

**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**

平成11年1月13日

地震調査研究推進本部 地震調査委員会
長期評価部会

平成11年1月13日
地震調査研究推進本部
地震調査委員会
長期評価部会

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

地震調査委員会長期評価部会は、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」を公開し、平成10年5月13日から7月10日までの間、意見募集を行った。その結果、防災関係者4名、報道関係者0名、地震及び関連分野の研究者・技術者13名、一般住民・その他1名の計18名から49件の意見が寄せられた。当部会では、それらをもとに同試案を再検討し、修正を加えて改訂試案とした。

試案に対して寄せられた意見、これらの意見に対する地震調査委員会長期評価部会の考え方、意見に基づいて検討した事項、改訂試案等を以下に示す。

目次

1. 寄せられた意見の概略及びそれに対する長期評価部会の考え方	2
2. 意見にもとづいて長期評価部会が検討した事項	28
3. 地震調査委員会における長期評価	29
4. 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」 の公開と意見募集について	33
5. 試案に寄せられた意見の全文	34
6. 改訂試案「長期的な地震発生確率の評価手法について」	54
付録 改訂試案の解説 (文責：事務局)	139

1. 寄せられた意見の概略及びそれに対する長期評価部会の考え方

寄せられた意見の全文は第5節に掲載しました。意見は大きく分けて次の5種類に分類できます。以下では、各分類毎に、寄せられた意見の概略、及びそれに対する長期評価部会の考え方を示します。

(1) 長期評価の方針に関する意見	2
(2) 試案の公開方法に関する意見	7
(3) 適用例に用いたデータに関する意見	15
(4) 長期評価の手法に関する意見	17
(5) その他の試案の記述内容全般に関する意見	22

(1) 長期評価の方針に関する意見

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」の「はじめに」で述べましたように、長期評価部会は、地震活動を長期評価する目的、すなわち数十年以上にわたる長期的な観点から将来の地震活動度を探ることを目的として、総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会のもとに設置されています。長期評価部会では、地震活動の長期評価の一環として、プレート境界やプレート内部の弱線である活断層で発生する大地震について、活動間隔・平均ずれ速度（平均変位速度）・最新活動時期・活動区間（セグメント）等のパラメータを用いて、その長期的な発生可能性を確率という数字で評価する手法を検討しています。

(1.1) 長期評価部会がこのように長期的な地震発生可能性を確率によって評価する手法を検討していることについては、つぎのような、多くの肯定的な意見が寄せられました。なお、意見番号は4節の意見番号と共通です。また、下線は編集時に引いたものです。

意見3

氏名：神奈川県環境部地震対策課長 野本 紀

立場：防災関係者

該当個所：全般

意見：

全体的方向について

・概要：長期的な地震発生確率の評価の公表について賛同する。

・趣旨：長期的な地震発生確率の評価の公表については、地域防災計画（地震災害対策計画）の基礎資料として、非常に有用な情報であり、実施の方向で進めていくことについて賛成する。

意見13

氏名：山岸 登

立場：防災関係者

該当個所：第1章 長期確率評価の考え方について

意見：

短期的地震予知が困難となってきた現状下で、時系列データを主体に長期確率の評価を行ったことは防災や耐震構造分野に広く寄与できると明言致します。

さて、これまで数十年先のことは中期予知といわれてきたようですが、ここでいう長期とはおよそ何年くらい先から後のことでしょうか。

意見19（抜粋）

氏名：荒木春視

立場：地震および関連分野の研究者、技術者

該当箇所：第2章 手法

意見：

（中略）

以上、地震予知問題に取り組んでいる一研究者として、疑問点を申し述べました。参考になれば、幸甚です。なお、敢えて私見として補足させて貰うなら、確率論は基本的に賛成です。ただし、導入の目的と方法は異なります。

意見32（抜粋）

氏名：大竹 政和

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：

意見：

1. 統計的な手法による地震発生確率の長期的評価は、最近の各種調査研究の進展により、かなりの程度客観的な基礎を有するに至った。長期評価部会の積極的な取り組みに敬意を表する。地震防災対策への貢献の見地から、今後、可能な場所から全国的な規模で評価を実施し、その成果を公表して行くべきである。

（以下略）

意見34（抜粋）

氏名：亀田 弘行

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：

意見：

不確定性を伴う将来の地震発生に対して確率表現の方法を開発することは基本的に重要です。特に、今後の活断層調査の進展に伴って増加する断層情報を適切に反映する方法が必要とされるという基本認識は全く妥当と考えます。文献18に挙げられているわれわれの研究も同じ理念で始めたものです

（まだ研究の基礎的段階ですが）。今回拝見した報告書は、こうした努力の重要な一歩であり、大いに評価したいと思います。しかしこれはあくまで一歩であると考えます。この分野が今後健全に発展して行くことを期待する立場から、報告書の趣旨・表現・内容にわたり、十分な議論と検討を要すると考えられる主な事項について、以下に私見を述べさせていただきます。

（以下略）

意見43（抜粋）

氏名：武村 雅之

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：

意見：

長期的な地震発生確率の評価についての報告書を拝見いたしました。大変意欲的な試みであり、現

状の学問レベルでの一定の到達点を示されていること高く評価いたします。

(以下略)

意見44

氏名：早川 由紀夫

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当個所：全般

意見：

地震の長期確率をこのように評価しようとする試みに賛同します。これをさらに推進することを望みます。

意見49 (抜粋)

氏名：井濶 陽平

立場：一般住民、その他

該当個所：主に4.2確率の数値評価のまとめ

意見：

地震の長期的な発生可能性を、確率という客観的な数字で評価しようという試みは大変すばらしいことだと思います。

(以下略)

(1.2) 一方で、研究活動であるのか、行政的目的を持つ行為なのかを明らかにする必要がある、等の、次のような指摘がありました。

意見31 (抜粋)

氏名：入江 さやか

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当個所：

意見：

はじめに、貴部会が「試案」という形で本調査に対し広く一般の意見を求められた点について評価したい。先般の「余震確率評価」に比べ不確実性が高く、その反面社会的影響は大きく、扱いにくい課題ではあるが、今後の地震防災の拡充にはこのようなオープンな議論が不可欠である。

1) 「あいまい性」の処理について

本試案の適用結果からは数タイプの「あいまい性」が読み取れた。

- ① 計算モデルによる差異が大きいもの
- ② データセットによる差異が大きいもの
- ③ 活動区間のモデルが複数あるもの
- ④ 過去の地震が発生確率の低い時期に起きたもの
- ⑤ 予測される次の活動時期に大きな幅が(100年以上)あるもの

上記のうち①、⑤は今後他の断層を評価してゆく過程で、ある程度精度を持ったモデルが得られる可能性が高いと考えられる。②、③、④に関しては、活断層のトレンチ調査、文献調査等データの充実によって補完される余地はあるが、データの蓄積に時間を要することもあり、あいまい性は消えにくいと考えられる。

本研究を純粋にアカデミックな目的のみで行うのか、向こう数年の間で防災に役立つ形にするのかで、このあいまい性の取り扱い方は異なってくる。アカデミックな目的のみであれば時間をかけてあいまい性の解決に向けた研究がすすめられるべきであろう。が、防災上の判断に用いるのであれば、

あいまい性を包含しながらも目下得られている最良の結果を指標として示さねばならない。そこで、本試案4.5の(2)等にあるように、材料となったデータもしくは得られた確率の「あいまい性＝信頼性」評価をA, B, Cもしくは点数等で「格付け」する方法論の検討が求められる。言い換えれば「あいまい性」を残したままで実用に供する際の「使用上の注意」をどう表現するか、ということである。

(以下略)

意見34 (抜粋)

氏名：亀田 弘行

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：

意見：

(中略)

(2) 本報告書の位置づけについて：これは研究活動であるのか、行政的目的を持つ行為なのかがあいまいであり、この点に関して位置づけを明確にして頂きたいと思います。それによって本フォーラムへの意見表明の意味が変わると考えます。研究活動であれば、学会等での自由な討議の場にのせるべきであり、このフォーラムも同様の目的で討論を活性化させる場として活用すればよいと考えます。一方、今回の報告書が手法の標準化を主旨とするなど行政的要素を含むとすれば、手法的に現在の段階で固定することはこの分野の発展を阻害することになりかねず、慎重な扱いがなされることを要望します。さもないければ、本報告書で提案されている手法や数値が、本来の意味を離れて一人歩きする懸念を持ちます。

(以下略)

地震調査委員会は、地震防災対策特別措置法によって設けられており、同法は地震防災対策の強化をその目的としています。このような設置の目的に照らして、地震調査委員会が行う地震活動の総合的な評価は、地震防災対策に活かされるべきものと考えています。

このように、長期的な地震発生の可能性の評価は純粋な研究活動ではありません。現時点で最も信頼のおけるデータに対して、現時点で最良と考えられる手法を適用したものを、早期に作成すべきと考えています。その後、調査研究の進展に応じて順次改良していく考えです。なお、評価結果に残る不確実性の程度については十分に説明していきます。

(1.3) さて、短期予知が可能であるという考えにたって、試案の限界を早く認識すべき、という次のような指摘がありました。

意見40

氏名：薩谷 泰資

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：

意見：

1. 試案の全体、特に第1章について

この手法(地震に対する確率的考え方)の限界を早く認識されて、実際に役立つ新しい試案を出されることを期待する。

2. 阪神大震災を経験した一人としては、大地震には前兆現象が必ず存在する。
3. 私は気温、相対湿度、大気イオン密度の変動および空中電位変化等の組合せにより短期予測が可能だと考えます。(気象学会等で発表済み)
4. この手法の装置に関しては特許出願中である。
5. 参考資料として新聞記事を送付する。

この長期評価は地震の直前予知の研究と対立するものではありません。仮に、直前予知が可能となっても、建築物、構造物等の耐震性能を地震発生の直前に向上できるものではありません。このような観点から、建築物、構造物等の耐震性能の向上をはじめとする地震に強いまちづくり、国土作りのための中・長期的な取り組みに、長期的な地震発生の可能性に関する評価を活用することが出来ると考えます。

以上のように、長期評価部会が確率を用いて長期的な地震発生可能性の評価を行うという試みに対しては、おおむね理解が得られていると考えます。長期評価部会では、地震に強いまちづくり、国土作りのための基礎資料を提供すること等を意図して、地震発生確率評価手法の改良に努めます。

(1.4) また、長期評価の全体の流れの中でこの試案が占める位置について、次のような意見がありました。

意見1

氏名：小澤 邦雄

立場：防災関係者

該当箇所：「全般」、「はじめに」、表題

「はじめに」

・・・同部会は長期評価の一環として、平成9年11月に「長期確率評価手法検討分科会」を設置し、プレート境界やプレート内部の弱線である活断層で発生する大地震を、活動間隔・平均ずれ速度・最新活動時期・活動区分等のパラメータを用いて、その長期的な発生可能性を確率という数字で評価する手法を検討した。発生する地震の規模や地震による揺れの最大加速度等を含めた最終的な長期評価のためには、上述の他にも様々なパラメータを取り込む必要があると考えられるが、ここではまず、地震発生の時系列的なところまでを扱うこととした。・・・

意見：

◎ 活断層によるもの以外の地震発生確率について

===「活断層がなくても直下の大地震はおこる」という認識を社会に徹底したほうがよいと考える。

(石橋克彦、1998地球惑星科学関連学会合同大会予稿集P314)===という意見もあり、長期的地震発生確率の評価手法の検討において、活断層によるもの以外の地震発生確率は、別途行うのか、長期評価になじまないのか、評価するに値しないのかを明らかにすべきである。別途評価する必要がある場合は、本報告書のtitleも考慮されるべきであろう。

例えば「活断層による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」というように活断層に基づく評価であることを表示すべきである。

意見34 (抜粋)

氏名：亀田 弘行

立場：地震および関連分野の研究者、技術者

該当箇所：

意見：

不確定性を伴う将来の地震発生に対して確率表現の方法を開発することは基本的に重要です。特に、今後の活断層調査の進展に伴って増加する断層情報を適切に反映する方法が必要とされるという基本認識は全く妥当と考えます。文献18に挙げられているわれわれの研究も同じ理念で始めたものです（まだ研究の基礎的段階ですが）。今回拝見した報告書は、こうした努力の重要な一歩であり、大いに評価したいと思いますが、しかしこれはあくまで一歩であると考えます。この分野が今後健全に発展して行くことを期待する立場から、報告書の趣旨・表現・内容にわたり、十分な議論と検討を要すると考えられる主な事項について、以下に私見を述べさせていただきます。

（以下略）

本試案は、その報告書の「はじめに」において示しましたように、地震調査委員会が最終的に目指す長期的な地震発生可能性の評価の第一段階にあたるものであり、地震発生確率評価手法の完成が目指すべきゴールだとは考えていません。長期評価部会が考えるゴールの一つは、主要活断層の活動間隔等の調査結果、及び地下構造に関する調査結果等に、地震の発生可能性の長期評価手法と強震動予測手法等を適用した「地震動予測地図」とも呼ぶべきものを作成することであり、今回の試案はそのための第一段階です。3節に地震調査委員会における長期評価の考え方を示します。

なお、意見1の、活断層によるもの以外の地震発生確率ですが、この予測地図の作成に際しては、活断層という痕跡を残していない、規模の小さい地震、深い地震、あるいは大きくても頻度の少ない地震の発生可能性をも考慮する必要があると認識しており、これらも同時に長期評価に取り込むことを考えています。

（2）試案の公開方法に関する意見

（2.1）試案の公開に際して、社会に混乱を与えたのではないかと、次の意見がありました。

意見29

氏名：伊藤 秀美

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：はじめに

意見：

この報告書で発表した試算の数値を見出しに使った報道がなされ、社会に混乱を与えている実態があったことからつぎの意見を提出する。

当該試案の発表は、長期確率評価手法を検討し、それをとりまとめたものの発表であり、手法の適用結果の発表ではないと理解している。それは適用結果の適切な解釈には専門的な知識が必要であるため、さらに十分な検討が必要と考えるからである。しかし、そのことがこの節に明示されていない。逆に「その手法に基づいて…試算した結果も同時に掲載してある。」とし、試算した結果の利用を促していると誤解を与えている。

以上のことに配慮して修文の検討をお願いしたい。

この意見は、地震調査委員会長期評価部会が試案「長期的な地震発生確率の評価手法およびその適用例について」を公開し、意見募集した結果、試案の適用例に記述されている確率の数字を強調した報道がなされたことを指しているものと思われる。今回の試案公表にあたっては、用いたデータは暫定的なものであり、従って結果は予備的なものである旨を、その公表にあたって強調しました。しかし、確率の数字が強調された報道が一部になされたことも事実であり、今後、評価結果の公表の方法、報道関係者への説明ぶり等について、一層の改善を図るとともに、報道関係者の一層の理解と協力を得ていきたいと考えます。

なお、「社会に混乱を与え」たとのことですが、そのような事実を把握していないので、そう言い切れるかどうか、議論の分かれるところだと思えます。

(2.2) また、公表においても、長期評価全体のなかでこの試案の占める位置づけを述べるべきという、次のような意見もありました。

意見9

氏名：神奈川県環境部地震対策課長 野本 紀

立場：防災関係者

該当箇所：

意見：

最終目標のための途中段階であることの宣伝

・概要：今回の試案が地域評価に対する途中段階であることを強くアピールする必要がある。
・趣旨：今回の試案は、最終的には地震調査研究推進本部が目指す地域ごとに、発生する地震の規模や地震の揺れの最大加速度等を含めた長期確率予測であるとされているので、単に個々の地震の発生確率に左右されることなく、地域に発生する可能性のある地震を総合的に評価していくことを目指していることを、もっとアピールしていくべきと考えられる。

例えば、中央防災会議においては、南関東地域直下の地震についてある程度切迫性があるとし、震度6相当以上になると推定される地域の範囲が指定されていることを鑑みれば、それを補完するような試案としていくべきと考える。

また、この試算結果を公表する場合には、防災情報又は安心情報として理解すべき性質のものではない旨の表示を行うなど、誤解を生じさせない措置を必ずとるべきであると考えられる。

長期評価部会では、こうした意見を参考にして、長期的な地震発生可能性の評価を進めていくという全体の計画の中で、必要とされるどの段階の評価・検討を現在すすめているのかを明確にすることにしたいと考えています。なお、この意見にもあるように、部会試案の中で記述されている計算結果は、あくまでも手法を検討する際に、暫定的なデータを用いて得た予備的な結果であって、この試算結果を防災情報として利用することは適切ではないことを改めて強調しておきます。このような立場を明確にするため、改訂試案の標題は、試案の標題「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」から「及びその適用例」を削除して、「長期的な地震発生確率の評価手法について」としました。

(2.3) 試案の内容は専門的で理解が困難という、次のような意見が防災関係者から寄せられました。

意見2 (抜粋)

氏名：小澤 邦雄

立場：防災関係者

該当箇所：全般、はじめに

意見：

◎地震発生確率の持つ防災情報としての意味について

1)

本報告で述べられている地震発生確率は、単独で防災情報として利用できないと思われる。少なくとも、都道府県、市町村、ライフライン機関の防災実務担当部門でこれを利用するには、個々のケースの確率数値の意味を検証し、その都度解説をつけないといけない。

この報告書(試案)が公表された際の報道に対し、「東海地震の今後30年の発生確率は36%」(表4.1)という数値から、「東海地震の発生危険度は意外に低く、地震対策の必要はないのでは」という反応が多く寄せられた。

また、表4.2の東海地震の集積確率38%や各種指標も、われわれ防災業務担当者でも理解するのは難しい。(担当が理解できないものは使えない。)

従って、地震発生確率を現状のまま公表することは、防災対策推進上からは逆効果となるおそれもあり、現状のまま地震発生確率を公表する場合は、報告書のまえがき等主旨を述べる部分で「防災情報ではなく防災情報を生み出す基礎的情報である」旨明記すべきと考える。

(以下略)

意見4

氏名：神奈川県環境部地震対策課長 野本 紀

立場：防災関係者

該当箇所：第2章 手法、ほか

意見：

評価手法の全体について

- ・概要：行政等防災関係者にとって手法がわかりにくい。
- ・趣旨：長期評価手法については、統計学的手法を主体として、非常に専門的で、わかりにくい。したがって、例示を示す等、行政等防災関係者にも分かり易く、理解しやすい書き方としていただきたい。

また、評価が統計学的手法によるところが多いため、地震学の最近の知見や測地学的アプローチも含めて解説を入れ、分かりやすい説明としていただきたい。

意見12

氏名：山岸 登

立場：防災関係者

該当箇所：冊子全般について

意見：

総体的に難しい数式が多く、行政の立場では本文をめくるだけで終わってしまうのではないだろうか。この冊子ではいろいろの統計モデルで検討されているので、かなり複雑な取り扱いが記されています。これらの中で最もよく適合するモデルを用いた場合のみの、地震発生確率を各断層について示し

て戴きたい。

意見16

氏名：山岸 登

立場：防災関係者

該当箇所：表4.1 南海トラフ等プレート間地震と陸域の活断層における、今後30年以内の地震発生確率

意見：

44ページ 表4.1について

この冊子全体を熟読すればある程度内容の理解はできますが、将来マスメディアを通して外部（行政サイド、一般人）にいずれは公表することになるものと考えられます。

理解し納得のいく解説を十分行って戴きたい。

長期評価部会では、今後、個々の断層に関する確率評価の結果を公表できるようになった場合には、計算結果と併せて、その確率が意味するところをわかりやすく解説し、それぞれの立場にある者が取るべき行動を判断する手助けをすることが必要であると考えています。その際、上の意見を考慮しつつ、防災関係者が長期的な地震発生確率評価手法に用いられている統計学を完全には理解していなくても、算出された確率の意味は理解できるように、事務局において解説を加えてもらいました（この報告書末尾の付録を参照）。なお、確率と必要な対策との関係は個々の事例毎に異なると考えられます。防災関係者においても確率の数字の意味を理解して、確率の大きさに応じた、事例毎に最も適切な対策を検討していただきたいと思えます。

(2.4) さて、試案は地震発生確率の評価手法に関するものでしたが、現時点では、長期的な地震発生確率が公表された場合に、そうした形の情報を利用できる準備が整っていないとして、次のような批判的な意見がありました。

意見2（抜粋）

氏名：小澤 邦雄

立場：防災関係者

該当箇所：全般、「はじめに」

意見：

◎地震発生確率の持つ防災情報としての意味について

1)

本報告で述べられている地震発生確率は、単独で防災情報として利用できないと思われる。少なくとも、都道府県、市町村、ライフライン機関の防災実務担当部門でこれを利用するには、個々のケースの確率数値の意味を検証し、その都度解説をつけなければならない。

この報告書（試案）が公表された際の報道に対し、「東海地震の今後30年の発生確率は36%」（表4.1）という数値から、「東海地震の発生危険度は意外に低く、地震対策の必要はないのでは」と云う反応が多く寄せられた。

また、表4.2の東海地震の集積確率38%や各種指標も、われわれ防災業務担当者でも理解するのは難しい。（担当が理解できないものは使えない。）

従って、地震発生確率を現状のまま公表することは、防災対策推進上からは逆効果となるおそれもあり、現状のままで地震発生確率を公表する場合は、報告書のまえがき等主旨を述べる部分で「防災情報ではなく防災情報を生み出す基礎的情報である」旨明記すべきと考える。

(以下略)

意見11

氏名：望月 一範

立場：防災関係者

該当箇所：4.2 確率の数値評価のまとめ、4.3 発生確率の時間変化

意見：

長期的な地震発生確率評価による結果については、それを行政や市民における具体的な防災対策、防災行動に繋がるように活用することが必要であるため、確率の数値を定量的に示すのみではなく、数値の持つ意味を定性的な解説としてあわせて発表することや、他の地域との比較や過去の被害地震との比較に関する情報もあわせて発表するなど、情報内容及び情報の活用方策についての検討を進めるべきであり、その検討を経ないで本試案による手法を用いることは防災対策上の意義が乏しいと考える

試案4.3においては、さまざまな指標が提案されているが、数値の持つ意味が防災行政の担当者や市民に理解が得られやすく、かつ、安心情報としてのみ受け取られることのないよう、情報内容、提供方法について、さらに検討する必要がある。

その際、国や地方公共団体の防災関係機関の意見が十分に踏まえらるる検討体制が講じられることを期待する。

意見27

氏名：石川 裕

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：表4.1 南海トラフ等プレート間地震と陸域の活断層における、今後30年以内の地震発生確率

意見：

「過去の地震発生時点での確率値が小さいことが示す手法やパラメータの問題点と長期評価部会の立場について」

表4.1によれば、過去の地震発生時点での発生確率の値は、阿寺6.5%、丹那2.8%、跡津川1.4%、長野10.8%、野島4~9%といずれも低い数字である。サンプル数が少ないためこの結果のみで判断するのは適当ではないかもしれないが、大きな確率を有するサンプルがないということは、活断層で発生する地震の時系列を単純に更新過程でモデル化すること、および試算で用いたパラメータの信頼性をより深く吟味する必要があることを示唆していると言えよう。

すなわち、活断層で発生する地震の発生確率の評価に関しては、未だ多くの研究を積み上げていかねばならない問題であり、地震調査研究推進本部という公的な機関が、単なる今回の検討のみで（他のモデルの検証を抜きにして）、評価手法を標準化し、あたかもコンセンサスが得られたかのごとく確率値を公表するのは時期尚早であると考える。

意見28

氏名：石川 裕

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：表4.2 断層の活動を注意喚起するための指標

意見：

「評価結果を表現する指標について」

牛伏寺断層の結果を見ても明らかなように、要注意と言われていてもそもそも30年程度の短い期間

での地震の発生確率は小さな数値にしかならない。したがって、地震に対する備えを喚起させることを目的とするならば、確率を生じた値で公表することは全くの逆効果であり、止めた方がよい。

一般に、多くの人の意識では、天気予報の降水確率で傘が必要と考える値は30～40%と聞く。したがって、それ以下の確率値に対しては、「そういうこと（地震）は起こらない」と解釈してしまうことになる。

そこで、確率を何らかの形で変換した指標を用いて地震の危険度を表現すべきということになり、その例が表4.2に示されている。

しかし、ここでは、同表に示されている以外の指標として、「現在より30年後の時点での集積確率（%）を10の単位に丸めたもの」を提案する。これは表4.2の指標(3)の評価時点を現在ではなく、30年後とするもので、前回の地震発生時点から見て、30年後までに地震が発生しているはずの確率になる。なお、有効数字はたかだか1桁であろうから、公表の際に2桁目以下まで示すことに意味はない。

過去の地震発生時点での値（表4.2）を見ると、この値が10以上の場合には今後30年以内に地震発生の可能性があるということになるが、モデルやパラメータの信頼性を上げることにより、より大きな数値が閾値となることを望むものである。

意見30

氏名：伊藤 秀美

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：4.2 確率の数値評価のまとめ

意見：

この報告書で発表した試算の数値を見出しに使った報道がなされ、社会に混乱を与えている実態があったことからつぎの意見を提出する。

いろいろな活断層について計算された30年発生確率の数値を相互に比較して、確率30%の活断層は確率10%の活断層よりも3倍、地震を起こしやすいと、単純に解釈されてしまったことから本報告書のまとめ方に何らかの問題があったと思われる。

この節は、確率の数値評価のうち統計的な信頼性のみを扱っている。確率の値を解釈するには、単に統計的な数値の信頼性だけではなく、利用者の側に立った説明も必要である。特に地震という災害に結びつく現象の発生に係わる確率ではこのことが重要である。

従って、この節に、確率を利用者がどのように利用できるかの検討が十分できておらず今後の課題となっている旨、盛り込んで欲しい。

意見32（抜粋）

氏名：大竹 政和

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：

意見：

（中略）

2. 今後の評価の実施に当たっては、次の点に考慮する必要がある。

（中略）

(3) 評価結果の公表に当たっては、これが、ある地点が大きな地震動に遭遇する確率ではないことを周知徹底する必要がある。今回の「宮城県沖」の試算結果についても、地元のマスメディア関係等では、仙台ないし宮城県が1978年宮城県沖地震級の震害を受ける確率と誤解する者が多数あった。

（以下略）

意見43（抜粋）

氏名：武村 雅之

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：

意見：

長期的な地震発生確率の評価についての報告書を拝見いたしました。大変意欲的な試みであり、現状の学問レベルでの一定の到達点を示されていること高く評価いたします。

地震発生確率評価は言うまでもなく、来るべき地震に対し、如何に効率的に震災予防対策を施すか、また大地震が近づきつつあると判定された地域の住民の防災意識の向上を如何に高めるかという目的に利用されるべきものであります。

その意味では、結果の発表の仕方については、その効果を最大限に発揮できるように慎重に考える必要があると思います。つまり、高確率で地震発生が予測された地域の行政や住民がいかなる対策を立てれば良いか（逆に低確率の場合はどうか）、大げさに言えば、行政や住民の震災予防への行動規範のようなものを先に準備しておく必要があるのではないのでしょうか。

（以下略）

意見49

氏名：井潤 陽平

立場：一般住民、その他

該当箇所：主に4.2確率の数値評価のまとめ

意見：

地震の長期的な発生可能性を、確率という客観的な数字で評価しようという試みは大変すばらしいことだと思います。

45ページに書いてあることに、「判断が誤った場合に重要な影響がある案件は有意水準を小さな値を取って、極端な場合は可能性が0でない以上対策を取っておくという判断もある」ということがありました。1930年の北伊豆地震の時など、かなり低い確率の時にも発生することが考えられるからでしょう。

しかし、可能性が0でない以上対策を取るというのであれば、この評価手法の結果に一般住民はどの程度利用できるのでしょうか。この手法では過去に繰り返し地震があった所のデータを用いるので、当然いつかはまたその場所で地震が起こることでしょう。ということは可能性が0ということはありません。

また防災上必要なのは、判断が誤った場合に重要な影響が出るほどの地震ではないのでしょうか。判断が誤ってもたいして被害が出ないならば、あまり防災的な対策は必要ではないでしょう。

このままの試案では、一般住民は確率が低ければ安全とみなすでしょう。それに対する対策（例えば警報を出すなど）が必要だと思います。

長期的な地震発生確率の情報の利用について十分な検討ができておらず、そのためには防災関係機関の意見が十分に踏まえられる検討体制が必要との認識はあります。このため、中央防災会議と地震調査研究推進本部の政策委員会及び地震調査委員会の間で情報交換を行う場を設けるなど、地震防災対策を行う側からの要請を地震調査研究に反映させるように、地震防災対策と地震調査研究のより一層緊密な連携の具体的なあり方を検討する考えです。

(2.5) これらの批判的な意見とは反対の、次のような意見もありました。

意見31（抜粋）

氏名：入江 さやか

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当個所：

意見：

はじめに、貴部会が「試案」という形で本調査に対し広く一般の意見を求められた点について評価したい。先般の「余震確率評価」に比べ不確実性が高く、その反面社会的影響は大きく、扱いにくい課題ではあるが、今後の地震防災の拡充にはこのようなオープンな議論が不可欠である。

(以下略)

意見32 (抜粋)

氏名：大竹 政和

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当個所：

意見：

1. 統計的な手法による地震発生確率の長期的評価は、最近の各種調査研究の進展により、かなりの程度客観的な基礎を有するに至った。長期評価部会の積極的な取り組みに敬意を表する。地震防災対策への貢献の見地から、今後、可能な場所から全国的な規模で評価を実施し、その成果を公表して行くべきである。

(以下略)

意見34 (抜粋)

氏名：亀田 弘行

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当個所：

意見：

(中略)

(7) 確率の算出結果に関する評価：30年確率が低いことをもって安心情報とすべきではないなど、算出された確率の低さをどう考えるかについて若干とまどいを思わせる議論がなされていますが、このようなタイムスパンでは内陸活断層による地震発生確率が低い値になるのは当然予想されることです。重要なのは、低い確率であってもいざ発生すると大きな影響を及ぼすという「低頻度巨大災害」として正面から受け止める議論を行うことと考えます。これは災害リスク評価の問題であり、防災論的に十分な討論の土俵に乗せるべきものです。本研究の結果の活用法についてこうした議論が必要であること、そのための基本資料として本研究を役立てるべきことなどをぜひ提言して頂きたいと思えます。これにより、必要な分野が連携して社会の防災力向上に資するよう連携・協力する場が育つことが期待されます。

(以下略)

地震防災対策特別措置法に定められている地震調査委員会の役割は、地震に関する調査結果等を収集、整理、分析し、これに基づいて、総合的な評価を行うことです。また、同法で定められた地震調査研究推進本部の事務として、評価に基づく広報が掲げられています。さらに、同法は地震防災対策の強化をその目的としています。これらを勘案して、地震調査委員会では、地震に関する観測、測量、調査又は研究の結果等から科学的に評価できる事項については積極的に評価し、その評価結果は、国民一般や防災機関等が地震災害の軽減に結びつく行動を取るための基礎的情報として公表していくべきだと考えています。従って、できるだけ分かりやすく

利用しやすい形での説明に努めることは当然として、社会に不安をおこすかもしれない評価結果をいたずらに公表していく考えはありませんが、対策が整うまでは公表しないという立場はとりません。

また、地震調査委員会では、直ちに情報を利用できる環境が整っていなくとも、最終的に地震による被害を被る可能性のある国民一般にはその可能性が伝えられるべきであると考え、さらに、前述のような解説を通じた分かりやすい説明を行うことにより、情報の受け取り手が災害リスクを評価して、必要な行動をある程度は判断できるものと考えています。

(3) 適用例に用いたデータに関する意見

(3.1) 試案でを使用した歴史地震の発生年月日の表記について、次のような意見がありました。

意見36

氏名：小山 真人

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：3.1.1 南海トラフ沿いの巨大地震

意見：

1582年以前の地震の日付がグレゴリオ暦で表記されていますが、1582年の改暦以前に起きた地震や火山噴火の日付を、グレゴリオ暦のみで表記する国はほとんどありません。日本だけで行われている特異な慣習とも言えます。

巨大地震の揺れや津波は国境をやすやすと越えますから、今後の国際協力による事件同士の対比などの研究の進展をはかるために、1582年の改暦以前については世界標準であるユリウス暦表記に改めてほしいと思います。

なお、統計計算そのものには、天文学や測地学で使われているユリウス通日を用いた方が便利だし、日数計算上の誤りが生じにくいと思います。

この問題のより詳しい説明については以下のサイトをご覧ください。

<http://www.ipcs.shizuoka.ac.jp/~edmkoya/koyomi98/koyomi98.html>

意見45

氏名：早川 由紀夫

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：3.1 プレート間地震

意見：

試案では地震の発生日を1582年以前もグレゴリオ暦で表記しています。1582年10月に（人為的に）行われたユリウス暦からグレゴリオ暦への改暦のために西洋史ではそこに10日間の欠落（不連続）が存在します。1582年以前もグレゴリオ暦で表記することでこの欠落（不連続）は回避できるので、試案でそうなったことは理解可能です。しかし1582年以前の月日は、国際的には、ユリウス暦で表記するのが慣例ですから、グレゴリオ暦を用いたという断り書きをどこかに入れるのがよいと思います。

また、西暦には0年がありません。西暦1年の前の年は紀元前1年です。ですから、BCとADをまたいでいる年数を平均するときには注意が必要です。具体的に言うと表3.16などで0.5年の計算違いが発生しています。（議論には影響ありませんが、西暦には0年がないことが看過されていることが問題だと思いました）

天文学の分野で用いられているユリウス通日（Julian Day）を用いれば、上のような煩雑を簡単に回避できるでしょう。

グレゴリオ暦・ユリウス暦・ユリウス通日の換算には以下のサイトが役に立つかもしれません。
<http://www.genealogy.org/~scottlee/calconvert.cgi>

改訂試案では西暦に0年がないことを考慮に入れて、再計算しました。この際、地震発生時の「年」未満のデータは、使用してもしなくても確率の値にはほとんど影響しないことを確認したうえ、「0.1年」刻みに丸めたデータを使用することにしたため、用いる暦の問題はなくなりました。

この他にも、使用した個々の地震に関するデータに関して、質の向上のための調査の必要性、史料記述の整合性や取り扱い方法などの問題点や具体的な疑義が、粟田泰夫（意見22、26）、入江さやか（意見31）、大竹政和（意見32）、小山真人（意見35、37、38、39）、塩原俊郎（意見41）、早川由紀夫（意見46、47）の各氏からも示されました。試案に対する意見募集の際に記述したとおり、今回は手法の検討が主題でしたので、地震発生年等のデータは吟味が十分でない場合があります。つまり、既存の研究で得られた内容をそのまま引用しています。しかし、これらは将来の研究の進展によって改善される可能性があるものです。このようなことから、試案に記載されているデータは暫定的なものであるという立場をとっています。そのデータにもとづいて得られた結果は予備的なものです、とも述べてあります。意見で寄せられたデータに対する具体的な疑義は、後日検討します（次項参照）。

(3.2) 用いるデータセットの違いによる結果の違いについては、次のような具体的な指摘もありました。

意見32（抜粋）

氏名：大竹 政和

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：

意見：

（中略）

2. 今後の評価の実施に当たっては、次の点に考慮する必要がある。

（中略）

(2) 使用するデータセットについては、個々の事例ごとにより慎重に検討する必要がある。例えば、「宮城県沖」の評価に用いたデータセットには、別紙に示すように幾つかの疑問点がある。別のデータセット（別紙参照）からは、今後30年以内に「宮城県沖」地震が発生する条件付き確率は、対数正規分布モデルで約70%となる。

（以下略）

このように、データが異なると計算結果に違いが生じ、場合によっては重要な違いを生じる可能性もあります。これについて、次のような「あいまい性」が指摘されています。

意見31 (抜粋)

氏名：入江 さやか

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：

意見：

(中略)

本試案の適用結果からは数タイプの「あいまい性」が読み取れた。

- ① 計算モデルによる差異が大きいもの
- ② データセットによる差異が大きいもの
- ③ 活動区間のモデルが複数あるもの
- ④ 過去の地震が発生確率の低い時期に起きたもの
- ⑤ 予測される次の活動時期に大きな幅が(100年以上)あるもの

上記のうち①、⑤は今後他の断層を評価してゆく過程で、ある程度精度を持ったモデルが得られる可能性が高いと考えられる。②、③、④に関しては、活断層のトレンチ調査、文献調査等データの充実によって補完される余地はあるが、データの蓄積に時間を要することもあり、あいまい性は消えにくいと考えられる。

(以下略)

これは、前述の「地震動予測地図」の適用限界(データに起因する信頼限界)にもかかわる問題であり、今後はデータの質も十分検討することが必要であると考えています。同時に、同予測地図が出来上がった場合には、利用者に対してその限界を十分に説明する必要があるとも考えています。

以上のように、過去の地震活動を評価する手法をより一層発展させることが、長期的な地震発生確率の評価をすすめる上で、重要な課題であります。このため、長期評価部会では、陸域および沿岸海域の主要な活断層について、活断層の詳細な位置及び形状、当該断層が活動した場合に想定される地震の規模とその際の強震動分布、当該断層の過去の活動履歴および平均活動間隔に関する情報を明らかにする目的で、過去の資料等を含めた調査検討も併せて進めようとしています。海溝型の地震についても同様です。意見で寄せられたデータに対する具体的な疑義は、その際に検討します。

(4) 長期評価の手法に関する意見

(4.1) 統計モデルについては次のような意見がありました。

意見21 (抜粋)

氏名：荒木春視

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：第4章 まとめと今後の課題

意見：

1. 妥当な統計モデルに関して

「4つのモデルに特に差異が見られないのであれば、直感的に理解しやすい対数正規分布を用いることが妥当」との文言に疑問がある。実際に統計を取ってみると対数正規分布になるのであれば、確かに妥当であろう。特に差異が見られないのは、データ数が増えても同じなのか。そこが疑問である。私の経験では、自然科学の種々の分野で数百を越えるデータを扱う機会が多かったが、不思議に対数正規分布を示す。結論は正しいと思うだけに、過程が間違っていれば、論理が崩れ、科学的結論とは言い難い。期待と信頼の損なわれる事を危惧するものである。

(以下略)

意見27

氏名：石川 裕

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：表4.1 南海トラフ等プレート間地震と陸域の活断層における、今後30年以内の地震発生確率

意見：

「過去の地震発生時点での確率値が小さいことが示す手法やパラメータの問題点と長期評価部会の立場について」

表4.1によれば、過去の地震発生時点での発生確率の値は、阿寺6.5%、丹那2.8%、跡津川1.4%、長野10.8%、野島4~9%といずれも低い数字である。サンプル数が少ないためこの結果のみで判断するのは適当ではないかもしれないが、大きな確率を有するサンプルがないということは、活断層で発生する地震の時系列を単純に更新過程でモデル化すること、および試算で用いたパラメータの信頼性をより深く吟味する必要があることを示唆していると言えよう。

すなわち、活断層で発生する地震の発生確率の評価に関しては、未だ多くの研究を積み上げていかねばならない問題であり、地震調査研究推進本部という公的な機関が、単なる今回の検討のみで（他のモデルの検証を抜きにして）、評価手法を標準化し、あたかもコンセンサスが得られたかのごとく確率値を公表するのは時期尚早であると考ええる。

意見32（抜粋）

氏名：大竹 政和

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：

意見：

(中略)

2. 今後の評価の実施に当たっては、次の点に考慮する必要がある。

(1) 使用する統計モデルは、対数正規分布に固定することなく、さらに多数の事例解析を進めつつ適切なモデルを採用することが望ましい。

(以下略)

意見34（抜粋）

氏名：亀田 弘行

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：

意見：

(中略)

(2) 本報告書の位置づけについて：これは研究活動であるのか、行政的 목적を持つ行為なのかがあいまいであり、この点に関して位置づけを明確にして頂きたいと思います。それによって本フォーラムへの意見表明の意味が変わると考えます。研究活動であれば、学会等での自由な討議の場にのせるべきであり、このフォーラムも同様の目的で討論を活性化させる場として活用すればよいと考えます。

一方、今回の報告書が手法の標準化を主旨とするなど行政的要素を含むとすれば、手法的に現在の段階で固定することはこの分野の発展を阻害することになりかねず、慎重な扱いがなされることを要望します。さもないければ、本報告書で提案されている手法や数値が、本来の意味を離れて一人歩きする懸念を持ちます。

(以下略)

更新過程で適用すべき統計モデルの比較検討にあたっては、最尤法により各分布のパラメータを決定して、AICという情報量規準を比較し、「ポアソン過程は不適切なモデルであるが、対数正規モデルを含む4つの統計モデルは現時点では優劣つけがたい」という結論を得て、試案に記述しています。長期評価部会ではこの4つの中では、直感的に理解が容易で、パラメータも馴染みが深い平均や標準偏差という統計量と簡単な関係にある対数正規モデルを選びました。このようなモデル選択過程に対して、上のような指摘もありました。長期評価部会では、前述のように、陸域および沿岸域の主要な活断層等についての評価を進めています。信頼できるデータセットが多く揃った段階では、統計モデルの再比較をする必要がありますが、その結果、更新過程で用いる統計モデルとして、対数正規モデルより有意に優れたものが見つかる可能性も残されていますので、現時点で手法を固定することは考えていません。しかしながら、当面は更新過程に対数正規分布モデルを採用していきたいと考えています。

(4.2) 試案で更新過程の確率モデルに採用した対数正規分布は、平均活動間隔を大きく過ぎると発生確率が下がり始めるという性質に対して、次のような意見がありました。

意見5

氏名：神奈川県環境部地震対策課長 野本 紀

立場：防災関係者

該当箇所：4.1 妥当な統計モデル

意見：

42頁 経過年数に対する30年確率の増減について

・概要：発生間隔を越えた場合の確率の減少は奇異に感じる。
・趣旨：評価手法で用いている、対数正規分布によると、発生間隔のおよそ2倍程度の期間が経った場合には、30年発生確率が減少しており、普通感覚では発生間隔をこえた場合、ますます高い確率になるように考えられるので、一般的感覚では奇異に感じる。

例えば、歪みが徐々に蓄えられている予想震源域に対して、発生間隔の2倍の時期から確率が減っていくのは疑問がある。

意見34 (抜粋)

氏名：亀田 弘行

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：

意見：

(中略)

(5) 地震発生間隔の確率モデルについて：対数正規分布モデルによる30年間の地震発生確率が100%に達しないという結論は実際の現象に対する感覚と合致せず、腑に落ちません。報告書からは、特定断層における地震の発生間隔の確率分布を対数正規分布にしたことによる結果と理解されますが、モデルの「くせ」でこうなっているに過ぎないのであれば、現実認識をミスリードする恐れがあり、対数正規モデルそのものを再検討するべきではないでしょうか。こうした上限値があることの物理的合理性が示されるのであれば、その議論が展開されるべきと考えます。確率論的には、分布モデルによるこのような差異は、図4.1に示されているような「分布の裾」のところでは起こっている問題であり、これまで構造信頼性理論の重要課題として多くの検討と工夫がなされてきた課題です。この点に関して系統的な検討を行うことは、本研究においても避けて通れない未解決の問題と考えます。実は、文献18でも地震発生間隔について対数正規分布モデルを用いており、同じ問題を抱えています。すなわち、これは我々自身の問題でもあります。

(以下略)

地震発生の繰り返し間隔を説明する4つの更新過程のモデルに有意な差は見つかりませんでした。このため、どのモデルが最適かを的確に判断するためには、精度の良いデータの蓄積を待つ必要があると考えています。4つのモデルのうち、対数正規分布モデルは直感的に理解しやすく、そのパラメータも馴染みが深い平均や標準偏差という統計量と簡単な関係にあります。単にこうした理由から、最適なモデルを確定できるまでの当面の間は、対数正規分布モデルを使っていく考えです。

一方、対数正規分布モデルには、上の意見が指摘しているような、平均活動間隔の2倍程度の時間を過ぎると確率が下がり始めるという、奇異に感じられる性質があります。しかし、この点はモデルの適用限界を越えているためと考えられます。というのは、対数正規分布で確率が下がり始める時点での集積確率（すでに地震が発生していかるべき確率）は、標準偏差 σ に0.23を用いると、ほとんど100%になり（30年確率が下がり始めるの時点での集積確率は、平均活動間隔が1,000年の場合、99.995%）、これはとりもなおさず、モデルの端の、主要でない部分を議論していることになるからです。

なお、試案4.1節末尾でも述べられていることで今後の詳しい検討が必要ですが、対数正規分布モデルには、次のような望ましい性質がある可能性があります。それは、対数正規分布は他の3つの分布と比べて、分布の裾の部分における減衰が緩いのですが、一般に、そういう分布は異常なデータがあっても安定したパラメータが得られやすいという傾向があります。ここで扱っているデータの場合、未発見の地震活動があるために、発生間隔が異常に長いデータが含まれることも起こり得ると考えられます。こうした場合でも安定した統計パラメータが得られるというのは、この分布のもつ特長になるでしょう。但し、この点についてはシミュレーションなどによって確認することが必要です。

(4.3) 対数正規分布で用いるばらつき σ については、以下の意見がありました。

意見24

氏名：粟田泰夫

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：4.1 妥当な統計モデル

意見：

陸域活断層の活動間隔のばらつきについて。

例としてあげられた、阿寺、丹那、跡津川、長野西縁を比べて見ますと、イベント年代が高精度で推定されているものほど、 σ が小さくなる傾向がはっきりと認められます。たとえば、阿寺断層では5つのデータによる $\sigma=0.28$ (阿寺1)が、精度の悪いもの一つを除くだけで $\sigma=0.07$ (阿寺2)と1/4になってしまいます。また、長野西縁、跡津川、阿寺(阿寺2)と、個々のイベントの年代推定精度が上がるにつれて σ が0.25, 0.16, 0.07と小さくなります。

この傾向について、何らかの評価なり今後の見通しができないでしょうか。たとえば、試案では共通 $\sigma=0.23$ が使われていますが、データ精度が上がれば、この共通 σ はずっと小さなものになる可能性があるのではないのでしょうか。

意見25

氏名：粟田泰夫

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：4.1 妥当な統計モデル、4.2 確率の数値評価のまとめ

意見：

陸域活断層の共通 σ (0.23)

陸域の幾つかの断層では、イベント発生時の推定に、推定年代区間の「中央値」が使われています。しかし、この「中央値」は統計上の意味がありませんので、「中央値」を用いて帰納的にばらつきを評価するには精度上の問題があると考えます。

たとえば、阿寺断層ではもっとも古いイベントの推定年代区間が極端に広いことから、この一つのデータを含めるか、除くかで、阿寺断層の σ が0.28(阿寺1)から0.07(阿寺2)まで変化してしまいます。また共通 σ も、含めた場合には0.23、除いた場合には0.19となります。したがって、共通 σ として有効数字2桁を扱うのは、精度上大きな問題があります。データが一つ加わる毎に変更しなければならないような不安定な数値を用いるよりは、共通 $\sigma=0.2$ として1桁精度にとどめるのが適当と考えます。今回の試案であげられたデータセットの中で、正確かつ高精度のものは、南海地域の2もしくは5のみであって、それらの σ は0.18, 0.20です。これを考慮すれば、プレート間地震、陸域活断層を問わず、共通 $\sigma=0.2$ を用いるが妥当ではないでしょうか。

意見33

氏名：奥村 俊彦

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：

意見：

発生間隔のばらつきに関して

図1.1(p.2)のフローでは、最新の1回のイベントのみが確認されている場合にも、発生間隔のばらつきとして「平均的な値」を用いるようになっていますが、UとVから推定される平均発生間隔のばらつきと、多数のイベントが確認されている場合に推定されるばらつきとで同じ値を用いることが妥当でしょうか？

また、陸域の活断層に関する適用例の中で、幅で推定されている発生年の中央値を用いた試算がされています。ところが、p.29に示されている長野盆地西縁断層のように過去のイベントの発生年の推定幅はきわめて大きい場合があり、これを中央値で代表させてしまうと、推定幅が存在することによるばらつき(の一部)が考慮されない、すなわち、ばらつきを過小に評価することになるように思います。

報告書4章の4.5(2)では、確率の数値の信頼度を間接的に表現するための方策として、データの信頼度を表すような指標について言及されています。これは、上記のような事項への対応策の一つと考え

られますが、一旦結果が数値として出されてしまうと、付記されている信頼度が軽視され、結果のみが一人歩きすることになるのではないかと危惧します。したがって、結果と信頼度を別々に評価するのではなく、結果の数値（確率）の算定に際して、データの信頼度を含めた評価が必要ではないかと考えます。

試案では、各断層で共通のばらつき $\sigma=0.23$ という値を用いることが適切であるとの暫定的な結論を出しています。試案の4.1節で「今後も発表されるであろうデータを用いて検討を続けていくことが必要である」と述べているのは、陸域の活断層でのばらつきについては、上で指摘をいただいた点を含めて検討すべき課題が残されているという認識を示すものです。

(4.4) ばらつき σ の適用については、次のような意見もあります。

意見33（抜粋）

氏名：奥村 俊彦

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：発生間隔のばらつきに関して

意見：

図1.1(p.2)のフローでは、最新の1回のイベントのみが確認されている場合にも、発生間隔のばらつきとして「平均的な値」を用いるようになっていますが、UとVから推定される平均発生間隔のばらつきと、多数のイベントが確認されている場合に推定されるばらつきとで同じ値を用いることが妥当でしょうか？

（以下略）

個々の断層が固有のばらつきを持つ、という考えと、各断層は共通のばらつきを持つ、という考えはいずれが妥当かについて、4.1節でAICを用いて検証しています。その結果、今後も検討を続けていくことが必要だとはしながらも、後者（各断層は共通のばらつきを持つという考え）が現実的であると結論づけています。意見33で述べられている部分については、断層自身が有するばらつきの他に、UとVを推定した時のばらつきも考慮に入れる必要があることは事実です。

(5) その他の試案の記述内容全般に関する意見

(5.1) 試案の付録に掲載した確率の表について、次の意見がありました。

意見23

氏名：栗田泰夫

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：付録B 対数正規分布の確率一覧表

意見：

基盤的調査研究対象の活断層では、再来間隔が5000年を越え、1万年、3万年と言う断層もわかっています。このような長い再来間隔についても確率一覧表を示していただければ、地震防災や、活断層の調査計画に大いに役立つと思います。

