

# すべり量依存BPTモデル（SSD-BPTモデル） に用いるパラメータ（ $\beta$ ）について

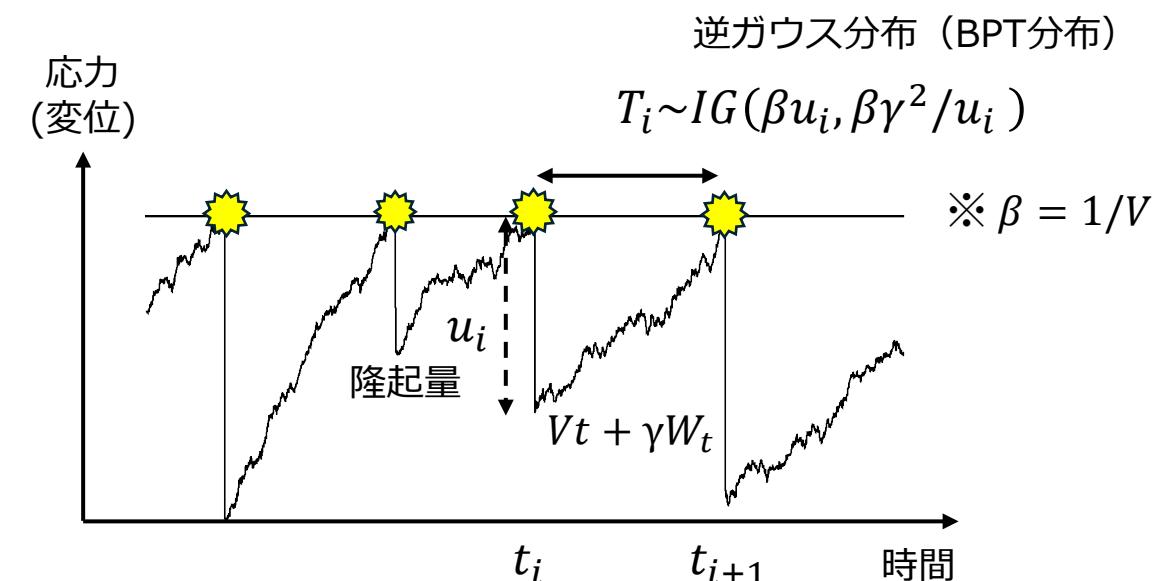
2025年3月18日  
文科省事務局

## βの事前分布についての議論（長手Ⅱ-6）

「長275海Ⅱ96長手Ⅱ7参考資料5-1」より

- $\beta$ はSSD-BPTモデルにおいて隆起速度Vの逆数。
- 現行の方法では、宝永・安政・昭和のデータから最尤推定で求めた  $\hat{\beta}_{MLE} \sim 0.8 \text{ hyr/m}$  の周りで事前分布を設計。
- 隆起速度  $V \sim 1.25 \text{ m/hyr} = 12.5 \text{ mm/yr}$  に相当。
- この $\beta$ の事前分布として、「地殻変動で観測されている沈降速度 ( $\sim 8 \text{ mm/yr}$ ) から事前分布を設計するべきではないか」という意見があった。
- また、室戸岬では永年隆起に伴う海岸段丘の形成が指摘されており(吉川ほか, 1964; 前杢, 2001等)、「永年隆起 ( $\sim 2 \text{ mm/yr}$ ) を考慮すべきではないか」という議論があった。
- **βの事前分布を観測沈降速度から設計すべきか？**
- **永年隆起速度を考慮すべきか？**

### すべり量依存BPTモデル (SSD-BPTモデル)



現行の  $\beta$  の事前分布設定 【長手Ⅱ2(2)】

$$\hat{\beta}_{MLE} = 0.7982 \text{ [hyr/m]} \rightarrow \beta \sim N(0.8, 0.05^2)$$

宝永地震・安政地震  
を用いた最尤推定値

# 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)

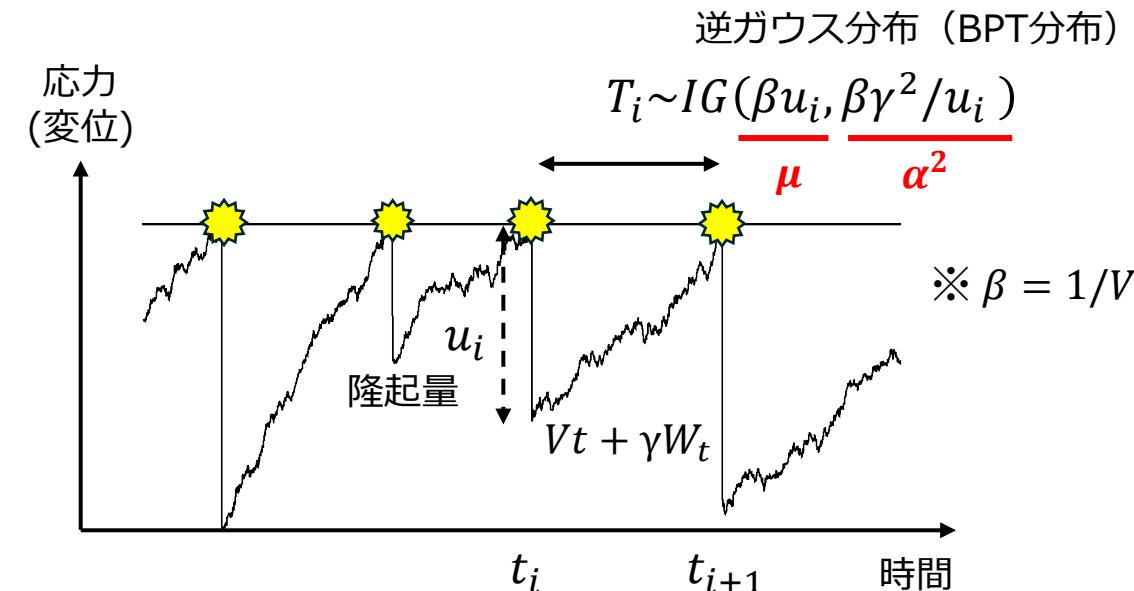
- 宝永・安政・昭和の隆起量について、誤差・不確実性を考慮した確率分布として設計

