

# 南海トラフ沿い巨大地震の長期予測

青木治三

## 1. はじめに

地震発生予測のひとつに Time predictable model (Shimazaki, K. and T. Nakata, 1980) がある。その根拠は室津港（室戸岬）における 1707 年宝永地震・1854 年安政地震・1946 年南海地震の隆起であるが、宝永と安政のデータは海面基準、南海地震のデータは土佐湾奥を基準にした水準測量である。高知付近は地震で沈降しているので地盤変動の少なかった東側海岸沿いの水準測量（国土地理院, 2017）を使い、地震直後の変動を除くと室戸岬では 0.8 ～1.0m である。島崎・中田の宝永 1.8m, 安政 1.2m, 南海地震 1.15m を使えば 2040 年, 国土地理院の 0.8 ～1.0m を使用するとさらに早期になる。時間予測モデルの適否は未決着であるが、測量データが正しいとすれば宝永 1.8m/209 年 (=0.0086), 安政 1.2m/147 年 (=0.0082), 南海 0.8m/92 年 (=0.0087) と時間予測よりは隆起予測に合うようである。

また、地震発生の分布則として BPT (Brownian Passage Time) があるが、後述するように、地震間隔が 204 年と 59 年だけで説明できる状況では BPT 分布の適用は無理である。

一方、南海トラフ沿いのプレート境界にはマグニチュード 7 クラス以下の地震が殆ど発生していないので、巨大地震の発生間隔は信頼できる。時間だけをデータとして何が言えるか調査し、大地震の発生予測を試みるのが本論の目標である。

## 2. 調査結果

先ず対象とする地震を限定しよう。南海トラフ沿いでは紀伊半島を境に東側と西側に分かれる。大地震は先ず東側に発し、西側が連動する。例外は 1498 年明応地震で、西側は連動しなかったが 1605 年慶長津波地震が起きた。これは東側とは無関係である。このような条件の下で、東側のプレート境界地震を表 1 にまとめた。予測の根拠については後述するが、 $T = 204$  年,  $\alpha T = \beta T = 59$  年としても標準偏差は 5 年で済む。安政地震からの次期の予測では  $\alpha$ ,  $\beta$  には無関係であって、 $1854 + T$  でもよい。

表 1 発震間隔の予測 ( $T = 204$  年,  $\alpha T = 55$  年,  $\beta T = 62$  年, 標準偏差 4 年)

$T$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  は予測式で観測方程式をたて最小 2 乗法で求めた。(整数部のみ)

地震名	発震年	間隔	予測式/ $T$	予測値	発震予測	誤差
白鳳	684					
仁和	887	203	1	204	888	-1
永長	1096	209	1	204	1091	5
康安	1361	265	$1 + \beta$	266	1362	-1
明応	1498	137	$1 - \beta$	142	1504	5
宝永	1707	209	1	204	1703	4
安政	1854	147	$1 - \alpha$	149	1856	-2
東南海	1944	90	$1 - \alpha - \beta$	89	1943	1
次期			$\alpha + \beta$	117	2061	

### 3. 地震発生間隔の予測

南海トラフ沿い大地震の特徴はプレート境界にあり、かつ震源域数が少ないことにある。1944年東南海地震があったことから西端の熊野灘はその一つであることが判る。中西・矢野(2005)によれば、1707年宝永地震では東端が駿河湾奥には達しなかったため、駿河トラフ付近に東端の震源域が想定される。駿河トラフだけが発震した史料はないが、宝永地震と安政地震の間隔が147年と短いことからすれば、東端だけの地震も有り得る。東端は1293年鎌倉強震に連動していた可能性があるため、南海トラフ東側の震源域として熊野灘、遠州灘および駿河トラフの3種が考えられる。Asperityの分布が不明なので敢えて震源域の境界は問わない。およその位置が判ればよい。また、中央の遠州灘が単独で発震した事例はなかったことから、発生する大地震は全域、熊野灘、遠州灘+駿河トラフ、および駿河トラフ、遠州灘+熊野灘の5種に限られる。

