

# 地震調査研究推進本部地震調査委員会長期評価部会

## 第6回長期確率評価手法検討分科会（第二期）

### 議事概要

※第6回長期確率評価手法検討分科会（第二期）（令和7年1月24日（金）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 吉壱	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 順也	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 理穂	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	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
	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
	田中・上野（貴）・太田	（文部科学省研究開発局地震火山防災研究課）

#### 議事

佐竹主査：（開会）第6回長期確率評価手法検討分科会（第二期）を開催する。事務局から連絡事項などをお願いする。

事務局（上野（寛））：【出席者確認】欠席はなし。対面出席は、佐竹主査、寺田委員、平田委員長。

事務局（田中）：【配付資料の確認】

事務局（上野（寛））：【第274回長期評価部会・第95回海溝型分科会（第二期）・第5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】第5回長期確率評価手法検討分科会（第二期）に関連する記載のみ、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）に関連する記載の承認は2月5日開催予定の長期評価部会・海溝型分科会（第二期）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。

#### 長期確率評価手法について

佐竹主査：本日は、SSD-BPT モデルとその注意点について寺田委員からご説明いただいた後、ばらつき  $\gamma$  について議論したい。それでは、寺田委員、お願ひする。

#### —BPT 分布と時間予測モデルの接点について—

寺田委員：(長手Ⅱ6(2)、長手Ⅱ6 参考資料 2-5 に基づき説明)

佐竹主査：色々と新しい情報があった。一つは、隆起量がなくてもこのモデルに当てはめることができるため、データ (N) を増やすことができる話である。また、 $\gamma$  と  $\alpha$  との関係の説明において、 $\gamma$  の大きさによって周辺の変動係数の結果が変わり、 $\gamma$  の設計の仕方が難しい。最後の 80 年は、固定であるか。

寺田委員：これは隆起量を 1m で条件付けたときの条件付き期待値が 80 年である。

佐竹主査：承知した。ご質問をお願いする。

野村委員：基本的な  $\gamma$  に関する議論には異論はないが、質問したい。 $\beta$  を 0.8 に固定したのは、完全に一つの値に固定されたのか、それとも 0.8 付近の事前分布を仮定されたのか。

寺田委員：この数値実験では完全に  $\beta = 0.8$  に固定した状況である。事前分布を考えとはいえない。

野村委員：参考資料 2-5 の p. 12 だと、 $\gamma$  を 0.1 にした場合の分布がかなりタイトになっているが、例えば  $\beta$  にも事前分布を仮定してばらつきを許容させると、ある程度広くなるのはと考えているが、その認識で正しいか。

寺田委員：ご指摘の通りである。p. 12 は、データから推定する観点よりは、実際にすべり量依存逆ガウス分布 (SSD-BPT モデル) がどのようなモデルであるかを示すことが主眼である。実際の推計には、 $\beta$  もばらつきを持つため、幅は必然的に  $\beta$  の影響によって広がることになる。

佐竹主査：隆起量のデータがない場合に、どのように  $\beta$  を求めるのか。

寺田委員：今回は隆起量のないデータも、あるデータもどちらも用いて推定したため、 $\beta$  を推定することができているが、完全に周辺化されたデータしかない場合に、 $\beta$  を推定するのはかなり難しい問題になる。

佐竹主査：隆起量のデータが少しでもあれば、( $\beta$  を推定は) できるということで理解した。

平田委員長：最初から全く隆起量がなければ、分かる訳がない。ある程度隆起量があれば、隆起量の先見的確率を仮定する訳だが、データがないためそれを周辺化(平均化)すると、結局今まで使用した BPT モデルとなることを、数値実験的に試したということか。

寺田委員：SSD-BPT モデルから周辺化して BPT モデルを試してみたが、そのような周辺分布を見つけることは出来なかった。ただし、p. 9 で厳密には違う分布だが、BPT モデルでも割と上手く近似できている例である。青が BPT モデルで、ヒストグラムは、隆起量に  $\gamma$  分布を仮定して条件付き分布に SSD-BPT モデルを仮定したときの周辺分布のヒストグラムになっている。若干 BPT モデルとずれているが、BPT モデルで非常に良く近似できている。

平田委員長：現実のデータは抜けることがある。それを仮にデータがあるとして、今まで認識している BPT モデルとこの SSD-BPT モデルで、すべり量を周辺化したものとは近似的に

は一致することを示した。

寺田委員：その通りである。

平田委員長：この点に関して、野村委員は納得できるか。

野村委員：こうした現象 자체はそうなるものと納得している。

平田委員長：その際の変動係数  $\alpha$  と、ここで言つてゐる  $\gamma$  との関係が先程から議論されており、  
厳密には平行にはならない。 $\gamma$  が小さい場合は、乖離が大きくなる。しかしながら、 $\alpha$  の  
方が見かけ上、大きくなる傾向は変わらないのか。

寺田委員： $\gamma$  が大きいところでは、 $\gamma$  が変動係数を表している訳ではない。 $\gamma \times$  約 0.1 であ  
る。大きい  $\gamma$  では周辺化すると逆転する。

佐竹主査：p. 10 で、 $\gamma = 0.5$  で  $\alpha = 0.43$  と逆転している。

平田委員長：この事実を踏まえて  $\gamma$  の適切な設計をすることが最初の議論である。今まで  
活断層や他のデータに基づき、変動係数  $\alpha$  を 0.2~0.3 としていたが、 $\gamma$  にすると小さく  
なりすぎると野村委員から指摘があった。

佐竹主査： $\gamma$  と  $\alpha$  がどのように異なるかは理解したが、その上でどのように  $\gamma$  を設計するか  
は次の問題である。