## • パラメータ $\gamma$ の事前分布の検討 (済)

- 周辺変動係数  $\alpha$  が  $0.2 \sim 0.4$  になるよう設計

## • パラメータ $\beta$ の事前分布の検討 ←今回

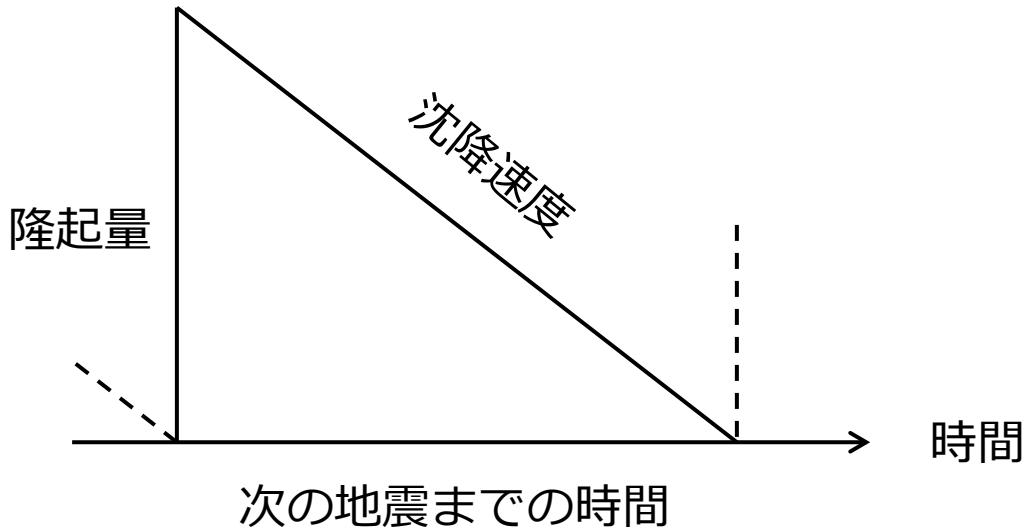
## すべり量依存BPTモデル (SSD-BPTモデル)



$\beta$  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。

# 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

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)