Asperityを考慮した有効剛性率に面積と変位を乗じ、震源域モーメントと定義する。プレート移動速度に細かな変動はないとする。何処かで発震すると陸域の変位の時間変化にステップが生じるが、西南日本外帯活断層の分布に矛盾しないよう、南海トラフ東側の表層に南北方向の断層が生じない滑り+弾性変形であればよい(補遺5-1参照)。変位の角速度は全域で共通であるから震源域モーメントの増加は経過時間に比例する。ある震源域で発震したとき解放される震源域モーメントがいわゆる地震モーメントであり、各震源域固有の物理量となる。

震源域モーメントは加算可能。また、南海トラフ東側には最大値が存在するとしよう。

フィリピン海プレートの角速度は震源域に関係なく一定とする。モーメントと時間を1に規格化すれば、震源域モーメントは勾配1で増加し1に達すれば全域発震となるのが普通であるが、一部発震、残りは未発震と分割されることもある。その時にはさらに分割されることもあるが、南海トラフ東側では、発震、未発震とも熊野・遠州・駿河の単位で、さらに細分化されるような分割は存在しないようである。少なくとも史料ではそうなっている。

以後、規格化したモーメントを使用する。全体は1、駿河トラフを $\alpha$ 、熊野灘を $\beta$ とすれば、熊野灘+遠州灘は $(1-\alpha)$ 、遠州灘+駿河トラフは $(1-\beta)$ 、遠州灘は $(1-\alpha-\beta)$ となる。端数でのような分割は有り得ない。表1から判るように $\beta=\alpha$ と仮定しても構わないから地震モーメントは1、 $\alpha$ 、 $(1-\alpha)$ の3種としてよい。

以後、震源域を全域、駿河、遠州、熊野とする。いずれかが発震すればその震源域に対応する地震モーメント分だけステップ状に減少する。すなわち図1で時間0、 $1-2\alpha$ 、 $\alpha$ で地震モーメントが発生しているがその値は1、 $1-\alpha$ 、 $\alpha$ のいずれかに限られる。なお $1-2\alpha$ は $1-\alpha$ の震源域から $\alpha$ に相当する地震が発生する場合で、遠州に対応する。

このように南海トラフ東側の地震発生間隔は2つのパラメータ(204年と59年)だけで表現できる。発生間隔の種類は少ないので相互の関連性も推定可能になる。図1に過去に実現した震源域モーメントのパターンを示した。一様なプレート運動の場合には各震源域の発震回数は通常時間Tで1回であるが、条件により間隔が変化する。時間制限は歪が限界を超えないこと、回数制限は一様なプレート運動維持のためである。図1のA、BおよびCではそれぞれ全震源域1回分である。すなわち、赤、オレンジ、緑の地震モーメントが1回ずつ放出

しているが、Dには緑がない。1707年宝永地震は図1-Dであるが、1498年明応地震以来1854年安政地震までの368年間、駿河では発震しなかったことになる。異常である。これに比べると1707年から1944年の熊野237年は短い。

確率性とは別に、関東のプレート境界大地震の影響があるかも知れない。これについては図2のように、1703年元禄地震の上盤はフィリピン海プレート、下盤は太平洋プレートと考えれば、元禄地震で駿河の歪は緩和の方向に働く。それが原因で駿河は発震せず、1854年安政地震までの時間が短縮された。このように相模トラフの大地震によって周期性が狂うことがあるかも知れない。安政地震は駿河を含んでいるが、それは1707年宝永地震の分を加えて駿河2回分とは考え難い。ひとつは1891年濃尾地震(M8)が代行したと考えられる。両者は共に東西圧縮性、地震マグニチュードからしても駿河の大きさに合っている。これで南海トラフ沿い地域のバランスが取れたとも考えられる。

