

# 南海トラフの地震活動の長期評価 の見直しに関する審議内容報告

2025年4月9日  
地震調査委員会事務局

# 主な審議内容

✓は審議終了、□は審議中

「調410参考資料3」より

## ○室津港の隆起量データ

- ✓ 宝永地震だけでなく、安政地震、昭和南海地震の際の室津港の隆起量データについて、データの特徴について議論
- ✓ 各史料の特徴を踏まえ、隆起量データの確率分布について議論（データの不確実性と誤差の考え方の整理）
- ✓ パラメータ  $\gamma$  の議論（事前分布の影響）
- パラメータ  $\beta$  の議論（事前分布の設計）

## ○隆起量データの誤差を考慮した時間予測モデルとBPTを融合したベイズ的計算方法

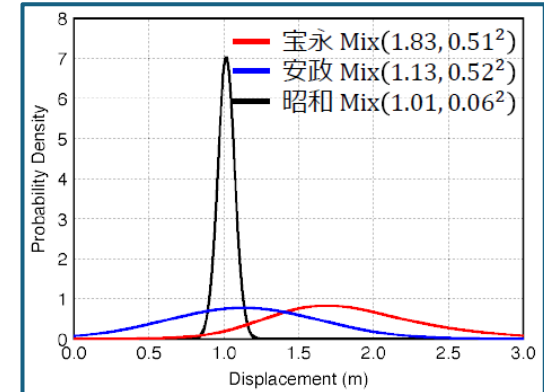
（長期確率評価手法検討分科会）

- ✓ すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル）とベイズ推定に基づいた新たな確率計算手法の提案
- ✓ パラメータ  $\gamma$  の議論（事前分布の設計）（ $\gamma \cdots$ ばらつき）
- パラメータ  $\beta$  の議論（事前分布の影響）（ $\beta \cdots$ 隆起速度  $V$  の逆数）

## ○報告書

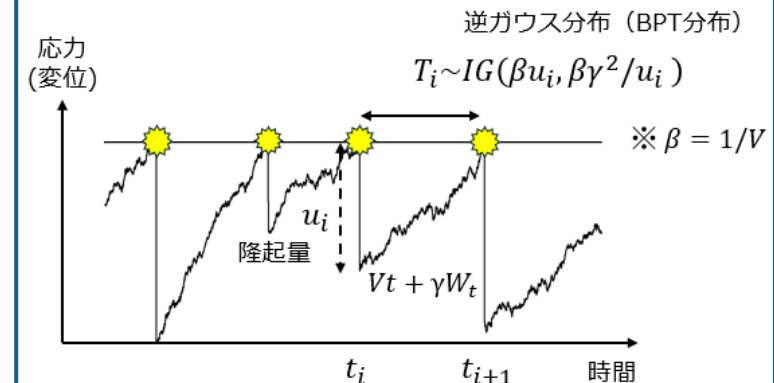
- 「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」の一部改訂  
第三版ではなく、一部改訂としてまとめる  
すべり量依存BPTモデルとBPTモデルについて、主文に両論併記する方向で議論中
- 「長期的な地震発生確率の評価手法について」の追補  
すべり量依存BPTモデルとモンテカルロ法について、追補（別紙）としてまとめる

長275海Ⅱ96長手Ⅱ7参考資料5-1より



- ・不確実性は正規分布 ( $\epsilon = 1$ )
- ・万変記に久保野家と同じ誤差
- ・土佐國に手鏡と同じ誤差

### すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル）



# これまでの部会・分科会における開催状況とその審議内容

| 開催日        | 開催した部会・分科会  | 主な審議内容  |
|------------|---|---|
| 2024/7/30  | 長期評価部会（第271回）   | <ul style="list-style-type: none"><li>長期評価の見直しの方向性</li><li>長期確率評価手法検討分科会（第二期）設置の承認</li></ul>  |
| 2024/9/2   | 長期評価部会（第272回）<br>海溝型分科会（第二期）（第93回）                            | <ul style="list-style-type: none"><li>室津港の隆起量データに関する審議</li></ul>  |
| 2024/9/9   | 長期確率評価手法検討分科会（第二期）（第1回）                                       | <ul style="list-style-type: none"><li>設置背景の説明</li><li>今後のスケジュールの確認</li></ul>  |
| 2024/9/26  | 長期確率評価手法検討分科会（第二期）（第2回）                                       | <ul style="list-style-type: none"><li>不確実性を考慮した評価手法の審議</li></ul>  |
| 2024/10/11 | 長期評価部会（第273回）<br>海溝型分科会（第二期）（第94回）<br>長期確率評価手法検討分科会（第二期）（第3回） | <ul style="list-style-type: none"><li>すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル）の紹介</li><li>室津港の隆起量データに関する審議</li></ul>  |
| 2024/11/20 | 長期確率評価手法検討分科会（第二期）（第4回）                                       | <ul style="list-style-type: none"><li>すべり量依存BPTモデルに使用する事前分布の設計の審議</li><li>確率手法報告書の改訂方針の審議</li></ul>   |
| 2024/12/16 | 長期評価部会（第274回）<br>海溝型分科会（第二期）（第95回）<br>長期確率評価手法検討分科会（第二期）（第5回） | <ul style="list-style-type: none"><li>すべり量依存BPTモデルに使用する事前分布の設計の審議（報告）</li><li>室津港の隆起量データの確率分布の審議</li><li>南海トラフ評価文及び確率手法報告書の改訂方針の審議</li></ul>  |
| 2025/1/24  | 長期確率評価手法検討分科会（第二期）（第6回）                                       | <ul style="list-style-type: none"><li>すべり量依存BPTモデルに使用するパラメータ <math>\gamma</math> の審議</li></ul>  |
| 2025/2/5   | 長期評価部会（第275回）<br>海溝型分科会（第二期）（第96回）<br>長期確率評価手法検討分科会（第二期）（第7回） | <ul style="list-style-type: none"><li>すべり量依存BPTモデルに使用するパラメータ <math>\gamma</math> の審議（報告）</li><li>室津港の隆起量データの確率分布の審議</li><li>すべり量依存BPTモデルに使用するパラメータ <math>\beta</math> の審議</li><li>南海トラフ評価文及び確率手法報告書の方針の審議</li></ul> |
| 2025/3/18  | 長期評価部会（第276回）<br>海溝型分科会（第二期）（第97回）<br>長期確率評価手法検討分科会（第二期）（第8回） | <ul style="list-style-type: none"><li>すべり量依存BPTモデルに使用するパラメータ <math>\beta</math> の審議</li></ul>   |

## ○室津港の隆起量データについて

- ✓ 室津港の隆起量データの特徴・誤差の整理
- ✓ 室津港の隆起量データの確率分布による表現

## ○隆起量データの誤差を考慮した時間予測モデルとBPTを融合したベイズ的計算方法

- ✓ すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル）とベイズ推定に基づいた新たな確率計算手法
- ✓ パラメータ  $\gamma$  の事前分布について
- ✓ パラメータ  $\beta$  の事前分布について

## ○報告書

- 「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」の一部改訂  
第三版ではなく、一部改訂としてまとめる  
すべり量依存BPTモデルとBPTモデルについて、主文に両論併記する方向で議論中
- 「長期的な地震発生確率の評価手法について」の追補  
すべり量依存BPTモデルとモンテカルロ法について、追補（別紙）としてまとめる



## ○室津港の隆起量データについて

- ✓ 室津港の隆起量データの特徴・誤差の整理
- ✓ 室津港の隆起量データの確率分布による表現

## ○隆起量データの誤差を考慮した時間予測モデルとBPTを融合したベイズ的計算方法

- ✓ すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル）とベイズ推定に基づいた新たな確率計算手法
- ✓ パラメータ  $\gamma$  の事前分布について
- ✓ パラメータ  $\beta$  の事前分布について

## ○報告書

- 「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」の一部改訂  
第三版ではなく、一部改訂としてまとめる  
すべり量依存BPTモデルとBPTモデルについて、主文に両論併記する方向で議論中
- 「長期的な地震発生確率の評価手法について」の追補  
すべり量依存BPTモデルとモンテカルロ法について、追補（別紙）としてまとめる

# 室津港の隆起量データについて

「長272海Ⅱ93参考資料2-1」より

○橋本ほか（2024, 自然災害科学）  
による、宝永地震における室津港  
の隆起量データの誤差の指摘

→宝永地震での室津港の隆起量は  
1.8mではなく、1.4～2.4m



○宝永地震・安政地震・昭和南海地震  
における室津港の隆起量について、  
改めてデータの特徴・誤差を整理

## 時間予測モデルに用いる隆起量データについて

橋本ほか(2024)より抜粋

### 要 旨

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。

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

### 【データについての確認事項】

- ・宝永地震の隆起量について、1.4m～2.4mの幅がある値を用いるということによいか？  
また、橋本ほか(2024)を参考に、測定誤差を与えることによいか？
- ・安政地震の隆起量について、誤差を見積もることが出来ないか？  
誤差が見積もれない場合は、宝永地震と同じ測定誤差を入れるとか？
- ・昭和南海地震の隆起量について、他の水準測量データから誤差を見積もれないか？  
Hashimoto(2022)による、少なくとも10cm程度の過大評価を考慮するか？  
他の水準測量データの論文から、他にも誤差を考慮することができるか？

# 室津港の隆起量データの特徴：宝永地震・安政地震

「長273海Ⅱ94長手Ⅱ3参考資料4」より

## ○歴史資料の整理

### ・宝永地震（1.4～2.4m）

- 久保野家文書
- 万変記

### ・安政地震（0.9～1.2m）

- 室津港手鏡（手鏡）
- 土佐國大地震并御城下大火事且大汐入之實録之事（土佐國）

## 橋本ほか(2024)「久保野家文書等に基づく室津港の隆起量の検討」の概要

表2 各種史料に記録された室津港の深さのまとめ

| 年      | 水深／隆起量 (m)                       | 出典  |
|--------|----------------------------------|---|
| 1679年頃 | 港内満2.3～干1.1<br>港口満2.7～干1.5 (解釈1) | 『室戸港沿革史』(資料(6)) 絵図                              |
| 1700年頃 | 港内満3.9～4.5<br>港口満3.0～3.6         | 『土佐国図』  |
| 宝永地震前  | 港内満4.2～干2.6<br>港口満3.6～干2.0       | 『手鏡』(資料(3))                                     |
| 宝永地震後  | 2.1～2.4隆起<br>港口中バエ隆起             | 『万変記』<br>『室津港沿革史』(資料(5)), 『室戸港沿革史』(資料(7))       |
| 1759年  | 港内満2.6～干1.1<br>港口満2.1～干0.7       | 『手鏡』(資料(3))                                     |
| 1778年  | 港口中バエ干0.3出る<br>港口干0.3剩す          | 『東浦廻浦日記 (磯わのもくつ)』(山本, 2004)<br>『室戸町誌』(上記資料に基づく) |
| 1845年頃 | 港内満2.3～干1.1<br>港口満2.7～干1.5 (解釈2) | 『室戸港沿革史』(資料(6)) 絵図                              |
| 1854年  | 1.2隆起<br>0.9～1.2隆起               | 『室津港手鏡』(資料(4))<br>『土佐國大地震并御城下大火事且大汐入之實録之事』      |

単位はm。なお、『室戸港沿革史』(資料(6))中の絵図の数値の測定時期として、延宝七年を(解釈1)、弘化二年を(解釈2)とする

室津港の「港内」「港口」の位置  
橋本ほか(2024)の図2 拡大図に赤で追記



宝永地震の隆起量について

昭和南海地震後約30年間の地殻変動の沈降速度約4mm  
それ以降の沈降速度約8mm  
50年分を考慮すると、20～40cmを補正する必要性あり

↓  
「手鏡」の4つの値の平均値1.5mと近年の潮位変化からの推定：1.7～1.9m（工事の影響により、この見積もりは最小値を与えるべき）

「万変記」では、2.1～2.4m

得られた数値の最大値と最小値からの推定範囲：1.7～2.4m

→水深計測に用いられた道具の解釈次第で0.8倍する必要  
→約1.4～1.9m

宝永地震の隆起は1.4～2.4mの範囲と推定

計測誤差の見積もり：0.3～0.5m程度の誤差が見積もられる

- ・ 久保野家文書による隆起量は1.4～1.9m
- ・ 万変記は2.1～2.4m
- この2つの文献からの隆起量をどう扱うか？

# 室津港の隆起量データの特徴：宝永地震・安政地震

「長273海Ⅱ94長手Ⅱ3参考資料4」より

## ○歴史資料の整理

### ・宝永地震（1.4～2.4m）

#### - 久保野家文書

1.4～1.5m±0.3m

1.7～1.9m±0.5m

#### - 万変記

2.1～2.4m

×0.8  
測深竿  
の違い

### ・安政地震（0.9～1.2m）

#### - 手鏡

1.0±0.3m

1.2±0.5m

#### - 土佐國

0.9～1.2m

×0.8  
測深竿  
の違い

第273回長期評価部会・第94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）

での審議を受けた、宝永地震・安政地震の室津港隆起量データの確率分布の検討内容

赤文字は本合同会で確認が必要な事項

#### 1. 宝永地震

ア. 久保野家文書： 1.4～1.5m±0.3m ①

1.7～1.9m±0.5m ②

イ. 万変記： 2.1～2.4m ③

A. 正規分布の場合： ①→1.45m±0.3m (1σ：1.15～1.75m)

②→1.8m±0.5m (1σ：1.3～2.3m)

③→2.25m±0.075m (2σ：2.1～2.4m)

B. 一様分布+正規分布の場合①→1.4～1.5mは一様分布、±0.3mを1σ (1.1～1.8m) とする

②→1.7～1.9mは一様分布、±0.5mを1σ (1.2～2.4m) とする

③→2.1～2.4mは一様分布

重み ①：②：③= 1：2：3 (ア：イ= 1：1 とする)

#### 2. 安政地震

ウ. 手鏡： 1.0m±0.3m ④ ((⑤を0.8掛けした場合)

1.2m±0.5m ⑤

エ. 土佐國： 0.9～1.2m ⑥

(土佐國大地震并御城下大火事且大汐入之實録之事)

C. 正規分布の場合： ④→1.0m±0.3m (1σ：0.7～1.3m)

⑤→1.2m±0.5m (1σ：0.7～1.7m)

⑥→1.05m±0.075m (2σ：0.9～1.2m)

D. 一様分布+正規分布の場合④→1.0m±0.3m (1σ：0.7～1.3m)

⑤→1.2m±0.5m (1σ：0.7～1.7m)

⑥→0.9～1.2mは一様分布

重み ④：⑤：⑥= 1：1：2 (ウ：エ= 1：1 とする)

それぞれのデータ確率分布も参考にして、  
どの分布を採用するかを決める

σの設定が妥当か？  
※2σ→1σにした場合も表示

重みの設定が妥当か？  
※1:1:2にした場合も表示

①と同様に「手鏡」の0.8掛けした  
データ④を準備したが、必要か？

重みの設定が妥当か？  
※0:1:1にした場合も表示

# 室津港の隆起量データの特徴：昭和南海地震

「長273海Ⅱ94長手Ⅱ3参考資料4」より

## ・昭和南海地震

- 港の測深データ（沢村,1953）  
**115cm**

さらなる補正・誤差の検討

- (1) 測定位置の違い①②
- (2) 地震後の変動①②
- (3) 水位の誤差

- 水準測量データ（Satake,1993）  
**80cm±3.7cm**

さらなる補正・誤差の検討

- (1) 測定位置の違い①②
- (2) 地震前後の変動①②

【機密性2(会議関係者限り)】

長273海Ⅱ94長手Ⅱ3 参考資料4

## 海溝型地震の長期評価に関する資料 前回の長期評価部会・海溝型分科会（第二期）合同会(9/2)における課題

【1946昭和南海地震における室津港の隆起量】

①沢村(1953)の測定値と水準測量データを地図にプロットするなど比較してみて、データの絶対値の妥当性を検討する

○港の深測データ

・沢村(1953) 津呂（室津港の3km程度南）での測定

地震発生後8か月後の測定のため、余効変動を加味していない

10cm程度の過大評価は？←測定方法の誤差の見積もり（Hashimoto, 2022）

←②測定位置の違いによる誤差の見積もり

←③地震後の変動による誤差の見積もり

○水準測量データ

・Satake(1993) 室津港付近の水準点(5145)の隆起量（753.3mm+46.9±36.8mm）

地震前17年3ヶ月～地震後1年2ヶ月の変動が含まれている

←②測定位置の違いによる誤差の見積もり

←③地震間+地震後の変動の誤差の見積もり

・Sagiya&Thatcher(1999) 室津港付近の隆起量（90cm-7cm）

地震前17年3ヶ月～地震後1年2ヶ月の変動が含まれている

←②測定位置の違いによる誤差の見積もり

←③地震間+地震後の変動の誤差の見積もり

②測定位置の違いによる誤差の見積り：水準測量データから、隆起量の補正量と誤差を見積もる

③地震間+地震後の変動による誤差の見積り：橋本ほか(2024)の余効・地震間変動補正量（年間4～8mm）を加味するケース  
Miyashita(1987)からPreseismicとPostseismicの変動量を分離して見積もるケース

