

地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会
第4回長期確率評価手法検討分科会（第二期）
議事概要

1. 日 時 令和6年11月20日（水） 10時00分～11時55分
2. 場 所 研究開発局会議室1及びウェブ会議のハイブリッド形式による開催
3. 議 題 （1）長期確率評価手法について
 （2）その他
4. 配付資料
（本資料）
長手Ⅱ4(1) 第273回長期評価部会・第94回海溝型分科会（第二期）・第3回長期確率
 評価手法検討分科会（第二期）合同会議事要旨（案）
長手Ⅱ4(2) 隆起量の確率分布計算条件
長手Ⅱ4(3) 事前分布の設計（寺田委員資料）
- （参考資料）
参考資料1 [choshu2]メーリングリストにおける議論
5. 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巨大地変災害研究領域
地震津波発生基礎研究部門長 |
| | 寺田 吉彦 | 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 |
| | 野村 俊一 | 早稲田大学商学大学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 |
| 委員長 | 平田 直 | 国立大学法人東京大学名誉教授 |
| 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 |
| | 佐藤 壮紀 | 文部科学省研究開発局地震火山防災研究課調査研究企画官 |
| | 岡 岳宏 | 気象庁地震火山部管理課地震調査連絡係長 |
| | 清水 淳平 | 気象庁地震火山技術・調査課調査官 |
| | 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 |
| | 太田・田中・上野（貴） | （文部科学省研究開発局地震火山防災研究課地震火山室） |

6. 議 事

佐竹主査：（開会）第4回長期確率評価手法検討分科会（第二期）を開催する。

事務局（上野（寛））：〔出席者確認〕 対面出席は、佐竹主査、野村委員、林委員。本日は、西村委員が欠席である。

事務局（田中）：〔配付資料の確認〕

事務局（上野（寛））：〔第273回長期評価部会・第94回海溝型分科会（第二期）・第3回長期確率評価手法検討分科会（第二期）合同会議事要旨（案）の確認〕 会議終了までに修正がなければ確定したい。長期評価部会、海溝型分科会（第二期）での承認は12月16日開催予定の合同会で行う。

→本会議終了までに修正の意見はなく、案のとおり承認された。

議題1 長期確率評価手法について

佐竹主査：本日は、宝永地震・安政地震の室津港における隆起量データの確率分布についての事務局説明の後、事前分布の設計とその結果について、寺田委員に説明頂き、議論したい。

事務局（上野（寛））：（長手II4(2)に基づき説明）

佐竹主査：前回議論したことをまとめた資料である。1枚目は隆起量データの確率分布の検討内容であり、①②③は宝永地震、安政地震は④⑤⑥としてまとめている。データを使って実際に計算する場合の確率分布の候補が2枚目となる。一様分布における角を丸めた形、軟化一様分布を使って計算するとどうなるかについて次に説明していただく。 σ や重みについては次の合同会で議論することになるが、手法に問題があるなど意見があれば、お願いしたい。

野村委員：正規分布の場合の③で、 2σ にするか 1σ にするかが書かれている。私は前回の合同会で 2σ が良いのではないかと意見したが、例えば③では2.1~2.4mで、元の文献の記述で七八尺が2.1~2.4mになるが、七尺が正確に2.1mではなく2.1m程度ではないかと考えると、正確に2.1~2.4mの間とするのではなく、 1σ としてももう少し幅を持たせた方が良いという考えもあり得ると、後で考え直した。

事務局（上野（寛））：前回の議論を受け、 1σ にした場合も参考までに示した。どちらが良いかを次の合同会で検討したいと考えており、赤字で示している。

佐竹主査：どちらを採用するかは次回に検討していただく。本日は、それらを採用した場合の定式化について、長期確率評価手法検討分科会（第二期）として議論する。それでは、不確実性を考慮した評価方法について、寺田委員に説明いただく。

寺田委員：（長手II4(3)に基づき説明）

佐竹主査：事前分布で（長手II4(3) p.9 の）赤線が青線に比べて大きいところは重みが大きいのか。

寺田委員：その通りである。1:2:3で混合していることによる影響である。

佐竹主査：（青、赤、緑線の）3つを足すと黒線になるのか。

寺田委員：ご指摘の通りである。

野村委員：今回、提案された事前分布の設計は利にかなった方法だと思う。形状的には正規分布に近い形は尤もで、単純な正規分布を使う場合と比べるとおそらく幅が変わる。長手 II4(2)では、例えば 1.4~1.5m を使う場合には、その中央値 1.45m にした上で $\pm 0.3m$ にするのが正規分布の場合である。一様分布+正規分布の場合は 1.4~1.5m の上限下限それぞれに 0.3m を追加する方法になるため、形状的には正規分布に近くなるが、幅に関しては少し変わってくる。