火災による全焼確率は100年で3%ですので再来間隔は100年確率が1~3%を越える範囲について、また経過時間は再来間隔の2倍程度までについて、一覧表があれば便利です。

意見を受けて、改訂試案に図B.1及び図B.2を追加しました。

(5.2) 断層の活動を注意喚起するための指標として、次の指標が提案されています。

意見28 (抜粋)

氏名：石川 裕

立場：地震および関連分野の研究者、技術者

該当箇所：「評価結果を表現する指標について」(報告書50ページ 表4.2)

意見：

(中略)

そこで、確率を何らかの形で変換した指標を用いて地震の危険度を表現すべきということになり、その例が表4.2に示されている。

しかし、ここでは、同表に示されている以外の指標として、「現在より30年後の時点での集積確率(%)を10の単位に丸めたもの」を提案する。これは表4.2の指標(3)の評価時点を現在ではなく、30年後とするもので、前回の地震発生時点から見て、30年後までに地震が発生しているはずの確率になる。なお、有効数字はたかだか1桁であろうから、公表の際に2桁目以下まで示すことに意味はない。

(以下略)

ご提案の指標は、平均活動間隔の長い断層では現在時点における集積確率とほとんど差がなく、また、その短い断層では今後30年間の発生確率と似た傾向を示す値になります。従って、試案で提案したいくつかの指標と、いくらかは重複することになります。しかしながら、興味ある提案ですので今後の検討において新しい指標の候補にいれておきたいと思います。

(5.3) 確率の試算結果に対して、次のような意見等がありました。

意見6

氏名：神奈川県環境部地震対策課長 野本 紀

立場：防災関係者

該当箇所：4.2 確率の数値評価のまとめ

意見：

44頁 確率評価の適用例について

・概要：南関東地震の評価をするべきである。

・趣旨：主なプレート間地震について、評価の適用例を示しているが、本調査が最終的には、防災行政の資料とするものであることを考慮すると、首都圏の重要性を鑑みれば南関東地震について評価すべきと考えられる。

・中央防災会議においても、今後100年か200年先には発生すると報告されており、整合を図るべきと考えられる。

意見7

氏名：神奈川県環境部地震対策課長 野本 紀

立場：防災関係者

該当箇所：4.2 確率の数値評価のまとめ

意見：

44頁 確率評価の適用例について

・概要：東海地震の30年確率が低い。

・趣旨：明日起こっても不思議でないとされ、法律も施行されている東海地震の30年確率が、36%というのはいかがなものか。

評価手法による限界と考えられるが、多くの防災関係者が努力している地震対策への取組みに対して、プレーキになるような位置づけになるように受け取られるので、最近の地震学の知見、測地学的観測結果、東海地震判定会会長の私的シナリオとの兼ね合い等総合的に確率を判定すべきと考えられる。

手法の限界ということであれば、東海地震という特に防災上重要な地震については、単純に今回の評価手法のみを使用することは再考するべきではないか。

意見10

氏名：神奈川県環境部地震対策課長 野本 紀

立場：防災関係者

該当箇所：B.1 地震発生確率一覧表

意見：

61頁 神縄・国府津－松田断層帯の30年確率について

・概要：3.5%の発生確率は防災対策をするべきか困惑する。

・趣旨：今回の試案による評価手法をとった場合、神縄・国府津－松田断層帯の30年確率は、3.5%であった。

一般的感覚からすれば、プレート境界上の断層が同様の確率であれば時間的余裕があると考えるのが素直である。しかし、陸域の断層については、発生間隔が長期（数千年）となるため、確率が高くないので、この確率でも可能性が高いものと受け取るべきと説明されても、にわかに理解することが不可能である。

発生間隔の過ぎている場合なので、単純に30年確率をとるより、累積確率と今後30年確率の和で表現していくほうが、切迫性をよりアピールすることができ、感覚とも一致するのではないか。

または、意見8に示した意見のようにランク分けした指標を示していくことを望む。

首都圏直下を震源とする大地震の長期的な発生確率は、試案の更新過程の適用例として試算できるほどの地震活動履歴が知られていません。また、「東海地震」については、これまでおおよそ170年間隔で繰り返し発生してきたが、前回の1854年から140年以上経過している、という最も単純な仮定にもとづいた結果です。神縄・国府津－松田断層帯は、おおよその活動間隔は3千年程度、最新の活動は約3千年前、として計算した結果です。試案には現時点で科学的に評価できる最大限の内容が盛

り込まれているのです。

なお、長期評価のためには、意見7のように、最近の地震学の知見とともに、地球物理学的な観測結果等をも取り込んだモデルをたてることは基本的に重要なことです。これは将来の課題ととらえています。

(5.4) 地震発生確率を防災情報として活用するために、防災関係者から、ランク化してはどうかという提案が寄せられています。

意見2 (抜粋)

氏名：小澤 邦雄

立場：防災関係者

該当箇所：全般、「はじめに」

意見：

◎地震発生確率の持つ防災情報としての意味について

(中略)

2)

地震発生確率を防災情報として活用するためには、これを更に発展をさせ、例えば次のようなA, B, Cの3ランクに区分して示すなどの工夫が必要と考える。

Aランク：数年オーダーで、緊急に震災対策が必要な地震

Bランク：数十年オーダーの中・長期的に震災対策を講じる必要のある地震

Cランク：緊急の震災対策は必要としないが、長期的には考慮すべき地震

また、地震規模情報を震度に変換し、いわゆる「河角マップ」の現代版作成も防災関係者が望んでいるところであろう。

意見8

氏名：神奈川県環境部地震対策課長 野本 紀

立場：防災関係者

該当箇所：表4.2 断層の活動を注意喚起するための指標

意見：

50頁 断層の活動を注意喚起するための指標について

・概要：指標のランク化を実施するべきではないか。

・趣旨：地震発生 of 切迫性を評価する手法として、今回の評価手法による確率の算出は分かりにくく、50頁の指標についても、印象としてストレートに理解しがたい。

指標については、最終的には数値によることにこだわることなく、例えばA～Dランクのようなものにし、

Aランク：早急に地震防災対策に取り組むべきもの

Bランク：中期的に地震防災対策に取り組むべきもの

Cランク：長期的に地震防災対策に取り組むべきもの

Dランク：当分の間は発生の考えられないもの

といった指標を、成果として出していくことを要望する。

意見17

氏名：山岸 登

立場：防災関係者

該当箇所：4.5 長期確率評価によって得られる確率の数値の理解に向けて

意見：

(2) の確率の信頼度について

海域の地震と陸域の地震とでは発生間隔はもちろんそのバラツキも大いに異なるにもかかわらず、得られた地震発生確率の値（例えば表4.1）をそのまま呑みにする危険性がある。

このため暫定的なデータとはいえ現時点で得られた最適の成果を、より効果あらしめるため表4.2の指標も考慮しながら、確率の数値そのものではなく海域は海域（例えばA～D）、陸域は陸域（例えばA'～D'）というような4段階くらいのランク付けで表現したらいかがでしょうか。

意見43（抜粋）

氏名：武村 雅之

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：

意見：

（中略）

我々の身近なところでは、同種のものとして天気予報がありますが、降水確率を聞いた時、我々は傘という雨を防ぐ手段をもっているから、情報に興味をもちまた役立てることができるのだと思います。

もし仮に、国は地震発生確率、あとは地域の行政や住民まかせということであれば、適切な傘を持たない行政や住民には地震に対する無力感やあきらめが広がってしまうだけというおそれもあり、それこそ震災予防にとって由々しき事態であると思います。予想される地震が発生した時にいかなる揺れが来て、どのような被害が予想されるか、それに対しどのような対策をたてるかということも視野にいたれた情報の提供が望まれると思います。現状、地方自治体毎にバラバラに立てられている地域防災計画の見直しや地震発生確率に関する情報とのリンク、さらに住民への正確な知識や情報の伝達等、多くの課題を解決する必要があると思います。

一定の考え方のもとにランク付けすることは不可能ではありませんが、仮にランク付けをしても、単にそれだけで利用者が正しく理解できるわけではありませんので、前述のようにできるだけ分かりやすい説明を行い、確率的な考え方を含めて理解していただくように努めたいと考えています。

なお、これらの意見のように、ランク付けをして、そのランクに応じた対応策を講じることはもちろん重要なことです。防災関係者が、確率の数値をどのような具体的な行動に結びつけるべきかということを検討する際には協力を惜しみません。このため、中央防災会議と地震調査研究推進本部の政策委員会及び地震調査委員会の間で情報交換を行う場を設けるなど、地震防災対策を行う側からの要請を地震調査研究に反映させるように、地震防災対策と地震調査研究のより一層緊密な連携の具体的なあり方を検討する考えです。

(5.5) 確率の値を判断に利用する際に、小さい確率でも注意すべき、という記述に次の賛成意見が寄せられています。

意見34（抜粋）

氏名：亀田 弘行

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：

意見：

(中略)

(7) 確率の算出結果に関する評価：30年確率が低いことをもって安心情報とすべきではないなど、算出された確率の低さをどう考えるかについて若干とまどいを思わせる議論がなされていますが、このようなタイムスパンでは内陸活断層による地震発生確率が低い値になるのは当然予想されることです。重要なのは、低い確率であってもいざ発生すると大きな影響を及ぼすという「低頻度巨大災害」として正面から受け止める議論を行うことと考えます。これは災害リスク評価の問題であり、防災論的に十分な討論の土俵に乗せるべきものです。本研究の結果の活用法についてこうした議論が必要であること、そのための基本資料として本研究を役立てるべきことなどをぜひ提言して頂きたいと思えます。これにより、必要な分野が連携して社会の防災力向上に資するよう連携・協力する場が育つことが期待されます。

(以下略)

意見48

氏名：早川 由紀夫

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：4.5 長期確率評価によって得られる確率の数値の理解に向けて

意見：

試案の54ページ「判断への利用」に、有意水準5%あるいは1%にこだわらずにもっと小さくても注意すべきだということが書かれていますが、賛成です。

多数回試行される事象なら5%あるいは1%あたりが経済的にペイするかどうかなどの基準になるでしょうが、地震の場合は、ヒトの一生に一回起こるか起こらないかのまれな（そしていったん起こるときわめて破壊的な）事象を取り扱います。1/1000や1/10000の確率が議論されるのがむしろ当然だと思えます。

ここで取り扱った確率の数字は、それを評価する期間の長短に応じて大小する（4.2節）ことも大事な性質ですので申し添えます。

2. 意見にもとづいて長期評価部会が検討した事項

(1) 試案の位置づけ

長期的な地震発生確率の評価手法の開発が、どういう位置づけなのか分からないという趣旨の意見をいただきました。3節で地震調査委員会における長期評価の考え方をあらためて述べます。これは試案の「はじめに」で述べられている内容を補強したものです。

(2) データセットの日付計算の誤りと精度

西暦0年がないことを考慮していないために、計算に誤りを生じているという趣旨の指摘を受け、全データの日付に関する計算を検算すべく作業しました。この過程において、データのうちプレート間地震では地震発生年月日の0.1年未満の端数が計算結果に及ぼす影響はほとんど無視できることがわかりました。陸域の活断層で発生する地震については年未満の端数について、同様でした。

1582年の改暦以前については、ユリウス暦で表記することが国際的には普通であるため、このような時期に起きた地震の発生日を断りなくグレゴリオ暦で表記することは好ましくないという趣旨の意見を頂きました。長期評価部会では、現行のグレゴリオ暦に換算した暦を用いて表記し、その旨を注記することにしました。

なお、計算上用いた「現在」の日付に不統一がありましたので、「現在=1999.0年」に統一して再計算しました。

(3) 図、用語

意見の趣旨に添って、必要なパラメータがわかっていたら確率を容易に計算できる図を付録B.1に追加しました。

その他の図表・用語も、使いやすいか、分かりやすいものになっているか、という観点で見直しました。改訂試案では、試案の段階での不適切あるいはわかりにくい表現をしているものをいくつか修正しましたが、試案全体の論旨は変わっていません。

3. 地震調査委員会における長期評価

(1) 地震調査研究推進本部

地震防災対策の強化を図ることなどを目的として平成7年に施行された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設置されています。同本部の本部長は科学技術庁長官であり、本部員は関係行政機関の職員から任命されます。現在、内閣官房副長官（事務）及び関係省庁の事務次官が本部員に発令されています。同本部が行うべき仕事は5項目あり、それらは①地震に関する観測、測量、調査及び研究について総合的かつ基本的な施策の立案、②地震に関する調査研究予算等の事務の調整、③地震に関する総合的な調査観測計画の策定、④地震に関する調査結果等に基づく総合的な評価、⑤総合的な評価に基づく広報、です。このうち、①～③及び⑤の仕事について調査審議するため、関係行政機関の局長等及び学識経験者から構成される政策委員会が置かれています。同本部の仕事の内容、そのなかで長期評価のしめる位置等を整理すると下図のとおりです。

地震防災対策特別措置法：地震防災対策の強化を図ること等が目的

└地震調査研究推進本部：次の5項目を実施

└①総合的かつ基本的な施策の立案┐

└②調査研究予算等の事務の調整┐ 実施方針を政策委員会が調査審議

└③総合的な調査観測計画の策定┐

└⑤総合的な評価に基づく広報┐

└④総合的な評価┐ 関係機関や大学から収集した調査結果に基づいて、
地震調査委員会が実施

└現状評価：直近の過去に発生した地震の評価

└┐ 関係機関や大学による調査結果を地震学の知見に照らして評価

└┐┐ 余震の推移を確率で評価

└┐┐┐ 長期評価：数十年以上にわたる長期的な観点から地震活動度を評価

└┐┐┐┐ 地震活動の特徴を抽出：「日本の地震活動」の刊行

└┐┐┐┐┐ 地震動予測地図の作成：データを手法に適用

└┐┐┐┐┐┐ 地震のデータ：活断層調査及び歴史地震調査による

└┐┐┐┐┐┐┐ 断層別評価 ─ 発生確率評価手法（＝当該試案）

└┐┐┐┐┐┐┐┐ 陸域（沿岸海域を含む）の活断層沿いの地震

└┐┐┐┐┐┐┐┐┐ プレート境界沿いの地震

└┐┐┐┐┐┐┐┐┐┐ 面的評価 ─ 面的評価手法

└┐┐┐┐┐┐┐┐┐┐┐ Mの小さな地震、頻度の少ない地震、深発地震

└┐┐┐┐┐┐┐┐┐┐┐┐ 地下構造のデータ ─ 強震動評価手法

(2) 地震調査委員会

同本部の④の仕事に、関係行政機関や大学から地震に関する調査結果等を収集して、整理、分析し、これに基づき総合的な評価を行うこと、が掲げられています。この仕事は同本部に設置されているもう一つの委員会である地震調査委員会が実施します。その委員には、地震活動及びその関連分野の研究を手掛けてきた学識経験者が、全国各地から任命されています。また、地震に関する観測や調査研究を行っ

ている関係行政機関からも委員が任命されています。こうした体制により、地震に関する調査結果等をもれなく収集して、分析することにより、総合的な評価の質の高さを維持しています。

地震調査委員会は総合的な評価として、現状評価と長期評価を2本の柱に掲げています。前者は直近の過去に発生した地震を、どういう性質のものであったか、あるいは、その周辺の地震活動は今後どうなるか、について調べようとするものです。これに対して後者は、数十年以上にわたる長期的な観点から、将来の全国的な地震活動度を探ろうとするものです。

(3) 現状評価

地震調査委員会は現状評価のために毎月定例的に会合を開催しています。また、社会的影響の大きな地震活動があった場合には臨時に会合を開催し、その地震がどういう性質であったか、そして今後の地震活動はどうなるかを検討し、総合的な評価をとりまとめています。なお、地震調査研究推進本部ではこれらの評価結果を広報するために、会合終了後にただちに記者会見を開催しています。また、評価結果はインターネット上でも公開しています。さらに、地震防災の最前線にある地方自治体やいわゆる公共機関に向けては、評価結果の広報のための説明会も開催しています。

地震調査委員会は現状評価に用いるために、大きな地震の後に発生する余震の推移を、確率を用いて評価する手法を検討しました。検討結果は案の段階で公表し、一般からの意見を募集して、検討に反映させました。最終的には平成10年4月に報告書としてとりまとめて発表するとともに、同月から、大きな地震が発生した場合には、現状評価の一環として、余震の推移を確率を用いて表現していくことにしています。

(4) 長期評価

数十年以上にわたる長期的な観点から、将来の全国的な地震活動度を探るのに先だって、日本全国のこれまでの地震活動の特徴を地域別に把握し、整理しておくことに着手しました。その結果を述べたのが平成9年8月に刊行した報告書「日本の地震活動－被害地震から見た地域別の特徴－」です。この報告書は防災関係者はじめ、一般にも活用していただくために、政府刊行物センターで販売されました。

(5) 地震動予測地図

地震調査委員会では、長期的な観点から地震活動度を評価した結果を地震動予測地図で発表することを考えています。この地震動予測は、地震自体の発生の確率的な評価と強震動評価を統合したものです。対象地域に影響を与える可能性のあるすべての地震を考慮に入れて、それぞれの地震が発生した場合の強震動分布と、その地震の発生確率とを、すべての地震について集積して作成します。この予測地図のメッシュは、日本全国を1枚の図で概観する程度の粗さを考えていますが、もっと細かい地域別の予測を必要とする場合もあると考えられます。そうした場合のために、地震調査委員会は上述の予測地図の根拠となるデータ及び手法を公開すると

ともに、細かい予測地図を作成するために必要となるデータの種類及び評価をするための手法も提示することを考えています。このような予測地図があれば、国土や街を地震に強い作りをする 것을検討する際の基礎資料として活用できるでしょう。

地震動予測地図を作成するために必要となるデータや手法については、次のように考えています。

(5.1) 地震のデータを得るための調査

長期評価を行うためには、近代的な地震観測が始まる以前の、古い時代の地震のデータも必要です。そのためには活断層の調査と歴史地震の調査が必要になります。前者では、活断層に沿って地面に実際に溝を掘ったりすること等により、有史以前も含めて、活動履歴や活動度等を調べます。後者では古文書を調べて歴史時代における地震の震源の位置やマグニチュードの大きさを調べます。このためには、古文書に記載されている地震被害が、沖合いの海溝（プレート境界）沿いの地震によるものか、陸域の活断層が活動した地震によるものか、あるいは深い所に起こった地震によるものか、などを判断することが重要になってきます。

(5.2) 断層別評価とその手法

陸域（沿岸海域を含む）の活断層の活動による地震については、同時に活動する区間についての情報、その区間における活動の時間間隔の平均値、最も最近の活動時期などがデータとして必要です。これらのデータが十分でない場合は、活断層の長期的な平均ずれ速度（平均変位速度）、活動1回あたりのずれの量を用いることができます。沖合のプレート境界に起きる地震についても、概ね同様です。

地震動予測地図を作成する際には、これらのデータを使って、まず、各区間の活動の可能性を確率で見積もることが必要になります。試案で述べているのはまさにこの手法であり、活動の時間間隔の平均値及び最も最近の活動時期のデータを用いて、更新過程から、今後数十年間に活動する可能性を確率で求める手法を述べてあります。試案ではまた、長期的な平均ずれ速度、活動1回あたりのずれの量、及び最新の活動時期のデータを用いて、時間予測モデルを利用して確率を求める手法も述べてあります。

(5.3) 面的評価

浅い地震でもマグニチュード6程度以下であれば、地表に活断層としての痕跡を残すことはほとんどありませんが、それでも被害が生じます。また、活動の頻度の小さい地震は、活動した時に地表に出来た痕跡が失われている場合があります。さらに、地下深く沈み込んだプレートの内部で起きる深発地震は規模がいくら大きくても、地形にはその痕跡は残りません。こうした地震については、よく起きる地域とそうでない地域があることが知られています。例えば、活断層が密度高く分布している地域では、そうでない地域に比べて、比較的大きな浅発地震が起きやすいことが知られています。また、やや深発地震あるいは深発地震は限られた地域の限られた深さにしか起きないこともわかっています。地震動予測地図を作成するうえにおいて、これらの地震の評価は断層別の評価を補充するものとなります。これらの地震の評価を、ここでは仮に面的評価と呼んでおきます。予測地図の作成において、このような地震を評価することは重要ですが、その手法は今後の課題です。

なお、長期評価のためには上述のほかにも、測地学的な観測の結果やその他の最新の地震学の知見も考慮することが望まれますが、これも将来の課題です。

(5.4) 地下構造のデータと強震動評価手法

地震の震源域とマグニチュードが与えられた時に、震央周辺の強震動の分布を求める手法は、学界においてすでいくつかの方法が提案されています。現在、地震調査委員会ではそれらの手法のレビューの準備を進めているところです。この手法を適用するためには、地下構造のデータも必要になります。地下構造のデータはすでに調査されているものや、今後調査されるものを、関係機関、各種団体の協力を得て使用していきたいと考えています。

(6) 評価結果の利用

市民や企業等の団体は、自らが住んでいる場所、あるいはこれから施設を作ること検討している場所における将来の強震動の大きさ（加速度や震度等）及びその時期に関心があると考えられます。まず、強震動の大きさを予測するためには個別の活断層（プレート境界も含む）が活動したときの震源域の広がりやずれの大きさについての情報が必要です。これらを用いて、強震動の地域分布を予測することができます。また、地震防災対策を実行する政府や地方自治体は、予測された強震動分布を実際の街の建築物や道路等の条件にあてはめて、被害を予測することができます。次に、将来の活動時期についての評価は、そのような強震動（及び災害）の発生時期がどの程度近づいているかを示していますので、地震対策を迅速に実行すべきか、それとも時間的に余裕があるのかを判断する際に利用できます。

上で述べた強震動分布の予測、被害の予測、及び発生時期の評価は、個々の活断層について行うだけでなく、関心のある地域に影響を及ぼす活断層すべてについて行う必要があります。さらに面的評価も加えることにより、地震動予測地図及びそれに基づく被害予測地図を作成することができます。

こうして作成された地震動予測地図には、ある程度の不確実性が残ることが懸念されます。この不確実性の程度については、十分な説明を行い、限界を越えて使用されないように配慮する必要があると考えています。将来、精度の高い予測地図が地域的にも細かく作成できた場合には、土地利用計画の策定、重要構造物の立地場所の検討、それらの耐震基準の設定など、地震防災対策への活用が期待できます。さらに、被害の予測と組み合わせ、地震防災対策を実施する際の重点地域の検討、保険の掛率の算出などのための基礎資料とすることも可能になるでしょう。

個別の活断層の評価結果及び地震動予測地図は、地震学や地質学等の地震現象を扱う地球科学が、現在の到達点において最大限可能な社会還元のひとつであると位置づけられます。地震による被害の防止・軽減は、地震調査研究のみによってなされなければならないのではなく、広範な分野の協力が必要です。地震動予測地図を作成するにあたっては、それを利用する側と情報を交換しながら、地震学等の現在の到達点も考慮に入れて、利用者の要望に応えられる形式で表現するように努めていきたいと考えています。

4. 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」 の公開と意見募集について

意見募集は以下の要領で行いました。

平成10年5月13日 地震調査研究推進本部 地震調査委員会 長期評価部会

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」 の公開と意見募集について

地震調査研究推進本部の地震調査委員会長期評価部会は、昨年11月に長期確率評価手法検討分科会を設置し、長期的な地震発生可能性を活断層パラメータ等を用いて確率で評価するための手法、及びその他必要な事項を審議してきた。このたび同分科会から検討結果の報告を受けたので、本部会試案として公開し、下のとおり意見を募集する。

なお、この試案では、手法を検討する際に用いたデータや、それを手法に適用した結果を本文及び付録に掲載してある。しかし、ここで用いたデータは暫定的なものであり、したがって結果は予備的なものである。特に、活断層の活動区間については検討の余地が残されている。このようなことから、ここに示された確率の試算結果等を防災情報または安心情報と理解するのは必ずしも適切ではないので注意されたい。

1. 公開／意見募集期間 平成10年7月10日まで
2. 公開方法
 - ・インターネットの地震調査研究推進本部ホームページ上で公開
URLは <http://www.jishin.go.jp/main/index.html>
 - ・郵送による資料送付も可能（270円切手を貼付したA4版返信用封筒を同封して請求）
3. 意見送付要領
 - ・意見は自由形式。但し、1通のメールまたは1枚の用紙にはひとつの意見に限る。
 - ・報告書のどの部分に対する意見かを明確にすること。
 - ・意見には氏名、連絡先、立場を明記すること。氏名、立場、意見は公開する。
匿名希望の場合はその旨を明記すること。
「連絡先」は住所または電子メールアドレス
「立場」は次のなかから選択
 - (1) 防災関係者
 - (2) 報道関係者
 - (3) 地震及び関連分野の研究者、技術者
 - (4) 一般住民、その他
4. 資料請求／意見送付先等 E-mail : herp@sta.go.jp
住所 : 〒100-8966 東京都千代田区霞が関2丁目2-1
科学技術庁研究開発局地震調査研究課長期確率担当
電話 : 03-3503-8162 FAX : 03-3503-8169

5. 試案に寄せられた意見の全文

寄せられた意見の全文を、立場順、氏名の五十音順に掲載します。

(1) 防災関係者から寄せられた意見	34
(2) 報道関係者から寄せられた意見	39
(3) 地震及び関連分野の研究者、技術者から寄せられた意見	39
(4) 一般住民、その他から寄せられた意見	53

(1) 防災関係者から寄せられた意見

★意見1

氏名：小澤 邦雄

立場：防災関係者

該当箇所：全般、「はじめに」、表題

「はじめに」

・・・同部会は長期評価の一環として、平成9年11月に「長期確率評価手法検討分科会」を設置し、プレート境界やプレート内部の弱線である活断層で発生する大地震を、活動間隔・平均ずれ速度・最新活動時期・活動区分等のパラメータを用いて、その長期的な発生可能性を確率という数字で評価する手法を検討した。発生する地震の規模や地震による揺れの最大加速度等を含めた最終的な長期評価のためには、上述の他にも様々なパラメータを取り込む必要があると考えられるが、ここではまず、地震発生の時系列的なところまでを扱うこととした。・・・

意見：

◎ 活断層によるもの以外の地震発生確率について

===「活断層がなくても直下の大地震はおこる」という認識を社会に徹底したほうがよいと考える。

(石橋克彦、1998地球惑星科学関連学会合同大会予稿集P314)===という意見もあり、長期的地震発生確率の評価手法の検討において、活断層によるもの以外の地震発生確率は、別途行うのか、長期評価になじまないのか、評価するに値しないのかを明らかにすべきである。別途評価する必要がある場合は、本報告書のtitleも考慮されるべきであろう。

例えば「活断層による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」というように活断層に基づく評価であることを表示すべきである。

★意見2

氏名：小澤 邦雄

立場：防災関係者

該当箇所：全般、「はじめに」

意見：

◎ 地震発生確率の持つ防災情報としての意味について

1)

本報告で述べられている地震発生確率は、単独で防災情報として利用できないと思われる。少なくとも、都道府県、市町村、ライフライン機関の防災実務担当部門でこれを利用するには、個々のケースの確率数値の意味を検証し、その都度解説をつけなければならない。

この報告書（試案）が公表された際の報道に対し、「東海地震の今後30年の発生確率は36%」（表4.1）という数値から、「東海地震の発生危険度は意外に低く、地震対策の必要はないのでは」と云う反応が多く寄せられた。

また、表4.2の東海地震の集積確率38%や各種指標も、われわれ防災業務担当者でも理解するのは難しい。（担当が理解できないものは使えない。）

従って、地震発生確率を現状のまま公表することは、防災対策推進上からは逆効果となるおそれもあり、現状のまま地震発生確率を公表する場合は、報告書のまえがき等主旨を述べる部分で「防災

情報ではなく防災情報を生み出す基礎的情報である」旨明記すべきと考える。

2)

地震発生確率を防災情報として活用するためには、これを更に発展をさせ、例えば次のようなA, B, Cの3ランクに区分して示すなどの工夫が必要と考える。

Aランク：数年オーダーで、緊急に震災対策が必要な地震

Bランク：数十年オーダーの中・長期的に震災対策を講じる必要のある地震

Cランク：緊急の震災対策は必要としないが、長期的には考慮すべき地震

また、地震規模情報を震度に変換し、いわゆる「河角マップ」の現代版作成も防災関係者が望んでいるところであろう。

★意見3

氏名：神奈川県環境部地震対策課長 野本 紀

立場：防災関係者

該当箇所：全般

意見：

全体的方向について

- ・概要：長期的な地震発生確率の評価の公表について賛同する。
- ・趣旨：長期的な地震発生確率の評価の公表については、地域防災計画（地震災害対策計画）の基礎資料として、非常に有用な情報であり、実施の方向で進めていくことについて賛成する。

★意見4

氏名：神奈川県環境部地震対策課長 野本 紀

立場：防災関係者

該当箇所：第2章 手法、ほか

意見：

評価手法の全体について

- ・概要：行政等防災関係者にとって手法がわかりにくい。
- ・趣旨：長期評価手法については、統計学的手法を主体として、非常に専門的で、わかりにくい。したがって、例示を示す等、行政等防災関係者にも分かり易く、理解しやすい書き方としていただきたい。

また、評価が統計学的手法によるところが多いため、地震学の最近の知見や測地学的アプローチも含めて解説を入れ、分かりやすい説明としていただきたい。

★意見5

氏名：神奈川県環境部地震対策課長 野本 紀

立場：防災関係者

該当箇所：4.1 妥当な統計モデル

意見：

42頁 経過年数に対する30年確率の増減について

- ・概要：発生間隔を越えた場合の確率の減少は奇異に感じる。
- ・趣旨：評価手法で用いている、対数正規分布によると、発生間隔のおよそ2倍程度の期間が経った場合には、30年発生確率が減少しており、普通感覚では発生間隔をこえた場合、ますます高い確率になるように考えられるので、一般的感覚では奇異に感じる。

例えば、歪みが徐々に蓄えられている予想震源域に対して、発生間隔の2倍の時期から確率が減っていくのは疑問がある。

★意見6

氏名：神奈川県環境部地震対策課長 野本 紀

立場：防災関係者

該当箇所：4.2 確率の数値評価のまとめ

意見：

44頁 確率評価の適用例について

- ・概要：南関東地震の評価をするべきである。
- ・趣旨：主なプレート間地震について、評価の適用例を示しているが、本調査が最終的には、防災行政の資料とするものであることを考慮すると、首都圏の重要性を鑑みれば南関東地震について評価するべきと考えられる。

中央防災会議においても、今後100年か200年先には発生すると報告されており、整合を図るべきと考えられる。

★意見7

氏名：神奈川県環境部地震対策課長 野本 紀

立場：防災関係者

該当箇所：4.2 確率の数値評価のまとめ

意見：

44頁 確率評価の適用例について

- ・概要：東海地震の30年確率が低い。
- ・趣旨：明日起こっても不思議でないと言われ、法律も施行されている東海地震の30年確率が、36%というのはいかがなものか。

評価手法による限界と考えられるが、多くの防災関係者が努力している地震対策への取組みに対して、ブレーキになるような位置づけになるように受け取られるので、最近の地震学の知見、測地学的観測結果、東海地震判定会会長の私的シナリオとの兼ね合い等総合的に確率を判定するべきと考えられる。

手法の限界ということであれば、東海地震という特に防災上重要な地震については、単純に今回の評価手法のみを使用することは再考するべきではないか。

★意見8

氏名：神奈川県環境部地震対策課長 野本 紀

立場：防災関係者

該当箇所：表4.2 断層の活動を注意喚起するための指標

意見：

50頁 断層の活動を注意喚起するための指標について

- ・概要：指標のランク化を実施するべきではないか。
- ・趣旨：地震発生の切迫性を評価する手法として、今回の評価手法による確率の算出は分かりにくく、50頁の指標についても、印象としてストレートに理解しがたい。

指標については、最終的には数値によることにこだわることなく、例えばA～Dランクのようなものにし、

Aランク：早急に地震防災対策に取り組むべきもの

Bランク：中期的に地震防災対策に取り組むべきもの

Cランク：長期的に地震防災対策に取り組むべきもの

Dランク：当分の間は発生の考えられないもの

といった指標を、成果として出していくことを要望する。

★意見9

氏名：神奈川県環境部地震対策課長 野本 紀

立場：防災関係者

該当箇所：

意見：

最終目標のための途中段階であることの宣伝

- ・概要：今回の試案が地域評価に対する途中段階であることを強くアピールする必要性がある。
- ・趣旨：今回の試案は、最終的には地震調査研究推進本部が目指す地域ごとに、発生する地震の規模や地震の揺れの最大加速度等を含めた長期確率予測であるとされているので、単に個々の地震の発生確率に左右されることなく、地域に発生する可能性のある地震を総合的に評価していくことを目指していることを、もっとアピールしていくべきと考えられる。

例えば、中央防災会議においては、南関東地域直下の地震についてある程度切迫性があるとし、震度6相当以上になると推定される地域の範囲が指定されていることを鑑みれば、それを補完するような試案としていくべきと考える。

また、この試算結果を公表する場合には、防災情報又は安心情報として理解すべき性質のものではない旨の表示を行うなど、誤解を生じさせない措置を必ずとるべきであると考えられる。

★意見10

氏名：神奈川県環境部地震対策課長 野本 紀

立場：防災関係者

該当箇所：B.1 地震発生確率一覧表

意見：

61頁 神縄・国府津－松田断層帯の30年確率について

- ・概要：3.5%の発生確率は防災対策をするべきか困惑する。
- ・趣旨：今回の試案による評価手法をとった場合、神縄・国府津－松田断層帯の30年確率は、3.5%であった。

一般的感覚からすれば、プレート境界上の断層が同様の確率であれば時間的余裕があると考えのが素直である。しかし、陸域の断層については、発生間隔が長期（数千年）となるため、確率が高くないので、この確率でも可能性が高いものと受け取るべきと説明されても、にわかに理解することが不可能である。

発生間隔の過ぎてしている場合なので、単純に30年確率をとるより、累積確率と今後30年確率の和で表現していくほうが、切迫性をよりアピールすることができ、感覚とも一致するのではないか。

または、意見8に示した意見のようにランク分けした指標を示していくことを望む。

★意見11

氏名：望月 一範

立場：防災関係者

該当箇所：4.2 確率の数値評価のまとめ、4.3 発生確率の時間変化

意見：

長期的な地震発生確率評価による結果については、それを行政や市民における具体的な防災対策、防災行動に繋がるように活用することが必要であるため、確率の数値を定量的に示すのみではなく、数値の持つ意味を定性的な解説とあわせて発表することや、他の地域との比較や過去の被害地震との比較に関する情報もあわせて発表するなど、情報内容及び情報の活用方策についての検討を進めるべきであり、その検討を経ないで本試案による手法を用いることは防災対策上の意義が乏しいと考える。

試案4.3においては、さまざまな指標が提案されているが、数値の持つ意味が防災行政の担当者や市民に理解が得られやすく、かつ、安心情報としてのみ受け取られることのないよう、情報内容、提供方法について、さらに検討する必要がある。

その際、国や地方公共団体の防災関係機関の意見が十分に踏まえられる検討体制が講じられることを期待する。

★意見12

氏名：山岸 登

立場：防災関係者

該当箇所：全般

意見：

総体的に難しい数式が多く、行政の立場では本文をめくるだけで終わってしまうのではないだろうか。

この冊子ではいろいろの統計モデルで検討されているので、かなり複雑な取り扱いが記されています。これらの中で最も良く適合するモデルを用いた場合のみの、地震発生確率を各断層について示して戴きたい。

★意見13

氏名：山岸 登

立場：防災関係者

該当箇所：第1章 長期確率評価の考え方について

意見：

短期的地震予知が困難となってきた現状下で、時系列データを主体に長期確率の評価を行ったことは防災や耐震構造分野に広く寄与できると明言致します。

さて、これまで数十年先のことは中期予知といわれてきたようですが、ここでいう長期とはおよそ何年くらい先から後のことでしょうか。

★意見14

氏名：山岸 登

立場：防災関係者

該当箇所：図1.1 長期確率評価手法の概念図

意見：

2ページのフローチャートについて

地震発生の時期が全くわからない断層または有史以来地震のない断層の中にも社会的に重要な場所に存在するものがあります。これらについてのUを求める方法を教示していただきたい。

★意見15

氏名：山岸 登

立場：防災関係者

該当箇所：表4.1 南海トラフ等プレート間地震と陸域の活断層における、今後30年以内の地震発生確率

意見：

44ページ表4.1について

得られた確率が小さいからといって危険度が小さいわけではないのですが、このことは一般には理解されにくいと考えられます。だれにもわかるような説明を希望します。

★意見16

氏名：山岸 登

立場：防災関係者

該当箇所：表4.1 南海トラフ等プレート間地震と陸域の活断層における、今後30年以内の地震発生確率

意見：

44ページ 表4.1について

この冊子全体を熟読すればある程度内容の理解はできますが、将来マスメディアを通して外部（行政サイド、一般人）にいつかは公表することになるものと考えられます。

理解し納得のいく解説を十分行って戴きたい。

★意見17

氏名：山岸 登

立場：防災関係者

該当箇所：4.5 長期確率評価によって得られる確率の数値の理解に向けて

意見：

(2) の確率の信頼度について

海域の地震と陸域の地震とでは発生間隔はもちろんそのバラツキも大いに異なるにもかかわらず、得られた地震発生確率の値（例えば表4.1）をそのまま呑みにする危険性がある。

このため暫定的なデータとはいえ現時点で得られた最適の成果を、より効果あらしめるため表4.2の指標も考慮しながら、確率の数値そのものではなく海域は海域（例えばA～D）、陸域は陸域（例えばA'～D'）というような4段階くらいのランク付けで表現したらいかがでしょうか。

(2) 報道関係者から寄せられた意見

なし

(3) 地震及び関連分野の研究者、技術者から寄せられた意見

★意見18

氏名：荒木春視

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：第1章 長期確率評価の考え方

意見：

(1) 将来、完成されるであろう地震危険度地図が、学問的ではなく、社会的にどのような影響を与えるか。十分に検討されていると思考する。基本的な考え方を示すのがよい。

(2) 「地震」との言葉から市民は被害／震度を連想するが、学者はエネルギー／規模を連想し、被害を結果として理解する。被害／震度に直接、連動しない地震確率は市民からは責任回避の学者体質を反映した遊技理論で見られてしまう。「地震」から「震度」へと、地域に即した、防災を主眼にした確率まで発展させるものであって欲しく、その構想があれば付記するのがよい。

(3) 地震をおこすと予想される以外の断層とは、過去に大地震がありながら、地形的な変状が現れてない断層を指している。問題は、そのような見えない断層を探す方法である。これまでの方法を援用するのであるならば、莫大な費用がかかる。これまでの断層探査成果と的中率を市民レベルで公開・公表がなければ、税金を使つての調査でもあり、国民の納得が得られない。

(4) 個々の断層が完全に独立しているものであれば、この基本的な考え方は理解できる。連続していると考えていた断層が、実は、別の断層であった、と言うことは無いのだろうか。その場合、活動しなかった断層は、空白域に位置し、最も危険な断層と言えないこともないのである。この点の配慮が必要であろう。

(5) 平均にも、いろいろある。測量でも平均値の精度は測定回数の増加と共にあがる。計算された「地震の活動間隔」の出現する確率が議論されていない。計算された「活動間隔」を確かなデータとの前提に立つ地震確率は統計的にみても問題が残る。計算に使用したデータの母集団は同じと見なせるのか。地域・区域分けの前提・仮定、データの個数からの誤差、年代分析法に内在する誤差等、計算に使われたデータが当該断層を代表しているとの証明が十分でない。要するに恣意的な点が懸念される。

(6) 30年以内に地震が起こる確率とするなかで、「以内」の文言が気にかかる。地震が明日おきても不思議ではない、との逃げ口上にも読みとれる点である。確率論で、危機を長期的に予測するのであるならば、例えば5年から30年以内とのように、長期の期間を明確にするのがよい、と思考する。それを、毎年、見直しすれば良い。それが住民に「安心感」を与える。

以上、地震予知問題に取り組んでいる一研究者として、疑問点を申し述べました。参考になれば幸いです。なお、ここでは試案の全般についての私見を述べているものから、「意見の部分」を試案で「考え方」を記述している「第1章」としました点を付記します。

★意見19

氏名：荒木春視

立場：地震および関連分野の研究者、技術者

該当箇所：第2章 手法

意見：

1. 更新課程について

(1) 概要に関して 「ある銘柄の株価・・・変動の物理学的あるいは社会学的なメカニズムの解明が不十分で、将来を正確に予測できない段階においては、統計的な処理が有効・・・、地震発生という現象についても同様」とある。地震発生を、統計的処理として、株価変動と同じ視点でみることに疑問である。株価と地震とは、時間・空間的な要因が全く異なる。地震は自然界の法則で動くが、株価は人間社会の動向で変わる。自然法則が解明できれば、地震発生は予測できる。しかし株価変動は人為的操作が可能である。株価変動から見ればデータ（情報）の質が、地震発生ではデータ（情報）の量が重視される。株価には多量の変動データが存在するが、地震には株価から見れば無に等しい。地震発生は株価変動と同じ統計処理に馴染まない事象である。

2. 時間予測モデルの利用について

(1) 概要に関して「最新の地震時のずれの量 U_{last} と長期的な断層のずれ速度 V から、最新の地震から次の地震までの期待される経過時間 T_{exp} 」が次式

$$T_{exp} = U_{last} / V$$

から求められる、としている。ここでの問題点は、 U_{last} 及び V のデータの信頼度である。地震時のずれの量については、野島地震断層においても観測されているように、場所で異なっており、どのような量を U_{last} として使うのか、また地震断層のトレンチから、ずれ量を計測している場合も、断層の一面しか観測されていないことから、データの信頼性に疑問が残る。さらに断層のずれ速度 V についても、ずれ量が累積されたものである点で、データの信頼性に問題がある。時間予測モデルは十分に理解できるにしても、取得データの質に疑問が残る。

3. 不確定性の取り扱いについて

(1) 最新活動時期の不確定性に関して 「活断層調査の結果からは、前回の地震発生時期が確定されるものはむしろ少なく、ある幅をもっていることのほうが多い。そこで、最新の地震発生時刻がある分布に従っているとして」とある。この論法は理解できない。地震発生の時刻がある分布にしたがっていることを示し、検証が先ず必要と考える。仮説作業は避けるのが賢明である、と思考する。

4. 論理ツリーの適用について

「試案」は将来の「指針」として受けとめられがちである。特に本節のような研究的な側面の強いものについては、内容構成の中で一層の配慮をされたほうが理解しやすい、と思考する。

以上、地震予知問題に取り組んでいる一研究者として、疑問点を申し述べました。参考になれば、幸甚です。なお、敢えて私見として補足させて貰うなら、確率論は基本的に賛成です。ただし、導入の目的と方法は異なります。

★意見20

氏名：荒木春視

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：第3章 適用例

意見：

1. プレート間地震について

(1) 南海トラフ沿いの巨大地震

1) 更新過程を利用する事例に関して 今後30年、50年、100年間に巨大地震発生確率を過去の地震から表3.1 (data set I) で求め、表3.3の対数正規と比較すると

単純な生起確率 0例/8例中 = 0%、1例/8例中 = 13% 5例/8例中 = 63%

確率密度関数 (対数正規) 4.5% 14.3% 52.3%

となる。過去の地震では発生間隔が最短で91.9年であり、今後の30年間では前回の地震から82年にも満たない。それでも確率密度関数からは4.5%となり、単純な生起確率の0%のほうが確からしさを与える。なお、表3.1の発生間隔が小数2桁以下の表示は意味がない。データ数が少ない場合は統計処理法として、試案の統計モデル適用には疑問が残る、と思考する。

2) 時間予測モデルを利用した事例に関して 今後30年、50年、100年間に巨大地震発生確率を、単純な生起確率と室戸港での時間予測モデルとで比較すると

単純な生起確率	0%	13%	63%
時間予測モデル	22.9%	64.7%	99.2%

となる。更新過程で述べたと同じ理由で時間予測モデルにおける今後30年間に発生確率は過去の発生事例と全く調和がとれていない。問題は室戸港で求めた活動間隔を、データ数が少ないにも拘らず、平均値として扱っている点にあるものと推測する。活動間隔を算出する際の関係データの信頼性（データ数が少ないこと）に問題がある、と思考する。

(2) 宮城県沖地震

1) 更新過程を利用する事例に関して 今後の5年、10年、20年及び30年間に宮城県沖地震の発生確率を過去の地震の表3.7 (data set I) で求め、表3.9の対数正規と比較すると

単純な生起確率	1例/10例中=10%	3例/10例中=30%	7例/10例中=70%	9例/10例中=90%
確率密度関数(対数正規)	5.9%	22.0%	66.2%	90.8%

発生間隔の短い宮城県沖地震では単純な生起確率と確率密度関数からの発生確率が近似している。試案の統計モデル適用のデータ数の少ない中で、敢えて使用する根拠に疑問がある、と思考する。

2. 陸域の活断層で発生する地震について

(1) 更新過程を利用する事例に関して(事例:長野盆地西縁断層) 今後の30年、50年、100年間に長野盆地西縁断層を震源域とする1846年時点の地震発生確率を過去の地震から表3.20(data set I') で求め、表3.22の対数正規と比較すると

単純な生起確率	4例/7例中=57%	4例/7例中=57%	4例/7例中=57%
確率密度関数(対数正規)	9.3%	15.1%	28.8%

となる。翌年の善光寺地震を単純な生起確率のほうが確率密度関数より遙かに強く予想している。ここでも試案の統計モデル適用をデータの数の少ない中で、敢えて使用する根拠に疑念を持つ。

以上、地震予知問題に取り組んでいる一研究者として、疑問点を申し述べました。参考になれば幸いです。なお敢えて私見を述べるなら、更新過程の導入の目的と方法は異なりますが確率論は基本的に賛成で、時間予測モデルでは「ずれ量」として地震前の沈下量に関心を持っています。

★意見21

氏名: 荒木春視

立場: 地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所: 第4章 まとめと今後の課題

意見:

1. 妥当な統計モデルに関して

「4つのモデルに特に差異が見られないのであれば、直感的に理解しやすい対数正規分布を用いることが妥当」との文言に疑問がある。実際に統計を取ってみると対数正規分布になるのであれば、確かに妥当であろう。特に差異が見られないのは、データ数が増えても同じなのか。そこが疑問である。私の経験では、自然科学の種々の分野で数百を越えるデータを扱う機会が多かったが、不思議に対数正規分布を示す。結論は正しいと思うだけに、過程が間違っていれば、論理が崩れ、科学的結論とは言い難い。期待と信頼の損なわれる事を危惧するものである。

2. 長期確率評価によって得られる確率の数値の理解に向けてに関して

本節に見られる考え方に基本的な異論はない。しかし、残念に思うのは、この考え方が、後書き風に記述されている、点である。これを試案づくりの前提に据えて、地震確率の検討が進められていたら、試案とは別の確率論の展開になっていた、と推測するものである。

(1) データの精度 「精度が悪い場合・・・変更される場合もありうる」のであれば、確度の高いデータを集めたらよい、と誰もが思う。確度の低いデータでもよいから、地震発生確率を出さざる理由があるのであれば、巻頭記述しておくのがよい、と思考する。

(2) 確率の信頼度 信頼度と確率が併記され、混乱を読者に与える。「確率の数値の信頼度」についての疑問を示す。例えば、ある事象の起こる確率が99%だとして、データの信頼度が最高Aであったとすれば、「確率の値が今後変わらない」と判断できるのか、と言う点である。そのような信頼度の高いデータは、まず、得ることはできないし、だからこそ、確率論の導入が必要だったのではなか

ろうか。心情は理解できるが、逃げ口上に読み取れる点が残念である。

(3) 確率の上限 「低い数値であっても、単に安心情報と理解せず、・・・最大値と比較して考える必要がある」としている。ここも記述者の心情は理解できるが、残念ながら、逃げ口上に聞こえる。統計モデルは正しくても、データ数が不足し、モデルが前提とする母集団が幻の存在であれば、良い成果を得ることはできない、と思考する。

(4) 判断への利用 「判断が誤った場合に重大な影響が生じる案件では・・・有意水準もっと小さな値に設定」とある。自明の理と理解するが、問題点は計算された確率密度関数の信頼性である。信頼度の低い確率密度関数を使わざるを得ない状況のなかでは、この「判断が誤った場合に」の文言は削除するのがよい。統計モデルを適用する際の諸条件がクリアされているとは思えないので、行政的な配慮として、この様な判断も大事である、と思考する。

以上、地震予知問題に取り組んでいる一研究者として、疑問点を申し述べました。参考になれば幸いです。最近、地震被害の恐ろしさ、地震に対する日常からの心構え等に風化の兆しが報道されています。風化させないよう、住民・市民の関心を一層、高めて貰うためにも、地震確率の導入は大事であると考えます。なお、敢えて私見として補足させて貰うなら、確率論は基本的に賛成です。ただし、導入の目的と方法は異なります。

★意見22

氏名：栗田泰夫

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：3.2.1.2 丹那断層

3.2.1.4 長野西縁断層

意見：

丹那断層の最新イベントは、841年伊豆国の地震であることがほぼわかっています。長野西縁断層の一つ前のイベントは、考古学的データから835年～900年頃と推定されています。阿寺、跡津川では、最新イベントとしてトレンチのデータだけではなく、歴史地震のデータを使ってさらに時期を決定していますので、丹那、長野西縁でも同様に扱うべきと考えます。

参考文献：地震観測所（1991）松代付近の遺跡の発掘現場で発見された地震。気象庁地震観測所技術報告，11，47-64.

