

地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会

第1回長期確率評価手法検討分科会（第二期）

議事概要

※第1回長期確率評価手法検討分科会（第二期）（令和6年9月9日（月）開催）の議事概要より、「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版一部改訂）」及び「長期的な地震発生確率の評価手法について（追補）」に関する部分を抜粋。

出席者

主査	佐竹 健治	国立大学法人東京大学名誉教授
委員	汐見 勝彦	国立研究開発法人防災科学技術研究所 地震津波防災研究部門副部門長
	寺田 吉壱	国立大学法人大阪大学大学院基礎工学研究科 システム創成専攻准教授
	西村 卓也	国立大学法人京都大学防災研究所教授
	野村 俊一	早稲田大学商学学術院会計研究科准教授
	林 豊	気象庁気象研究所地震津波研究部第四研究室長
	宮澤 理稔	国立大学法人京都大学防災研究所教授
事務局	吉田 和久	文部科学省研究開発局地震火山防災研究課地震火山室長
	上野 寛	文部科学省研究開発局地震火山防災研究課地震調査管理官
	清水 淳平	気象庁地震火山部地震火山技術・調査課調査官
	岡 岳宏	気象庁地震火山部管理課地震調査連絡係長
	都筑三千夫	国土地理院測地観測センター火山情報活用推進官
	吉本	（文部科学省研究開発局地震火山防災研究課地震火山室）

内容

長期確率評価手法について

佐竹主査：本分科会での当面の進め方について委員の皆様に検討頂くため、事務局から説明をお願いする。

事務局（上野）：（長手II1(2)、参考資料2-1～2-2に基づき説明）

佐竹主査：現状と本分科会で何を議論して欲しいかについて説明があった。まず、質問あるいは意見等あるか。あるいは補足でも良い。画面に出ている（長手II1(2)のp.5）中で、右側のフローチャートは、先程説明した長期確率評価手法検討分科会の第一期で作成したものである。今回、フローチャートを作成した分科会を再度設置したため、フローチャートを見直すことも視野に入っていると考えているが、事務局の意向は、まずはこの中で現在、問題となっている時間予測モデルを使って活動間隔（T）を推定し、それを基にBPTを用いて予測している点についてである。BPTのパラメータとして、活動間隔の相加平均と

ばらつきの二つのパラメータがあるが、 T のばらつきについて議論はされていないため、今後定量化していきたい。これが、まず最初にすべき議論であるがいかがか。何か補足等はあるか。

林委員：どの辺りまで長期確率評価手法検討分科会（第二期）で審議をするのかについて確認だが、短期的にはBPT分布の式を誤差を考慮した式に作り変える。一方で、個々の問題を考えたときに、どのモデルを適用するのが最も良いかについて考える。時間予測モデルが良いのか、活動履歴に基づくBPT分布を使うのが良いのか。おそらく、どちらか一方を長期確率評価手法検討分科会（第二期）で選ぶことが基本的な考え方だと思うが、データに対して、どの確率モデルを使うのが妥当であるかを判断するという基準は、フローチャートはあるが明確には決まっていない。この部分について、長期評価部会は問題にしないと考えて良いのか。

佐竹主査：林委員の指摘に関して、どのモデルが良いかについて、長期確率評価手法検討分科会（第一期）の議論ではAIC(Akaike's Information Criterion, Akaike 1973)を用い、どれが最小になるかでモデルを選ぶ方針が提案された。しかしながら、現実としては、海溝型地震の長期評価については評価が一巡した後に二巡目の評価を行った。二巡目は東日本大震災の後であり、その時に長期評価自体の見直しを行った。その時には例えば、不確実なデータも採用する、あるいは複数のモデルがある場合には両論併記するなど、必ずしも一つに絞らない方針になった。実際に前回の「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」における主文では時間予測モデルしか記載はないが、解説文の方には発生平均間隔を使ったモデルに4～5つのデータセットに対して最尤法で α を求めた結果から、それぞれの確率がどうなるかを示している。海溝型分科会（第二期）における議論から、両論併記で必ずしも一つに絞ることはないという方針になったと理解している。何か補足等あるか。

