

海溝型地震の長期評価に 関する資料

2024/07/30
事務局作成資料

過去の海溝型地震の長期評価

領域	第一版	第二版	第三版
千島海溝沿い	2003/3/24	2004/12/20	2017/12/19
日本海溝沿い			2019/2/26※
(三陸沖から房総沖)	2002/7/31	2011/11/25	
南海トラフ	2001/9/27	2013/5/24	
相模トラフ	2004/8/23	2014/4/25	
日向灘及び南西諸島海溝	2004/2/27	2022/3/25	
日本海東縁部	2003/6/20		

※「三陸沖から房総沖にかけての地震活動の長期評価」の第三版として扱う

- 長期評価については、これまでも、得られた新しい調査観測・研究の成果を取り入れ、随時改訂している。
- 南海トラフの長期評価について、前回更新時から10年以上経過している。

参考：「地震調査研究の推進について－地震に関する観測、測量、調査及び研究の推進についての総合的かつ基本的な施策（第3期）－」（令和元年5月）における
「海溝型地震の発生予測手法の高度化」に関する記載

このため、基本目標として、「海溝型地震の発生予測手法の高度化」を設定する。

・基本目標の達成に向けて、この10年間に以下の項目について取り組むべきである。

- 南海トラフ、日本海溝や千島海溝沿いの地震等の海溝型地震について、地震発生履歴、地震発生メカニズムやプレート間固着の状態等をより適切に把握するためのデータ収集体制を強化する。具体的には、関係機関が連携して、新たな海底地震・津波観測網や海底及び陸域の地殻変動観測網の整備を進めるとともに、各種データ(地震活動状況、海溝付近を含む海陸の堆積物データ、史料、深部掘削によるプレート境界の地質データ、広域かつ三次元的な海域地下構造データ、地震破壊の力学的特性に関する室内実験データ等)の時間・空間分解能の向上を図る。
- 時間・空間分解能を向上させた陸海の地殻変動データ・地震活動データ等を用いたプレート間固着・すべりのモニタリングの高度化を図る。南海トラフでは、半割れケースなど大地震後の地震活動の推移予測が特に重要であることから、プレート間固着・すべりの状況を高い解像度でリアルタイムに把握することを目指す。
- 南海トラフ沿い等で過去に発生した地震・津波の履歴や収集した各種データを説明できるような海溝型地震の物理モデルの高度化、内陸を含めた周囲への影響を考慮した物理・統計モデルの開発、地震サイクル及び地震破壊に関するシミュレーション技術等、各種シミュレーション技術の開発・高度化を計算科学・情報科学と連携して進め、大地震後の地震活動の推移予測など、海溝型地震の発生予測手法の高度化を図る。

5. 今後に向けて

2001年にとりまとめた前回の長期評価では、ほぼ同じ領域で同じタイプの地震が周期的に発生する固有地震モデルに基づいた評価を行った。しかしながら、これまでに述べたとおり、最近の調査観測・研究により、南海トラフの地震は震源域や発生間隔が多様であることが明らかとなってきた。こうした知見を踏まえ、今回の長期評価の改訂では、震源域の広がりについては多様性を考えた。次に発生する地震の評価については、多様性を説明するモデルが確立されていないことより、従来の手法を踏襲した。

将来的には、このような多様性を説明する地震の発生モデルに基づき、長期評価を行う必要がある。そのため、最新の学術研究の成果を取り入れるとともに、以下のような調査研究を推進し展開していくことが重要となる。

- 過去に起きた地震像を明らかにするための調査研究の推進
- 大地震の震源域となりうる領域を規定するための調査研究の推進
- 現在のプレート境界におけるひずみ蓄積状況をモニターするための調査研究の推進
- 地震の多様性を取り入れた長期評価の信頼性の向上

現在、過去に起きた大地震の繰り返し間隔と最新活動時期を用いて、次に発生する地震の長期評価を行っている。今回評価を行った南海トラフの地震は、物理的な背景を加味した時間予測モデルを用いているが、モデルの妥当性に関していくつかの問題点が指摘されている。今後、時間予測モデルの妥当性の検討も含め、地震の多様性を考慮した、ひずみの蓄積と地震の発生を結びつける物理的なモデルを構築していく必要がある。

また、物理的なモデルに基づき、様々な条件で計算を行った地震発生シナリオの中から、過去の地震像や現在の観測記録と矛盾しないものを絞り込み、長期評価の信頼性を高めていく必要がある。

現時点において、南海トラフの長期評価に影響しそうな新しい調査観測・研究について確認してみると、以下の論文が見つかる

- ・久保野家文書等に基づく室津港の隆起量の検討：橋本ほか(2024)

「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）について」発行以降※、
時間予測モデルそのものを否定できている論文は新たに出ていない認識。

※第二版発行以前では、Murray and Segall (2002)、Scholz(2002)のように、時間予測モデルを否定している論文はある

3) 2つのモデルの比較 (略)