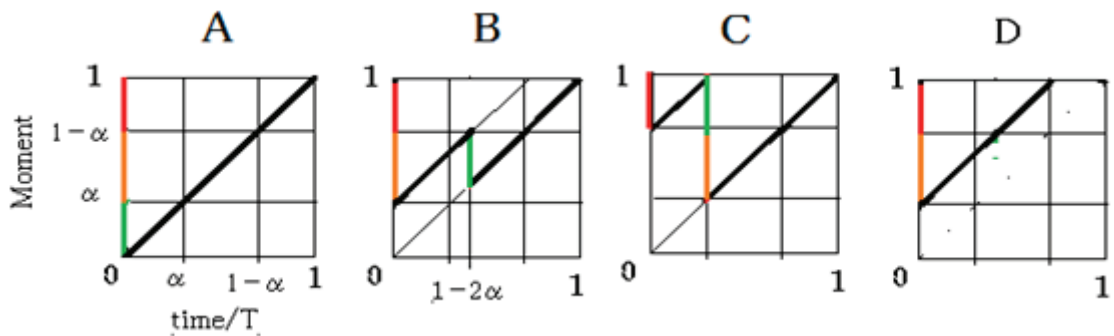


図1 地震モーメント発生間隔のパターン

時間とモーメント、共に規格化してある。Tは周期と考えてもよい。図1のモーメントとは各震源域モーメントの合計である。地震は図の左端トップ（最大歪の状態）から始まり、また最大歪になるまでの地震域モーメントの経過を示す。A, B, Cの3種が基本である。Dでは戻る時間が短い。赤、オレンジ、緑は熊野、遠州、駿河であるが駿河、遠州、熊野と見てもよい。CおよびBはそれぞれが一つの地震と見做される。DはBの分割が無かったケースである。何らかの外部干渉が考えられる。各図形を歪最大の位置で連結すると地震系列ができる。白鳳地震から東南海地震の次まではA・A・A・C・A・D・Bのように連結すればよい。

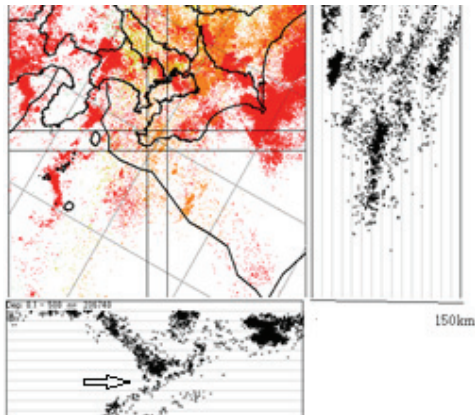


図2 1703年元禄地震の震源断層推定

矢印で示すフィリピン海プレートと太平洋プレートの間が元禄地震の断層と思われる。断面図の平行線は10km間隔  
気象庁一元化処理震源使用（2002～2019）

1361年康安地震はCとすればよい。平禅門の乱の起きるような状況では記録に残らなかったが、1293年鎌倉強震に連動して駿河が動いた可能性がある。いわゆる康安地震はその後予定より若干遅れて西から発震とすれば辻褃が合う。そして1096年永長地震から2 Tの1498年明応地震に繋がった。この場合は周期性を取り戻している。

#### 4. 結論

今回のモデルの特徴は、南海トラフ東側全体は地表では繋がっているがPHSプレートからは駿河・遠州・熊野の3震源域に見える、いわば滑り易い靴を履いた3本足の震源域で表現できる。

震源域の分割には確率性がある。発震した震源域が判明しても予測は複数にわたるが、次回に発生する地震の予測ならば、ある程度可能となる。難しい例は1707年宝永地震で、安政地震の予測が一つとは限らないことに注意すべきである。図1のBを参考にすれば、東南海地震が1944年に起きているから、次は2061年前後に巨大地震という事にもなるが、それが駿河のM8程度の地震で済めばその59年後に大型発生の可能性がでてくる。予測誤差は2乗平均誤差の2倍とみて±10年程度であろう。地震対策としては可能なケース複数について考慮することが重要であろう。