野村委員：安易な考え方かもしれないが、例えば p. 4 の  $\gamma$  と  $\alpha$  の関係のグラフを用いれば  $\alpha$   
に関する事前分布を用意した上で、この関係性から  $\gamma$  の事前分布に変換することは形式  
上は可能だと思うが、そのやり方は、寺田委員としてはどうか。

寺田委員：それは自分も考えていたが、この関係性自体に最尤推定値を使つていて。他の  $\beta$   
も関係しているため、隆起量の分布のパラメーターと  $\beta$  を決めないとこの関係が  $\gamma$  に關  
しては定まらない。この点をどうしたら良いかについて自分も考えていたところである。

野村委員：確かにその通りである。

平田委員長：逆に  $\gamma$  の方をある程度決めて、それを周辺化した場合に、 $\alpha$  に相当する量が從  
来考えていたものと大して矛盾しないとすれば、困らないのではないか。今までの活断層  
における発生履歴に基づく研究で知られている  $\alpha$  と矛盾しないと言えるのではないか。  
今まで知られてる  $\alpha$  に比べて  $\gamma$  の方が小さいと考えていたが、今の議論で  $\alpha$  を決めた  
場合に、それを周辺化して出てくる近似的な BPT モデルの  $\alpha$  が、従来の研究と乖離しな  
いとの結果で出れば、そのような  $\gamma$  を仮定することは合理的ではないか。

野村委員：その通りで、 $\alpha$  の分布と整合するものを作ることができれば、妥当と言える。

平田委員長：近似的な BPT モデルとヒストグラムをもう一度見せて欲しい。例えば、p. 6 の  $\gamma$   
 $= 0.1$  にすると、見かけ上の周辺化された分布の  $\alpha = 0.192$ 。p. 7 だと、 $\gamma = 0.2$  で  $\alpha = 0.235$ 。  
 $\gamma = 0.3$  になると  $\alpha = 0.294$  になる。

寺田委員：この数値実験について、p. 3 の左図が隆起量に対して推定された分布であり、不確  
実性を考慮していないデータを用いているため、小さく見積もり過ぎている可能性がある。

平田委員長：隆起量に誤差はあるが、代表的な値で良いのではないか。

寺田委員：3 点しか隆起量のデータがないため、かなり過小評価していると考えている。ど

ちらかの隆起量は 2.1m 程度と考えた場合に、この分布では 2m のあたりの確率が小さい。そういう意味では過小評価した状況の可能性がある。もう少し広げた分布で同様の実験をして、どの程度の  $\alpha$  と  $\gamma$  の関係になるのかの確認はできる。

平田委員長：面倒であるが、検討していただきたい。

寺田委員：(長手 II 4(3)、p. 8 で) 仮定している宝永地震の隆起量の事前分布で、2~2.5m の箇所があることを考慮すると、もう少し広めに設計した方が良いと考えている。

平田委員長：広めに設計すると、全体的に最終的な幅が広めになる。厳密には広めになるが、大勢はあまり変わらないと考える。今の方針で進めるということで、野村委員良いか。

野村委員：異論はない。どの情報を参考に  $\alpha$  の事前分布の情報を持ってくるかだと考える。

佐竹主査：野村委員による既往研究の  $\alpha$  を用いれば良いのではないか。

野村委員：私が過去に発表した  $\alpha$  の値は、あくまで内陸活断層に対するものであり、そのまま海溝型地震に適用して良いものかは疑問である。例えば、相模トラフや千島海溝・日本海溝に対しては、既に長期評価の中で、 $\alpha$  の分布をシミュレーションで求めてるものがある。それらを活用してはどうかと考えている。

平田委員長：相模トラフ沿いの長期評価における  $\alpha$  の分布は地質データ（海成段丘）を用いている。

佐竹主査：千島海溝沿いの長期評価でも同様に地質データ（津波堆積物）に基づいており、それは、コンターとして  $\alpha$  の分布が出ている。

平田委員長：それらを参考にして、矛盾しない  $\gamma$  の設計をする。

寺田委員：そのあたりの資料をまたお送りいただけるか。

佐竹主査：野村委員の活断層に対する  $\alpha$  は、長手 II 1 参考資料 3-3 である。

平田委員長：私なりに整理するので間違っていないか確認して欲しい。今、議論している SSD-BPT モデルは尾形先生の論文で提案された考え方と本質的には同じである。ただし、これらの検討することは、SSD のスリップサイズに不確実性があることについても検討することが、尾形先生のモデルとは違う。SSD-BPT モデルで重要なパラメーターは  $\gamma$  である。Slip Size Dependent (SSD) であるため  $\gamma$  があるのだが、それを周辺化、つまり平滑化して消してしまえば、厳密に BPT モデルとは違うが、少なくとも数値的なシミュレーションをした場合には BPT モデルと近似的には同じである。周辺化した後の  $\alpha$  は  $\gamma$  と厳密な比例関係にはないが、それは数値実験で評価する。方針としては、周辺化したものがこれまでの研究と調和的な  $\alpha$  になる  $\gamma$  をこれから設定するということで良いか。

寺田委員：そうである。

佐竹主査： $\beta$  はどうなのか。

寺田委員：現状では  $\beta$  は、 $\pm 0.1$  程度になるような正規分布の事前分布を入れている形である。

平田委員長：(「相模トラフ沿いの地震活動の長期評価（第二版）について」p. 75 図 4-4 を画面共有) これはシミュレーションした  $\alpha$  の結果で、寺田委員、だいたいこのような値にな

れば構わない。

寺田委員：承知した。このようなグラフがあれば、活用して見積もりたい。

佐竹主査：ヒストグラムがあったと思うが。

平田委員長：（「相模トラフ沿いの地震活動の長期評価（第二版）について」の）p. 76 の図 4-6 のバイモーダルになっているグラフが、発生間隔の頻度分布を示した図面である。

