層評価

活断層で起こる地震の発生確率を推定するには、BPT モデルの二つのパラメーター、すなわち平均発生間隔とその相対的ばらつきとが必要である。また、最後の地震がいつ起こったかを知らなければならない。しかし、実際の活断層調査でこれらすべての値を求めることは困難である。特に、発生間隔の相対的ばらつきは、多数の発生間隔のデータがなければ求めることができない。この問題は、発生間隔が多く調査されている例から共通の相対的ばらつきを推定することによって解決された。2001年10月末現在、14活断層帯の評価が終了し、その結果が公表されている。

1) 共通の相対的ばらつき

地震調査委員会では、BPT モデルのパラメーターの一つである相対的ばらつき(標準偏差/平均値)について調査を行った。繰り返し起こった過去の地震について、その多数回が知られており、ばらつきが計算できる活断層は、余り多くない。委員会では、5回の地震が知られている跡津川断層、6回の地震が知られている阿寺断層と丹那断層、および9回の地震が知られている長野盆地西縁断層のデータから、繰り返し間隔のばらつきの様子を調べ、統計的に同じばらつきと考えると良いことを明らかにした。

実際には、モデルがデータを良く説明しているかどうかを数量的に示す赤池情報量基準(AIC)(Akaike, 1974)が用いられた。すなわち、相対的ばらつきが活断層ごとに異なるとするモデルと、共通の値を持つとするモデルとのそれぞれについ

て、AICを計算して比較した結果、明らかに共通の値を持つとするモデルの方が優れていることがわかった(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2001a)。その値は、0.24である。

この結果を敷衍すると、日本の活断層で起こる地震の、発生間隔の相対的ばらつきは、どれも同じと考えることができる。もちろんデータが蓄積すれば、改めてこの点は検討しなければならないが、当面はそのように考えて良いだろう。同じ相対的ばらつきであれば、残りの必要な数値は平均間隔と最新活動年代で、実際の活断層調査では、これらの値が明らかとなった場合が多い。この相対的ばらつき0.24を用いて、地震の発生確率がどのような値となるかは、地震調査研究推進本部地震調査委員会(2001a)の報告書に表、および図で示されている。一例をあげよう。地震発生の平均間隔が2000年の活断層の場合、最後の地震が1800年前に発生していれば、今後30年以内の地震発生確率は4.2%、2000年前の発生であれば5.4%、3000年前なら9.1%となる。

2) 個々の活断層評価

これまで、糸魚川 静岡構造線活断層系、神縄・国府津 松田断層帯、富士川河口断層帯、鈴鹿東縁断層帯、元荒川断層帯、東京湾北縁断層、岐阜 一宮断層帯、生駒断層帯、有馬 高槻断層帯、北上低地西縁断層帯、函館平野西縁断層帯、京都盆地 奈良盆地断層帯南部(奈良盆地東縁断層帯)について評価がまとめられ、公表されている。今後も引き続きとりまとめが行われ、その結果が公表される予定である。表1に、これまで評価された地震の今後30年間の発生確率を示す。なお、評価着手の順序としては、調査実施主体が危険度が高いとしている断層帯、或いは、活断層ではないとしたものを優先している。

糸魚川 静岡構造線活断層系(図1の番号41, 42, 44)については、活断層の長期予測結果に基づいて、地震が発生した場合の強震動の予測が試みられている(入倉・三宅, 2001)。断層の幾何学的形状がどのように評価されているかを、この糸魚川 静岡構造線活断層系を例として、簡単に触れておく。

表 1 活断層およびプレート境界で今後 30 年以内に大地震が発生する確率。
Table 1 30-year probability for occurrence of a large earthquake.