【1707宝永地震における室津港の隆起量】

○余効+地震間補正について、橋本ほか(2024)の昭和南海地震の値を用いることで良いか？

④「万変記」のデータの扱いの検討

【1854安政地震における室津港の隆起量】

○史料「土佐國大地震并御城下大火事且大汐入之實録之事」に書かれている0.9～1.2m隆起の信頼性は？

○史料「室津港手鏡」に書かれている1.2m隆起の誤差は？→橋本ほか(2024)に書かれている計測誤差を利用可（0.3～0.5m）

→「室津港手鏡」と「土佐國大地震并御城下大火事且大汐入之實録之事」の史料としての優劣はつけられない



# 室津港の隆起量データの特徴：昭和南海地震

「長273海Ⅱ94長手Ⅱ3参考資料4」より

## ・昭和南海地震

- 港の測深データ（沢村,1953）  
**115cm**

さらなる補正・誤差の検討

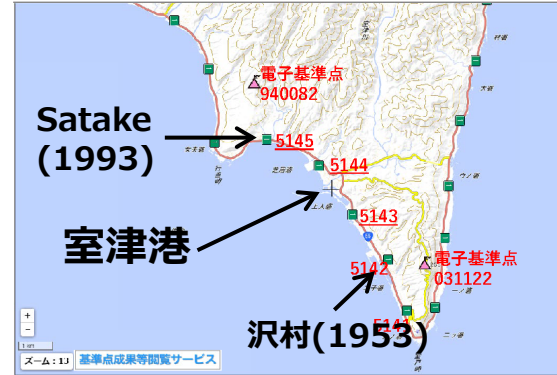
- (1) 測定位置の違い①②
- (2) 地震後の変動①②
- (3) 水位の誤差

- 水準測量データ（Satake,1993）  
**80cm±3.7cm**

さらなる補正・誤差の検討

- (1) 測定位置の違い①②
- (2) 地震前後の変動①②

## ②測定位置による隆起量の誤差の算出 考え方1



水準点の位置（■）と室津港（+）の位置図

室津港（+）は、水準点5143と5144の間に位置している。

対象水準点間の上下変位差の誤差は以下の式から求めた

誤差(mm) =  $2.5 \times \sqrt{\text{対象水準点間距離(km)} \times \sqrt{2}}$  (※)

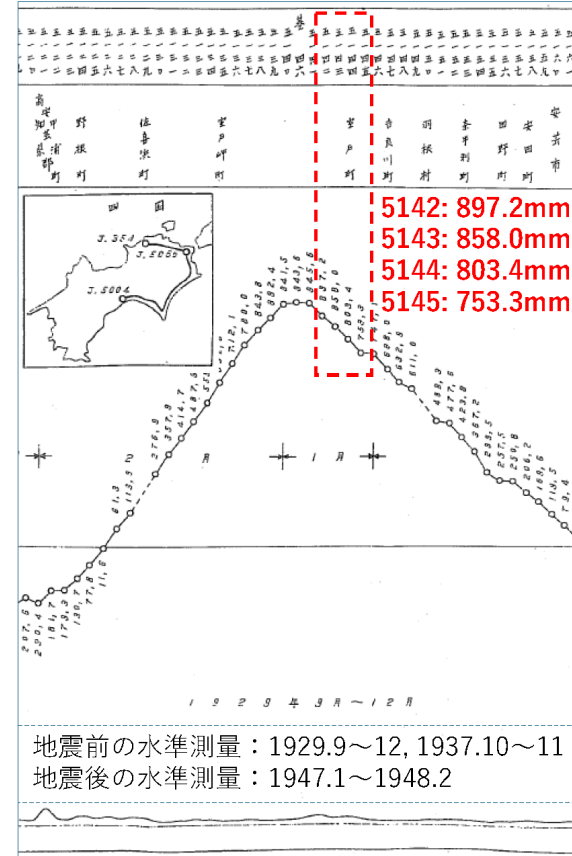
国土地理院のデータベースによると、水準点間距離は、以下のとおり

5142-5143: 2.0km

5143-5144: 2.0km

5144-5145: 2.1km

※誤差の求め方は、作業規程の準則（平成20年3月31日、国土交通省告示第413号）<https://www.gsi.go.jp/common/000258734.pdf>の第65条による。  
ただし、 $\sqrt{2}$ は、観測が独立な場合の誤差伝播則において、地震前と地震後の測量時の誤差が等しいとした場合に導かれる値。



地理調査所(1955)による、  
水準点5142～5155周辺の昭和南海地震前後の上下変動量

沢村(1953)は津呂（水準点(5142)付近）の隆起量を算出

- ・ 5142と5143の差 =  $-39.2\text{mm} \pm 5.0\text{mm}$
- ・ 5142と5144の差 =  $-93.8\text{mm} \pm 7.1\text{mm}$

Satake(1993)：水準点(5145)の隆起量を算出

- ・ 5145と5144の差 =  $50.1\text{mm} \pm 5.1\text{mm}$
- ・ 5145と5143の差 =  $104.7\text{mm} \pm 7.2\text{mm}$

Sagiya&Thatcher(1999)：10km未満の路線区間は統合して解析しているため、参照とする水準点が不明

赤点線枠の隆起量は距離にほぼ比例の関係が見られる

室津港（5143～5144の間）に対し、測深データは津呂港（5142付近）、水準測量データは5145で得られたもの：**水準点間の隆起量の比例関係**を利用して補正する。

測定位置による補正・誤差の考え方①：室津港は5143～5144のどこか

# 室津港の隆起量データの特徴：昭和南海地震

「長273海Ⅱ94長手Ⅱ3参考資料4」より

## ・昭和南海地震

- 港の測深データ（沢村,1953）  
**115cm**

さらなる補正・誤差の検討

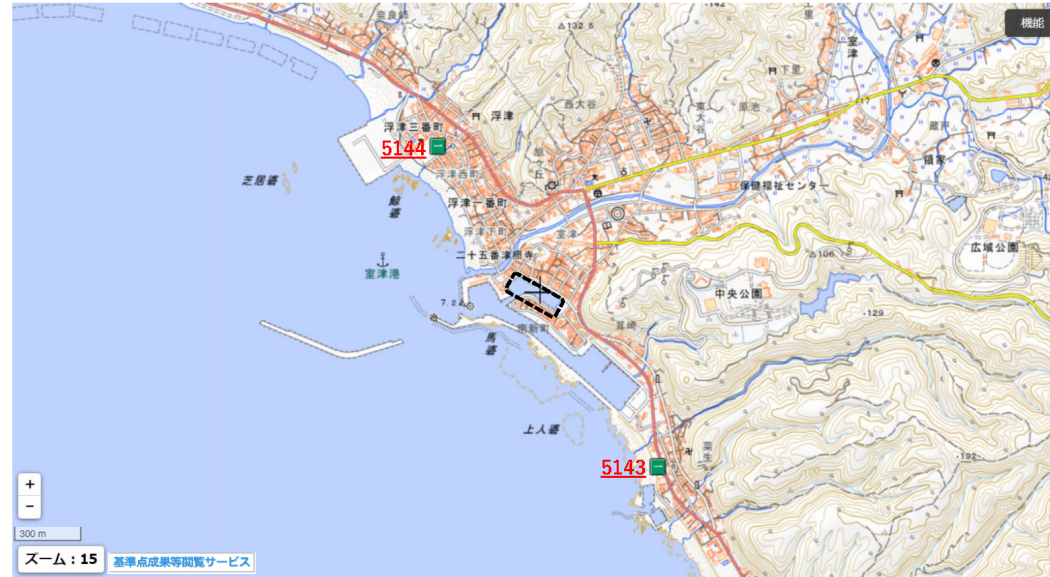
- (1) 測定位置の違い①②
- (2) 地震後の変動①②
- (3) 水位の誤差

- 水準測量データ（Satake,1993）  
**80cm±3.7cm**

さらなる補正・誤差の検討

- (1) 測定位置の違い①②
- (2) 地震前後の変動①②

## ②測定位置による隆起量の誤差の算出 考え方2



- ・室津港（+、黒点線枠）は、水準点5143と5144のほぼ中間に位置している。
- ・室津港は約300mの幅があり、古文書で測定している正確な測定位置は不明（黒点線枠のどこかは不明）。
- ・水準点5142～5145の隆起量は距離に対してほぼ比例の関係が見られる。

室津港は、水準点5143(858.0mm)と5144(803.4mm)の中間に位置するとし、室津港の隆起量の位置補正値を求めた。  
水準点5143、5144からの室津港の隆起量の位置補正値は、 $(858.0-803.4)/2=27.3\text{mm}$ となる。  
その誤差も、この補正値と同等と考える→ $27.3\text{mm} \pm 27.3\text{mm}$

沢村(1953)は津呂（水準点(5142)付近）の隆起量を算出

- ・ 5142と5143の差  $= -39.2\text{mm} \pm 5.0\text{mm}$
- ・ 5143と室津港の差  $= -27.3\text{mm} \pm 27.3\text{mm}$
- 5142と室津港の差  $= -66.5\text{mm} \pm 27.8\text{mm}$

Satake(1993)：水準点(5145)の隆起量を算出

- ・ 5145と5144の差  $= 50.1\text{mm} \pm 5.1\text{mm}$
- ・ 5144と室津港の差  $= 27.3\text{mm} \pm 27.3\text{mm}$
- 5145と室津港の差  $= 77.4\text{mm} \pm 27.8\text{mm}$



水準点の位置（■）と室津港（+）の位置図

室津港（5143～5144の間）に対し、測深データは津呂港（5142付近）、水準測量データは5145で得られたもの：**水準点間の隆起量の比例関係**を利用して補正する。

測定位置による補正・誤差の考え方②：室津港は5143～5144の中間、半径が誤差範囲



# 室津港の隆起量データの特徴：昭和南海地震

「長273海Ⅱ94長手Ⅱ3参考資料4」より

## ・昭和南海地震

- 港の測深データ（沢村,1953）  
**115cm**

さらなる補正・誤差の検討

- (1) 測定位置の違い①②
- (2) 地震後の変動①②
- (3) 水位の誤差

- 水準測量データ（Satake,1993）  
**80cm±3.7cm**

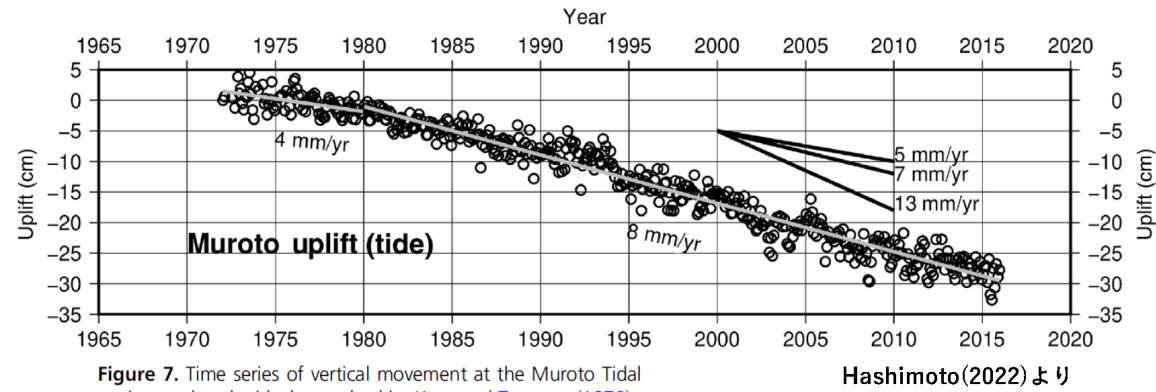
さらなる補正・誤差の検討

- (1) 測定位置の違い①②
- (2) 地震前後の変動①②

### ③地震間+地震後の変動による誤差の算出 考え方1

橋本ほか(2024)の余効+地震間の変動補正方法をそのまま踏襲する場合、以下の2つの値を余効+地震間変動として考慮する年数をかける

- ・ 昭和南海地震後約30年間の沈降速度約4mm/year
- ・ それ以降の沈降速度約8mm/year



沢村(1953)は昭和南海地震発生8か月後の測定  
・ 4mm/year → 2.7mm

Satake(1993)は1929.9~1948.2の間（18年6月）の測定  
・ 4mm/year → 74.0mm(MIN)  
・ 8mm/year → 148.0mm(MAX)

Sagiya&Thatcher(1999)：1929.9~1948.2の間の測定  
・ 4mm/year → 74.0mm(MIN)  
・ 8mm/year → 148.0mm(MAX)

測深データは地震後8ヶ月、水準測量データは地震前17年3ヶ月・地震後1年2ヶ月の変動を含む：**地震間・地震後の変位速度**を利用して補正する。

地震前後の変動による補正①：潮位データから変位速度を見積もり

# 室津港の隆起量データの特徴：昭和南海地震

「長273海Ⅱ94長手Ⅱ3参考資料4」より

## ・昭和南海地震

- 港の測深データ (沢村,1953)  
**115cm**

さらなる補正・誤差の検討

- (1) 測定位置の違い①②
- (2) 地震後の変動①②
- (3) 水位の誤差

- 水準測量データ (Satake,1993)  
**80cm±3.7cm**

さらなる補正・誤差の検討

- (1) 測定位置の違い①②
- (2) 地震前後の変動①②

### ③地震間+地震後の変動による誤差の算出 考え方2

Miyashita(1987) 「A MODEL OF PLATE CONVERGENCE IN SOUTHWEST JAPAN, INFERRED FROM LEVELING DATA ASSOCIATED WITH THE 1946 NANKAIDO EARTHQUAKE」

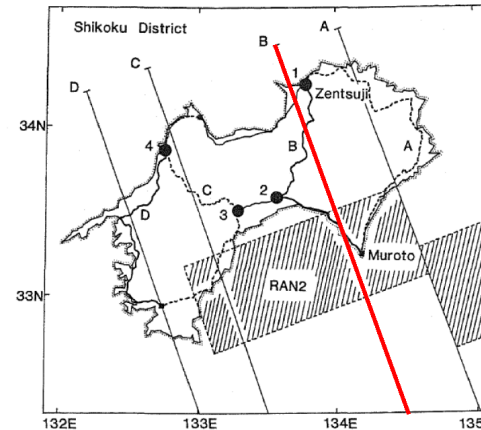


Fig. 3. First-order leveling network in the Shikoku district, consisting of three circuits and four junction bench marks (numbers with solid circles). In Fig. 4-7, elevation changes along the four leveling routes, A, B, C, and D (dashed or solid heavy lines) are projected onto the corresponding profiles, A, B, C, and D, respectively, each of which is perpendicular to the fault strike of N70°E. Hatched rectangle (RAN2) indicates the surface projection of the western part of the fault plane, dimensions of which are 150 × 70 km<sup>2</sup> (ANDO, 1982).

室津港に近い測線Bの上下変動

subsidence behind the uplift region. The observed uplift takes a maximum at Muroto, where the uplift amounts to 1,066 mm with respect to Zentsuji. However, the maximum uplift due to the earthquake faulting may be quite larger than that at Muroto, because Muroto is located about 20 km apart from the upper margin of the coseismic fault plane (Fig. 3). On the other hand, the maximum subsidence, whose location coincides with that of the onset of the preseismic trenchward tilting, amounts to about 600 mm with respect to Zentsuji (Figs. 5(b) and 6(b)). These

Murotoは、Zentsujiに対して1,066mmの隆起量

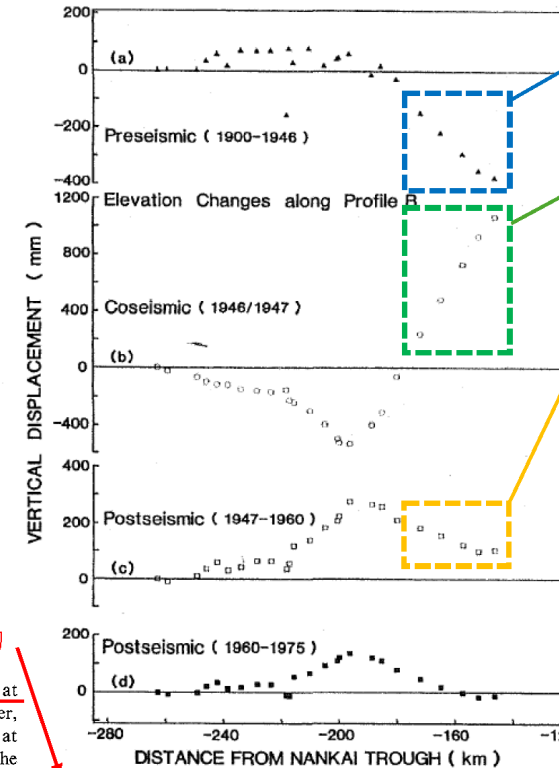


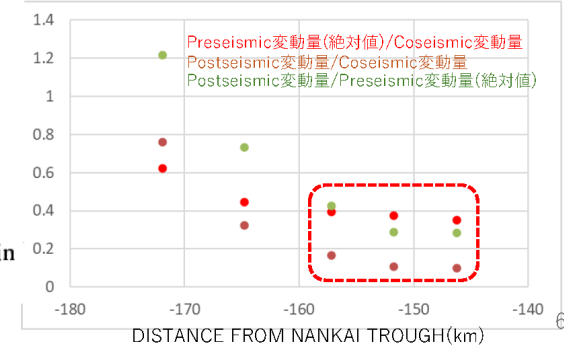
Fig. 5. Surface elevation changes along the profile B in Fig. 3.