寺田委員：発生間隔のオーダーはかなり南海トラフと異なっているが、大丈夫か。

佐竹主査：関東の発生間隔は（南海トラフより）倍程度、長い。

寺田委員：図 4-6 は、発生間隔の年と考えれば良いのであれば、南海トラフ地震が 100～200 年のため、（相模トラフ沿いでは） $\alpha$  が大きいのではないか。

平田委員長：図 4-4 では、地形・地質データから推定されたものである。図 4-6 も地形・地質データに基づく推定と思われるが。

佐竹主査：歴史記録を用いても明応地震を含めていないため、3 地震しか考慮していない。発生間隔がそもそも 200～400 年である。1923 年が大正関東地震、その前が 1703 年元禄関東地震で 200 年間、その前は 1293 年永仁関東地震とすると 400 年間隔が開いている。実際にはその間に明応関東地震が発生した可能性があるため、（明応地震を含めて）4 地震とするとほぼ 200 年周期で  $\alpha=0.04$  と非常に小さくなる。3 地震とした場合には、 $300 \pm 100$  年となり、 $\alpha$  は 0.45 と大きくなる。これらは歴史地震を用いた場合である。地質データを用いた場合は、「相模トラフ沿いの地震活動の長期評価（第二版）の概要資料」の p. 14 の発生年代（平均発生年代 390 年）を用いている。地質データのため、幅がある。地質データの発生間隔のばらつきを満たす  $\alpha$  と  $\mu$  が「相模トラフ沿いの地震活動の長期評価（第二版）について」の図 4-4 のセンターで、図の中の緑丸は歴史記録の 3 地震を考慮した  $\alpha=0.45$  である。

平田委員長：内陸活断層に対する  $\alpha$  はいくつか。

野村委員：地震予知連絡会で発表した値は 0.5 を中心とした分布となった。

佐竹主査：今、使っている 0.24 は小さい。ただし、4 地震とすると非常に小さくなる。南海トラフもデータセットによっては小さい。小さいため、30 年確率は小さくなる。確率を小さくしたい意味ではなく、データによって変わるということである。

平田委員長： $\gamma$  については、分布を与えることができるか。

寺田委員： $\gamma$  は事前分布を与えることができる。

平田委員長：それは、一通りではなくある分布にする。その分布の中に既存の研究成果の値が含まれていれば良いのではないか。

寺田委員：発生間隔は、どの程度のオーダーであるか。発生間隔が長い場合に大きい  $\alpha$  は自然であるが、100 年程度の間隔の場合に 1000 年等の  $\alpha$  を持ってくる妥当性が分からぬ。

野村委員：全ての海溝型地震等で  $\gamma$  が共通であるといった考え方はしない方が良いと考えている。例えば、アメリカではサンアンドreas断層のパークフィールドで時間予測モデルが用いられたことが昔あり、発生間隔は 20 年程度の短い発生間隔で予測されていた。ア

メリカなどで予測されている繰り返し地震についても、発生間隔の長さに関わらず  $\alpha$  は 0.5~0.6 辺りの値で予測されているため、 $\gamma$  の値を全て一定と考えてしまうと、平均発生間隔によって  $\alpha$  が変わることになるが、実際のカタログを見ていると、変動係数  $\alpha$  の値 자체は、平均間隔のオーダーによってそれ程変わっていない感覚を持っている。

平田委員長：むしろ、 $\gamma$  の方が変わっている。

佐竹主査：BPT モデルでは  $\alpha$  と  $\mu$  がパラメーターで、互いに依存しないという理解で良いか。

野村委員：そのように考えている。

平田委員長：BPT モデルは発生間隔だけのモデルで、かつパラメーターは独立である。つまり、SSD-BPT モデルにした途端にパラメーターが依存する。発生間隔 ( $\mu$ ) のオーダーが違った場合にも、見かけ上  $\alpha$  は違っていないことは観測事実と認められる。100~200 年間隔の  $\mu$  に相当する SSD-BPT モデルの  $\gamma$  は、 $\alpha$  がその程度になるように設計する方針で、寺田委員にお願いしたい。

寺田委員： $\alpha$  はどの程度の幅にとればいいのか。

野村委員：相模トラフの結果では、「相模トラフ沿いの地震活動の長期評価（第二版）について」の図 4-4 のセンターの端から端だと 0.15~0.6 である。そこに何%程度入るかと言うと。グリッド全体で得られたものを合計すると 57 万かと思われる。

事務局（上野（寛））：「日本海溝沿いの地震活動の長期評価」を見ると、p. 126 の図 4-10。0.2~0.3 程度か、もっとあるか。

平田委員長：青い三角印が 0.23 で、幅をみると 0.2~0.4 程度である。

佐竹主査：「千島海溝沿いの地震活動の長期評価（第三版）」で最初に導入した。p. 128 の図 4-18 の右側でカラースケールが最頻値から並べたときの区間の%である。これで 10%ごとに色分けしている。90%はかなり幅が広い。

寺田委員： $\alpha$  のオーダーが地震によって異なる。あまり共通していないのか。

野村委員：活断層は、0.4~0.6 程度で良い。

平田委員長：一つは 0.4~0.6 で、もう一つはさらに広い。あまり広くしすぎると良くない。

寺田委員：日本海溝だとオーダーが 0.2~0.4 程度であったが、大体 0.2~0.4 位で考えれば良いか。

佐竹主査：現状で採用しているのは 0.2~0.24 である。例えば、南海トラフが 80%程度になったが、70~80%としていたのは、0.2 と 0.24 の幅である。0.2~0.24 は最も狭い。これまでの評価と比べるという意味でも、それは計算してもいいかもしれない。もう一つは、もう少し広くとる。