時間予測モデルは、地震発生域の応力レベルがある一定の値を超えると地震が起こるという、地震発生 of 物理的な背景を加味したモデルである。

しかし、南海トラフの地震に時間予測モデルを適用することについては、問題点も指摘されている。まず、南海トラフ沿いに起こる地震の震源域は多様性があるが、それを室津港の隆起量のみで評価できるのか、という問題がある。また、地震時に隆起した量が解放されたひずみに相当するとすると、ひずみが蓄積されている時期にはその蓄積量に応じて沈降し、地震時の隆起を回復することになり、室津港での沈降速度は 13mm/年となるが、これは水準測量から推定される室津港付近の沈降速度 5～7 mm/ 年（国土地理院，1972；図 3-34）と大きく異なる。また、Shimazaki and Nakata (1980) で時間予測モデルが適用できると報告されている地震は、南海地震（室津港における 潮位の記録）ほか 2 つの地震のみである。地震の繰り返し周期や規模が良く分かっている小繰り返し地震について調べた研究からは、時間予測モデルが成り立っていないという指摘がなされている（Rubinstein et al., 2012）。南海トラフの地震についても、白鳳地震までの地震について調べてみると、時間予測モデルは成り立っていないという報告（Scholz, 2002）もある。一方、南海トラフのように多様な地震が起こる場所では、従来考えられてきた上述の物理的背景とは別の原因で時間予測モデルが成り立つ可能性があることを、地震のシミュレーションより示した研究もある（Hori et al., 2009）。南海トラフの地震についても慶長地震を除けば、白鳳地震まで遡って時間予測モデルが成立しているという説（Kumagai, 1996）もある。

以上のように時間予測モデルが成立しているかどうか、あるいはその物理的な背景については議論が続いており、現在のところはっきりとした結論は出ていない。現時点では、南海トラフの地震に時間予測モデルを適用することについて、問題点はあるものの、モデルそのものを否定するだけの情報は無いため、前回と同じく時間予測モデルを用いて発生確率の評価を行うことにする。

要 旨

橋本ほか(2024)より抜粋

2013年地震調査委員会は南海トラフ沿いの大地震の今後30年間の発生確率を60～70%と評価した。この評価に際しては、公表前から強い批判、特に時間予測モデルの採用について、があったが、2001年評価と同様に久保野家文書に記された室津港の水深データを用いて評価がなされた。本論文において、原典となった久保野家文書を吟味したところ、複数の問題点が見つかった。すなわち、測深の精度を評価するための情報の欠如している。また、開港以来、ほぼ毎年工事が行われてきたことが確認された。既存の史料の情報および近年の潮位観測結果と総合すると、1707年宝永地震に伴う隆起は、1.4～2.4 m の範囲と推定される。社会は、この不確定性を認識し、活用法を再検討する必要がある。

参考：Shimazaki and Nakata(1980)に使われた室津港の隆起データは以下のとおり。

1707年宝永地震：	1.8m
1854年安政地震：	1.2m
1946年昭和南海地震：	1.15m

参考：「長期的な地震発生確率の 評価手法について」（平成13年6月）における ”時間予測モデル”に関する記載抜粋

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[25, 26]。このモデルにたった場合、最新の活動（地震発生）時のずれの量と長期的な断層のずれ速度とから、最新の活動から次の活動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、最新の活動時のずれの量を 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 $T_{t.p.}$ は次式で求められる。

$$T_{t.p.} = U_{last}/V \cdots (2.22)$$

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、最新の活動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 $T_{t.p.}$ 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、

$$T_{t.p.} = (t_{last} - t_{penult})U_{last}/U_{penult} \cdots (2.23)$$

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BPT分布と対数正規分布を、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。

●BPT分布

$$f(t) = \{\bar{T}/(2\pi\alpha^2 t^3)\}^{1/2} \exp\{-(t-\bar{T})^2/(2\bar{T}\alpha^2 t)\}, t \geq 0 \cdots (2.24)$$

ただし、 \bar{T} は活動間隔の相加平均（最尤推定値）

一部抜粋)

総合的には、BPT分布が優れている。また、BPT分布を用いることによって、初期（地震発生直後）の応力状態、一定速度の応力蓄積と**擾乱を考慮した時間予測モデルが表現できる。**

ずれの量（U）及びずれ速度（V）の誤差について考慮されていない

今後の方向性（案）

現状のまとめ

- 南海トラフの長期評価について、現時点では大きな改訂を行う知見はないと思われる。
- 時間予測モデルそのものを否定できている新たな知見はないものの、時間予測モデルを用いた発生確率計算に用いていた隆起量データが誤差付きで推定され、そのデータの精度は以前のものより、よくなっていると思われる。
- 時間予測モデルを用いた式には、データの誤差は考慮されていない。

< 今後の議論の方向性（案） >

- 室津港の隆起量データについて確認
⇒ 長期評価部会・海溝型分科会の合同会で審議
- データの誤差を考慮した長期発生確率を計算する式について審議
⇒ 新たに「長期確率評価手法検討分科会（第二期）」を設置し、審議
- 新たなデータと新たな計算式を用いて、時間予測モデルから計算される発生確率を更新
⇒ 長期評価部会・海溝型分科会の合同会で審議
- 「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）について」を改訂