地震或いは活断層帯の名称		予想される震源規模	30 年確率
宮城県沖地震	単独で発生	M7.5	90%を超える
	南海よりの震源域と同時発生	M8.0	
南海トラフの地震	南海地震	M8.4	40%程度
	東南海地震	M8.1	
	南海と東南海の同時発生	M8.5	
糸魚川 静岡構造線活断層帯		M8	14%
富士川河口断層帯		M8	4%
神縄・国府津 松田断層帯		M8	4%
奈良盆地東縁断層帯		M7.5	(ほぼ 0 ~ 5%)
函館平野西縁断層帯		M7.0 ~ 7.5	(ほぼ 0 ~ 1%)
鈴鹿東縁断層帯		M7.5	(0.5%以下)
生駒断層帯		M7.0 ~ 7.5	(ほぼ 0 ~ 0.1%)
有馬 高槻断層帯		M7.5	(ほぼ 0 ~ 0.02%)
北上低地西縁断層帯		M7.8	(ほぼ 0%)

まず断層面については、地表の活断層の分布を参考として、断層線が直線となるように、糸魚川 静岡構造線活断層系北部および中部が、四つの部分にわけてある。南部については、長期評価の時点(1996年)で活動履歴が未解明のために評価されていない。北部は神城断層を含む区間(北部1,長さ26km)と松本盆地東縁断層を含む区間(北部2,長さ35km)とに、中部は牛伏寺断層を含む区間(中部1,17km)と岡谷断層、諏訪断層群、釜無山断層群を含む区間(中部2,長さ34km)とにわけられた。断層面の幅や傾斜は、一般に推定が難しい。傾斜の推定には、反射法地震探査の結果や、付近で起こった地震の断層パラメータなどが参考として使われた。断層面の幅は、微小地震の分布から地震発生層の下限を15kmとして、計算されている。反射法地震探査の結果では、浅い部分の傾斜しか示されていないので、これらの推定結果は大きな誤差を含む可能性がある。

今後30年以内の地震発生確率が最も高いのは、糸魚川 静岡構造線活断層系の北部と中部(図1の番号41,44)の14%で、地震が発生する区間

は松本市をとる牛伏寺断層を含むものの、どこまで延びるかはわからない。震源規模はマグニチュード(以下Mと記す)8程度である。日本の陸域で地震の発生する確率が最も高い断層と考えて良いだろう。

次に高いのは神縄・国府津 松田断層帯(図1の36)と富士川河口断層帯(43)で、いずれも30年確率は約4%で震源規模はM8程度、前者は相模湾内へ、後者は駿河湾内へ及びものと考えられている。なお、富士川河口断層帯の30年確率は、最後の活動時期が不明なために、0.20~11%とされている(地震調査研究推進本部地震調査委員会,2001a)。ここでは、評価後の調査結果(下川ほか,1999)に基づき、最新活動を約1500年前とした場合の値を表に示した。なお、表の確率の値は、その誤差を考慮して丸めてある。富士川河口断層帯の地震はいわゆる東海地震と同時に発生するとされているが、それが次の想定「東海地震」の可能性もあるものの、その次や次の次である可能性もある。この他、奈良盆地東縁断層帯(図1の番号75である京都盆地 奈良盆地断層帯の南部)は、

過去の活動が十分明らかになっていないために、30年確率が十分にしぼりこめず、 $0 \sim 5\%$ と推定されている。この高い方の値をとると、神縄・国府津 松田断層帯や富士川河口断層帯と同程度の発生可能性を持つことになる。なお、30年確率が3%を超える活断層帯は、98断層帯の1/4程度と推定されており、陸域の活断層では、最も確率の高いグループに属する。

次に確率が高い可能性を持つのは、函館平野西縁断層帯（図1の番号8）、鈴鹿東縁断層帯（68）、生駒断層帯（77）である。30年確率が $0.1 \sim 3\%$ となる活断層帯は98断層帯の約1/4と推定されており、2番目に確率の高いグループに属するが、これらの断層は確率推定値の高い方をとれば、このグループに属する。いずれも過去の地震活動が十分確定できず、表1に示すように幅のある確率の値となっている。鈴鹿東縁断層帯は最新の活動年代が不明なために、ポアソン過程（地震が定期的に発生している）を仮定して30年確率が計算された。震源規模についても表1に示した。