寺田委員：その通りである。

林委員：長手 II4(3)p.10 で、事前分布が混合分布の場合に、事後分布も混合分布になるという意味についてだが、これはある事前分布を作った場合と、ロジックツリーで同じ混合比に相当する重み付けをして分け、最後に足し合わせた場合とで同じになると理解して良いか。

寺田委員：ロジックツリーの具体的手順についてあまり理解していないが、事前分布に用意した混合率をここでは π_k と示しているが、 π_k の混合で事後分布も得られる訳ではない。(事後分布の混合分布は) 混合率 (π_k) を周辺尤度を用いて変形した形の重み付けになる。おそらくロジックツリーではこのような周辺尤度の評価をしていないため、異なるのではないか。ベイズ推定の観点から考えると、このような形 (p.10 の式) を使った方が妥当な推測ができる。

野村委員：私の理解では、例えば最初に 1 : 2 : 3 の重みを付けた場合に、実際の発生間隔への当てはまりを見て、1 : 2 : 3 のうちの最初の 1 の分布の形態に当てはまりが良ければ事後的にはそちらの重みが増すことになる。

寺田委員：その通りである。ベイズ推定を行った場合には、周辺尤度によって重みづけられることで重みが更新され、より妥当なモデルの混合率を高くする形になる。

林委員：承知した。

宮澤委員：これまでの言葉だけの議論ではイメージが難しかったが今回長手 II4(3)p.8 で宝永地震に関しての隆起量の分布が示され、このような感じであることが分かって良かった。質問だが、推測結果が示された p.16 以降で、ベイズ推定で FIX と不確実性 (UNC) を入れた場合で、確率値が 1%程度変わっている。p.17 以降も推定値は少しずつ異なるが、その理由について説明いただきたい。それとあわせて確認だが、この 95%は最高密度区間 95%で良いのか。

寺田委員：下に書かれているヒストグラムは、事後分布から例えば β と γ を発生させて一つの予測モデルとして条件付き分布が得られるが、この (p.16 の) 場合には 2034 年までに発生する確率を横軸にとり、事後分布から何回も発生させて、どのような分布になっているかという確率分布を示している。この中で 95%の確率を含む短い区間が 95%HDI と書いている区間である。二つのヒストグラムにおいて赤点線と青点線で書いた区間がそれぞれ対応している。左は不確実性を考慮していない場合である。不確実性を考慮していないため、不確実性を考慮した場合よりも平均の方に集中した分布になり、95%HDI 最高密度区

間が狭くなっている。ただし、事後平均に関してはそれ程のずれはない。期待値に関しては少しだけずれるが、それ程大きなずれではない。

宮澤委員：このずれが大きいのか小さいのか、私には判断がつかなかったが、寺田委員からすると大きなずれではないという認識で良いか。

寺田委員：期待値に関するずれは大きくないが、ばらつきに関しては少し大きくなっていると考えている。

佐竹主査：確率に対して、不確実性の考慮のありなしは意外と差が小さい印象を持ったが、ベイズ推定と最尤推定で大きく異なるのは何故か。

寺田委員：MAP 推定をすると最尤推定の確率値に近くなる。第2回長期確率評価手法検討分科会（第二期）において、時間予測 BPT モデルを紹介した時の資料（長手II2(2)）で示したが、事後分布自体が広がりを持った分布になっている。今回はデータが三つしかないため、事前分布の幅が不確実性を考慮しない場合には少しだけ小さくなる。MAP 推定と呼ばれる推定方法をベイズで計算すると最尤推定値に近い結果になる。ベイズ推定をすると不確実性がパラメータの方にも入るため、ばらつきが大きい形になる。最尤推定の方もデータがかなり少ないため、ばらつきを評価することが難しい点は問題である。これは、あくまでも推定値であって、推定値のばらつきは評価できていない。もしもデータの誤差が非常に少ないのであれば信頼に足ると思うが、そうでない場合にはデータによってかなりの変化が生じる。念のため、第2回の資料に示したものととの比較を示す（長手II2(2)p.28 を表示）。この図は、不確実性を考慮していない場合の Ogata (2002) の推計方法として、事前分布を指数分布で与えた場合の β と γ の事後分布を示している。事後分布の密度が最も高い箇所の推定結果が赤点で示されており、 γ の値が非常に小さく推定されている。一方で、事後分布自体のばらつきが大きいと、事後期待値を推定結果として用いると γ の推定結果が大きく変わることになる。 γ と β に関する事前分布として完全にフラットな一様分布を用いた場合には、ベイズにおける MAP 推定と最尤推定は完全に一致する。あくまでも、事後分布の中での最頻値、密度が最も高くなる箇所を持ってきたためにこのような推定結果になるが、データが少ないため事後分布もそれなりにばらつきを持つ点に注意する必要がある。