平田委員長：今まで 0.2 と 0.24 に決められていたが、今度は、 $0.22 \pm 0.02$  としても良い。

佐竹主査：先程のグラフで考えると、 $\gamma = 0.2$ 。 $\alpha = 0.5$  だと  $\gamma$  はかなり大きくなる。

寺田委員：0.5 の場合だと、SSD-BPT モデルで考えた場合には 80 年  $\pm$  50 年のばらつきが入ることになる。それが妥当なのか否かが分からぬ。

平田委員長：南海トラフのデータでは  $\alpha = 0.24$  になるのか。

佐竹主査：南海トラフはデータによって異なるが、最小はいくつになるのか。

事務局（上野（寛））：（「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）について」のp.43の表4-3によると、）最小となるのは、ケースIII（6地震を用いた場合）で $\alpha=0.20$ である。直近の3つを用いる（ケースV）と $\alpha=0.34$ になる。

佐竹主査：3地震はTime Predictable（時間予測モデル）を使っている地震である。つまり、変動量の差を考慮しないと0.34。

平田委員長：SSD-BPTモデルで周辺化したものが、結果的に0.34となっていれば良いのではないか。

佐竹主査： $\beta$ の分布量を固定することは、そういうことになる。

平田委員長：そうであれば、 $\alpha=0.20\sim0.34$ になるように $\gamma$ を設計すれば良いのではないか。

寺田委員：その場合の隆起量の幅のコンセンサスを得たい。不確実性を考慮した場合の隆起量をカバーできる範囲で広くとれば良いか。

平田委員長：それが、誰も反対できないような範囲である。

事務局（上野（寛））：「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」p.44で $\alpha$ について書かれている。「ケースIIIのデータセットについて、最尤法で求めた $\alpha$ の値は0.20である。

時間予測モデルにおいて一般的にこれより小さいと求めるべきである（地震調査委員会, 2001a）」と記載があるが、これは良いか。

平田委員長：尾形（2001）に同様のことが書いてあるが、これは今の議論で周辺化した $\alpha$ と条件付きの $\alpha$ とがはっきりしていない。最尤法で求めた $\alpha$ が0.20だが、実際にはもっと小さい場合がある。これは、 $\gamma$ のようなパラメーターに相当する。条件付き確率の場合にはこの考えがあったため、記載されたのだろう。

寺田委員：確かに、尾形（2001）にも書いてある。おそらくこれは、SSD-BPTモデルを想定した話である。

佐竹主査：これより小さい値を用いる場合はそうだが、これは $\alpha$ ではない。

平田委員長：そこは今までの議論でよく分かってきた。安全側にとって、データを使っても $\alpha=0.34$ はあるため、そこまでは考慮する。

佐竹主査： $\alpha=0.34$ は、結局、時間予測モデルに用いる3つの地震のデータを用いるが、隆起量を考慮しない場合になる。それが $\gamma$ に対応しているのか。

寺田委員：注意が必要なのは、最尤推定量もばらつきがある。このシミュレーションで $\gamma$ と $\alpha$ の関係を描いているのは、 $10^5$ 程度のデータを発生させて計算しているため、長手II6参考資料2-5のp.5では、サンプルサイズが5で $\alpha$ の最尤推定で $\gamma$ が0.1。最尤推定量としてもばらつきを持っており、そこも少し考えなければいけない。いずれにしても、およそ0.2~0.34のスケールが決まれば、そこから逆算したい。

佐竹主査：なんとなく筋道が見えてきた。

平田委員長：0.34は大きめでもそこまでである。場合によっては0.24でも良いと思うが、議論を蒸し返さないように、0.34まで計算していただきたい。

宮澤委員：最初の寺田委員の説明に戻って確認したいが、長手Ⅱ6 参考資料 2-5、p. 4において、 $\gamma$  に応じた乖離のグラフを興味深く拝見した。実際に  $\gamma$  を変えたときの周辺分布の変化を見せていただきて、この中で  $\gamma=0$  のグラフが赤で示されて、その説明の際に、時間予測モデルが正しい場合のモデルであると言われた。それはそうなのだが、それでもこのように周辺分布があるのは、隆起量の分布があるから出てきているのか。

寺田委員：その通りであり、純粹に隆起量の分布だけが反映されている。

宮澤委員：そうであれば、p. 4 で  $\gamma$  が小さくなる程、乖離が大きくなるのはまさにそのところが働いている。今の議論で、既存の  $\alpha$  に合わせた  $\gamma$  の設計にすると落ち着くと考えたが、どうしてもやはりデータの隆起量の分布があることから、既存の BPT モデルによる発生予測と、今回導入しようとしている予測は、大きな違いではないかもしれないが、必ず違いは出てくると認識して良いか。

平田委員長：モデルが違うから、違うのではないか。

寺田委員：モデルは違うのだが、今までの推定結果が不確実性を考慮したり、様々な事前分布を設計しているため、今までに推計してた結果もこれまでの推測を包含した形にはなっている。方法としては全く異なるため、結果は違うと言えば違うのだが、回答が難しい。

宮澤委員：つまり、 $\alpha$  を合わせる方針にしたため、結果もあまり変わらないという結論が出てしまうと、ここで議論してきたこと、例えば、隆起量の誤差を入れるなどのモデル化をした努力が出てこないのではないかと危惧している。

寺田委員：それは、おそらく大丈夫である。隆起量の不確実性等を入れることにより、信用区間のようなものが推定される。それは、0.2 と 0.4 の間の幅よりは必ず大きいものが推定されるため、完全にこれまでの結果を再現するように持つて行っているという形にはならない。