事務局（上野）：佐竹主査が説明したとおり、フローチャートは見直す必要があれば、見直す方向でも問題はない。しかしながら、とりあえずのミッショントリニティはフローチャートの左側の時間予測モデルに関する部分である。フローチャートで問題点があるかについては聞いていないが、もしも問題点があれば反映していくのが良い。それ以外にも、報告書全般が公表から20年以上経っているため、最新の知見を反映して見直す部分は見直していきたい。これらは次の議題で議論する。

佐竹主査：とりあえず現在の課題は、時間予測モデルに誤差をどのように取り入れるかである。BPTの $T(\mu)$ の誤差をどのように評価するかについて、議論して欲しいということである。例えば右側のフローを全て見直してBPT分布を用いた確率評価を辞め、他のワイル分布や対数正規分布などを用いる方針に変更するなどの議論になった場合、どうするのか。また（評価手法にまで）戻らなければいけなくなる。

事務局（上野）：確率評価に用いる分布に関する議論は1年とかでは終わらないと思う。最終的にそちらの確率分布を用いた方が良いという根拠があれば、それに従う。現状では、南

海トラフの（過去の地震発生時の室津港の）隆起量データに誤差があり、求められた平均隆起速度にも誤差があることを加味すると現状の式をそのまま適用することができない。誤差を考慮することができる式、もしくは式でなくとも何かしらの確率を求める方法を作成することが、今回の本分科会における当面のミッションである。

寺田委員：最後に結局 BPT モデルを用いて確率評価を行うが、現在は活動間隔(T) の相加平均のばらつきが全く考慮されていないため、 T の相加平均にプライマーを入れて、その後分布、時間に関する周辺分布などを計算することが最初のミッション的な考え方であると理解したが宜しいか。

事務局（上野）：その通りである。 T が正規分布か一様分布になるかどうか分からぬところもある。様々な分布にも対応可能なアルゴリズムや考え方方が良いのではないか。

野村委員：私も同様の考え方であるが、別案があるとすれば、これまで内陸活断層の評価で行われていたように、最新活動時期に幅がある場合には、確率が最小と最大になる場合のそれぞれを評価してその幅を公表する考え方もある。今回のケースではその考え方でも出来ると思うが、今後、様々なケースが出てきた場合のことを考えると、誤差分布からシミュレートしたもの用いて評価するのが最も一般的に使える方法ではないかと考えている。

佐竹主査：今のやり方は、当時、長期確率評価手法検討分科会（第一期）の委員と懸命に作成したが、四半世紀も経過している。今回、ここで改訂したものは、また四半世紀にわたって使われることもあり得る。是非とも最新の知見を生かした議論を行い、適切な手法を考えていきたい。

佐竹主査：会議資料にはないが、本日、背景となる論文について事務局にご連絡頂いている。それについて簡単に紹介して欲しいということである。それでは、野村委員が 2011 年に発表した「Bayesian forecasting of recurrent earthquakes and predictive performance for a small sample size」の論文について、紹介して頂く。

野村委員：(Nomura et al., 2011 を抜粋しながら説明)

佐竹主査： α の地域性は物理的な地域性に依るのか、あるいはデータがどの程度あれば、こういったことが言えるのか。

野村委員：本分析はデータドリブンであり、活断層ごとに判明している過去の活動データから推定したものである。

寺田委員：p. 2 のベイズ予測が今回やるべきことというか。 μ と α に対して事前分布を与え、事後分布的なばらつきを考慮して予測分布を BPT モデルに基づいて作ることは、まさに(4) 式に書かれていることである。