佐竹主査：今回は MAP 推定ではないということか。

寺田委員：今回は MAP 推定ではなく、事後分布から β と γ をサンプリングして、それぞれの β と γ に関して、条件付き事後予測分布を計算して 95%信用区間を計算した。ただし、確率値に関してはそこまで歪んだ分布にはなっていない。確率値については、長手II4(3)p.16 の確率値で推定するならば、(ヒストグラムで示した) 密度が一番高くなる箇所を選ぶだけである。2034 年の結果では確率が少し小さくなり、若干最尤推定による値に近くなる。

野村委員：長手 II4(3)p.16 の 10 年確率であれば MAP 推定で確率は低くなるが、20 年 30 年確率では逆に上がる。

寺田委員：今回の場合にはそうならない理由がある。 γ の事前分布に 0.05 よりも大きい値で、

今回使った事前分布に関しては 0.1 から立ち上がってくる値になっている。先程紹介した例では指数分布を使っているため、0 付近で高い確率を持つ分布になっている。不確実性を考慮しない場合には γ が小さく推定されている。今回は事前分布として γ に 0.1~0.2 の間でばらつく分布を用いると、最尤推定よりも少し低い確率になる。MAP 推定による 30 年確率で見ても、おそらく 92~93%になるが、一方で最尤推定の方はほぼ 100%になる。これは、 γ の推定結果による違いであると考えていただきたい。密度を見ると γ を大きく考えている分、裾が広がる。

野村委員：これまでの評価と比べると、 γ を事前分布から小さく設定しているため、20 年確率、30 年確率が上がってくることにはなるか。

寺田委員：最尤推定ではなく、これまでの評価に対してはその通りである。

野村委員：今回、事前分布の設定はあくまでも例としてである。移動ガンマ分布自体は良いが、どのようにパラメータを設定するのかについては非常に難しい。

寺田委員：ご指摘の通りである。一番の問題は不確実性を考慮した影響で、周辺尤度によるハイパーパラメータの選択ができなくなっていることである。 γ を小さくすればする程、周辺尤度が高くなる状況になっている。例えば、Ogata (2002) では不確実性を考慮していないため、周辺尤度で指数分布のハイパーパラメータを選択する方法をとっているが、今回の場合には、それが機能しない状況にある。

野村委員：最尤推定すると γ が小さくなるため、ある程度小さくなる感覚はあるが、 γ に対する事前分布を設定する際に恣意性を入れざるを得ない状況か。

寺田委員：正確なデータが増えない限り、恣意性を完全に拭うのは現時点では難しいと考えている。

野村委員：個人的な考えだが、今回の南海トラフの長期評価を改訂するトリガーになったのは隆起量に関して情報が更新されたことである。この案で結果的に評価値が変わった場合には、その主要因はばらつきを変えたためという説明になるが、どうしてばらつきが変わったのかを説明する時に、事前分布についてしっかりとした根拠をもって説明できないのは苦しいのではないか。場合によっては、ばらつきのパラメータについてはこれまでの評価を踏襲することも考えられるのではないか。

寺田委員：ただ、これまでの評価におけるばらつきの推定は、隆起量を全く考慮していない推定であるため、それを踏襲するともっと乖離した結果になると考えている。不確実性を考慮しない場合に、ある程度スケールパラメータの部分が小さいであろうという知見は一部得られており、これまでの例えば α が約 0.2 という値を用いることも、恣意的な選択ではないかと考えている。難しい部分である。

平田委員長：今回は色々な意味で不確実性をなるべく丁寧に評価することがポイントである。データそのものの不確実性もある。確率分布で事後確率分布を評価することが最終目的だが、確率分布だけを出すのでは世の中の役には立たないため、確率分布からパラメータを用いることになる。普通に考えられるのは、期待値と最尤値という二つの指標である。二

つとも寺田委員から示されたが、どちらを用いるかの判断は難しい。どちらがいいかという議論ではない。本当は分布全体が分かりやすいが、次の指標として 95%最大密度区間がある。信用区間という言葉が使われたが、それを示すことが重要である。前提とする事前分布が少し変わったとしても、信用区間はそれ程変わっていないように見えたが、この点について寺田委員の考えを聞かせて欲しい。

