

## 1. モンテカルロ法の導入

・活断層地震や海溝型地震の発生確率は、地震調査委員会の長期評価として、地震の発生確率モデルとしてBPT分布やポワソン分布を用いて、地震発生履歴から最尤法で確率モデルのパラメータを推定し発生確率を算定している。

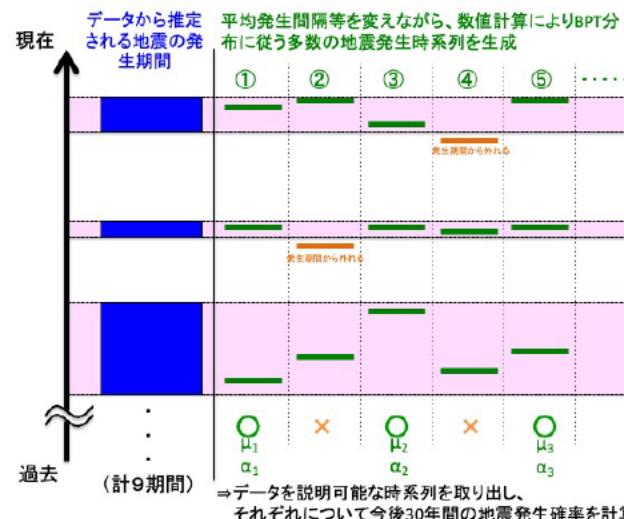
・歴史記録や地形・地質記録によるものには地震発生履歴の時系列のデータに幅があるものがあり、単純に最尤法で発生確率を算定することができない。

⇒地震発生の時期の幅などに合わせて、乱数を発生させて、多数の地震発生履歴の時系列をシミュレーションし、得られた多数の時系列のそれぞれに最尤法で確率モデルのパラメータを推定して、そのパラメータの平均値などをを利用して、発生確率を算出する。この乱数を用いたシミュレーション方法がモンテカルロ法。

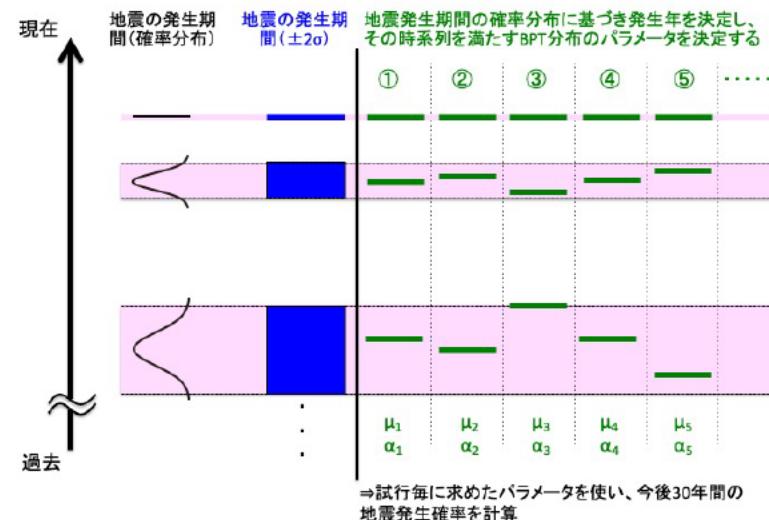
・BPT分布  $f(t, \mu, \alpha) = \sqrt{\frac{\mu}{2\pi\alpha^2 t^3}} \exp\left\{-\frac{(t-\mu)^2}{2\mu\alpha^2 t}\right\}$