佐竹主査：論文の Appendix にある式は、サンプル数が小さいと μ と α にバイアスがあることを示しているが、これは採用している筈である。

野村委員：Appendix B の方で、 α の最尤推定値のバイアスを示している。これは長期評価部

会の先程の資料にもそういう記載があった。これは、その推定に理論的にバイアスがあることを証明したものである。 α^2 の推定が記載してあるが、実際に期待値を計算すると平均的には真の α^2 値に対して活動回数をnとして、1/n倍だけ小さく推定されることを記載している。

寺田委員：簡単に補正できるが、実際には補正したものを使っているのか。

佐竹主査：確かにそうだったと思う。相模トラフ沿いの地震活動の長期評価（第二版）で見たときにこれを使ったと思う。

野村委員：これまでの $\alpha = 0.24$ という値は、そのような補正はされていない。

佐竹主査：最尤法で決めたときには、これを使った筈である。

野村委員：この式はあくまで1つの活断層に対しての場合であり、 $\alpha = 0.24$ は4つの活断層に対して共通の α を推定したものであるため、nが定まらないこともある。

林委員：確かにばらつきを求める際に、平均の活動間隔がどの活断層も1になるように規格化してから α を求める作業をしている。その規格化をするとところで、ばらつきを過小評価する作業が入ることは間違いない。それがどの程度なのか、定量的な話は分からぬが。

野村委員：Appendixのように単純なケースであれば評価できるが、いくつかの活断層に対して α が共通であるとすると理論的な評価は難しくなる。そのため、説明した参考資料3-3ではシミュレーションベースでどの程度バイアスが生じるか調べた。

佐竹主査：先程、寺田委員から指摘があった（4）式が今回の改訂の基本の式になるとのことだが、具体的に説明してほしい。

野村委員：これは参考資料3-3で説明した方法と本質的には同じであり、積分するところを実際にはシミュレーションベースで発生させ、過去の発生時期ならびにパラメータ値もいくつかサンプリングする。各サンプルに基づく予測を最後に平均をとることで、モンテカルロ積分として計算することができる。

佐竹主査：具体的には、例えば時間予測モデルに戻ると、活断層の場合には具体的に活動間隔Tと α がいずれもパラメータに対する分布にばらつきがある。

野村委員：こちらの研究では南海トラフに対しても時間予測モデルではなく、普通の更新過程で計算をしている。

佐竹主査：時間予測モデルの誤差は、資料(1)-2のp.5に戻る。

事務局（上野）：BPTに（4）式がそのまま使えるかどうか分からぬが、Uにも誤差がある。そこで求められるVにもばらつきが生じる。

寺田委員：今は最後に確率評価をするときにBPTを用いているという理解で良いか。

事務局（上野）：それで良い。（現在、時間予測モデルから求めたTを用いてBPT確率値を計算する際においては） α は0.20と0.24の2種類を用いている。

寺田委員：その意味では、ばらつきを表す分布を設定することにより、BPTモデルをその分布で積分した形でばらつきを考慮して確率評価を行うということか。

事務局（上野）：ばらつきが正規分布か、一様分布か分からぬ部分はある。

寺田委員：ばらつきの分布は何でも良い。(計算過程の中で) やることは変わらない。おそらく、周辺尤度を評価することでどちらの方が尤もらしいか評価することができる。

佐竹主査：出来そうであるという力強い言葉を頂いた。

事務局（上野）：野村委員のこの方法を用いて、南海トラフに限った話ではないが、平均活動間隔 T が正規分布か一様分布か分からなくても計算可能であり、 α もばらつきが分かっている場合、分かっていない場合に対して対応可能なアルゴリズム作成に関する資料を次回分科会にお願いしたい。寺田委員にお願いしても良いか。