図から、  
Preseismicの変動量を読み取ると、  
左から、  
-151mm, -215mm, -289mm, -352mm, -377mm

図から  
Coseismicの変動量を読み取ると、  
左から、  
243mm, 485mm, 735mm, 934mm, 1069mm

図から  
Postseismic(1947-1960)の変動量を読み取ると、  
左から、  
184mm, 158mm, 123mm, 102mm, 108mm

室津港は下グラフ赤点線範囲内であるが、  
この範囲内のPre/Co比は概ね0.4、Post/Co比  
は概ね0.1、Post/Pre比は概ね0.3となっている



測深データは地震後8ヶ月、水準測量データは地震前17年3ヶ月・地震後1年2ヶ月の変動を含む：**地震間・地震後の変位速度**を利用して補正する。

地震前後の変動による補正②：地震前後の水準測量データの比から変位速度を見積もり

# 室津港の隆起量データの特徴：昭和南海地震

「長273海Ⅱ94長手Ⅱ3参考資料4」より

## ・昭和南海地震

- 港の測深データ（沢村,1953）  
**115cm**

さらなる補正・誤差の検討

- (1) 測定位置の違い①②
- (2) 地震後の変動①②
- (3) 水位の誤差

- 水準測量データ（Satake,1993）  
**80cm±3.7cm**

さらなる補正・誤差の検討

- (1) 測定位置の違い①②
- (2) 地震前後の変動①②

### ③地震間＋地震後の変動による誤差の算出 考え方2

Miyashita(1987)の結果を利用した地震間＋地震後の変動の補正の考え方

室津港での地震時の変位をD, 地震前(間)の変位速度を $v_1$ (mm/year), 地震後(余効)変動の変位速度を $v_2$ (mm/year)とし、これらの比率が室津港周辺では同じと仮定すると、スライド6枚目の比より、

$$(1946-1900)v_1/D=-0.4,$$

$$(1960-1947)v_2/D=0.1$$

となる。

Satake(1993)の水準点5145での地震を含む期間での隆起量(位置の誤差はここでは考慮しない)は、17年4月分(1929.9～1946.12)の地震前変動と1年2月分(1947.1～1948.2)の地震後変動を含むので、以下の関係式となる。

$$D+(17+4/12)v_1+(1+2/12)v_2=800.2$$

$$D+(17+4/12)(-0.4/46)D+(1+2/12)(0.1/13)D=800.2$$

$$D\sim 932.4\text{mm} \quad (\text{地震前+地震後の変動量は}\underline{132.2\text{mm}})$$

$$v_1=-8.1\text{mm/year} \quad v_2=7.2\text{mm/year}$$

沢村(1953)に対する余効変動の補正量としては、 $v_2*(8/12)=\underline{4.8\text{mm}}$

測深データは地震後8ヶ月、水準測量データは地震前17年3ヶ月・地震後1年2ヶ月の変動を含む：**地震間・地震後の変位速度**を利用して補正する。

地震前後の変動による補正②：地震前後の水準測量データの比から変位速度を見積もり

# 室津港の隆起量データの特徴：昭和南海地震

「長274海Ⅱ95長手Ⅱ5参考資料4-1」より

## ・昭和南海地震

- 港の測深データ（沢村,1953）

**115cm**

さらなる補正・誤差の検討

(1) 測定位置の違い①②

(2) 地震後の変動①②

(3) 水位の誤差

- 水準測量データ（Satake,1993）

**80cm±3.7cm**

さらなる補正・誤差の検討

(1) 測定位置の違い①②

(2) 地震前後の変動①②

### 1946年昭和南海地震の室津港の隆起量の誤差の見積もり（修正）

#### ★最終的な誤差の見積もり

昭和南海地震（沢村1953）の誤差 = （位置による補正と誤差） + （余効変動の補正） + （海面変動による補正と誤差）

昭和南海地震（水準測量データ）の誤差 = （位置による補正と誤差） + （余効 + 地震間の変動の補正）

○沢村(1953)の津呂港の隆起量：115cm ①

位置による補正と誤差 1：-93.8mm±7.1mm ②～-39.2mm±5.0mm ②'

位置による補正と誤差 2：-66.5mm±27.8mm ③

余効変動による補正 1：2.7mm ④

余効変動による補正 2：-4.8mm ⑤

海面変動による補正と誤差：-50mm±50mm ⑥ ※最大-10cm程度の海面変動（Hashimoto,2022）を考慮

室津港の隆起量 1 → 100.9cm±5.1cm (①+②+④+⑥) ～106.3cm±5.0cm (①+②'+④+⑥)

室津港の隆起量 2 → 100.1cm±5.1cm (①+②+⑤+⑥) ～105.6cm±5.0cm (①+②'+⑤+⑥)

室津港の隆起量 3 → 103.6cm±5.7cm (①+③+④+⑥)

室津港の隆起量 4 → 102.9cm±5.7cm (①+③+⑤+⑥)

○Satake(1993)の水準点5145の隆起量：800.2mm±36.8mm ⑦

位置による補正と誤差 1：50.1mm±5.1mm ⑧～104.7mm±7.2mm ⑧'

位置による補正と誤差 2：77.4mm±27.8mm ⑨

余効 + 地震間の変動の補正 1：74.0mm ⑩～148.0mm ⑩'

余効 + 地震間の変動の補正 2：132.2mm ⑪

室津港の隆起量 1 → 92.4cm±3.7cm (⑦+⑧+⑩) ～105.3cm±3.8cm (⑦+⑧'+⑩')

室津港の隆起量 2 → 98.3cm±3.7cm (⑦+⑧+⑪) ～103.7cm±3.8cm (⑦+⑧'+⑪)

室津港の隆起量 3 → 95.2cm±4.6cm (⑦+⑨+⑩) ～102.6cm±4.6cm (⑦+⑨+⑩')

室津港の隆起量 4 → 101.0cm±4.6cm (⑦+⑨+⑪)

港の測深データ×4（位置補正2通り×地震後変動補正2通り×水位補正1通り）  
水準測量データ×4（位置補正2通り×地震前後変動補正2通り） } 計8通り

どのデータも～100cm±数cm

# 室津港の隆起量データまとめ

「長275海Ⅱ96長手Ⅱ7参考資料5-1」より（一部加筆）

## ○信頼度（重み）の検討

### ・宝永地震

万変記  
久保野家  
0.8掛け  
0.8掛けなし

均等

### ・安政地震

手鏡  
土佐國

均等

### ・昭和南海地震

測深データ  
地震後変動①  
地震後変動②

均等

水準データ  
地震前後変動①  
地震前後変動②

均等

## 室津港の隆起量データまとめ

### ★宝永地震

○久保野家文書

- ①室津港の隆起量→ $1.4 \sim 1.5\text{m} \pm 0.3\text{m}$  (0.8掛け)
- ②室津港の隆起量→ $1.7 \sim 1.9\text{m} \pm 0.5\text{m}$  ※竿の違い

○万変記

- ③室津港の隆起量→ $2.1 \sim 2.4\text{m}$

①：②：③ = 1：1：2を基本とする。

### ★安政地震

○手鏡

- ~~①室津港の隆起量→ $1.0\text{m} \pm 0.3\text{m}$  (0.8掛け)~~
- ②室津港の隆起量→ $1.2\text{m} \pm 0.5\text{m}$

○土佐國

- ③室津港の隆起量→ $0.9 \sim 1.2\text{m}$

②：③ = 1：1を基本とする。

竿の違いの根拠  
となる論文なし

### ★昭和南海地震

○港の測深データ

- ~~①室津港の隆起量→ $100.9\text{cm} \pm 5.1\text{cm}$  →  $106.3\text{cm} \pm 5.0\text{cm}$~~
- ~~②室津港の隆起量→ $100.1\text{cm} \pm 5.1\text{cm}$  →  $105.6\text{cm} \pm 5.0\text{cm}$~~
- ③室津港の隆起量→ $103.6\text{cm} \pm 5.7\text{cm}$
- ④室津港の隆起量→ $102.9\text{cm} \pm 5.7\text{cm}$

位置補正の考え方  
は一つに統一

○水準測量データ

- ~~①室津港の隆起量→ $92.4\text{cm} \pm 3.7\text{cm}$  →  $105.3\text{cm} \pm 3.8\text{cm}$~~
- ~~②室津港の隆起量→ $98.3\text{cm} \pm 3.7\text{cm}$  →  $103.7\text{cm} \pm 3.8\text{cm}$~~
- ③室津港の隆起量→ $95.2\text{cm} \pm 4.6\text{cm}$  →  $102.6\text{cm} \pm 4.6\text{cm}$
- ④室津港の隆起量→ $101.0\text{cm} \pm 4.6\text{cm}$

位置補正の考え方  
は一つに統一

昭和は今回、③④のみ採用

※①②と③④の違いは室津港の位置補正で考え方が重複  
①②を採用した分布は別添



## 隆起量データの確率分布の検討

## ○室津港の隆起量データについて

- ✓ 室津港の隆起量データの特徴・誤差の整理
- ✓ 室津港の隆起量データの確率分布による表現

## ○隆起量データの誤差を考慮した時間予測モデルとBPTを融合したベイズ的計算方法

- ✓ すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル）とベイズ推定に基づいた新たな確率計算手法
- ✓ パラメータ $\gamma$ の事前分布について
- ✓ パラメータ $\beta$ の事前分布について

## ○報告書

- 「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」の一部改訂  
第三版ではなく、一部改訂としてまとめる  
すべり量依存BPTモデルとBPTモデルについて、主文に両論併記する方向で議論中
- 「長期的な地震発生確率の評価手法について」の追補  
すべり量依存BPTモデルとモンテカルロ法について、追補（別紙）としてまとめる



# 室津港の隆起量データの確率分布の検討方針

「長274海Ⅱ95長手Ⅱ5参考資料4-1」より

○宝永地震・安政地震・昭和南海地震それぞれ隆起量の確率分布を求める→

データ個別の確率分布を検討



混合分布で表現

## データの確率分布の構成要素(候補)

これらの組み合わせで事前分布を設計する

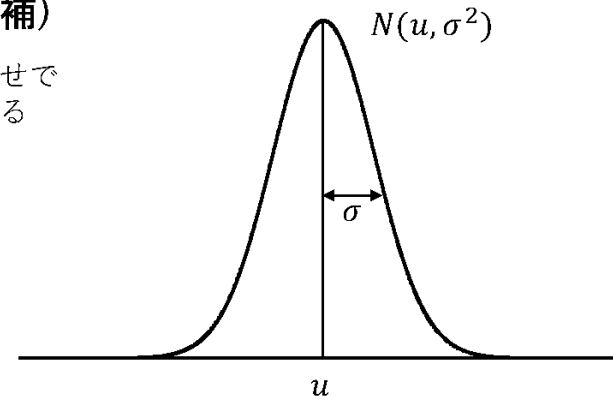
$u$ : データ測定値

$\sigma$ : データ誤差

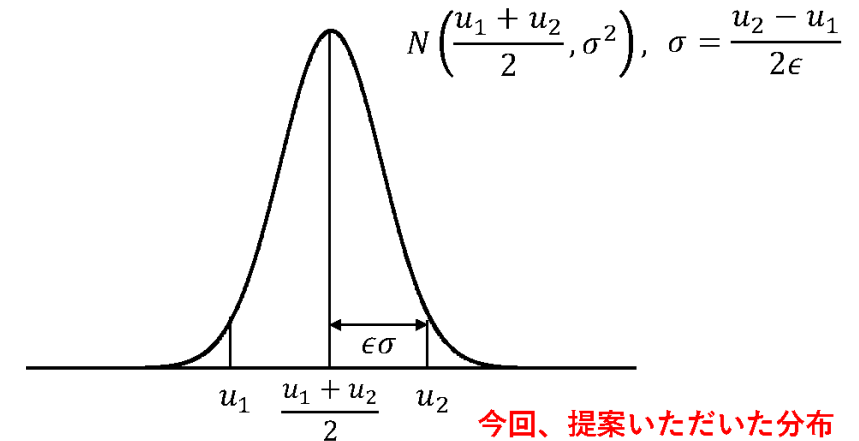
$u_1, u_2$ : データ測定値の下限と上限

$\epsilon$ : データの範囲を何  $\sigma$  誤差とするか

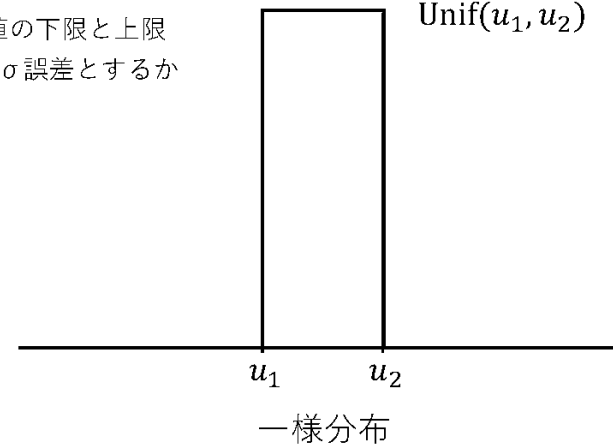
正規分布(1)



正規分布(2)