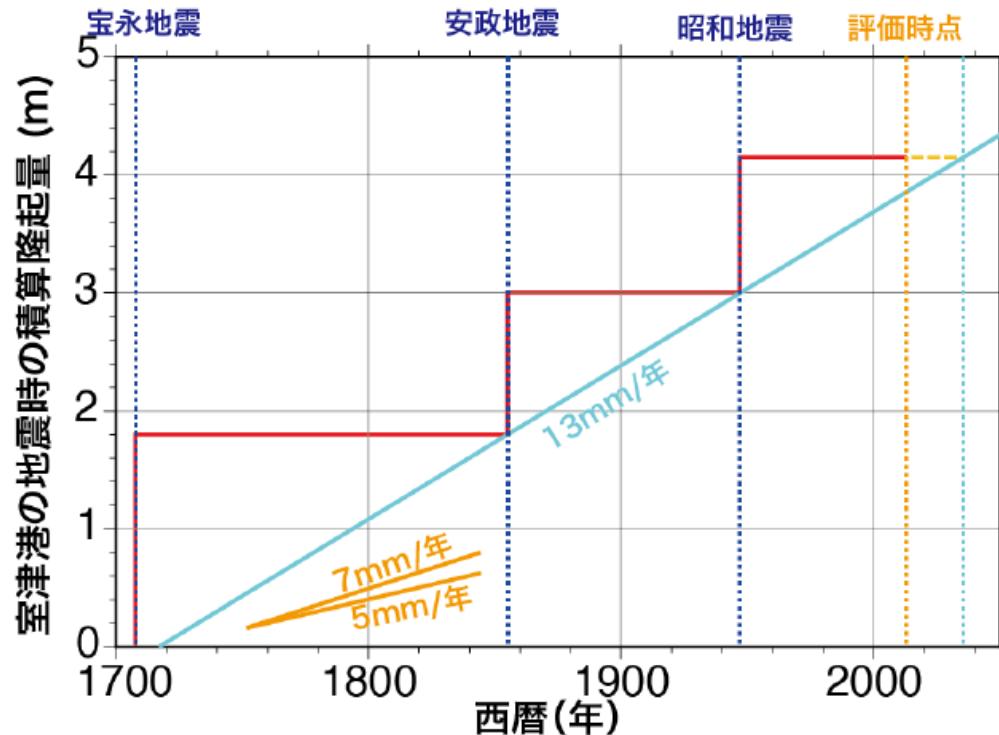
まずは観測データについて  
あらためて整理



「南海トラフの地震活動の長期評価（第二版）」より

# 隆起速度の観測データ

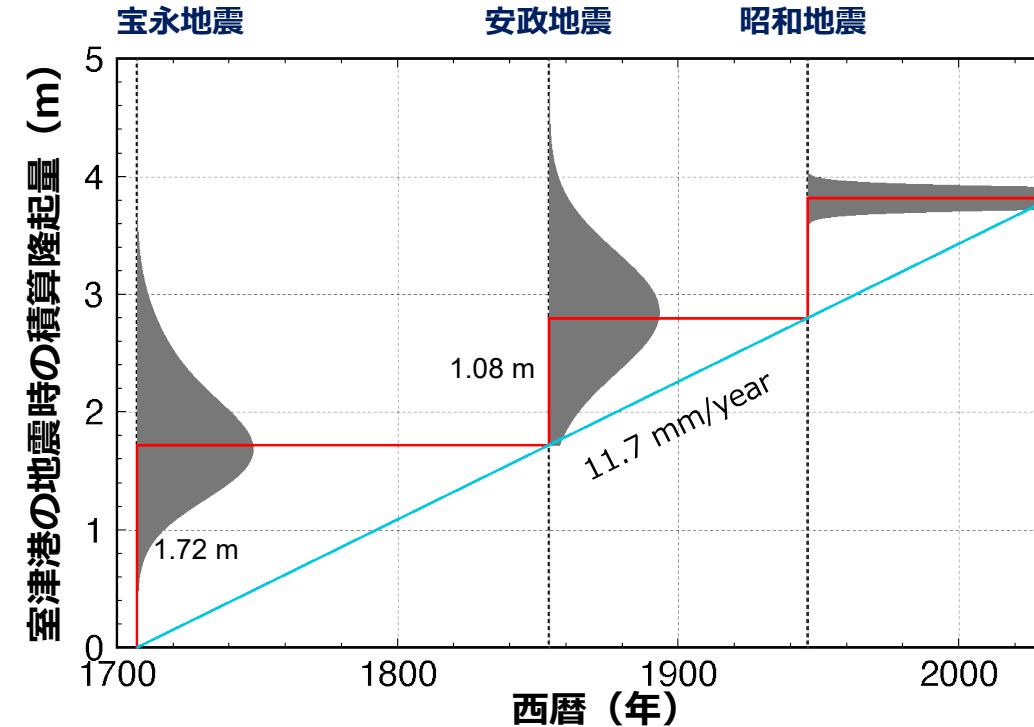
データの不確実性・誤差なし



「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



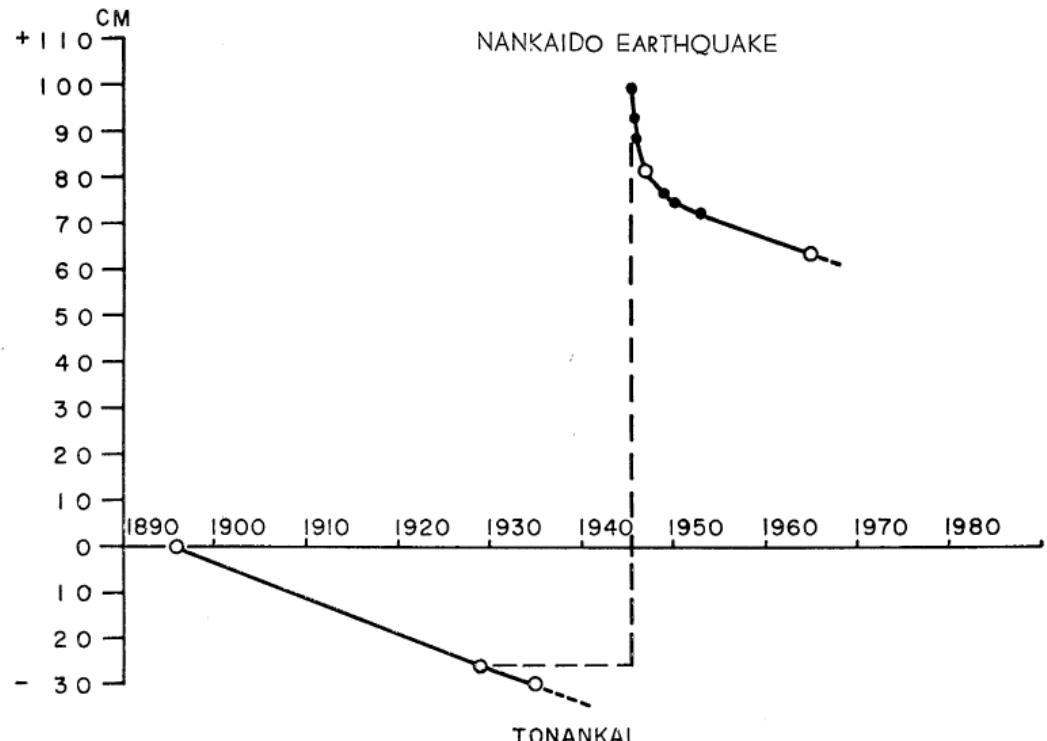
隆起量データの確率分布に基づく最尤推定（別紙1）

~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 ( $\gamma=0$ )