有馬 高槻断層帯（図1の番号76）の東部は震源規模が少なくともM7.5、北上低地西縁断層帯（13）はM7.8程度の可能性が指摘されている。いずれも30年確率は低いが、活断層帯の一部で起こるMの小さい地震については、評価されていないことに注意したい。

元荒川断層帯（図1の32）は、関東平野中央部、大宮台地の北東縁付近をほぼ北西-南東方向に延びるとされる断層帯である。この断層帯は上尾市付近で南部と北部に分けられ、南部では活断層ではなく、北部は深谷断層等と一連の活断層帯となっている可能性が高いとされた。また、東京湾北縁断層（28）は、千葉県北西部の東京湾沿いを北西-南東方向に延びる伏在断層とされていたが、活断層ではないと評価された。さらに、濃尾平野のほぼ中央部を北北西-南南東方向に延びる長さ32kmの伏在（ふくざい）活断層とされていた岐阜-一宮断層帯（66）も、活断層ではないと評価された。

活断層の調査、評価は今後も続けられ、平成16年度には第一次の活断層評価が完成する予定であ

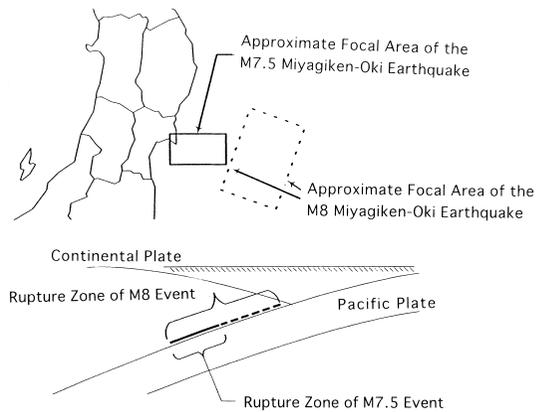


図3 宮城県沖地震の発生位置の目安（文部科学省地震調査研究課原図）。

Fig. 3 Approximate extent of the next Miyagi-Oki earthquake (original figures provided by Earthquake Research Division, Ministry of Education, Culture, Sports, Science, and Technology).

る。その時点で現在30年確率で行われているグループ分けも見直されることになる。しかし、調査が不十分で評価の確度、精度が低い断層も多く残るものと思われ、さらに調査を続けることが肝要である。表1の30年確率の値が括弧内のもは、地震の平均発生間隔の推定の信頼度が低いとされた場合を示す。今後信頼度を上げ、精度を高める努力が必要なことは言うまでもない。

IV. プレート間地震の評価

海溝沿いで発生する大地震、巨大地震の長期予測は2000年に結果が公表された宮城県沖地震から開始された。その後、南海トラフで発生する地震の評価が行われただけで、今後の課題は多い。評価がまとまり次第、その結果は公表されていくことになっている。南海地震については、これまでの更新過程による評価ではなく、より精度が高いと考えられる時間予測モデルを用いた評価が行われた。

1) 宮城県沖地震

宮城県の沖合から日本海溝までの海域では、陸寄りおよび日本海溝寄りの二つの海域それぞれを

震源域として、繰り返し地震が発生している(図3)。1978年宮城県沖地震($M7.4$)と同様な、陸寄りの海域を震源域とする地震(仮に「宮城県沖地震」と呼ぶ)の長期評価が行われた(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2000)。地震発生の可能性は年々高まっており2020年頃までに次の地震が起こる可能性が高いとの結果が公表されている。

過去の活動については、これまでの議論とともに、都司(2001)によってまとめられた震度分布や震源規模の推定結果が参考とされている。地震調査研究推進本部地震調査委員会(2000)は、次の日付けに発生した6個の地震を宮城県沖地震と同様な地震と判定した。なお、1793年の地震については、陸寄りと海溝寄りの二つの震源域が連動した(同時に活動した)地震と判断された。なお、下記より以前の地震は、宮城県沖地震とされる地震もあるが、記録が不十分なおそれがあるために評価されていない。