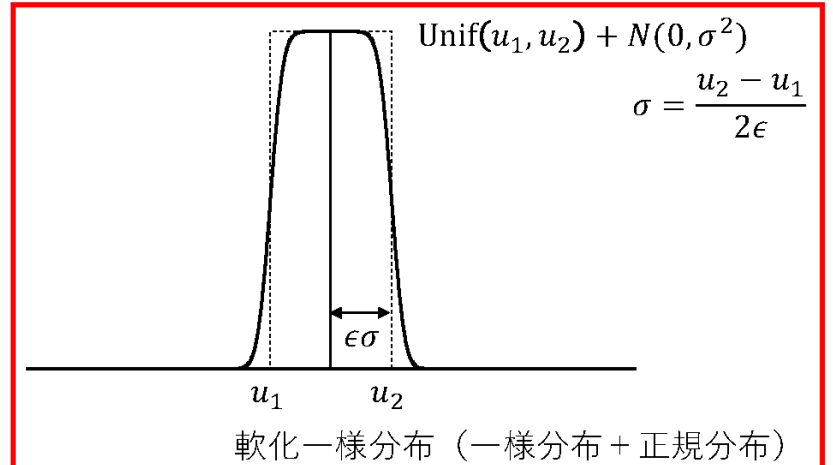


$\text{Unif}(u_1, u_2)$



$\text{Unif}(u_1, u_2) + N(0, \sigma^2)$

$$\sigma = \frac{u_2 - u_1}{2\epsilon}$$





# 室津港の隆起量データの確率分布による表現

「長275海Ⅱ96長手Ⅱ7参考資料5-1」より

## ○データを確率分布で表現する方法の整理

### - 不確実性と測定誤差

## ○宝永地震の隆起量の確率分布

- 不確実性の分布の検討
- 万変記の測定誤差の検討

## ○安政地震の隆起量の確率分布

- 土佐國の測定誤差の検討

## ○昭和地震の隆起量の確率分布

## ○提案分布まとめ

## ○確率への影響を試算

### データの不確実性と誤差

データの要素

測定値： $u_o$

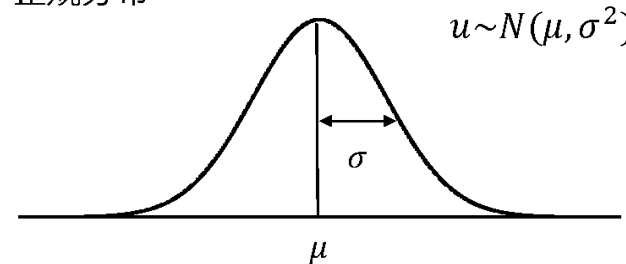
測定値に不確実性： $u_o = u_1 \sim u_2$

測定誤差： $\pm e$

※基本的に測定誤差なしはあり得ない  
但し、史料によっては誤差情報が欠落している  
万変記（宝永地震）  
土佐國（安政地震）など

### 測定値に不確実性がない時のデータの確率分布 ( $u = u_o \pm e$ )

正規分布



期待値  $\mu = u_o$

分散  $\sigma^2 = e^2$

測定値に不確実性がある時、期待値が確率分布する

# 室津港の隆起量データの確率分布による表現

「長275海Ⅱ96長手Ⅱ7参考資料5-1」より

## ○データを確率分布で表現する方法の整理

### - 不確実性と測定誤差

## ○宝永地震の隆起量の確率分布

- 不確実性の分布の検討
- 万変記の測定誤差の検討

## ○安政地震の隆起量の確率分布

- 土佐國の測定誤差の検討

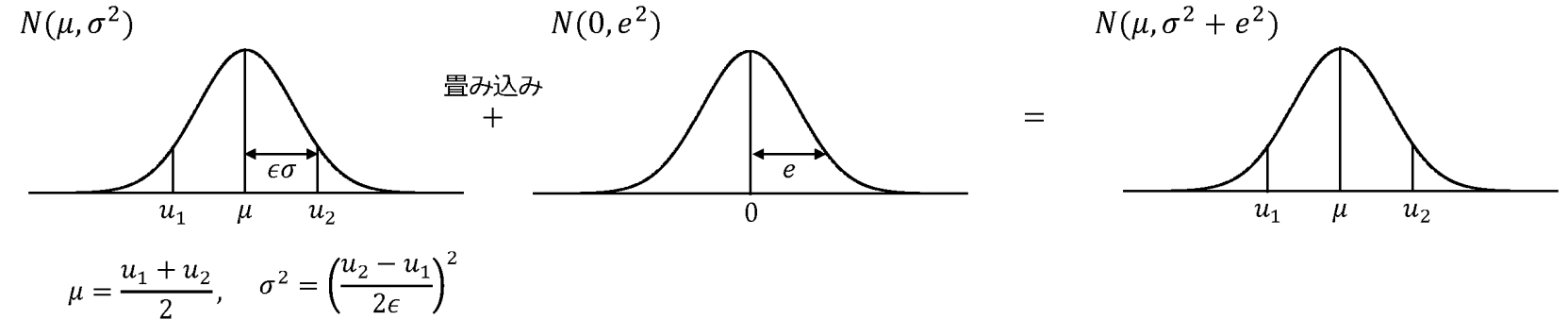
## ○昭和地震の隆起量の確率分布

## ○提案分布まとめ

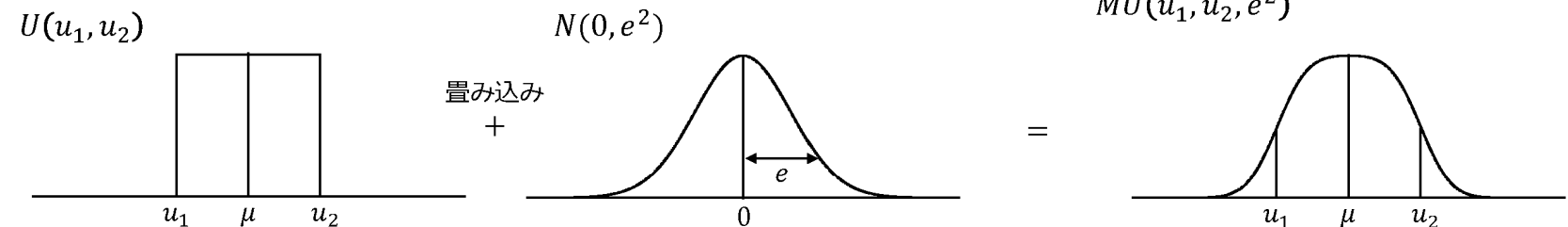
## ○確率への影響を試算

### 測定値に不確実性がある時のデータの確率分布 ( $u = u_1 \sim u_2 \pm e$ )

(1) 不確実性を正規分布で仮定



(2) 不確実性を一様分布で仮定



# 室津港の隆起量データの確率分布：宝永地震

「長275海Ⅱ96長手Ⅱ7参考資料5-1」より（一部加筆）

○データを確率分布で表現する  
方法の整理

- 不確実性と測定誤差

○宝永地震の隆起量の確率分布

- 不確実性の分布の検討  
- 万変記の測定誤差の検討

○安政地震の隆起量の確率分布

- 土佐國の測定誤差の検討

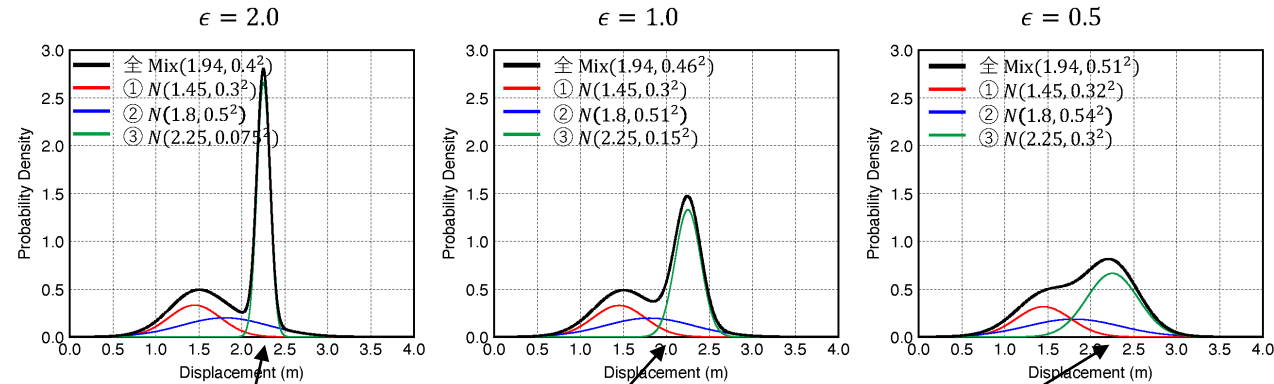
○昭和地震の隆起量の確率分布

○提案分布まとめ

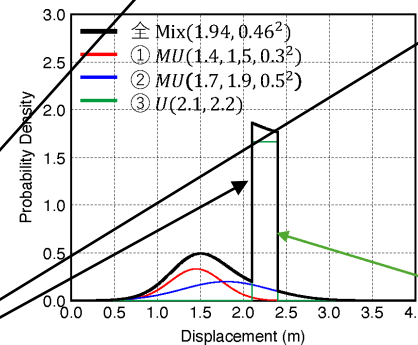
○確率への影響を試算

## 宝永地震の隆起量 ①久保野家(×0.8)：②久保野家：③万変記 = 1 : 1 : 2

不確実性を正規分布



不確実性を一様分布



万変記に誤差情報がない  
ため、一様分布そのまま

提案

万変記に久保野家と同じ  
誤差を仮定

- ① 1.4～1.5m±0.3m (0.8掛け)
- ② 1.7～1.9m±0.5m
- ③ 1.7～1.9m±0.3m (0.8掛け)
- ④ 2.1～2.4m±0.5m

① : ② : ③ : ④ = 1 : 1 : 1 : 1

万変記データ (2.1～2.4m) に測定誤差情報がないことによるピーク

→万変記データにも久保野家文書データと同じ誤差を仮定 (±0.3m or ±0.5m)

# 室津港の隆起量データの確率分布：宝永地震

「長275海Ⅱ96長手Ⅱ7参考資料5-1」より（一部加筆）

- データを確率分布で表現する方法の整理
  - 不確実性と測定誤差

- 宝永地震の隆起量の確率分布
  - 不確実性の分布の検討
  - 万変記の測定誤差の検討

- 安政地震の隆起量の確率分布
  - 土佐國の測定誤差の検討

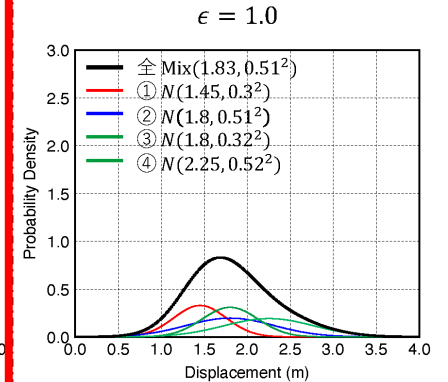
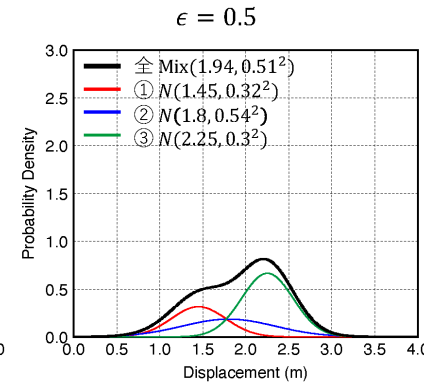
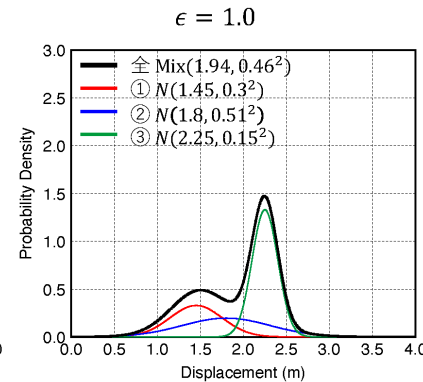
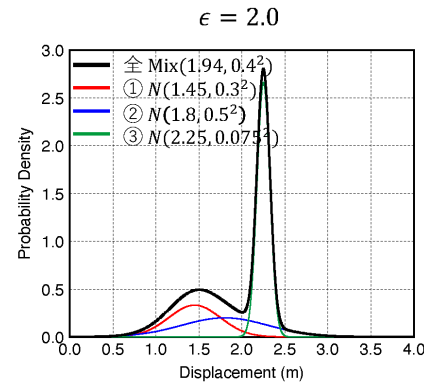
- 昭和地震の隆起量の確率分布

- 提案分布まとめ

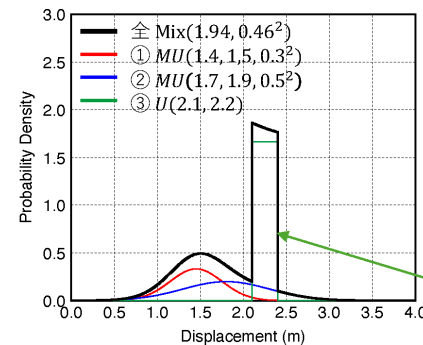
- 確率への影響を試算

## 宝永地震の隆起量 ①久保野家(×0.8)：②久保野家：③万変記 = 1 : 1 : 2

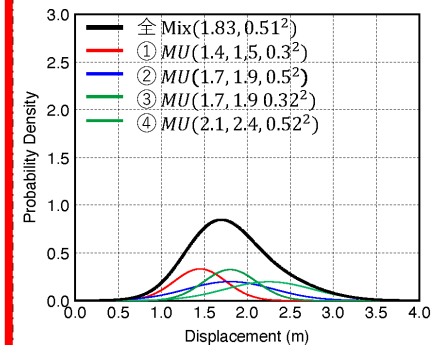
不確実性を正規分布



不確実性を一様分布



万変記に誤差情報がないため、一様分布そのまま



どちらの歴史資料データにも偏らない分布が得られた

※不確実性を正規分布・一様分布のどちらに仮定しても違いはほとんどなし

# 室津港の隆起量データの確率分布：安政地震

「長275海Ⅱ96長手Ⅱ7参考資料5-1」より（一部加筆）

○データを確率分布で表現する  
方法の整理

- 不確実性と測定誤差

○宝永地震の隆起量の確率分布

- 不確実性の分布の検討  
- 万変記の測定誤差の検討

○安政地震の隆起量の確率分布

- 土佐國の測定誤差の検討

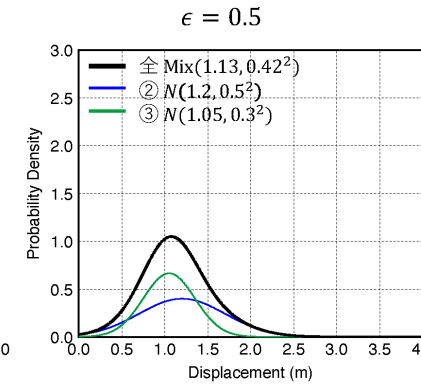
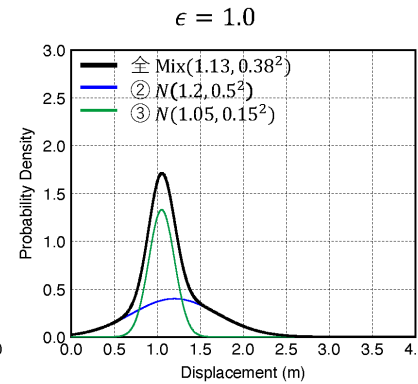
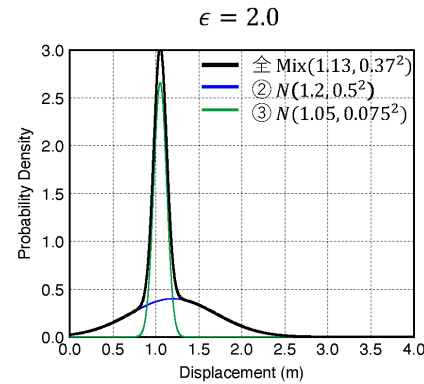
○昭和地震の隆起量の確率分布

○提案分布まとめ

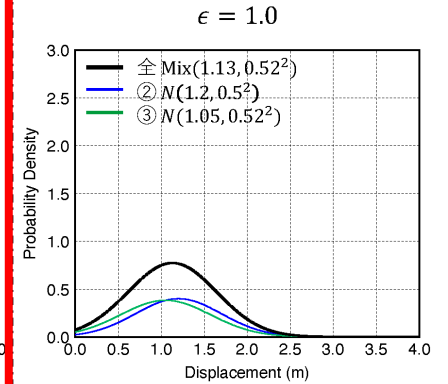
○確率への影響を試算

## 安政地震の隆起量 ②手鏡：③土佐國 = 1 : 1

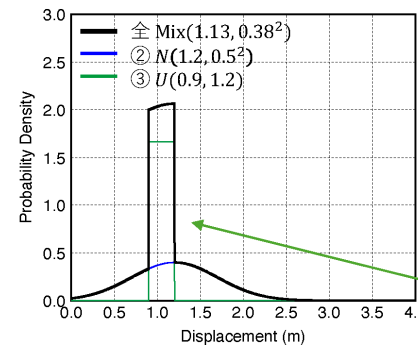
不確実性を正規分布



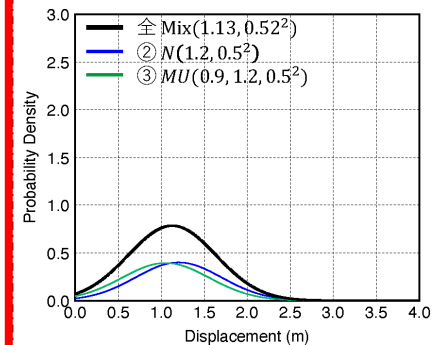
土佐國に手鏡と同じ測定  
誤差を仮定(1:1)