寺田委員：承知した。

佐竹主査：バックグラウンドとして、南海トラフの時間予測モデルに室津港のデータを使っている。このデータにどの程度の誤差があるかという議論は、先週（9月2日）の長期評価部会と海溝型分科会（第二期）の合同会で行った。南海地震による隆起データは3回分あり、それぞれの隆起量の誤差の原因も異なる。それらも含めて、今後の合同会で数値を考える。その数値を用いることができる方法について、この分科会で提案したいということである。

西村委員：統計の専門家に伺いたい。室津港の隆起は、先程の式の U_{last} に当たる数値に関しては、おそらく確率分布の形が見えない。例えば、3つの計測手法があると、例えば 1m、0.8m、0.7m などの計測結果があったとしても、それぞれの誤差は曖昧で、どれが最も信用できるかについても分からぬという状況であると思っている。それぞれのデータの事前分布が良く分からぬ状況でも取り入れることはできるのか。

野村委員：以前関わった伊方 SSHAC プロジェクトでは、最終的に事前分布をそのまま用いずに、ロジックツリーを用いている。複数の計測が想定される場合には、それぞれのケースに対して評価した上でエキスパートジャッジをして、それぞれに重みを与えて最後にその加重平均をとる形で評価している。このような方法で計算しても、連続分布でやるか、離散分布でやるかで結果はあまり変わってこないと考える。そういう方法は十分に考えられるのではないか。

西村委員：理解した。

佐竹主査：論文がいくつかある。データには認識論的な不確定性があり、必ずしも自然的なばらつきではない。そのような場合にはロジックツリーで重みをつける方法があるとの提案である。他に、意見や質問はあるか。

事務局（上野）：西村委員の意見を受けて、確認したい。長期評価部会で何を審議しているか長手 II 1(2) の p. 4 下の方に書かれている。宝永地震、安政地震の隆起量に対する誤差の中には余効変動に関する誤差、潮汐による誤差、測定方法による誤差の 3 種類があり、これらをどのように加味していくかについて、議論している。昭和南海地震については、室津港の深さを測った隆起量のデータとその近傍の水準測量のデータがある。データは 2 種類あるが、その両方において測定位置の誤差や測定方法、余効変動の誤差なども加味する。つまり誤差が各地震のデータごとに出てくるため、先程野村委員が説明したようなロジックツリー的な方法で求めることになる可能性もある。長手 II 1(2) p. 3 のイメージ図で示されている最小二

乗法で傾きを求めていたような形ではなく、異なる方法で求める方向になる可能性があるというものが西村委員の意見の趣旨でよろしいか。

西村委員：その理解で良い。

宮澤委員：西村委員と似たような質問になるが、先程エキスパートジャッジにしても何にしても最終的にはあまり変わらないという説明であったが、ここで見ているデータの場合は数が少ない。野村委員の研究の結果で、前回と変わらないといったケースがどの程度のサンプル数なのか分からぬが、実際に、偶然的不確実性も認識論的不確実性も含めて、不確実性がどのくらい結果に影響を及ぼすのかについて述べることは、今の段階では難しいのか。つまり、長手II 1(2) p.5 でも、平均活動間隔 T については正規分布、一様分布を想定しているが、データに忠実に考えて出した値であれば説得力もある。しかしながら、そのロジックツリーの方法でジャッジするのはおそらく長期評価部会かと思うが、そこでジャッジ次第で結果が大きく変わることになると、ここで枠組みを作っても結局はエキスパートの考えでほとんど決まることになる。それで、良いのかどうか。

野村委員：エキスパートジャッジの仕方によっては、もちろん変わってしまう。先程の回答は軽率だったが、あまり変わらないと説明したのは、少し異なるイメージの話である。伊方SSHACの研究では、最終的に連続分布として求まった α の事後分布を、パーセンタイルを使って離散化し、4つか5つ程度の点で近似して評価した。こちらはある程度理論に基づいた方法であるため、十分な精度で近似することができる。どの程度の精度であったかは記憶していないが、地震調査委員会による長期評価の結果は有効数字が1桁であり、1桁数字というレベルではほぼ変わらないと考えている。一方で、エキスパートジャッジの仕方で、1.4~2.4mの中で最終的にほとんど1.4m寄りになるような場合とほとんど2.4mに寄りになる場合であれば、最終的な結果も変わるため、そこはジャッジの仕方次第で変わってくる。