宮澤委員：承知した。違う分布になることが確認できれば良い。

野村委員：今の議論で少し認識が違う部分がある。 $\alpha$  の値が整合するように  $\gamma$  の値を合わせていく訳だが、 $\alpha$  の値と整合するのはあくまで隆起量がばらつく元であり、次の南海トラフを予測する際には推定された  $\alpha$  よりも小さい  $\gamma$  が用いられるため、結果的に  $\alpha$  が 0.2 や 0.24 よりも、おそらくより狭い範囲の変動係数が出てくるというイメージである。その辺りについて、寺田委員はどのように考えるか。

寺田委員：条件付きで考えるのであればその通りだが、それはあくまでも平均的な挙動の場合である。 $\beta$  と  $\gamma$  を更に隆起量に不確実性を入れることによる事後分布のばらつき自体は、これまで決め打ちで計算した推定よりは大きくなる。 $\gamma$  は小さいが、 $\beta$  によるばらつきも反映されることになる。

野村委員：その通りで、これまであまり深く検討されていないが、 $\beta$  の事前分布も整理しておかないといけない。

平田委員長： $\beta$  の事前分布は、資料にあるか。

寺田委員：長手Ⅱ6 参考資料 2-3 の p. 14。0.8±1 に 95% 入ってるものを今は仮に用いてい

た。ここは今までに議論されていなかったため、是非ご意見いただきたい。

平田委員長： $\beta$ は100年を単位にしているのか。

寺田委員：そうである。隆起量1mに対して80年程度である。隆起量の不確実性を考慮せずに最尤推定すると0.8程度が推定されるため、そこから幅を持たせている。積極的な理由がある訳ではなく、仮に置いた。

平田委員長：それはあまり問題ないと思っていたが、議論されてない。決めておかないと計算できない。平均0.8で標準偏差を0.05にして正規分布を仮定している。正規分布以外には考えられないと思うが。

寺田委員：分散と平均をどの辺に持ってくるべきか確認が必要である。

野村委員：具体的な案がある訳ではないが、 $\beta$ は隆起量と発生間隔との比である。長期的に見た際の年平均の隆起量の割合になるため、地震学の見地から、どの程度の範囲にあるかの情報があれば定められるのではないか。

平田委員長：これは2種類あって、室津港の隆起量データが2つか3つあることと、平均の地震間の沈降量や隆起量がある。その2つが合う合わないの議論があり、それを橋本ほか（2024）では問題にしている。

佐竹主査：時間予測モデルに用いる隆起量の階段グラフの傾きである。

事務局（上野（寛））：長273海Ⅱ94長手Ⅱ3参考資料4、p.5に、橋本ほか（2024）で示された定常的な沈降を表すグラフがある。もう一つは、長272海Ⅱ93参考資料2-1、p.4に隆起量の階段グラフがある。黒線が隆起量のばらつきを考慮しない場合に最小二乗法による平均隆起速度で12.5mm/yearになる。宝永地震の隆起量のみ1.4～2.4mの幅を考慮し、赤線と緑線で平均隆起速度が示されている。

野村委員：このグラフがSSD-BPTモデルに当てはめる対象データでもあるため、どちらかと言えばその前の沈降の方が事前分布として適当ではないか。事前分布はあくまで観測データを与える前に、それ以外の知識で作成する分布であり、そこに発生間隔の情報を加えることで事後分布が出てくる。できれば、現状持っている発生間隔を使わない情報から事前分布を構築できると良いと考えている。

寺田委員：先程の沈降速度を教えて欲しい。

事務局（上野（寛））：平均沈降速度は8mm/yearで、100年間で80cmである。時代によって違うことも分かってきたが。

平田委員長：野村委員の意見は尤もあるが、一番の問題は50年程度のデータで現在の平均沈降速度を見積もる点である。プレートが沈み込むために徐々に沈降する。地震時に隆起し、沈降した量が戻る。完全に元に戻ると考えれば、1回の隆起量の平均値は地震間の沈降量と大体同じになる。

佐竹主査：大きく戻る場合と小さい場合があるが。

平田委員長：大局的には平均的な沈降量が長期間ではあまり変わらない。地震毎にばらつきを持つが平均的には変わらない。

寺田委員：平均的には 0.8mm/year と一致するということか。

平田委員長：しかし、それは室津港の隆起に比べると小さいと橋本ほか（2024）では指摘している。

事務局（上野（寛））：昭和南海地震のかなり後のデータを見て、定常的な沈降としている。

地震時の隆起後、余効変動として少しずつ隆起し、余効変動が収束して定常的な沈降として観測できた値が 8mm/year となるため、全くイコールかどうかは分からぬ。

寺田委員：範囲の目安があれば、その幅に合わせた事前分布にすることはできる。

平田委員長：昭和南海地震時の隆起量はどうか。

事務局（上野（寛））：長 273 海 II 94 長手 II 3 参考資料 4、p.8 に昭和南海地震の隆起量がある。92～111cm まで幅がある。

平田委員長：余効変動による誤差は 2.7mm や 4.8mm。

事務局（上野（寛））：今知りたいのは昭和南海地震時の変動か。

平田委員長：今、欲しいのは  $\beta$  の事前分布であるから、昭和南海地震の地震時変動の上限値である。

佐竹主査：要するに、時間予測モデルで用いられてる階段グラフの傾きの幅ではないか。

事務局（上野（寛））：幅が知りたいが、階段の幅を事前分布で地震時の隆起量データから求めるのは良くないという話である。従って、別のデータで求めた定常的な沈降を 8mm/year 土何 mm にするかが知りたい。