不確実性を一様分布



万編記に誤差情報がない  
ため、一様分布そのまま



**土佐國データ（0.9～1.2m）に手鏡と同じ誤差（±0.5m）を仮定**

※不確実性を正規分布・一様分布のどちらに仮定しても違いはほとんどなし

# 室津港の隆起量データの確率分布：昭和南海地震

「長275海Ⅱ96長手Ⅱ7参考資料5-1」より

○データを確率分布で表現する方法の整理

- 不確実性と測定誤差

○宝永地震の隆起量の確率分布

- 不確実性の分布の検討
- 万変記の測定誤差の検討

○安政地震の隆起量の確率分布

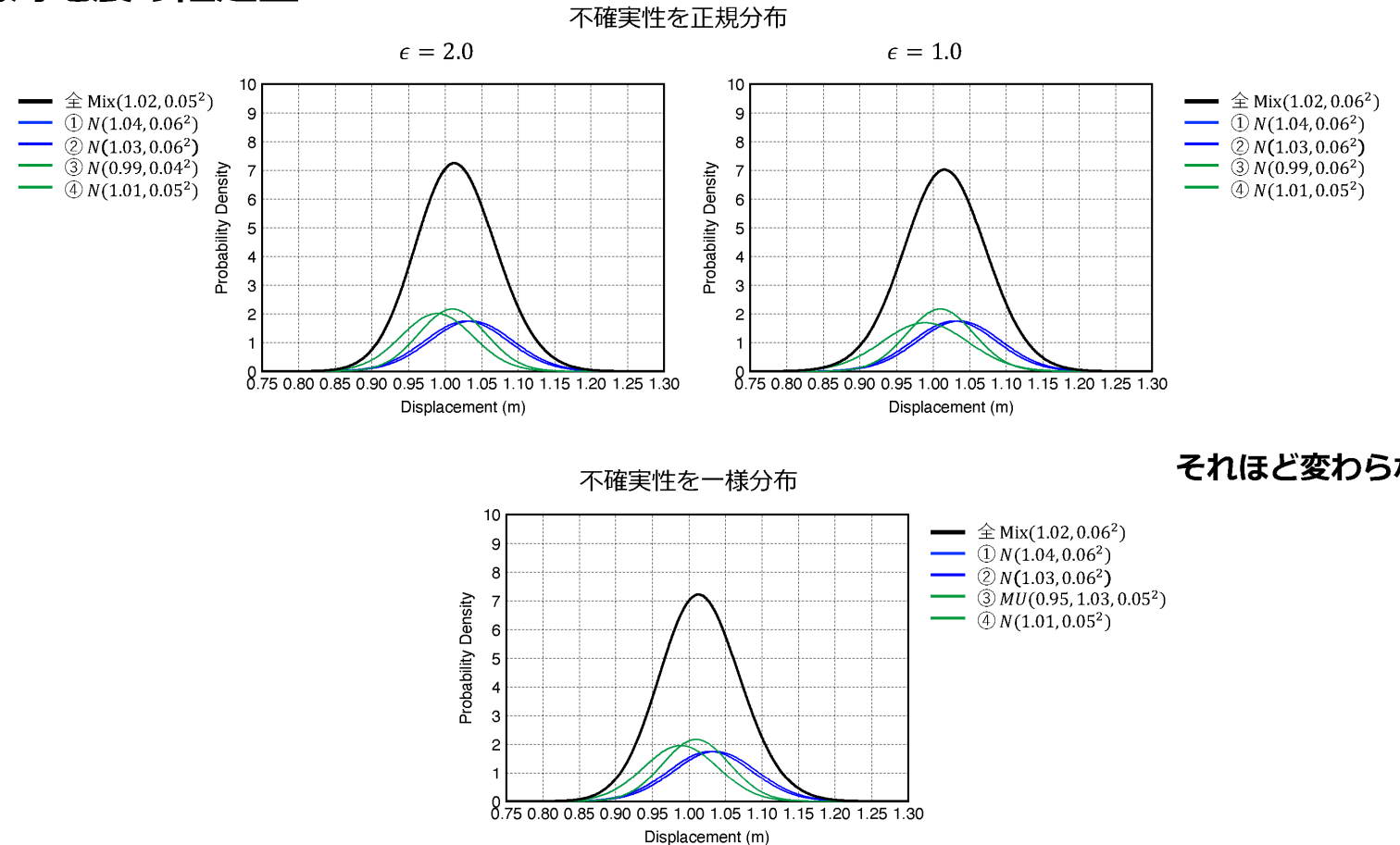
- 土佐國の測定誤差の検討

○昭和地震の隆起量の確率分布

○提案分布まとめ

○確率への影響を試算

## 昭和南海地震の隆起量



11

**昭和南海地震の隆起量データはすべてに測定誤差あり（宝永・安政より1桁小さい）**

※不確実性を正規分布・一様分布のどちらに仮定しても違いはほとんどなし

# 室津港の隆起量データの確率分布まとめ

「長275海Ⅱ96長手Ⅱ7参考資料5-1」より（一部加筆）

○データを確率分布で表現する方法の整理  
- 不確実性と測定誤差

○宝永地震の隆起量の確率分布  
- 不確実性の分布の検討  
- 万変記の測定誤差の検討

○安政地震の隆起量の確率分布  
- 土佐國の測定誤差の検討

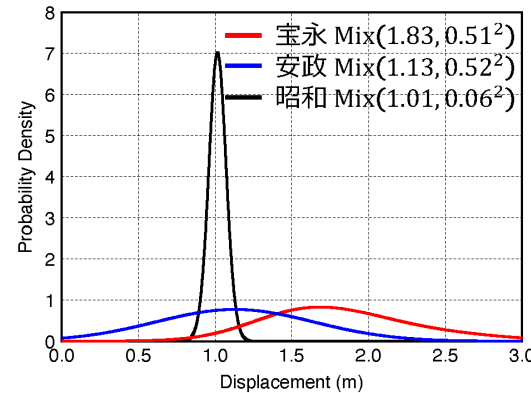
○昭和地震の隆起量の確率分布

○提案分布まとめ

○確率への影響を試算

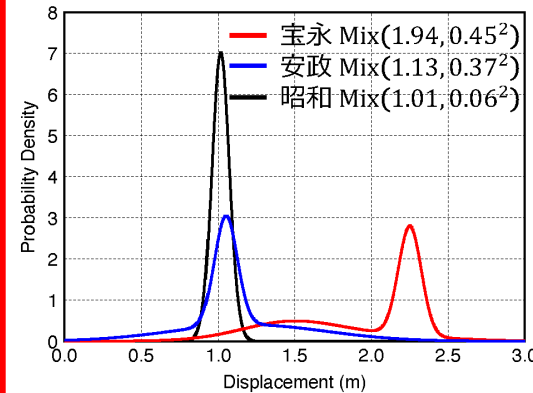
## 確率試算に用いるデータ確率分布

提案分布（誤差を仮定）



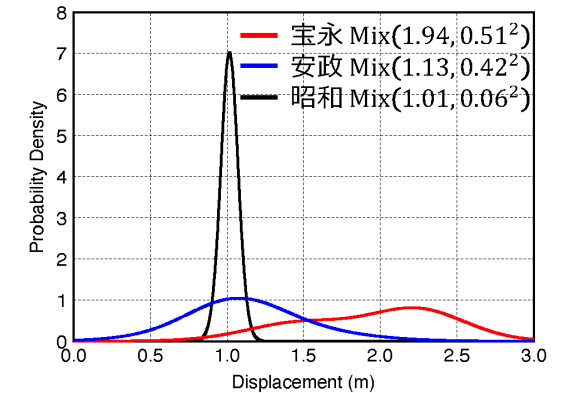
- ・ 不確実性は正規分布 ( $\epsilon = 1$ )
- ・ 万変記に久保野家と同じ誤差
- ・ 土佐國に手鏡と同じ誤差

2 シグマ ( $\epsilon = 2$ )



- ・ 不確実性は正規分布 ( $\epsilon = 2$ )

0.5シグマ ( $\epsilon = 0.5$ )



- ・ 不確実性は正規分布 ( $\epsilon = 0.5$ )

提案分布、極端な分布（2シグマ、0.5シグマ）について確率値を試算【参考資料5-2】



隆起量データの確率分布の確率値への影響  
提案分布の妥当性について



# 室津港の隆起量データの誤差について

「長275海Ⅱ96長手Ⅱ7参考資料5-2」より（一部加筆）

○データを確率分布で表現する  
方法の整理  
- 不確実性と測定誤差

○宝永地震の隆起量の確率分布  
- 不確実性の分布の検討  
- 万変記の測定誤差の検討

○安政地震の隆起量の確率分布  
- 土佐國の測定誤差の検討

○昭和地震の隆起量の確率分布

○提案分布まとめ

○確率への影響を試算

どの分布でも最終的な確率  
への影響はほとんどなし

## 推測結果 ※SSD-BPTモデルパラメータの詳細検討前の試算

6

### ▶ 2035年1月1日までに発生する確率

- これまでの評価 ( $\alpha = 0.20, 0.24$ ) : 33.47%, 30.30%
- タイプⅠ = [8.96%, 81.27%], タイプⅡ = [10.02%, 82.46%]
- タイプⅢ = [10.89%, 84.79%]

### ▶ 2045年1月1日までに発生する確率

- これまでの評価 ( $\alpha = 0.20, 0.24$ ) : 62.18%, 56.16%
- タイプⅠ = [39.01%, 100%], タイプⅡ = [39.92%, 100%]
- タイプⅢ = [40.75%, 100%]

### ▶ 2055年1月1日までに発生する確率

- これまでの評価 ( $\alpha = 0.20, 0.24$ ) : 81.21%, 74.69%
- タイプⅠ = [61.29%, 100%], タイプⅡ = [62.22%, 100%]
- タイプⅢ = [62.71%, 100%]

3つの分布それぞれでの  
30%確率の95%信用区間

## ○室津港の隆起量データについて

- ✓ 室津港の隆起量データの特徴・誤差の整理
- ✓ 室津港の隆起量データの確率分布による表現

## ○隆起量データの誤差を考慮した時間予測モデルとBPTを融合したベイズ的計算方法

- ✓ **すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル）とベイズ推定に基づいた新たな確率計算手法**
- ✓ パラメータ  $\gamma$  の事前分布について
- ✓ パラメータ  $\beta$  の事前分布について

## ○報告書

- 「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」の一部改訂  
第三版ではなく、一部改訂としてまとめる  
すべり量依存BPTモデルとBPTモデルについて、主文に両論併記する方向で議論中
- 「長期的な地震発生確率の評価手法について」の追補  
すべり量依存BPTモデルとモンテカルロ法について、追補（別紙）としてまとめる

# すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル）とベイズ推定に基づいた新たな確率計算手法：枠組み

「長273海Ⅱ94長手Ⅱ3参考資料3-2」より

○確率分布で表される隆起量データを扱える  
手法の検討

確率モデル

すべり量依存BPT（SSD-BPT）モデル

- BPTモデルと時間予測モデルの融合

+

推定手法

ベイズ推定

- モデルパラメータの事後分布  
- 次の地震発生確率

## 時間予測モデルとBPTモデルの接点

14

### 逆ガウス分布（BPTモデル）

▶ 逆ガウス分布  $IG(\mu, \alpha^2)$  を以下で定義する.

$$f_{IG}(t \mid \mu, \alpha) = \sqrt{\frac{\mu}{2\pi\alpha^2 t^3}} \exp \left\{ -\frac{(t - \mu)^2}{2\alpha^2 \mu t} \right\} \quad (t > 0, \mu > 0, \alpha > 0)$$

▶ 問題点: 時間予測モデルとの整合性がない

- 🕒 時間予測モデルで推定した間隔を平均  $\mu$  に代入し,  
BPTモデルで確率の評価を行っている.
- 🕒 2つのモデルの関連が考慮されていない.

▶ 解決策: 時間予測モデルとBPTモデルの関連を考える!

- 🕒 時間予測モデルと背後の確率過程モデルの関連から  
自然なモデルが導出できる!

28

# すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル）とベイズ推定に基づいた新たな確率計算手法

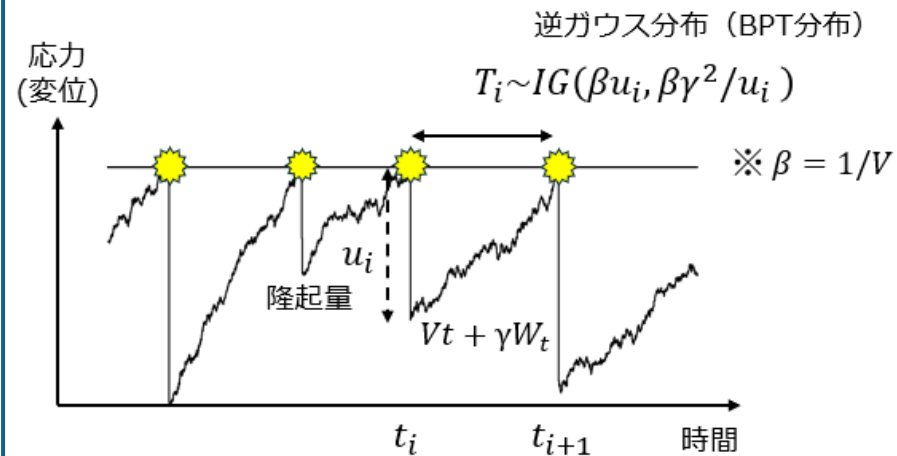
「長273海Ⅱ94長手Ⅱ3参考資料3-2」より（一部加筆）

## ○すべり量依存BPT（SSD-BPT）モデル

- BPTモデルと時間予測モデルの融合
- ・ BPTモデルにおける応力閾値が可変
- ・ 閾値が隆起量に比例

「長275海Ⅱ96長手Ⅱ7参考資料5-1」より

### すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル）



### - SSD-BPTモデルの主要パラメータ

- ・  $\beta$  … 時間予測モデルの隆起速度に対応（逆数）
- ・  $\gamma$  … 擾乱パラメータ（BPTモデルの  $\alpha$  に関係）

## 時間予測モデルとBPTモデルの接点

16

### 逆ガウス分布（BPTモデル）とブラウン運動

- ・ 標準ブラウン運動  $W_t$  を用いて、以下の確率過程を考える

$$X_0 = 0, \quad X_t = \eta t + \sigma W_t, \quad \eta, \sigma > 0$$

- ・  $T_\tau$  : 閾値  $\tau$  に初めて到達するまでにかかる時間

$$T_\tau := \inf\{t > 0 \mid X_t = \tau\} \sim \text{IG}\left(\frac{\tau}{\eta}, \frac{\sigma^2}{\eta\tau}\right)$$

- ・ 各地震で閾値  $\tau$  が隆起量  $u$  と関連していると仮定する

📍 逆ガウス回帰（時間予測BPT）モデルを得る.

β、γ、uが決まれば  
次の地震発生時間の  
BPT分布が決まる

$$T_i \sim \text{IG}\left(\beta u_i, \frac{\beta \gamma^2}{u_i}\right), \quad \gamma := a\sigma$$

$$u = a\tau$$
$$\beta = \frac{1}{V} = \frac{1}{a\eta}$$

📍 Ogata (2002, JGR) では、SSD-BPTモデルと呼ばれている。

29

# すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル）とベイズ推定に基づいた新たな確率計算手法

「長273海Ⅱ94長手Ⅱ3参考資料3-2」より

- すべり量依存BPT（SSD-BPT）モデル
  - BPTモデルと時間予測モデルの融合
  - SSD-BPTモデルの主要パラメータ
    - ・  $\beta$  …時間予測モデルの隆起速度に対応（逆数）
    - ・  $\gamma$  …擾乱パラメータ（BPTモデルの  $\alpha$  に関係）

## ○ベイズ推定の導入

- $\beta$ 、 $\gamma$  の事前分布を仮定
- 事前分布と隆起量の確率分布から  $\beta$ 、 $\gamma$  の事後分布を推定
- 次の地震発生時間の事後分布を推定
- 次の地震の発生確率を計算
- 発生確率の95%信用区間も計算

## 時間予測BPTモデルとベイズ推定

32

### 時間予測BPTモデルのベイズ推定（不確実性を考慮）

#### ▶ 隆起量の不確実性を確率分布で表現する！

- 📍 隆起量を局外母数と考え、事前分布を考える。
- 📍 宝永地震と安政地震の隆起量の不確実性を表す分布

$$U_1 \sim p_{U_1}, \quad U_2 \sim p_{U_2}, \quad U_2 = (U_1, U_2)^\top$$

- ▶ パラメータ  $\theta = (\beta, \gamma)^\top$  の事前分布  $p_\theta$  とする
- ▶ 不確実性を考慮したベイズ推定における観測データ

- 📍  $T_1 = 1.4725$  : 宝永から安政までの活動間隔
- 📍  $T_2 = 0.9205$  : 安政から昭和までの活動間隔
- 📍  $Y_3 = 0$  : 昭和から現在まで活動がないという情報
- 📍  $U_3 = 1.15$  : 昭和地震の隆起量（一旦、不確実性を考えない）

30

# すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル）とベイズ推定に基づいた新たな確率計算手法

「長273海Ⅱ94長手Ⅱ3参考資料3-2」より（一部加筆）

- すべり量依存BPT（SSD-BPT）モデル
  - BPTモデルと時間予測モデルの融合
  - SSD-BPTモデルの主要パラメータ
    - ・  $\beta$  … 時間予測モデルの隆起速度に対応（逆数）
    - ・  $\gamma$  … 擾乱パラメータ（BPTモデルの  $\alpha$  に関係）

## ○ベイズ推定の導入

- $\beta$ 、 $\gamma$  の事前分布を仮定
- 事前分布と隆起量の確率分布から  $\beta$ 、 $\gamma$  の事後分布を推定
- 次の地震発生時間の事後分布を推定
- 次の地震の発生確率を計算
- 発生確率の95%信用区間も計算

## 時間予測BPTモデルとベイズ推定

33

### 時間予測BPTモデルのベイズ推定（不確実性を考慮）

- ・ パラメータ  $\theta = (\beta, \gamma)^\top$  と隆起量  $U_2 = (U_1, U_2)^\top$  の事後分布

$$p(\theta, u_2 \mid T_3 > t, T_2 = t_2, U_3 = u_3) \quad \text{事後分布} \quad \text{確率モデル (SSD-BPT)}$$
$$\propto \{1 - q(t, \beta, u_3, \gamma)\} f_{\text{IG}}(t_1 \mid \beta u_1, \beta \gamma^2 / u_1) f_{\text{IG}}(t_2 \mid \beta u_2, \beta \gamma^2 / u_2)$$

現在まで地震が起きていない確率  $\times$   $\underbrace{p_\theta(\theta) p_{U_1}(u_1) p_{U_2}(u_2)}_{\text{prior}} \quad \beta, \gamma \text{ の事前分布} \quad \uparrow \text{尤度}$   
隆起量の確率分布

ここで,  $T_2 := (T_1, T_2)^\top$ ,  $t_2 = (1.4725, 0.9205)^\top$ ,  $u_3 = 1.15$  である.