★意見23

氏名：栗田泰夫

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：付録B 対数正規分布の確率一覧表

意見：

基盤的調査研究対象の活断層では、再来間隔が5000年を越え、1万年、3万年と言う断層もわかっています。このような長い再来間隔についても確率一覧表を示していただければ、地震防災や、活断層の調査計画に大いに役立つと思います。

火災による全焼確率は100年で3%ですので再来間隔は100年確率が1～3%を越える範囲について、また経過時間は再来間隔の2倍程度までについて、一覧表があれば便利です。

★意見24

氏名：栗田泰夫

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：4.1 妥当な統計モデル

意見：

陸域活断層の活動間隔のばらつきについて。

例としてあげられた、阿寺、丹那、跡津川、長野西縁を比べて見ますと、イベント年代が高精度で推定されているものほど、 σ が小さくなる傾向がはっきりと認められます。たとえば、阿寺断層では5

つのデータによる $\sigma=0.28$ (阿寺1)が、精度の悪いもの一つを除くだけで $\sigma=0.07$ (阿寺2)と1/4になってしまいます。また、長野西縁、跡津川、阿寺(阿寺2)と、個々のイベントの年代推定精度が上がるにつれて σ が0.25, 0.16, 0.07と小さくなります。

この傾向について、何らかの評価なり今後の見通しができないでしょうか。たとえば、試案では共通 $\sigma=0.23$ が使われていますが、データ精度が上がれば、この共通 σ はずっと小さなものになる可能性があるのではないのでしょうか。

★意見25

氏名：粟田泰夫

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：4.1 妥当な統計モデル、4.2 確率の数値評価のまとめ

意見：

陸域活断層の共通 σ (0.23)

陸域の幾つかの断層では、イベント発生時の推定に、推定年代区間の「中央値」が使われています。しかし、この「中央値」は統計上の意味がありませんので、「中央値」を用いて帰納的にばらつきを評価するには精度上の問題があると考えます。

たとえば、阿寺断層ではもっとも古いイベントの推定年代区間が極端に広いことから、この一つのデータを含めるか、除くかで、阿寺断層の σ が0.28(阿寺1)から0.07(阿寺2)まで変化してしまいます。また共通 σ も、含めた場合には0.23, 除いた場合には0.19となります。したがって、共通 σ として有効数字2桁を扱うのは、精度上大きな問題があります。データが一つ加わる毎に変更しなければならないような不安定な数値を用いるよりは、共通 $\sigma=0.2$ として1桁精度にとどめるのが適当と考えます。今回の試案であげられたデータセットの中で、正確かつ高精度のものは、南海地域の2もしくは5のみであって、それらの σ は0.18, 0.20です。これを考慮すれば、プレート間地震、陸域活断層を問わず、共通 $\sigma=0.2$ を用いるが妥当ではないのでしょうか。

★意見26

氏名：粟田泰夫

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：3.2.1.2 丹那断層

意見：

丹那断層のイベントの年代推定方法や、暦年変換方法は、阿寺・跡津川・長野西縁と異なっていますので、同列で扱うべきではないと考えます。とくに、丹那断層のイベント推定年代は「区間の中央値」ではありませんので、原典にあたって統一的な値を用いるべきです。

★意見27

氏名：石川 裕

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：表4.1 南海トラフ等プレート間地震と陸域の活断層における、今後30年以内の地震発生確率

意見：

「過去の地震発生時点での確率値が小さいことが示す手法やパラメータの問題点と長期評価部会の立場について」

表4.1によれば、過去の地震発生時点での発生確率の値は、阿寺6.5%、丹那2.8%、跡津川1.4%、長野10.8%、野島4~9%といずれも低い数字である。サンプル数が少ないためこの結果のみで判断するのは適当ではないかもしれないが、大きな確率を有するサンプルがないということは、活断層で発生する地震の時系列を単純に更新過程でモデル化すること、および試算で用いたパラメータの信頼性をより深く吟味する必要があることを示唆していると言えよう。

すなわち、活断層で発生する地震の発生確率の評価に関しては、未だ多くの研究を積み上げていかねばならない問題であり、地震調査研究推進本部という公的な機関が、単なる今回の検討のみで(他

のモデルの検証を抜きにして)、評価手法を標準化し、あたかもコンセンサスが得られたかのごとく確率値を公表するのは時期尚早であると考える。

★意見28

氏名：石川 裕

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：表4.2 断層の活動を注意喚起するための指標

意見：

「評価結果を表現する指標について」

牛伏寺断層の結果を見ても明らかなように、要注意と言われていてもそもそも30年程度の短い期間での地震の発生確率は小さな数値にしかならない。したがって、地震に対する備えを喚起させることを目的とするならば、確率を生値で公表することは全くの逆効果であり、止めた方がよい。

一般に、多くの人の意識では、天気予報の降水確率で傘が必要と考える値は30～40%と聞く。したがって、それ以下の確率値に対しては、「そういうこと（地震）は起こらない」と解釈してしまうことになる。

そこで、確率を何らかの形で変換した指標を用いて地震の危険度を表現すべきということになり、その例が表4.2に示されている。

しかし、ここでは、同表に示されている以外の指標として、「現在より30年後の時点での集積確率(%)を10の単位に丸めたもの」を提案する。これは表4.2の指標(3)の評価時点を現在ではなく、30年後とするもので、前回の地震発生時点から見て、30年後までに地震が発生しているはずの確率になる。なお、有効数字はたかだか1桁であろうから、公表の際に2桁目以下まで示すことに意味はない。

過去の地震発生時点での値(表4.2)を見ると、この値が10以上の場合には今後30年以内に地震発生の可能性があるということになるが、モデルやパラメータの信頼性を上げることにより、より大きな数値が閾値となることを望むものである。

★意見29

氏名：伊藤 秀美

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：はじめに

意見：

この報告書で発表した試算の数値を見出しに使った報道がなされ、社会に混乱を与えている実態があったことからつぎの意見を提出する。

当該試算の発表は、長期確率評価手法を検討し、それをとりまとめたものの発表であり、手法の適用結果の発表ではないと理解している。それは適用結果の適切な解釈には専門的な知識が必要であるため、さらに十分な検討が必要と考えるからである。しかし、そのことがこの節に明示されていない。逆に「その手法に基づいて…試算した結果も同時に掲載してある。」とし、試算した結果の利用を促していると誤解を与えている。

以上のことに配慮して修文の検討をお願いしたい。

★意見30

氏名：伊藤 秀美

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：4.2 確率の数値評価のまとめ

意見：

この報告書で発表した試算の数値を見出しに使った報道がなされ、社会に混乱を与えている実態があったことからつぎの意見を提出する。

いろいろな活断層について計算された30年発生確率の数値を相互に比較して、確率30%の活断層は確率10%の活断層よりも3倍、地震を起こしやすいと、単純に解釈されてしまったことから本報告書のまとめ方に何らかの問題があったと思われる。

この節は、確率の数値評価のうち統計的な信頼性のみを扱っている。確率の値を解釈するには、単に統計的な数値の信頼性だけではなく、利用者の側に立った説明も必要である。特に地震という災害に結びつく現象の発生に係わる確率ではこのことが重要である。

従って、この節に、確率を利用者がどのように利用できるかの検討が十分できておらず今後の課題となっている旨、盛り込んで欲しい。

★意見31

氏名：入江 さやか

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当個所：

意見：

はじめに、貴部会が「試案」という形で本調査に対し広く一般の意見を求められた点について評価したい。先般の「余震確率評価」に比べ不確実性が高く、その反面社会的影響は大きく、扱いにくい課題ではあるが、今後の地震防災の拡充にはこのようなオープンな議論が不可欠である。

1) 「あいまい性」の処理について

本試案の適用結果からは数タイプの「あいまい性」が読み取れた。

- ① 計算モデルによる差異が大きいもの
- ② データセットによる差異が大きいもの
- ③ 活動区間のモデルが複数あるもの
- ④ 過去の地震が発生確率の低い時期に起きたもの
- ⑤ 予測される次の活動時期に大きな幅が（100年以上）あるもの

上記のうち①、⑤は今後他の断層を評価してゆく過程で、ある程度精度を持ったモデルが得られる可能性が高いと考えられる。②、③、④に関しては、活断層のトレンチ調査、文献調査等データの充実によって補完される余地はあるが、データの蓄積に時間を要することもあり、あいまい性は消えにくいと考えられる。

本研究を純粋にアカデミックな目的のみで行うのか、向こう数年の間で防災に役立つ形にするのかで、このあいまい性の取り扱い方は異なってくる。アカデミックな目的のみであれば時間をかけてあいまい性の解決に向けた研究がすすめられるべきであろう。が、防災上の判断に用いるのであれば、あいまい性を包含しながらも目下得られている最良の結果を指標として示さねばならない。そこで、本試案4.5の(2)等にあるように、材料となったデータもしくは得られた確率の「あいまい性＝信頼性」評価をA、B、Cもしくは点数等で「格付け」する方法論の検討が求められる。言い換えれば「あいまい性」を残したままで実用に供する際の「使用上の注意」をどう表現するか、ということである。

同様の観点から、上記①～⑤のようなあいまい性の内容、あいまい性を伴いながらも長期評価を行うことの意義を、一般にわかりやすく説明する方法も必要になってこよう。

2) 確率評価結果の利用法に関して

1) で述べた「あいまい性」を含む長期評価の結果を有効活用する方法もまた検討されるべきである。例えば「今後30年の宮城県沖地震の発生確率は65%、確率の信頼性はB」と発表した場合、これだけでは情報の受け手である自治体や企業、市民は行動を起こしにくい。地震災害に関わる他のリスクも含めた判断材料が必要である。

一般への情報提供の方法としては、①長期評価確率の信頼性、②予測される最大地震動（加速度等）③地盤危険度、④建物倒壊危険度、⑤火災危険度、⑥人的危険度、⑦避難危険度、⑧ライフライン機能の信頼性等の各指標を勘案し、「総合評価」のランクで示す、あるいはハザードマップとして示すのが有効ではないかと考える。いずれにせよ、本研究を長期評価の技術論に終わらせず、防災情報として活用するノウハウの段階までぜひ継続していただきたい。

将来的には長期確率評価を踏まえ、地震学、地震工学、人間行動学、社会情報学、ライフライン事業者等の知見・情報を集めた「地震災害リスク総合評価情報」が、全国いずれにおいても同じ基準で整備され、都市の基盤データとして広く活用されるのが理想と思われる。

★意見32

氏名：大竹 政和

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：

意見：

1. 統計的な手法による地震発生確率の長期的評価は、最近の各種調査研究の進展により、かなりの程度客観的な基礎を有するに至った。長期評価部会の積極的な取り組みに敬意を表する。地震防災対策への貢献の見地から、今後、可能な場所から全国的な規模で評価を実施し、その成果を公表して行くべきである。

2. 今後の評価の実施に当たっては、次の点に考慮する必要がある。

(1) 使用する統計モデルは、対数正規分布に固定することなく、さらに多数の事例解析を進めつつ適切なモデルを採用することが望ましい。

(2) 使用するデータセットについては、個々の事例ごとにより慎重に検討する必要がある。例えば、「宮城県沖」の評価に用いたデータセットには、別紙に示すように幾つかの疑問点がある。別のデータセット（別紙参照）からは、今後30年以内に「宮城県沖」地震が発生する条件付き確率は、対数正規分布モデルで約70%となる。

(3) 評価結果の公表に当たっては、これが、ある地点が大きな地震動に遭遇する確率ではないことを周知徹底する必要がある。今回の「宮城県沖」の試算結果についても、地元のマスメディア関係等では、仙台ないし宮城県が1978年宮城県沖地震級の震害を受ける確率と誤解する者が多数あった。

(別紙)

「宮城県沖」の評価について

1. Data set IIIの疑問点

(1) 1646年、1736年、1861年の地震は、いずれも規模が小さく、また内陸の地震の可能性が高いためデータセットから除去すべきではないか。ただし、1736年の地震は宮城県沖の大地震であった可能性も残る。

(2) 他のデータセット採用地震と比較すると、下記の地震を除外するのは根拠に乏しい。

1717年 5月13日 M=7.5

1855年 9月13日 M=7 1/4

1915年11月 1日 M=7.5

1933年 6月19日 M=7.1

2. データセットの別案

(1) 確率評価に使用するデータセットとして、下記の別案を示す。このリストでは、地震資料の不完全性を考慮して、1800年代以後の地震のみを取り上げている。

番号	年	月	日	M	間隔(年)
1	1835	7	20	7	
2	1855	9	13	7 1/4	20.2
3	1897	2	20	7.4	41.4
4	1915	11	1	7.5	18.7
5	1933	6	19	7.1	17.7
6	1936	11	3	7.5	3.3
7	1978	6	12	7.4	41.6

(2) 評価結果

対数正規分布モデルから、今後30年以内に「宮城沖」地震発生する条件付き確率は70%となる。ただし、リスト中のN0.5の地震は、同年の三陸沖地震との関連で別扱いすべきかもしれない。

(3) 問題点

信頼性の高い短期間のデータを用いるべきか、信頼性は劣っても長期間のデータを用いるべきか、今後の検討を要する。

★意見33

氏名：奥村 俊彦

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当個所：

意見：

発生間隔のばらつきに関して

図1.1(p.2)のフローでは、最新の1回のイベントのみが確認されている場合にも、発生間隔のばらつきとして「平均的な値」を用いるようになっていますが、UとVから推定される平均発生間隔のばらつきと、多数のイベントが確認されている場合に推定されるばらつきとで同じ値を用いることが妥当でしょうか？

また、陸域の活断層に関する適用例の中で、幅で推定されている発生年の中央値を用いた試算がされています。ところが、p.29に示されている長野盆地西縁断層のように過去のイベントの発生年の推定幅はきわめて大きい場合があり、これを中央値で代表させてしまうと、推定幅が存在することによるばらつき（の一部）が考慮されない、すなわち、ばらつきを過小に評価することになるように思います。

報告書4章の4.5(2)では、確率の数値の信頼度を間接的に表現するための方策として、データの信頼度を表すような指標について言及されています。これは、上記のような事項への対応策の一つと考えられますが、一旦結果が数値として出されてしまうと、付記されている信頼度が軽視され、結果のみが一人歩きすることになるのではないかと危惧します。したがって、結果と信頼度を別々に評価するのではなく、結果の数値（確率）の算定に際して、データの信頼度を含めた評価が必要ではないかと考えます。

★意見34

氏名：亀田 弘行

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当個所：

意見：

不確定性を伴う将来の地震発生に対して確率表現の方法を開発することは基本的に重要です。特に、今後の活断層調査の進展に伴って増加する断層情報を適切に反映する方法が必要とされるという基本認識は全く妥当と考えます。文献18に挙げられているわれわれの研究も同じ理念で始めたものです

（まだ研究の基礎的段階ですが）。今回拝見した報告書は、こうした努力の重要な一歩であり、大いに評価したいと思います。しかしこれはあくまで一歩であると考えます。この分野が今後健全に発展して行くことを期待する立場から、報告書の趣旨・表現・内容にわたり、十分な議論と検討を要すると思われる主な事項について、以下に私見を述べさせていただきます。

（1）研究の目的について：本報告書には、この研究の目的が体系的に述べられていません。長期評価部会の内部資料として作成された印象を受けます。しかしながら、広く意見を求める以上、研究目的を明確にして頂くことが重要であったと考えます。研究目的は、成果の内容にも結果の活用法にも大きな影響を持つからです。一番大きなポイントは、この研究が①地震に関する科学研究の一環なのか、②防災のための社会情報の提供を目的とするのか、という点にあると考えます。この点についても見解が述べられておらず、本文から推測するしかない状況であり、読む人によってさまざまな解釈を生むことになり、混乱の元となることを懸念します。

私の専門の視点から見ると、地震発生の予測期間を30～100年という人間の社会活動の時間スケールで扱うことは、明らかに防災を目的としているように思えます。しかしながら、この目的を達成するためには、地震の確率予測に関して、社会の側がどのような情報を必要とするかという防災学的観点からの検討が不可欠と考えます。研究目的を明確にすることの中には、こうした視点を含めた包括的な方針を示して頂きたかったと考えます。この分野の研究を成功させる鍵は、理学・工学・社会科学がいかに向き合って議論できるかにあると考えますので、今回、意見表明の機会を設定されたことに敬意を表しますが、それだけに、上に述べた点が気になります。この評価部会の活動が有意義かつ重要であり、しかも影響力が大きい故に、このことを強調したいと思います。

(2) 本報告書の位置づけについて：これは研究活動であるのか、行政的 목적を持つ行為なのかがいまいであり、この点に関して位置づけを明確にして頂きたいと思ひます。それによつて本フォーラムへの意見表明の意味が変わると考へます。研究活動であれば、学会等での自由な討議の場にのせるべきであり、このフォーラムも同様の目的で討論を活性化させる場として活用すればよいと考へます。一方、今回の報告書が手法の標準化を主旨とするなど行政的要素を含むとすれば、手法的に現在の段階で固定することはこの分野の発展を阻害することになりかねず、慎重な扱ひがなされることを要望します。さもなければ、本報告書で提案されている手法や数値が、本来の意味を離れて一人歩きする懸念を持ちます。

(3) 私の討論の視点：以上の認識に立つて、報告書の内容に関する意見を述べて行きたいと思ひます。私の立場として、不確定性のもとでの意思決定を避けることができない工学の観点から意見を述べます。これと密接に関連する種々の地球物理学的課題についても関心を持っているのは勿論ですが、それらについてはその分野の専門の方々から大いに学ぶことを期待しています。

(4) 本研究に関する基本的感想：本研究の現段階は、「地球物理学的批判に耐える確率・統計的モデルをどのように構築するか」というところにあると考へます。断層情報に関する克明な整理と確率モデルに結びつける方法は大変参考になります。さらに、興味深い検討も数多く行われており、例えば、更新過程の危険率がポアソン過程の発生率を超えた時期を危険期の目安とする考へや、断層破壊モードの多様な組み合わせの問題における論理ツリーの応用法などは優れた着想と感じました。しかしながら同時に、以下に述べるような基本的な検討課題が残されていると考へます。

(5) 地震発生間隔の確率モデルについて：対数正規分布モデルによる30年間の地震発生確率が100%に達しないという結論は実際の現象に対する感覚と合致せず、腑に落ちません。報告書からは、特定断層における地震の発生間隔の確率分布を対数正規分布にしたことによる結果と理解されますが、モデルの「くせ」でこうなっているに過ぎないのであれば、現実認識をミスリードする恐れがあり、対数正規モデルそのものを再検討するべきではないでしょうか。こうした上限値があることの物理的合理性が示されるのであれば、その議論が展開されるべきと考へます。確率論的には、分布モデルによるこのような差異は、図4.1に示されているような「分布の裾」のところできている問題であり、これまで構造信頼性理論の重要課題として多くの検討と工夫がなされてきた課題です。この点に関して系統的な検討を行うことは、本研究においても避けて通れない未解決の問題と考へます。実は、文献18でも地震発生間隔について対数正規分布モデルを用いており、同じ問題を抱えています。すなわち、これは我々自身の問題でもあります。

(6) 不確定性評価について：不確定性はモデルパラメータに関する統計的ばらつきについては種々の検討が行われていますが、モデル化の誤差に関する不確定性の定量化が行われていません。この点に関する検討も同様に重要と考へます。

(7) 確率の算出結果に関する評価：30年確率が低いことをもつて安心情報とすべきではないなど、算出された確率の低さをどう考へるかについて若干とまどいを思わせる議論がなされていますが、このようなタイムスパンでは内陸活断層による地震発生確率が低い値になるのは当然予想される場所です。重要なのは、低い確率であってもいざ発生すると大きな影響を及ぼすという「低頻度巨大災害」として正面から受け止める議論を行うことと考へます。これは災害リスク評価の問題であり、防災論的に十分な討論の土俵に乗せるべきものです。本研究の結果の活用法についてこうした議論が必要であること、そのための基本資料として本研究を役立てるべきことなどをぜひ提言して頂きたいと思ひます。これにより、必要な分野が連携して社会の防災力向上に資するよう連携・協力する場が育つことが期待されます。

○むすび：以上、報告書に目を通した限りでの意見を申し述べました。場合によっては私の誤解も含むかも知れません。その場合はご叱正頂くようお願い致します。いずれにしても、冒頭に述べたように貴部会の活動は重要であり、その活動に敬意を表するものです。それだけに、この機会を率直な意見交換の場にするべきと考へ、感じたままを述べさせて頂きました。もし表現が不適切な点があればそれは私の責任ですが、今後のこの分野の研究が真に社会的にも意義あるものとして発展することを願う熱意の現れとお考へ頂ければ大変幸いです。

★意見35

氏名：小山 真人

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：全般

意見：

今回の報告書（ならびにこれまで地震調査委員会から公表された一連の報告書），およびそれらを公開して意見を広く求める姿勢を高く評価します。

しかしながら，今回の報告書や糸魚川－静岡構造線についての報告書において，活断層や地震痕などの地質学・考古学的調査で得られた事件や，地震の繰り返しモデルから要請される事件が，十分な文献史的考察のないままに安易に歴史記録と対比されている点が気になっています。

今回の報告書中では，3.1.1節「南海トラフ沿いの巨大地震」の1233年3月24日および1498年7月9日（いずれもグレゴリオ暦）とされた事件が該当します。どこが問題なのかは，別意見としてそれぞれ指摘しました。なお，今回のような意見公募がなされなかったために意見をお伝えできませんでしたが，「糸魚川－静岡構造線活断層系の調査結果と評価について」の報告書の中で，762年の地震の可能性を述べておられる点についても同様の批判意見をもっています。

いずれも評価結果に大きな影響を及ぼすものではありませんが，こうした事件対比を続けていけば，結果に重大な影響を及ぼすケースが今後出てくることも考えられますので，歴史記録との対比についてはもう一段階上の慎重さが必要だと考えます。

★意見36

氏名：小山 真人

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：3.1.1 南海トラフ沿いの巨大地震

意見：

1582年以前の地震の日付がグレゴリオ暦で表記されていますが，1582年の改暦以前に起きた地震や火山噴火の日付を，グレゴリオ暦のみで表記する国はほとんどありません。日本だけで行われている特異な慣習とも言えます。

巨大地震の揺れや津波は国境をやすやすと越えますから，今後の国際協力による事件同士の対比などの研究の進展をはかるために，1582年の改暦以前については世界標準であるユリウス暦表記に改めてほしいと思います。

なお，統計計算そのものには，天文学や測地学で使われているユリウス通日を用いた方が便利だし，日数計算上の誤りが生じにくいと思います。

この問題のより詳しい説明については以下のサイトをご覧ください。

<http://www.ipcs.shizuoka.ac.jp/~edmkoya/koyomi98/koyomi98.html>

★意見37

氏名：小山 真人

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：3.1.1 南海トラフ沿いの巨大地震

意見：

表3.1のdata set IIIに南海地震の日付として1233年3月24日（グレゴリオ暦）が採用されています。この日付のもとになった記述は和歌山県日高郡由良町に伝わる『蓮専寺記』の天福元年二月五日記事と思われませんが，蓮専寺の開基は1485年であり，しかも『蓮専寺記』は1657年から書き始められた史料です（萩原ほか，1989，「続古地震」東大出版会，p.243）。つまり，地震の日付から400年以上経過してから書かれた記述と思われれますから，史実を本当に反映しているかどうかについては綿密な調査が必要です。また，死者が出た原因が地震によるものか暴風雨によるものかについては，記述内容から判別できません。

さらに，1233年当時に京都で書かれた日記『明月記』および『民経記』の天福元年二月五日条には平穏な日常が叙述されているだけであり，地震記事はありません。通常の南海トラフ地震が起きたのなら，京都で有感でないのは奇妙です。かりに1605年のような津波地震であったとしても，紀伊水道や大阪湾を襲ったであろう津波の風聞が京都に伝わらないのは考えにくいことです。

よって、現時点では、1233年3月24日を南海トラフ地震の日付として採用しないのが妥当と思われる（7月1-2日に東大地震研で開かれた史料地震学シンポジウムにおいて、石橋克彦氏からも本意見とほぼ同様の主張がなされました）。

統計計算上の仮の日付として採用したいのなら、仮の日付と明記して1月1日などを使うのが無難だと思います。報告書の趣旨は十分理解していますが、3月24日のような具体的な日付がいったん採用されてしまうと、その日付そのものがひとり歩きをすることを憂えています。

★意見38

氏名：小山 真人

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：3.1.1 南海トラフ沿いの巨大地震

意見：

表3.1のdata set I~IIIに南海地震の日付として1498年7月9日（グレゴリオ暦）が採用されており、本文中には都司・上田（1997, 合同学会予稿集）を根拠として「中国の上海付近に津波が伝わった」と書かれています。しかし、この「上海付近の津波」は津波ではなくセイシュであった可能性が高いという主張が宇津（1988, 地震）と石橋（1998, 合同学会予稿集）によってなされています。7月9日に正体不明の大規模地震が西南日本あるいは周辺地域のどこかで起きたことは事実と思われますが、それを南海地震として採用することについては現時点では慎重でありたいと思います。

★意見39

氏名：小山 真人

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：3.2.1.2 丹那断層

意見：

丹那断層の発掘調査で得られたイベントCが『続日本後紀』に記された841年の伊豆国地震であることは、イベントCの断層変位が神津島天上山火山灰（838年）の堆積直後に起きたことから、ほぼ確実と思われます。活断層の発掘調査結果と史料記述との対比がなされた好例とも言えるこの結果を採用せず、たんなる放射性炭素年代の暦年補正值をもとにした年代値（1035年）を採用している点について理解に苦しみます。

★意見40

氏名：薩谷 泰資

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：

意見：

1. 試案の全体、特に第1章について

この手法（地震に対する確率的考え方）の限界を早く認識されて、実際に役立つ新しい試案を出されることを期待する。

2. 阪神大震災を経験した一人としては、大地震には前兆現象が必ず存在する。

3. 私は気温、相対湿度、大気イオン密度の変動および空中電位変化等の組合せにより短期予測が可能だと考えます。（気象学会等で発表済み）

4. この手法の装置に関しては特許出願中である。

5. 参考資料として新聞記事を送付する。

（添付されていた参考資料は平成9年7月22日 日刊工業新聞「大地震 10日目の予知も可能」の記事のコピーでした。）

★意見41

氏名：塩原 俊郎

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：第1章 長期確率評価の考え方

意見：

主体となる計算手法においては地震発生の時期と発生間隔のバラツキを二つのパラメーターとして（又はこれとかわりうる断層の活動間隔、平均ずれ速度、時期、区間等から）種々な過程により確率を計算されている。パラメーターとしては単純なものが用いられ、数式としては複雑な計算がなされている。

このような方法を用いる時の問題点として次のような事項があげられる。

- ・過去のデータ不足と信頼性の欠如
- ・予測される地震が50年後、100年後でないと起らない。したがってそれからでないと手法の評価が出来ない

- ・次回の地震がおきてもパラメーターの更新にあまり役立たない

- ・この予測に関与した研究者はその結果の評価に関与できない（孫子の代でない）

まして1000年に1回間のびした地震の予測は学問的にはともかく実用面からは意味がない。（1000年後に日本があるかすらわからない）

- ・地震がおきなくても他のいろいろな情報の集積ができるであろうが二つのパラメーターを主体とした計算方法にどうくりこむか（整合）が課題

- ・発生時期と間隔という二つの単純なパラメーターから引き出される本法に無理はないだろうか
人類にとって未知で、あまりにも複雑な仕組によっておこされる地震が過去に発生した時期と発生間隔の二つの最も単純なパラメーターで予測できるものだろうか。

★意見42

氏名：塩原 俊郎

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：3.1.1 南海トラフ沿いの巨大地震

意見：

パラメーターとして5つのケースを想定して地震を追加又は削除したものについて評価を行っている。その結果は当然かなりの差があり、30年、50年、100年後の確率が示されている。表3.8および3.9に示された一部をグラフ上にプロットしてみた。次ページにこれを示す。（図は編集の都合により、省略しました。）

ここで気付くことは予測がその年次までの累積値となっていることである。地震がいつおきるかという事が大切であって、100年後までの間に95%地震がおきる、ではいみがない。

このグラフは上端が立ったままであるが、これは100年に近い点にプロットがないため当然100%に向って漸近線をたどるであろうからゆるやかなS字カーブとなるものと思われる。S字カーブでは接線とX軸となす角の $\tan \alpha$ が最大の点が危険度最大の点と考えられる。このグラフはプロットした点が少ないから確かな事は言いがたいが $\tan \alpha$ がピークを示さず前後においても直線に近いことから危険度の高い点が明確でなく、各年次における危険度が変らないということになってしまう。

地震予知にとって最も危険度の高い日時と場所が示されることが必要ではなかるうか。

★意見43

氏名：武村 雅之

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：

意見：

長期的な地震発生確率の評価についての報告書を拝見いたしました。大変意欲的な試みであり、現状の学問レベルでの一定の到達点を示されていること高く評価いたします。

地震発生確率評価は言うまでもなく、来るべき地震に対し、如何に効率的に震災予防対策を施すか、また大地震が近づきつつあると判定された地域の住民の防災意識の向上を如何に高めるかという目的に利用されるべきものであります。

その意味では、結果の発表の仕方については、その効果を最大限に発揮できるように慎重に考える

必要があると思います。つまり、高確率で地震発生が予測された地域の行政や住民がいかなる対策を立てれば良いか（逆に低確率の場合はどうか）、大げさに言えば、行政や住民の震災予防への行動規範のようなものを先に準備しておく必要があるのではないのでしょうか。

我々の身近なところでは、同種のものとして天気予報がありますが、降水確率を聞いた時、我々は傘という雨を防ぐ手段をもっているから、情報に興味をもちまた役立てることができるのだと思います。

もし仮に、国は地震発生確率、あとは地域の行政や住民まかせということであれば、適切な傘を持たない行政や住民には地震に対する無力感やあきらめが広がってしまうだけというおそれもあり、それこそ震災予防にとって由々しき事態であると思います。予想される地震が発生した時にいかなる揺れが来て、どのような被害が予想されるか、それに対しどのような対策をたてるかということも視野にいたれた情報の提供が望まれると思います。現状、地方自治体毎にバラバラに立てられている地域防災計画の見直しや地震発生確率に関する情報とのリンク、さらに住民への正確な知識や情報の伝達等、多くの課題を解決する必要があると思います。

★意見44

氏名：早川 由紀夫

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：全般

意見：

地震の長期確率をこのように評価しようとする試みに賛同します。これをさらに推進することを望みます。

★意見45

氏名：早川 由紀夫

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：3.1 プレート間地震

意見：

試案では地震の発生日を1582年以前もグレゴリオ暦で表記しています。1582年10月に（人為的に）行われたユリウス暦からグレゴリオ暦への改暦のために西洋史ではそこに10日間の欠落（不連続）が存在します。1582年以前もグレゴリオ暦で表記することでこの欠落（不連続）は回避できるので、試案でそうなったことは理解可能です。しかし1582年以前の月日は、国際的には、ユリウス暦で表記するのが慣例ですから、グレゴリオ暦を用いたという断り書きをどこかに入れるのがよいと思います。

また、西暦には0年がありません。西暦1年の前の年は紀元前1年です。ですから、BCとADをまたいでいる年数を平均するときには注意が必要です。具体的に言うと表3.16などで0.5年の計算違いが発生しています。（議論には影響ありませんが、西暦には0年がないことが看過されていることが問題だと思いました）

天文学の分野で用いられているユリウス通日（Julian Day）を用いれば、上のような煩雑を簡単に回避できるでしょう。

グレゴリオ暦・ユリウス暦・ユリウス通日の換算には以下のサイトが役に立つかもしれません。

<http://www.genealogy.org/~scottlee/calconvert.cgi>

★意見46

氏名：早川 由紀夫

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：3.2 陸域の活断層で発生する地震

意見：

放射性炭素年代をすべて暦年代に換算していることを支持します。丹那断層で明記したように、阿寺断層・跡津川断層・長野盆地西縁断層でも放射性炭素年代を暦年代に換算したことを明記するといいたいと思います。

★意見47

氏名：早川 由紀夫

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：4.5 長期確率評価によって得られる確率の数値の理解に向けて

意見：

試案に書かれた統計学的を私はほとんど理解できていませんが、かなり高級な処理を行っていることはわかります。しかし、試案の54ページに書かれているように、統計処理に使用したデータ自体の精度に重大な問題があるように私は感じます。せつかくの高級な統計処理がデータ精度の悪さのために生きていないように思います。

ですから高級な統計処理だけで満足せずに、データの精度を向上する努力を緊急に積み重ねることが必要だと思います。歴史時代の地震に関しては、地震史料の再検討が最優先課題となりましょう。たとえば1233年3月24日の地震が南海地震かもしれないという試案で述べられている仮説はたいへん興味深いものです。緊急に検証すべき重要課題といえましょう。

★意見48

氏名：早川 由紀夫

立場：地震及び関連分野の研究者、技術者

該当箇所：4.5 長期確率評価によって得られる確率の数値の理解に向けて

意見：

試案の54ページ「判断への利用」に、有意水準5%あるいは1%にこだわらずにもっと小さくても注意すべきだということが書かれています。賛成です。

多数回試行される事象なら5%あるいは1%あたりが経済的にペイするかどうかなどの基準になるでしょうが、地震の場合は、ヒトの一生に一回起こるか起こらないかのまれな（そしていったん起こるときわめて破壊的な）事象を取り扱います。1/1000や1/10000の確率が議論されるのがむしろ当然だと思います。

（4）一般住民、その他から寄せられた意見

★意見49

氏名：井濶 陽平

立場：一般住民、その他

該当箇所：主に4.2確率の数値評価のまとめ

意見：

地震の長期的な発生可能性を、確率という客観的な数字で評価しようという試みは大変すばらしいことだと思います。

45ページに書いてあることに、「判断が誤った場合に重要な影響がある案件は有意水準を小さな値を取って、極端な場合は可能性が0でない以上対策を取っておくという判断もある」ということがありました。1930年の北伊豆地震の時など、かなり低い確率の時にも発生することが考えられるからでしょう。

しかし、可能性が0でない以上対策を取るというのであれば、この評価手法の結果に一般住民はどの程度利用できるのでしょうか。この手法では過去に繰り返し地震があった所のデータを用いるので、当然いつかはまたその場所で地震が起こることでしょう。ということは可能性が0ということはありません。

また防災上必要なのは、判断が誤った場合に重要な影響が出るほどの地震ではないのでしょうか。判断が誤ってもたいして被害が出ないならば、あまり防災的な対策は必要ではないでしょう。このままの試案では、一般住民は確率が低ければ安全とみなすでしょう。それに対する対策（例えば警報を出すなど）が必要だと思います。

6. 改訂試案「長期的な地震発生確率の評価手法について」

次頁以下に改訂試案の全文を掲載します。

(改訂試案)

長期的な地震発生確率の 評価手法について

平成11年 1月13日

地震調査研究推進本部 地震調査委員会
長期評価部会

はじめに

総理府地震調査研究推進本部の地震調査委員会は、地震防災対策特別措置法（平成7年6月16日法律第111号）第7条第2項第4号に基づき、関係行政機関や大学から地震に関する調査結果等を収集、整理、分析し、これに基づき総合的な評価を行っている。同委員会は評価の柱の一つとして、地震活動の長期評価を掲げている。これは、数十年以上にわたる長期的な観点から将来の地震活動度を探ろうとするもので、そのために同委員会の下に長期評価部会を設置している。

同部会は長期評価の一環として、平成9年11月に「長期確率評価手法検討分科会」を設置し、プレート境界やプレート内部の弱線である活断層で発生する大地震について、活動間隔・平均ずれ速度・最新活動時期・活動区間（セグメント）等のパラメータを用いて、その長期的な発生可能性を確率という数字で評価する手法を検討した。発生する地震の規模や地震による揺れの最大加速度等を含めた最終的な長期確率評価のためには、上述の他にも様々なパラメータを取り込む必要があると考えられるが、ここではまず、地震発生の時系列的なところまでを扱うこととした。本報告書はその検討結果をとりまとめたものであり、その手法に基づいてプレート境界及びいくつかの活断層に沿う長期的な地震発生の確率を暫定的なデータを用いて試算した結果も同時に掲載してある。本報告書の内容は、地震調査委員会が最終的に目指す長期的な地震発生可能性の評価の第一段階に当たるものであり、ここに中間報告として公表するものである。

この報告書には長期確率評価手法検討分科会委員（氏名は末尾の参考資料参照）のオリジナルな研究成果が含まれている。その成果の中には、この報告書が公表された後、委員自らの手により原著論文に仕上げられる予定のものもある。

目次

はじめに	i
第1章 長期確率評価の考え方	1
第2章 手法	4
2.1 更新過程	4
2.1.1 概要	4
2.1.2 統計モデル	4
2.1.3 確率の数値評価	6
2.2 時間予測モデルの利用	8
2.2.1 概要	8
2.2.2 確率の数値評価	9
2.3 不確定性の取り扱い	9
2.3.1 最新活動時期の不確定性	9
2.3.1.1 危険率の平均化	10
2.3.1.2 発生確率の平均化	11
2.3.2 その他の活動時期の不確定性	11
2.4 論理ツリーの適用	12
第3章 適用例	14
3.1 プレート間地震	14
3.1.1 南海トラフ沿いの巨大地震	14
3.1.1.1 更新過程を利用する場合	14
3.1.1.2 時間予測モデルを利用する場合	20
3.1.2 宮城県沖地震	21
3.2 陸域の活断層で発生する地震	23
3.2.1 更新過程を利用する事例	23
3.2.1.1 阿寺断層	23
3.2.1.2 丹那断層	25
3.2.1.3 跡津川断層	27
3.2.1.4 長野盆地西縁断層	29
3.2.2 時間予測モデルを利用する事例	30

3.2.2.1	牛伏寺断層	30
3.2.2.2	野島断層	30
3.2.3	発生間隔のばらつきの影響	31
3.2.4	最新活動時期の不確定性の影響	32
3.3	論理ツリーの適用（糸魚川－静岡構造線活断層系）	33
3.3.1	論理ツリーの構築	33
3.3.2	活動区間の設定	36
3.3.3	確率の数値評価	36
3.3.3.1	複数のセグメントの同時活動を考慮しない場合	36
3.3.3.2	複数のセグメントの同時活動を考慮する場合	36
3.3.3.3	数値評価結果のまとめ	40
第 4 章	まとめと今後の課題	41
4.1	妥当な統計モデル	41
4.2	確率の数値評価のまとめ	43
4.3	発生確率の時間変化	45
4.4	確率の誤差評価	51
4.5	長期確率評価によって得られる確率の数値の理解に向けて	54
参 考 文 献		55
付 録 A	最尤法について	58
A.1	基本的概念	58
A.1.1	最尤法	58
A.1.2	パラメータ決定の実際	58
A.2	定常更新過程の厳密な対数尤度	59
付 録 B	対数正規分布の確率一覧表	61
B.1	地震発生確率一覧表	61
B.2	地震発生確率の極大値の一覧表	68
参 考 資 料		70

目 次

1.1	長期確率評価手法の概念図	2
2.1	対数正規分布と指数分布の確率密度関数（それぞれ式(2.22)と式(2.23)に対応）のグラフの一例。 $\hat{T} = \bar{T} = 1000, \sigma = 0.5$ で図示	10
3.1	表3.1(a)の data set Iにおける地震発生間隔の累積分布と、各モデルの累積分布関数 $1 - \phi(t)$ のグラフ（文献 [10, p.59] の Fig.3より。実際は、正確に一致しないが、差はごく小さい）	16
3.2	過去に北海道において繰り返し起きた地震の大きさ（室津港での隆起量）と発生間隔との関係（文献 [15] の図より）	20
3.3	糸魚川－静岡構造線活断層帯における地震発生確率計算時の論理ツリーの例	35
3.4	8,000年間当たり事象 A が0回 ($x = 0$) の場合の地震発生の時系列ダイヤグラムの一例	38
3.5	8,000年間当たり事象 A が1回 ($x = 0.125$) の場合の地震発生の時系列ダイヤグラムの一例	38
3.6	8,000年間当たり事象 A が2回 ($x = 0.25$) の場合の地震発生の時系列ダイヤグラムの一例	38
3.7	北部セグメント ($\bar{T} = 2,000$ 年の場合) の発生確率密度分布（強度関数）の模式図	40
4.1	data set 丹那I（表3.14参照）において、 $\Delta T = 30$ 年とした場合の最新の地震からの経過時間に対する条件付き確率のグラフ	42
4.2	data set 宮城沖Ⅲ（宮城県沖地震）における、危険率 $\nu(t)$ の経過年数 t に対するグラフ	45
4.3	data set 南海I（南海地震）における、危険率 $\nu(t)$ の経過年数 t に対するグラフ	46
4.4	data set 南海IV（想定東海地震）における、危険率 $\nu(t)$ の経過年数 t に対するグラフ	46
4.5	data set 阿寺I（現在の阿寺断層）における、危険率 $\nu(t)$ の経過年数 t に対するグラフ	47
4.6	data set 阿寺I'（最新の地震発生直前の阿寺断層）における、危険率 $\nu(t)$ の経過年数 t に対するグラフ	47
4.7	data set 丹那I（現在の丹那断層）における、危険率 $\nu(t)$ の経過年数 t に対するグラフ	48
4.8	data set 丹那I'（最新の地震発生直前の丹那断層）における、危険率 $\nu(t)$ の経過年数 t に対するグラフ	48

4.9 data set 跡津川 I' (最新の地震発生直前の跡津川断層) における, 危険率 $\nu(t)$ の経過年数 t に対するグラフ	49
4.10 data set 長野 I' (最新の地震発生直前の長野盆地西縁断層) における, 危険率 $\nu(t)$ の経過年数 t に対するグラフ	49
4.11 対数正規分布の確率誤差の例	52
4.12 ガンマ分布の確率誤差の例	52
4.13 Weibull 分布の確率誤差の例	53
4.14 二重指数分布の確率誤差の例	53
B.1 今後 30 年以内の地震発生確率のグラフ ($\sigma = 0.23$ の場合)。図中のグラフは、平均活動間隔 30 年と 100 年の間は 10 年間隔で、100 年と 1,000 年の間は 100 年間隔で描いてある。1,000 年以上についても同様。グラフは平均活動間隔の 3 倍の時間までで打ち切っているが、この時点での集積確率は 99% を越えて、ほとんど 100% になっている。	67
B.2 今後 100 年以内の地震発生確率のグラフ ($\sigma = 0.23$ の場合)。図中のグラフは、100 年と 1,000 年の間は 100 年間隔で、1,000 年と 10,000 年の間は 1,000 年間隔で描いてある。10,000 年以上についても同様。グラフは平均活動間隔の 3 倍の時間までで打ち切っているが、この時点での集積確率は 99% を越えて、ほとんど 100% になっている。	67

表 目 次

2.1	本報告で扱うモデルの危険率・信頼度関数・分布の平均	7
3.1	歴史に記録されている南海地域の巨大地震の発生年月日（西暦）及び発生間隔	15
3.1(a)	data set I（文献 [10] の Table 1 のうち、1498 年の地震発生年月日を 9 月 20 日から 7 月 9 日に変更したもの）	
3.1(b)	data set II（data set I のうち 1361 年以降のもの）	
3.1(c)	data set III（data set I のうち 1099 年以降のものに 13 世紀の地震を加えたもの）	
3.1(d)	data set IV（想定「東海地震」の発生確率を計算するために再構築したもの。684 年と 887 年は仮定）	
3.1(e)	data set V（data set I のうち 1605 年以降のもの）	
3.2	data set I～V について最尤法によって求めた各モデルのパラメータと AIC の値、及び Poisson 過程（指数分布）の AIC の値。bold 体は 4 モデル中の最小の AIC を示す	17
3.3	各分布毎の、各 data set の 1999 年時点での今後 30 年、50 年及び 100 年の地震発生確率	18
3.4	data set IV～III' について最尤法によって求めた各モデルのパラメータと AIC の値、及び Poisson 過程（指数分布）の AIC の値。bold 体は 4 モデル中の最小の AIC を示す	19
3.5	各分布毎の、1946 年時点の今後 30 年、50 年及び 100 年の地震発生確率	19
3.6	南海トラフにおける、発生間隔の分布関数として対数正規分布及び指数分布を用いたときの今後 30 年、50 年、100 年の地震発生確率	21
3.7	歴史に記録されている宮城県沖の大地震の発生年月日（西暦）及び発生間隔（data set I 及び II は文献 [10] による）	21
3.7(a)	data set I（文献 [10] の Table 4 による）	
3.7(b)	data set II（data set I から存在の疑わしい 1770 年の地震を除いたもの）	
3.7(c)	data set III（data set I から存在の疑わしい 1770 年の地震、及び沖合いの大地震で、この系列に含まれるかどうか疑問のある 1793 年の地震を除いたもの）	
3.8	最尤法によって求めた各モデルのパラメータと AIC の値、及び Poisson 過程（指数分布）の AIC の値。bold 体は 4 モデル中の最小の AIC を示す	22
3.9	各分布毎の、各 data set の 1999 年時点での今後 5 年、10 年、20 年及び 30 年の地震発生確率	22
3.10	阿寺断層の地震の発生年と発生間隔。発生間隔の算出には発生年の中央値を採用。以後 data set 阿寺 I とし、最古の地震を除いたものを data set 阿寺 II とする。更に最新の地震を除いたものをそれぞれ data set 阿寺 I'、data set 阿寺 II' とする	23
3.11	data set I～II' について最尤法によって求めた各モデルのパラメータと AIC の値、及び Poisson 過程（指数分布）の AIC の値。bold 体は 4 モデル中の最小の AIC を示す	24

3.12 各分布毎の、阿寺断層を震源域とする、今後30年、50年及び100年の地震発生確率	24
3.13 丹那断層の地震の発生年と発生間隔。文献 [29, p.821] の Table 5のうち、case(2) (暦年補正を行ったもの) の Grade Aのみを抜粋し、その中央値又は推定された値を使用。以後これを data set 丹那Iとし、1930年の北伊豆地震を除いたものを data set 丹那I'とする。なお、表中B.P.は before AD1950の意	25
3.13(a) 丹那断層の data set I	
3.13(b) 丹那断層の data set I'	
3.14 data set I及び data set I'について最尤法によって求めた各モデルのパラメータと AICの値、及びPoisson過程(指数分布)のAICの値。bold体は4モデル中の最小のAICを示す	25
3.15 各分布毎の、丹那断層を震源域とする、今後30年、50年及び100年の地震発生確率	26
3.16 跡津川断層の地震の発生年と発生間隔。発生間隔の算出には発生年の中央値を採用。以後 data set 跡津川Iとし、最新の地震を除いたものを data set 跡津川I'とする	27
3.17 跡津川断層の data set について、最尤法によって求めた各モデルのパラメータと AICの値、及びPoisson過程(指数分布)のAICの値。bold体は4モデル中の最小のAICを示す	27
3.18 各分布毎の、跡津川断層を震源域とする、1858年時点の今後30年、50年及び100年の地震発生確率	28
3.19 各分布毎の、跡津川断層を震源域とする、1858年時点の今後30年、50年及び100年の地震発生確率(2.3.1.1の方法を適用)	28
3.20 長野盆地西縁断層の地震の発生年と発生間隔。発生間隔の算出には発生年の中央値を採用。以後 data set 長野盆地西縁Iとし、最新の地震を除いたものを data set 長野盆地西縁I'とする	29
3.21 長野盆地西縁断層の data set について、最尤法によって求めた各モデルのパラメータと AICの値、及びPoisson過程(指数分布)のAICの値。bold体は4モデル中の最小のAICを示す	29
3.22 各分布毎の、長野盆地西縁断層を震源域とする、1847年時点の今後30年、50年及び100年の地震発生確率	30
3.23 牛伏寺断層及び野島断層における、活動間隔の分布関数として対数正規分布及び指数分布を用いたときの今後30年、50年、100年及び200年の地震発生確率。牛伏寺断層については前回の地震から1,200年が経過しているものとして計算。数値の幅は活動間隔の設定の違いによる	31
3.24 計算に用いた、各断層の U_{last} , V 及び $T_{t.p.}$ の表。大沢断層の V は不明のため、茅野断層板室地点の値を引用	32
3.25 時間予測モデルに従うことを考慮し、分布をより集中させた場合の、各断層の今後30年、50年及び100年の地震発生確率。数値の幅は活動間隔の設定の違いによる	32
3.26 表3.23の牛伏寺断層部分の再掲と、文献 [18] での議論を適用したときの比較。数値の幅は活動間隔の設定の違いによる	33

3.27	各パラメータ毎の、今後100年以内の地震発生確率一覧表（対数正規分布、 $\sigma = 0.3$ の場合。 \hat{T} は（相乗）平均活動間隔、 T は最新の地震からの経過年数）	37
3.28	各事象別の、論理ツリーの各 case 毎の地震発生確率の表	40
4.1	南海トラフ等プレート間地震と陸域の活断層における、今後30年以内の地震発生確率（データは暫定、モデルは対数正規分布、確率の単位はいずれも%）	44
4.2	断層の活動を注意喚起するための指標（データは暫定）	50
B.1	今後30年以内の地震発生確率一覧表（ $\sigma = 0.1$ の場合、単位 %）	62
B.2	今後50年以内の地震発生確率一覧表（ $\sigma = 0.1$ の場合、単位 %）	62
B.3	今後100年以内の地震発生確率一覧表（ $\sigma = 0.1$ の場合、単位 %）	62
B.4	今後30年以内の地震発生確率一覧表（ $\sigma = 0.2$ の場合、単位 %）	63
B.5	今後50年以内の地震発生確率一覧表（ $\sigma = 0.2$ の場合、単位 %）	63
B.6	今後100年以内の地震発生確率一覧表（ $\sigma = 0.2$ の場合、単位 %）	63
B.7	今後30年以内の地震発生確率一覧表（ $\sigma = 0.23$ の場合、単位 %）	64
B.8	今後50年以内の地震発生確率一覧表（ $\sigma = 0.23$ の場合、単位 %）	64
B.9	今後100年以内の地震発生確率一覧表（ $\sigma = 0.23$ の場合、単位 %）	64
B.10	今後30年以内の地震発生確率一覧表（ $\sigma = 0.3$ の場合、単位 %）	65
B.11	今後50年以内の地震発生確率一覧表（ $\sigma = 0.3$ の場合、単位 %）	65
B.12	今後100年以内の地震発生確率一覧表（ $\sigma = 0.3$ の場合、単位 %）	65
B.13	今後30年以内の地震発生確率一覧表（ $\sigma = 0.4$ の場合、単位 %）	66
B.14	今後50年以内の地震発生確率一覧表（ $\sigma = 0.4$ の場合、単位 %）	66
B.15	今後100年以内の地震発生確率一覧表（ $\sigma = 0.4$ の場合、単位 %）	66
B.16	今後30年以内の地震発生確率の極大値（上段）及びそのときの経過年数（下段）	69
B.17	今後50年以内の地震発生確率の極大値（上段）及びそのときの経過年数（下段）	69
B.18	今後100年以内の地震発生確率の極大値（上段）及びそのときの経過年数（下段）	69