## 2. 手法の模式図

相模トラフ沿いのM8クラス

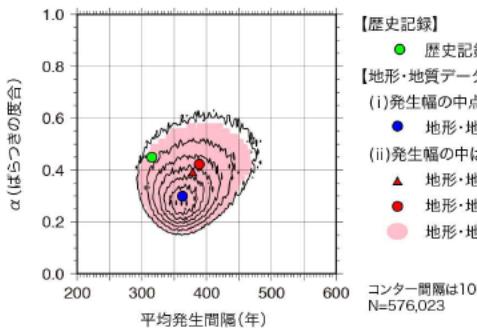


千島海溝の超巨大地震と東北地方太平洋沖地震型

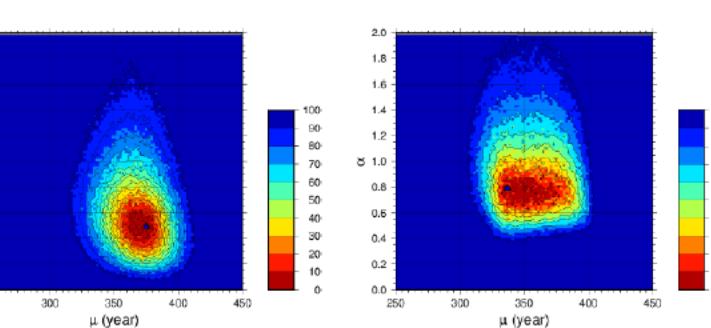


## 2. 地震発生履歴の時系列データとモンテカルロ法による30年確率など

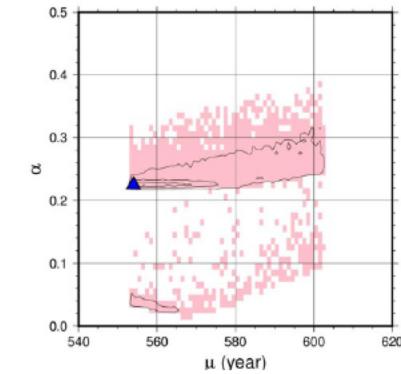
| No       | 相模トラフ         |          | 歴史記録            | 千島海溝       |            | 藻撒布沼       |          | 千島海溝 霧多布湿原 |                 | 東北地方太平洋型         |    |
|----------|---------------|----------|-----------------|------------|------------|------------|----------|------------|-----------------|------------------|----|
|          | cal B.P.      | 中点       |                 | 1 $\sigma$ | cal B.P.   | 1 $\sigma$ | cal B.P. | 1 $\sigma$ | cal B.P.        | 慶長三陸             | 亨徳 |
| 1        | 5400 - 5300   | 5350     | 1293            | 1340       | - 1220     | 670        | - 280    | 2011       | 2011            |                  |    |
| 2        | 5000 - 4800   | 4900     | {1495}          | 1720       | - 1420     | 1400       | - 750    | 1611       | 1454            |                  |    |
| 3        | 4800 - 4250   | 4525     | 1703            | 2370       | - 2090     | 1495       | - 1430   | 869        | 869             |                  |    |
| 4        | 4250 - 3950   | 4100     | 1923            | 2570       | - 2260     | 1930       | - 1600   | 4-5世紀      | 4-5世紀           |                  |    |
| 5        | 3800 - 3600   | 3700     |                 | 2820       | - 2670     | 2450       | - 2270   | BC4-3世紀    | BC4-3世紀         |                  |    |
| 6        | 3300 - 3100   | 3200     |                 |            |            | 2600       | - 2360   |            |                 |                  |    |
| 7        | 3050 - 2850   | 2950     |                 |            |            | 2720       | - 2500   |            |                 |                  |    |
| 8        | 2750 - 2700   | 2725     |                 |            |            |            |          |            |                 |                  |    |
| 9        | 2500 - 2400   | 2450     |                 |            |            |            |          |            |                 |                  |    |
| $\mu$    | 250-480 (68%) |          | 220と410         |            |            | 375        |          | 337        |                 | 554 (80-810 95%) |    |
|          | 180-590 (95%) |          | {202, 208, 220} |            |            |            |          |            |                 |                  |    |
| $\alpha$ |               |          |                 |            | 0.49       |            | 0.79     |            | 0.05と0.2-0.3    |                  |    |
| 30年確率    | 0-0.6% (68%)  | 2014. 11 |                 | 7-37%      | 2017. 1. 1 |            | 7-17%    |            | ほぼ0% 2019. 1. 1 |                  |    |