# 沈降速度の観測データ(1)：水準測量

室戸一安芸の経年変化

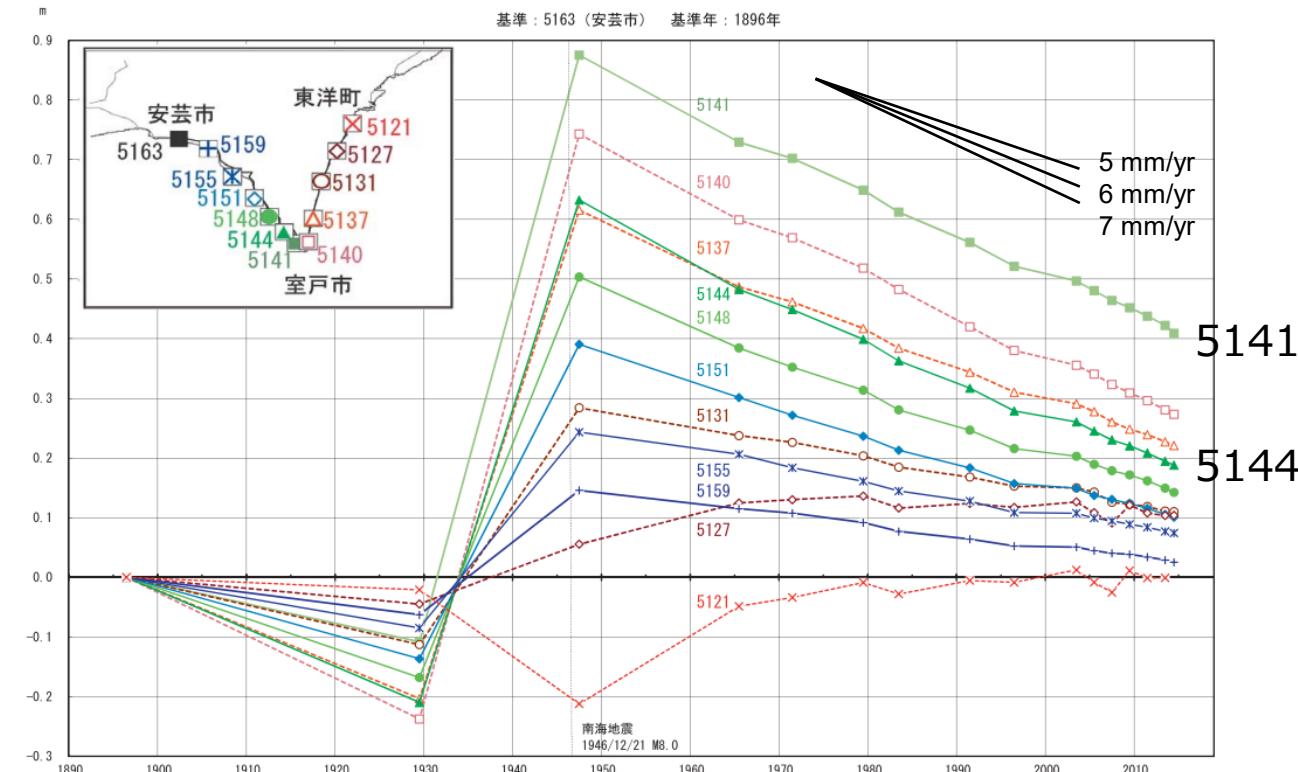


坪川 (1969)

**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

1896年を基準とした室戸地方の各水準点の経年変化（固定点：5163）

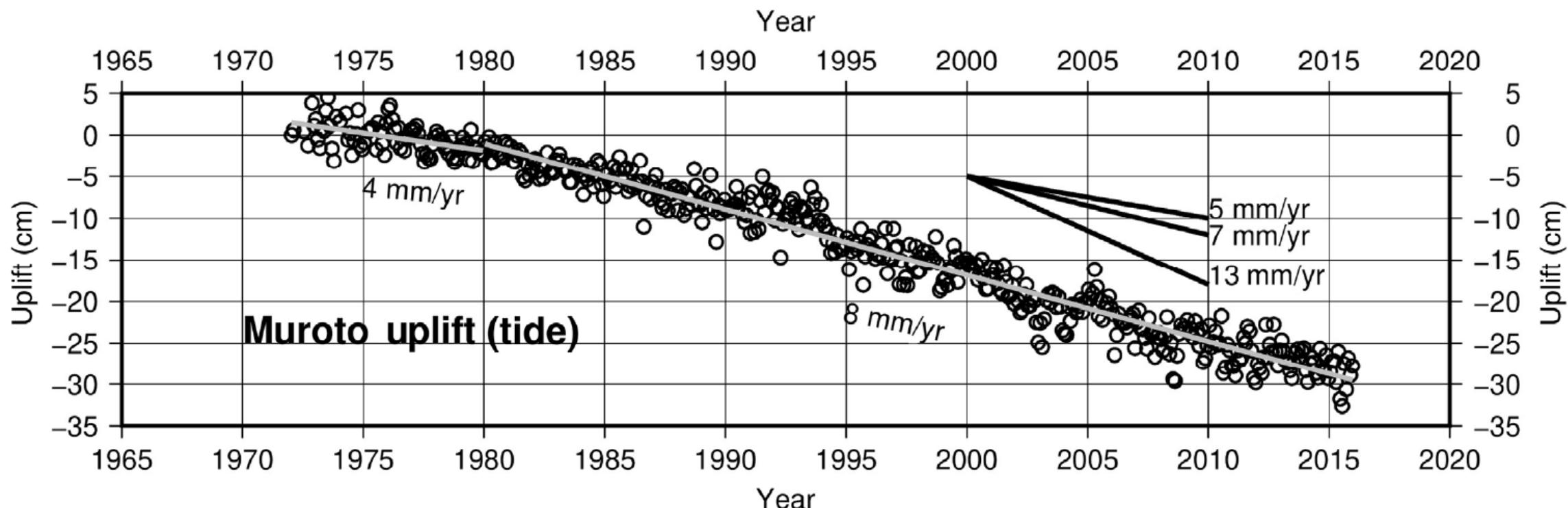


国土地理院 (2015)