第 1 章

長期確率評価の考え方

本報告書では、ある断層（帯）に着目して、その断層の活動間隔・平均ずれ速度*・最新活動時期・活動区間（セグメント）等のパラメータを用いて、確率という数値で地震発生の可能性を評価する手法を提案するとともに、実際の断層（海溝沿いのプレート境界・陸域の活断層）で起こっている地震に適用した計算例を示す。現実には、各々の断層で各種パラメータが完全に分かっている場合はむしろ少ないので、パラメータの知られている度合いや考えられる地震の発生様式によって、様々な確率計算手法を使い分けることになる。

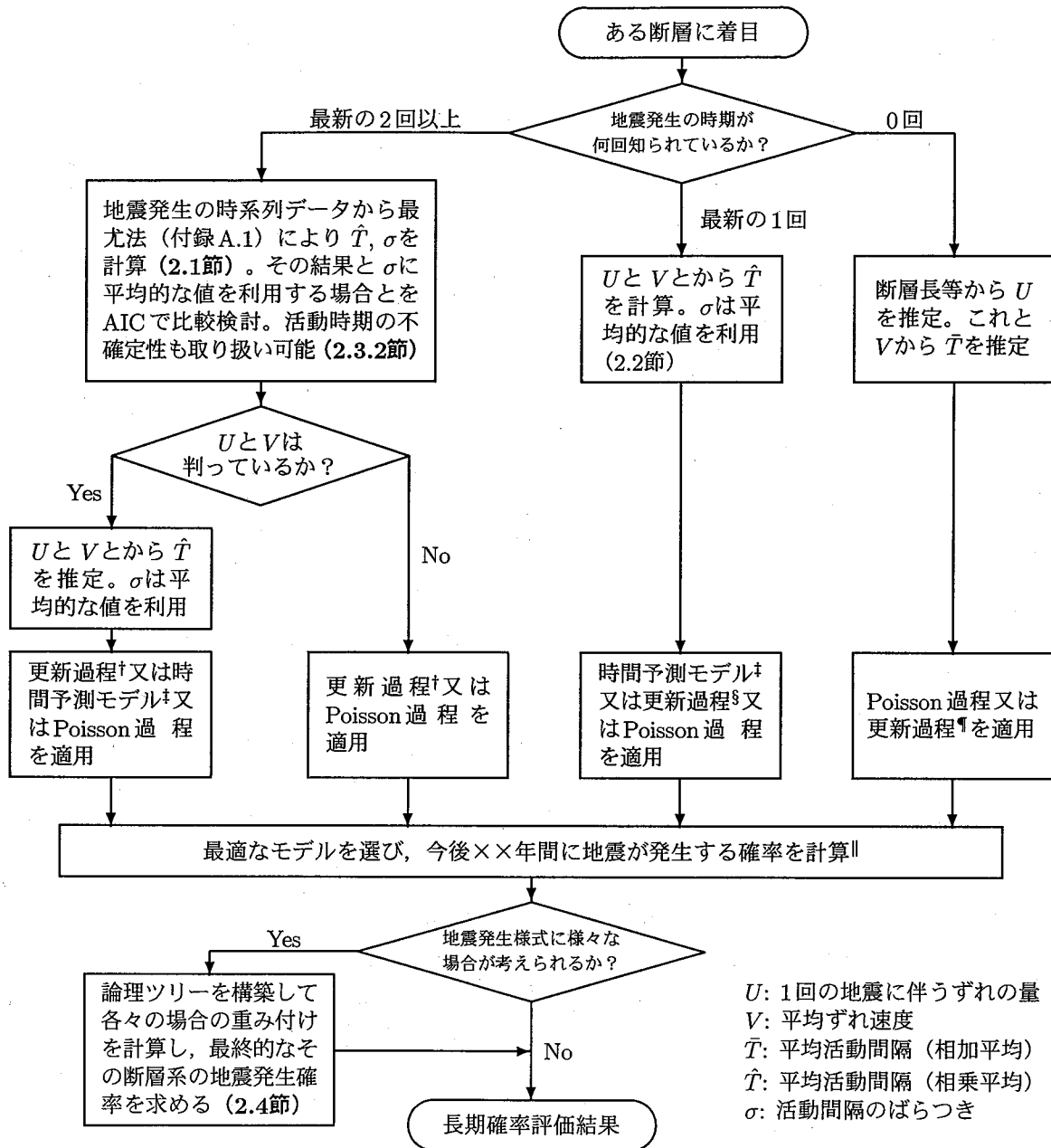
このような確率評価を試みた例として、米国においては既にカリフォルニア州の活断層に関する地震発生について確率予測がなされ、危険度マップが作成されている [2-4]。日本でも、プレート境界型地震を確率評価した研究は以前から行われており [5,6]、また最近では陸域の活断層についても、例えば桑名断層の確率評価といった個別の事例研究 [7]にとどまらず、更に日本全土の活断層に関する危険度評価図の作成も行われている [8]。しかし、これらの研究では更新過程の計算に用いられた（確率）モデルの妥当性の検討は十分ではなかった。本報告書では、地震発生確率を計算する際に必要な様々なモデルを日本及び近海の同一地域で繰り返し多数回発生した地震のデータから検討し、更に更新過程の各モデルの良否まで議論したところに特徴がある。

ある断層に着目した時の長期確率評価の流れを図 1.1 に示す。この図では更新過程や時間予測モデルの利用についての次のような考え方が基本になっている。

地震発生時期が数多く知られている断層の場合は、純粹な統計モデルのみを用い、地震発生の時系列データを更新過程（2.1節）を用いて確率で評価することができる。この場合、地震発生間隔の分布モデルには対数正規分布等を用いる。そのパラメータ（平均発生間隔及びそのばらつき）は最尤法（付録 A.1）を用いて、データに最もよく合うものを選ぶことができる。なお、陸域の活断層の場合、分布モデルのばらつきのパラメータは、個々の断層に個々の値を適用するよりも、一括して一つの平均的な値を適用するのがより適切であるという予備的な結果を得ている（4.1節）。また、地震発生時期に不確実性がある場合は、それも考慮に入れてパラメータの最尤値を求めることができる（2.3.2節）。

地震発生時期が最新の 2 回しか知られていない場合を更新過程で取り扱うときは、物理モデル（固有地震説に基づくモデル）も考慮し、それらの地震の間隔を平均発生間隔とし、ばらつきは上述の平均的な値を仮定して用いることができる。最新の 1 回の地震活動時期しか知られていない

*地質学的な時間スケールにおけるずれの速度。地震時にずれが生じる時の速度（破壊速度）ではない。この報告書で、用語全般については文献 [1] を参照。



† 地震発生の時系列データに更新過程を適用 (2.1節)。その時系列の σ は、他と異なることが明らかな場合を除き、平均的な値を使用する。

‡ 時間予測モデルを適用して \bar{T} を計算。 σ は仮定 (2.2節)。

§ 他の資料から平均活動間隔を推定し、更新過程を適用できる場合もある。

¶ 歴史時代に活動していないことが確実な場合には、その情報を入れて取り扱う (2.3.1節の応用)。

II 最新活動時期に不確実性がある場合の取り扱いも可能 (2.3.1節)。

図 1.1 長期確率評価手法の概念図

断層に更新過程を適用するためには、さまざまな資料を利用して平均活動間隔を求める必要がある。この場合、ばらつきは平均的な値を仮定する。

最新の地震発生時期とそれに伴うずれの量、及び長期的な平均ずれ速度が知られている場合は、物理モデルである時間予測モデル（2.2節）を利用して次の地震までの期待される経過時間が求められる。この際、地震の発生間隔は対数正規分布に従うというモデルを利用する。なお、時間予測モデルの場合、長期的な平均ずれ速度は、地質学的なデータだけでなく、複数回の地震に伴うずれの量から求めることもできる。

地震発生時期が全く知られていない場合には、物理モデルを考慮し、何らかの方法（平均ずれ速度等を用いる）で平均的な地震発生間隔を推定し、地震の発生確率は時間的に不変と仮定したPoisson過程を用いざるをえない。ただし、歴史時代に活動していないことが確実な場合は、何らかの方法で求めた平均的な地震発生間隔を用いて、活動していない期間の情報を取り込んで、更新過程で取り扱うことができる。

以上で用いる確率密度関数が決定されると、次に最新の地震からの経過時間を考慮して、条件付き確率によって、現在から今後××年間に地震が発生する確率という形で計算を実行する。その際、最新の地震発生時が確定せず、幅をもって推定されている場合は、別途確率の算出方法が提案されている（2.3.1節参照）。

最後に、同一の断層（帯）で活動区間が様々考えられる場合がある。その場合は、論理ツリーを構築して各々の場合の重み付けを考慮して確率的に評価することができる（2.4節参照）。

第 2 章

手法

2.1 更新過程

2.1.1 概要

ある場所の気温やある銘柄の株価、あるいは電子部品が発生する電氣的ノイズなどのように、時間とともに変動する量がある。これらを取り扱おうとする場合、それらの変動の物理学的あるいは社会学的なメカニズムの解明が不十分で、将来を正確に予測できない段階においては、統計的な処理が有効な場合がある。この場合、結論は確率的な表現で述べることになる。地震発生という現象についても同様なことが言える。ここでは、既に発生した地震の時系列データを処理するに当たって、確率過程 (stochastic process) をとりあげる。これにより、将来の地震発生時期を確率的な表現で述べるようになる。前述の気温や株価の例は、注目している量が時間的にたえず変動するものであったが、ある地域に起こった一定の大きさ以上の地震の時間的分布を議論するときには、各地震を時間軸上の 1 点に落とし、いわゆる点過程 (point process) として扱うことができる。

いま、地震が起きる時刻を t_0, t_1, t_2, \dots で表す。このとき、地震の発生間隔 $T_1 = t_1 - t_0, T_2 = t_2 - t_1, \dots$ が互いに独立で、同一の分布をするような確率過程を更新過程 (renewal process) という。更新過程のうち、特に発生間隔が同一の指数分布に従う場合を Poisson 過程という。

2.1.2 統計モデル

更新過程として扱う地震発生間隔の分布モデルとして、以下の 4 つの確率密度関数で表されるものを検討した。

$$\text{対数正規分布 } f(t; m, \sigma) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma t}} \exp\left\{-\frac{(\ln t - m)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad (2.1)$$

$$\text{ガンマ分布 } f(t; c, r) = \frac{c^r t^{r-1} e^{-ct}}{\Gamma(r)} \quad (2.2)$$

$$\text{Weibull 分布 } f(t; \alpha, \beta) = \alpha\beta t^{\beta-1} \exp(-\alpha t^\beta) \quad (2.3)$$

$$\text{二重指数分布 } f(t; a, b) = a \exp\left\{\frac{a}{b}(1 - e^{bt}) + bt\right\} \quad (2.4)$$

以下、それぞれの分布について簡単に説明する。

対数正規分布 平均 m , 分散 σ^2 の正規分布に従う確率変数 x に対し, $x = \ln t$ で定義される確率変数 t は密度関数 (2.1) の分布に従う。この分布を対数正規分布という。世界多数の地震系列について, この分布がよく当てはまることが示されている [9]。密度関数に出てくる σ は, 活動間隔 t が変動することによる $\ln t - m$ のばらつきと, 活動間隔の推定に伴う m の誤差を含んでいる。オーダーとしては, $\sigma \sim 10^{-1}$ とされている。

ガンマ分布 単位時間当たりの生起率が c の Poisson 過程をある時刻から観測したとき, ちょうど r 個目の事象が起こるまでの時間は, 密度関数 (2.2) の分布に従う。この分布をガンマ分布という。 r は正の実数に拡張できる。なお,

$$\Gamma(r) \equiv \int_0^{\infty} e^{-u} u^{r-1} du \quad (\text{ガンマ関数})$$

である。大地震の時系列のモデルについて取り上げられた更新過程モデルのうちの一つである [10]。

Weibull 分布 前回の破壊の後, 時間 t まで破壊が起きていないという条件のもとで, t から $t + dt$ までの間に次の破壊が起こる確率を $\nu(t)dt$ とするとき, $\nu(t)$ (信頼性理論でいうところの故障率関数, 以下, 本報告書では危険率 (hazard rate) と呼ぶ) が t の冪乗に比例する (密度関数 (2.3) の関数形に合わせれば, $\nu(t) = \alpha\beta t^{\beta-1}$) とした場合の確率分布である。この分布は信頼性理論でよく用いられるが, 地殻が破壊しない (地震が起こらない) 「信頼性」を決めるのにも使われる [11]。 $\beta > 1$ のときは摩耗故障型, $\beta < 1$ の場合は初期故障型と呼ばれる。 $\beta = 1$ については偶発故障型と呼ばれ, これは Poisson 過程に他ならない。この分布は世界各地の沈み込み帯の活動間隔 [6] に, また南米のプレート境界地震 [12] に対して適用された。

二重指数分布 前述の $\nu(t)$ について, 岩石破壊の実験結果 [13] (岩石に応力を与えた後, 岩石が破壊する確率が, 応力の指数関数で表せる) をもとに, 更に応力が t に比例すると仮定した場合, すなわち $\nu(t) = ae^{bt}$ としたときの確率分布モデルである。この分布を用いて, 千島-北海道弧のプレート間地震の活動間隔が議論されている [5]。

以上の4つのモデルには, いずれも2つのパラメータが存在するが, 有限個の地震発生時刻のデータからこのパラメータを推定して, それぞれの確率密度関数を決定するという手続きをとることになる。

以下では, 上記の4つのモデルに加えて, 最も基本的な更新過程である Poisson 過程:

$$f(t) = \frac{e^{-t/\bar{T}}}{\bar{T}} \quad (2.5)$$

についても比較のために用いた。ここで, \bar{T} は平均活動間隔 (相加平均) である。

2.1.3 確率の数値評価

例えば時間区間 $S < t \leq T$ を等分したとき、各分割区間に含まれている点の個数 $\xi_k = N((k-1)\Delta < t \leq k\Delta)$, ($k = 1, 2, \dots$) で表される時系列で、 $\{\xi_k\}$ が互いに独立であれば (非定常) Poisson 過程であるが、一般には独立ではない。

もし細分化された区間の長さ Δ が小さければ $\{\xi_k\}$ はほとんどの k では 0 で、たまに点を含む区間で 1 の値をとる時系列 (0-1 系列) と考えられる。実際には点過程データは点を含む (つまり $\xi_i = 1$ となる) 時刻 $t_i = i\Delta$ のみの系列 $\{t_i\}$ で表記される。このとき、ある時刻 t_k の分割区間が点を含むかどうかは、 $\xi_k = 1$ となる条件付き確率 $P\{\xi_k = 1 | \xi_{k-1}, \dots, \xi_1\}$ によって決まる。この条件付き確率の極限的表現として、条件付き強度関数 $\lambda(t|H_t)$ が次のように定義される。

$$P\{N(t, t + \Delta) = 1 | H_t\} = \lambda(t|H_t)\Delta + o(\Delta) \quad (2.6)$$

ここで H_t は時刻 t 以前に発生した点事象の履歴 $\{t_i; t_i < t\}$ であり、 $o(\Delta)$ は Δ に対して高位の無限小、すなわち

$$\lim_{\Delta \rightarrow 0} \frac{o(\Delta)}{\Delta} = 0$$

を満たす量を示す。すなわち、簡単に言えば、無視できる程度に小さい量のことである。強度 $\lambda(t|H_t)$ のとる値の大小につれて、微小区間 $t \leq \tau < t + \Delta$ で点事象が発生する確率が変化する。この関数は時刻 t 及びそれまでの履歴 $\{t_i; t_i < t\}$ の非負値関数である。この関数は他のデータなどの情報に依存することも考えられる。条件付き強度関数が与えられれば、これに対応する点過程が完全に決まる。例えば $\lambda(t|H_t)$ が履歴 H_t に無関係で時刻 t だけの関数である場合は非定常 Poisson 過程であり、時刻 t にも無関係な定数のときは定常 Poisson 過程である。そして、

$$\lambda(t|H_t) = \nu(t - t_{\text{last}}) \quad (2.7)$$

のように $t - t_{\text{last}}$ (t_{last} は時刻 t より前にあって最後に発生した点の時刻) だけの関数であれば、これは更新過程であることが証明できる。関数 $\nu(t)$ は 2.1.2 で述べた危険率に他ならない。

$\lambda(t|H_t)$ は予測問題に直接に関係している。すなわち現時刻を t としたとき、極めて近い将来 $t < \tau < t + \Delta$ に点事象が発生する確率は、定義式 (2.6) によって近似的に $\lambda(t|H_t)\Delta$ であり、簡単な確率計算によれば [14], x だけ先の未来まで点事象が発生しない確率は、

$$\exp\left(-\int_t^{t+x} \lambda(s|H_s) ds\right) \quad (2.8)$$

となる。別の見方をすると、 x だけ先の未来までに点事象が 1 回以上発生する確率は、

$$1 - \exp\left(-\int_t^{t+x} \lambda(s|H_s) ds\right) \quad (2.9)$$

である。

以後、我々は更新過程を用いることとする。すなわち、条件付き強度関数 λ が式 (2.7) の形をしている場合を考え、かつ時刻の原点を t_{last} と取る。このとき、式 (2.8) に関連して、

$$\phi(t) \equiv \exp\left(-\int_0^t \nu(u) du\right) \quad (2.10)$$

なる量を考える。これは、式(2.8)から類推すると、次の地震(故障)が前回の地震(故障)発生時点から t までは起こらない(逆に言えば、 t 以降に起こる)場合の確率を表している。一般にこれを信頼度関数と呼んでいる。なお、確率密度関数 $f(t)$ は、式(2.10)の微分によって

$$f(t) = \nu(t) \exp\left(-\int_0^t \nu(u) du\right) = \nu(t)\phi(t) \quad (2.11)$$

と表すことができる。

この信頼度関数を用いて、式(2.9)と同様に、前回発生年からの経過時間 T まで地震が発生していないという条件の下で、 T 以後の時間 ΔT 以内に地震が発生する確率 $P(T, \Delta T)$ は次のように求められる。

$$\begin{aligned} P(T, \Delta T) &\equiv P(T < t \leq T + \Delta T \mid T < t \leq \infty) \\ &= \frac{P(T < t \leq T + \Delta T)}{P(T < t \leq \infty)} \\ &= 1 - \frac{\phi(T + \Delta T)}{\phi(T)} \end{aligned} \quad (2.12)$$

以後の議論で、各モデルの危険率・信頼度関数・分布の平均(以下、 μ と記す)などの特性値は重要な役割を果たす。本報告で扱うモデルのこれらの特性値を表2.1にまとめておく。

表2.1 本報告で扱うモデルの危険率・信頼度関数・分布の平均

モデル	危険率 $\nu(t)$	信頼度関数 $\phi(t)$	分布の平均 μ
対数正規分布 (式(2.1)に対応)	$\frac{e^{-(\ln t - m)^2/2\sigma^2}}{\sqrt{2\pi\sigma t}} \Big/ \left\{1 - \Phi\left(\frac{\ln t - m}{\sigma}\right)\right\}^*$	$1 - \Phi\left(\frac{\ln t - m}{\sigma}\right)$	$\exp\left(m + \frac{\sigma^2}{2}\right)$
ガンマ分布 (式(2.2)に対応)	$\frac{c^r t^{r-1} e^{-ct}}{\Gamma(r, ct)}^\dagger$	$\frac{\Gamma(r, ct)}{\Gamma(r)}$	$\frac{r}{c}$
Weibull分布 (式(2.3)に対応)	$\alpha\beta t^{\beta-1}$	$\exp(-\alpha t^\beta)$	$\frac{1}{\beta\sqrt[\beta]{\alpha}} \Gamma\left(\frac{1}{\beta}\right)$
二重指数分布 (式(2.4)に対応)	ae^{bt}	$\exp\left\{\frac{a}{b}(1 - e^{bt})\right\}$	$-\frac{e^{a/b}}{b} \text{Ei}\left(-\frac{a}{b}\right)^\ddagger$
指数分布 (式(2.5)に対応)	$\frac{1}{\bar{T}}$ (定数関数)	$e^{-t/\bar{T}}$	\bar{T}

* $\Phi(z)$ については、式(2.18)参照。

† $\Gamma(k, x)$ については、式(2.19)参照。

‡ $\text{Ei}(-x) \equiv -\int_x^\infty \frac{e^{-u}}{u} du = -\lim_{k \rightarrow 0} \Gamma(k, x)$ (積分指数関数)

式(2.1)～(2.5)から、式(2.12)及び表2.1を用いることによって、最新の地震発生から地震が発生せずに T 年経過した時点で、その後の ΔT 年間に地震が発生する確率 $P(T, \Delta T)$ は、以下の式(2.13)～(2.17)のように求められる。

$$\text{対数正規分布 } P(T, \Delta T) = 1 - \frac{1 - \Phi\left(\frac{\ln(T + \Delta T) - m}{\sigma}\right)}{1 - \Phi\left(\frac{\ln T - m}{\sigma}\right)} \quad (2.13)$$

$$\text{ガンマ分布 } P(T, \Delta T) = 1 - \frac{\Gamma(r, c(T + \Delta T))}{\Gamma(r, cT)} \quad (2.14)$$

$$\text{Weibull分布 } P(T, \Delta T) = 1 - \exp\left[-\alpha\{(T + \Delta T)^\beta - T^\beta\}\right] \quad (2.15)$$

$$\text{二重指数分布 } P(T, \Delta T) = 1 - \exp\left[-\frac{a}{b}\{e^{b(T + \Delta T)} - e^{bT}\}\right] \quad (2.16)$$

$$\text{指数分布 (Poisson 過程)} \quad P(T, \Delta T) = 1 - e^{-\Delta T/T} \quad (2.17)$$

$$\text{ここで, } \Phi(z) \equiv \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-u^2/2} du \quad (\text{標準正規分布の累積分布関数}) \quad (2.18)$$

$$\Gamma(k, x) \equiv \int_x^\infty e^{-u} u^{k-1} du \quad (\text{第2種不完全ガンマ関数}) \quad (2.19)$$

式(2.18)の $\Phi(z)$ は今後確率計算の過程で頻繁に出現するが、この関数値は、正規分布表から、あるいは数値計算[§]で求めることができる。

2.2 時間予測モデルの利用

2.2.1 概要

時間予測モデルとは、地震直前の応力レベルが一定である、すなわち断層の破壊強度が時間によらず一定というモデルである。定性的には、大きな地震の後では次の地震までの間隔が長く、小さな地震の後では間隔が短いということになる。このモデルは、世界各地の、同じ震源域から発生する地震の発生間隔のデータをよく説明するとされている [15, 16]。このモデルにたった場合、最新の地震時のずれの量と長期的な断層のずれ速度とから、最新の地震から次の地震までの期待される経過時間を次のようにして求めることができる。すなわち、最新の地震時のずれの量を U_{last} とし、長期的な断層のずれ速度を V とすると、その期待される経過時間 $T_{\text{t.p.}}$ は次式で求められる。

$$T_{\text{t.p.}} = U_{\text{last}}/V \quad (2.20)$$

[§] おおむね $|z| < 2.75$ 程度までは、 $\Phi(z) = \frac{1}{2} + \frac{\text{sgn } z}{2\sqrt{\pi}} \gamma\left(\frac{1}{2}, \frac{z^2}{2}\right)$ として計算する。ここで $\text{sgn } z$ は z についての符号関数で、 $z > 0$ で 1、 $z = 0$ で 0、 $z < 0$ で -1 を与える関数である。 $|z| \geq 2.75$ においては、前述の式で $\gamma(1/2, z^2/2)$ を $\sqrt{\pi} - \Gamma(1/2, z^2/2)$ で置き換えて計算する。なお、 $\gamma(k, x) = \Gamma(k) - \Gamma(k, x)$ (第1種不完全ガンマ関数) である。

上式から、物理的な制約によって、モデルの確率密度関数に内在するパラメータのうちの一つが固定されることとなる。したがって、同一の確率密度関数を用いたとしても、地震発生時刻の系列はもはや更新過程ではなくなるが、最新の地震に関するデータだけが分かっている場合に更新過程に代わるものとして用いることができる。

データが複数知られている場合には、 V を使わずに地震予測モデルから $T_{t.p.}$ を求めることができる。例えば、最新の地震とその一つ前の地震発生時を、それぞれ T_{last} , T_{penult} とし、ずれの量をそれぞれ U_{last} , U_{penult} とすれば、

$$T_{t.p.} = (T_{last} - T_{penult})U_{last}/U_{penult} \quad (2.21)$$

と求められる。この場合には更新過程と時間予測モデルを別々に適用して、両者の結果を比較検討することも可能となる。

2.2.2 確率の数値評価

確率密度関数 $f(t)$ の関数形としては、2.1.2で述べた分布等が用いられるが、ここでは地震発生確率が T に依存する場合の例として対数正規分布を、地震発生確率が T に依存しない場合の例として指数分布を扱う。

- 対数正規分布

$$f(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma t}} \exp \left[-\frac{\{\ln(t/\hat{T})\}^2}{2\sigma^2} \right], \quad t \geq 0 \quad (2.22)$$

ただし、 \hat{T} は活動間隔の相乗平均（最尤推定値）

- 指数分布（Poisson 過程）

$$f(t) = \frac{e^{-t/\bar{T}}}{\bar{T}}, \quad t \geq 0 \quad (2.23)$$

ただし、 \bar{T} は活動間隔の相加平均（最尤推定値）

図2.1にこの2つの分布の確率密度関数のグラフを示す。

確率を上述の2つのモデルで計算するに当たって、式(2.22)に出てくる \hat{T} と式(2.23)に出てくる \bar{T} に式(2.20)の $T_{t.p.}$ をあてはめる。指数分布に関しては、 \bar{T} が t の平均を与えるが、対数正規分布に関しては、 $\ln \hat{T}$ が $\ln t$ の平均を与える*。 \hat{T} も \bar{T} もそれぞれの平均の最尤推定値になっている。その意味で、2つのモデルの \hat{T} 及び \bar{T} を同様に扱うことは厳密には正しくないが、3.1.1.2及び3.2.2においてばらつきのパラメータ σ をいろいろ変えて計算するため、平均値そのものに σ がはいつてこないような形式にする目的で、一律に \hat{T} 及び \bar{T} に $T_{t.p.}$ をあてはめることとする。

2.3 不確定性の取り扱い

2.3.1 最新活動時期の不確定性

活断層調査の結果からは、前回の地震発生時期が確定されるものはむしろ少なく、ある幅をもっていることのほうが多い。そこで、最新の地震発生時刻がある分布に従っているとして平均化し

*ちなみに、対数正規分布(2.22)の t についての平均は、 $\hat{T} \exp(\sigma^2/2)$ であり、 \hat{T} より若干大きい。

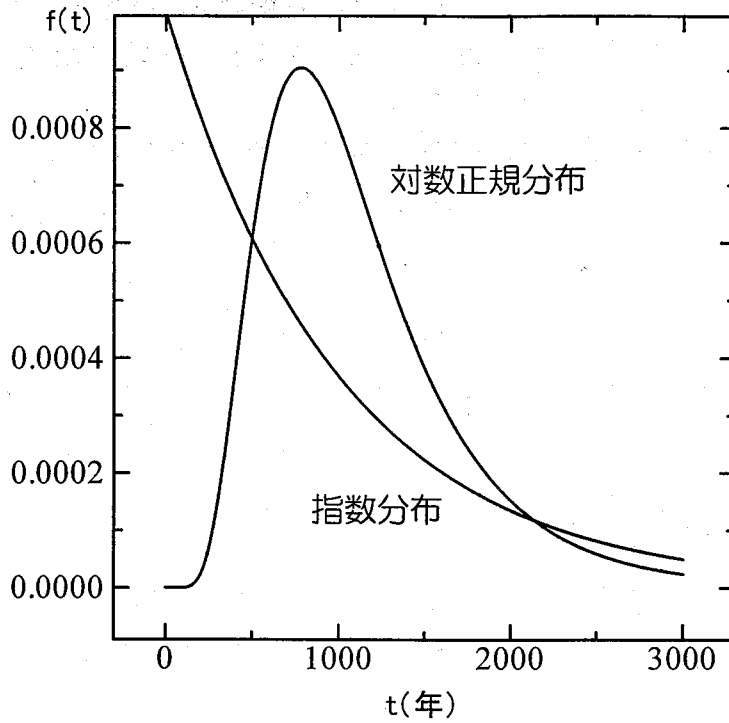


図 2.1 対数正規分布と指数分布の確率密度関数（それぞれ式 (2.22) と式 (2.23) に対応）のグラフの一例。\$\hat{T} = \bar{T} = 1000, \sigma = 0.5\$ で図示

てしまう方法が考えられるが、ここでは危険率を平均化して発生確率を求める場合 [17] と、発生確率そのものを平均化する場合 [18] について考える。

2.3.1.1 危険率の平均化

$\psi(\tau)$ を最新の地震発生時刻に関する不確定性の確率密度関数、 $\nu(t)$ を 2.1.2 で述べた危険率とすれば、時刻 $t > 0$ での発生危険度は、

$$\lambda(t|H_t) = \int_{-\infty}^0 \nu(t-\tau)\psi(\tau)d\tau = - \int_{-\infty}^0 \frac{\phi'(t-\tau)}{\phi(t-\tau)} \psi(\tau)d\tau \quad (2.24)$$

である。 t_g を前回の地震からの経過時間の上限值、 t_h をその下限値（例えば歴史上地震が発生していないことが確実な期間）とすると、例えば $\psi(\tau)$ として一様分布： $\psi(\tau) = 1_{[-t_g, -t_h]}(\tau)/(t_g - t_h)$ をとれば、式 (2.24) は

$$\lambda(t|H_t) = - \frac{1}{t_g - t_h} \int_{-t_g}^{-t_h} \frac{\phi'(t-\tau)}{\phi(t-\tau)} d\tau = \frac{\ln \phi(t+t_g) - \ln \phi(t+t_h)}{t_g - t_h} \quad (2.25)$$

となり式 (2.9) によって、現在（時刻 0）まで地震がないとき、その後の時間 ΔT までに地震が発生する確率は、

$$P(\Delta T) = 1 - \exp\left(- \int_0^{\Delta T} \lambda(t|H_t) dt\right) = 1 - \exp\left(\frac{1}{t_g - t_h} \int_0^{\Delta T} \ln \frac{\phi(t+t_g)}{\phi(t+t_h)} dt\right) \quad (2.26)$$

となる。

2.3.1.2 発生確率の平均化

この場合、現在から ΔT 年までに地震が発生する確率 $P(\Delta T)$ は、式(2.12)の $P(T, \Delta T)$ を前回の地震の発生時刻に関する不確定性の確率密度関数で平均化して求められる。すなわち、

$$P(\Delta T) = \int_{-\infty}^0 P(\tau, \Delta T) \psi(\tau) d\tau = 1 - \int_{-\infty}^0 \frac{\phi(\tau + \Delta T)}{\phi(\tau)} \psi(\tau) d\tau \quad (2.27)$$

前例と同様に $\psi(\tau)$ として一様分布： $\psi(\tau) = 1_{[-t_g, -t_h]}(\tau)/(t_g - t_h)$ をとれば、式(2.27)は

$$P(\Delta T) = 1 - \frac{1}{t_g - t_h} \int_{t_h}^{t_g} \frac{\phi(\tau + \Delta T)}{\phi(\tau)} \psi(\tau) d\tau \quad (2.28)$$

と書き表すことができる。

奥村ら [18] は、 $\psi(\tau)$ として

$$\psi(\tau) = \phi(\tau) 1_{[-t_g, -t_h]}(\tau) / \int_{t_h}^{t_g} \phi(\tau) d\tau \quad (2.29)$$

をとった。このとき $P(\Delta T)$ は、

$$\begin{aligned} P(\Delta T) &= 1 - \int_{t_h}^{t_g} \phi(\tau + \Delta T) d\tau / \int_{t_h}^{t_g} \phi(\tau) d\tau \\ &= 1 - \int_{t_h + \Delta T}^{t_g + \Delta T} \phi(\tau) d\tau / \int_{t_h}^{t_g} \phi(\tau) d\tau \end{aligned} \quad (2.30)$$

と表され、考えているモデルの信頼度関数の不定積分が求められれば式(2.30)は容易に計算できる。上限値 t_g が不明のときは、 $t_g = \infty$ にせざるを得ないが、 t_g がある値（例えば t の平均値あるいは中央値 + 分布の標準偏差の7倍）を越えていないと仮定して、式(2.30)の考え方を適用できるとしている [18]。

2.3.2 その他の活動時期の不確定性

最新の地震のみならず、一般に観測事象列データ $\{t_i\}$ が不確定性を持っている場合には、以下のような取り扱いが可能である [17]。

観測事象列データ $\{t_i\}$ がそれぞれ密度関数 $\psi_i(t)$ に従うとき、不確定データをパラメータとして、これをいわゆる事前分布と考える。確定した時刻については $\psi_i(s) = \delta_{t_i}(s)$ (Diracのデルタ関数) を考えればよい。尤度 $L_{[S,T]}(\theta; t_1, t_2, \dots, t_n)$ (付録A.2参照) と合わせた事後分布(確率分布)

$$\varphi(t_1, \dots, t_n | \theta) = \frac{L_{[S,T]}(\theta; t_1, t_2, \dots, t_n) \prod_{i=1}^n \psi_i(t_i)}{\mathcal{L}_{[S,T]}(\theta)} \quad (2.31)$$

が不確定なデータ $\{t_i\}$ の位置の確からしさを示す同時分布を与える。ここで、分母は分子の $\{t_i\}$ に関する積分(規格化因子)

$$\mathcal{L}_{[S,T]}(\theta) = \int_S^T \cdots \int_S^T L_{[S,T]}(\theta; t_1, t_2, \dots, t_n) \prod_{i=1}^n \psi_i(t_i) dt_1 \cdots dt_n \quad (2.32)$$

であるが、これは点過程モデルのパラメータ θ に関する尤度と考えられ、Bayes モデルの尤度（又は積分尤度）と呼ばれている。これを最大化することによってパラメータ θ の最尤推定値を求める。更新過程モデルの場合、その対数尤度関数は次のように書ける。

$$\begin{aligned} \ln \mathcal{L}_{[S,T]}(\theta) = & -\ln \mu_\theta \\ & + \ln \int_S^T \cdots \int_S^T \phi_\theta(t_1 - S) \left\{ \prod_{i=2}^n f_\theta(t_i - t_{i-1}) \right\} \phi_\theta(T - t_n) \prod_{i=1}^n \psi_n(t_i) dt_1 \cdots dt_n \end{aligned} \quad (2.33)$$

積分は密度関数 $\psi(t)$ の台 (support) * を等分に離散化して逐次的に数値積分を実行する（台が $\{0\}$ ならば Dirac のデルタ関数）。すなわち

$$G_1(t_1) = \phi_\theta(t_1 - S); \quad (2.34a)$$

$$G_i(t_i) = \int_S^T f_\theta(t_i - t_{i-1}) \psi_{i-1}(t_{i-1}) G_{i-1}(t_{i-1}) dt_{i-1}, \text{ for } i = 2, \dots, n; \quad (2.34b)$$

$$G = \int_S^T \phi_\theta(T - t_n) \psi_n(t_n) G_n(t_n) dt_n \quad (2.34c)$$

ただし、 $t_{i-1} \geq t_i$ ならば $f_\theta(t_i - t_{i-1}) = 0$ であることに注意する。このようにして、もしすべてのデータ t_1, t_2, \dots, t_n が確定していれば、式 (2.33) が付録 A.2 の式 (A.6) で記述される通常対数尤度に帰着することが分かる。

以上の推定方式は信頼性のあるデータとそうでないデータを同等に扱わないで、それぞれの不確定性に見合ってモデルのパラメータ θ を推定できるので有利である。不確定時刻のそれぞれの推定周辺密度関数は、その他の時刻に関して事後分布を積分して得ることができる。

2.4 論理ツリーの適用

確率を計算する際に、一つの事象に対して様々な描像が考えられる場合の策として、論理ツリーを構築して、その分岐毎に確率に「重み」をつける方法がある。

論理ツリーを適用するケースとしては、着目している断層帯がそれぞれ活動間隔の異なる断層 (セグメント) に分かれています。地震を起こす起震断層としての各セグメントの組み合わせがいろいろ有り得る場合や、地震発生時期の特定が非常に困難な場合等が考えられる。

カリフォルニアにおける評価 [4] においては、同地域の複数の起震断層に対して、「カスケードモデル」というモデルが提唱されている。これは、個々のセグメント毎にあらかじめ今後何年かの地震発生確率を求めておき、確率の値が重複する分だけ同時に地震を起こすとするものであるが、このモデルは個々の断層の発生確率に非常に依存しており、複数の断層のうち一つでも確率が低いものがあれば、それがすべての組み合わせについて同時に動く確率を低くしてしまうことになる。

後の 3.3.3.2 では、このカスケードモデルとは異なる手法 [19] を提案する。その手法では、一つのセグメントの活動に対し、他のセグメントが一定の確率で同時に活動することを仮定している。

* 関数 f の台とは、 $\{t : f(t) \neq 0\}$ という集合の閉包のことである。

すなわち、誘発的な活動が考慮されているが、カスケードモデルではそのような効果は考慮されていない。その意味で3.3.3.2に提案するモデルはカスケードモデルとは対極に位置するモデルである。実際の場合の適用については、両者の兼ね合いを考慮すべきであろう。

第 3 章

適用例

3.1 プレート間地震

南海トラフにおける海溝型地震と宮城県沖地震 [10] を例にとり、対数正規分布・ガンマ分布・Weibull 分布・二重指数分布の 4 つの更新過程を用い、最尤法により各分布のパラメータの最尤値を求めた後、今後 30 年、50 年及び 100 年以内の地震発生確率を求めた。また各モデルのパラメータの最尤値を求めるに当たって、Poisson 過程を含めて、いずれのモデルがデータによく合うかを調べた [20]。南海トラフ沿いの地震については、発生時刻のデータ数を少なくした場合や、時間予測モデルによる評価も試みた。なお、ここで用いたデータは暫定的なものである。今後、研究に進展が見られた場合には、その成果を取り入れて再計算する必要がある。

3.1.1 南海トラフ沿いの巨大地震

3.1.1.1 更新過程を利用する場合

駿河湾内から四国沖にかけてのプレート境界において、 $M8$ 級の巨大地震が 100~200 年間隔で繰り返し発生している。歴史記録によるこの地域の地震発生年月日及びそれから得られる発生間隔の data set を表 3.1 に複数示す。この表の data set I は、文献 [10, p.58] で提示されている data set をもとにし、1498 年の地震発生月日（9 月 20 日; グレゴリオ暦を用いる。以下、同様）を 7 月 9 日に変更したものである。これは、最近の研究 [21] で、中国の上海付近に津波が伝わったことを根拠として、この年の 7 月 9 日に南海地震が発生したと主張されていることに基づく。更に data set II~data set V として、表 3.1(b)~3.1(e) のように再構築したものを加えた。data set II は data set I から、1361 年以降の地震を抽出したものである。data set III (表 3.1(c)) は data set I から 684 年と 887 年の地震を除き、考古学調査の結果 [22] に基づき、1099 年の地震と 1361 年の地震の間に一つ地震を加えたもので、比較的発生間隔のばらつきが小さい例である。付け加える地震の日時は特定されていないが、地震発生間隔の計算のために、仮に 1233 年 3 月 24 日とした。この日はかつて、その地震の発生日とされたことがあるが、現在では否定的な見解が多い。data set IV (表 3.1(d)) は想定「東海地震」の発生確率を、最も単純な仮定に基づいて試算するためのものである。対象とする震源域を紀伊半島の東側から駿河湾にかけてのプレート境界に限ることとし、data set I に示した地震発生年月日を、この震源域にふさわしい日付ものに変更し、かつ恣意的に 1944 年の東南海地震を含めていない。ただし、684 年と 887 年の地震の発生日は仮のものである。これ

らの年には南海地域を震源域とする巨大地震が発生したことが知られている。また、ほぼ同時期に東南海地域でも巨大地震が発生したことを示す考古学的な資料があるが、その発生日までの特定は困難である。このようなことから、data set IVでは同じ日に発生したと仮定した。data set V (表3.1(e))は、データが少ししか分かっていない場合との違いを比較する目的で、信頼度の高い最近の少数のデータのみをセットとして加えた。なお、data set I～data set IVでは、1582年の改暦以前の日付についても、現行のグレゴリオ暦に換算した暦を用いて表記した。

表3.1 歴史に記録されている南海地域の巨大地震の発生日月日（西暦）及び発生間隔

684年	11月	29日	202.7年
887年	8月	26日	211.5年
1099年	2月	22日	262.4年
1361年	8月	3日	136.9年
1498年	7月	9日	106.6年
1605年	2月	3日	102.7年
1707年	10月	28日	147.2年
1854年	12月	24日	92.0年
1946年	12月	21日	

(a) data set I (文献 [10] の Table 1 のうち、1498年の地震発生日月日を9月20日から7月9日に変更したもの)

1361年	8月	3日	136.9年
1498年	7月	9日	106.6年
1605年	2月	3日	102.7年
1707年	10月	28日	147.2年
1854年	12月	24日	92.0年
1946年	12月	21日	

(b) data set II (data set Iのうち1361年以降のもの)

1099年	2月	22日	(134.1年)
12xx年	x月	xx日	(128.4年)
1361年	8月	3日	136.9年
1498年	7月	9日	106.6年
1605年	2月	3日	102.7年
1707年	10月	28日	147.2年
1854年	12月	24日	92.0年
1946年	12月	21日	

(c) data set III (data set Iのうち1099年以降のものに13世紀の地震を加えたもの)

684年	11月	29日	202.7年
887年	8月	26日	209.3年
1096年	12月	17日	264.6年
1361年	8月	3日	137.1年
1498年	9月	20日	106.4年
1605年	2月	3日	102.7年
1707年	10月	28日	147.2年
1854年	12月	23日	

(d) data set IV (想定「東海地震」の発生確率を計算するために再構築したもの。684年と887年は仮定)

1605年	2月	3日	102.7年
1707年	10月	28日	147.2年
1854年	12月	24日	92.0年
1946年	12月	21日	

(e) data set V (data set Iのうち1605年以降のもの)

以上の data set から、式(2.1)~(2.4)で表される4つの確率密度関数について、最尤法により (m, σ) , (c, r) , (α, β) , (a, b) の各パラメータの最尤値を求めた*。その結果を表3.2に示す。表には、各モデルの AIC [23, 24] (赤池情報量基準 (Akaike Information Criterion) の略。AIC $\equiv -2 \times$ (モデルの最大対数尤度) $+ 2 \times$ (モデルの自由パラメータ数) と定義され、その値が小さいほど、データを良く説明する) が示してあり、各 data set 毎に4つのモデルのうち最小の AIC を与える数値を表中 bold 体で示した。また表3.2には式(2.5)で表される Poisson 過程を用いたときの AIC も示してある。表3.2から、各モデルの AIC の差は大きくても2程度と、大差はない。実際、図3.1の累積分布関数のグラフを見ても、4つのモデルの間には、地震発生直後や発生間隔の平均値付近、また平均値を過ぎたあたりの関数値にそれぞれの特徴が認められるものの、大差がないことが分かる。その一方で、Poisson 過程 (指数分布) の AIC は、各 data set での AIC の最小値と5~18の差がある。これは、明らかに有意に差があると言える。つまり、南海地域の巨大地震の発生間隔は Poisson 過程で説明するのは無理があると言える。

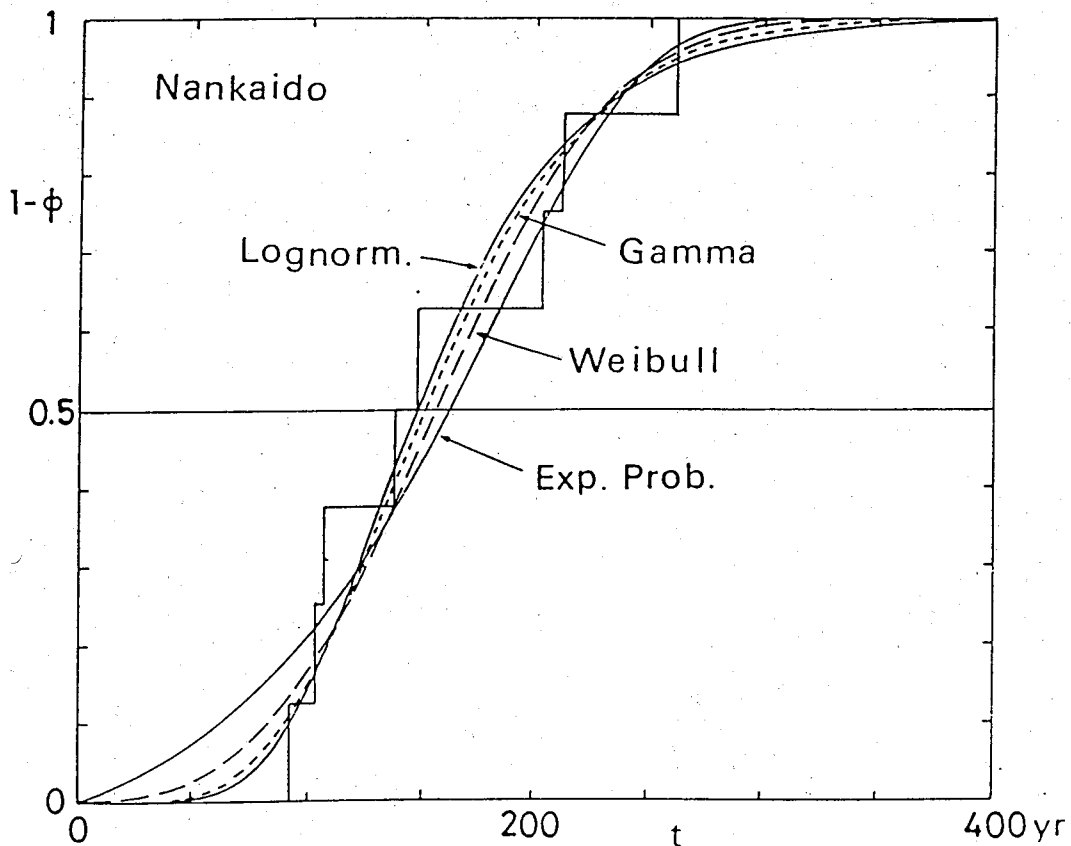


図3.1 表3.1(a)の data set Iにおける地震発生間隔の累積分布と、各モデルの累積分布関数 $1-\phi(t)$ のグラフ (文献 [10, p.59] の Fig.3より。実際は、正確に一致しないが、差はごく小さい)

*最尤法については、付録A.1を、パラメータ決定の実際については、付録A.1.2を参照。

表 3.2 data set I~V について最尤法によって求めた各モデルのパラメータと AIC の値、及び Poisson 過程 (指数分布) の AIC の値。bold 体は 4 モデル中の最小の AIC を示す

data set		南海 I	南海 II
対数正規分布	m	4.996	4.747
	σ	0.358	0.179
	AIC	90.2	48.4
ガンマ分布	c	0.0499	0.266
	r	7.88	31.2
	AIC	90.5	48.5
Weibull 分布	α	1.92×10^{-7}	1.51×10^{-13}
	β	2.99	6.10
	AIC	91.1	48.9
二重指数分布	a	9.88×10^{-4}	8.28×10^{-5}
	b	0.0152	0.0501
	AIC	92.5	49.3
Poisson	AIC	99.0	59.6
標本平均		157.8 年	117.1 年
標本標準偏差		57.42 年	21.19 年

data set		南海 III	南海 IV	南海 V
対数正規分布	m	4.784	5.064	4.715
	σ	0.162	0.333	0.201
	AIC	65.4	79.3	31.2
ガンマ分布	c	0.321	0.0551	0.213
	r	38.8	9.21	24.2
	AIC	65.3	79.5	31.3
Weibull 分布	α	7.81×10^{-17}	3.51×10^{-8}	2.19×10^{-11}
	β	7.63	3.28	5.09
	AIC	64.8	79.9	31.7
二重指数分布	a	1.82×10^{-5}	7.11×10^{-4}	2.17×10^{-4}
	b	0.0625	0.0165	0.0417
	AIC	64.9	81.0	32.1
Poisson	AIC	83.2	87.7	36.4
標本平均		121.1 年	167.1 年	114.0 年
標本標準偏差		19.08 年	55.65 年	23.90 年

表3.2のパラメータから、式(2.13)~(2.17)に基づいて、最新の地震発生日（1946年12月21日）から52.0年が経過しているものとして（data set IVに関しては1854年12月23日から144.0年が経過しているものとして）、今後30年、50年及び100年以内に地震が発生する確率を求めると表3.3のようになる。

また、参考までに1946年の南海地震発生直前の確率を計算するために、data set II~IIIの最新の地震を除いたもの（data set II'~III'とする）において、1946年の地震発生直前時点での今後30年、50年及び100年以内に地震が発生する確率を表3.5に示した。なお、パラメータの最尤値は表3.4に示した。data set I~Vの場合と同様に、4つのモデルのAICには有意な差は認められないが、Poisson過程（指数分布）のAICは、やはり有意に大きく、このモデルではデータを説明するのは無理があることが分かる。

表3.3 各分布毎の、各 data set の1999年時点での今後30年、50年及び100年の地震発生確率

	data set	30年確率	50年確率	100年確率
対数正規分布	南海I	4.8%	14.9%	53.0%
	南海II	2.9%	24.8%	94.0%
	南海III	1.0%	16.4%	93.0%
	南海IV	36.7%	55.9%	84.3%
	南海V	6.2%	32.7%	93.8%
ガンマ分布	南海I	5.7%	14.9%	50.3%
	南海II	3.5%	24.4%	94.3%
	南海III	1.3%	16.2%	93.6%
	南海IV	35.2%	55.0%	85.5%
	南海V	7.1%	32.0%	94.0%
Weibull分布	南海I	7.2%	15.3%	45.4%
	南海II	6.5%	23.6%	95.6%
	南海III	3.0%	15.1%	96.8%
	南海IV	30.6%	50.6%	86.1%
	南海V	10.4%	30.1%	94.0%
二重指数分布	南海I	7.9%	15.0%	39.9%
	南海II	7.5%	22.2%	96.4%
	南海III	4.0%	15.0%	97.9%
	南海IV	25.5%	44.5%	85.5%
	南海V	10.7%	27.3%	94.4%
Poisson過程	南海I	17.3%	27.2%	46.9%
	南海II	22.6%	34.8%	57.4%
	南海III	21.9%	33.8%	56.2%
	南海IV	16.4%	25.9%	45.0%
	南海V	23.1%	35.5%	58.4%