寺田委員：事前分布の多少の変化によって、最後の結果が大きく変わるものではない。

平田委員長：現実として、例えば期待値や最尤値は数字で出せるため、値の大小の議論になり、従来の値と異なるなどと言及するが、従来の 30 年確率 70~80%は、 α の値を変えるとその幅になるだけであり、本当は事後分布に基づいた評価が必要である。隆起量の不確実性を入れた場合と入れない場合で事後分布に違いがあることも重要ではあるが、最も重要なのは 95%信用区間に広がりがあることと考えている。事前分布が恣意的になることが問題ではなくデータに不確実性があること自体が問題であり、事前分布が多少変わっても結果はあまり変わらないのではないかというのが率直な考えである。

野村委員：事前分布が多少変わる程度であれば結果は大して変わらないが、例えば Ogata (2002) の指数分布と寺田委員の示した今回の分布で、大きな変化がないかについては実際に結果を見てみなければ、判断が難しい。これまでの結果を見ると、30 年発生確率の上限がほぼ 100%に達することは共通するが、発生確率の下限がどこに来るかは、私は実際に計算していないため分からない。そのあたりの感触について、寺田委員いかがか。

寺田委員：30 年確率であれば、おそらく同じような形になる。Ogata (2002) の事前分布に指数分布を用いた結果は長手II2(2)p.31 にあり、今回の結果（長手II4(3)p.14）と比較できる。

平田委員長：事前分布に指数分布を使うことは不確実性が非常に小さいところを大きくしている。つまり、すべり量の分布が直線にフィットしてしまうことになり、結局、（地震発生の）可能性は高くなり、100%に近い値になる。一方で、指数分布も寺田委員の移動 γ 分布も、大きい方はそれ程違わないと理解しているが、大きい方の落ち方が最終的な事後確率の低い方に効いてくる気がする。野村委員からの意見のように、範囲の中で大きい方は 100%で小さい方が何%になるか、違うかどうかの議論はある。逆に言えば同じ程度になる分布にすれば良いだけであり、変わると駄目だというのはむしろ完全に恣意的な話である。事前確率の話で重要なのは、確実なものの方ではなく不確実なものの方なので、移動 γ 分布の大きい方の落ち方がどの程度大きいかが効いていると思うがこの理解で良いか。

寺田委員：そのとおりである。Ogata (2002) で指数分布を用いた理由は、パラメータを変換すると事前分布を一様分布に置き換えることができ、サンプリングの容易さがあるためと考えている。そのような形にしないと、サンプリングが難しい。今回のこの設定（長手II2(2)p.28）の場合、一様分布からのサンプリングを使い、棄却法で事後分布からのサンプリングはできるが、同じパラメータの設定で例えば、MCMC の方法を用いると上手くサンプリングができない問題がある。Ogata (2002) で指数分布を使用したことは、計算の都合もあると考えている。事前分布の妥当性で考えると非常に小さい箇所を大きく取ることは、

データが少ないため少し危険な部分もあると考えている。裾に関しては平田委員長のご提案で良いと考えている。もしも気になるのであれば、今回の提案で設計した事前分布に合う形で裾を設定すれば、整合的な解析ができると考えている。

平田委員長：今回、長期確率評価手法検討分科会（第二期）を設置したのは、時間予測モデルのすべり量の不確実性があることがきっかけである。それも重要だが、むしろ地震調査委員会が確率を評価する時に何らかの指標、確率の期待値や最尤値を一つ出すのではなく、最後の結果にも不確実性があることを丁寧に示すことが重要であると考えている。何となく確率の幅を出すのではなく、少なくとも適切な定式化に基づき諸々のデータの不確実性、モデルの不確実性を考慮した我々の最良の確率分布を評価し、その 95%信用区間で評価することが重要である。これまで、他の地域の海溝型地震や内陸活断層の評価でも、何%～何%という評価をしてきたが、それぞれ幅の根拠が異なる場合もある。南海トラフにおける 70～80%の幅はパラメータ (α) に依存するが、例えば活断層などの場合には、イベント発生時期の不確実性にに基づいている。しかしながら、理想的には寺田委員が定式化したように、可能な限り適切な事後予測分布の確率密度関数が得られれば、95%信用区間などを使って評価することが重要である。まず、それを使うことも含めて本分科会から提案していただきたい。長期評価部会あるいは地震調査委員会で委員の意見を聞きたいと考えている。

佐竹主査：これまでに千島海溝沿いや相模トラフ沿いの長期評価で地質データを使った場合には、モンテカルロ的に評価した。今回の提案は 95%信用区間で評価するものであり、そういった意味だと同じで、3 例目になる。