**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

# 沈降速度の観測データ(2)：潮位



Hashimoto (2022)

## 1970年代～の潮位データ

～1980年：4 mm/yearの沈降（余効すべりの影響）

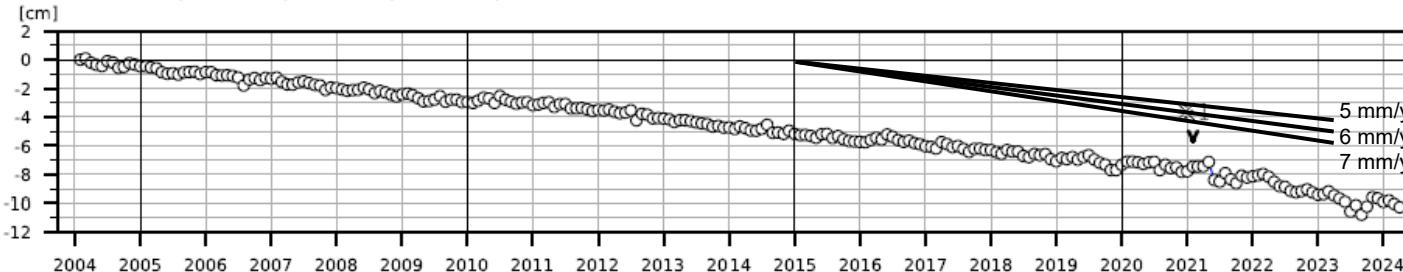
1980年～：8 mm/yearの沈降

~8 mm/year

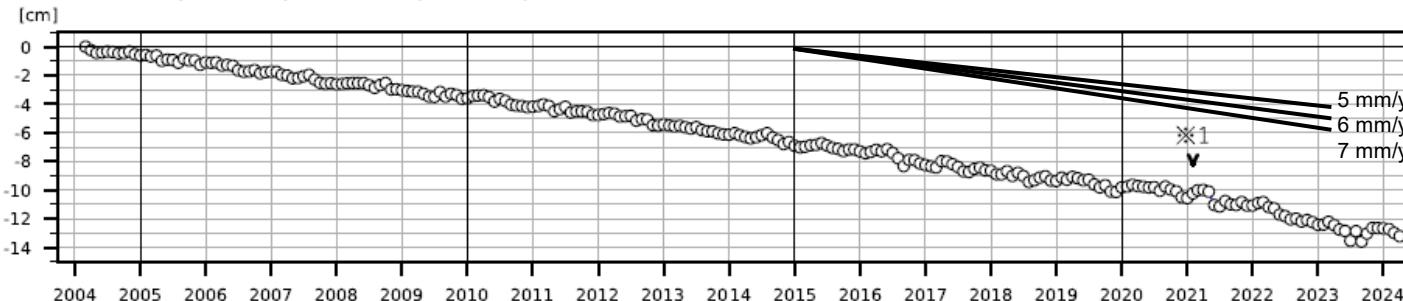
# 沈降速度の観測データ(3) : GNSS

室戸ー安芸の上下変動

(3) 安芸 (950442) - 室戸 (940082)



(4) 安芸 (950442) - 室戸 4 (031122)

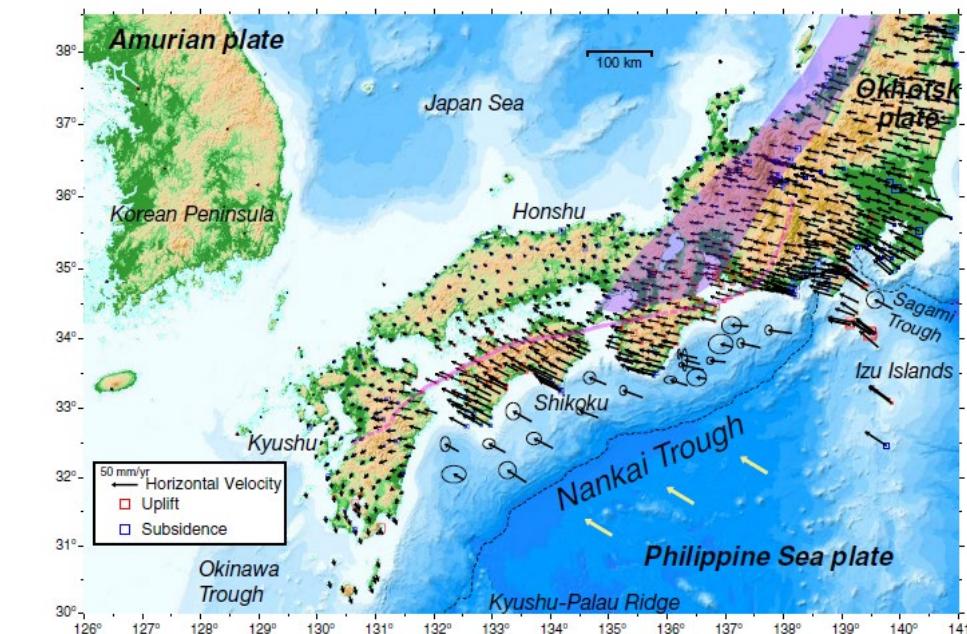


国土地理院 (2024)