1793年2月17日

1835年7月20日

1861年10月21日

1897年2月20日

1936年11月3日

宇佐美(1996)によれば、宮城県沖の地震としてほぼ同様な位置に推定されている地震が、1800年代半ば前後に1835年、1855年、1861年と3回あり、それらの震源規模はそれぞれ、約 $M7.0$ 、 $M7\frac{1}{4} \pm \frac{1}{4}$ 、 $M6.4$ となっている。これに従えば1835年と1855年の地震を採用すべきとの結論になろう。しかしこれまでに収集された史料から求められた震度分布(都司, 2001)によれば、1855年の地震は局所的な被害域を持つ地震で、陸域の浅い地震の可能性が高い。また都司(2001)によれば、震源規模も1861年の地震が $M7.4$ 、1855年の地震が $M6.2$ と逆転する。これらの調査は膨大な文献に基づき手作業で行われており、地震史料文献のデジタルデータベース化が一つの課題となっている。

1898年4月23日の地震は、羽鳥(1975)によれば津波波源域が1897年2月の宮城県沖地震とほぼ同じで、宮城県沖地震の可能性がある。しか

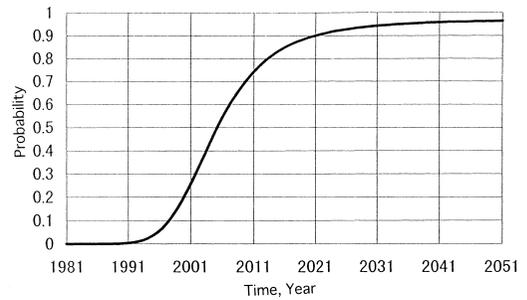


図4 10年後までに宮城県沖地震が発生する確率の時間変化(地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2000)。

Fig. 4 Time variation of ten-year probability for an occurrence of the Miyagi-Oki earthquake (Earthquake Research Committee, Headquarters of Earthquake Research Promotion, 2000).

し、震度分布や被害状況などの検討により、宮城県沖地震とは異なる地震とされた。

宮城県沖地震の繰り返し間隔は、最短26.3年、最長42.3年、平均37.1年であり、最後の地震から22.6年経過している(2001年の年始時点)。震源規模は $M7.3$ 7.5 程度だが、海溝寄りの震源域と連動する場合には、 $M8.0$ 前後と考えられる。BPTモデルをあてはめると、相対的ばらつきを示すパラメータは0.18となり、2010年、2020年、2030年まで宮城県沖地震が発生する確率は、それぞれ23%、78%、98%となる。図4には10年確率の時間推移を示した。

2) 南海地震・東南海地震

南海トラフでは繰り返し大地震が発生しており、その系列については多くの研究がある。地震調査研究推進本部地震調査委員会(2001b)では、これまでの研究成果に基づいて、次の南海地震、および東南海地震の震源域を図5のように推定した。この長期評価では、想定東海地震の発生が懸念されていることから、東南海地震の震源域の東端は、想定東海地震の西端(中央防災会議東海地震に関する専門調査会, 2001)となっている。