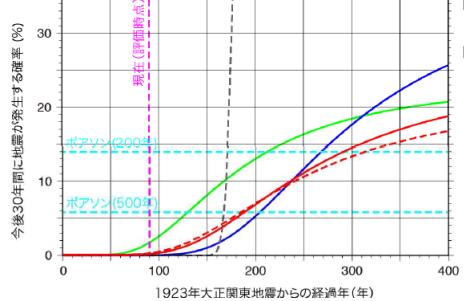
地形・地質データから推定された、相模トラフ沿いの地震の平均繰り返し間隔(年)とばらつきの指標( $\alpha$ )。ピンクの部分はモンテカルロ法により信頼区間68%で推定したパラメータの範囲。参考として、歴史記録(3地震)データより求めた値も示す。



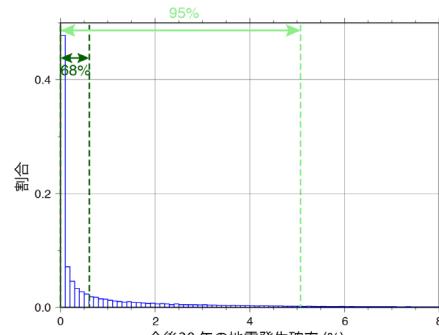
津波堆積物の堆積年代からシミュレーションにより求めたBPT分布のパラメータ(平均発生間隔  $\mu$  とばらつき示す  $\alpha$ )の頻度分布。左が霧多布湿原、右が藻撒布沼のデータから求めた分布を表す。最頻値を青の三角で示す。また、カラースケールの値は最頻値から並べたとき、各々の区間が上から何パーセント以内に入っているかを示している。



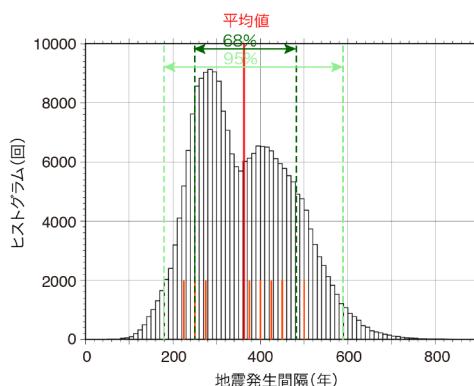
歴史・地質データから推定された、平均繰り返し間隔( $\mu$ )とばらつきの指標( $\alpha$ )  
10万個の地震時系列を作成した。 $\mu$  を1年毎、 $\alpha$  を0.01毎にbinに分けて集計した。最頻値については、 $\mu$  は554年、 $\alpha$  は0.23となり(図中の▲)、適合する地震時系列の数は約450個であった。等価線は適合する地震時系列の数を100個毎に引いた。ピンク色の部分はモンテカルロ法により信頼区間68%で推定したパラメータの範囲



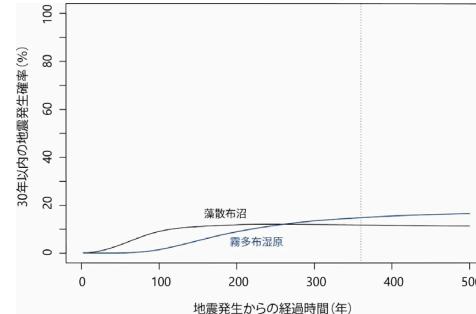
今後30年間に相模トラフのM8クラスの地震が発生する確率の時間変化。  
2014.1.1(現在)の時点では90年経過でも緩やかな上昇を示す。赤線が青線に比べ緩やかなのは、 $\alpha$ が大きいため。歴史地震(4地震)では160年経過で、急激に上昇する。



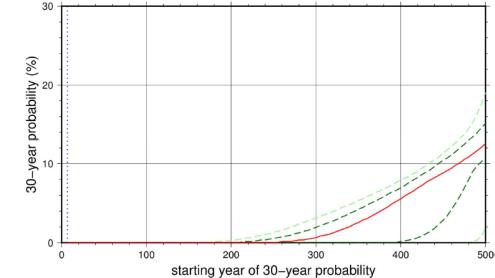
地形・地質データより求めた、相模トラフ沿いの地震の30年確率の頻度分布図。確率値の68%及び95%の信頼区間を濃緑破線及び薄緑破線で示す。