2004~2024年のGNSSデータ  
5-7 mm/yearの沈降

~5-7 mm/year

ユーラシアプレートとの相対速度  
(ITRF2008基準)

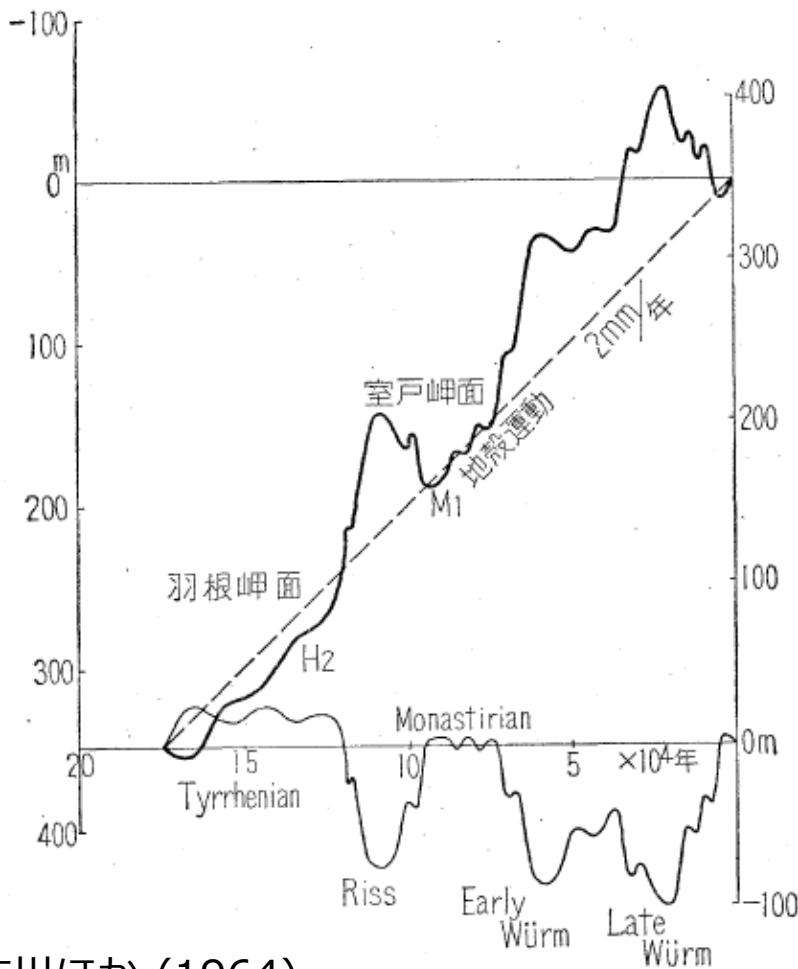


Nishimura et al. (2018)