汐見委員：説明の中で平均値と期待値を使い分けていたように聞こえたが、その点について少し補足して欲しい。長手 II4(3)p.16 で実線で書かれてるのは期待値か。

寺田委員：（説明の中で）平均値と期待値は使い分けてはおらず、同じものとしている。

汐見委員：承知した。実線は期待値であり、点線で 95%最高密度区間を示していると理解した。

事務局（上野（寛））：昭和南海地震の隆起量を 1.15 m として計算した結果が示されているが、1.15 m の値が若干変わる可能性があり、また幅が少し出てくる。今回は 1.15 m で固定した結果だが、幅があることで確率密度分布もなだらかなになるイメージで良いか。

寺田委員：昭和南海地震の隆起量にも不確実性を考慮して、パラメータとしてさらに事前分布を入れて推定した場合、さらになだらかな、ばらつきが大きくなる形になる。

事務局（上野（寛））：昭和南海地震の隆起量はおそらく $1\text{ m} \pm$ で誤差は小さいため、まずは安政地震と宝永地震時の不確実性を考慮するが、次の長期評価部会では昭和南海地震のデータに対してもある程度の幅を考えるかについて議論し、最終的にはこの計算式に入れる。今の結果は、昭和南海地震の隆起量として 1.15 m を与えている。おそらく隆起量が 1m 前後になるため、確率が今回の資料の結果より高くなるイメージを持っている。また幅もあるため、幅が小さく隆起量が変わると長手 II4(3)p.17 のグラフのピークが若干右側にずれ

て、なだらかなイメージである。

平田委員長：昭和南海地震の隆起量の誤差と安政地震、宝永地震のそれらは1桁程度異なる。

この定式化の中で誤差の違いを入れることはできるが、この議論では昭和南海地震の隆起量は観測値がある確定値として構わないと思うが、その辺りはいかがか。

佐竹主査：昭和南海地震の隆起量の不確実性が一桁程度小さいことは確かであるが、その推定値自体が変わり、これまで用いられてきた隆起量より小さいのではないかという話である。誤差が小さく推定値が異なると、算出される確率値に影響する。

平田委員長：理解した。昭和南海地震の隆起量に関しては、最新の値を用いる方向で検討して欲しい。

事務局（上野（寛））：今回の資料の値が最終的な確率値になる訳ではない。

佐竹主査：大きく変わることはないと思われる。寺田委員も気にしている点は、事前分布をとりあえず長手 II4(3)p.12 の設定にしているが、それで良いのかということである。

野村委員：p.12 の事前分布はあくまで例だと思うが、事前分布の時点で γ が 0.1~0.2 の間にはほぼ固定されている。事前分布は実際の発生間隔のデータが与えられる前の状態で分布の幅を定めるため、これでは始めからばらつきが狭いとしていることになる。この設定が後の推定結果にも影響を与えていると私には思える。将来的に、例えば内陸活断層に対してもベイズを導入する場合に、少なくともこの 0.1~0.2 の間にしか分布しない条件は全部（の断層）に与えられない。今、あまり恣意的な分布を設定すると後々に響いてきて、内陸活断層の事前分布と南海トラフとで整合がつかないことにもなりかねない。幅を与えて評価すること自体には賛同するが、事前分布の設計はなるべく無情報なものが良いと考える。

寺田委員：これはあくまで参考までに出した設定である。事前分布をこの形にすることを提案したい訳ではなく、このような枠組みで考え、事前分布の設計などは問題ごとに変えていくものと考えている。この移動ガンマ分布を提案した背景としては、普通に不確実性を考えると最尤推定量が存在しなくなってしまうため、安定的にベイズ推定をするためには、少しゼロから離れた形の分布を考えなければならない。安定的な推定のために、移動ガンマ分布も考えられるとの提示である。

野村委員：移動 γ 分布自体には賛同する。

寺田委員：パラメータの取り方に関しては、仮の設定値であり、値についてはおそらく別の会議体での議論が必要だと思っている。

平田委員長：野村委員は、この分布をよりフラットにした方が良いという意見であるか。

野村委員：基本的にはその通りである。ただし、そのフラットの仕方も一様分布が良いのかなど色々な考え方があるため、悩ましい。

平田委員長：フラットにした場合に、例えば $\alpha=0$ にすると、不確実性が殆どないことになる。

野村委員：移動ガンマ分布自体には賛同している。

平田委員長：大きい値の方の分布に対する意見であれば、もっと値の落ち方が緩やかなもの

も試してみたら良いと思う。今は指数関数的に落ちているが、この半分や4分の1程度の緩やかさで落ちるものを与えるとどうなるかについて、感覚的には不確実性が徐々に増えることになる。