- ・ 事後分布に関して, 統計モデル (BPT分布) を平均化することで,  $T_3$  の事後予測分布を考えることができる.

$$p_{\text{pp}}^{(\text{IG})}(t_3 \mid T_3 > t, T_2 = t_2, U_3 = u_3) \quad \downarrow \text{事後分布}$$
$$= \int \int f_{\text{IG}}(t_3 \mid \beta u_3, \beta \gamma^2 / u_3) p(\theta, u_2 \mid T_3 > t, T_2 = t_2, U_3 = u_3) d\theta du_2$$

31



# すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル）とベイズ推定に基づいた新たな確率計算手法

「長273海Ⅱ94長手Ⅱ3参考資料3-2」より（一部加筆）

- すべり量依存BPT（SSD-BPT）モデル
  - BPTモデルと時間予測モデルの融合
  - SSD-BPTモデルの主要パラメータ
    - ・  $\beta$  …時間予測モデルの隆起速度に対応（逆数）
    - ・  $\gamma$  …擾乱パラメータ（BPTモデルの  $\alpha$  に関係）

## ○ベイズ推定の導入

- $\beta$ 、 $\gamma$  の事前分布を仮定
- 事前分布と隆起量の確率分布から  $\beta$ 、 $\gamma$  の事後分布を推定
- 次の地震発生時間の事後分布を推定
- 次の地震の発生確率を計算
- 発生確率の95%信用区間も計算

$\beta$ 、 $\gamma$  の事前分布と隆起量の確率分布から、  
次の地震確率を計算する枠組みができた

→  $\beta$ 、 $\gamma$  の事前分布をどう設計するか？

※データが少ないため、事前分布の影響大

## 時間予測モデルの不確実性

11

### 最高密度区間 (HDI: Highest Density Interval)

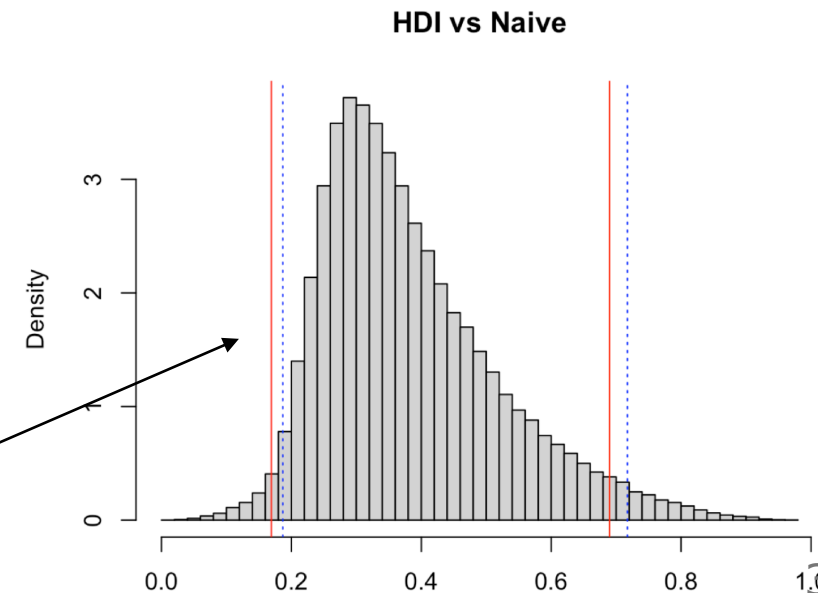
- ▶ 95%信頼区間や信用区間は、簡便に下側と上側の2.5%点から構成
- ▶ しかし、非対称な分布の場合は、**不必要に区間が長くなる可能性**
- ▶ **被覆確率95%のできるだけ小さい区間を計算したい**

⇒ **最高密度区間!**

- ▶ R package bayestestR  
の関数hdiを用いて計算

- ▶ **赤: HDI**
- ▶ **青: 簡便法**

発生確率がこのように  
頻度分布で求まる



12



## ○室津港の隆起量データについて

- ✓ 室津港の隆起量データの特徴・誤差の整理
- ✓ 室津港の隆起量データの確率分布による表現

## ○隆起量データの誤差を考慮した時間予測モデルとBPTを融合したベイズ的計算方法

- ✓ すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル）とベイズ推定に基づいた新たな確率計算手法
- ✓ **パラメータ  $\gamma$  の事前分布について**
- ✓ パラメータ  $\beta$  の事前分布について

## ○報告書

- 「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」の一部改訂  
第三版ではなく、一部改訂としてまとめる  
すべり量依存BPTモデルとBPTモデルについて、主文に両論併記する方向で議論中
- 「長期的な地震発生確率の評価手法について」の追補  
すべり量依存BPTモデルとモンテカルロ法について、追補（別紙）としてまとめる

## ○ $\gamma$ の事前分布設計の基本方針

- $\gamma$ はBPT分布 $\alpha$ の関係量
- 既往研究の $\alpha$  (0.2~0.4)と整合させる

## ○ $\gamma$ 事前分布設計の懸念点

- 0付近値による計算の不安定性
- $\alpha$ からの変換による過大評価

## ○ $\gamma$ の事前分布設計

- 周辺変動係数 $\alpha$ の評価
- 周辺変動係数 $\alpha$ を0.2~0.4に

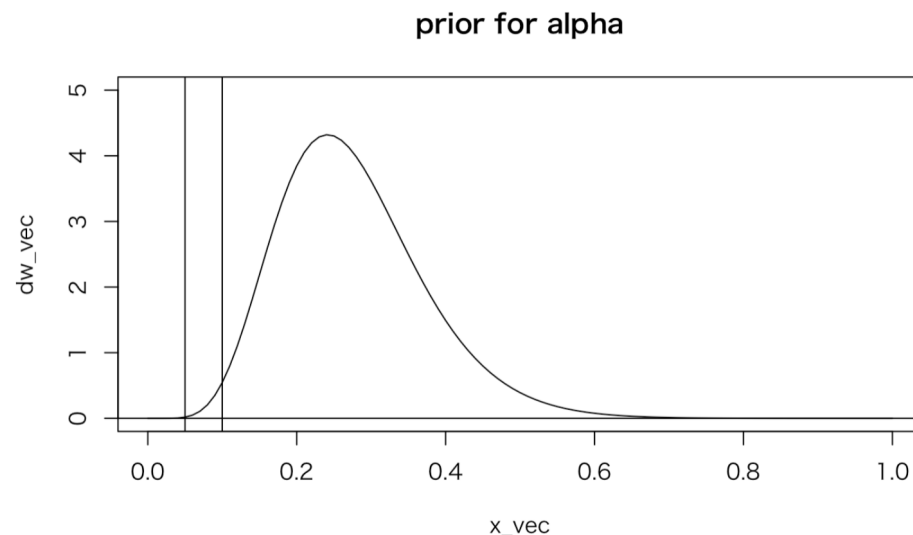
## 事前分布の設計 その2

3

### パラメータ $\gamma$ に対する事前分布

#### ▶ 野村委員が別の分析で用いた事後分布の利用

- 📍 長主II1参考資料3-3の右図の事後分布を参考に設計
- 📍 仮に、以下のガンマ分布 $\alpha \sim \text{Gam}(8, 29)$ で近似的に表す.



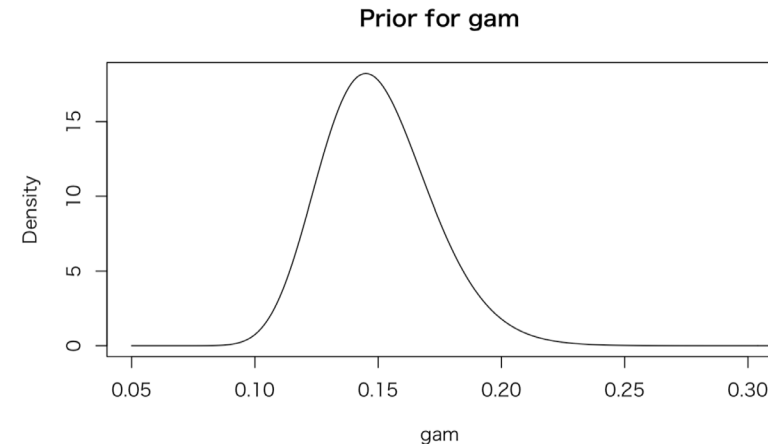
- $\gamma$  の事前分布設計の基本方針
  - $\gamma$  はBPT分布の  $\alpha$  と関係
  - 既往研究の  $\alpha$  (0.2~0.4) と整合させる
- $\gamma$  の事前分布設計の懸念点
  - 0付近値による計算の不安定性
  - $\alpha$  からの変換による過大評価
- $\gamma$  の事前分布設計
  - 周辺変動係数  $\alpha$  の評価
  - 周辺変動係数  $\alpha$  を0.2~0.4に

## 事前分布の設計

12

### パラメータに対する事前分布

- ▶ 不確実性を考慮する場合小さい  $\gamma$  は不安定となる.
    - 📍 並行移動したガンマ分布  $\gamma \sim \delta + G$  を考える.
    - 📍 ここで,  $\delta > 0$  は定数で,  $G \sim \text{Gam}(\alpha, \lambda)$
    - 📍 不確実性を考慮しない場合:  $\gamma$  の最尤推定値 = 約0.06
- ⇒ 仮に,  $\delta = 0.05$ ,  $\alpha = 20$ ,  $\lambda = 200$  としてみる.




## ○ $\gamma$ の事前分布設計の設計方針

- $\gamma$ はBPT分布の $\alpha$ と関係
- 既往研究の $\alpha$  (0.2~0.4)と整合させる

## ○ $\gamma$ の事前分布設計の懸念点

- 0付近値による計算の不安定性
- $\alpha$ からの変換による過大評価

従来のBPT :  $T \sim IG(\mu, \alpha^2)$  ← 0.2~0.4 (観測)

SSD-BPT :  $T \sim IG(\beta u, \frac{\beta \gamma^2}{u})$   単純な変換NG (過大評価)

## ○ $\gamma$ の事前分布設計

- 周辺変動係数 $\alpha$ の評価
- 周辺変動係数 $\alpha$ を0.2~0.4に

## 事前分布の設計 その2

6

### パラメータ $\gamma$ に対する事前分布

#### ▶ 深刻な懸念事項

- 👤  $\alpha$  から  $\gamma$  への変換を考えると,  $\alpha < \gamma$  となる.
- 👤 しかし, 隆起量の不確実性を考慮しない場合は, 時間予測BPTモデルの  $\gamma$  に対する推定量はかなり小さい.
- 👤 **隆起量のばらつきが  $\alpha$  が大きく推定される要因の可能性**  
(ここで, 隆起量のばらつきは, 不確実性のことではない.)
- 👤 滑り量を考慮していないモデルにおける  $\alpha$  の解析結果のため,  **$\gamma$  を大幅に大きく見積りすぎている可能性.**
- 👤  $0.05 \leq \gamma \leq 0.8$  という範囲でばらつく事前分布は妥当なのか?

## ○ $\gamma$ の事前分布設計の設計方針

- $\gamma$ はBPT分布の $\alpha$ と関係
- 既往研究の $\alpha$  (0.2~0.4)と整合させる

## ○ $\gamma$ の事前分布設計の懸念点

- 0付近値による計算の不安定性
- $\alpha$ からの変換による過大評価

## ○ $\gamma$ の事前分布設計

- 周辺変動係数 $\alpha$ の評価

「長275海Ⅱ96長手Ⅱ7参考資料4-1」より

周辺分布

$$(T_i, U_i) \sim \text{IG} \left( \beta U_i, \frac{\beta \gamma^2}{U_i} \right) \times \text{Gam}(\alpha_u, \lambda_u)$$

↑  
隆起量の分布

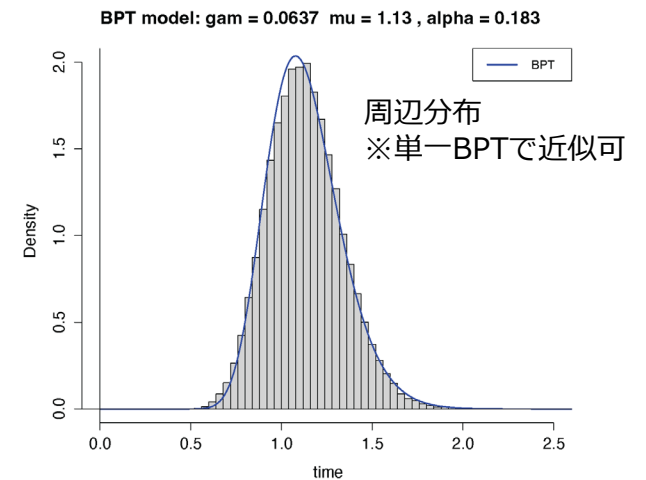
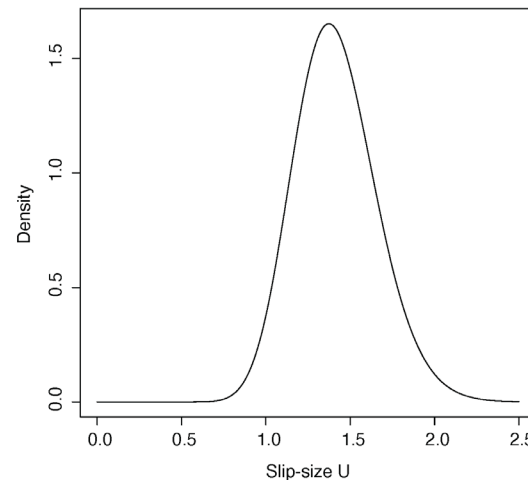
- 周辺変動係数 $\alpha$ を0.2~0.4に

## 変動係数の性質

### ガンマ & SSD-BPT model

- ▶ 隆起量にガンマ分布, 条件付き分布にSSD-BPT model
- ▶ 隆起量が得られていないデータも解析に組み込める
- 👤 隆起量の不確実性を考慮しない場合の推定結果

$$\hat{\beta}_{\text{Gam}} = 0.7994, \hat{\gamma}_{\text{Gam}} = 0.0637, \hat{\alpha}_u = 33.51, \hat{\lambda}_u = 23.67$$



## ○ $\gamma$ の事前分布設計の設計方針

- $\gamma$ はBPT分布の $\alpha$ と関係
- 既往研究の $\alpha$  (0.2~0.4)と整合させる

## ○ $\gamma$ の事前分布設計の懸念点

- 0付近値による計算の不安定性
- $\alpha$ からの変換による過大評価

## ○ $\gamma$ の事前分布設計

- 周辺変動係数 $\alpha$ の評価

「長275海Ⅱ96長手Ⅱ7参考資料4-1」より

周辺分布

$$(T_i, U_i) \sim \text{IG} \left( \beta U_i, \frac{\beta \gamma^2}{U_i} \right) \times \text{Gam}(\alpha_u, \lambda_u)$$

隆起量の分布

- 周辺変動係数 $\alpha$ を0.2~0.4に

## パラメータの事前分布

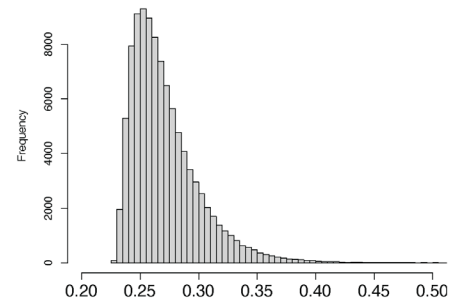
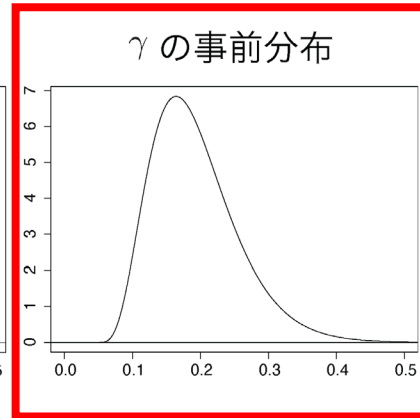
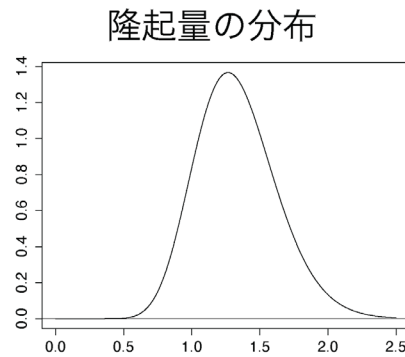
### $(\beta, \gamma)$ の事前分布

#### ▶ $\gamma$ の事前分布

📍 例えば,  $U \sim \text{Gam}(20, 15)$  とする (隆起量が0.5 ~ 2.5m)

📍 このとき,  $\gamma \sim 0.05 + \text{Gam}(5, 35)$  とする.

⇒ 周辺変動係数 $\alpha$ の分布は, 0.2 ~ 0.4に値をとる分布となる.