表 3.4 data set II'~III'について最尤法によって求めた各モデルのパラメータと AIC の値、及び Poisson 過程（指数分布）の AIC の値。bold 体は 4 モデル中の最小の AIC を示す

data set		南海 II'	南海 III'
対数正規分布	m	4.803	4.828
	σ	0.155	0.132
	AIC	38.9	54.7
ガンマ分布	c	0.338	0.466
	r	41.7	58.7
	AIC	38.9	54.6
Weibull 分布	α	1.46×10^{-16}	3.22×10^{-21}
	β	7.47	9.65
	AIC	39.0	54.0
二重指数分布	a	2.09×10^{-5}	2.87×10^{-6}
	b	0.0599	0.0762
	AIC	39.1	53.9
Poisson 過程 (指数分布)	AIC	48.5	72.0
標本平均		123.3 年	126.0 年
標本標準偏差		19.10 年	16.12 年

表 3.5 各分布毎の、1946 年時点の今後 30 年、50 年及び 100 年の地震発生確率

	data set	30 年確率	50 年確率	100 年確率
対数正規分布	南海 II'	48.5%	83.2%	99.8%
	南海 III'	42.3%	83.2%	99.9%
ガンマ分布	南海 II'	47.1%	83.0%	99.9%
	南海 III'	41.3%	83.4%	~100.0%
Weibull 分布	南海 II'	39.2%	81.5%	~100.0%
	南海 III'	33.5%	84.4%	~100.0%
二重指数分布	南海 II'	35.3%	80.6%	~100.0%
	南海 III'	30.8%	84.2%	~100.0%
Poisson 過程	南海 II'	21.6%	33.3%	55.5%
	南海 III'	21.2%	32.8%	54.8%

3.1.1.2 時間予測モデルを利用する場合

南海トラフの巨大地震に関して、例えば高知県室戸岬では地震の前には5~7mm/年くらいの割合で沈降しており、地震のときには1~2m隆起する。この室戸岬の室津港において、江戸時代に潮位を測った結果が日記に残されている [15]。この結果から、地震前と後での隆起量を求めることができる。1946年の南海地震の際には、室津では1.15mの隆起が測定された [25]。これらの資料をもとに得られた室津港における地震時隆起量と地震発生間隔との関係を図3.2に示す。

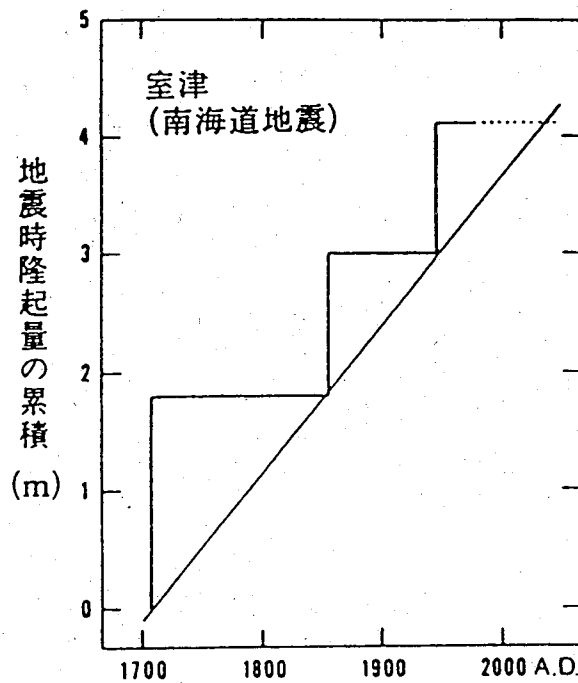


図3.2 過去に南海道において繰り返し起きた地震の大きさ（室津港での隆起量）と発生間隔との関係（文献 [15] の図より）

図3.2に基づき、パラメータとして以下の量を用いた。

前回発生年月日 西暦1946年12月21日

平均ずれ速度 $V = 0.0124\text{m/年}$ (図3.2から概算)

前回のずれの量 $U_{\text{last}} = 1.15\text{m}$

活動間隔[‡] V と U_{last} から、 $T_{\text{t.p.}} = U_{\text{last}}/V = 92.74$ 年とする

そのばらつき 式(2.22)の σ にして0.2及び0.3とする

前回の地震からの経過年数 T は、52.0年である。活動間隔のばらつきの程度 (式(2.22)の σ) は0.2及び0.3とした。

地震発生確率の試算結果をまとめると、表3.6のようになる。

[‡]最新の地震から次回の地震までの間隔

表 3.6 南海トラフにおける，発生間隔の分布関数として対数正規分布及び指数分布を用いたときの今後30年，50年，100年の地震発生確率

モデル		30年確率	50年確率	100年確率
対数正規分布	$\sigma = 0.2$	26.8%	68.2%	99.3%
	$\sigma = 0.3$	32.3%	61.4%	94.9%
指数分布 (Poisson 過程)		27.6%	41.7%	66.0%

3.1.2 宮城県沖地震

data set は，南海トラフの地震と同じく文献 [10] で提示されているものを用いた。宮城県沖地震については，発生間隔が短いので，今後5年，10年，20年及び30年確率を求めた。

表 3.7 歴史に記録されている宮城県沖の大地震の発生年月日（西暦）及び発生間隔（data set I及びIIは文献 [10] による）

1616年	9月	9日	
1646年	6月	9日	29.7年
1678年	10月	2日	32.3年
1736年	4月	30日	57.6年
1770年	5月	27日	34.1年
1793年	2月	17日	22.7年
1835年	7月	20日	42.4年
1861年	10月	21日	26.3年
1897年	2月	20日	35.3年
1936年	11月	3日	39.7年
1978年	6月	12日	41.6年

(a) data set I (文献 [10] の Table 4 による)

1616年	9月	9日	
1646年	6月	9日	29.7年
1678年	10月	2日	32.3年
1736年	4月	30日	57.6年
1793年	2月	17日	56.8年
1835年	7月	20日	42.4年
1861年	10月	21日	26.3年
1897年	2月	20日	35.3年
1936年	11月	3日	39.7年
1978年	6月	12日	41.6年

(b) data set II (data set I から存在の疑わしい1770年の地震を除いたもの)

1616年	9月	9日	
1646年	6月	9日	29.7年
1678年	10月	2日	32.3年
1736年	4月	30日	57.6年
1835年	7月	20日	99.2年
1861年	10月	21日	26.3年
1897年	2月	20日	35.3年
1936年	11月	3日	39.7年
1978年	6月	12日	41.6年

(c) data set III (data set I から存在の疑わしい1770年の地震，及び沖合いの大地震で，この系列に含まれるかどうか疑問のある1793年の地震を除いたもの)

表 3.8 最尤法によって求めた各モデルのパラメータと AIC の値, 及び Poisson 過程 (指数分布) の AIC の値。bold 体は 4 モデル中の最小の AIC を示す

data set		宮城沖 I	宮城沖 II	宮城沖 III
対数正規分布	m	3.556	3.661	3.720
	σ	0.252	0.254	0.400
	AIC	75.9	70.8	71.5
ガンマ分布	c	0.435	0.386	0.125
	r	15.7	15.5	5.63
	AIC	76.1	71.0	72.9
Weibull 分布	α	4.58×10^{-7}	1.58×10^{-7}	1.98×10^{-4}
	β	3.96	4.13	2.17
	AIC	77.7	72.0	74.7
二重指数分布	a	2.40×10^{-3}	1.51×10^{-3}	9.28×10^{-3}
	b	0.0891	0.0904	0.0242
	AIC	80.2	73.5	77.4
Poisson 過程 (指数分布)	AIC	93.8	86.5	79.0
標本平均		36.2年	40.2年	45.2年
標本標準偏差		9.38年	10.41年	22.29年

表 3.9 各分布毎の, 各 data set の 1999 年時点での今後 5 年, 10 年, 20 年及び 30 年の地震発生確率

	data set	5年確率	10年確率	20年確率	30年確率
対数正規分布	宮城沖 I	9.1%	28.3%	71.6%	92.7%
	宮城沖 II	4.4%	16.7%	56.4%	84.9%
	宮城沖 III	7.8%	19.4%	46.2%	68.2%
ガンマ分布	宮城沖 I	9.0%	26.9%	70.2%	93.1%
	宮城沖 II	4.8%	16.4%	54.5%	84.6%
	宮城沖 III	7.7%	18.0%	41.8%	63.6%
Weibull 分布	宮城沖 I	9.6%	24.4%	63.5%	91.9%
	宮城沖 II	6.0%	16.1%	48.2%	81.7%
	宮城沖 III	8.0%	17.1%	37.1%	56.4%
二重指数分布	宮城沖 I	9.0%	21.5%	56.5%	89.7%
	宮城沖 II	6.0%	14.7%	42.3%	78.1%
	宮城沖 III	7.8%	15.9%	32.5%	49.0%
Poisson 過程	宮城沖 I	12.9%	24.2%	42.5%	56.4%
	宮城沖 II	11.7%	22.0%	39.2%	52.6%
	宮城沖 III	10.5%	19.8%	35.7%	48.5%

3.2 陸域の活断層で発生する地震

3.2.1 更新過程を利用する事例

阿寺断層，丹那断層（北伊豆・名賀地区），跡津川断層及び長野盆地西縁断層における地震を例にとり，トレンチ調査やボーリング調査から推定された地震の発生間隔の data set（暫定）に対し，対数正規分布・ガンマ分布・Weibull分布・二重指数分布を用いて，最尤法により各分布のパラメータの最尤値を求めた後，今後30年，50年及び100年以内の地震発生確率を求めた [20]。

3.2.1.1 阿寺断層

data set は，地質調査所が，文献 [26] を改訂したもの及び文献 [27, 28] の結果を取りまとめたものを用いた。この data set のうち，最も古い地震の発生年代は推定幅が広く，他の地震と同列に扱うことがはばかれるので，それを除いた data set についても計算した。表 3.10 に実際に計算に用いた data set を示す。以上の data set から，式 (2.1)～(2.4) の分布について，3.1 での手続きと

表 3.10 阿寺断層の地震の発生年と発生間隔。発生間隔の算出には発生年の中央値を採用。以後 data set 阿寺 I とし，最古の地震を除いたものを data set 阿寺 II とする。更に最新の地震を除いたものをそれぞれ data set 阿寺 I'，data set 阿寺 II' とする

6,496±177 B.C. ~ 8,477±271 B.C.	1,009.5 年
6,458±143 B.C. ~ 6,496±177 B.C.	2,246 年
4,178±160 B.C. ~ 4,284±177 B.C.	2,092 年
1,947±140 B.C. ~ 2,331±146 B.C.	1,982 年
68± 96 A.D. ~ 381±216 B.C.	1,742 年
1586年1月18日（天正地震）	

同様に各パラメータの最尤値を求めた。各 data set でのパラメータの最尤値を表 3.11 に示す。

表を見る限り，AIC には有意な差は認められず，いずれのモデルが適切かはこのデータからは判断できない。また，この表からも，Poisson 過程（指数分布）の AIC は，4 つのモデルと比べて有意に大きいと言える。

上表のパラメータを用いて，data set I に関する 1999 年時点の，また data set I' に関する最新の地震発生直前時点の今後 30 年，50 年及び 100 年以内に地震が発生する確率を計算した。結果を表 3.12 に示す。

表 3.11 data set I~II'について最尤法によって求めた各モデルのパラメータと AIC の値、及び Poisson 過程（指数分布）の AIC の値。bold 体は 4 モデル中の最小の AIC を示す

data set		阿寺 I	阿寺 I'	阿寺 II	阿寺 II'
対数正規分布	m	7.467	7.468	7.604	7.652
	σ	0.287	0.321	0.0930	0.0512
	AIC	80.4	66.0	57.2	40.6
ガンマ分布	c	0.00764	0.00610	0.0583	0.181
	r	13.9	11.2	117	381
	AIC	79.8	65.6	57.1	40.6
Weibull 分布	α	1.98×10^{-19}	6.38×10^{-18}	7.66×10^{-45}	3.40×10^{-72}
	β	5.68	5.21	13.3	21.4
	AIC	78.2	64.2	56.8	40.8
二重指数分布	a	3.71×10^{-6}	4.13×10^{-6}	7.09×10^{-9}	3.61×10^{-12}
	b	0.00340	0.00327	0.00653	0.0101
	AIC	77.3	63.2	56.9	40.9
Poisson 過程 (指数分布)	AIC	87.0	70.1	70.9	53.9
標本平均		1814.3 年	1832.4 年	2015.5 年	2106.7 年
標本標準偏差		434.63 年	484.3 年	183.65 年	108.28 年

表 3.12 各分布毎の、阿寺断層を震源域とする、今後 30 年、50 年及び 100 年の地震発生確率

	data set	30 年確率	50 年確率	100 年確率
対数正規分布	阿寺 I	~0.0%	~0.0%	~0.0%
	阿寺 I' (1586 年時点)	4.2%	6.9%	13.6%
	阿寺 II' (1586 年時点)	~0.0%	0.1%	0.5%
ガンマ分布	阿寺 I	~0.0%	~0.0%	~0.0%
	阿寺 I' (1586 年時点)	4.2%	7.1%	14.0%
	阿寺 II' (1586 年時点)	~0.0%	0.1%	0.5%
Weibull 分布	阿寺 I	~0.0%	~0.0%	~0.0%
	阿寺 I' (1586 年時点)	4.3%	7.3%	14.9%
	阿寺 II' (1586 年時点)	0.4%	0.8%	2.3%
二重指数分布	阿寺 I	~0.0%	0.1%	0.2%
	阿寺 I' (1586 年時点)	3.8%	6.5%	13.6%
	阿寺 II' (1586 年時点)	0.5%	1.0%	2.5%
Poisson 過程	阿寺 I	1.6%	2.7%	5.4%
	阿寺 I' (1586 年時点)	1.6%	2.7%	5.3%
	阿寺 II' (1586 年時点)	1.4%	2.3%	4.6%

3.2.1.2 丹那断層

丹那断層については、文献 [29, p.821] の Table 5 の case(2) のうち、Grade A のみを引用した。

表 3.13 丹那断層の地震の発生年と発生間隔。文献 [29, p.821] の Table 5 のうち、case(2) (暦年補正を行ったもの) の Grade A のみを抜粋し、その中央値又は推定された値を使用。以後これを data set 丹那I とし、1930 年の北伊豆地震を除いたものを data set 丹那I' とする。なお、表中 B.P. は before AD1950 の意

5,850 B.P.		5,850 B.P.	
4,530 B.P.	1,320 年	4,530 B.P.	1,320 年
3,070 B.P.	1,460 年	3,070 B.P.	1,460 年
1,897.5B.P.	1,172.5年	1,897.5B.P.	1,172.5年
915 B.P.	982.5年	915 B.P.	982.5年
1930年11月26日	895 年		

(a) 丹那断層の data set I

5,850 B.P.		5,850 B.P.	
4,530 B.P.	1,320 年	4,530 B.P.	1,320 年
3,070 B.P.	1,460 年	3,070 B.P.	1,460 年
1,897.5B.P.	1,172.5年	1,897.5B.P.	1,172.5年
915 B.P.	982.5年	915 B.P.	982.5年

(b) 丹那断層の data set I'

表 3.14 data set I 及び data set I' について最尤法によって求めた各モデルのパラメータと AIC の値、及び Poisson 過程 (指数分布) の AIC の値。bold 体は 4 モデル中の最小の AIC を示す

data set		丹那I	丹那I'
対数正規分布	m	7.045	7.107
	σ	0.181	0.147
	AIC	71.6	56.9
ガンマ分布	c	0.0265	0.0381
	r	30.9	47.0
	AIC	71.5	56.8
Weibull 分布	α	1.66×10^{-20}	1.84×10^{-26}
	β	6.38	8.26
	AIC	71.6	56.6
二重指数分布	a	6.30×10^{-6}	1.09×10^{-6}
	b	0.00531	0.00660
	AIC	71.9	56.7
Poisson 過程 (指数分布)	AIC	82.6	66.9
標本平均		1166.0年	1233.8年
標本標準偏差		208.47年	177.13年

現時点での発生確率は当然の事ながら非常に低い値にあるが、最新の地震発生直前時点で見ると、1930年の北伊豆地震はかなり低い確率しかないときに発生したことが分かる。統計的仮説の有意性の検定において、統計学の習慣では、有意水準を5%あるいは1%に設定して、それ以下の

表 3.15 各分布毎の、丹那断層を震源域とする、今後30年、50年及び100年の地震発生確率

	data set	30年確率	50年確率	100年確率
対数正規分布	丹那I	~0.0%	~0.0%	~0.0%
	丹那I' (1930年時点)	1.3%	2.4%	6.6%
ガンマ分布	丹那I	~0.0%	~0.0%	~0.0%
	丹那I' (1930年時点)	1.3%	2.4%	6.5%
Weibull分布	丹那I	~0.0%	~0.0%	~0.0%
	丹那I' (1930年時点)	1.3%	2.4%	5.8%
二重指数分布	丹那I	~0.0%	0.1%	0.1%
	丹那I' (1930年時点)	1.3%	2.3%	5.5%
Poisson過程	丹那I	2.5%	4.2%	8.2%
	丹那I' (1930年時点)	2.4%	4.0%	7.8%

確率しか持たない事象は起こらないと判断することが多い。しかし、その有意水準の値に必然的な理由があるわけではない。有意水準は、統計的検定に基づく判断が誤った場合の影響の大きさに応じて設定されるべきものである。また、ここで取り扱っている確率の数字は、それを評価する期間の長短に応じて大小することを指摘しておきたい。つまり、危険水準をある値に設定するとしても、それが30年間の確率か、100年間の確率かも同時に指定する必要がある。

なお、北伊豆地震の発生時期の早さについては、伊豆半島がフィリピン海プレートの北縁に位置し、駿河トラフと相模トラフに挟まれているというテクトニクスが原因しているという考え方もある。文献 [30] によれば、北伊豆地震の7年前の1923年関東地震の発生により、丹那断層において北伊豆地震型の断層運動が起こりやすくなる方向で、応力が820kPa増加した。これは、丹那断層の平均活動間隔を約15%、実年代にして約190年短縮させる効果があると概算される。この報告書における伊豆半島のテクトニクスの考察はここまでにとどめ、これ以上は別の場に譲ることにする。

3.2.1.3 跡津川断層

データは、地質調査所が文献 [31, 32] をもとに取りまとめた data set を用いた。パラメータの最

表 3.16 跡津川断層の地震の発生年と発生間隔。発生間隔の算出には発生年の中央値を採用。以後 data set 跡津川 I とし、最新の地震を除いたものを data set 跡津川 I' とする

7,569±74 BC ~ 8,486±113 BC	2,291 年
5,532±145 BC ~ 5,941±144 BC	3,066 年
2,199±146 BC ~ 3,142±137 BC	2,570 年
1,195±154 AD ~ 1,395±344 BC	1,957.5 年
1858年4月9日 (飛越地震)	

尤値を表 3.17 に示す。4 つのモデル間に差は見られないが、Poisson 過程とは、やはり有意に差がある。

表 3.17 跡津川断層の data set について、最尤法によって求めた各モデルのパラメータと AIC の値、及び Poisson 過程 (指数分布) の AIC の値。bold 体は 4 モデル中の最小の AIC を示す

data set		跡津川 I	跡津川 I'
対数正規分布	m	7.799	7.872
	σ	0.164	0.120
	AIC	63.3	47.0
ガンマ分布	c	0.0151	0.0262
	r	37.4	69.2
	AIC	63.3	47.0
Weibull 分布	α	1.55×10^{-23}	9.95×10^{-32}
	β	6.66	9.00
	AIC	63.6	47.3
二重指数分布	a	2.62×10^{-6}	3.02×10^{-7}
	b	0.00257	0.00331
	AIC	63.9	47.5
Poisson 過程 (指数分布)	AIC	72.5	55.3
標本平均		2471.1 年	2642.3 年
標本標準偏差		406.17 年	320.50 年

最新の地震発生時点での地震発生確率を表3.18に示す。表3.18の結果から、跡津川断層におけ

表3.18 各分布毎の、跡津川断層を震源域とする、1858年時点の今後30年、50年及び100年の地震発生確率

	data set	30年確率	50年確率	100年確率
対数正規分布	跡津川 (1858年時点)	0.3%	0.6%	1.4%
ガンマ分布	跡津川 (1858年時点)	0.3%	0.6%	1.5%
Weibull分布	跡津川 (1858年時点)	0.6%	1.0%	2.3%
二重指数分布	跡津川 (1858年時点)	0.6%	1.1%	2.3%
Poisson過程	跡津川 (1858年時点)	1.1%	1.9%	3.7%

る1858年の歴史地震は、非常に低い確率で起こったことが読み取れるが、表3.16から分かるように、1858年の歴史地震の前の地震の発生推定区間が約2,500年とかなり長く、中央値でのあてはめに無理がある可能性もある。そこで、2.3.1.1で述べた、危険率を平均化する方法で確率を計算した。結果を表3.19に示す。

表3.19 各分布毎の、跡津川断層を震源域とする、1858年時点の今後30年、50年及び100年の地震発生確率 (2.3.1.1の方法を適用)

	data set	30年確率	50年確率	100年確率
対数正規分布	跡津川 (1858年時点)	0.7%	1.2%	2.4%
ガンマ分布	跡津川 (1858年時点)	0.7%	1.2%	2.5%
Weibull分布	跡津川 (1858年時点)	4.7%	7.9%	16.3%
二重指数分布	跡津川 (1858年時点)	5.2%	8.8%	18.2%

3.2.1.4 長野盆地西縁断層

データは、地質調査所が実施したボーリング調査等によるものである。

表 3.20 長野盆地西縁断層の地震の発生年と発生間隔。発生間隔の算出には発生年の中央値を採用。以後 data set 長野盆地西縁 I とし、最新の地震を除いたものを data set 長野盆地西縁 I' とする

6,688±183 BC ~ 7,150±229 BC	1,019 年
5,112±120 BC ~ 6,688±183 BC	1,581 年
3,526±240 BC ~ 5,112±120 BC	818 年
3,476±310 BC ~ 3,526±240 BC	1,247.5 年
1,031±117 BC ~ 3,426±310 BC	1,385.5 年
705±272 BC ~ 1,031±117 BC	823.5 年
617± 77 AD ~ 705±272 BC	779 年
969±103 AD ~ 502± 79 AD	1111.5 年
1847年5月8日 (善光寺地震)	

パラメータの最尤値を表 3.21 に示す。やはり 4 つのモデルに大きな差はなく、Poisson 過程とは明らかに差がある。

表 3.21 長野盆地西縁断層の data set について、最尤法によって求めた各モデルのパラメータと AIC の値、及び Poisson 過程 (指数分布) の AIC の値。bold 体は 4 モデル中の最小の AIC を示す

data set		長野盆地西縁 I	長野盆地西縁 I'
対数正規分布	<i>m</i>	6.968	6.962
	<i>σ</i>	0.247	0.263
	AIC	115.8	102.6
ガンマ分布	<i>c</i>	0.0150	0.0132
	<i>r</i>	16.4	14.4
	AIC	116.0	102.8
Weibull 分布	<i>α</i>	4.18×10^{-14}	2.58×10^{-13}
	<i>β</i>	4.34	4.08
	AIC	116.7	103.4
二重指数分布	<i>a</i>	4.52×10^{-5}	5.36×10^{-5}
	<i>b</i>	0.00355	0.00335
	AIC	117.8	104.4
Poisson 過程 (指数分布)	AIC	130.0	114.0
標本平均		1095.6 年	1093.4 年
標本標準偏差		273.90 年	292.74 年

表3.21のパラメータを用いて地震発生確率を求めると表3.22のようになる。

表3.22 各分布毎の、長野盆地西縁断層を震源域とする、1847年時点の今後30年、50年及び100年の地震発生確率

	data set	30年確率	50年確率	100年確率
対数正規分布	長野盆地西縁 (1847年時点)	9.3%	15.2%	28.9%
ガンマ分布	長野盆地西縁 (1847年時点)	9.1%	14.9%	28.6%
Weibull分布	長野盆地西縁 (1847年時点)	7.9%	13.1%	26.0%
二重指数分布	長野盆地西縁 (1847年時点)	6.8%	11.4%	23.2%
Poisson過程	長野盆地西縁 (1847年時点)	2.7%	4.5%	8.7%

3.2.2 時間予測モデルを利用する事例

時間予測モデルによる場合では、糸魚川－静岡構造線活断層系の中の活断層である牛伏寺断層と、兵庫県南部地震が発生した野島断層を対象に1999年現在の地震発生確率の試算を行った。陸域の活断層におけるパラメータ値は、あくまで計算例のために用いたものであり、確定したものではないことをあらかじめ断っておく。確率計算には、対数正規分布及び指数分布 (Poisson過程) を用いた (2.2.2式(2.22)及び式(2.23)参照)。

3.2.2.1 牛伏寺断層

当該断層の調査結果 [33] 等に基づき、パラメータとして以下の量を用いた。

- 前回発生年 西暦 762 or 841 年
 平均ずれ速度 $V = 8.6 \pm 1.0 \text{mm/年}$ (文献 [33] による)
 前回のずれの量 $U_{\text{last}} = 6 \sim 9 \text{m}$
 活動間隔* V と U_{last} から、 $T_{\text{t.p.}} = U_{\text{last}}/V = 625 \sim 1184$ 年とする
 そのばらつき 式(2.22)の σ にして 0.2 及び 0.3 とする

前回の地震からの経過年数 T は、前回発生年を西暦 762 年とすると 1237 年、西暦 841 年とすると 1158 年である。ここでは仮に、 $T = 1200$ 年とする。地震発生確率の試算結果を表 3.23 に示す。

3.2.2.2 野島断層

当該断層の調査結果 [34, 35] に基づき、パラメータとして以下の量を用いた。

- 前回発生年 西暦 1995 年 1 月 17 日
 平均ずれ速度 $V = 0.7 \sim 0.9 \text{mm/年}$ (文献 [34] による)
 前回のずれの量 $U_{\text{last}} = 1.4 \sim 1.8 \text{m}$ (文献 [35] による)

* 最新の地震から次回の地震までの間隔

活動間隔[†] V と U_{last} から、 $T_{t.p.} = U_{last}/V = 1556 \sim 2571$ 年とする

そのばらつき 式(2.22)の σ にして0.2及び0.3とする

前回の地震からの経過年数 T は、西暦1999年現在では4.0年となるが、地震発生確率は0.1%よりも低い値が出る。意味のある計算が可能なのは、 ΔT が少なくとも500年を越えたところである。

次に、前回発生年の直前の西暦1995年現在で、その前の活動（西暦56年頃）から1939.0年経過している（つまり $T = 1939.0$ ）として、また、前回の更に前のずれの量は分かっていないので断層の長さが約15kmであることから、仮に $U_{last} \approx 1.5$ mとして、 $T_{t.p.} = 1700 \sim 2100$ 年として確率を計算してみた。地震発生確率の試算結果をまとめると、表3.23のようになる。

表3.23 牛伏寺断層及び野島断層における、活動間隔の分布関数として対数正規分布及び指数分布を用いたときの今後30年、50年、100年及び200年の地震発生確率。牛伏寺断層については前回の地震から1,200年が経過しているものとして計算。数値の幅は活動間隔の設定の違いによる

断層	モデル		30年確率	50年確率	100年確率	200年確率
牛伏寺断層	対数正規分布	$\sigma = 0.2$	10~36%	17~52%	32~77%	58~95%
		$\sigma = 0.3$	7~19%	11~30%	22~51%	40~76%
	指数分布 (Poisson 過程)		3~5%	4~8%	8~15%	16~27%
野島断層	対数正規分布	$\sigma = 0.2$	$\ll 0.1\%$	$\ll 0.1\%$	$\ll 0.1\%$	$\ll 0.1\%$
		$\sigma = 0.3$	$\ll 0.1\%$	$\ll 0.1\%$	$\ll 0.1\%$	$\ll 0.1\%$
	対数正規分布 (1995年時点)	$\sigma = 0.2$	4~9%	7~15%	15~29%	29~51%
		$\sigma = 0.3$	3~6%	5~9%	11~18%	21~33%
	指数分布 (Poisson 過程)		1~2%	2~3%	4~6%	7~12%

3.2.3 発生間隔のばらつきの影響

時間予測モデルが適用されると仮定した場合、適用されない場合に比べて発生間隔のばらつきは小さくなると考えられる。これを考慮して、 U_{last} , V ともに値が得られている牛伏寺断層並柳地点と大沢断層金沢地点を例にして、今後の地震発生確率を求めた。計算に使用した数値を表3.24に示す。

確率密度関数は対数正規分布を用い、前回の地震から1200年が経過しているものとした。発生間隔のばらつき σ は、平均値の1/2~2倍程度を示す0.3[‡]とそれよりも小さい（分布がより集中した）0.2及び0.1を用いた。以上の条件で、今後30年、50年、及び100年以内にそれぞれの区間で地震が発生する確率を求めた。計算結果は表3.25のとおりである。

表から、ばらつきが小さいと確率は大きくなるという傾向が読み取れるが、対数正規分布についてのこの事実は、既に議論されている [36,37]。

[†]最新の地震から次回の地震までの間隔

[‡]時間予測モデルの考え方に忠実に沿うならば、前々回の地震の際のずれの量をもとにして、前回の地震の発生時期を推定すべきであるが、現時点では不明であるため、断層の長さから推定される平均的な値を求めた。

[§] $\ln(1/2) < \ln(T/\bar{T}) < \ln 2 \approx 0.693$ であるから、 $\sigma = 0.3$ にとれば約 $\pm 2.31\sigma$ の範囲となつて、 $\ln(T/\bar{T})$ が正規分布に従うことを考慮すれば、平均値の1/2~2倍の範囲の事象は全事象の97.9%以上をカバーする。因みに $\sigma = 0.5$ ならば全事象の83.4%以上がカバーされる。

表 3.24 計算に用いた、各断層の U_{last} , V 及び $T_{t.p.}$ の表。大沢断層の V は不明のため、茅野断層板室地点の値を引用

断層地点	前回のずれの量 U_{last}	平均ずれ速度 V	期待される活動間隔 $T_{t.p.}$
牛伏寺断層並柳地点	6~9m ($\bar{U}_{last} = 7.5$)	7.6~9.6m/千年 ($\bar{V} = 8.6$)	625~1184年
大沢断層金沢地点	6m	5m/千年	1200年

表 3.25 時間予測モデルに従うことを考慮し、分布をより集中させた場合の、各断層の今後30年、50年及び100年の地震発生確率。数値の幅は活動間隔の設定の違いによる

断層	σ	30年確率	50年確率	100年確率
牛伏寺断層並柳地点 $T_{t.p.} = 625 \sim 1184$ 年	0.3	6.8~19.0%	11.2~29.7%	21.7~50.7%
	0.2	10.3~35.8%	16.9~52.3%	32.4~77.4%
	0.1	21.3~81.3%	34.2~93.9%	60.8~99.6%
牛伏寺断層並柳地点 $T_{t.p.} = \bar{U}_{last} / \bar{V} \simeq 872$ 年	0.3	12.4%	19.9%	36.2%
	0.2	22.6%	35.0%	58.5%
	0.1	58.7%	77.5%	95.4%
大沢断層金沢地点 $T_{t.p.} = 1200$ 年	0.3	6.6%	10.8%	21.0%
	0.2	9.8%	16.2%	31.1%
	0.1	19.5%	31.7%	57.7%

3.2.4 最新活動時期の不確定性の影響

ここでは、2.3.1.2で述べた考え方をもとに、3.2.2で牛伏寺断層について行った計算への適用を試みる。

3.2.2においては、前回発生年が西暦762年か841年（すなわち1,158年前か1,237年前）である可能性が高いので現在から1,200年前として計算した。ここでは、この前回発生年の推定幅を考慮に入れ、地震発生間隔が式(2.22)で定義される対数正規分布に従う場合の、地震発生確率の再計算を行う[¶]。

$f(t)$ が式(2.22)で定義されるとき、表2.1から、

$$\phi(t) = 1 - \Phi\left(\frac{\ln(t/\hat{T})}{\sigma}\right) \quad (3.1)$$

であり、 $\phi(t)$ の不定積分は、

$$\int \phi(t) dt = t - t\Phi\left(\frac{\ln(t/\hat{T})}{\sigma}\right) + \hat{T} \exp\left(\frac{\sigma^2}{2}\right) \Phi\left(\frac{\ln(t/\hat{T})}{\sigma} - \sigma\right) + (\text{積分定数}) \quad (3.2)$$

[¶]3.2.2においては、地震発生間隔が指数分布に従う場合の計算もされているが、この場合は確率が前回地震発生からの経過年数に依存しないため、この議論を適用しても結果は変わらない。

であるから、これを式(2.30)に適用して、 $t_h = 1158$, $t_g = 1237$ として計算すると、牛伏寺断層については表3.26のように確率が求められる。この例では、前回地震発生からの経過年数を1,200年とした場合とほとんど変わらない(0.1%単位で若干変化)という結果が出たが、経過年数の推定幅がかなり大きくなる場合には有力な方法であると思われる。

表3.26 表3.23の牛伏寺断層部分の再掲と、文献[18]での議論を適用したときの比較。数値の幅は活動間隔の設定の違いによる

断層	モデル		30年確率	50年確率	100年確率	200年確率
牛伏寺断層	対数正規分布	$\sigma = 0.2$	10~36%	17~52%	32~77%	58~95%
		$\sigma = 0.3$	7~19%	11~30%	22~51%	40~76%
	指数分布 (Poisson過程)		3~5%	4~8%	8~15%	16~27%
	文献[18]での議論を適用	$\sigma = 0.2$	10~36%	17~52%	32~77%	57~95%
$\sigma = 0.3$		7~19%	11~30%	22~51%	40~76%	

3.3 論理ツリーの適用（糸魚川－静岡構造線活断層系）

糸魚川－静岡構造線活断層系は、北部・中部・南部に分けられるが、ここでは、平成8年9月11日に公表された地震調査研究推進本部地震調査委員会報告[33]に基づき、北部・牛伏寺断層・中部(牛伏寺断層を除く)のセグメントについての地震発生確率を論理ツリーを適用して試算した。

3.3.1 論理ツリーの構築

計算に当たっては、糸魚川－静岡構造線活断層帯を例にとった。この断層帯については、地震調査委員会報告[33]において次のように結論づけられている。

- 前回は、1,200年前に北部～中部(白馬～小淵沢)が活動した。
- 過去の活動は、
 - ① 前回と同様な地震が1,000年おきに発生する
 - ② セグメント毎に活動間隔が異なる
 のどちらかであるか判断できない。

したがって、計算に当たっては、上記①、②の可能性を各々五分五分とした。更に、②の内訳として、各セグメントが独立に地震を発生する場合も考慮して、この場合の重みを5%とする。残り45%は複数のセグメントが同時に活動する場合とする。以下は、上記②の場合の仮定である。

1. 糸魚川-静岡構造線活断層帯を、大きく3つの区間に分け（南部はデータが得られていないため、とりあえず今回の議論からはずした）、それぞれの地域の断層の活動間隔を仮に次のとおりと考えた。

区間	北部	牛伏寺	中部（牛伏寺を除く）
活動間隔 \bar{T}	2,000年	1,000年	4,000年

2. 複数のセグメントが同時に活動する場合には、牛伏寺断層は、それ以外の断層が動くときは、常に連動するものとした（牛伏寺断層単独で動くことも有り得るとした）。

確率密度関数は、対数正規分布を用い、前回の地震から1,200年が経過しているものとし、 σ は発生間隔の幅が、平均値から1/2~2倍にほぼ収まるとされる0.3を用いた。以上の条件で、今後100年以内にそれぞれの区間で地震が発生する確率を求めた。

計算に用いる論理ツリーは、全域を震源域とする地震が発生する重みを50%、各セグメントで独立に地震が発生する重みを5%、地震が発生する場合は必ず牛伏寺断層が活動し（単独もありうる）、複数のセグメントが同時に活動する場合の重みを45%として構築した。これらの重み配分は最終的な評価を直接的に支配するものであり、専門家の判断に基づき、慎重に決定しなければならない。

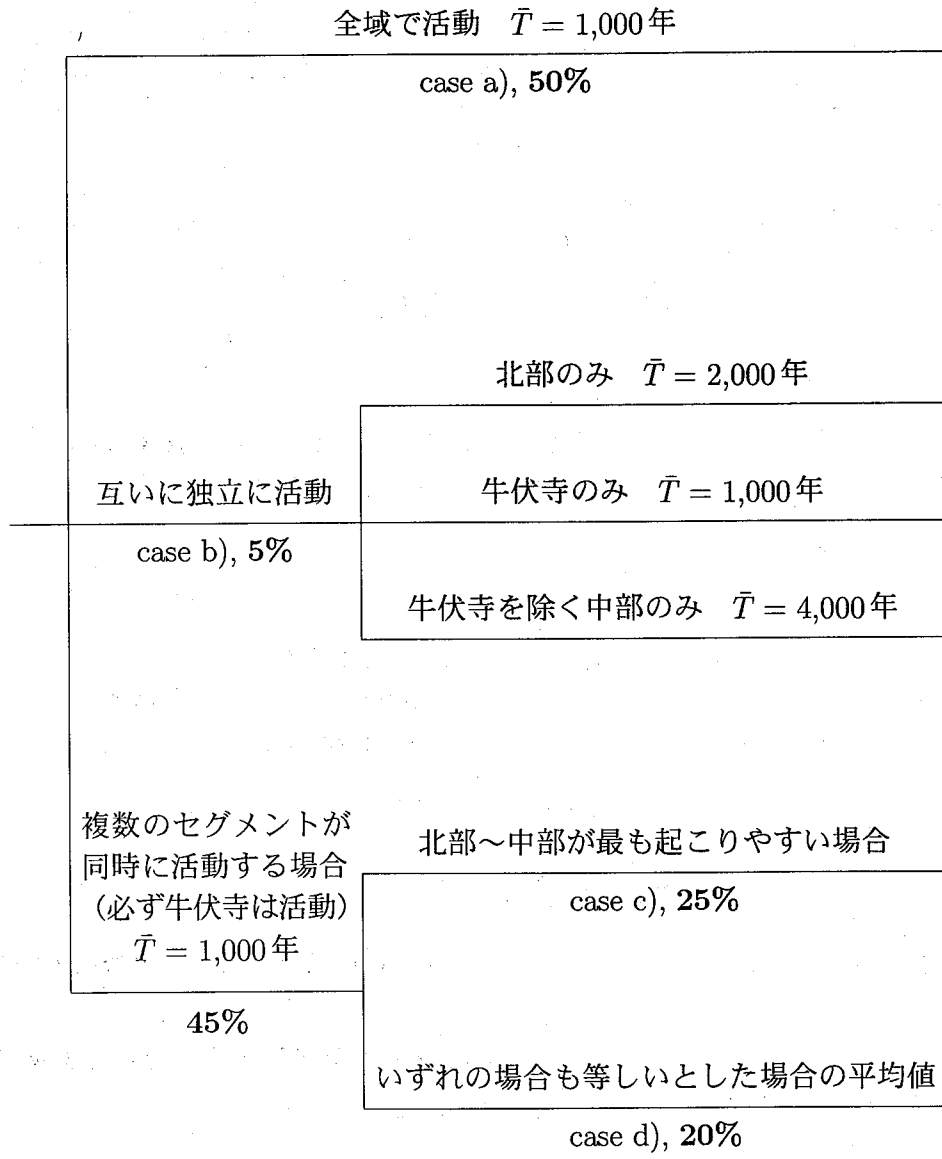
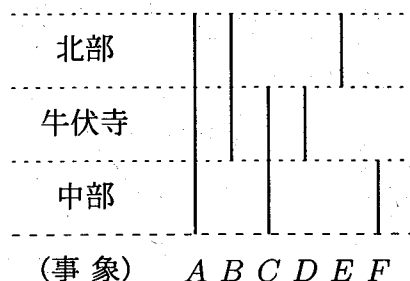


図3.3 糸魚川-静岡構造線活断層帯における地震発生確率計算時の論理ツリーの例

3.3.2 活動区間の設定

起震断層のモデルとして、以下の6つを考慮した。

- 北部～中部 (以下事象 A, 発生確率を P_A とする)
- 北部～牛伏寺 (事象 B, 発生確率 P_B)
- 牛伏寺～中部 (事象 C, 発生確率 P_C)
- 牛伏寺のみ (事象 D, 発生確率 P_D)
- 北部のみ (事象 E, 発生確率 P_E)
- 牛伏寺を除く中部のみ (事象 F, 発生確率 P_F)



以下、「中部」は牛伏寺を除く中部の意とする。

3.3.3 確率の数値評価

3.3.3.1 複数のセグメントの同時活動を考慮しない場合

case a) 全体で活動 (重み 50%) の場合

全域で発生する場合は、 $\bar{T} = 1,000$ 年で $T = 1,200$ 年であるから、表3.27から、今後100年以内の発生確率は $P_A = 29.7\%$ で、重みを考慮すると、14.9%となる。

case b) 独立に活動 (重み 5%) の場合

$$\left. \begin{array}{l} \text{北部のみ} \quad \bar{T} = 2,000 \text{年} \quad P_E = 3.3\% \\ \text{牛伏寺のみ} \quad \bar{T} = 1,000 \text{年} \quad P_D = 29.7\% \\ \text{中部のみ} \quad \bar{T} = 4,000 \text{年} \quad P_F = 0.0\% \end{array} \right\} \text{(表3.27参照)}$$

重みを考慮すると、それぞれ0.2%, 1.5%, 0.0%となる。

3.3.3.2 複数のセグメントの同時活動を考慮する場合

必ず牛伏寺断層が活動するという仮定から、 $\bar{T} = 1,000$ 年で、 $T = 1,200$ 年から、確率は29.7%と求まる。

次に、事象 A, B, C, Dのどれが起こるかを求める必要がある。それぞれの事象の重みを Q_A, Q_B, Q_C, Q_D とすると、次の地震は必ず牛伏寺の区間を含むから、

$$\text{牛伏寺について, } Q_A + Q_B + Q_C + Q_D = 1 \quad (3.3)$$

地震発生頻度の比は、北部・牛伏寺・中部において2:4:1であるから、

$$\text{北部について, } Q_A + Q_B = 0.5 \quad (3.4)$$

$$\text{中部について, } Q_A + Q_C = 0.25 \quad (3.5)$$

となる。未知数4に対し式は3つなので、自由度が一つ残る。そこで $Q_A = x$ とおくと、

$$Q_A(x) = x, \quad Q_B(x) = 0.5 - x, \quad Q_C(x) = 0.25 - x, \quad Q_D(x) = 0.25 + x \quad \text{ただし } 0 \leq x \leq 0.25$$

表 3.27 各パラメータ毎の、今後 100 年以内の地震発生確率一覧表 (対数正規分布, $\sigma = 0.3$ の場合。 \hat{T} は (相乗) 平均活動間隔, T は最新の地震からの経過年数)

T	\hat{T}	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600
500		6.5%	3.4%	1.7%	0.9%	0.4%	0.2%	0.1%	0.0%
600		12.4%	7.6%	4.5%	2.6%	1.5%	0.8%	0.4%	0.2%
700		18.3%	12.6%	8.4%	5.4%	3.4%	2.1%	1.3%	0.8%
800		23.4%	17.4%	12.6%	8.8%	6.1%	4.1%	2.7%	1.7%
900		27.5%	21.5%	16.5%	12.4%	9.1%	6.5%	4.6%	3.2%
1000		30.6%	24.9%	20.0%	15.7%	12.1%	9.2%	6.8%	5.0%
1100		33.0%	27.6%	22.8%	18.6%	14.9%	11.8%	9.2%	7.0%
1200		34.7%	29.7%	25.2%	21.0%	17.4%	14.2%	11.4%	9.1%
1300		36.1%	31.4%	27.0%	23.1%	19.5%	16.3%	13.5%	11.1%
1400		37.1%	32.6%	28.5%	24.8%	21.3%	18.2%	15.4%	12.9%
1500		37.8%	33.6%	29.7%	26.1%	22.8%	19.8%	17.0%	14.6%

T	\hat{T}	1600	1700	1800	1900	2000	2100	3000	4000	5000
500		0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
600		0.2%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
700		0.8%	0.4%	0.3%	0.2%	0.1%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%
800		1.7%	1.1%	0.7%	0.4%	0.3%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%
900		3.2%	2.2%	1.5%	1.0%	0.7%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%
1000		5.0%	3.6%	2.6%	1.8%	1.3%	0.9%	0.0%	0.0%	0.0%
1100		7.0%	5.3%	4.0%	3.0%	2.2%	1.6%	0.1%	0.0%	0.0%
1200		9.1%	7.2%	5.6%	4.3%	3.3%	2.5%	0.2%	0.0%	0.0%
1300		11.1%	9.0%	7.2%	5.7%	4.5%	3.5%	0.3%	0.0%	0.0%
1400		12.9%	10.7%	8.8%	7.2%	5.8%	4.7%	0.5%	0.0%	0.0%
1500		14.6%	12.3%	10.4%	8.7%	7.2%	5.9%	0.8%	0.1%	0.0%

とあらわすことができる。

図 3.4~3.6 に, $x = 0$, $x = 0.125$, $x = 0.25$ の場合の 8,000 年間の時系列ダイヤグラムの一例を示す。この図はあくまでも一例であり, どの事象がどの順番で表れるかは考慮されていない。図を見ると, 事象 A (北部から中部まで全体が活動) の発生頻度がそれぞれの場合で異なるが, 北部・牛伏寺・中部の各セグメントの平均的な活動間隔はすべて満足されていることが分かる。なお図 3.4~3.6 では事象 A の発生頻度に着目したのであるが, どの事象に着目してもよく, 要は各事象の発生頻度に (発生順序も含めて) 自由度が存在する。

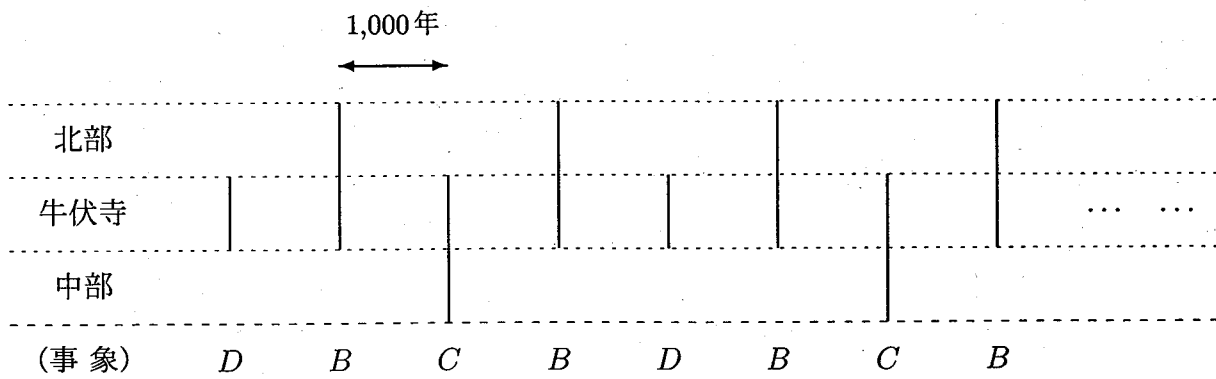


図 3.4 8,000年間当たり事象 A が 0 回 ($x = 0$) の場合の地震発生の時系列ダイヤグラムの一例

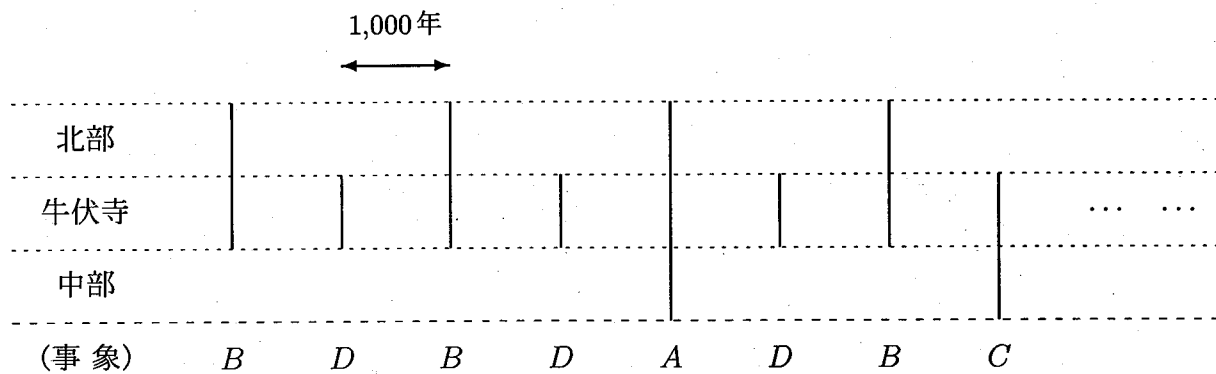


図 3.5 8,000年間当たり事象 A が 1 回 ($x = 0.125$) の場合の地震発生の時系列ダイヤグラムの一例

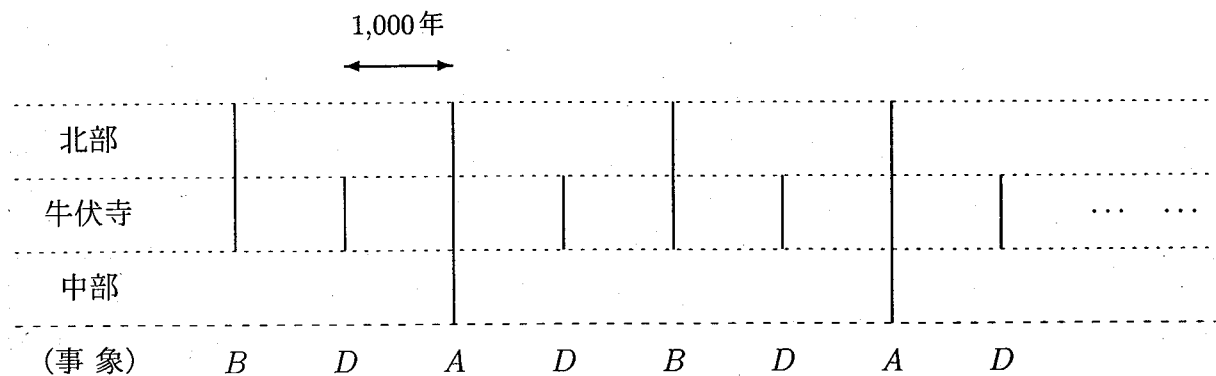


図 3.6 8,000年間当たり事象 A が 2 回 ($x = 0.25$) の場合の地震発生の時系列ダイヤグラムの一例

一般的には x の分布関数 $f(x)$ から, $Q_{A\sim D}$ の期待値 $\bar{Q}_{A\sim D}$ を求めることができる。

$$\bar{Q}_A = \int_0^{0.25} x f(x) dx \quad (3.6)$$

$$\bar{Q}_B = \int_0^{0.25} (0.5 - x) f(x) dx \quad (3.7)$$

$$\bar{Q}_C = \int_0^{0.25} (0.25 - x) f(x) dx \quad (3.8)$$

$$\bar{Q}_D = \int_0^{0.25} (0.25 + x) f(x) dx \quad (3.9)$$

$$\text{ただし } \int_0^{0.25} f(x) dx = 1$$

以下, $f(x)$ の例として2例を挙げる。

1: 北部～中部が発生する確率が最も高い場合 (中部が活動するときは全体が活動する)

$$f(x) = \delta(x - 0.25) \quad (\text{Dirac のデルタ関数}) \quad (3.10)$$

を考えると, 式(3.6)～(3.9)から,

$$\bar{Q}_A = \bar{Q}_B = 0.25, \bar{Q}_C = 0, \bar{Q}_D = 0.5$$

2: どのケースも等しい確率で起こるとした場合

$$f(x) = \begin{cases} 4, & \text{for } 0 \leq x \leq 0.25 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.11)$$