平田委員長：定常とは言っているが、地震後変動が含まれる可能性があるが、誤差は 1 割程度ではないか。

佐竹主査：沈降量と地震時隆起量が合わないのか。

事務局（上野（寛））：定常的な沈降速度の 8mm/year と平均隆起速度の十数 mm/year が合わないという話である。

西村委員：室戸の場合は、地震の 1 サイクルで沈降量と隆起量が相殺しないと海岸段丘から言われている。経年的な隆起が年間約 2mm はある。そのため、検潮の値をそのまま使うのは問題ではないか。逆に言うと、経年に地質的に累積する変動は今の沈降に比べるとたかだか 2、3 割のため、その程度の誤差の幅として使えるかもしれないが、これは前回の見直しの際にも議論があった。橋本ほか（2024）の主張にもあるが、室戸の場合には地震間沈降と地震時隆起は完全には一致しない前提があることは注意した方が良い。

平田委員長：それは隆起量の測定値があるから分かることである。測定値がない事前分布の知見として、今の地震間の沈降量とおおよそ同じであると考えることも間違いか。

西村委員：地形学的には経年に室戸は地震サイクルに関わらず隆起していることが分かっている訳であり、そこはイコールにしてはいけないと考える。

平田委員長：分かっているというのは、地形的にか。

西村委員：段丘の形成年代から言うと、そのようなことが言われている。

平田委員長：逆に言えば、段丘の形成年代から平均的な隆起量を引けば良いということか。

西村委員：そうなる。

平田委員長：プレートが沈み込まないと思っても隆起しているということか。

西村委員：プレートの沈み込みと何らかの関係はあると思うが、地震サイクルとは関係せず  
に経年的に隆起している。

佐竹主査：地震の度に隆起するが地震間に完全に元に戻らず、残っている部分が長期間に渡  
って隆起するという考え方、あるいは別の分岐断層があるという考え方もあるかもしれない。

平田委員長：今、議論したのは、あくまでも事前分布としてどうするかである。事前分布の  
平均値として一つは  $8\text{mm/year}$  で、それよりも、増やすか減らすか。西村委員の意見は  
 $8\text{mm/year}$  から増やした方が良いということか。

西村委員：地震時にゼロにするのであれば、地質的な長期的隆起速度を  $8\text{mm/year}$  に足すこ  
とになる。経的な隆起レートが例えば年間  $2\text{mm}$  だとすると、年  $10\text{mm}$  程度になる。

平田委員長：そうすると事前分布は、 $8\sim10\text{mm/year}$  になるように、 $9\pm1\text{mm/year}$ 、 $9\pm2\text{mm/year}$   
などにするのは合理的か。

西村委員：計測の誤差も入れれば、ばらつきは大きくなる。

平田委員：データの誤差はこれから考慮するが、事前分布の知見として合理的か。

西村委員：事前分布としても、長 273 海 II 94 長手 II 3 参考資料 4 の p.5 の変動が全体を代表  
しているかの問題もある。 $\pm1\sim2\text{mm}$  よりは、もう少し大きいと考えるが、定量的な値は分  
からない。

平田委員長：今、考えたいのは、事前分布として具体的なデータがない場合に、他の知見か  
ら考えて、さらに具体的にデータを入れてベイズ的に求める方法である。その場合の事前  
分布として、我々は、現在、計測している地震時沈降量と地質学的な隆起量の知識があり、  
それは厳密に言うと異なる時間軸で見ているため、厳密に一致する訳はないが、その程度  
の幅の事前分布の知見を持っている。そうすると  $8\sim10\text{mm/year}$  程度が事前分布として設  
計できることになる。今は、 $0.8\text{cm}\pm0.05\text{cm}$  か。

寺田委員：現在は、 $0.8\pm1$  で 95% 信頼区間である。それを  $0.1\text{cm}$  シフトさせた事前分布にな  
る。

平田委員長：少し大きくすることで、西村委員、いかがか。

西村委員：承知した。そのような考え方はできると思う。

平田委員長：二つの先見情報を持っており、一つは最近の測地で測っている地震間沈降量と  
地質データの隆起量の知見を合わせて事前分布を作成したという説明になる。それが何を  
意味するかは分からぬため、大数の法則で正規分布とする。

林委員：地震間の沈降速度と長期的に残存する段丘から見た隆起の速度を足し合わせたもの  
は、事前分布ではなく、事前分布の中央値としては妥当と考える。事前に得られている我々  
の知見からは、平均的に考えられる量の知見と考えられるため、事前分布の中央値として  
の推定はそれで良いが、事前分布のばらつき具合をどこに決めるかは、それぞれの推定の

誤差をどれ位だと見積もるかに依るのではないか。ただし、それがどの程度と見積もれば良いかは分からない。

平田委員長：地震間の沈降量は、長273海Ⅱ94長手Ⅱ3参考資料4、p.5にあるが、これは一つの線ではなく、最初の数年は4 mm/year でその後8 mm/year となっている。これは地震後変動が入っているためと思われる。地震後変動は8mm程度の1桁の有効数字で、直線でフィットして、誤差を出すことはできるかもしれないが、無意味かもしれない。むしろ地質のばらつきの方が大きいのではないか。林委員の意見は、 $\beta$ の中央値は言えたが、ばらつきは分からないという指摘である。

佐竹主査：中央値には測地学的なものと地質学的なものを両方を足したものにすべきだという意見である。

林委員：その通りで、足した値が中央値で良いと考える。

佐竹主査：中央値はおそらく地質の方は調べれば分かると思うが、ばらつきが問題である。

例えば地質学な推定のばらつきが分かれば、それをそのまま用いるのか、もしくはプラス測地学的な値とするのか。

西村委員：測地の方のばらつきは、実はあまり大きくない。例えば、地震調査委員会の国土地理院資料を見ると長期間の水準測量データが出ている。直近の、例えば第409回地震調査委員会の国土地理院資料であれば、p.25にあるが、短期間で推定するとばらつきが大きいが、1946年以降の累積で見ると、余効変動はあまり大きくない。ざっと見ても8mm±1mm程度のオーダーである。数値として定量的にすぐには言えないが、測地の誤差は大きくない。8mm±5mmなどのレベルの誤差にはならない。