事務局（上野）：次回の本分科会は9月26日開催で日程は決まっている。次回の分科会では例えば寺田委員からの提案を受けるとしても、次回の長期評価部会が10月11日のため、そこで議論の結果も踏まえて、第3回分科会を開催する方が良い印象を受けた。当面2回の開催を考えていたが、3回目の開催をした方が良いかもしくないと、本日の議論を聞いて考えたが、宜しいか。

佐竹主査：それは短期的な課題に対してということであり、そこで本分科会を解散する訳ではないということで良いか。

事務局（上野）：その通りである。短期的な議論は2回程度で終わると思ったが、長期評価の審議も踏まえ、データの質を見た上で、このデータであればこの方法で大丈夫であると確認しながら審議した方が良さそうである。

佐竹主査：今の話は短期的な審議予定として、あと2回この分科会を開催する必要があるということである。汐見委員、意見は宜しいか。

汐見委員：宮澤委員の意見もその通りであるが、本委員会でデータのクオリティや、どのようなデータが出てくるかまで議論して手法を考える必要があるのかについて、整理した方が

良い。当初に上野管理官から説明があったとおり、地殻変動量の幅という BPT ないしは時間予測モデルでは想定されていないものをどのように式に入れるのかを議論することに限るのか、データのクオリティまで含めた検証をしていくのかは、はつきりさせておかないとこの先の議論に影響が出るのではないか。

佐竹主査：重要な指摘である。データのクオリティ自体は長期評価部会あるいは海溝型分科会（第二期）や活断層分科会で審議するかもしれないが、例えばこの分科会からロジックツリーを使った手法を提案するのであれば、その内容を長期評価部会や海溝型分科会（第二期）に説明する必要がある。その辺りは整理が必要である。

事務局（上野）：長期評価部会から報告されるデータの質が、我々が想定している範囲内にあるのかどうかも含め、検討する必要がある。データの誤差についてはこの分科会では審議しないが、最終的に長期評価部会から報告されたデータが、この分科会で考えていた想定の範囲にあるのかどうかは審議した方が良い。

佐竹主査：例えば、複数の不確定性があればロジックツリーでエキスパートの意見の分布を求める要請を、この分科会から依頼しなければ出てこない。海溝型分科会（第二期）あるいは長期評価部会の方では、そのようなことは前提にしない議論をしているため、意見分布を求める必要があるという条件が手法に入るのであれば、それを伝えなければならない。当面の課題である南海トラフの評価において、室津港のデータをきっかけとして、長期評価の手法自体も四半世紀経っているため、見直していく。見直しは時間がかかることが、やっていきたいと思う。宜しくお願ひしたい。委員の方から他に補足なども宜しいか。

林委員：事務局にお願いしたい。随分前であるが第 53 回活断層評価手法等検討分科会の資料で、発生時期とばらつきも変える。ばらつきについても事前分布を与え、実際に起きているイベントの時刻が幅を持って推定される問題について議論したものがある。まさにベイズ推定の方法を [] が提案されたものを実際に適用してみたらどうなるか、検討したものである。調べて頂けるとありがたい。

事務局（上野）：了解した。

佐竹主査：長期評価部会において [] から、第一期の長期確率評価手法検討分科会で時間予測モデルの検証をしたとの意見があった。自分では確認していないが、どうだったのか。

事務局（上野）：長期評価部会で議論する話だが、最終的には、この分科会で求めた値が時間予測モデルでも検証できるかという話だと思う。

佐竹主査：承知した。他は、宜しいか。

（意見なし）

以 上