を考えると, 式(3.6)～(3.9)から,

$$\bar{Q}_A = \int_0^{0.25} 4x dx = 0.125, \bar{Q}_B = \bar{Q}_D = 0.375, \bar{Q}_C = 0.125$$

以上の考察から,

case c) 北部～中部が最も起こりやすい場合 (すなわち, 中部が活動するときは全体が活動する)

北部～中部	$29.7\% \times 0.25 = 7.4\%$	重み(25%)を考慮して,	1.9%
北部～牛伏寺	$29.7\% \times 0.25 = 7.4\%$		1.9%
牛伏寺～中部	$29.7\% \times 0 = 0\%$		0%
牛伏寺のみ	$29.7\% \times 0.5 = 14.9\%$		3.7%

case d) どのケースも等しい確率で起こるとした場合

北部～中部	$29.7\% \times 0.125 = 3.7\%$	重み(20%)を考慮して,	0.7%
北部～牛伏寺	$29.7\% \times 0.375 = 11.1\%$		2.2%
牛伏寺～中部	$29.7\% \times 0.125 = 3.7\%$		0.7%
牛伏寺のみ	$29.7\% \times 0.375 = 11.1\%$		2.2%

3.3.3.3 数値評価結果のまとめ

以上の計算結果を表にまとめると、表3.28のようになる。

表3.28 各事象別の、論理ツリーの各 case 毎の地震発生確率の表

	$P(A)$ 北部～中部	$P(B)$ 北部～牛伏寺	$P(C)$ 牛伏寺～中部	$P(D)$ 牛伏寺のみ	$P(E)$ 北部のみ	$P(F)$ 中部のみ
case a)	14.9%	—	—	—	—	—
b)	—	—	—	1.5%	0.2%	~0.0%
c)	1.9%	1.9%	0%	3.7%	—	—
d)	0.7%	2.2%	0.7%	2.2%	—	—
計	17.5%	4.1%	0.7%	7.4%	0.2%	~0.0%

更に地域別で考えて各事象を足しあわせると、以下のようなになる。

$$\text{牛伏寺} \quad P(A) + P(B) + P(C) + P(D) = 29.7\%$$

$$\text{北部} \quad P(A) + P(B) + P(E) = 21.8\%$$

$$\text{中部} \quad P(A) + P(C) + P(F) = 18.2\%$$

各セグメントが独立の場合と、複数のセグメントが同時に活動する場合とで、北部や中部セグメントでの地震発生確率は大きく異なる。北部セグメント ($\bar{T} = 2,000$ 年の場合) を例にとり、発生確率密度分布 (強度関数) を模式的に描くと図3.7のようになる。

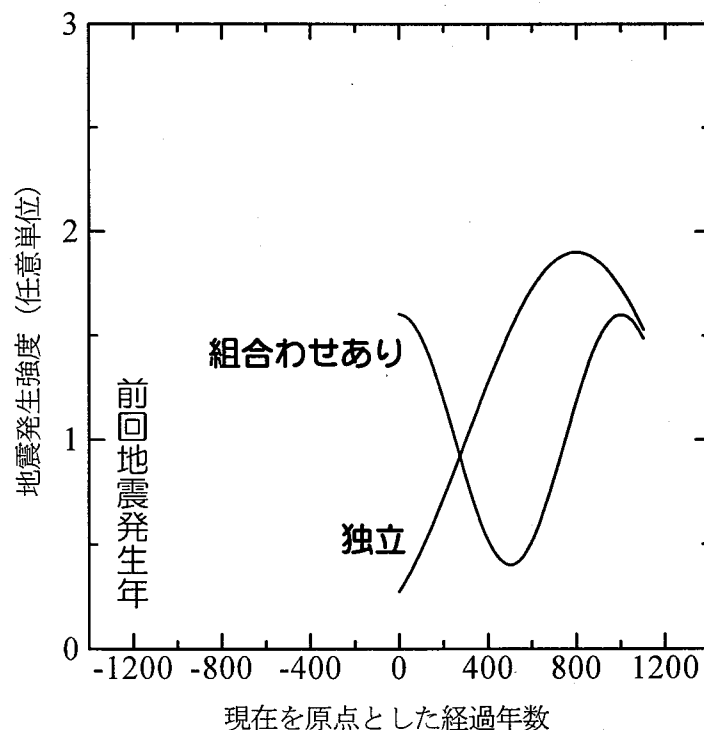


図3.7 北部セグメント ($\bar{T} = 2,000$ 年の場合) の発生確率密度分布 (強度関数) の模式図

第 4 章

まとめと今後の課題

4.1 妥当な統計モデル

以上、4つの更新過程のモデルについて議論してきたが、ほとんどの場合にAICに有意な差はなく、モデルによる明確な違いは見られなかった。いずれのモデルが最適かをよりの確に判断するためには、データの蓄積を待たなければならない。しかし、4つのモデルに比べてPoisson過程は地震発生間隔の統計量を良好に表していないということは間違いないようである。

この4つのモデルについてそれぞれパラメータが2つあるわけであるが、そのうち対数正規分布のパラメータは、我々に馴染みの深い統計量（平均、標準偏差）と非常に簡単な関係にある。他の3つのモデルでは、平均及び標準偏差はパラメータについての複雑な関数で表されるか、簡単に表せても各パラメータと1対1に対応しておらず、一方を固定して他方を変化させてみたりすることが非常に困難である。このような理由で、これらの4つのモデルに特に差異が見られないのであれば、直感的に理解しやすい対数正規分布を用いることが妥当であると考えられる。付録B.1の表B.1~B.15及び図B.1~B.2には、対数正規分布における、ばらつきをいろいろに変えたときの今後30年、50年、100年の地震発生確率一覧表及びグラフを掲げた。

ここで、陸域の活断層について、個々の断層固有のばらつきを仮定した場合と、各断層共通のばらつきを仮定した場合とでどのような差が生じるかを検討してみる [20]。断層のindexを k とし、断層 k において分かっている地震発生間隔データの個数を n_k 、個々に得られた σ の最尤値を σ_k とする。このとき、各断層の σ が共通であると仮定するとき、その最尤値 $\sigma_{\text{全体}}$ は次のように書き表せる。

$$\sigma_{\text{全体}} = \sqrt{\frac{\sum_k n_k \sigma_k^2}{\sum_k n_k}} \quad (4.1)$$

式(4.1)を用いて、阿寺断層、丹那断層、跡津川断層及び長野盆地西縁断層について $\sigma_{\text{全体}}$ を求めてみる。式(4.1)から、

$$\sigma_{\text{全体}} = \sqrt{\frac{5\sigma_{\text{阿寺I}}^2 + 5\sigma_{\text{丹那I}}^2 + 4\sigma_{\text{跡津川I}}^2 + 8\sigma_{\text{長野西縁I}}^2}{5 + 5 + 4 + 8}} \approx 0.231 \pm 0.046 \quad (4.2)$$

となる。なお式中の \pm 以降の値は、各 σ_k^2 を観測値とみたときの平均誤差が $\sigma_{\text{全体}}$ に与える誤差伝播として求めた、 $\sigma_{\text{全体}}$ の平均誤差である。このときのAICは約326.9となり、個々のAICの和約331.1よりも4.2だけ小さい。これは有意な差であり、このことから、少なくとも上記の4断層において

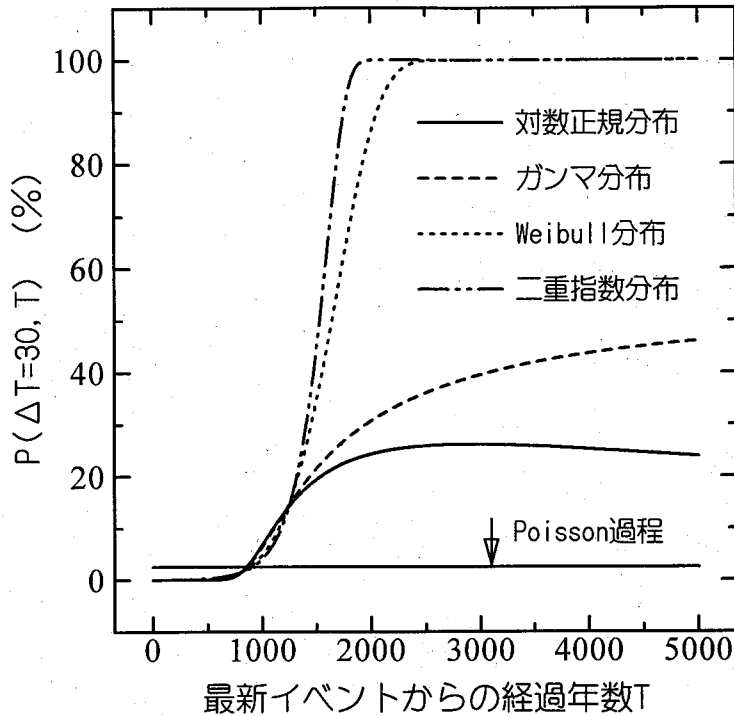


図 4.1 data set 丹那I (表 3.14参照) において, $\Delta T = 30$ 年とした場合の最新の地震からの経過時間に対する条件付き確率のグラフ

は, 共通のばらつきを用いたほうがより現実的であると結論づけられる。しかし, 猿投山北断層のトレンチ調査 [38] によって見出された4回の地震発生時期のデータ (ただし, これは予備的な結果である), 及び阿寺断層の data set 阿寺IIのように, ほぼ等間隔で発生しているように見える例もあり, 式(4.2)で得られた σ の値がすべての活断層に適用できるかどうかについては今のところ定かではなく, 今後も発表されるであろうデータを用いて検討を続けていくことが必要であると考えられる。一般に, データが豊富にある場合にはそれを説明するモデルを作ることができるが, データが少なく, しかもその精度がよくない場合は, パラメータを少なくする (この場合は1個にする) ことが望ましいと言える。この意味からも精度のよい発生年が数多く知られている断層のデータを用いて式(4.2)の $\sigma_{\text{全体}}$ を求める努力を続けていくことが重要である。

式(2.13)~(2.16)の4つのモデルの条件付き確率のうち, ΔT を固定したとき, 対数正規分布においてはある T で極大値をもつ [39,40]。それ以外のモデルは T に対して単調増加関数である (図 4.1参照*)。図から, 平均発生間隔付近では, 地震発生確率はどの分布をとっても変わらないが, 平均発生間隔から更に十分時間が経過したところでは, モデルによりかなりの差が出てくることが読み取れる。対数正規分布における条件付き確率の極大値は, 式(2.13)で $\partial P(T, \Delta T)/\partial T = 0$ としたものを整理した式, すなわち

$$T \exp\left(\frac{\xi^2}{2}\right) \{1 - \Phi(\xi)\} - (T + \Delta T) \exp\left(\frac{\eta^2}{2}\right) \{1 - \Phi(\eta)\} = 0 \quad (4.3)$$

* グラフが示唆するように, ガンマ分布の条件付き確率には1以外の上限があり, その値は $1 - e^{-c\Delta T}$ である。これは生起率 c の Poisson 過程における条件付き確率に他ならない。この事実は, 2.1.2で述べたように, もともとガンマ分布の更新過程が Poisson 過程の拡張 ($r-1$ 個おきの事象に着目したもの) であることから理解できる。

$$\text{ただし, } \xi = \frac{\ln T - m}{\sigma}, \eta = \frac{\ln(T + \Delta T) - m}{\sigma}$$

を満たす T によって与えられる。付録 B.2 の表 B.16~B.18 に、代表的な ($\hat{T} = e^m, \sigma, \Delta T$) の組について、式 (B.1) (式 (2.13) と若干異なる) の確率の極大値とそのときの経過年数を、 ΔT が 30 年、50 年、100 年の場合について示した。

この、対数正規分布だけが極大値をもつという性質は、4 つの分布のうち、この分布だけが、密度関数の裾が逆冪乗的にゆっくり減衰するという事情に関係している。これに対して、他の 3 つの分布の密度関数の裾は指数的より早く減衰する。発生間隔を大幅に越えても地震が発生しなかった場合、各モデルが与える地震発生確率は図 4.1 が示すように大幅に異なるが、いずれのモデルが適切かをこれまでのデータから判断するのは困難である。

なお、一般に、分布の裾が逆冪乗的にゆっくり減衰するような分布は、データに異常値（普通より長すぎる間隔）があってもそれに鈍感で、安定した標準的なパラメタを与える。一方、裾が急激に減衰する分布は異常値に対して敏感に反応する。仮に、発見されていない地震があつて、そのために発生間隔が異常に長く見えていても、それが一つぐらいならば対数正規分布を用いて処理することが可能かもしれない。ただし、そのためにはシミュレーションなどで確認することが必要である。

4.2 確率の数値評価のまとめ

海溝型地震及び陸域の活断層による地震の地震発生確率を、モデルを対数正規分布にとり、今後 30 年以内に発生する確率としてまとめると表 4.1 のようになる。この表には、用いたデータセット別に、対数正規分布での地震発生確率の極大値及び対応する平均発生間隔を用いた Poisson 過程による地震発生確率も併せて示した。これまでも述べてきたことであるが、活断層の一部のデータには、信頼度の低いものも含まれているので注意が必要である。信頼度の低いデータしか得られていない断層については、調査を充実させることにより、信頼度を高める必要があることはいままでもない。そして、信頼度の高いデータが得られた場合は、その都度、計算値を更新することが重要である。例えば、活断層調査が進んで新たなデータが得られた場合、再計算した確率の値が大きく変わるという事態は十分考えられることである。

表を見ると、評価時点が現在の中では、宮城県沖の地震が最も高い確率を示していることが分かる。これは、発生間隔がおおよそ 45 年、前回の地震から約 20 年経過しているという状況下で、しかも今後 30 年間という、発生間隔に匹敵するほどの長い時間幅の発生確率を計算したという事情を反映したものである。次いで高い確率を示すのは想定「東海地震」の震源域である。ここで基づいた仮定は、駿河湾の地震はこれまでおおよそ 170 年間隔で繰り返して発生してきたが、前回の 1854 年の地震から 140 年以上経過している、という、最も単純なものである。

南海トラフ沿いの巨大地震の現時点における発生確率は、何種類かのデータセットを用いて、更新過程を利用して計算した。得られた確率の値は、用いるデータセットによって、表に示した程度の差異（4.8%と1.0%）が見られる。この地震については、室津の地殻変動データを利用して時間予測モデルも用いて計算したが、更新過程による結果と大きく異なる結果（32%）が得られている。この事情は、更新過程に基づく計算では、前回の地震発生時点から平均発生間隔の時間が

表 4.1 南海トラフ等プレート間地震と陸域の活断層における、今後30年以内の地震発生確率（データは暫定、モデルは対数正規分布、確率の単位はいずれも%）

断層	評価時点	σ の値	発生確率(%) (今後30年)	対数正規分布での 確率の極大値(%)	Poisson過程 での確率(%)	掲載表	歴史地震の 例とそのM
南海Ⅰ	現在	0.36	4.8	48.2	17	表3.3	1946年 M8.0
南海Ⅲ	現在	0.16	1.0	97.3	22	表3.3	"
南海*	現在	0.3	32	76.3	28	表3.6	"
南海Ⅲ'	1946年	0.13	42	99.4	21	表3.5	"
「東海」†	現在	0.33	37	50.3	16	表3.3	
宮城沖Ⅲ	現在	0.40	68	85.6	49	表3.9	1978年 M7.4
阿寺Ⅰ	現在	0.23‡	~0.0	11.8	1.6	表3.12	1586年 M7.8
阿寺Ⅰ'	1586年	0.23‡	5.8	11.8	1.6	—	"
丹那Ⅰ	現在	0.23‡	~0.0	17.4	2.5	表3.15	1930年 M7.3
丹那Ⅰ'	1930年	0.23‡	2.8	16.5	2.4	—	"
跡津川Ⅰ'	1858年	0.23‡	1.4	8.0	1.1	—	1858年 M7.0~7.1
長野Ⅰ'	1847年	0.23‡	10.8	18.8	2.7	—	1847年 M7.4
牛伏寺	現在	0.23‡	14	19.7	3.0	—	762年? M7.0以上
牛伏寺*	現在	0.2	10~36	21.5~36.8	3~5	表3.23	"
野島*	1995年	0.2	4~9	12.8~15.5	1~2	表3.23	1995年 M7.2

* 時間予測モデルを使用

† 南海Ⅳの data set を使用

‡ 式(4.2)で得られた共通の σ を使用

経過するまではまだ60年以上（用いるデータセットによっては100年以上）あるのに対し、時間予測モデルに基づく計算では、図3.2から読みとると、既に40年以下となっていることと対応していると考えられる。いずれが現実にあっているかは今後の検討課題である。なお、前回の南海地震（1946年）は30年確率が42%の時に発生したことが分かる。これは、次回の南海地震もそのとおりになることを意味するものではないことはもちろんである。

表4.1で、陸域の断層における地震の発生確率は、式(4.2)で求めた平均的な σ の値を用いて再計算した結果も掲載してある。活動間隔が約2,000年の阿寺断層は1586年の活動から400年程度しか経過していないので、現在の確率は非常に低い状態にある。これはある意味では安心情報と言える。しかし、阿寺断層の周辺には多くの活断層が走っており、特定の場所が強震動をこうむる可能性を検討するためには、周辺の活断層の状態も評価する必要があることはいうまでもない。丹那断層の現在の状態も同様である。

3.2.1.2節及び3.2.1.3節において、丹那断層における北伊豆地震（1930年）や跡津川断層における飛越地震（1858年）はかなり低い確率しかない時に発生したと述べた。平均的な σ の値を用いて再計算した結果でも、発生した時の30年確率は5%よりも低いことには変わりはないものの、Poisson過程での確率、つまり、地震は時間的に一定の確率で不規則に発生すると考えたときの確率よりは大きな確率で起こったことが分かる。善光寺地震（1847年）発生直前の長野盆地西縁断層や現在の牛伏寺断層は、兵庫県南部地震の直前時点の野島断層よりも、高い確率になっていることが分かる。断層の活動間隔のばらつきを考慮すると、牛伏寺断層の次回の活動時期についてはなお100年以上のあいまいさが残るが、今回扱っている統計モデルからはこれ以上のことは推定できない。

さて、確率の数字の使い方について、統計的仮説の有意性の検定において、統計学の習慣では、

有意水準を5%あるいは1%に設定して、それ以下の確率しか持たない事象は起こらないと判断することが多い。しかし、その有意水準の値に必然的な理由があるわけではない。特に、統計的検定に基づく判断が誤った場合には重大な影響があるような案件では、有意水準はもっと小さな値に設定されるべきであろう。極端な場合には、可能性が0でない以上、対策をとっておく、という判断もあるかもしれない。また、ここで取り扱っている確率の数字は、それを評価する期間の長短に応じて大小することも重要な性質である。つまり、有意水準をある値に設定するとしても、それが30年間の確率なのか、100年間の確率なのかも同時に指定する必要がある。一般に、確率を評価する期間の長さは、対策の対象とするものの使用年限に応じて決定されるべきものであろう。

4.3 発生確率の時間変化

対数正規分布と Poisson 過程の違いをより明確に示すために、図4.2~4.10に、表4.1で示した南海トラフ、宮城県沖、阿寺断層、丹那断層、跡津川断層及び長野盆地西縁断層の地震について、経過年数に対する危険率のグラフを掲げた。これらのグラフは各断層の現在おかれている状況及び地震発生直前の状況をよく示している。これらの図から、その断層からの地震発生を注意喚起するためのいくつかの指標を考えることができる。それらの指標を表4.2にまとめて示した。

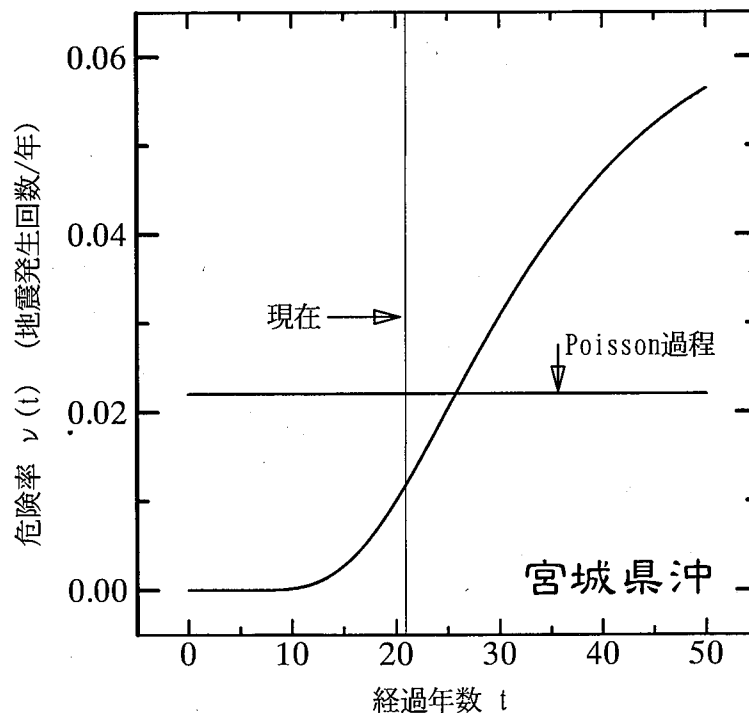


図4.2 data set 宮城沖Ⅲ（宮城県沖地震）における、危険率 $\nu(t)$ の経過年数 t に対するグラフ

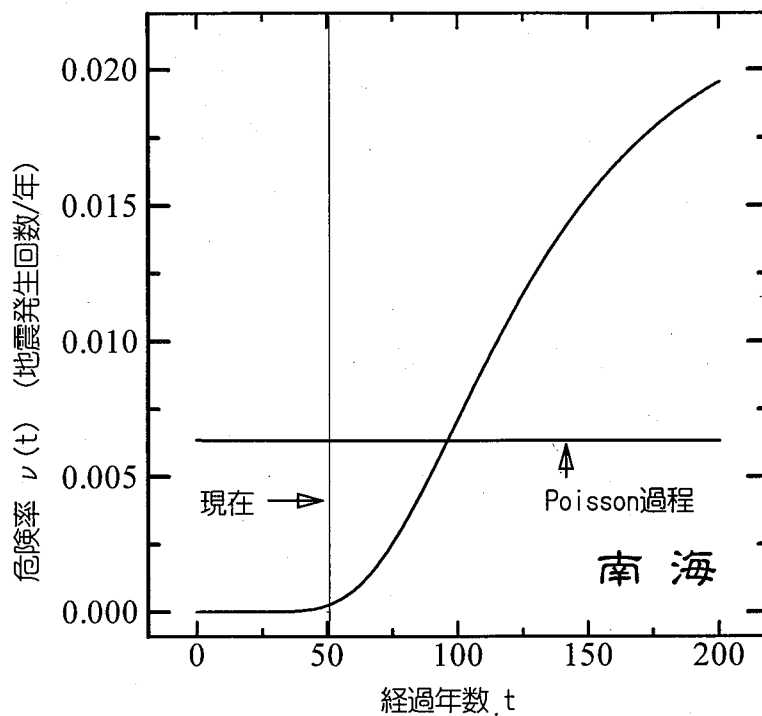


図 4.3 data set 南海 I (南海地震) における, 危険率 $\nu(t)$ の経過年数 t に対するグラフ

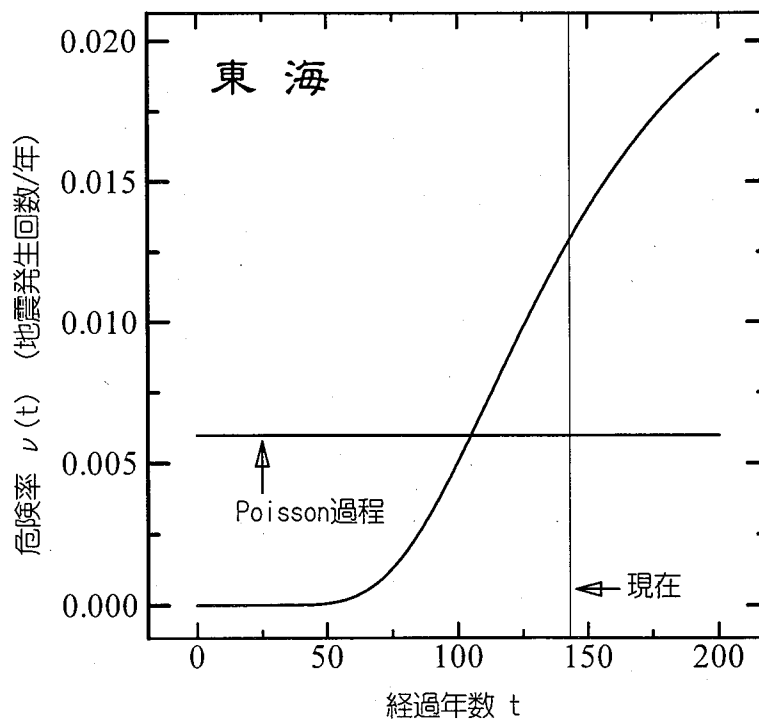


図 4.4 data set 南海 IV (想定東海地震) における, 危険率 $\nu(t)$ の経過年数 t に対するグラフ

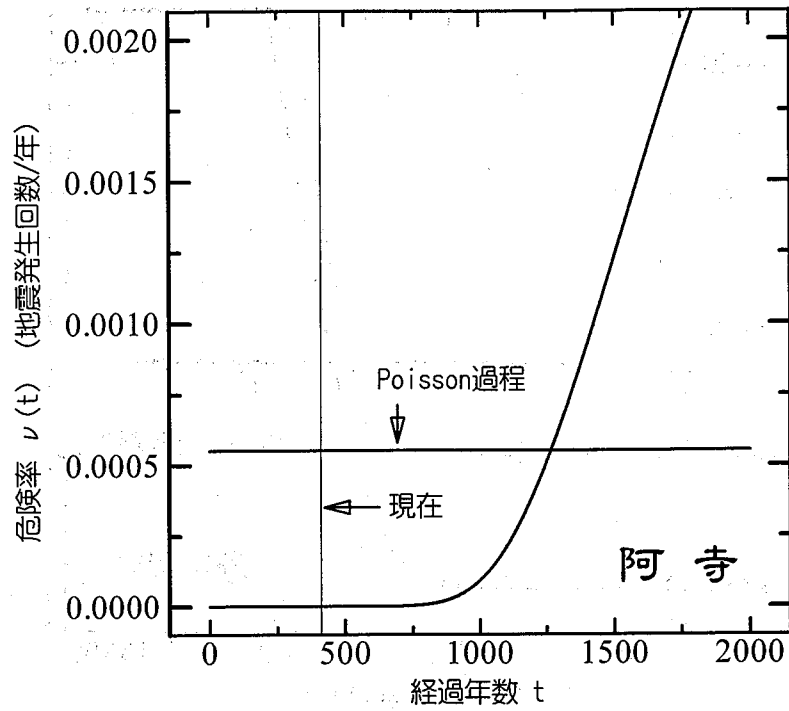


図 4.5 data set 阿寺 I (現在の阿寺断層) における, 危険率 $\nu(t)$ の経過年数 t に対するグラフ

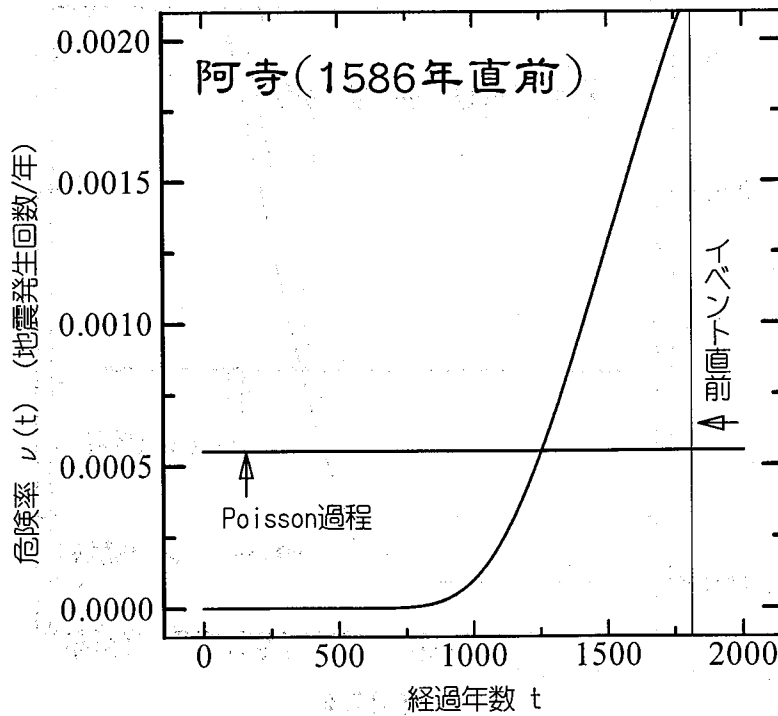


図 4.6 data set 阿寺 I' (最新の地震発生直前の阿寺断層) における, 危険率 $\nu(t)$ の経過年数 t に対するグラフ

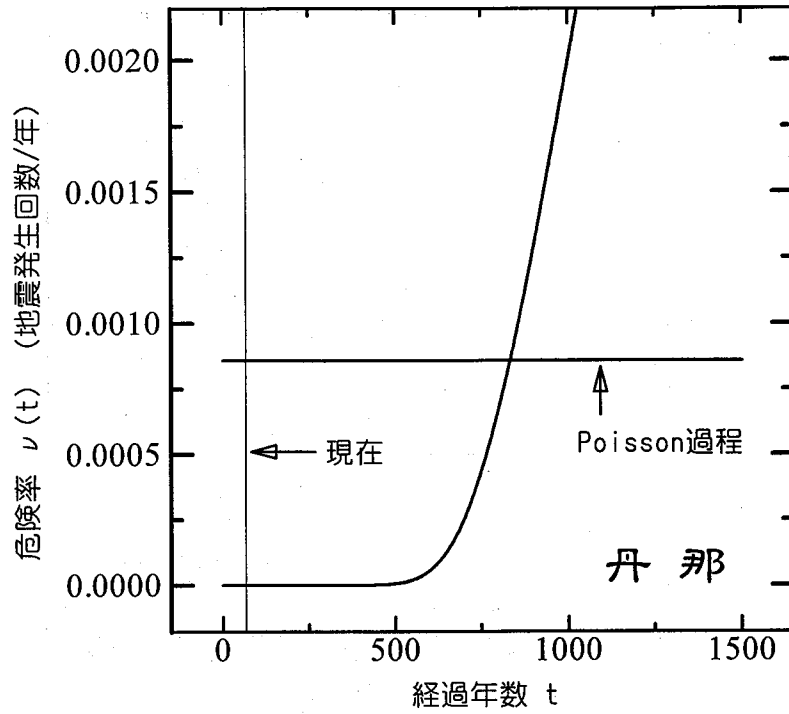


図4.7 data set 丹那I (現在の丹那断層) における, 危険率 $\nu(t)$ の経過年数 t に対するグラフ

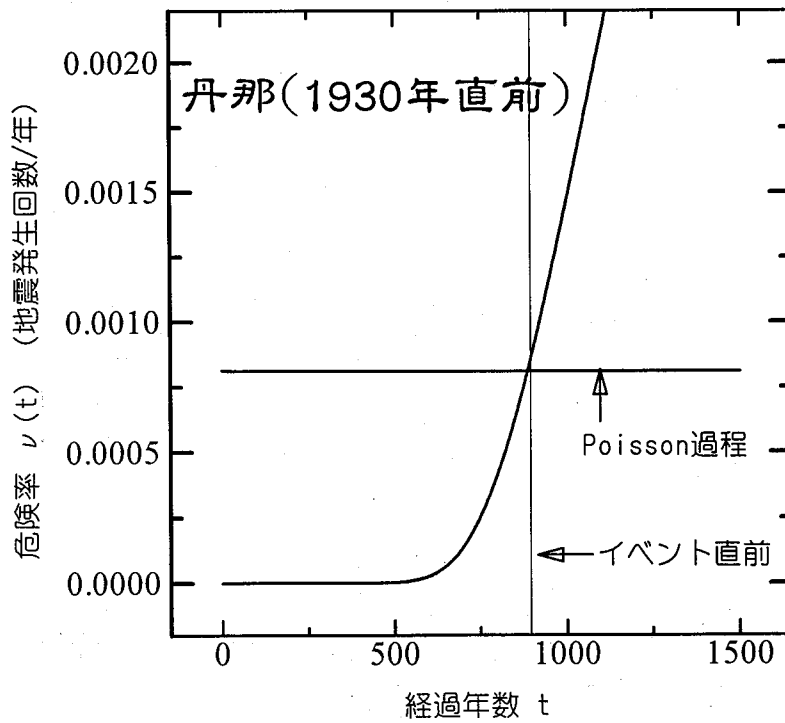


図4.8 data set 丹那I' (最新の地震発生直前の丹那断層) における, 危険率 $\nu(t)$ の経過年数 t に対するグラフ

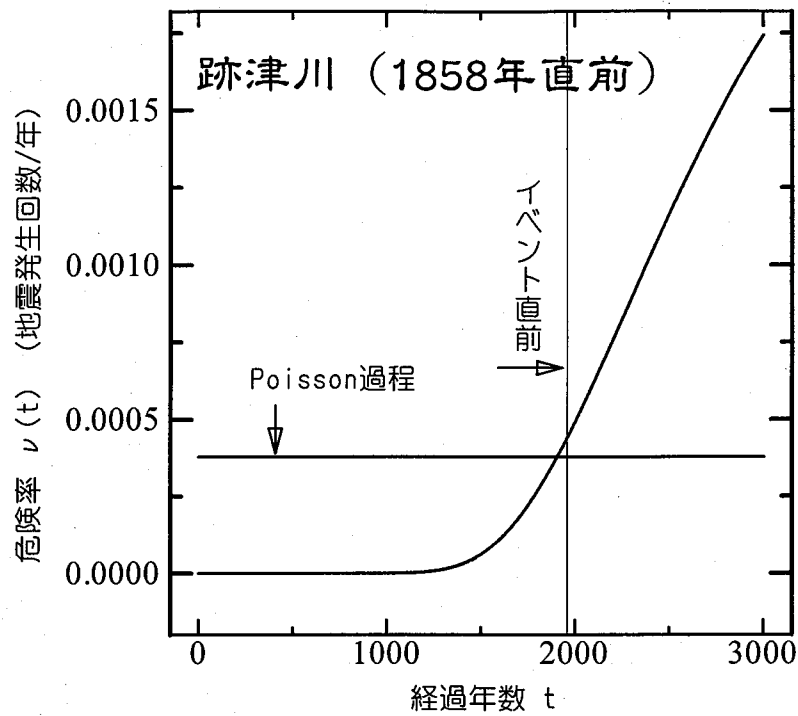


図 4.9 data set 跡津川 I' (最新の地震発生直前の跡津川断層) における, 危険率 $\nu(t)$ の経過年数 t に対するグラフ

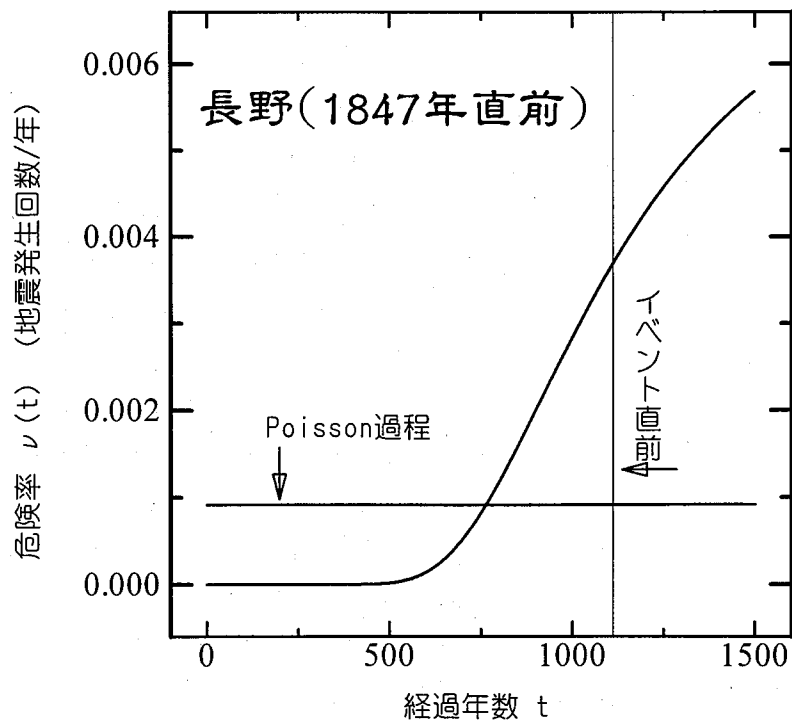


図 4.10 data set 長野 I' (最新の地震発生直前の長野盆地西縁断層) における, 危険率 $\nu(t)$ の経過年数 t に対するグラフ

表4.2 断層の活動を注意喚起するための指標（データは暫定）

断層	評価時点	指標(1)		指標(2)	指標(3)	指標(4)	指標(5)
		経過年数	比				
南海Ⅰ	現在	-44	0.542	0.0489	0.18	0.100	0.0063
南海Ⅲ	現在	-41	0.562	~0	~0	0.010	0.0083
南海Ⅲ'	1946年	-8	0.920	0.303	1.0	0.425	0.0080
「東海」	現在	39	1.37	2.19	38.9	0.727	0.0060
宮城沖Ⅲ	現在	-5	0.798	0.507	4.1	0.797	0.022
阿寺Ⅰ	現在	-852	0.327	~0	~0	~0	0.00055
阿寺Ⅰ'	1586年	478	1.38	3.58	49.1	0.493	0.00055
丹那Ⅰ	現在	-764	0.0818	~0	~0	~0	0.00086
丹那Ⅰ'	1930年	9	1.01	1.06	8.9	0.169	0.00081
跡津川Ⅰ'	1858年	52	1.03	1.16	10.2	0.170	0.00038
長野Ⅰ'	1847年	348	1.46	4.04	58.9	0.574	0.00091
牛伏寺	現在	452	1.61	6.06	81.9	0.679	0.0010
野島	1995年	518	1.37	4.23	54.0	0.471	0.00053

- 指標(1): 「経過年数」の欄: Poisson過程の危険率を越えてからの経過年数
(負符号はその危険率を越えるまでに残された年数)
「比」の欄: 前回の地震発生時から評価時点までの経過時間(B)と
前回の地震発生時からPoisson過程の危険率を越えるまでの時間(A)の比(B/A)
- 指標(2): 評価時点の危険率と、Poisson過程の危険率との比
指標(3): 前回の地震発生時から評価時点までの集積確率(%)
指標(4): 今後30年間で、確率と対数正規分布での確率の極大値との比
指標(5): Poisson過程での危険率(地震発生回数/年)

表4.2で、指標(1)の欄はPoisson過程の危険率を越えてからの経過年数(負符号はその危険率を越えるまでに残された年数)、及び前回の地震発生時から評価時点までの経過時間(B)と前回の地震発生時からPoisson過程の危険率を越えるまでの時間(A)の比(B/A)を示す。両者とも大きくなるほど、注意が必要であることを意味する。指標(2)は評価時点の危険率とPoisson過程の危険率の比である。これも大きいほど注意が必要であることを意味する。なお、指標(2)は指標(1)の「経過年数」の正負に応じて1より大きくなったり、小さくなったりするという性質がある。指標(3)は集積確率(%)である。これは前回の地震発生時点で見ると、その時から評価時点までに地震が発生しているはずの確率である。大きい数字ほど注意が必要であることを意味する。仮に数多くの断層を地震発生直前に評価したとすれば、半分の断層は指標(3)が50%以下で、残りの半分は50%以上で地震を起こしたことになると考えられる。指標(4)は今後30年間の発生確率と対数正規分布モデルでの確率の極大値(4.2節の後半の説明及び図4.1参照)の比で、これは表4.1の該当する2つの欄の値から計算される。これも大きいほど注意が必要であることを意味する。指標(5)はPoisson過程での1年間あたりの地震発生回数である。これは地震の発生間隔よりも十分長い期間で平均したもので、間隔の短い断層ほど大きな値をとる。

この表から、例えば次のようなことを読みとることができる。まず、南海地震の現在の状態であるが、30年確率(表4.1)はdata set IとⅢとで大きく違っていたが、Poisson過程の危険率を

越えるのはいずれも約40年後と、それほど大きな違いはない。想定「東海地震」の場合は1854年の地震発生から Poisson 過程の危険率を越えるまでの時間の1.3倍以上の期間（実年代でいうと約40年）がすでに経過しており、集積確率も約40%に達している。宮城県沖の地震は表4.1の30年確率では高い値を示したものの、Poisson 過程の危険率を越えるまでに約5年ぐらいある。1586年の阿寺断層の地震（天正地震）は集積確率が約50%の時に発生した。この地震が起きているために阿寺断層の次の地震は、Poisson 過程の危険率を越えるまでにまだ800年以上残っている。1930年の丹那断層の地震（北伊豆地震）も1858年の跡津川断層の地震（飛越地震）も Poisson 過程の危険率を越えてすぐ（それぞれ、約9年後、約52年後）に起こった。これらの地震は、表4.1にあるように、30年確率が2.8%あるいは1.4%という低い値のときに起こったが、値が低いと言っても対数正規分布での確率の極大値の、ともに1/6（約0.17）程度の大きさは持っていた。1847年の長野盆地西縁断層帯の地震（善光寺地震）は Poisson 過程の危険率を越えた後、300年以上経過してから起こった。

なお、表4.2の数字の多くは3桁で記入されているが、これらは前提の与え方によって大きく変化するものであり、取り扱いや解釈には十分な注意が必要である。

4.4 確率の誤差評価

ここでは、更新過程のパラメータの誤差とそれに伴う地震発生確率への誤差の伝播について、簡単な検討を行う [41]。本報告書で扱った更新過程モデルのパラメータは2つなので、それを一般的に θ_1, θ_2 とする。対数尤度 $\ln L(\theta_1, \theta_2)$ の Hessian (2階微分の行列) を

$$H \equiv \begin{pmatrix} \frac{\partial^2 \ln L}{\partial \theta_1^2} & \frac{\partial^2 \ln L}{\partial \theta_1 \partial \theta_2} \\ \frac{\partial^2 \ln L}{\partial \theta_2 \partial \theta_1} & \frac{\partial^2 \ln L}{\partial \theta_2^2} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} H_{\theta_1 \theta_1} & H_{\theta_1 \theta_2} \\ H_{\theta_2 \theta_1} & H_{\theta_2 \theta_2} \end{pmatrix} \quad (4.4)$$

とすると*、パラメータの共分散行列 $\text{Cov}(\theta_1, \theta_2)$ は近似的に、

$$\text{Cov}(\theta_1, \theta_2) = (-H)^{-1} \quad (4.5)$$

で与えられる。推定すべき確率が $P(T, \Delta T; \theta_1, \theta_2)$ で与えられるとすると、その分散は

$$\begin{aligned} \text{Var}(P) &= \begin{pmatrix} \frac{\partial P}{\partial \theta_1} & \frac{\partial P}{\partial \theta_2} \end{pmatrix} \text{Cov}(\theta_1, \theta_2) \begin{pmatrix} \frac{\partial P}{\partial \theta_1} \\ \frac{\partial P}{\partial \theta_2} \end{pmatrix} \\ &= \frac{1}{H_{\theta_1 \theta_2}^2 - H_{\theta_1 \theta_1} H_{\theta_2 \theta_2}} \left\{ \left(\frac{\partial P}{\partial \theta_1} \right)^2 H_{\theta_2 \theta_2} - 2 \frac{\partial P}{\partial \theta_1} \frac{\partial P}{\partial \theta_2} H_{\theta_1 \theta_2} + \left(\frac{\partial P}{\partial \theta_2} \right)^2 H_{\theta_1 \theta_1} \right\} \quad (4.6) \end{aligned}$$

となる。以下の図4.11~4.14に、data set 南海Iを例にとったときの、今後30年における地震発生確率の誤差範囲を真値（グラフの実線）から $\pm \sqrt{\text{Var}(P)}$ （グラフの点線）の範囲として示した。これらの図において、確率の数値は真値（グラフの実線）の重みが最も高く、そこから上下に離れるほど小さくなる。

*実際は、 H は対称行列であり、 $H_{\theta_1 \theta_2} = H_{\theta_2 \theta_1}$ である。以後の計算では、この事実を使っている。

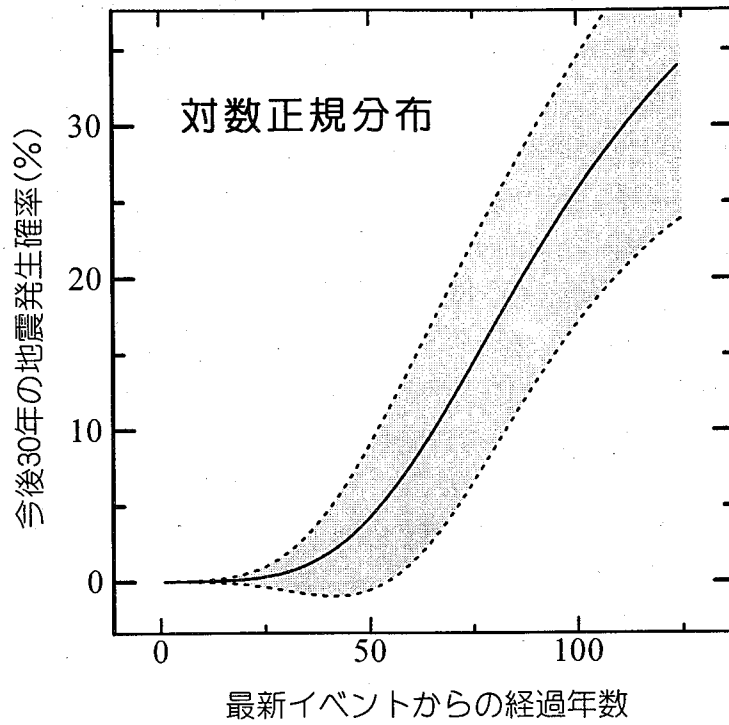


図 4.11 対数正規分布の確率誤差の例

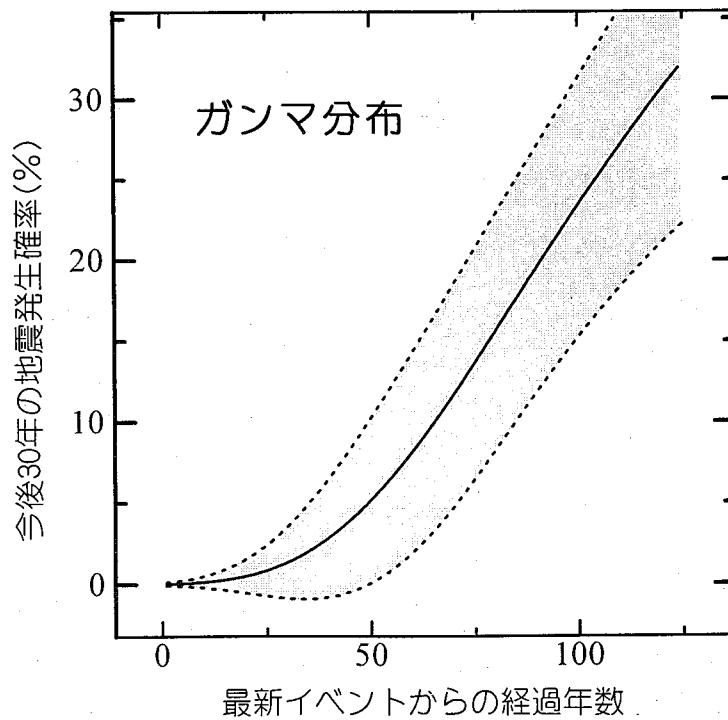


図 4.12 ガンマ分布の確率誤差の例

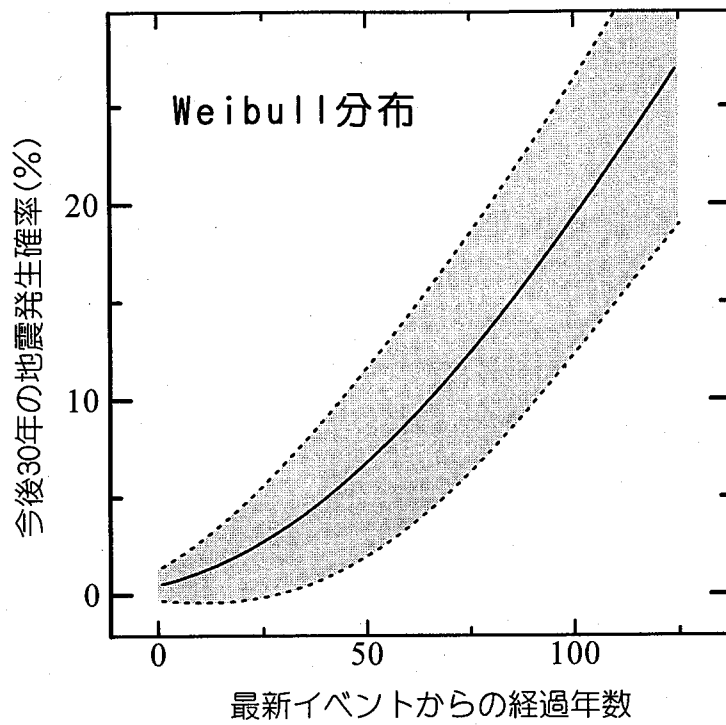


図4.13 Weibull分布の確率誤差の例

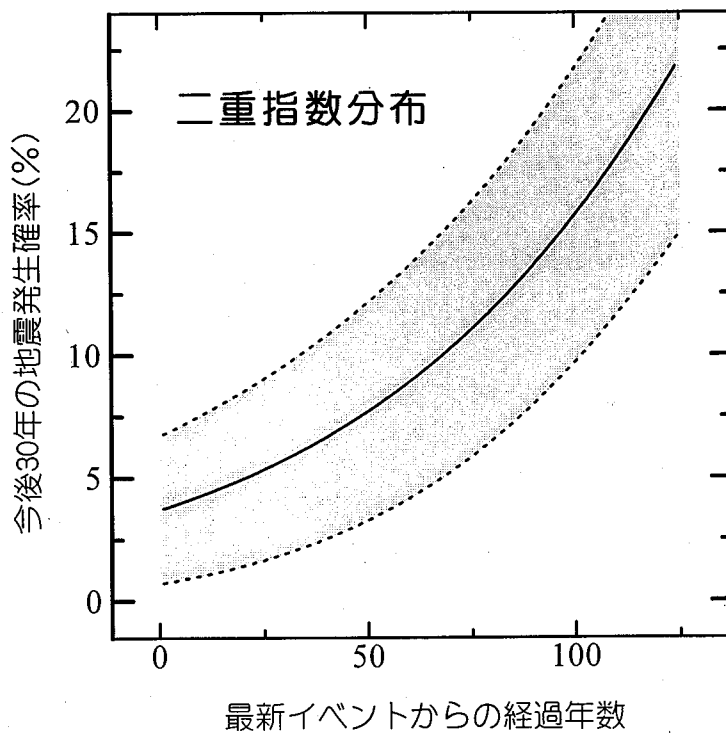


図4.14 二重指数分布の確率誤差の例

4.5 長期確率評価によって得られる確率の数値の理解に向けて

本報告書に示した確率の数値は、時間の経過により評価時点が変化することに応じて変化する。地震の発生間隔が短いほど、その変化の割合も大きい。その他にも、以下の事項に留意することが必要である。

(1) データの精度

今後、活断層調査の進展や歴史地震についての新たな知見の蓄積があり、過去の地震活動に関する確度の高いデータが得られた場合に、そのデータに基づいて再度、評価を実施すると、得られる確率の値が大きく変わるということは十分考えられることである。この報告書で確率の計算に用いたデータも暫定的なものであり、精度が悪い場合には、将来、数値が大きき方へ、または小さい方へ変更される場合もありうる。

(2) 確率の信頼度

一般に、信頼度の低いデータに基づいて得られた確率は信頼度が低いと考えられる。このため、基づいたデータの信頼度を表す何らかの表現（例えばA, B, C等）が考案できれば、間接的に確率の数値の信頼度が分かることになり、その利用価値は高いと考えられる。つまり、データの信頼度を示す記号が、確率の値が今後どの程度変わり得るかを判断する指標となる。

(3) 確率の上限

確率の数値は、長期確率評価で使用するモデルの性格上、最高に上がっても100%には達しない（表B.16～B.18参照）。例えば30年確率の極大値は、表4.1に示したように、プレート間の地震の場合でも50%前後のものもあり、また、陸域の断層では10%に達しない場合もある。つまり、この評価手法が与える確率の数値は頭打ちになるということである。したがって、低い数値であっても、単に安心情報と理解せず、そのモデルがもたらす確率の最大値と比較して考える必要がある。

(4) 判断への利用

確率の数字を判断に利用する場合には、統計学の習慣では有意水準を5%あるいは1%に設定して、それ以下の確率しか持たない事象は起こらないとすることが多い。しかし、その有意水準の値に必然的な理由があるわけではないので、判断が誤った場合に重大な影響が生じる案件では、その重大さに応じて、有意水準をもっと小さな値に設定すべきである。

(5) 注意喚起の指標の利用

長期評価手法で得られる確率の数値は、その数値のみを一面的に捉えるのではなく、4.3節で示した断層の活動を注意喚起するための各種の指標も利用していくことが重要である。なお、それらの指標の利用方法について、更に検討を進めていくことも必要である。

参考文献

- [1] 総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会 (1997): 『日本の地震活動—被害地震から見た地域別の特徴—』, 391pp.
- [2] Working Group on California Earthquake Probabilities (1988): Probabilities of large earthquakes occurring in California on the San Andreas fault; *U.S.G.S. Open-File Report 88-398*, 62pp.
- [3] Working Group on California Earthquake Probabilities (1990): Probabilities of large earthquakes in the San Francisco bay region, California; *U.S. Geol. Surv. Circ. 1053*, 51pp.
- [4] Working Group on California Earthquake Probabilities (1995): Seismic hazards in southern California: probable earthquakes, 1994 to 2024; *Bull. Seism. Soc. Am.* **85**, 379-439.
- [5] 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.
- [6] Rikitake, T. (1976): Recurrence of great earthquakes at subduction zones; *Tectonophysics* **35**, 335-362.
- [7] Suzuki, Y., and M. Matsuo (1995): A probabilistic estimation of the expected accelerations of earthquake motion by inland active faults and its application to earthquake engineering; “*Applications of Statistics and Probability – Civil Engineering Reliability and Risk Analysis*” M. Lemaire et al. eds.,(Balkema Press), 635-641.
- [8] 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**, 別冊, 53-71.
- [9] Nishenko, S. P., and R. Buland (1987): A generic recurrence interval for earthquake forecasting; *Bull. Seism. Soc. Am.* **77**, 1382-1399.
- [10] Utsu, T. (1984): Estimation of parameters for recurrence models of earthquakes; *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo* **59**, 53-66.
- [11] Hagiwara, Y. (1974): Probability of earthquake occurrence as obtained from a Weibull distribution analysis of crustal strain; *Tectonophysics* **23**, 313-318.