平田委員長：安政地震などの地震が起きている時間と、地質学的な第四紀変動などの非常に長期間の隆起・沈降のレートとを直接比較できるのか。

西村委員：それは非常に深い問題である。先程、単純に足して良いとしたのは、地質学的に経年的に隆起してるのは、時間変化せずに一定レートで進行すると仮定するのであれば足して良いが、経的な隆起も短期間に生じていると考えるのであれば、単純には足せない。

平田委員長：地質学会のホームページには、最終間氷期以降9万年で室戸は年平均2mmの隆起と書かれている。地震が複数回生じても、経的に隆起している。確かに隆起しているが、1桁の倍程度。10mmに対して2mm程度、経的に隆起している。我々の知見から、1～2割程度の誤差があると考えれば良いのではないか。地震の度に完全に0ではなく徐々に隆起しており、事前分布の誤差としてはモデル依存の誤差があるため、例えば、仮に10mm±1mmなどである。グラフは正規分布で上限は平らになるため、中央値を8～10で変えてあまり変わらない。

寺田委員：かなり中心に集中することになる。

平田委員長：もう少し広くしても良い。室戸は年2mmとなっている訳である。

佐竹主査：10mm±1mmか2mmか。2mmを考慮しない場合は、8mmでやはりその程度である。

寺田委員：平均は 10mm で良いのか。

平田委員長：10 mm 程度で良いのではないか。

佐竹主査：どの程度効くかは分からぬが、オーダーとして誤差が 1mm とか 2mm である。

平田委員長：地質データからも 9 万年になると、2mm/year で、12.5 万年になると 1.4mm/year とあり、誤差はある。

寺田委員：誤差については、±1mm と±2mm で計算してみる。

佐竹主査：今日は長期確率評価手法検討分科会（第二期）としては、パラメーター  $\gamma$  と  $\beta$  の推定方法について議論してきた。 $\gamma$  は  $\alpha$  との違いを認識した上で、 $\alpha$  を参照する。 $\beta$  は、長期間の沈降と地質学的・測地学的な隆起速度の知見を事前分布に用いる。大筋についてはこれで宜しいか。数字についてはまた議論があるかもしれないが、この検討会はパラメーターを事前分布とすることがミッションで、今回で道筋ができた。寺田先生には試算をお願いする必要があるが、宜しいか。

事務局（上野（寛））：その試算を 2 月 5 日の長期評価部会に報告できるか。ここで FIX するイメージであったが、前回の長期評価部会と海溝型分科会（第二期）との合同会で、極端な場合の隆起量の誤差  $\sigma$  を用いた場合の確率の幅が見たいとの意見があり、その答えが出れば良いと思っていたが、今回、 $\beta$  の事前分布と  $\gamma$  の設計を  $\alpha$  の範囲にすることが決まった。データの  $\sigma$  が極端な場合の値を出したいと考えているが。

平田委員長：極端な場合というか、すでにケーススタディを行った。最適値をどれにするかは今、議論した。

佐竹主査： $\beta$  の効き方がまだ議論されていない。今まで、固定値で試算してきた。

寺田委員： $\beta$  が変わる。今、0.8を中心している。

平田委員長：それを 1 にしたから 0.2 異なる。幅は±0.05 だから同じである。

事務局（上野（寛））：2 月 5 日を長期評価部会・海溝型分科会（第二期）・長期確率評価手法検討分科会（第二期）の合同会にして、 $\beta$  の事前分布などを見た方が良いと思う。おそらく、 $\beta$  の事前分布の与え方もどちらかというと、長期確率評価手法検討分科会（第二期）より長期評価部会で議論する内容であるため、部会での確認もあった方が良い。寺田委員は専門家としてお呼びする予定であったが、ここで日程的に林委員と野村委員さえ良ければ、3 つの合同会にしたい。

→林委員と野村委員の了承を得られた。

事務局（上野（寛））：それでは合同会にする。 $\beta$  の事前分布については、長期確率評価手法検討分科会（第二期）で議論する内容ではないこともある。事前分布は、これでいいかも踏まえて結果が出せれば良い。試算はできそうか。

寺田委員： $\beta$  や  $\gamma$  を決まった値で出すことはできる。 $\gamma$  については、今日の議論で出た幅での事前分布とする。

平田委員長：パラメーターの具体的な値を決めるのは長期評価部会のため、そこで意見を聞いて決める。もし、極端な場合はどうなるかを聞かれる可能性があるため、例えば、ばら

つきを倍にした計算は用意して欲しい。

事務局（上野（寛））：この前の意見の中で両論併記するかどうかで、極端な場合の確率が見たいという意見もあった。 $\beta$ 、 $\gamma$ 、 $\alpha$  の話もあるが、隆起量のデータの過去の文献についての資料で  $1\sigma$  にするのか、 $2\sigma$  か  $0.5\sigma$  などで両極端な例も合わせて、計算したら良いという意見があった。それを何通りか計算して欲しいと考えていた。後で、計算して欲しいパターンをお渡ししたい。

佐竹主査：その時の  $\beta$  と  $\gamma$  は、今日の議論の範囲の中で計算し、前回の合同会のように 2054 年までの推測結果を出していただくことで良いか。

（異論なし）

#### —報告書の改訂について—

事務局（田中）：（長手 II 6 参考資料 3 に基づき説明）

事務局（上野（寛））：補足だが、現在の報告書を改訂する場合、参考資料 3 の p. 10 の緑で示した章以外でも、細々な修正が必要である。この後に、長期予測手法検討分科会（第二期）の長期的な目標を考えたいが、長期的な目標の達成によりこの報告書は全面改訂になることから、今回、現在の報告書を部分改訂の作業量との関係もあり、時間予測 BPT モデルとモンテカルロのみの説明を記述したものを別紙として出したいがご意見いただきたい。