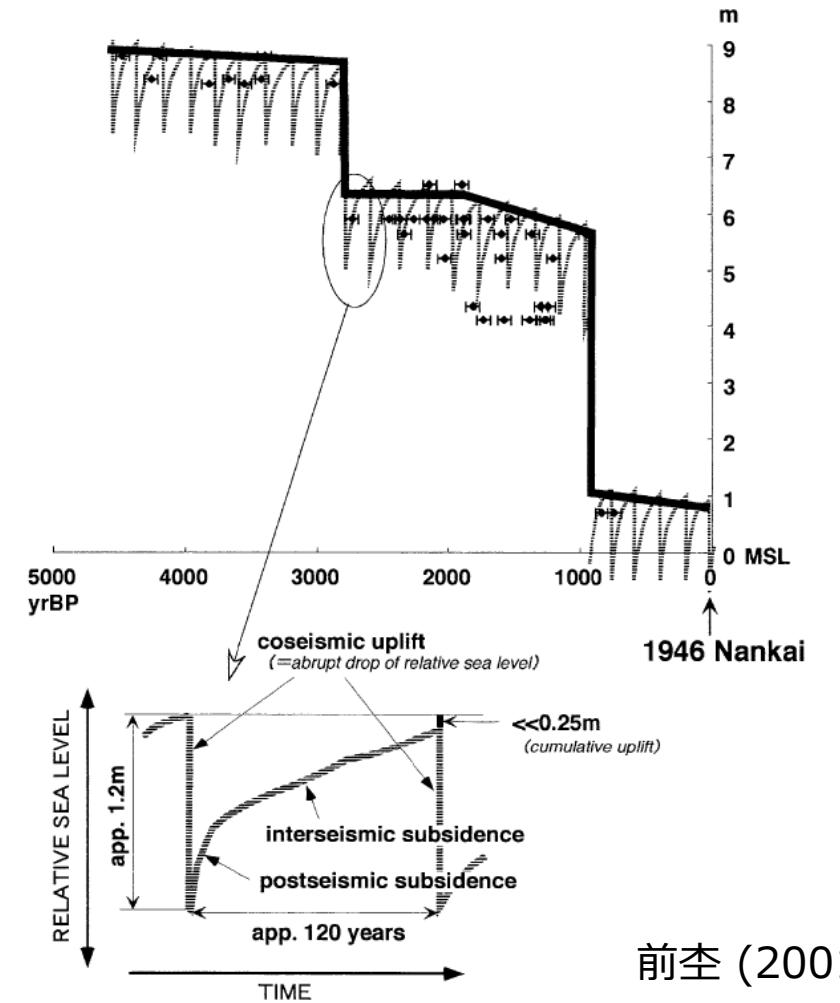
2005~2009年のGNSSデータ  
~5 mm/yearの沈降

~5 mm/year

# 沈降速度に影響を与える要因(1)：永年隆起



**海岸段丘の形成：プレート間地震による残留隆起**  
M1面（最終間氷期最盛期の段丘面）の高度180mから、  
180m/90ka（または125ka） = **1.4~2.0 mm/yr**



**海岸段丘の形成：海域活断層による地殻変動**  
生物遺骸の調査から、1000年～2000年に一度の間欠的な  
隆起。プレート間地震に関する永年隆起なし = **0 mm/yr**

# 沈降速度に影響を与える要因(2)：海面上昇

2025年2月17日 気象庁発表

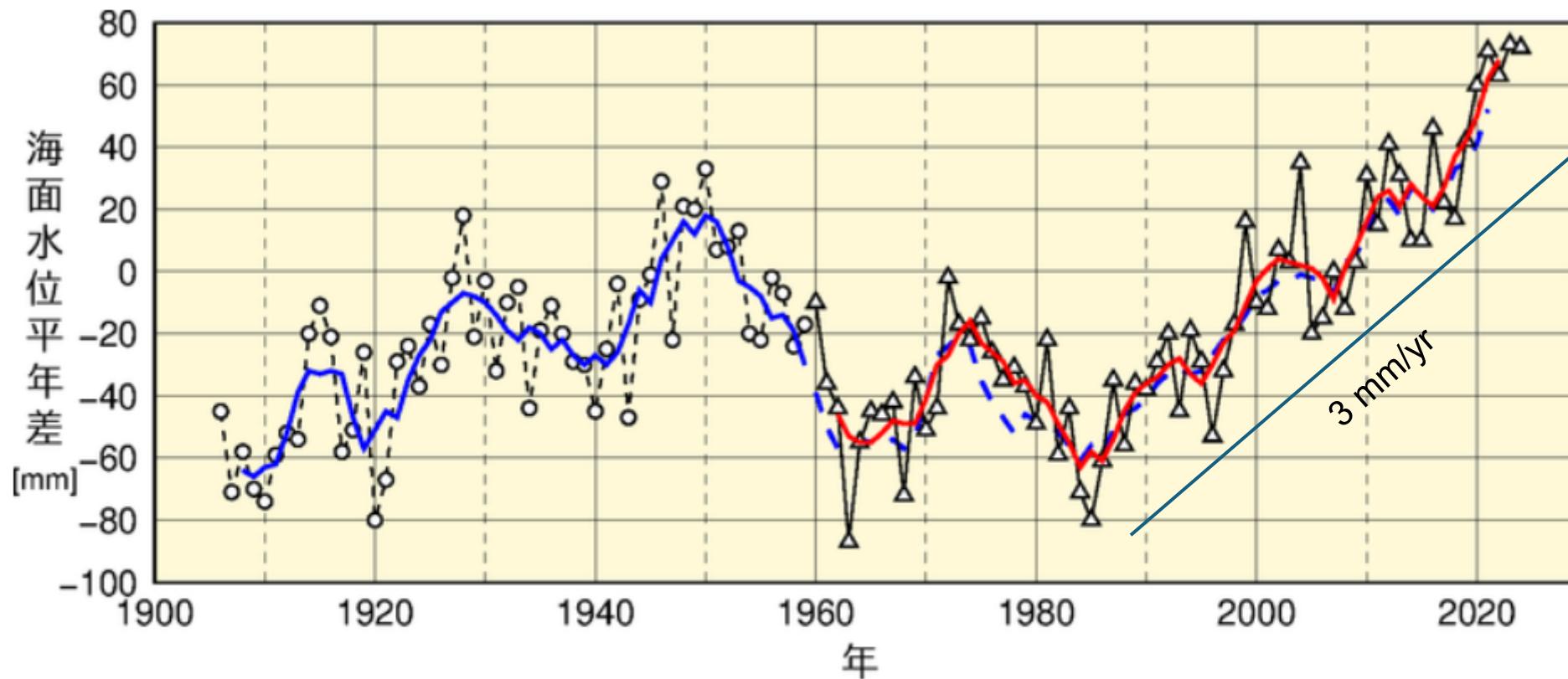


図1 日本沿岸の海面水位変化 (1906~2024年) Nakano et al. (2023)  
1991~2020年の平均を0としています。

○は4地点の、△は4海域の各年の平均海面水位を平均したもの、青線と赤線は○と△をさらに5年（前2年と当年と後2年）で平均したものです。

## 日本沿岸の海面変化 (1980~)

~3 mm/yrの海面上昇があったとすると、潮位データによる沈降速度から差し引く必要があります