- [12] Nishenko, S. P. (1985): Seismic potential for large and great interplate earthquakes along the Chilean and southern Peruvian margins of the South America; *J. Geophys. Res.* **90**, 3589–3615.
- [13] Mogi, K. (1962): Study of elastic shocks caused by the fracture of heterogeneous materials and its relations to earthquake phenomena; *Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo* **40**, 125–173.
- [14] 伏見 正則 (1987): 『理工学者が書いた数学の本 確率と確率過程』(講談社), 172pp.
- [15] Shimazaki, K., and T. Nakata (1980): Time-predictable recurrence model for large earthquakes; *Geophys. Res. Lett.* **7**, 279–282.
- [16] 島崎 邦彦 (1996): 時間予測モデルとは; 地震ジャーナル **21**, 43–48.
- [17] Ogata, Y.(1998): Estimating the hazard of rupture using uncertain occurrence times of paleoearthquakes; Research Memorandum, Inst. Statistical Mathematics, 702, 13pp.
- [18] 奥村 俊彦・石川 裕・亀田 弘行 (1997): 活断層の活動履歴に関する情報を考慮した地震危険度評価; 第2回 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, 49–56.
- [19] 島崎 邦彦・河瀬 和重・青木 元 (1998): 長大活断層系における活動区間設定の一モデル; 日本地震学会1998年度秋季大会講演予稿集, C52.
- [20] 島崎 邦彦・河瀬 和重・佐竹 健治・鈴木 康弘・尾形 良彦・井元 政二郎・隈 元崇 (1998): 地震の繰り返し発生に関する統計モデルの検討; 日本地震学会1998年度秋季大会講演予稿集, P136.
- [21] 都司 嘉宣・上田 和枝 (1997): 明応(1498)南海地震の存在とその日付について; 地球惑星科学関連学会1997年合同大会講演予稿集, 169.
- [22] 寒川 旭 (1997): 『揺れる大地 日本列島の地震史』(同朋舎出版), 42–44.
- [23] Akaike, H. (1974): A new look at the statistical model identification; *IEEE Trans. Automat. Contrl.* **AC-19**, 667–674.
- [24] 坂元 慶行, 石黒 真木夫, 北川 源四郎 (1983): 『情報量統計学』(共立出版), 236pp.
- [25] 沢村 武雄 (1953): 西南日本外側地震帯の活動と四国及びその付近の地質, 地殻変動との関係; 高知大学学術研究報告 **2** No.15, 1–46.
- [26] Tsukuda, E. (1987): Migration of historical earthquakes, central Japan; *Proc. Conference XXXIX, Directions in Paleoseismology, U.S.G.S. Open-File Report 87-673*, 271–284.
- [27] 岡田 篤正・松田 時彦 (1976): 岐阜県東部, 小野沢峠における阿寺断層の露頭と新期断層運動; 地理学評論 **49**, 632–639.

- [28] 平野 信一・中田 高 (1981): 阿寺断層に沿う第四紀後期の断層変位から推定した地震活動; 地理学評論 54, 231-246.
- [29] 丹那断層発掘調査研究グループ (1983): 丹那断層 (北伊豆・名賀地区) の発掘調査; 地震研究所彙報 58, 797-830.
- [30] Kumamoto, T. (1997): Changes in seismic hazard due to large earthquakes estimated from Coulomb failure function in Japan; *Geographical Reports of Tokyo Metropolitan Univ.* 32, 1-14.
- [31] 跡津川断層トレンチ発掘調査団 (1989): 岐阜県宮川村野首における跡津川断層のトレンチ発掘調査; 地学雑誌 98, 440-463.
- [32] 栗田 泰夫・佃 栄吉 (1993): 最近1万年における跡津川断層の活動 (演旨); 日本地震学会講演予稿集 1993 2, 199.
- [33] 総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会 (1997): 糸魚川-静岡構造線活断層系の調査結果と評価について; 地震調査委員会報告集-1995年7月~1996年12月-, 501-510.
- [34] 栗田 泰夫・鈴木 康弘 (1996): 1995年兵庫県南部地震を生起した野島断層系の活動履歴及び活動性調査; 地質調査所研究資料集 259 (平成7年度活断層研究調査概要報告書), 248.
- [35] 栗田 泰夫・水野 清秀・杉山 雄一・井村 隆介・下川 浩一・奥村 晃史・佃 栄吉・木村 克己 (1996): 兵庫県南部地震に伴って淡路島北西岸に出現した地震断層; 地震第2輯 49, 113-124.
- [36] Savage, J. C. (1991): Criticism of some forecasts of the national earthquake prediction evaluation council; *Bull. Seism. Soc. Am.* 81, 862-881.
- [37] Savage, J. C. (1992): The uncertainty in earthquake conditional probabilities; *Geophys. Res. Lett.* 19, 709-712.
- [38] 野澤 竜二郎・杉村 昌広・鈴木 康弘 (1998): 活断層の地震危険度評価と近傍地盤変形の検討-愛知県猿投山北断層を例として-; 地盤工学会誌 (土と基礎) 46-2, 27-29.
- [39] Davis, P. M., D. D. Jackson and Y. Y. Kagan (1989): The longer it has been since the last earthquake, the longer the expected time till the next?; *Bull. Seism. Soc. Am.* 79, 1438-1456.
- [40] Sornette, D. and L. Knopoff (1997): The paradox of the expected time until the next earthquake; *Bull. Seism. Soc. Am.* 87, 789-798.
- [41] 井元 政二郎 (1998): 繰り返し発生する地震の統計モデルに関する誤差について; 日本地震学会1998年度秋季大会講演予稿集, P135.

付録 A

最尤法について

A.1 基本的概念

A.1.1 最尤法

任意に取り出した無作為標本がある確率密度関数に従うとしたとき、関数に内包される不定のパラメータの推定量を標本から見つけ出す方法として、以下に述べる最尤法 (method of maximum likelihood) がある。

X_1, X_2, \dots, X_n を密度関数 $f(x; \{\theta_j\}_{j=1}^m)$ をもつ分布からの独立標本とし、それらの同時密度関数を、

$$L(\{\theta_j\}_{j=1}^m; x_1, x_2, \dots, x_n) \equiv \prod_{i=1}^n f(x_i; \{\theta_j\}_{j=1}^m)$$

とおく。これは $\{x_i\}_{i=1}^n, \{\theta_j\}_{j=1}^m$ の関数であるが、データ $\{x_i\}_{i=1}^n$ を固定し、 $\{\theta_j\}_{j=1}^m$ の関数と考えたとき尤度関数 (likelihood function) という。更に、 $L(\{\theta_j\}_{j=1}^m)$ の値を最大にする $\{\theta_j\}_{j=1}^m = \{\hat{\theta}_j\}_{j=1}^m$ が存在するとき、

$$\hat{\theta}_j(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad j = 1, 2, \dots, m$$

を $\theta_j(x_1, x_2, \dots, x_n)$ の最尤推定量 (maximum likelihood estimator) という。

$$\ln L(\{\theta_j\}_{j=1}^m; x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n \ln f(x_i; \{\theta_j\}_{j=1}^m)$$

であるから、 $L(\{\theta_j\}_{j=1}^m)$ の値を最大にする $\{\theta_j\}_{j=1}^m$ を求める代わりに、 $\ln L(\{\theta_j\}_{j=1}^m)$ の値を最大にする $\{\theta_j\}_{j=1}^m$ を求める方が計算が簡単になる場合が多い。すなわち、

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \theta_1} = 0, \quad \frac{\partial \ln L}{\partial \theta_2} = 0, \quad \dots, \quad \frac{\partial \ln L}{\partial \theta_m} = 0$$

を満たす $\{\theta_j\}_{j=1}^m$ をもって $\{\hat{\theta}_j\}_{j=1}^m$ とする。同様のことが、独立同分布でない一般のモデルに関する尤度関数でも定義される。

A.1.2 パラメータ決定の実際

3.1等で式(2.1)~(2.4)の分布について、最尤法を用いてパラメータを決定するのであるが、以下では、これら4つの確率分布のうち Weibull 分布に対して、パラメータ決定の実際について説明

する。

いま標本数 n 個の発生間隔の data set $\{T_i\}_{i=1}^n$ があるとすると、式 (2.3) から、尤度関数 L の対数は、以下のとおりとなる。ただし、式中の $E[\cdot]$ は、括弧内の変数の相加平均を表す。

$$\begin{aligned} \ln L(\{T_i\}_{i=1}^n; \alpha, \beta) &\equiv \ln \prod_{i=1}^n f(T_i; \alpha, \beta) \\ &= \sum_{i=1}^n \ln \left\{ \alpha \beta T_i^{\beta-1} \exp(-\alpha T_i^\beta) \right\} \\ &= n \ln \alpha \beta + (\beta - 1) \sum_{i=1}^n \ln T_i - \alpha \sum_{i=1}^n T_i^\beta \\ &= n \left\{ \ln \alpha \beta + (\beta - 1) E[\ln T_i] - \alpha E[T_i^\beta] \right\} \end{aligned} \quad (\text{A.1})$$

この $\ln L$ を最大にする条件から与えられる以下の2式を連立させて、 (α, β) の最尤値が求められる。

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \alpha} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{1}{\alpha} - E[T_i^\beta] = 0 \quad (\text{A.2a})$$

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \beta} = 0 \quad \rightarrow \quad \frac{1}{\beta} + E[\ln T_i] - \alpha E[T_i^\beta \ln T_i] = 0 \quad (\text{A.2b})$$

上記の連立方程式は解析的には解けないので、数值的に解くことになる。他の3つの分布のパラメータについても、上と同様の手順で最尤値が求められる。本報告書では連立方程式の解を数值的に求めるに当たり Newton-Raphson 法を用いたが、パラメータの数がある程度大きくなって対数尤度関数の形状が悪くなり、初期値によっては Newton-Raphson 法では収束しにくい場合でも、初期値に余り左右されず安定して最大値を求められる Davidon-Fletcher-Powell 法や Davidon 法などの準 Newton 法が一般的にはよく用いられる。なお、対数正規分布に関しては、2つのパラメータは解析的にかつ独立に決定される。

A.2 定常更新過程の厳密な対数尤度

A.1において、地震発生の時刻を標本とした。しかしこの扱いでは、調査された時代の最も古い時期から最初の地震発生時の間、及び最後の地震発生時から現在まで地震が起こっていないという情報は使われていない。この情報も尤度に取り込んで取り扱えば、特に既知の地震発生時刻が少ない場合は、かなりの差が出てくる可能性がある。

以下、簡単のために $\{\theta_j\}_{j=1}^m$ を単に θ と表す。条件付き強度関数 $\lambda_\theta(t|H_t)$ から決まる点過程について、区間 $S < t \leq T$ 上のあらかじめ指定された配置 $t_1 < t_2 < \dots < t_n$ に n 個の点が生起するときの同時確率密度関数は、

$$f_{[S,T]}(t_1, t_2, \dots, t_n | \theta) = \left\{ \prod_{i=1}^n \lambda_\theta(t_i | H_{t_i}) \right\} \exp \left(- \int_S^T \lambda_\theta(t | H_t) dt \right) \quad (\text{A.3})$$

で与えられる。したがって対数尤度関数は、

$$\ln L_{[S,T]}(\theta; t_1, t_2, \dots, t_n) = \sum_{i=1}^n \ln \lambda_{\theta}(t_i | H_{t_i}) - \int_S^T \lambda_{\theta}(t | H_t) dt \quad (\text{A.4})$$

となる。

T を現在の時刻とし、 S を調査された最も古い時期とする。期間 $S \leq t \leq T$ で地震発生時刻のデータ $\{t_i; i = 1, 2, \dots, n\}$ が与えられているとする。時刻 S 以前の最後の地震がいつ起きたか全く情報がないとき、更新過程の定常性を仮定すると、最初の発生点までの時刻における条件付き強度とそれ以降の条件付き強度は形が異なり、以下ようになる。

$$\lambda_{\theta}(t | H_t) = \begin{cases} \phi_{\theta}(t - S) / \int_t^{\infty} \phi_{\theta}(\omega - S) d\omega, & \text{for } t_{\text{last}} < S \\ -\frac{d\phi_{\theta}(t - t_{\text{last}})}{dt} / \phi_{\theta}(t - t_{\text{last}}), & \text{for } t_{\text{last}} \geq S \end{cases} \quad (\text{A.5})$$

これから厳密な対数尤度関数：

$$\ln L_{[S,T]}(\theta) = -\ln \mu_{\theta} + \ln \phi_{\theta}(t_1 - S) + \sum_{i=2}^n f_{\theta}(t_i - t_{i-1}) + \ln \phi_{\theta}(T - t_n) \quad (\text{A.6})$$

が得られる。ただし μ_{θ} は点区間の長さの期待値である。式(A.6)の第3項が付録A.1における(近似)対数尤度に対応しているのが分かる。地震発生のデータ数が十分ならば近似尤度でも有効であるが、余りデータがないときには他の項が無視できなくなると考えられる。なお本報告書の4つのモデルに関する式(A.6)の計算は表2.1の結果を用いる。

参考文献

Ogata, Y. (1978): The asymptotic behavior of maximum likelihood estimators for stationary point processes; *Ann. Inst. Statist. Math.* **30**, 243–261.

付録 B

対数正規分布の確率一覧表

B.1 地震発生確率一覧表

以下の表B.1～B.15は、式(2.22)で表される対数正規分布について、各 σ に対し、最新の地震からの経過年数 T を縦に、発生間隔の(相乗)平均値 \hat{T} を横にとり、時刻 T から ΔT 年後までに次の地震が起こる確率：

$$P(T, \Delta T) = \int_T^{T+\Delta T} f(t)dt / \int_T^{\infty} f(t)dt \quad (\text{B.1})$$

を、 ΔT が30年、50年、100年の場合について%単位で示したものである。また、 $\sigma = 0.23$ で $\Delta T=30$ 年及び100年の場合の確率を図B.1～B.2に示した。

使用例として、糸魚川－静岡構造線活断層系の評価[A]のうち、「地震は1,000年おきに発生し、前回から1,200年経過している」場合(これらの数値は、確率計算に使う上からは暫定的なものである)を考えてみると、 $\sigma = 0.23$ をとった30年確率は、表B.7を参照して、 T として“1200”の行、 \hat{T} として“1000”の列をクロスさせることによって、14.0%と求められる。また、100年確率は表B.9を用いて40.7%であることが分かる。ちなみに、300年確率を計算すると、81.8%である。もう一つの例として、神縄・国府津－松田断層帯の評価[B]では、「最新の活動は約3千年前で、およその活動間隔は3千年程度…」と推定(これらの数値も同様に暫定的なものである)されている。この場合の、 $\sigma = 0.23$ をとった30年確率は、表B.7を参照して、 T として“3000”の行、 \hat{T} として“3000”の列をクロスさせることによって、3.5%と求められる。また、100年確率は表B.9を用いて11.3%であることが分かる。ちなみに、300年確率を計算すると、32.1%である。この数値を表4.1に掲載された各断層の発生確率(今後30年)と比較することにより、神縄・国府津－松田断層帯の地震の切迫度を他の断層(帯)と比較することができる(更に、付録B.2も参照)。

参考文献

- [A] 総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会(1997): 糸魚川－静岡構造線活断層系の調査結果と評価について; 地震調査委員会報告集－1995年7月～1996年12月－, 501-510.
- [B] 総理府地震調査研究推進本部地震調査委員会(1998): 神縄・国府津－松田断層帯の調査結果と評価について; 地震調査委員会報告集－1997年1月～12月－, 353-372.

表 B.1 今後 30 年以内の地震発生確率一覧表 ($\sigma = 0.1$ の場合, 単位 %)

T	\hat{T}	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	2000	3000	4000	5000
500	500	44.0	7.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
600	600	69.5	37.4	9.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
700	700	79.9	59.5	32.5	9.8	1.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
800	800	84.6	70.8	51.3	28.7	10.2	1.9	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
900	900	86.9	76.6	62.4	44.7	25.7	10.3	2.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1000	1000	88.1	79.9	68.9	55.2	39.3	23.2	10.3	3.0	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1100	1100	88.8	81.9	72.9	61.8	49.0	34.9	21.2	10.1	3.5	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1200	1200	89.1	83.1	75.4	66.2	55.5	43.7	31.3	19.5	9.9	3.9	1.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1300	1300	89.2	83.8	77.1	69.2	60.1	50.0	39.2	28.3	18.0	9.7	4.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1400	1400	89.2	84.2	78.2	71.2	63.3	54.6	45.2	35.5	25.8	16.8	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0
1500	1500	89.1	84.4	78.9	72.6	65.6	57.9	49.7	41.1	32.2	23.6	15.7	0.2	0.0	0.0	0.0
2000	2000	87.6	83.7	79.6	75.1	70.4	65.5	60.3	55.0	49.5	43.9	38.2	11.8	0.0	0.0	0.0
3000	3000	83.4	80.1	76.8	73.5	70.2	66.9	63.7	60.4	57.2	54.0	50.8	35.0	7.9	0.1	0.0
4000	4000	79.0	75.9	73.0	70.2	67.4	64.8	62.2	59.7	57.2	54.8	52.4	41.2	21.3	6.0	0.3
5000	5000	74.9	72.0	69.3	66.8	64.3	62.0	59.8	57.7	55.6	53.6	51.7	42.7	27.3	14.4	4.8

表 B.2 今後 50 年以内の地震発生確率一覧表 ($\sigma = 0.1$ の場合, 単位 %)

T	\hat{T}	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	2000	3000	4000	5000
500	500	65.9	16.4	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
600	600	87.3	57.7	17.9	1.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
700	700	93.4	79.2	51.0	18.5	2.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
800	800	95.7	87.7	71.3	45.6	18.7	4.0	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
900	900	96.7	91.4	81.1	64.1	41.1	18.5	5.0	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1000	1000	97.2	93.3	86.1	74.5	57.8	37.4	18.2	5.9	1.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1100	1100	97.4	94.3	88.9	80.4	68.2	52.4	34.3	17.7	6.6	1.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1200	1200	97.5	94.9	90.5	83.9	74.6	62.4	47.7	31.7	17.2	7.1	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0
1300	1300	97.6	95.2	91.5	86.1	78.7	69.1	57.2	43.6	29.4	16.7	7.6	0.0	0.0	0.0	0.0
1400	1400	97.5	95.4	92.1	87.5	81.4	73.5	63.9	52.6	40.1	27.4	16.2	0.0	0.0	0.0	0.0
1500	1500	97.5	95.5	92.5	88.5	83.3	76.6	68.6	59.1	48.4	37.0	25.7	0.3	0.0	0.0	0.0
2000	2000	96.9	95.1	92.9	90.2	86.9	83.1	78.7	73.7	68.2	62.1	55.5	19.5	0.0	0.0	0.0
3000	3000	94.9	93.2	91.2	89.0	86.7	84.2	81.5	78.7	75.7	72.6	69.3	51.3	13.1	0.1	0.0
4000	4000	92.5	90.7	88.7	86.7	84.6	82.4	80.2	78.0	75.7	73.4	71.0	58.8	33.0	9.9	0.5
5000	5000	90.0	88.0	86.0	84.0	82.0	80.1	78.1	76.1	74.1	72.2	70.2	60.4	41.2	23.0	7.9

表 B.3 今後 100 年以内の地震発生確率一覧表 ($\sigma = 0.1$ の場合, 単位 %)

T	\hat{T}	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	2000	3000	4000	5000
500	500	93.2	48.2	6.1	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
600	600	98.9	87.7	46.7	8.9	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
700	700	99.7	96.7	81.8	45.0	11.4	1.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
800	800	99.8	98.8	93.4	76.1	43.2	13.5	2.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
900	900	99.9	99.4	97.0	89.3	70.8	41.4	15.1	3.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1000	1000	99.9	99.6	98.3	94.3	84.7	65.9	39.7	16.4	4.3	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1100	1100	99.9	99.7	98.9	96.5	91.0	80.0	61.6	38.1	17.3	5.4	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0
1200	1200	99.9	99.7	99.1	97.6	94.1	87.3	75.3	57.7	36.6	17.9	6.4	0.0	0.0	0.0	0.0
1300	1300	99.9	99.8	99.3	98.2	95.8	91.2	83.2	70.9	54.1	35.1	18.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1400	1400	99.9	99.8	99.4	98.5	96.7	93.4	87.9	79.2	66.8	51.0	33.8	0.2	0.0	0.0	0.0
1500	1500	99.9	99.8	99.5	98.7	97.3	94.8	90.7	84.3	75.2	62.9	48.1	1.1	0.0	0.0	0.0
2000	2000	99.9	99.8	99.5	99.0	98.3	97.2	95.5	93.3	90.2	86.1	80.9	37.4	0.0	0.0	0.0
3000	3000	99.7	99.5	99.2	98.8	98.2	97.5	96.6	95.5	94.1	92.5	90.7	76.6	25.7	0.3	0.0
4000	4000	99.4	99.1	98.7	98.2	97.6	96.9	96.1	95.1	94.1	92.9	91.6	83.1	55.5	19.5	1.1
5000	5000	99.0	98.5	98.0	97.4	96.8	96.0	95.2	94.3	93.3	92.2	91.1	84.4	65.6	41.1	15.7

表B.4 今後30年以内の地震発生確率一覧表 ($\sigma = 0.2$ の場合, 単位%)

T	\hat{T}	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	2000	3000	4000	5000
500	500	22.9	10.6	3.8	1.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
600	600	31.5	19.3	10.1	4.4	1.6	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
700	700	36.8	25.9	16.6	9.5	4.8	2.1	0.8	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
800	800	39.9	30.3	21.8	14.6	9.0	5.0	2.5	1.2	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
900	900	41.8	33.3	25.6	18.8	13.0	8.4	5.1	2.8	1.4	0.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1000	1000	42.9	35.2	28.3	22.0	16.4	11.7	8.0	5.1	3.0	1.7	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
1100	1100	43.4	36.5	30.1	24.4	19.2	14.6	10.7	7.5	5.0	3.2	1.9	0.1	0.0	0.0	0.0
1200	1200	43.6	37.3	31.4	26.1	21.3	16.9	13.1	9.8	7.1	4.9	3.3	0.2	0.0	0.0	0.0
1300	1300	43.6	37.7	32.3	27.4	22.9	18.8	15.1	11.9	9.1	6.7	4.8	0.5	0.0	0.0	0.0
1400	1400	43.5	38.0	32.9	28.4	24.1	20.3	16.8	13.7	10.9	8.4	6.4	1.0	0.0	0.0	0.0
1500	1500	43.2	38.0	33.3	29.0	25.1	21.5	18.2	15.1	12.4	10.0	7.9	1.6	0.0	0.0	0.0
2000	2000	41.1	37.0	33.4	30.1	27.1	24.4	21.8	19.5	17.3	15.2	13.3	5.9	0.4	0.0	0.0
3000	3000	36.4	33.5	30.9	28.6	26.6	24.7	22.9	21.3	19.8	18.3	17.0	11.3	4.0	0.8	0.1
4000	4000	32.5	30.2	28.1	26.3	24.7	23.3	21.9	20.7	19.5	18.4	17.4	13.0	6.9	3.0	0.9
5000	5000	29.3	27.4	25.7	24.2	22.9	21.7	20.6	19.6	18.6	17.7	16.9	13.4	8.3	4.8	2.4

表B.5 今後50年以内の地震発生確率一覧表 ($\sigma = 0.2$ の場合, 単位%)

T	\hat{T}	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	2000	3000	4000	5000
500	500	36.6	18.4	7.1	2.1	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
600	600	47.6	31.1	17.3	8.0	3.1	1.0	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
700	700	53.9	40.0	27.0	16.2	8.5	3.9	1.6	0.6	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
800	800	57.5	45.7	34.2	23.8	15.2	8.8	4.6	2.1	0.9	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
900	900	59.6	49.4	39.3	29.8	21.3	14.2	8.8	5.0	2.6	1.3	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
1000	1000	60.8	51.7	42.8	34.3	26.3	19.3	13.3	8.7	5.3	3.0	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0
1100	1100	61.3	53.2	45.2	37.5	30.2	23.5	17.6	12.6	8.5	5.5	3.4	0.1	0.0	0.0	0.0
1200	1200	61.6	54.1	46.8	39.8	33.2	26.9	21.2	16.2	11.9	8.3	5.6	0.4	0.0	0.0	0.0
1300	1300	61.5	54.6	47.9	41.5	35.4	29.6	24.2	19.3	15.0	11.2	8.1	0.9	0.0	0.0	0.0
1400	1400	61.3	54.9	48.7	42.7	37.1	31.7	26.6	22.0	17.7	13.9	10.7	1.7	0.0	0.0	0.0
1500	1500	61.0	54.9	49.1	43.6	38.3	33.3	28.6	24.1	20.1	16.3	13.0	2.8	0.0	0.0	0.0
2000	2000	58.5	53.7	49.2	45.0	41.0	37.3	33.7	30.3	27.1	24.1	21.3	9.8	0.7	0.0	0.0
3000	3000	52.9	49.3	46.0	43.0	40.2	37.6	35.2	32.9	30.7	28.7	26.7	18.2	6.6	1.3	0.1
4000	4000	48.0	45.0	42.3	39.9	37.7	35.7	33.8	32.0	30.3	28.8	27.3	20.8	11.2	5.0	1.6
5000	5000	43.9	41.3	39.1	37.0	35.2	33.5	31.9	30.4	29.1	27.8	26.6	21.3	13.4	7.8	4.0

表B.6 今後100年以内の地震発生確率一覧表 ($\sigma = 0.2$ の場合, 単位%)

T	\hat{T}	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	2000	3000	4000	5000
500	500	63.8	39.0	18.3	6.6	2.0	0.5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
600	600	74.4	55.9	35.9	19.1	8.5	3.2	1.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
700	700	79.7	65.9	49.6	33.1	19.4	9.9	4.4	1.8	0.7	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
800	800	82.5	71.6	58.6	44.4	30.8	19.2	10.8	5.5	2.6	1.1	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
900	900	83.9	75.0	64.3	52.4	40.2	28.7	18.9	11.4	6.4	3.3	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0
1000	1000	84.7	77.1	68.0	57.9	47.2	36.6	26.8	18.4	11.8	7.1	4.0	0.1	0.0	0.0	0.0
1100	1100	85.1	78.3	70.5	61.7	52.4	42.9	33.6	25.2	17.9	12.0	7.6	0.4	0.0	0.0	0.0
1200	1200	85.2	79.1	72.1	64.3	56.1	47.6	39.2	31.1	23.7	17.3	12.1	1.0	0.0	0.0	0.0
1300	1300	85.2	79.5	73.1	66.2	58.8	51.2	43.5	36.0	28.9	22.4	16.8	2.2	0.0	0.0	0.0
1400	1400	85.0	79.7	73.8	67.5	60.8	53.9	46.9	40.0	33.3	27.0	21.3	3.9	0.0	0.0	0.0
1500	1500	84.7	79.7	74.2	68.4	62.3	56.0	49.6	43.2	36.9	30.9	25.3	6.2	0.1	0.0	0.0
2000	2000	82.7	78.5	74.2	69.7	65.3	60.8	56.2	51.7	47.2	42.8	38.5	19.3	1.6	0.0	0.0
3000	3000	77.7	74.1	70.7	67.4	64.2	61.0	57.9	54.9	52.0	49.1	46.3	33.3	13.0	2.8	0.3
4000	4000	72.8	69.6	66.6	63.8	61.1	58.5	56.1	53.7	51.4	49.2	47.1	37.3	21.3	9.8	3.3
5000	5000	68.4	65.5	62.8	60.3	57.9	55.7	53.6	51.6	49.6	47.8	46.0	38.0	25.1	15.1	7.9

表B.7 今後30年以内の地震発生確率一覧表 ($\sigma = 0.23$ の場合, 単位%)

T	\hat{T}	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	2000	3000	4000	5000
500	500	20.0	10.3	4.5	1.7	0.5	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
600	600	26.4	16.8	9.6	4.9	2.2	0.9	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
700	700	30.4	21.7	14.5	9.0	5.1	2.7	1.3	0.6	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
800	800	32.8	25.0	18.3	12.7	8.4	5.2	3.0	1.6	0.8	0.4	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
900	900	34.2	27.2	21.1	15.8	11.3	7.8	5.1	3.2	1.9	1.1	0.6	0.0	0.0	0.0	0.0
1000	1000	35.0	28.7	23.0	18.1	13.8	10.2	7.3	5.0	3.3	2.1	1.3	0.1	0.0	0.0	0.0
1100	1100	35.4	29.6	24.4	19.8	15.8	12.3	9.3	6.8	4.9	3.4	2.2	0.2	0.0	0.0	0.0
1200	1200	35.6	30.2	25.4	21.1	17.3	14.0	11.1	8.5	6.4	4.7	3.4	0.4	0.0	0.0	0.0
1300	1300	35.5	30.5	26.1	22.1	18.5	15.3	12.5	10.0	7.9	6.1	4.6	0.8	0.0	0.0	0.0
1400	1400	35.3	30.6	26.5	22.8	19.4	16.4	13.7	11.3	9.2	7.3	5.8	1.3	0.0	0.0	0.0
1500	1500	35.0	30.7	26.8	23.3	20.1	17.3	14.7	12.4	10.3	8.5	6.9	1.9	0.0	0.0	0.0
2000	2000	33.1	29.7	26.7	24.0	21.6	19.4	17.3	15.5	13.8	12.2	10.7	5.2	0.6	0.0	0.0
3000	3000	29.1	26.6	24.5	22.6	21.0	19.4	18.0	16.7	15.5	14.4	13.4	9.0	3.5	0.9	0.2
4000	4000	25.8	23.8	22.2	20.7	19.4	18.2	17.2	16.2	15.2	14.4	13.6	10.2	5.5	2.6	1.0
5000	5000	23.1	21.6	20.2	19.0	17.9	17.0	16.1	15.3	14.5	13.8	13.2	10.4	6.5	3.9	2.1

表B.8 今後50年以内の地震発生確率一覧表 ($\sigma = 0.23$ の場合, 単位%)

T	\hat{T}	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	2000	3000	4000	5000
500	500	32.1	17.6	8.1	3.2	1.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
600	600	40.7	27.2	16.3	8.7	4.1	1.8	0.7	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
700	700	45.7	34.0	23.6	15.1	8.9	4.8	2.4	1.1	0.5	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
800	800	48.7	38.4	29.0	20.8	14.0	8.9	5.2	2.9	1.5	0.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0
900	900	50.4	41.3	32.9	25.2	18.6	13.1	8.7	5.5	3.3	1.9	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1000	1000	51.3	43.2	35.6	28.6	22.3	16.8	12.2	8.5	5.7	3.6	2.2	0.1	0.0	0.0	0.0
1100	1100	51.8	44.4	37.5	31.0	25.2	19.9	15.3	11.4	8.2	5.7	3.9	0.3	0.0	0.0	0.0
1200	1200	51.9	45.1	38.7	32.8	27.4	22.4	18.0	14.1	10.8	8.0	5.8	0.7	0.0	0.0	0.0
1300	1300	51.8	45.5	39.6	34.1	29.1	24.4	20.2	16.4	13.0	10.1	7.7	1.4	0.0	0.0	0.0
1400	1400	51.6	45.7	40.2	35.1	30.4	26.0	22.0	18.3	15.0	12.1	9.6	2.2	0.0	0.0	0.0
1500	1500	51.2	45.7	40.5	35.7	31.3	27.2	23.4	19.9	16.7	13.9	11.3	3.2	0.1	0.0	0.0
2000	2000	48.8	44.4	40.4	36.7	33.3	30.2	27.2	24.5	22.0	19.6	17.3	8.5	1.0	0.1	0.0
3000	3000	43.5	40.3	37.4	34.8	32.4	30.2	28.2	26.3	24.5	22.9	21.3	14.6	5.7	1.5	0.3
4000	4000	39.1	36.4	34.1	32.1	30.2	28.5	26.9	25.5	24.1	22.8	21.6	16.4	9.0	4.3	1.7
5000	5000	35.5	33.3	31.3	29.6	28.0	26.6	25.3	24.1	23.0	21.9	21.0	16.7	10.6	6.4	3.5

表B.9 今後100年以内の地震発生確率一覧表 ($\sigma = 0.23$ の場合, 単位%)

T	\hat{T}	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	2000	3000	4000	5000
500	500	57.2	36.4	19.3	8.7	3.4	1.2	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
600	600	66.5	49.7	33.2	19.6	10.2	4.8	2.1	0.8	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
700	700	71.4	58.0	43.8	30.5	19.4	11.2	6.0	3.0	1.4	0.6	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
800	800	74.1	63.1	51.1	39.1	28.1	18.9	11.8	6.9	3.8	2.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
900	900	75.7	66.2	55.9	45.5	35.3	26.1	18.3	12.1	7.6	4.6	2.6	0.1	0.0	0.0	0.0
1000	1000	76.4	68.1	59.2	49.9	40.8	32.1	24.3	17.6	12.2	8.1	5.2	0.3	0.0	0.0	0.0
1100	1100	76.8	69.3	61.3	53.1	44.9	36.9	29.5	22.8	17.0	12.2	8.5	0.9	0.0	0.0	0.0
1200	1200	76.9	70.0	62.8	55.4	47.9	40.7	33.7	27.2	21.4	16.3	12.1	1.8	0.0	0.0	0.0
1300	1300	76.7	70.3	63.7	57.0	50.2	43.5	37.0	30.9	25.3	20.2	15.7	3.1	0.0	0.0	0.0
1400	1400	76.5	70.5	64.3	58.1	51.9	45.7	39.7	34.0	28.6	23.6	19.1	4.8	0.1	0.0	0.0
1500	1500	76.1	70.4	64.7	58.9	53.1	47.4	41.8	36.4	31.3	26.5	22.1	6.8	0.2	0.0	0.0
2000	2000	73.7	69.0	64.4	59.9	55.6	51.3	47.2	43.2	39.3	35.6	32.0	16.8	2.2	0.1	0.0
3000	3000	68.0	64.2	60.7	57.4	54.2	51.2	48.4	45.7	43.0	40.5	38.1	27.2	11.3	3.2	0.6
4000	4000	62.8	59.5	56.5	53.8	51.2	48.8	46.5	44.4	42.3	40.4	38.5	30.2	17.3	8.5	3.4
5000	5000	58.3	55.4	52.7	50.3	48.1	46.1	44.2	42.4	40.7	39.0	37.5	30.7	20.1	12.4	6.9

表B.10 今後30年以内の地震発生確率一覧表 ($\sigma = 0.3$ の場合, 単位%)

T	\hat{T}	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	2000	3000	4000	5000
500	15.4	9.3	5.3	2.8	1.4	0.7	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
600	18.8	12.9	8.5	5.3	3.2	1.8	1.0	0.5	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
700	21.0	15.5	11.1	7.7	5.2	3.4	2.1	1.3	0.8	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
800	22.2	17.2	13.1	9.8	7.1	5.0	3.5	2.3	1.5	1.0	0.6	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
900	23.0	18.4	14.6	11.4	8.7	6.5	4.8	3.5	2.5	1.7	1.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
1000	23.3	19.1	15.6	12.6	10.0	7.8	6.1	4.6	3.5	2.5	1.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1100	23.5	19.6	16.3	13.5	11.0	8.9	7.1	5.7	4.4	3.4	2.6	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
1200	23.4	19.8	16.8	14.1	11.8	9.8	8.1	6.6	5.3	4.2	3.3	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0
1300	23.3	20.0	17.1	14.6	12.4	10.5	8.8	7.3	6.1	5.0	4.0	1.2	0.1	0.0	0.0	0.0
1400	23.1	20.0	17.3	14.9	12.8	11.0	9.4	8.0	6.7	5.6	4.7	1.6	0.1	0.0	0.0	0.0
1500	22.9	19.9	17.4	15.1	13.2	11.4	9.9	8.5	7.3	6.2	5.3	2.1	0.2	0.0	0.0	0.0
2000	21.4	19.1	17.1	15.3	13.8	12.4	11.2	10.1	9.0	8.1	7.2	4.0	0.9	0.1	0.0	0.0
3000	18.4	16.8	15.4	14.2	13.2	12.2	11.3	10.5	9.8	9.1	8.5	5.9	2.6	1.0	0.3	0.0
4000	16.2	14.9	13.8	12.9	12.1	11.3	10.7	10.0	9.5	8.9	8.5	6.4	3.7	2.0	1.0	0.0
5000	14.4	13.4	12.5	11.8	11.1	10.5	9.9	9.4	9.0	8.5	8.1	6.4	4.1	2.6	1.6	0.0

表B.11 今後50年以内の地震発生確率一覧表 ($\sigma = 0.3$ の場合, 単位%)

T	\hat{T}	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	2000	3000	4000	5000
500	24.9	15.7	9.2	5.0	2.6	1.3	0.6	0.3	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
600	29.7	21.0	14.2	9.1	5.6	3.3	1.8	1.0	0.5	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
700	32.6	24.8	18.2	12.9	8.8	5.8	3.7	2.3	1.4	0.8	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
800	34.4	27.2	21.1	16.0	11.8	8.5	5.9	4.0	2.7	1.8	1.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
900	35.3	28.9	23.2	18.4	14.3	10.9	8.1	5.9	4.2	3.0	2.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1000	35.8	29.9	24.7	20.2	16.3	12.9	10.1	7.7	5.9	4.3	3.2	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
1100	36.0	30.5	25.7	21.5	17.8	14.6	11.8	9.4	7.4	5.7	4.4	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1200	35.9	30.9	26.4	22.5	19.0	15.9	13.2	10.8	8.8	7.1	5.6	1.5	0.1	0.0	0.0	0.0
1300	35.7	31.0	26.9	23.2	19.9	16.9	14.3	12.0	10.0	8.3	6.7	2.1	0.1	0.0	0.0	0.0
1400	35.5	31.0	27.1	23.6	20.5	17.8	15.3	13.0	11.1	9.3	7.8	2.8	0.2	0.0	0.0	0.0
1500	35.1	30.9	27.2	24.0	21.0	18.4	16.0	13.9	12.0	10.2	8.7	3.5	0.3	0.0	0.0	0.0
2000	33.0	29.7	26.8	24.2	21.9	19.8	17.9	16.2	14.6	13.1	11.8	6.6	1.5	0.3	0.0	0.0
3000	28.8	26.4	24.4	22.6	20.9	19.5	18.1	16.9	15.8	14.7	13.7	9.6	4.4	1.7	0.6	0.0
4000	25.4	23.6	22.0	20.6	19.3	18.2	17.1	16.2	15.3	14.5	13.7	10.5	6.1	3.3	1.6	0.0
5000	22.8	21.3	20.0	18.8	17.8	16.8	16.0	15.2	14.5	13.8	13.2	10.5	6.8	4.3	2.6	0.0

表B.12 今後100年以内の地震発生確率一覧表 ($\sigma = 0.3$ の場合, 単位%)

T	\hat{T}	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	2000	3000	4000	5000
500	45.7	31.3	19.9	11.7	6.5	3.4	1.7	0.9	0.4	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
600	51.8	39.3	28.2	19.2	12.4	7.6	4.5	2.6	1.5	0.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
700	55.3	44.4	34.4	25.6	18.3	12.6	8.4	5.4	3.4	2.1	1.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
800	57.3	47.7	38.7	30.5	23.4	17.4	12.6	8.8	6.1	4.1	2.7	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
900	58.3	49.8	41.7	34.2	27.5	21.5	16.5	12.4	9.1	6.5	4.6	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
1000	58.9	51.1	43.7	36.9	30.6	24.9	20.0	15.7	12.1	9.2	6.8	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0
1100	59.0	51.9	45.1	38.8	33.0	27.6	22.8	18.6	14.9	11.8	9.2	2.2	0.1	0.0	0.0	0.0
1200	58.9	52.3	46.0	40.2	34.7	29.7	25.2	21.0	17.4	14.2	11.4	3.3	0.2	0.0	0.0	0.0
1300	58.6	52.4	46.6	41.2	36.1	31.4	27.0	23.1	19.5	16.3	13.5	4.5	0.3	0.0	0.0	0.0
1400	58.2	52.4	46.9	41.8	37.1	32.6	28.5	24.8	21.3	18.2	15.4	5.8	0.5	0.0	0.0	0.0
1500	57.8	52.2	47.1	42.3	37.8	33.6	29.7	26.1	22.8	19.8	17.0	7.2	0.8	0.1	0.0	0.0
2000	54.9	50.4	46.3	42.6	39.1	35.8	32.7	29.9	27.2	24.7	22.4	12.9	3.2	0.5	0.1	0.0
3000	49.1	45.7	42.7	40.0	37.4	35.1	32.9	30.9	29.0	27.2	25.6	18.4	8.7	3.5	1.2	0.0
4000	44.3	41.5	39.0	36.8	34.8	33.0	31.3	29.7	28.2	26.8	25.5	19.8	11.8	6.6	3.3	0.0
5000	40.4	38.0	35.9	34.0	32.3	30.8	29.4	28.0	26.8	25.6	24.6	19.9	13.2	8.5	5.3	0.0

表 B.13 今後30年以内の地震発生確率一覧表 ($\sigma = 0.4$ の場合, 単位 %)

T	\hat{T}	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	2000	3000	4000	5000
500	11.6	8.0	5.4	3.6	2.4	1.5	1.0	0.6	0.4	0.3	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
600	13.1	9.7	7.1	5.1	3.7	2.6	1.8	1.3	0.9	0.6	0.4	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
700	14.0	10.9	8.4	6.4	4.8	3.6	2.7	2.0	1.5	1.1	0.8	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0
800	14.5	11.6	9.2	7.3	5.8	4.5	3.5	2.7	2.1	1.6	1.2	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
900	14.8	12.1	9.9	8.0	6.5	5.3	4.2	3.4	2.7	2.1	1.7	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
1000	14.8	12.3	10.3	8.6	7.1	5.9	4.9	4.0	3.3	2.7	2.2	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0
1100	14.8	12.5	10.6	8.9	7.6	6.4	5.4	4.5	3.8	3.1	2.6	1.0	0.1	0.0	0.0	0.0
1200	14.7	12.5	10.7	9.2	7.9	6.7	5.8	4.9	4.2	3.6	3.0	1.3	0.2	0.0	0.0	0.0
1300	14.5	12.5	10.8	9.4	8.1	7.0	6.1	5.3	4.5	3.9	3.4	1.5	0.3	0.0	0.0	0.0
1400	14.3	12.4	10.8	9.5	8.3	7.3	6.3	5.6	4.8	4.2	3.7	1.8	0.4	0.1	0.0	0.0
1500	14.1	12.3	10.8	9.5	8.4	7.4	6.5	5.8	5.1	4.5	3.9	2.0	0.5	0.1	0.0	0.0
2000	13.0	11.6	10.4	9.4	8.5	7.7	7.0	6.4	5.8	5.3	4.8	3.0	1.1	0.4	0.1	0.1
3000	11.0	10.1	9.2	8.5	7.9	7.3	6.8	6.4	5.9	5.6	5.2	3.8	2.0	1.0	0.5	0.5
4000	9.6	8.8	8.2	7.6	7.2	6.7	6.3	6.0	5.7	5.4	5.1	3.9	2.4	1.5	0.9	0.9
5000	8.5	7.9	7.4	6.9	6.5	6.2	5.8	5.6	5.3	5.0	4.8	3.9	2.6	1.8	1.2	1.2