佐竹主査：今度の南海トラフの改訂に合わせて、推定方法を公表しないといけないが、前回までは以前に出した報告書の手法の章を改訂する提案だったが、今回決めた手法とモンテカルロを別の資料とする。モンテカルロは日本海溝、千島海溝、相模トラフでも既に使用しているが、説明がどこにもないため、その二つの計算手法をまとめて公表する。これまでの「長期的な地震発生確率の評価手法について」の改訂ではなく、別紙として出す。報告書の改訂は今後、（長期的な課題について）長期確率評価手法検討分科会（第二期）で議論して、その結果が出たとき行うことである。何かご意見あるか。

平田委員長：別紙として纏めた文書にすることは賛成である。長期的な地震発生確率の評価手法についてまでは良いが、注意して欲しいのは、時間予測 BPT と通称しているが、今までは BPT の平均発生間隔  $\mu$  を時間予測モデルを使って出した最後の 88.2 年を単に代入して推定していた。まさに時間予測 BPT かもしれないが、今検討しているのは、そうではない。ここでは、Ogata Y. (2002)による SSD (Slip Size Dependent) -BPT モデルを使っており、決して時間予測モデルを使ってる訳ではないことを注意が必要である。尾形先生は長期確率評価手法検討分科会（第一期）に入ってるため、ご存じの上で報告書が出ている。報告書の中に書いてある内容については正しいが、全体の構成やタイトルにはやはり問題がある。つまり、考え方としては時間予測モデルが確かに用いられているが、今は、Slip Size Dependent で日本語で言えば、すべり量依存かすべり依存 BPT モデルといった名前にしていただきたい。

佐竹主査：前回は、時間予測モデルを用いた BPT モデルなど煩雑な名称であった。これまで

の BPT とは異なることから検討して、時間予測 BPT と名称をつけたが、それでも不十分であるとの委員長の意見である。

平田委員長：時間予測ではない。すべり量に依存する BPT モデルであり、それを明示する必要がある。もしかすると、そこに説明が必要かもしれない。時間予測モデルはあくまでも決定論的なモデルであり、そこに確率過程は入ってない。今回はきちんと確率過程を入れた。ポアソン過程や BPT 過程は、これは更新過程であるが、Slip Size Dependent は更新過程ではないのか、それとも更新過程といつて良いのか。文献によると更新過程は時系列が独立で、それを一つの式で表せるものと定義され、最も簡単なものはポアソン過程で BPT もそうである。しかしながら、報告書には時間予測モデルに値を代入した途端にこれは BPT ではないと説明している。今は値を代入はしていないが別の物理量を入れているため、もしかすると更新過程ではないと考えたが。あえて更新過程などと書く必要はない。

佐竹主査：固有地震モデルとそれに揺らぎを加えた BPT であり、右側が固有地震モデルにばらつきを入れた時間予測で、それに揺らぎを入れた。これが SSD-BPT のイメージということとで宜しいか。

平田委員長：BPT は発生間隔に揺らぎのあるモデルだ。揺らぐ理由は色々な要因があり、時間  $t$  の 1 次元のブラウン運動である。ここは、あくまで時間軸の再来間隔がブラウン運動的に揺らぐというモデルである。固有地震モデルは決定論的なモデルであり、時間予測モデルも決定論的なモデルである。時間予測でなくて、ここをすべり依存 BPT モデルとする。確率過程のモデル化をしたことは少なくとも専門家向けのレポートにしっかり書いて、それを一般の人にどう伝えるかは、おそらく非常に難しい話であるが、少なくとも専門家が読んだときに理解できるように、書いていただいた方が良い。

事務局（上野（寛））：時間予測という文字は外して「すべり依存」とする。

平田委員長：世間には、単純平均モデルと時間予測モデルと対立構造で議論されているが、単純平均モデルはどこにも書いてない。BPT のパラメーターの  $\mu$  を最尤推定すると、結果的に算術平均になるため単純平均モデルと言う人がいるが、それは別に単純平均モデルを使って求めているのではなく、BPT モデルを使って発生間隔のデータだけで最尤推定すると、結果的に平均になることは皆知っているが、忘れないようにしないといけない。単に平均ということであれば、正規分布にも平均値がある。正規分布ではなく BPT であることを意識して欲しい。報告書にそのようなことを書く必要はないが。

汐見委員：時間予測という言葉は良くないと意見しようと思ったが、委員長が意見され議論があつたので良い。もう一つ、追補版、補足で出す方針についてだが、そうすると、時間予測モデルに関する文章はそのまま報告書に残って、何の評価にも使ってない状況になることで良いか。

事務局（上野（寛））：事務局での理解は、その通りである。

汐見委員：おそらく質問されるかと思うが、そういう状態になることは了解した。モンテカルロの扱いで、まだ下書きの段階だとは思うが、最初の方で、書いてなかつたため今般

取りまとめるという意味の文章は良くない印象を与える。(表現を)少し工夫していただきたい。

事務局（上野（寛））：下書きの中身はあまり詳しく見ないで欲しい。着手しようとしたが改訂が多岐にわたることが分かり、別紙にすることにした。別紙よりは追補版の方が良い、追補版とさせていただければと思う。

佐竹主査：SSD-BPTなどモデル名称についてもあるが、基本的な方針として改訂ではなくて別紙にすることで宜しいか。

（異論なし）

### その他

佐竹主査：次回の予定について、事務局からお願ひする

事務局（上野（寛））：次回は2月5日（水）午前10時～12時半の合同会である。その次の単独開催については、追って日程照会をさせていただく。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：以上で第6回長期確率評価手法検討分科会（第二期）を閉会する。

以上