#### 5. 補遺

以上は、南海トラフ東側の発震の結果を調べ、次の地震の時期を予測する方法について述べたが、より詳細な説明を要する件について説明する。

##### 5-1 1854年安政地震後と1707年宝永地震後の相違

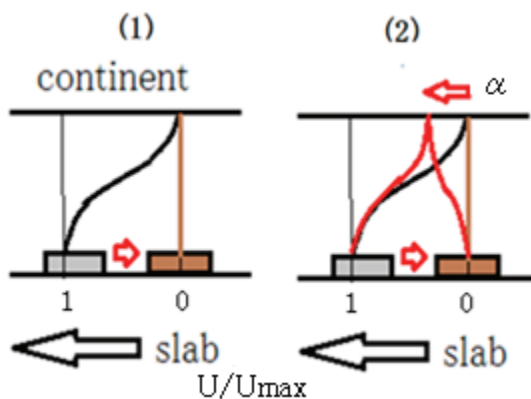


図2 変位の変化

プレート境界で上盤と下盤の結合を板バネと摩擦板で表す

(1) 基本的な震源域発震

(2) 震源域3個の内、2個発震、1個不発の場合、上盤は、バネが赤線的位置にくるようにリバウンドし、変位 $\alpha$ で上盤は安定する。

駿河、遠州、熊野の板バネの強度比は $\alpha$ 、 $1-2\alpha$ 、 $\alpha$ とする。

図2はプレート境界面の力学的モデルである。slab進行方向の横から見た図である。変位は最大値で規格化してある。プレート運動によりバネが変形し(1)の状態では摩擦板は赤矢印のように滑り、外力ゼロの状態では停止する。これが全域発震である。(1)は駿河、遠州、熊野が重なっているとみてもよい。

震源域のどれかが発震しないと(2)である。安政地震の場合、駿河と遠州の摩擦板は滑り、熊野は元のままでは上盤に無理がでる。そうならないようにバネが赤線のように変形する。上盤は矢印のように(1)に比べ $\alpha$ だけずれている。熊野の変位は最大変位 $U_{max}$ より

小さくなる。しかし、slab に固定された摩擦板の位置に変化がないので、熊野と熊野以外とのモーメント差は変わらない。

引き続き slab が動けば図 1 の B のモーメントは増大する。隣接震源域とのモーメントの差  $\alpha$  は保たれていても、実際に分割できるためには、分割された結果も安定な大きさ、すなわち  $\alpha$ 、 $\beta$ 、 $(1-\alpha-\beta)$  の組み合わせでなければならない。

宝永地震では全体のモーメントが 1 になるまで再分轄は起きていないが、安政地震では  $(1-\alpha)$  に達すると、地震モーメント  $\alpha$  の放出（東南海地震）が可能になる。熊野の摩擦板は逆方向に滑り、地震モーメント  $\alpha$  の放出や震源域間に弾性変形のやり取りがあり、結果として 3 つの摩擦板は同列に並ぶ。あとは全域で歪満杯になるまでスラブと陸域の差動が続く。

以上は確率の問題であるが、宝永地震では駿河に歪が不足していた可能性もある。ヒントは東北地方太平洋沖地震の地殻余効変動である。最近 1 年間では小さくなっているが、地震後 5 年間のデータでは宮城県・岩手県に予稿変動の集中が見える（国土地理院, 2019）。すなわちプレート境界大地震の地殻余効変動は数年程度以上継続するものと思われる。1703 年元禄地震はフィリピン海プレート・太平洋プレート間の境界地震とすれば、1707 年宝永地震直前に駿河の歪は元禄地震の地殻余効変動により小さくなる、という説明が可能である。

### 5-2 断層運動の方向

南海トラフ東側と西側に時間差のある場合は、断層運動が駿河から発震したことを意味するであろう。それは 1096 年永長地震、1498 年明応地震、1854 年安政地震に発生した。

また東から発する地震は関東にも影響を与えることが考えられる。明応地震でも安政地震でも関東に津波の痕跡を残した。駿河が駿河トラフというよりは相模トラフの西側と見るべきであろう。この見解によれば白鳳地震で伊豆嶋（伊豆大島）に地変があったようなので東から発震したと考えられる。総合すると、南海トラフの断層運動の方向は交代すると見るべきである。したがって 887 年永長地震、1361 年康和地震の断層運動も熊野から東方に拡大したと考えられる。よって次期南海トラフ地震は熊野から発するであろう。