最終的な $\gamma$ の事前分布 (ガンマ分布)



## ○室津港の隆起量データについて

- ✓ 室津港の隆起量データの特徴・誤差の整理
- ✓ 室津港の隆起量データの確率分布による表現

## ○隆起量データの誤差を考慮した時間予測モデルとBPTを融合したベイズ的計算方法

- ✓ すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル）とベイズ推定に基づいた新たな確率計算手法
- ✓ パラメータ  $\gamma$  の事前分布について
- ✓ **パラメータ  $\beta$  の事前分布について**

## ○報告書

- 「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」の一部改訂  
第三版ではなく、一部改訂としてまとめる  
すべり量依存BPTモデルとBPTモデルについて、主文に両論併記する方向で議論中
- 「長期的な地震発生確率の評価手法について」の追補  
すべり量依存BPTモデルとモンテカルロ法について、追補（別紙）としてまとめる

# $\beta$ の事前分布

「長276海Ⅱ97長手Ⅱ8参考資料7-1」より

## ○ $\beta$ の事前分布を何から決めるか

- モデルでは沈降速度に対応
- 隆起速度と不整合

## ○隆起速度と沈降速度の議論

- 観測データの整理
- 不整合の確認

## ○隆起速度と沈降速度の不整合についての解釈

## ○ $\beta$ の事前分布設計

- 周辺尤度最大化
- 事前分布の分散の拘束

## ○次の地震発生確率の計算

### これまでの議論

#### • SSD-BPTモデル+ベイズ推定の導入

- 隆起量データ
- ばらつきパラメータ  $\gamma$
- 蓄積速度に関するパラメータ  $\beta (=1/V)$

→ 隆起量データを説明する $\gamma$ 、 $\beta$ の事後分布をベイズ推定得られた $\gamma$ 、 $\beta$ 、昭和データから次の地震確率を計算

※ $\gamma$ 、 $\beta$ の事前分布が必要（試計算では最尤値の周りで正規分布）

#### • データの誤差の検討（済）

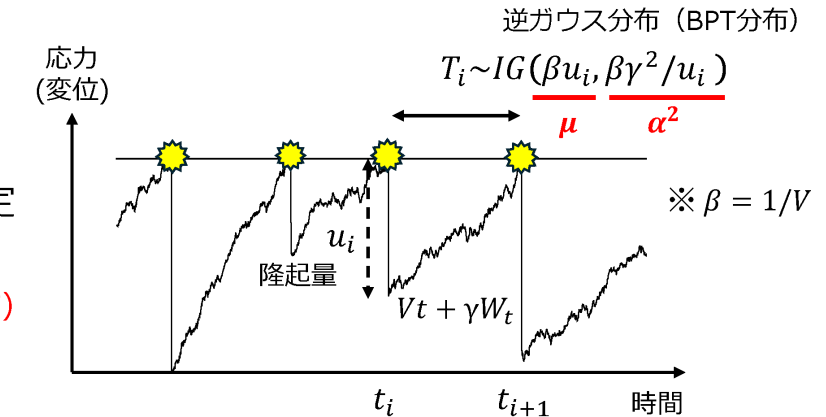
- 宝永・安政・昭和の隆起量について、誤差・不確実性を考慮した確率分布として設計

#### • パラメータ $\gamma$ の事前分布の検討（済）

- 周辺変動係数 $\alpha$ が0.2～0.4になるよう設計

#### • パラメータ $\beta$ の事前分布の検討 ←今回

### すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル）



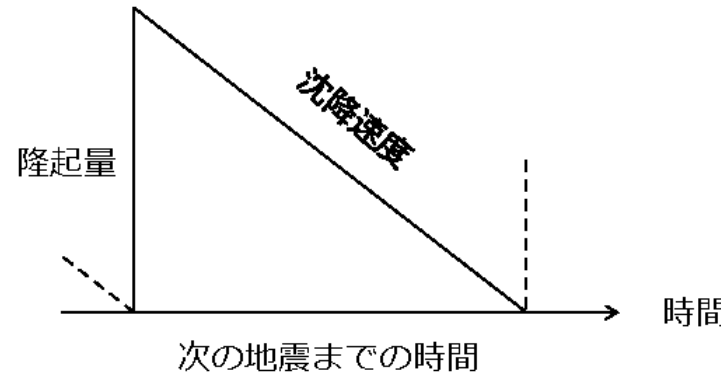
$\beta$ の逆数 $V$ は、モデル上は地震間の沈降速度に相当するパラメータと考えられる  
一方で、隆起速度と沈降速度が整合しないことは第二版でも指摘されている  
隆起速度・沈降速度についての観測データをあらためて整理し、どのような立場・考え方で事前分布を設計するかについて議論

# $\beta$ の事前分布

「長276海Ⅱ97長手Ⅱ8参考資料7-1」より

## 隆起速度と沈降速度について

時間予測モデルにおける隆起・沈降関係



時間予測モデルと弾性理論に基づけば

$$\text{隆起速度} = \frac{\text{隆起量}}{\text{次の地震までの時間}} = \text{沈降速度}$$

が成り立つ。

しかし、室津港の隆起速度と沈降速度についてはこの関係が成り立っていない

こ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)

まずは観測データについて  
あらためて整理



「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」より

4

- $\beta$  の事前分布を何から決めるか
  - モデルでは沈降速度に対応
  - 隆起速度と不整合

## ○隆起速度と沈降速度の議論

- 観測データの整理
- 不整合の確認

- 隆起速度と沈降速度の不整合についての解釈

## ○ $\beta$ の事前分布設計

- 周辺尤度最大化
- 事前分布の分散の拘束

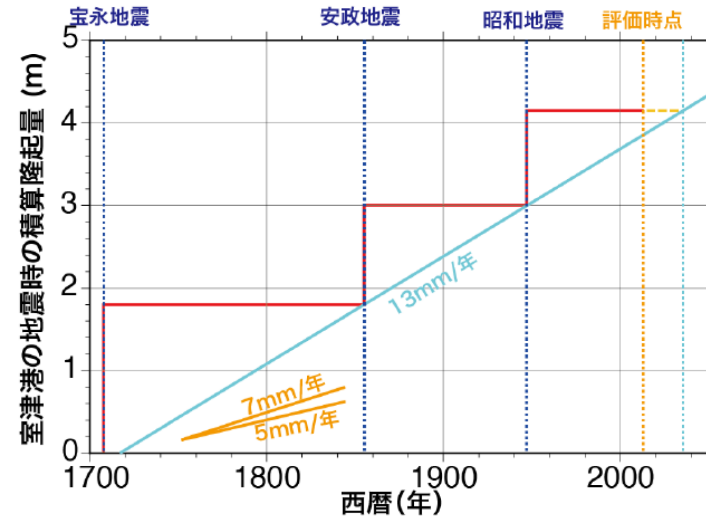
## ○ 次の地震発生確率の計算

# $\beta$ の事前分布

「長276海Ⅱ97長手Ⅱ8参考資料7-1」より

## 隆起速度の観測データ

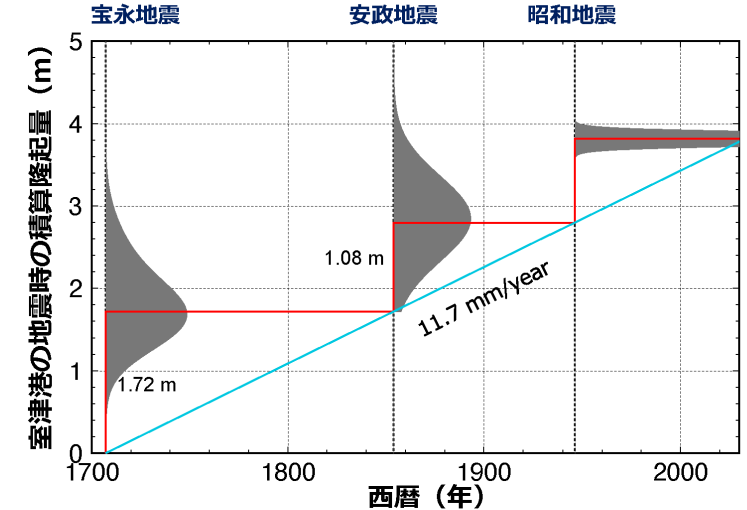
データの不確実性・誤差なし



「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」より

~13 mm/year

データの不確実性・誤差あり



隆起量データの確率分布に基づく最尤推定（別紙1）

~12 mm/year

※SSD-BPTモデルにおける隆起速度のばらつきは考慮されていない ( $\gamma=0$ )

5

- $\beta$  の事前分布を何から決めるか
  - モデルでは沈降速度に対応
  - 隆起速度と不整合

## ○ 隆起速度と沈降速度の議論

- 観測データの整理
- 不整合の確認

- 隆起速度と沈降速度の不整合についての解釈

## ○ $\beta$ の事前分布設計

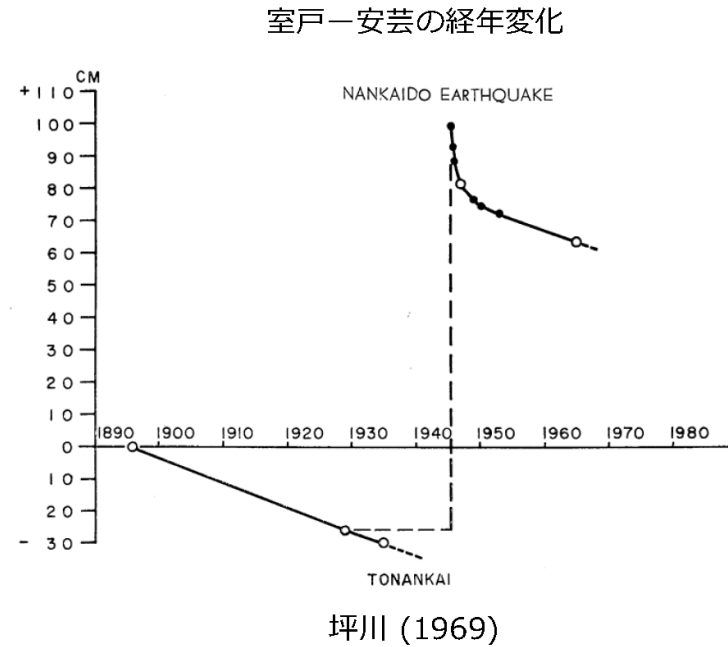
- 周辺尤度最大化
- 事前分布の分散の拘束

## ○ 次の地震発生確率の計算

# $\beta$ の事前分布

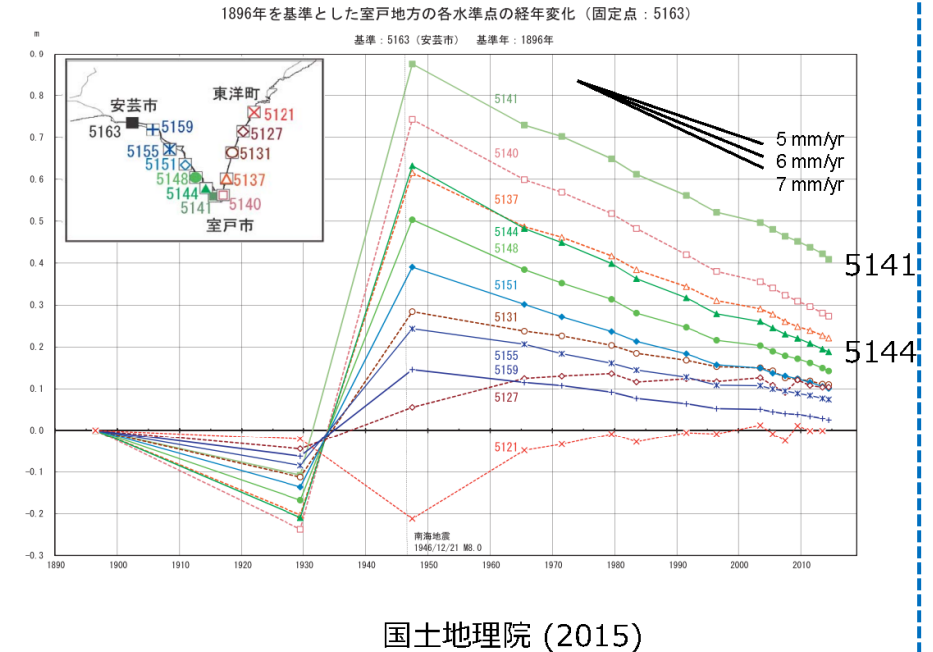
「長276海Ⅱ97長手Ⅱ8参考資料7-1」より

## 沈降速度の観測データ(1)：水準測量



昭和南海地震以前 (1897～) の水準測量データ  
1897年・1929年 (+1935年) の測量によって  
7.5 mm/yearの沈降。

～8 mm/year



昭和南海地震以降 (1946～) の水準測量データ  
室津港周辺の水準点 (5141・5144) で概ね  
7 mm/yearの沈降。

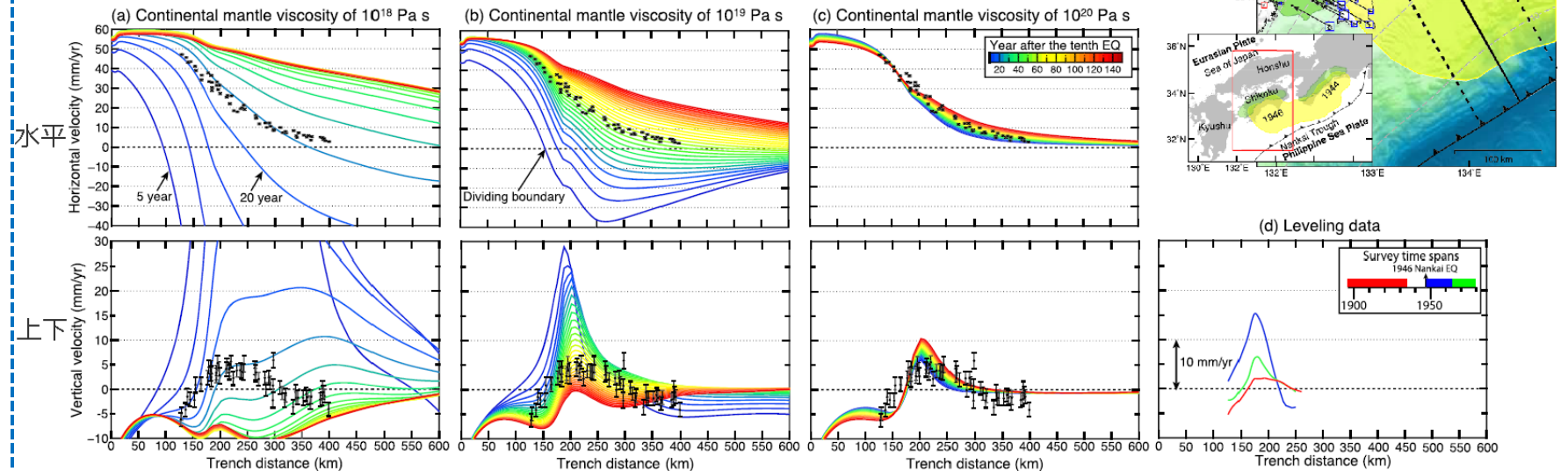
～7 mm/year

## 沈降速度に影響を与える要因(3)：粘弾性緩和

### 粘弾性緩和による沈降速度の変化

粘弾性を考慮した南海トラフ地震間の地殻変動シミュレーション (Li et al., 2020)  
陸側のマントルの粘性によって結果は大きく異なる  
地震後、数10～100年以上の長期にわたって粘弾性緩和の影響を受ける～数mm/yr ?

前の地震からの地表面の速度の推移



Li et al. (2020)

11

- $\beta$  の事前分布を何から決めるか
  - モデルでは沈降速度に対応
  - 隆起速度と不整合

### ○ 隆起速度と沈降速度の議論

- 観測データの整理
- 不整合の確認

- 隆起速度と沈降速度の不整合についての解釈

### ○ $\beta$ の事前分布設計

- 周辺尤度最大化
- 事前分布の分散の拘束

- 次の地震発生確率の計算



# $\beta$ の事前分布

「長276海Ⅱ97長手Ⅱ8参考資料7-1」より

## 隆起速度・沈降速度のまとめ

### 隆起速度に関する観測データ

|        | データ不確実性なし（第二版）        | データ不確実性あり             |
|--------|-----------------------|-----------------------|
| 地震時隆起量 | 13 mm/year（1854～1946） | 12 mm/year（1707～1946） |

### 沈降速度に関する観測データ

|             | 水準測量               | 潮位               | GNSS               |
|-------------|--------------------|------------------|--------------------|
| 地殻変動観測      | 7～8 mm/year（1897-） | 8 mm/year（1980-） | 5～7 mm/year（2004-） |
| 永年隆起        | 0～2 mm/year        |                  |                    |
| 海面上昇        |                    | -3 mm/year       |                    |
| 余効変動（粘弾性緩和） | ±数 mm/year？        |                  |                    |

隆起速度：12～13 mm/year

沈降速度：5～10 mm/year（±数 mm/年？）

隆起速度と沈降速度は合わない  
地震間の沈降速度にも様々な不確定要素

12

- $\beta$  の事前分布を何から決めるか
  - モデルでは沈降速度に対応
  - 隆起速度と不整合

## ○ 隆起速度と沈降速度の議論

- 観測データの整理
- 不整合の確認

- 隆起速度と沈降速度の不整合についての解釈

## ○ $\beta$ の事前分布設計

- 周辺尤度最大化
- 事前分布の分散の拘束

## ○ 次の地震発生確率の計算

## 隆起速度と沈降速度の不整合をどう考えるか？

### ① 隆起速度の過大評価

- 宝永・安政は余効すべりの影響が不明
- 塑性変形等の影響も不明

### ② 沈降速度の過小評価

- プレート沈み込みによる沈降とその他要因の切り分け困難
- 近年の観測しかない

### ③ モデルの不成立 ※

- 時間予測モデル（SSD-BPTモデルも）自体が成立しない
- 昭和地震を1サイクルの地震としてみなせない

※（第二版と同様）モデルを棄却するに足るデータは得られていない

13

- $\beta$  の事前分布を何から決めるか
  - モデルでは沈降速度に対応
  - 隆起速度と不整合

- 隆起速度と沈降速度の議論
  - 観測データの整理
  - 不整合の確認

## ○ 隆起速度と沈降速度の不整合についての解釈

- $\beta$  の事前分布設計
  - 周辺尤度最大化
  - 事前分布の分散の拘束

- 次の地震発生確率の計算

## $\beta$ の事前分布をどう設計するか？

### ・沈降速度から設計 ① + ②の立場

観測沈降速度 ( $V=5\sim 10$  mm/year) の範囲に設定→対応する $\beta$ を事前分布に用いる隆起量データが少ないため、 $\beta$ の事後分布は事前分布の影響を大きく受ける  
→隆起速度データも沈降速度データも説明しない中途半端なモデルに

### ・周辺尤度最大化による設計（事務局案） ②の立場

周辺尤度を最大化することによってデータから $\beta$ の事前分布を推定  
正規分布を仮定し、事前平均と分散を決める  
周辺尤度は分散に関しては発散してしまうので、  
分散だけは室津港周辺の沈降速度の幅を先見情報として拘束して事前平均を推定

$V = \underline{V_{\min}} \sim \underline{V_{\max}}$  を求め、 $\beta = 1/V_{\max} \sim 1/V_{\min}$  の幅を  $\pm 3$ シグマ とする

情報なし  
(観測から)