次の南海地震および東南海地震の震源規模を表1に示す。

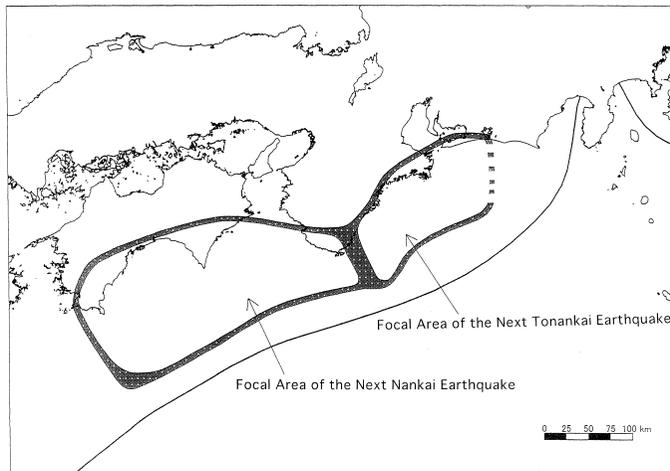


図 5 想定南海地震および想定東南海地震の震源域（文部科学省地震調査研究課原図）。

Fig. 5 Source regions of the next Tonankai and Nankai earthquakes (original figure provided by Earthquake Research Division, Ministry of Education, Culture, Sports, Science, and Technology).

南海地震の系列について、時間予測モデルが成り立つことは既に多くの指摘があり、またその性質を利用して次の南海地震の発生時の予測が試みられている（島崎, 1977; Shimazaki and Nakata, 1980; Mogi, 1981; Scholz, 1990; Kumagai, 1996; Hori and Oike, 1996）。一方、東南海地震については、このような試みはない。島崎（2001）は、様々な量を総合的に用いて次の南海地震がいつ発生するかを時間予測モデルに基づいて推定するとともに、東南海地震についても試みた。それらの結果は、ほぼ過去の研究の予測値と調和的である。

その手法によれば、まず宝永地震と安政地震のデータから、昭和の地震の発生時を予測する。そして実際の発生時との差の絶対値を求め、次に、安政地震と昭和の地震のデータから次の地震の発生時を求め、そしてその逆数を重みとして平均し、総合的な予測値とする。ただし、同じ物理量を用いた予測値が複数ある場合には、最も小さいものを選び、 > 30 年となるデータは用いない。

地震調査研究推進本部地震調査委員会(2001b)

では、この手法を採用し、宝永、安政および昭和の地震のずれの量、或いはそれに比例する量を用いて、次の南海地震および東南海地震の発生時を予測して、地震発生確率を求めた。今後30年間の地震発生確率は、南海地震で40%程度、東南海地震で50%程度と推定された。東南海地震についてはデータが少なく得られた確率の信頼度は低いが、これまで東南海地震と南海地震とは同時、或いは続けて発生（間隔は長くても2年程度）しているので、実用上は信頼性が高いと考えられる南海地震の地震発生確率を用いれば良い。このように考え、表1には南海地震の発生確率約40%を示した。南海地震が今後10年以内に発生する確率は10%未満だが、20年以内では約20%、30年以内で約40%（図6）である。ほぼ今世紀前半に起こる（その可能性は80%）と考えて良いだろう。必ず発生する地震であり、その被害は西日本の広範な地域にわたる。長期間の準備が必要な対策でも早く着手すれば、まだ間に合う可能性が高いことをこの評価結果は示している。

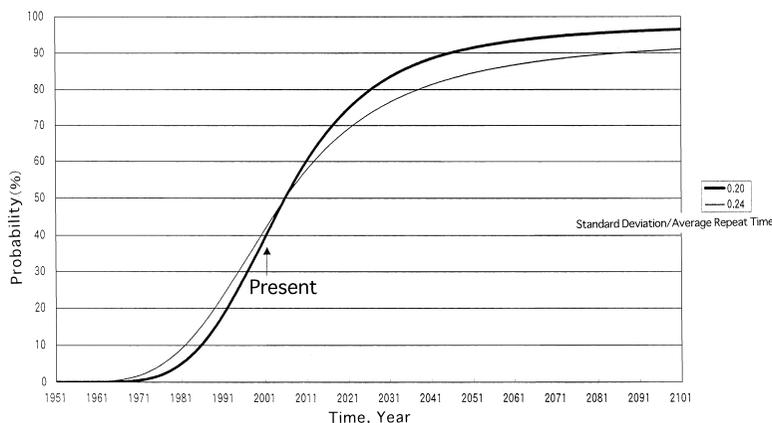


図 6 時間予測モデルによる 30 年後までに南海地震が発生する確率の時間変化 (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2001b)。

Fig. 6 Time variation of thirty-year probability of occurrence of the Nankai earthquake (Earthquake Research Committee, Headquarters of Earthquake Research Promotion, 2001b).