表 B.14 今後50年以内の地震発生確率一覧表 ($\sigma = 0.4$ の場合, 単位 %)

T	\hat{T}	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	2000	3000	4000	5000
500	18.8	13.3	9.1	6.2	4.1	2.7	1.8	1.1	0.7	0.5	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
600	21.1	15.9	11.8	8.6	6.2	4.4	3.1	2.2	1.5	1.1	0.7	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
700	22.4	17.6	13.7	10.6	8.1	6.1	4.6	3.4	2.5	1.9	1.4	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
800	23.1	18.7	15.0	12.0	9.6	7.6	5.9	4.6	3.6	2.7	2.1	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0
900	23.4	19.3	16.0	13.1	10.8	8.8	7.1	5.7	4.6	3.6	2.9	0.9	0.1	0.0	0.0	0.0
1000	23.5	19.7	16.6	13.9	11.6	9.7	8.1	6.7	5.5	4.5	3.7	1.3	0.1	0.0	0.0	0.0
1100	23.4	19.9	17.0	14.5	12.3	10.5	8.8	7.5	6.3	5.3	4.4	1.7	0.2	0.0	0.0	0.0
1200	23.2	20.0	17.2	14.9	12.8	11.0	9.5	8.1	6.9	5.9	5.0	2.1	0.3	0.1	0.0	0.0
1300	23.0	19.9	17.4	15.1	13.2	11.5	10.0	8.7	7.5	6.5	5.6	2.6	0.5	0.1	0.0	0.0
1400	22.7	19.8	17.4	15.3	13.4	11.8	10.4	9.1	8.0	7.0	6.1	3.0	0.6	0.1	0.0	0.0
1500	22.4	19.7	17.4	15.4	13.6	12.1	10.7	9.5	8.4	7.4	6.5	3.4	0.8	0.2	0.0	0.0
2000	20.7	18.5	16.7	15.1	13.8	12.5	11.4	10.4	9.5	8.6	7.9	4.9	1.8	0.6	0.2	0.2
3000	17.7	16.2	14.9	13.8	12.8	11.9	11.1	10.4	9.7	9.1	8.5	6.2	3.3	1.7	0.8	0.8
4000	15.4	14.3	13.3	12.4	11.6	10.9	10.3	9.8	9.2	8.8	8.3	6.5	4.0	2.5	1.5	1.5
5000	13.7	12.8	12.0	11.2	10.6	10.1	9.5	9.1	8.7	8.3	7.9	6.4	4.3	2.9	2.0	2.0

表 B.15 今後100年以内の地震発生確率一覧表 ($\sigma = 0.4$ の場合, 単位 %)

T	\hat{T}	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300	1400	1500	2000	3000	4000	5000
500	35.1	26.0	18.7	13.2	9.1	6.2	4.2	2.8	1.8	1.2	0.8	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
600	38.3	30.0	23.1	17.4	13.0	9.5	6.9	4.9	3.5	2.5	1.8	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
700	40.0	32.6	26.1	20.7	16.2	12.6	9.6	7.3	5.5	4.1	3.1	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0
800	41.0	34.2	28.3	23.2	18.8	15.1	12.1	9.5	7.5	5.9	4.5	1.2	0.1	0.0	0.0	0.0
900	41.3	35.1	29.7	24.9	20.8	17.2	14.1	11.6	9.4	7.6	6.1	1.9	0.2	0.0	0.0	0.0
1000	41.4	35.7	30.6	26.2	22.3	18.8	15.8	13.3	11.0	9.1	7.5	2.7	0.3	0.0	0.0	0.0
1100	41.2	35.9	31.2	27.0	23.4	20.1	17.2	14.7	12.5	10.6	8.9	3.6	0.5	0.1	0.0	0.0
1200	40.9	35.9	31.6	27.6	24.2	21.1	18.3	15.9	13.7	11.8	10.1	4.4	0.7	0.1	0.0	0.0
1300	40.5	35.8	31.7	28.0	24.8	21.8	19.2	16.8	14.7	12.8	11.1	5.3	1.0	0.2	0.0	0.0
1400	40.1	35.6	31.7	28.3	25.2	22.4	19.8	17.6	15.5	13.7	12.0	6.1	1.4	0.3	0.1	0.1
1500	39.6	35.4	31.7	28.4	25.4	22.8	20.4	18.2	16.2	14.4	12.8	6.9	1.7	0.4	0.1	0.1
2000	36.9	33.5	30.6	28.0	25.6	23.5	21.5	19.7	18.1	16.6	15.2	9.7	3.7	1.3	0.4	0.4
3000	32.1	29.6	27.5	25.6	23.9	22.4	20.9	19.7	18.5	17.4	16.3	12.1	6.5	3.4	1.7	1.7
4000	28.4	26.4	24.7	23.2	21.9	20.7	19.6	18.5	17.6	16.7	15.9	12.5	7.9	4.9	3.0	3.0
5000	25.5	23.8	22.4	21.2	20.1	19.1	18.1	17.3	16.5	15.8	15.1	12.3	8.4	5.8	3.9	3.9

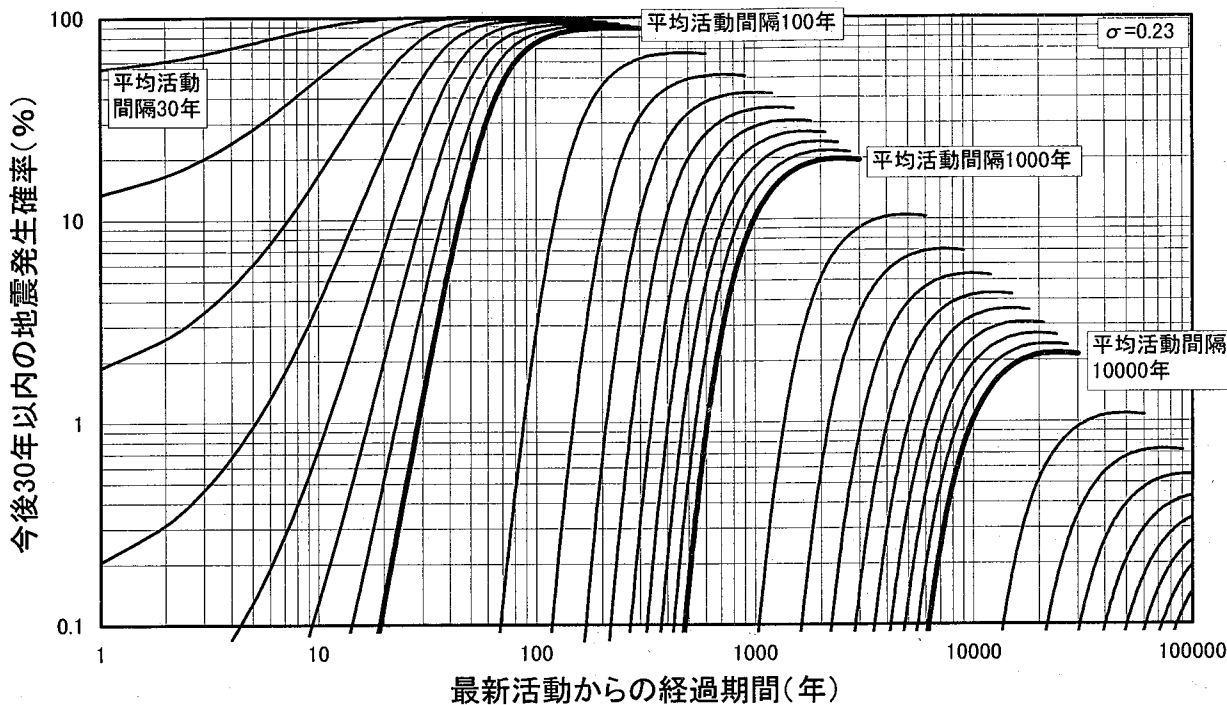


図 B.1 今後 30 年以内の地震発生確率のグラフ ($\sigma = 0.23$ の場合)。図中のグラフは、平均活動間隔 30 年と 100 年の間は 10 年間隔で、100 年と 1,000 年の間は 100 年間隔で描いてある。1,000 年以上についても同様。グラフは平均活動間隔の 3 倍の時間まで打ち切っているが、この時点での集積確率は 99% を越えて、ほとんど 100% になっている。

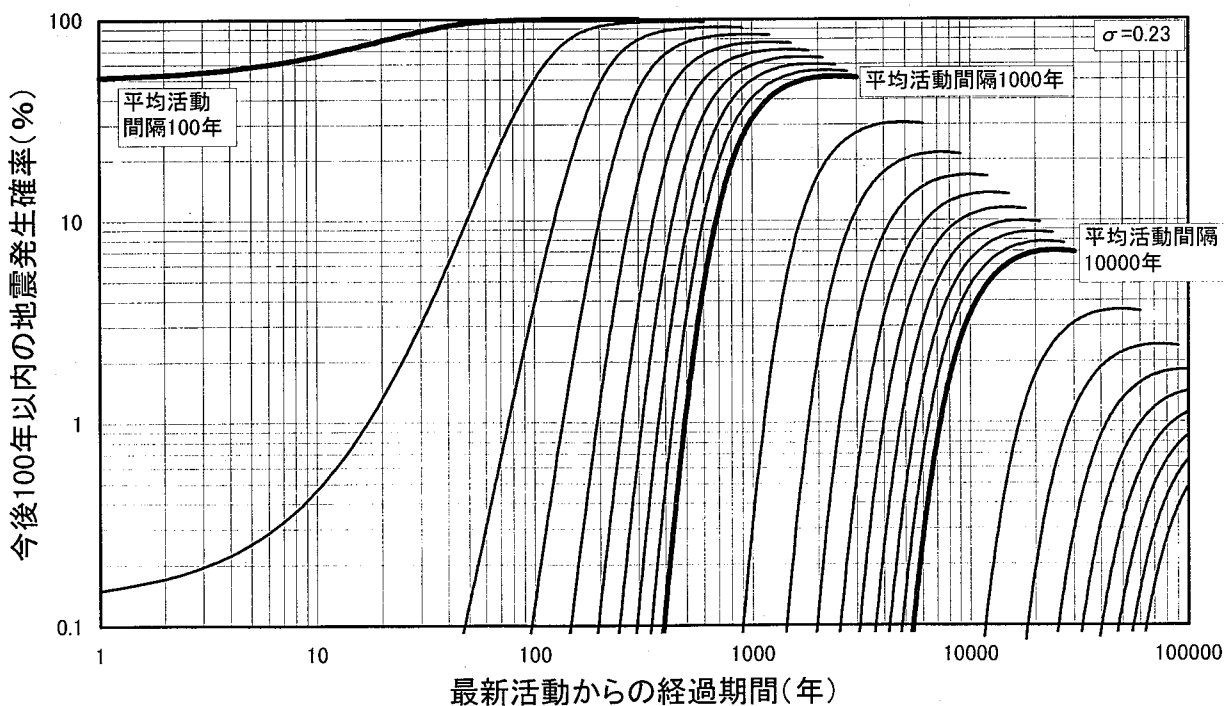


図 B.2 今後 100 年以内の地震発生確率のグラフ ($\sigma = 0.23$ の場合)。図中のグラフは、100 年と 1,000 年の間は 100 年間隔で、1,000 年と 10,000 年の間は 1,000 年間隔で描いてある。10,000 年以上についても同様。グラフは平均活動間隔の 3 倍の時間まで打ち切っているが、この時点での集積確率は 99% を越えて、ほとんど 100% になっている。

B.2 地震発生確率の極大値の一覧表

対数正規分布における条件付き確率はある経過時間で極大値をもつことが知られている。その極大値は、式(B.1)で $\partial P(T, \Delta T) / \partial T = 0$ としたものを整理した式、すなわち

$$T \exp\left(\frac{\xi^2}{2}\right) \{1 - \Phi(\xi)\} - (T + \Delta T) \exp\left(\frac{\eta^2}{2}\right) \{1 - \Phi(\eta)\} = 0 \quad (\text{B.2})$$

$$\text{ただし, } \xi = \frac{\ln(T/\hat{T})}{\sigma}, \quad \eta = \frac{\ln\{(T + \Delta T)/\hat{T}\}}{\sigma}$$

を満たす T によって与えられる。

以下の表 B.16~B.18 は、 $(\hat{T}, \sigma, \Delta T)$ の組が与えられたときの、式(B.1)の確率の極大値とそのときの経過年数を Newton-Raphson 法により求め、 ΔT が 30 年、50 年、100 年の場合について示したものである。

付録 B.1 において、神縄・国府津－松田断層帯の 30 年確率を $\sigma = 0.23$ の場合について、3.5% と求めた。この確率は一見小さく見えるが、その極大値は、表 B.16 を用いて、 \hat{T} として 3000 の列、 σ として 0.23 の行の上段の数字を拾うことによって、7.1% であることが分かる。小さい確率であっても最大値の半分程度にまで達していることが分かる。

表B.16 今後30年以内の地震発生確率の極大値（上段）及びそのときの経過年数（下段）

\hat{T} σ	100	300	500	1000	1500	2000	3000
0.1	~100.0% 252.188	97.6% 784.720	89.2% 1317.62	67.2% 2650.03	52.4% 3982.49	42.7% 5314.96	31.0% 7979.92
0.2	94.3% 237.316	61.6% 740.065	43.7% 1243.19	24.9% 2501.17	17.4% 3759.19	13.4% 5017.23	9.1% 7533.31
0.23	88.9% 231.363	51.9% 722.186	35.6% 1213.39	19.7% 2441.56	13.6% 3689.79	10.4% 4898.02	7.1% 7354.50
0.3	73.7% 215.476	36.0% 674.458	23.5% 1133.83	12.5% 2282.44	8.5% 3431.11	6.5% 4579.78	4.4% 6877.14
0.4	55.1% 189.518	23.5% 596.430	14.8% 1003.77	7.7% 2022.29	5.2% 3040.87	3.9% 4059.47	2.6% 6096.67

表B.17 今後50年以内の地震発生確率の極大値（上段）及びそのときの経過年数（下段）

\hat{T} σ	100	300	500	1000	1500	2000	3000
0.1	~100.0% 243.410	99.8% 775.131	97.6% 1307.87	84.4% 2640.16	71.0% 3972.58	60.5% 5305.03	46.2% 7969.96
0.2	99.2% 228.563	79.7% 730.484	61.6% 1233.44	38.0% 2491.29	27.3% 3749.28	21.3% 5007.29	14.7% 7523.36
0.23	97.4% 222.624	70.5% 712.610	51.9% 1203.64	30.7% 2431.69	21.7% 3659.87	16.7% 4888.09	11.5% 7344.55
0.3	89.2% 206.781	52.4% 664.897	36.0% 1124.10	20.0% 2272.58	13.8% 3421.19	10.5% 4569.84	7.2% 6867.18
0.4	73.7% 180.922	36.0% 586.903	23.5% 994.051	12.5% 2012.44	8.5% 3030.97	6.5% 4049.54	4.4% 6086.72

表B.18 今後100年以内の地震発生確率の極大値（上段）及びそのときの経過年数（下段）

\hat{T} σ	100	300	500	1000	1500	2000	3000
0.1	~100.0% 224.018	~100.0% 752.049	99.9% 1284.02	97.6% 2615.73	91.6% 3947.96	84.4% 5280.31	71.0% 7945.15
0.2	~100.0% 209.279	95.9% 707.443	85.2% 1209.62	61.6% 2466.88	47.1% 3724.67	38.0% 4982.59	27.3% 7498.55
0.23	99.9% 203.398	91.3% 689.590	76.9% 1179.83	51.9% 2407.29	38.6% 3655.27	30.7% 4863.38	21.7% 7319.74
0.3	98.8% 187.748	77.3% 641.947	59.0% 1100.33	36.0% 2248.19	25.7% 3396.61	20.0% 4545.15	13.8% 6842.39
0.4	93.0% 162.319	59.0% 564.112	41.4% 970.380	23.5% 1988.10	16.3% 3006.41	12.5% 4024.87	8.5% 6061.94

参 考 資 料

長期確率評価手法検討分科会の設置について

平成9年11月21日
地震調査研究推進本部
地震調査委員会
長期評価部会

1. 分科会の設置趣旨

長期評価部会の審議に資するため、本部会の下に、長期確率評価手法に関する審議を行う長期確率評価手法検討分科会を設置する。

2. 分科会における審議事項

- (1) 長期的な地震発生可能性を活断層パラメータ等を用いて確率で評価する手法
- (2) その他必要な事項

3. 分科会の構成員等

- (1) 分科会を構成する委員及び専門委員については、部会長が別途定める。
- (2) 分科会に主査を置き、分科会の構成員の中から部会長が指名する。
- (3) 主査は、分科会に専門家を招へいし、意見を聴取することができる。

地震調査研究推進本部 地震調査委員会
長期評価部会 長期確率評価手法検討分科会

平成10年3月25日

(主査)

島崎 邦彦 東京大学地震研究所教授

(委員)

今給黎 哲郎 建設省国土地理院地殻調査部観測解析課長

井元 政二郎 科学技術庁防災科学技術研究所
地震調査研究センター第二地震前兆解析研究室長

尾形 良彦 文部省統計数理研究所調査実験解析研究系教授

隈元 崇 東京都立大学理学部助手

佐竹 健治 通商産業省工業技術院地質調査所
地震地質部活断層研究室主任研究官

鈴木 康弘 愛知県立大学文学部助教授

森 滋男 気象庁地震火山部管理課地震情報企画官

長期確率評価手法検討分科会検討状況

平成9年12月5日

第1回長期確率評価手法検討分科会

平成10年1月28日

第2回長期確率評価手法検討分科会

平成10年2月18日

第3回長期確率評価手法検討分科会

平成10年3月25日

第4回長期確率評価手法検討分科会

長期評価部会の設置について

平成7年12月13日
地震調査研究推進本部
地震調査委員会

1. 部会の設置趣旨

長期的な観点から、地域ごとの地震活動に関する特徴を明らかにするとともに、地震の発生の可能性の評価を行うため、本委員会の下に長期評価部会を設置する。

2. 部会における審議事項

- (1) 地殻活動、活断層、過去の地震等の資料に基づく地震活動の特徴の把握
- (2) 長期的な観点からの地震発生可能性の評価手法の検討と評価の実施
- (3) その他必要な事項

3. 部会の構成員等

- (1) 部会を構成する委員及び専門委員については、委員長が別途定める。
- (2) 部会長は、部会の構成員の中から委員長が指名する。
- (3) 部会長は、部会に専門家を招へいし、意見を聴取することができる。

4. 分科会

- (1) 長期評価部会に、必要に応じ分科会を設けることができる。
- (2) 分科会を構成する委員及び専門委員については、部会長が別途定める。
- (3) 分科会に主査を置き、分科会の構成員の中から部会長が指名する。
- (4) 主査は、分科会に専門家を招へいし、意見を聴取することができる。

地震調査研究推進本部 地震調査委員会 長期評価部会

平成11年1月13日

(部会長)

しまぎま くにひこ
島崎 邦彦 東京大学地震研究所教授

(委員)

いわぶち よう
岩 瀨 洋 海上保安庁水路部企画課地震調査官

きぬがさ よしひろ
衣 笠 善博 通商産業省工業技術院地質調査所首席研究官

ただ たかし
多 田 堯 建設省国土地理院地理地殻活動研究センター
地理地殻活動総括研究官

つし よしのぶ
都 司 嘉宣 東京大学地震研究所助教授

はしもと まなぶ
橋 本 学 京都大学防災研究所地震予知研究センター助教授

ひらきわ ともお
平 澤 朋郎 東北大学大学院理学研究科教授

まつだ とまひこ
松 田 時彦 西南学院大学文学部教授

まつむら しょうぞう
松 村 正三 科学技術庁防災科学技術研究所
地震調査研究センター高度震源解析研究室長

よしだ あきお
吉 田 明夫 気象庁地震火山部地震予知情報課長

付録 改訂試案の解説

試案に寄せられた意見には、内容が専門的で、理解するのが容易ではないという意見がありました。この付録は改訂試案の理解を助けるための解説で、文責は地震調査委員会事務局（共同庶務）にあります。

目次

(1) まえがき	139
(2) 確率の計算	140
(3) 確率分布の形	141
(4) 条件つき確率	141
(5) 集積確率	142
(6) 条件つき確率が下がる現象の解釈	142
(7) 活動間隔の長い断層と短い断層	143
(8) 確率の利用	144
(9) 注意喚起のための指標	145
(10) むすび	145
図1～4	147

(1) まえがき

陸上にある活断層や海溝沿いのプレート境界断層は、時々活動して、地震を起こしています。その活動の間隔は、断層によって長いのもあれば短いものもありますが、個々の断層にはそれぞれ固有の活動間隔があると考えられています。つまり、固有の活動間隔が例えば150年の断層は、150年よりも多少短い間隔で活動することもあり、また、それよりも多少長い間隔で活動することもあります。平均すると150年の間隔で活動を繰り返していると考えられます。この、多少短かったり長かったりするときの、そのばらつきの程度ですが、活動間隔の全データの約70%が固有の間隔の $4/5$ 倍から $5/4$ 倍の間に収まっています。つまり、地震が101回繰り返して発生したとすると、その発生間隔100回の内、約70回がその間に収まっています。全データの90%が収まる範囲でいうと、 $2/3$ 倍から $3/2$ 倍の間になります。固有の間隔が150年の断層を例にとると、約70%が120年 ($= 150 \times 4/5$) から190年 ($= 150 \times 5/4$) の間に、約90%が100年 ($150 \times 2/3$) から230年 ($= 150 \times 3/2$) の間に収まっています。今後、90%のデータが収まっている範囲を使うことにすると、次の地震は前回の地震から見て「100年後かもしれないし、230年後かもしれない」ということになります。

活断層の活動時期のばらつきから100年後とか230年後とか言うのは、過去において発生した地震の間隔から経験的に言えることです。その予測の幅を狭くするためには、経験に頼るだけでなく、地震を起こす地下の状態を詳しく調べ、この状態ならあと何年後に地震が起きることが分かるようにすることが必要です。しかし、今日の地震学は残念ながらそこまでは到達していません。地下の状態を詳しく知るための研究を進めることはもちろん重要なことですが、現在の到達点において

言える最大限のことを追及することも大事なことです。試案はそういう立場でとりまとめられています。

一口に100年後とか230年後とか言っても、そこには130年もの開きがあり、これは人間社会の時間からすれば人の一生の長さを越える、おおきなあいまいさです。150年間隔の断層では130年の開きですんだのですが、陸域の活断層の多くは1,000年を越える間隔で活動しています。仮に、150年の10倍の1,500年の間隔で活動する断層でしたら、あいまいさも10倍の1,300年にもなります。こんなあいまいな情報は、社会が地震防災を考えるうえで、役にたたないと考えるかもしれませんが、必ずしもそうとはばかりは言えません。活動の可能性を確率を用いて表現することにより、役にたつ場合もあるのです。この小文では、確率を用いた表現の仕組みを解説しています。また、確率で表現された内容の役立て方についても言及しています。

(2) 確率の計算

ある活断層の平均活動間隔が分かり、そして前回の活動時期が分かれば、次の活動時期もある程度は予想できることになります。ちょうど一定の間隔で活動を繰り返していれば次の時期は正確にわかるのですが、間隔にはばらつきがつきものです。こうしたばらつきがあるときは、次の活動時期は確率を使って表現することになります。

確率を使うことの意味を考えるために、おみくじをひく場合のことを考えてみましょう。おみくじ100本のなかに凶が3本あるとします。このおみくじをひくとき、凶をひく確率は3%です。「今後30年間にこの活断層が活動して地震を起こす確率は3%」と言うときの3%も、おみくじの3%と同じ「危なさ」です。さて、確率の計算の仕方ですが、おみくじの場合、凶のおみくじをひく確率は、おみくじをつくった人におみくじの本数とそのなかの凶の本数を聞けば分かります。これは非常に簡単に計算できます。しかし、活断層が活動して起きる地震の場合は、そんなに簡単ではありません。計算には、次のようなやや複雑な手続をふむ必要があります。

平均活動間隔が1,000年の活断層があるとしましょう。仮にA断層と呼びます。A断層が、ちょうど今、活動したとします。地震を起こしたわけでは、A断層がこの次に活動するのはいつになるのでしょうか。第1図がそれを説明するためのものです。この図は試案の(2.1)式をグラフに描いたもので、横軸は今後の経過年数、縦軸は活動する可能性の大きさを表しています。活動する可能性は600年後くらいから次第に大きくなり、平均活動間隔の1,000年後の少し前で最も大きくなっています。それを過ぎると次第に小さくなっていきます。平均活動間隔の1.5倍の1,500年もたてば、きっとその前にもう地震を起こしているでしょうから、可能性は小さくなっていきます。

第1図を用いて、A断層が、例えば700年後から730年後までの間に活動する確率を求めることができます(第2図)。それは、700年のところと730年のところに縦線を引き、

$$(700年の縦線と730年の縦線の間にある山の面積) \div (山全体の面積)$$

が、その確率になります。同様に、900年後から930年後までの間に活動する確率でしたら

(900年の縦線と930年の縦線の間にある山の面積) ÷ (山全体の面積)

になります。こうした計算から、A断層が次に活動する確率は、900年～930年の方が700年～730年よりも大きいことがわかります。同じ時間幅をとって比較するならば、時間が平均活動間隔だけ経過した頃に活動する確率が最も大きく、それよりも早く活動する確率や、もっと遅く活動する確率は小さいことが、第2図から直ちに理解できるでしょう。

また、こうした計算の仕組みからわかるように、対象とする期間が長いほど、確率は大きくなります。例えば、900年後から930年後までの間に活動する確率は、900年後から1,000年後までの間に活動する確率よりも小さいのです。これは当然ではありますが、重要な性質です。つまり、30年間使う設計の構造物と100年間使う設計の構造物とがあった場合、後者は地震にあう確率が高いので、それに応じた耐震設計が必要になるということを意味しています。

さて、以上のことは、最初に「A断層が、ちょうど今、活動したとします」と述べたように、断層が活動した直後に考えたことです。断層が活動して、しばらくたった後に考えると、事情は少し変わってきます。我々が関心のある断層は必ずしも活動した直後のものばかりではなく、活動後、多かれ少なかれ時間が経過していますから、上の確率計算の考え方はそのままでは適用できません。どう考えるべきかは後に(4)で述べますが、その前に、少し寄り道をします。

(3) 確率分布の形

断層が活動して、しばらくたった後の確率計算を考える前に、第1図に描かれた山の形について述べておきます。第1図に示された山の形が対数正規分布と呼ばれる形です。試案ではその他にも、ガンマ分布、ワイブル分布、二重指数分布が述べられています(それぞれ、試案の(2.2)式、(2.3)式、(2.4)式に対応)が、これらの山の形は、対数正規分布の形と微妙な違いはありますが、よく似ています。よく似ているからこそ、試案の4.1節に述べられているように、いずれがいいモデルかについて、明確な違いが見出せなかったのです。また、試案で議論されている σ (シグマ)は、山全体のなだらかさを表します。第1図は σ の値として、試案の4.1節で推奨された0.23を使っています。 σ の値が大きくなるほど、山はなだらかになり、かつ、山の頂上の位置は少しずつ左に寄っていきます。 σ の値が小さくなると山がけわしくなります。この場合には、活動の平均活動間隔に近いところほど、地震を起こす可能性が大きくなることになり、活動がより規則的に起こっていることに相当します。

(4) 条件つき確率

さて、断層が活動してからしばらくたった後の確率計算の考え方について述べます。例として、A断層が活動してから700年経過しているとします。その時点から30年間(活動した時点から見ると、700年後から730年後までの間)に活動する確率を考えてみましょう。A断層が活動した直後の時点だったら、第3図のbの部分の面

積を使って、

$$(b \text{ の面積}) \div (a \text{ の面積} + b \text{ の面積} + c \text{ の面積})$$

で、計算することは先に述べました。しかし、前回の活動から700年経過した時点では、地震はこれまでの700年間は発生しないまま時間が過ぎ去ったのですから、第3図のaの部分は考えに入れてはいけません。つまり、確率は

$$(b \text{ の面積}) \div (b \text{ の面積} + c \text{ の面積})$$

で計算すべきなのです。これが、断層が活動してからしばらくたった後の確率計算の考え方で、これは試案の(2.12)式に相当します。こうして計算された確率を条件つき確率といいます。これは、「700年間、地震は発生していない」という条件のもとで確率計算をしているので、そう呼ばれています。試案で使われている確率の数値は、更新過程によるものはすべて、条件つき確率の考え方で計算しています。

条件つき確率の考え方は、次のような例にも見られます。10本のおみくじの中に吉が9本、凶が1本あるとしましょう。最初におみくじをひいて凶をひく確率は $1/10=0.10$ ですが、実際にひいたところ吉だったとします。これが、700年間、地震が発生しなかったことに対応します。2回目に凶をひく確率は、くじが1本減っていますので、 $1/9=0.11\cdots$ に増えています。上の割算で、割る数からaの面積を除いて(bの面積+cの面積)としたのも、実際に地震が発生していないという条件を考えに入れているからなのです。

(5) 集積確率

試案の表4.2で、断層の活動を注意喚起するための指標がいくつか提案されています。そのなかの指標(3)に集積確率というのがありますが、これは、第3図で、

$$(a \text{ の面積}) \div (a \text{ の面積} + b \text{ の面積} + c \text{ の面積})$$

のことです。つまり、前回活動から700年たっているという第3図の例では、その時点における集積確率が上式で与えられるのです。これは、言葉で言えば「その時点までにすでに地震が発生していてしかるべき(発生しているはずの)確率」ということになります。例えば、現在時点で集積確率が30%だというのは、これは上述のおみくじの例でいうと、3回ひいて3回とも吉(地震が起こらない)だった状態に相当します。集積確率が大きいほど、凶をひく日が近づいています。

(6) 条件つき確率が下がる現象の解釈

地震発生という現象は、ばらつきはあるものの、ある一定の時間間隔で繰り返して発生する現象であると考えています。ですから、地震が発生しないまま時間が経過すると、地震発生の確率はどこまでも大きくなって100%に近づいていくと考えられます。ところが試案の4.1節で述べられているように、対数正規分布モデルでは、活動間隔の2倍を過ぎたあたりから確率が下がっていきます。このため、このモデルは、一見、良いモデルではないと考えるかもしれません。しかし、よく考えてみ

ると、確率が下がり始める時点での累積確率（すでに地震が発生していてしかるべき確率）を調べてみると、99.9%を上回ってほとんど100%になっています。つまり、確率が下がり始めるまで地震を起こさないままにいることは、千回に1回も起きないような非常に稀なことなのです。採用するモデルに、そんなにも稀な現象までをもうまく説明することは期待しなくてもいいと考えられます。つまり、確率が下がり始める現象は、対数正規分布モデルの適用限界を越えたところの話だと言えます。

(7) 活動間隔の長い断層と短い断層

ある時間幅での地震発生確率は、活動間隔の長い断層は短い断層に比べて、確率の数値が大きくなるように感じますが、その理由を考えてみます。第1図～第3図に示した山の形は、平均活動間隔が1,000年のA断層について、地震発生の可能性の大きさが時間の経過とともに、どう変化していくかを示していました。ここで比較のために、活動間隔の平均が100年であるB断層を考えましょう。第4図がB断層の活動する可能性の大きさを表しています。

第1図～第3図と第4図は、縦軸と横軸のスケールは等しくしてあります。また、確率を計算するときの分母にくる山全体の面積も等しくしてあります。こうしておけば、確率は分子にくる面積そのものの広さで比較することが可能になり、便利です。これらの図で、活動間隔が違うことに対応して山の頂上の位置が違ってきます。また、山のなだらかさは大いに違ってきますが、実は σ はまったく同じ値0.23を使っています。使った σ が同じ値なので、山の高さが最大になってから平均活動間隔の約0.3倍の時間が過ぎると、山の高さは両者とも半分になります。山の高さが半分になるまでの実際の年数は、第3図が約300年、第4図が約30年です。実は、第3図の横軸の時間目盛を1/10にし、かつ、縦軸の可能性の目盛を10倍にすると、第4図の山とちょうど重なるのです。

さて、以上の準備のもとに、最初の疑問「ある時間幅での地震発生確率は、活動間隔の長い断層は短い断層に比べて、確率が大きくなるように感じる」を考えてみます。A断層もB断層も活動間隔の0.7倍の時間、つまり、それぞれ、700年、70年の時間がたつまで地震を起こさなかったとします。そこで、今後30年間の地震発生確率を、条件つき確率の

$$(b \text{ の面積}) \div (b \text{ の面積} + c \text{ の面積})$$

で計算します。これで計算した地震発生確率は、100年間隔で繰り返して活動するB断層の方が大きくなるということは、第3図及び第4図を比較してすると明らかです。活動間隔が長い断層の地震発生確率が大きくなるように感じるというのは、こうした仕組みによるものです。なお、A断層が今後300年間に活動する確率と、B断層が今後30年間に活動する確率なら、ちょうど等しくなります。

確率の考え方のこうした仕組みそのものが不合理だと考える方もいるかもしれませんが、しかし、平均活動間隔が100年の断層の活動間隔のばらつきが、例えば、30年だとするとき、平均活動間隔が1,000年の断層の活動間隔のばらつきは300年になると考えるのは、むしろ合理的であり、そう考える方が実際のデータによく合っているのです。これは、平均活動間隔が長い断層ほど、活動時期を（統計的に）予測することは難しいということに通じています。

先に、第1図～第3図と第4図で、確率計算するときには便利のように、確率計算の分母にくる山全体の面積は等しくしてあると述べました。こうしたことにより、平均活動間隔が短いB断層の活動の可能性の方が大きいように見えるので、これを不合理と考える方もいるかもしれません。しかし、平均活動間隔が短い断層の方が、実際のところ、活動の可能性がより大きいのです。例えば、10万年という非常に長い期間を考えてみましょう。平均活動間隔からすると、この期間にA断層は100回活動したはずですが、B断層はその10倍の1,000回も活動したことになります。この意味において、平均活動間隔が短いB断層の方が活動の可能性が大きい、「危ない」断層であるといえるでしょう。10万年という時間は非日常的な長さの時間で、その間に地震が何回起きるかなどという情報は、地震防災のうえでは全くと言っていいほど役に立たないものです。今後30年間に地震の起きる可能性の大きさを確率で表現するのは、そうした非日常的な長さの時間についての情報を地震防災において少しでも使いものになるように工夫した結果なのです。

(8) 確率の利用

試案の表4.1には、各断層の今後30年間の発生確率がまとめられています。この確率の数値への理解を深めるため、身近な例と比較してみます。天気予報で言う降水確率は馴染みの深い生活情報ですが、これは、ある地域で、ある時間帯に1mm以上の降水が期待される確率のことです。通常的生活感覚からすると、10%や20%のときは傘を携帯しないで外出することが多いようですが、その時間帯に戸外に出ることが多い場合や、雨に濡れたら損害が大きい場合には、少し慎重になって傘を携帯するのが、確率の賢い利用方法です。逆に、50%などという高いときでも、戸外に出ることがほとんどない場合や、濡れたときの損害よりも傘という荷物を増やすことの煩わしさが大きい場合には、雨が降らない方に賭けるのもいいでしょう。

さて、試案の表4.1に掲載されている内陸の活断層の多くは、活動間隔が長いので、10%以下の数字が並んでいます。これらの地震への対策を考える場合、降水確率のように数字が小さいから、そういう地震は起きないものとして対策は必要ない、というのは正しい考え方ではありません。実際、表4.1の下半分に掲載された内陸の活断層沿いの地震はすべて、30年確率が10%程度以下のときに発生していることが読みとれます。ここで対象としている地震はマグニチュードで言えば7から8クラス（試案の表4.1の右端の欄を参照）の、大きな災害をもたらす地震です。降水確率を利用する場合とは違って、生命にかかわることなので、雨に降られて服が濡れた、だけではすまないのです。

消防白書によりますと、平成8年の日本の人口1億2,500万人のうち、火災で罹災した人が約9万1千人いたそうです。これは、類焼も含めて、自宅がなんらかの被害にあった人の数で、単なる山林等の火災は含まれていません。将来もこの割合が続くとすると、今後30年間に火災で罹災する確率は約2%だという計算になります。また、交通安全白書によりますと、平成8年の道路交通事故による死者と負傷者とを合わせると約95万人となります。これから、今後30年間に交通事故により死亡または負傷する確率は約20%だということになります。これらの数字は、活断層が今後30年間に活動する確率と比較することが可能です。万が一の火災のときのために消火器を備えたり、保険に入っている人は多いと思われます。また、各家庭や学校では、幼児や児童に、交通事故にあわないための躾や教育が繰り返されています。

30年確率で2%や20%の出来事に、このように備えているとすれば、それ以上の確率が見込まれる地震にも備えを怠らないというのが合理的な態度と言えるでしょう。

確率の数字は、限りある予算を地震防災対策につぎ込むべきか否か、つぎ込むとすれば、どこで起きる地震への対策を優先させるべきか、あるいは、如何ほどの予算をかけるのが妥当か、というような判断をする時の基礎資料としても利用できます。

なお、試案の表4.1に掲載されている数字そのものは、暫定的なデータにもとづく予備的な結果ですので、現段階で防災情報として理解するのは必ずしも適切ではありません、との断り書きが、試案の意見募集要項にあることをお忘れなく。

(9) 注意喚起のための指標

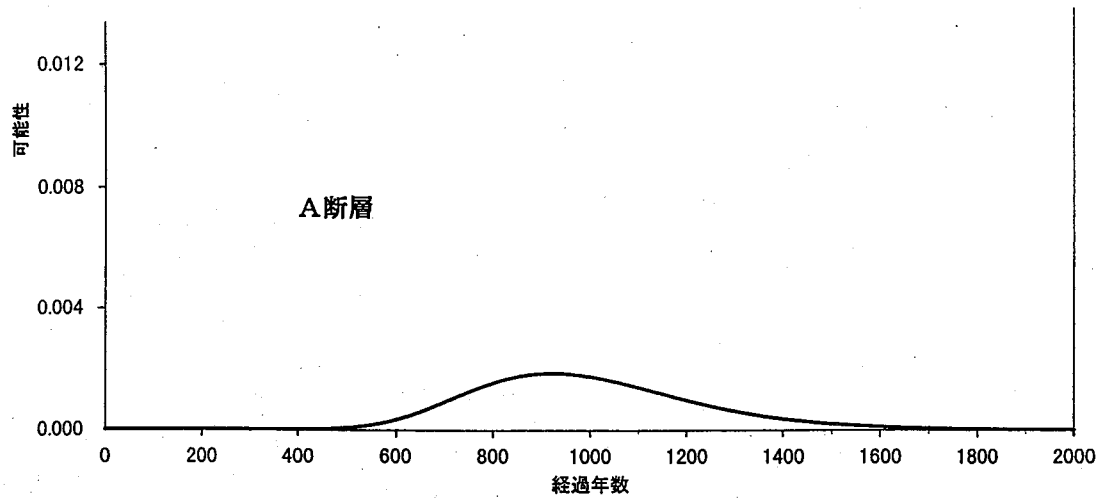
まず、試案の中では、しばしばポアソン過程が引合いにだされ、ポアソン過程のモデルはデータをうまく説明できない、と述べられています(例えば4.1節)。それはそのとおりなのですが、ポアソン過程は非常に単純なモデルなので、対数正規分布等のモデルと比較する対象として登場しています。ポアソン過程を表す式は試案の(2.5)式で、その山の形は図2.1に指数分布という呼び名で示されています。これだけでは単純さがわかりませんが、図4.2から図4.10までに掲載されている直線を見れば、その単純さがわかるでしょう。つまり、ポアソン過程のモデルによれば、地震が発生する条件つき確率(図4.2から図4.10でいうところの危険率)は時間によらずに、一定なのです。地震の発生は、放射性元素の崩壊のように、一定の確率(割合)で全く偶然に起きる、というモデルです。このモデルの場合、平均活動間隔が100年の断層の危険率(地震発生回数/年)は $1/100$ に、1,000年の断層のそれは $1/1000$ と、非常に単純になります。これは、数10万年以上という超長期間でみたときの1年間当たりの地震の平均発生回数にほかなりません。

ポアソン過程との比較は図4.2~図4.10で行われ、その結果が表4.2で注意喚起するための指標としてまとめられています。表4.2で、指標(5)がポアソン過程による危険率そのものです。指標(1)と指標(2)がポアソン過程による危険率と対数正規分布モデルによる危険率(図では地震発生回数/年で表しています。これまで条件つき確率と称してきたものと同じ)とを比較したものです。指標(1)はポアソン過程による危険率を越えてからの年数を時間軸(横軸)に沿って見たもの、これに対して指標(2)はポアソン過程による危険率をどれくらい上回っているかを危険率の軸(縦軸)に沿って見たものです。これらの指標は、その断層の現在の危険率を、数10万年以上にわたる超長期的な平均危険率と比較したものといえます。指標(3)の集積確率はすでに説明したように、「現在までにすでに地震が発生してしかるべき確率」です。指標(4)は、すでに説明した対数正規分布モデルでは活動間隔のおおむね2倍を過ぎたあたりで極大値を持つという性質に関連しています。現在の危険率をその最大値と比較することにより、危険さを正當に伝えたいという意図があります。

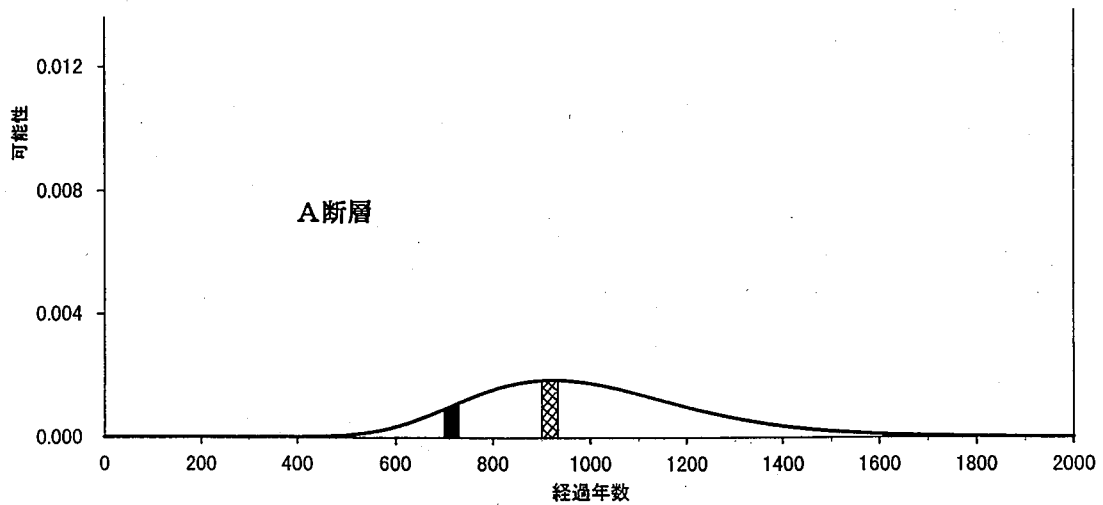
(10) むすび

ある期間内に地震の起きる確率は、地震発生の可能性の絶対的な大きさを表すものです。内陸の活断層の多くは平均活動間隔が長いので、前述のように、30年確率はあまり大きな値になりません。その値が10%程度以下のときでも、実際には地

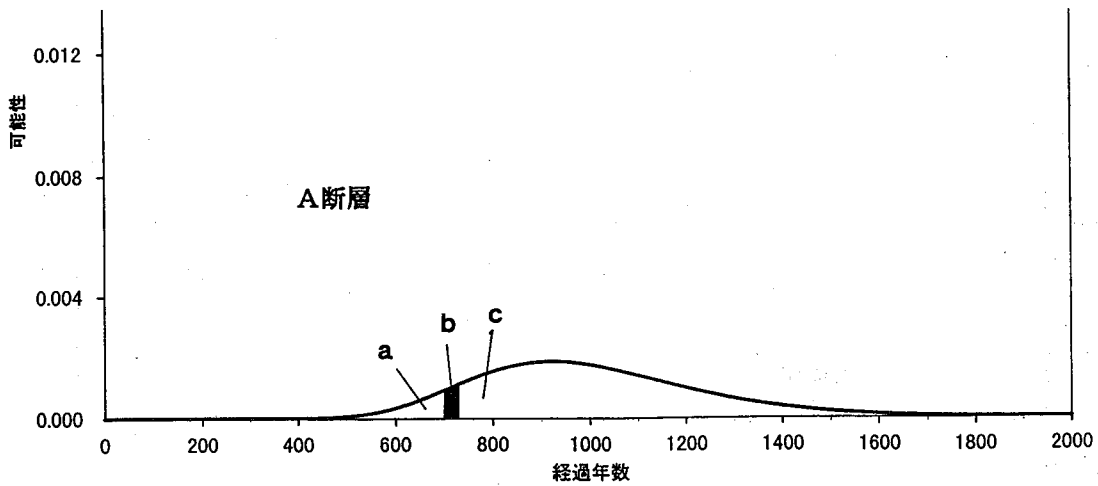
震が発生しています。したがって、こうした地震への対策を考える場合、10%以下の確率でも、それを直ちに小さいとみなすのは正しい見方ではありません。確率の数字だけでは伝えられない地震発生の可能性に対し、注意を喚起するために幾つかの指標が提案されました。この指標は、ある値を越えるまでは地震は起きず、また、その値を越えたら必ず地震が起きる、というものがいいものといえます。しかし、仮にそのようなものが存在するならば、過去の経験にもとづく統計のみで地震発生時期の特定が可能だ、ということになってしまいます。そういう事態はちょっと考えられません。実際の地震発生時期を知るためには、過去の経験を統計的に調べることによって地震発生時期をある程度の幅に追い込んだ後、その幅のなかで地震や地殻変動等の地球物理的な観測をおこなって、その観測結果を解釈するモデルを構築することによって予測の確度あげていくという進み方が望ましいと考えられます。地震調査委員会が現在進めている長期評価は、地震発生時期をある程度の幅に追い込むのに貢献できます。この評価は、地震学の現在の到達点からの重要な社会還元のひとつであると言えます。こうした情報を最大限に利用できるようにしたいものです。



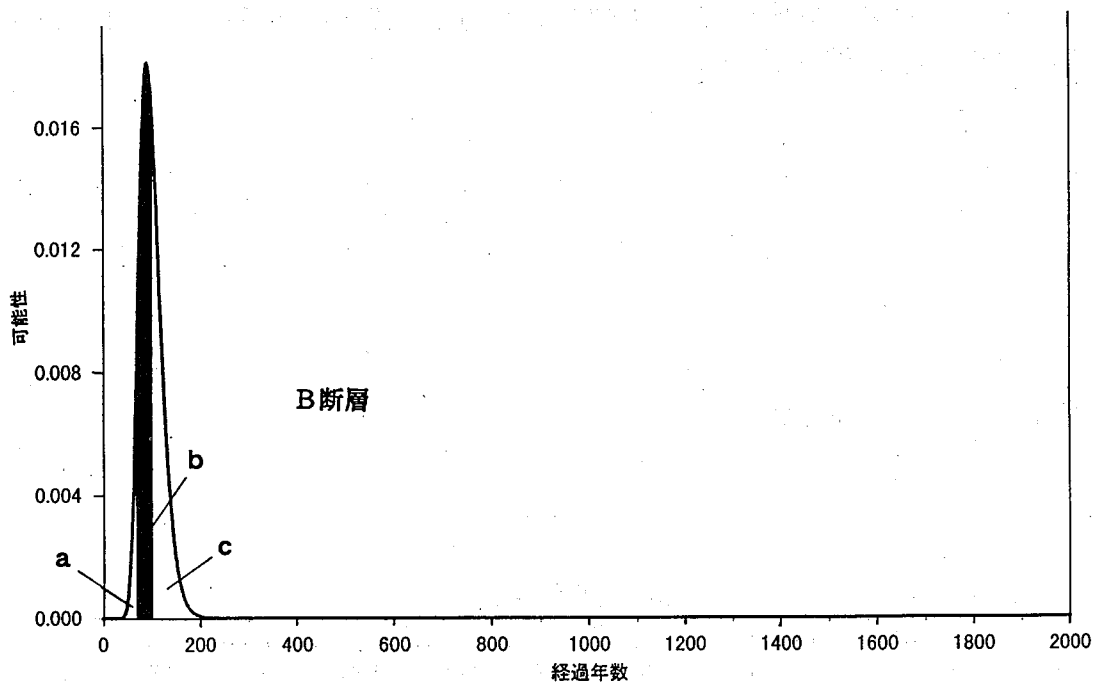
第1図：A断層の活動可能性の大きさの変化。A断層の平均活動間隔を1,000年とし、活動する可能性の大きさが経過年数とともに変化する様子を、A断層が活動した直後の時点で考えたもの。試案の(2.1)式で、 m を $\ln(1000) \approx 6.91$ 、 σ を0.23として計算した。横軸が t 、縦軸が $f(t; m, \sigma)$ 。



第2図：A断層が活動する確率の計算方法。700年後から730年後までの間に活動する確率は、700年の縦線と730年の縦線の間にある山の面積（黒塗り部分）を山全体の面積で割ることによって計算できる。900年後から930年後までの間に活動する確率も同様に網目部分を山全体の面積で割ることによって計算できる。



第3図：A断層が活動する条件つき確率の計算方法。A断層が活動してから700年経過した時点でまだ活動していない場合、その時点から30年間（活動した時点から見ると、700年後から730年後までの間）に活動する条件つき確率は（bの面積）÷（bの面積+cの面積）で計算される。また、試案の表4.2の指標(3)の集積確率とは（aの面積）÷（aの面積+bの面積+cの面積）を意味する。これは「700年後の時点までにすでに地震が発生してしまわなければならない確率」を意味する。



第4図：B断層が活動する条件つき確率の計算方法。B断層の平均活動間隔は100年として、山の形は試案の(2.1)式で、 m を $\ln(100) \approx 4.61$ 、 σ を0.23として計算した。山全体の面積は第3図と等しくしてある。B断層が活動してから70年経過した時点でまだ活動していない場合、その時点から30年間（活動した時点から見ると、70年後から100年後までの間）に活動する条件つき確率は、第3図の場合と同様に（bの面積）÷（bの面積+cの面積）で計算される。