### 5-3 関東との関係

表 2 関東の大型プレート境界地震と南海トラフ東側のプレート境界地震

番号	関東	関東M	南海トラフ	差(年)
1	818 関東諸国	>7.5	887 仁和	59
2	878 関東（特に相模・武蔵）	8.4	887 仁和	9
3	1024 関東?	?	1096 永長	54
4	1257 鎌倉	7.0-7.5	1302 康安予定	45
5	1293 鎌倉強震(溺死多数)	7.0	1302 康安予定	9
6	1495 相模（津波）?		1498 明応	3
7	1703 元禄地震	7.9-8.2	1707 宝永	4
8	1853 小田原	6.7	1854 安政	1
9	1923 関東地震	8	1911 安政予定	-12

表 2 は南海トラフに関係がありそうな関東・相模の大型地震の候補である。本来はプレート境界の大地震を探すべきであるが、歴史地震で地殻内かプレート境界かは判定し難いことが多い。宇佐美 (1996), 静岡大学 (2019), あるいは宇津徳治 (1999) で南海トラフのプレート境界地震に関係ありそうな候補を並べた。この表に関するコメントは次の通りである。

No.1 : 萩原 (1982) によれば上野・下野・常陸・武蔵で相模ではない

No.3 : 存在自体が怪しい。静岡大学β版 (2019), 宇津 (1999) には記載なし

No.4, 5 : 康安地震は図 1-C で 1302 年駿河から始まる。それを康安地震予定とした

No.6 : 宇佐美 (1996) は 1498 明応の誤記のおそれありという

No.9 : 宝永地震で駿河が動いていれば, 安政地震は 1912 年頃の筈

表 2 をみると No.3 の 1096 年永長地震については, 関東との関係は不明である。1361 康安地震に関連すると思われる相模の地震は多い。相模では南海トラフと違い小・中地震も多いので特定は困難になるが, 南海トラフと相模トラフのプレート境界地震の活動には同時性があるとみてよい。すなわち関東との関連は伊豆弧の本州への割り込みを示唆している。

特に, 1293 年鎌倉強震は図 1-C 型すなわち駿河早発+康安地震型発生の原因や 1703 年元禄地震は図 1-D 型, すなわち駿河歪減の原因という説明も可能である。887 年仁和地震と 1361 年康安地震との差は確率の問題であろう。本論の議論では関東や南海トラフ西側は考慮に入れていなかったが, 実際には陸続きである。それでも駿河・遠州・熊野だけで矛盾しなかったのは駿河と関東の連携, および南海トラフ西側が東側に連動していたからである。これまでは関東先行であったが, 1923 年関東地震は本来あるべき安政地震 1707+204 年より 12 年遅れている。次期南海トラフ巨大地震の不安材料となっている。

#### 5-4 康安地震に関する別の解釈

宝永地震, 安政地震, 東南海地震から地震域モーメントは熊野=駿河=57 年分である。本文では鎌倉強震に関係なく,  $T(1+\beta)$  で熊野からの地震は図 1-C としたが, 別の解釈もある, 鎌倉強震でモーメント蓄積は  $1293-1096=197$  年でリセットされ, 強震に連動して  $(205-197)+57$  年=65 年分の地震モーメントが放出された。次の熊野からの地震はその分だけ遅れた。それが 1361 年康安地震とする解釈である。その場合の誤差は 3 年に過ぎない。

#### 参考文献

宇佐美龍夫, 1996, 新編日本被害地震総覧, 東京大学出版会

宇津徳治, 1999, 地震活動総説, 東京大学出版会

国土地理院, 2017, 中国・四国地方の地殻変動, 地震予知連絡会会報, 98, 349-353

国土地理院, 2019, 日本列島の地殻変動, 公開資料

Shimazaki K. and T. Nakata, 1980, Time-predictable Recurrence Model for Large Earthquake, GRL 7(4), 274-282

中西一郎・矢野 信, 2005, 1707 年宝永地震震源域東端位置, 北大地物研報告, 68, 255-259

静岡大学, 2019, (古代・中世) 地震・噴火史料データベース (β版)

萩原尊禮編, 1982, 古地震, 東京大学出版会