V. おわりに

陸域の活断層とプレート間地震とでは、30 年確率の値は大きく異なる。これは地震の発生間隔が 1 桁以上異なるためである。陸域の活断層の場合には、確率の値が小さくとも発生する可能性があることに注意したい。例えば、1995 年兵庫県南部地震は 30 年確率が 0.4 ~ 8% の時点で発生している (地震調査研究推進本部地震調査委員会, 2001a)。

陸域の浅い大地震は、98 の主要活断層帯以外でも発生する。過去のデータから推定すると、今後発生する陸域の大地震が 98 の断層帯で発生する可能性と、それ以外で発生する可能性は、ほぼ半々である (地震調査研究推進本部地震調査委員会事務局, 2001)。これまで全く不意打ちであったこれらの地震のうち、その半数に対しては予測が可能になったのが長期予測の現状である。98 の主要活断層帯以外の地震については、現在その評価法を検討中だが、発生位置を予め特定することが困難な場合が多いので、これまでの評価に比べ、ピントが多少ばやける結果となろう。

公表された確率の値の誤差については、地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2001a) が簡単

な検討を行っている。例えば確率が 4% と推定されていても、実際の値は 1 ~ 7% 程度であることが多い。細かな値の違いは問題としないほうがよい。データは十分ではなく、さらに調査研究が必要であることを強調したい。

謝 辞

長期評価については、地震調査委員会の前および現委員長ならびに委員の皆様、同長期評価部会、同確率評価手法検討分科会、同じく海溝型分科会の委員の皆様、ならびに各活断層分科会の主査ならびに委員の皆様、また事務局の皆様、以上の方々の御努力、御協力に負うところが多い。記して感謝申し上げる。特に故米倉伸之先生には、西日本活断層分科会の初代主査を務めて頂くとともに、長期評価部会の委員も兼ねて頂き、活断層の評価についてはもちろんのこと、長期評価全般についてのとりまとめに御尽力頂くとともに、改善への御提言を頂いた。厚く感謝申し上げますとともに御冥福をお祈り申し上げます。

文 献

- Akaike, H. (1974): A new look at the statistical model identification. *IEEE Trans. Automat. Contr.*, **AC 19**, 667-674.
 中央防災会議東海地震に関する専門調査会 (2001) 第 6 回東海地震に関する専門調査会資料参考図. p.5.