寺田委員：そのようになる。

平田委員長：その時に最後の事後確率分布の信用区間が100%の方は変わらないが、低い確率の方が小さくなっていくのか、気になるところである。右側の落ち方を緩やかにした場合に幅がどのように変わるのか示せば、野村委員が納得するのではないかと。

野村委員：右側の落ち方をどの程度緩やかにするかについては色々な考え方がある。いわゆる無情報事前分布を採用すると確率が無限になるため、どのようにすれば良いかすぐには考えが出て来ないが、何か目安になる複数の分布例で確認できれば良い。

平田委員長：これまでの研究から、野村委員はどの程度までの α が適当と考えるか。今まで、0.2~0.4としてきた値が良いのか。

野村委員：今までの私の研究では、ポアソン過程で変動係数が1になることを考慮して0~1の一様分布を設定してきた。今回の γ は、 α だけではなく隆起量も影響するため同様に0~1とは言えないが、それに近い範囲での分布であれば、安定した結果になるのではないかと。

佐竹主査： γ が小さい場合には計算が不安定になるが、大きい場合は問題ないのか。

寺田委員： γ が小さい場合には尤度が発散するが、大きい場合は大丈夫である。ただし、大きく取り過ぎた場合には何も言えなくなる。今回、これまでの解析と異なる部分として、データ数が三つしかないため、事前分布と事後分布が大きく変化する状況にはなっていない。少しドメインの知識が必要になってくると考えている。特に隆起量の不確実性も考慮しているため、あまりにもデータが少ない状況になっている点を考えて設計をした方が良い。何らかの知識がないと決められない部分だが、まずそこについて、統計側からというよりは地震学的な知見などから考えていければ良い。

佐竹主査： α や λ を変えれば、形としては幅広いもの（ができる）。

野村委員：例えば何種類かの大きい方の値の落ち方が緩やかな分布で計算して比較した場合に、それ程変わらないのであれば、それで進めることは考えられる。地震学的な知見に基づき事前分布を設定する方法があれば良いが、すぐには思い当たらない。

平田委員長：BPT分布の α の範囲は、既にある程度研究で分かっている。野村委員が α を推定する際の事前分布は0~1（の一様分布）に設定したが、研究結果として α の取りうる値の範囲は大凡分かっている訳である。その倍程度の値を事前分布、ドメインの知識として入れることは合理的である。つまり、野村委員が考えている一番大きい α の値に対応する γ を指数分布の半減期的な係数に与える位まで広げれば良いのではないかと。

林委員：これまでに分かっているばらつきに関する研究成果を用いることは一つの方法である。コメントだが、南海トラフの場合にはモデルを適用できない期間まで含めた更新過程でのばらつきを参考にしたい。

事務局（上野（寛））：南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）では、様々なケースに対して BPT の α を計算している（南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）の p.43 表 4-3）。

ケース 1、2、3、4、5 があり、採用したのは 3、4、5 の三つのケースについて平均活動間隔を考えているが、それよりも過去のケース 1、2 を採用したパターンに対しても α を計算している。ケース 1、2 に対しては $\alpha=0.40、0.37$ と大きくなる傾向がある。先程の $\alpha=0.20$ は、ケース 3 を採用した結果である。

平田委員長： α と γ との関係は全く同じではない。

佐竹主査：定義としては、長手Ⅱ4(3)の p.5 に示されている。

平田委員長： γ は平均発生間隔にも依存するため、オーダーで良い。以前に α や γ は大体同じということ聞いたが、寺田委員、今の状況で数字として大凡同じと思って良いのか。

寺田委員：（長手Ⅱ4(3)p.5 の） β/u_i の値が 1 に近ければ、そのような形になる。心配しているのは、昔の地震の再来間隔と最近の地震の再来間隔が倍近く異なるため、データを見る限り大きく見積もっているのではないかという点である。隆起量に依存することを考えると少し心配であることと、記録が古い方は抜けてしまっている可能性があることから、過大評価している可能性を考慮した方が良いと考えている。

平田委員長：その辺りは難しいが、非常に大きく設定した場合でも例えば 0.4 程度である。例えば 0.3 や 0.4 で計算した場合にどうなるか、一度試してはどうか。

寺田委員：裾が 0.4 程度まで伸びている事前分布を考えることで良いか。

平田委員長：指数分布であるとする、 $1/e$ で 0.2 や 0.3、0.4 で、一番大きくて $1/e=0.4$ になる減衰の仕方であれば殆ど全てを尽くしてると考えるが、野村委員どうか。