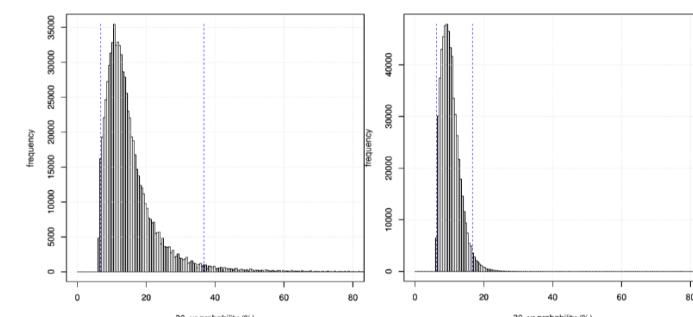
地形・地質データより推定した相模トラフ沿いの地震の発生間隔の頻度分布図。平均値を赤太線、発生幅の中点で評価した場合の発生間隔を短い橙太線、発生間隔の68%及び95%の信頼区間を濃緑破線及び薄緑破線で示す。



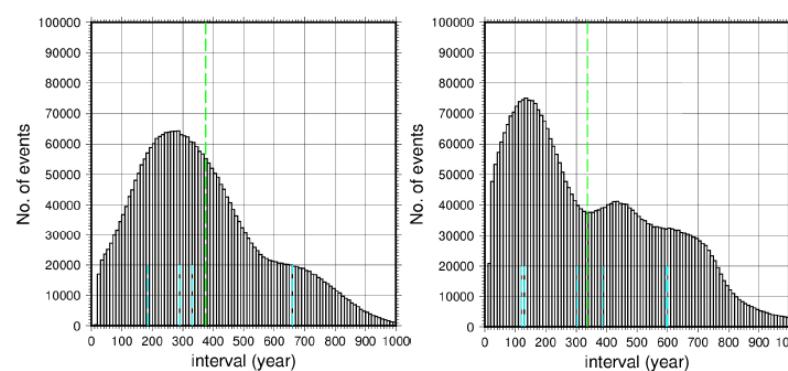
今後30年間に超巨大地震(17世紀型)が発生する確率の時間変化の一例。  
シミュレーションによりパラメータ(平均発生間隔( $\mu$ )とばらつき( $\alpha$ ))を多数設定しているため、本来、多様な曲線を描くことができるが、上図は最頻値(霧多布  $\mu=375$ 年,  $\alpha=0.49$ 、藻散布  $\mu=337$ 年,  $\alpha=0.79$ ) (図6の▲印)を使用した。また評価(2017年1月1日)時点の経過時間を縦点線で表してある。



今後30年以内に超巨大地震(東北地方太平洋沖型)が発生する確率の時間変化  
赤実線は確率の中央値、濃緑破線及び薄緑破線は確率値の68%及び95%の信頼区間を示す。縦の点線は2019年1月1日時点を示す。

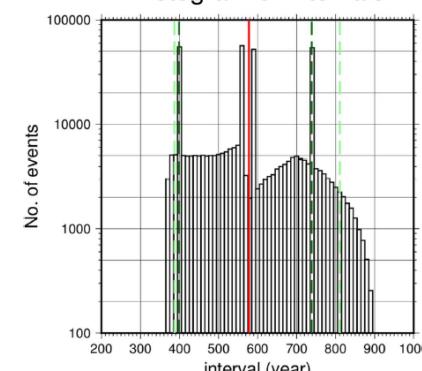


今後30年間に超巨大地震(17世紀型)が発生する確率の分布。横軸が30年の発生確率、縦軸がその頻度を示す。95%の信頼区間を青の点線で示してある。左が霧多布湿原、右が藻散布沼のデータから求めた分布を表す。



シミュレーションにより求められた時系列の発生間隔の頻度分布。左が霧多布湿原、右が藻散布沼のデータから求めた分布を表す。縦に入っている緑の破線が図4-18で描かれている最頻値の値、水色の破線がイベントが $\pm 1\sigma$ の中央で発生したと仮定したときの地震発生間隔の値を示す。

Histogram of intervals



歴史・地質データより推定した発生間隔の頻度分布図  
10万個の地震時系列を用い、各時系列で4つの発生間隔があるため、計40万個のデータを用いている。赤実線は発生間隔の中央値、濃緑破線及び薄緑破線は発生間隔の68%及び95%の信頼区間を示す