- (<http://www.bousai.go.jp/jishin/chubou/tokai/6/index.html>)
- Davis, P.M., Jackson, D.D. and Kagan, Y.Y. (1989) The longer it has been since the last earthquake, the longer the expected time till the next? *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **79**, 1438-1456.
- Hagiwara, Y. (1974) Probability of earthquake occurrence as obtained from a Weibull distribution analysis of crustal strain. *Tectonophysics*, **23**, 313-318.
- 羽鳥徳太郎 (1975) 三陸沖歴史津波の規模と推定波源域. 東京大学地震研究所彙報, **50**, 397-414.
- Hori, T. and Oike, K. (1996) A statistical model of temporal variation of seismicity on the inner zone of southwest Japan related to the great interplate earthquake along the Nankai Trough. *J. Phys. Earth*, **44**, 349-356.
- 入倉孝次郎・三宅弘恵: シナリオ地震の強震動予測. 地学雑誌, **110**, 849-875.
- 地震調査研究推進本部 (1999) 地震調査研究の推進について 地震に関する観測, 測量, 調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策. 20p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2000) 宮城沖地震の長期評価. 18p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2001a) 長期的な地震発生確率の評価手法について. 46p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (2001b) 南海トラフの地震の長期評価について. 52p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会 (1998) (試案) 長期的な地震発生確率の評価手法及びその適用例について. 73p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会 (1999) 試案「長期的な地震発生確率の評価手法及びその適用例について」に対する意見募集の結果及び寄せられた意見に対する長期評価部会の考え方について. 148p.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会事務局 (2001) 長期的な地震発生確率についての解説. 12p.
- 地震調査研究推進本部政策委員会 (1997) 地震に関する基盤的調査観測等の計画について. 52p.
- Kumagai, H. (1996) Time sequence and the recurrence models for large earthquakes along the Nankai trough revisited. *Geophys. Res. Lett.*, **23**, 1139-1142.
- Matthews, M.V., Ellsworth, W.L. and Reasenberg, P.A. (2001) A Brownian model for recurrent earthquakes. preprint.
- Mogi, K. (1981) Seismicity in western Japan and long-term earthquake forecasting. In Simpson, D. W. and Richards, P.G. eds.: *Maurice Ewing Ser. 4, Earthquake Prediction*. American Geophysical Union, 43-51.
- 成ヶ沢憲太郎 (1972) 大地震の時間的空間的分布のシミュレーション. 北海道大学地球物理学研究報告, **28**, 31-46.
- Nishenko, S.P. and Buland, R. (1987) A generic recurrence interval for earthquake forecasting. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **77**, 1382-1399.
- 尾形良彦 (2001) 次回の南海地震の確率予測 その偏りと誤差について. 地学雑誌, **110**, 602-614.
- Rikitake, T. (1974) Probability of earthquake occurrence as estimated from crustal strain. *Tectonophysics*, **23**, 299-312.
- Scholz, C.H. (1990) *The mechanics of earthquakes and faulting*. Cambridge Univ. Press, 439p.
- 島崎邦彦 (1977) 地震の繰り返し発生の単純なモデルと東海地域の地殻変動. 地震予知連絡会東海部会資料, 32-40.
- 島崎邦彦 (1989) 大地震の発生確率: 統計的手法. 地震保険調査研究, **25**, 93-107.
- 島崎邦彦 (1990) 大地震の発生確率: カリフォルニアの事例. 地震保険調査研究, **26**, 113-132.
- 島崎邦彦 (2000) 長期的な地震発生確率の評価手法について. *RISK*, **55**, 18-28.
- 島崎邦彦 (2001) 南海地震と東南海地震の時間予測モデル. 日本地震学会講演予稿集 2001年度秋季大会 P20.
- 島崎邦彦・林 豊 (2000) 擾乱を含んだ時間予測モデル. 地球惑星科学関連学会 2000年合同大会予稿集, S1-004.
- Shimazaki, K. and Nakata, T. (1980) Time-predictable recurrence model for large earthquakes. *Geophys. Res. Lett.*, **7**, 279-282.
- 下川浩一・山崎晴雄・田中竹延 (1999) 富士川河口断層帯の活動履歴調査. 日本地震学会講演予稿集 1999年度秋季大会, C36.
- 測地学審議会地震火山部会 (1995) 地震予知計画の実施状況等のレビューについて. 137p.
- 都司嘉宣 (2001) 歴史史料から見た 1978年宮城県沖地震の再帰性. 地球惑星科学関連学会 2001年合同大会予稿集, Jm-003
- 宇佐美龍夫 (1996) 新編日本被害地震総覧 [増補改訂版 416 1995]. 東京大学出版会, 516p.
- Utsu, T. (1984) Estimation of parameters for recurrence models of earthquakes. *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo*, **59**, 53-66.
- Working Group on California Earthquake Probabilities (1988) Probabilities of large earthquakes occurring in California on the San Andreas fault. *U. S. Geological Survey, Open-File Report*, 88-398.
- Working Group on California Earthquake Probabilities (1995) Seismic hazards in southern California: Probable earthquakes, 1994 to 2024. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, **85**, 379-439.
- Working Group on California Earthquake Probabilities (1999) Earthquake probabilities in the San Francisco Bay region: 2000 to 2030 A summary of findings. *U. S. Geological Survey Open-File Report*, 99-157.

(2001年11月2日受付, 2001年11月19日受理)