野村委員：例えば、ケース 1 から 5 に対して得られている α の値の範囲に落ち着くと事前に考えられるのであれば、寺田委員の提案された移動ガンマ分布では 2 つのパラメータが必要であるため、ケース 1 から 5 の α の値の平均と分散にフィットするようにガンマ分布を用意することができると思う。

平田委員長：平均と分散にした場合、小さい値もあるため 0.4 にはならない。最大の場合にどの程度かについては見積もっておく必要がある。他の委員の意見もあると思うが、野村委員と寺田委員で議論して決めれば良いのではないか。

寺田委員：了解した。

佐竹主査：最終的に 30 年確率の低い方が（右側の）カーブでどの程度変わるかである。計算する必要はあるため、お願いできないか。

寺田委員：色々変えることは可能であり、裾が広がる場合について試したい。

佐竹主査： γ について検討をお願いします。 γ 以外は基本的には提案の形で出来るということである。 σ については次の合同会でまた検討する。前回の長期評価部会と海溝型分科会（第二期）の合同会で議論した誤差を取り入れた形で、本日提案された設計で計算できることを次の合同会に報告することで宜しいか。

（異論なし）

事務局（上野（寛））：合同会への報告の説明があったが野村委員、寺田委員の意見も重要である。前回と同じく三つの合同会としても良いのではないか。長期評価部会と海溝型分科会（第二期）の合同会は12月16日13:30からと既に日程が決まっているが、前半に議論するため参加いただけないか。

（寺田委員、野村委員、平田委員長が参加を了承、平田委員長退室）

事務局（上野（寛））：寺田委員には γ については野村委員とも相談して、計算した結果を見せていただき、合同会で報告というスケジュールではどうか。平均活動間隔を用いたBPTの分布と、今回時間予測BPTができたことで、融合して一つにできないかという提案があり、それについて議論していただきたいが、事前に聞いた限りでは消極的な意見であった。今回の時間予測BPT分布があり、地震の発生履歴に基づくBPT分布もある。ウェイトをどうするかは分からないが、融合して一つの平均値と信頼区間を出す形にできるのか。

野村委員：別の観点から異なる評価が出てくることを示すのは可能性を考慮するという意味で良いことではある。

事務局（上野（寛））：異なるBPT分布を一つにしても良いのか、複雑になるため止めた方が良いのか、意見があればいただきたい。

野村委員：一つにする場合は、ベイズ的な考え方になる。BPTと時間予測モデルをそれぞれ当てはめた場合の周辺尤度の当てはまりがどのぐらい良いかを求め、その比により両者の出力を混合する考え方は統計的にもあり得る。ただし、コンセプトが異なるモデルでは色々な考え方があり、その考え次第でどの程度幅が出るかについて説明する方が素直かと思える。

佐竹主査：用いているデータが異なる。Time Predictable Modelでは最新の三つしか使わないが、（発生履歴に基づく）BPTの方はもう少し長い期間の履歴を用いているため、混同しそうである。

野村委員：用いるデータが異なる場合、尤度もそのまま比べられない。

林委員：同じデータを用いて（異なる確率予測手法による出力を）融合することはあまり得策ではないように思える。

事務局（上野（寛））：融合しようと思えばできるが、本分科会としてはあまりお勧めしないという意見と理解した。長期評価部会とか海溝型分科会（第二期）の方でも、融合した場合はおかしくなるという話が出てきそうではあるため、可能性としてはゼロではないが、積極的に採用する話ではないという意見と捉えた。

事務局（上野（寛））：（長期確率予測手法についての）審議は終わったが、どのように報告書を改訂していくのかについて、議論させていただきたい。第1回分科会で説明したが、短期ミッションと長期ミッションがあり、今回は短期ミッションが終わりを迎えつつある。長期ミッションについては、来年度以降に相談させていただきたい。事務局としては、前回の報告書から今回の時間予測BPTモデルについて、一部改訂するイメージでいる。委員

のご意見を伺いたい。

事務局（上野（寛））：（画面共有で「長期的な地震発生確率の考え方について」に基づき、変更部分（案）を説明）

佐竹主査：今は、基本的に時間予測 BPT のことしか議論していない。これまでの時間予測モデルは、（平均活動間隔を）時間予測モデルから推定して、BPT 分布に入れている。時間予測モデルの説明を（議論した）時間予測 BPT に置き換える。

事務局（上野（寛））：そうであれば、フローチャートも置き換えで最低限の修正で済むことになる。今回は最小限の改訂となり、事務局としては助かる。

佐竹主査：BPT の α の問題や、不確定性に関する議論は来年度以降にする。

事務局（上野（寛））：いずれ全面改訂することになると考えている。今回は、バージョン 1 からバージョン 1.1 の小改訂にして、長期ミッションにおける改訂はバージョン 2 への全面改訂をイメージしている。