プレートの幾何形状と収束速度  
から見積もり (→次頁)

この範囲からはみ出る  
ことはほぼありえない

○  $\beta$  の事前分布を何から決めるか  
- モデルでは沈降速度に対応  
- 隆起速度と不整合

○ 隆起速度と沈降速度の議論  
- 観測データの整理  
- 不整合の確認

○ 隆起速度と沈降速度の不整合についての解釈

○  $\beta$  の事前分布設計  
- 周辺尤度最大化  
- 事前分布の分散の拘束

○ 次の地震発生確率の計算

# $\beta$ の事前分布

「長276海Ⅱ97長手Ⅱ8参考資料7-1」より

- $\beta$  の事前分布を何から決めるか
  - モデルでは沈降速度に対応
  - 隆起速度と不整合

- 隆起速度と沈降速度の議論
  - 観測データの整理
  - 不整合の確認

- 隆起速度と沈降速度の不整合についての解釈

- $\beta$  の事前分布設計
  - 周辺尤度最大化
  - 事前分布の分散の拘束

- 次の地震発生確率の計算

## 室津港周辺の沈降速度の最大値についての考察

### 室津港直下のフィリピン海プレートの沈降速度の算出

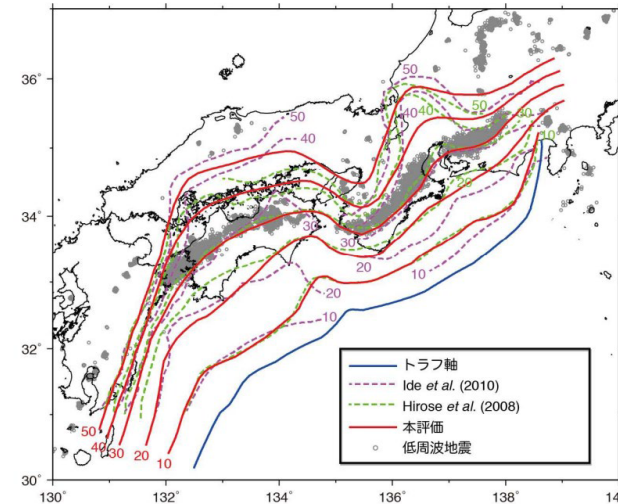


図 2-3 南海トラフから沈み込むフィリピン海プレートの上面深度  
(本評価で用いた深度は内閣府 (2011) による)

(南海トラフの地震活動の長期評価 (第二版) について)

「南海トラフの地震活動の長期評価 (第二版) について」のフィリピン海プレート上面深度 (左図) をもとに、プレート運動方向に沿った傾斜角を計算  
(10-20km等深線間) → 7度 (※室津港直下は20km等深線付近)  
(20-30km等深線間) → 10度  
今回、上限**15度**に設定

「南海トラフの地震活動の長期評価 (第二版) について」による室戸岬沖のプレート運動の速度約 6 ~ 7 cm/yr を用いて室津港付近の沈降速度を計算  
(7度、6 cm/yr) → 7 mm/yr (7度、7 cm/yr) → 9 mm/yr  
(10度、6 cm/yr) → 10 mm/yr (10度、7 cm/yr) → 12 mm/yr  
(15度、6 cm/yr) → 16 mm/yr (15度、7 cm/yr) → 18 mm/yr

プレートの移動速度から計算される室津港直下のプレート沈降速度は **7 ~ 18 mm/yr**

**上盤の沈降速度はこの値を上回ることではないため、18 mm/yr を室津港周辺の沈降速度の最大値に設定できる**

#### (3) プレート運動との整合性

南海トラフでは、フィリピン海プレートが西南日本の大陸プレートに対して北西～西北西方向に沈み込んでいる。**プレート間の相対速度は南海トラフの東部 (御前崎沖) に比べて西部 (都井岬沖) が約 1 cm/年 大きくなる**ことが知られており、**室戸岬沖で約 6 ~ 7 cm/年である** (Miyazaki and Heki, 2001; DeMets et al., 2010)。ただし、プレート間の相対運動の一部は陸側及び海側プレート内部の断層などにおける変形が担っており、全てが南海トラフで解消されているわけではない。

(南海トラフの地震活動の長期評価 (第二版) について)

15

## $\beta$ の事前分布をどう設計するか？

### ・沈降速度から設計 ① + ②の立場

考え得る沈降速度 ( $V=5\sim 10$  mm/year) の範囲に設定→対応する $\beta$ の事前分布用いる隆起量データが少ないため、 $\beta$ の事後分布は事前分布の影響を大きく受ける

→隆起速度データも沈降速度データも説明しない中途半端なモデルに

### ・周辺尤度最大化による設計（事務局案） ②の立場

周辺尤度を最大化することによってデータから $\beta$ の事前分布を推定  
正規分布を仮定し、事前平均と分散を決める

周辺尤度は分散に関しては発散してしまうので、

分散だけは室津港周辺の沈降速度の幅を先見情報として拘束して事前平均を推定

$\beta=0.56\sim 2$  ( $V=5\sim 18$  mm/year相当) として、この幅を $\pm 3$ シグマとする  
→ $\sigma_{\beta}=0.24$  ➡ 確率計算へ

○ $\beta$  の事前分布を何から決めるか  
- モデルでは沈降速度に対応  
- 隆起速度と不整合

○隆起速度と沈降速度の議論  
- 観測データの整理  
- 不整合の確認

○隆起速度と沈降速度の不整合についての解釈

○ $\beta$  の事前分布設計  
- 周辺尤度最大化  
- 事前分布の分散の拘束

○次の地震発生確率の計算

# $\beta$ の事前分布

「長276海Ⅱ97長手Ⅱ8参考資料7-2」より（一部加筆）

- $\beta$  の事前分布を何から決めるか
  - モデルでは沈降速度に対応
  - 隆起速度と不整合

- 隆起速度と沈降速度の議論
  - 観測データの整理
  - 不整合の確認

- 隆起速度と沈降速度の不整合についての解釈

- $\beta$  の事前分布設計
  - 周辺尤度最大化
  - 事前分布の分散の拘束

- 次の地震発生確率の計算

10.5 mm/year相当

## パラメータの事前分布

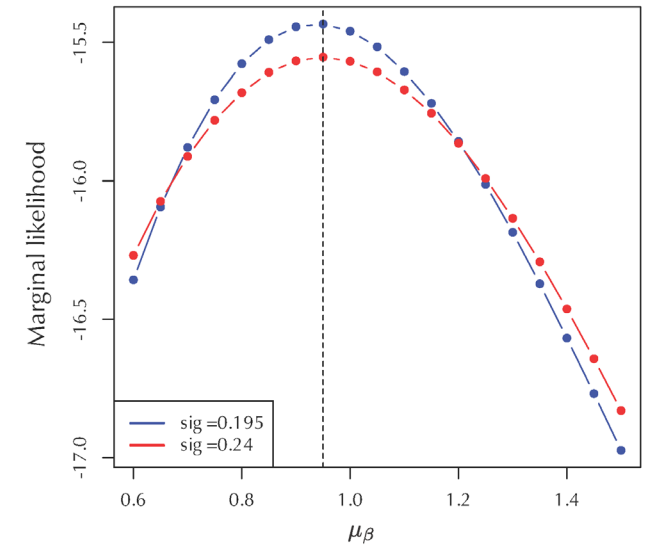
2

### $(\beta, \gamma)$ の事前分布

- ▶ 傾きの事前分布:  $\beta \sim N(\mu_\beta, \sigma_\beta^2)$
- ▶ 事前分布の分散  $\sigma_\beta^2$  に関してはある程度見積もれる可能性  
 $\Rightarrow \sigma_\beta = 0.240$  (0.195)
- ▶ 事前分布の平均  $\mu_\beta$  に関しては, 情報が乏しい  
 $\Rightarrow$  周辺尤度の最大化によって,  
データから決定してみる.

$$\hat{\mu}_\beta = 0.95$$

- ▶ 周辺尤度最大化の注意点
  - 👤 分散は決定できない  
 $\Rightarrow$  過小評価してしまう





# 次の南海トラフ地震の発生確率

「長276海Ⅱ97長手Ⅱ8参考資料7-2」より

- $\beta$  の事前分布を何から決めるか
  - モデルでは沈降速度に対応
  - 隆起速度と不整合

- 隆起速度と沈降速度の議論
  - 観測データの整理
  - 不整合の確認

- 隆起速度と沈降速度の不整合についての解釈

- $\beta$  の事前分布設計
  - 周辺尤度最大化
  - 事前分布の分散の拘束

## ○次の地震発生確率の計算

2025年1月1日起点の30年確率  
平均：**70%**  
95%信用区間：**23.27%~100%**

## 推測結果

4

### ▶ 2035年1月1日までに発生する確率

これまでの評価 ( $\alpha = 0.20, 0.24$ ) : 33.47%, 30.30%

$\sigma_\beta = 0.240$  : **[0.00%, 66.48%]** ( $\sigma_\beta = 0.195$  : [0.00%, 68.23%])

### ▶ 2045年1月1日までに発生する確率

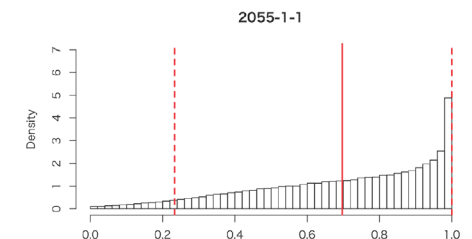
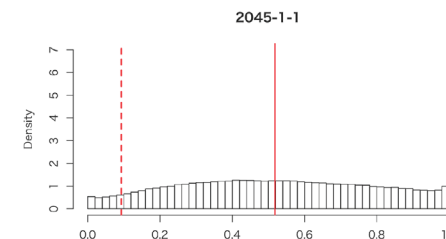
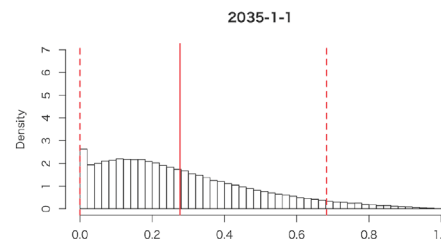
これまでの評価 ( $\alpha = 0.20, 0.24$ ) : 62.18%, 56.16%

$\sigma_\beta = 0.240$  : **[9.30%, 100%]** ( $\sigma_\beta = 0.195$  : [11.35%, 100%])

### ▶ 2055年1月1日までに発生する確率

これまでの評価 ( $\alpha = 0.20, 0.24$ ) : 81.21%, 74.69%

$\sigma_\beta = 0.240$  : **[23.27%, 100%]** ( $\sigma_\beta = 0.195$  : [27.23%, 100%])



# 次の南海トラフ地震の発生確率

「長276海Ⅱ97長手Ⅱ8参考資料7-2」より（一部加筆）

- $\beta$  の事前分布を何から決めるか
  - モデルでは沈降速度に対応
  - 隆起速度と不整合

- 隆起速度と沈降速度の議論
  - 観測データの整理
  - 不整合の確認

- 隆起速度と沈降速度の不整合についての解釈

- $\beta$  の事前分布設計
  - 周辺尤度最大化
  - 事前分布の分散の拘束

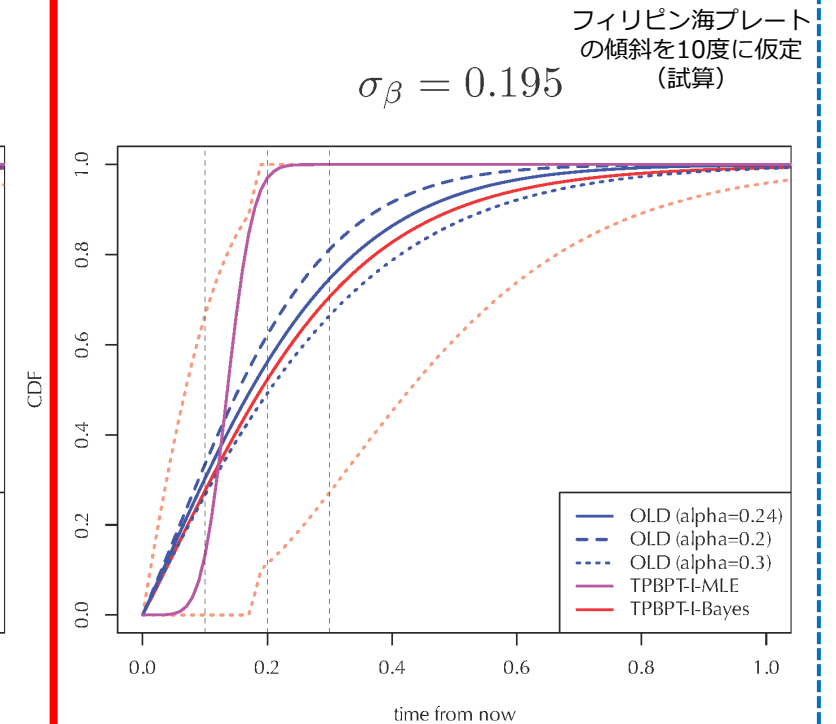
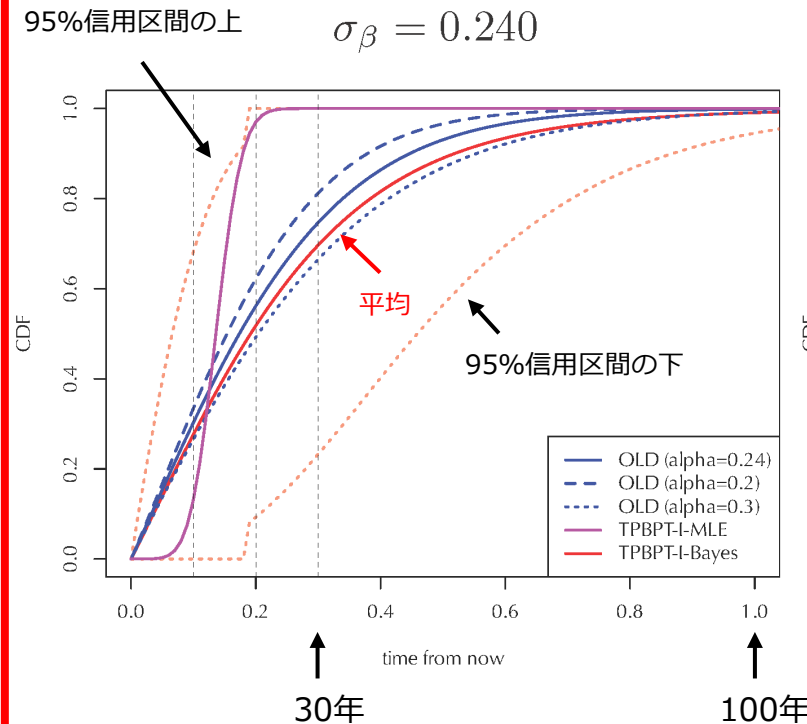
## ○ 次の地震発生確率の計算

2025年1月1日起点の30年確率  
平均：**70%**  
95%信用区間：**23.27%～100%**

## 推測結果

5

### ▶ 各時点での評価を可視化



## ○室津港の隆起量データについて

- ✓ 室津港の隆起量データの特徴・誤差の整理
- ✓ 室津港の隆起量データの確率分布による表現

史料・観測データに基づいて隆起量の  
不確実性（誤差）を評価し、確率分布  
として表現

不確実なデータを  
取り扱う枠組み

## ○隆起量データの誤差を考慮した時間予測モデルとBPTを融合したベイズ的計算方法

- ✓ すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル） と ベイズ推定 に基づいた新たな確率計算手法
- ✓ パラメータ  $\gamma$  の事前分布について → 発生間隔のばらつきに関する知見から
- ✓ パラメータ  $\beta$  の事前分布について →  $\beta$  の平均：隆起量（データ）から  
 $\beta$  の分散：プレート沈降モデル（地球物理学的知見）から

## ○報告書

- 「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」の一部改訂  
第三版ではなく、一部改訂としてまとめる  
すべり量依存BPTモデルとBPTモデルについて、主文に両論併記する方向で議論中
- 「長期的な地震発生確率の評価手法について」の追補  
すべり量依存BPTモデルとモンテカルロ法について、追補（別紙）としてまとめる

# 今後の予定

## ○室津港の隆起量データについて

- ✓ 室津港の隆起量データの特徴・誤差の整理
- ✓ 室津港の隆起量データの確率分布による表現

史料・観測データに基づいて隆起量の  
不確実性（誤差）を評価し、確率分布  
として表現

不確実なデータを  
取り扱う枠組み

## ○隆起量データの誤差を考慮した時間予測モデルとBPTを融合したベイズ的計算方法

- ✓ すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル） と ベイズ推定 に基づいた新たな確率計算手法
- ✓ パラメータ  $\gamma$  の事前分布について → 発生間隔のばらつきに関する知見から
- ✓ パラメータ  $\beta$  の事前分布について →  $\beta$  の平均：隆起量（データ）から  
 $\beta$  の分散：プレート沈降モデル（地球物理学的知見）から

## ○報告書

- 「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」の一部改訂  
第三版ではなく、一部改訂としてまとめる  
すべり量依存BPTモデルとBPTモデルについて、主文に両論併記する方向で議論中
- 「長期的な地震発生確率の評価手法について」の追補  
すべり量依存BPTモデルとモンテカルロ法について、追補（別紙）としてまとめる