佐竹主査：先程議論したモンテカルロを使った予測もしているが、方法はどこにも書いていない。それを紹介することも考えたい。

事務局（上野（寛））：言葉では書いてある。ロジックツリーに関しても少し説明しており、事例ごとに検討することが必要だとしている。時間予測 BPT の章の執筆に関しては、寺田委員に協力いただければと思っている。合同会以外の次の分科会で報告書のイメージを確認していただいた後、次の長期ミッションの課題抽出に移行することを考えている。

佐竹主査：事務局としては、確率の数字を改訂するときに、方法の説明として報告書の改訂も必要と考えている。

事務局（上野（寛））：「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」の改訂の際に（手法について）参照する必要があるため、「長期的な地震発生確率の考え方について」を改訂する。

佐竹主査：時間予測の章を差し替えした報告書を出して、それに基づいて計算したとする。実際に確率評価に反映されるのは手法だけである。

事務局（上野（寛））：もしかしたら時間予測 BPT モデルの章を入れ替えることによる不都合があるかもしれない、確認する必要がある。林委員が事務局の時にとりまとめた報告書かと思うが、意見があれば聞きたい。

林委員：書き直すことが難しければ、新たに 1 つ章を設けても良いのではないかな。

事務局（上野（寛））：確かに、第 3 章として時間予測 BPT に関する章を設けることも考えられる。

佐竹主査：体裁はともかくとして、方針としては報告書の時間予測モデルの説明を書き換えたものを小改訂とする。長期評価手法については次の合同会でも議論するが、その後、地震調査委員会等にも上げる場合には（小改訂した）報告書案も一緒に上げることになるのか。

事務局（上野（寛））：（報告書の小改訂は）もう少し先で良い。12 月 16 日の長期評価部会（と、海溝分科会（第二期）の合同会）において手法およびデータの不確実性について審議し、

ほぼ（議論が）固まれば、早くて1月の地震調査委員会に審議内容を報告し、2月の地震調査委員会に報告書案のイメージを提出するのが最もスムーズなパターンである。時間的に厳しいかもしれないがそのような進め方を考えている。最終的にはどのような議論内容になるかわからないが、平均活動間隔に基づく確率と時間予測 BPT モデルの確率の二つを併記するとした場合、両方が前面に出る場合に、（出し方の）方法をどうするかに関する審議は、政策委員会系の広報検討部会で行うことを考えている。この審議の際に、改訂された報告書までは必要がなく方針さえあれば良いと思う。そのような会議を今年度内に開催できればというスケジュール感である。公表はもう少し後になる。

宮澤委員：今回の議論のきっかけとなった橋本ほか（2024）の論文があり、それに対する反証論文が出るという話もあるが、ここでは枠組みを作っているため、1回ここで終了という認識で良いか。それ以降は長期評価部会のミッションになるのか。

事務局（上野（寛））：長期確率評価検討分科会（第二期）は、あくまでも確率の計算方法を議論する分科会である。橋本ほか（2024）論文の反論および、そのまた反論が11月下旬に出る情報は得ている。それを受けて、12月16日に合同会を開催する。

佐竹主査：南海トラフに対してはそれで良いが、長期確率評価検討分科会（第二期）としては、「長期的な地震発生確率の考え方について」の改訂というミッションが引き続きある。

事務局（上野（寛））：「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」を見直さない結論になった場合には、（この分科会の報告書の）改訂をするかどうかの話になる。その場合には、時間予測モデルの章をそのまま残して、時間予測 BPT モデルを追加することになるかもしれない。寺田委員には、計算結果をメーリングリストに投稿していただき、議論していきたい。もしもファイル容量が大きく送れない場合等があれば事務局に送っていただきたい。

議題2 その他

佐竹主査：次回の予定について、事務局から願います

事務局（上野（寛））：次回は、長期評価部会、海溝型分科会（第二期）と長期確率評価手法検討分科会（第二期）の三つの合同会を行う。日付は、令和6年12月16日（月）の13:30～、長期評価部会では色々な議論を行うために16:30までであるが、最初に長期確率評価手法検討分科会（第二期）に関係する議題を合同会として議論し、その後、長期評価部会の別の議題になるため、適宜退出しても構わない形の進行になる。今回と同様にハイブリッド開催を予定している。

佐竹主査：他に意見はないか。

（意見なし）

佐竹主査：以上で第4回長期確率評価手法検討分科会（第二期）を閉会する。

以 上