# 沈降速度に影響を与える要因(3)：粘弾性緩和

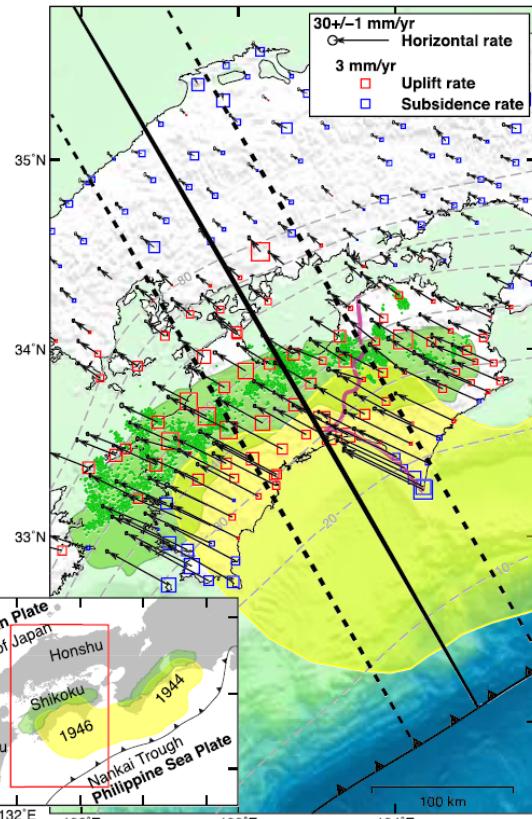
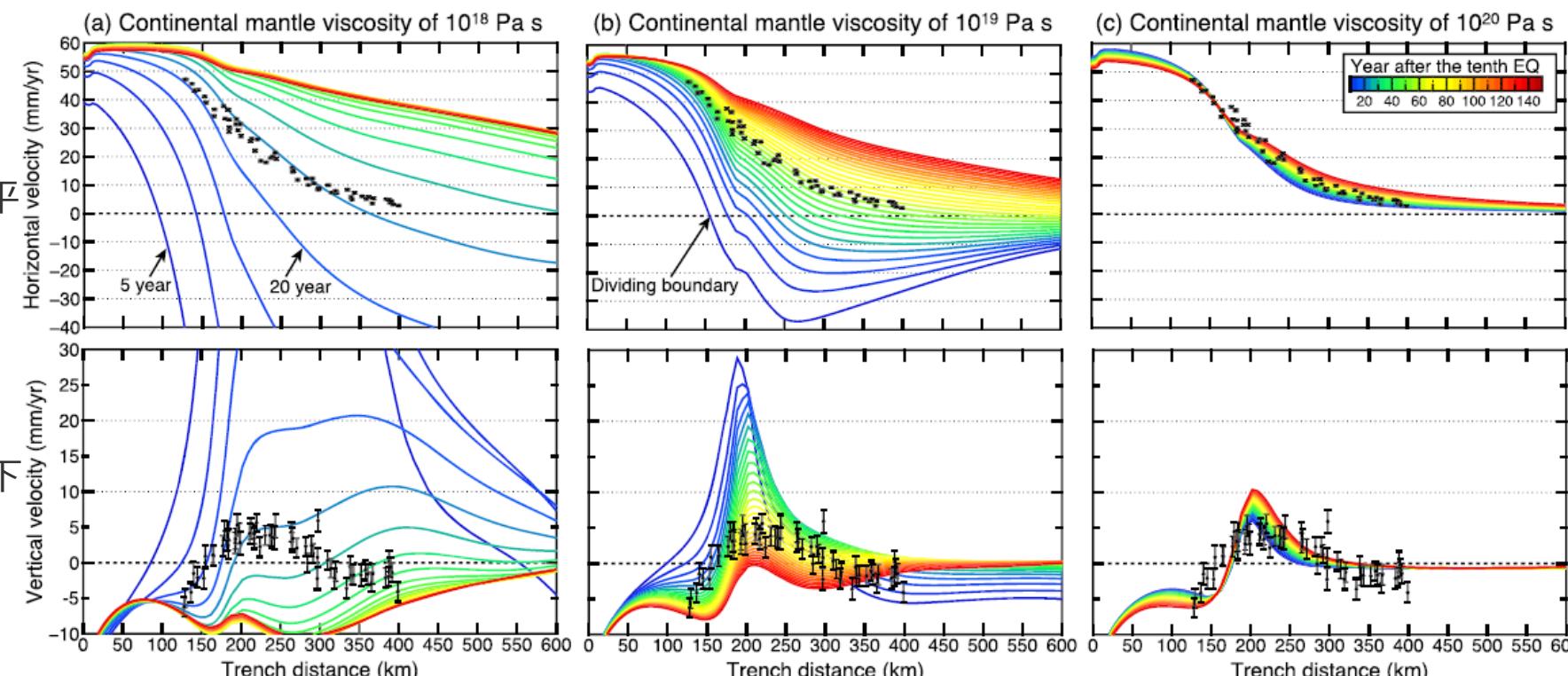
## 粘弾性緩和による沈降速度の変化

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



# 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

# 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

# $\beta$ 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 ( $V=5 \sim 10 \text{ mm/year}$ ) 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

$V = V_{\min} \sim V_{\max}$  を求め、 $\beta = 1/V_{\max} \sim 1/V_{\min}$  の幅を  $\pm 3\sigma$  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

# 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

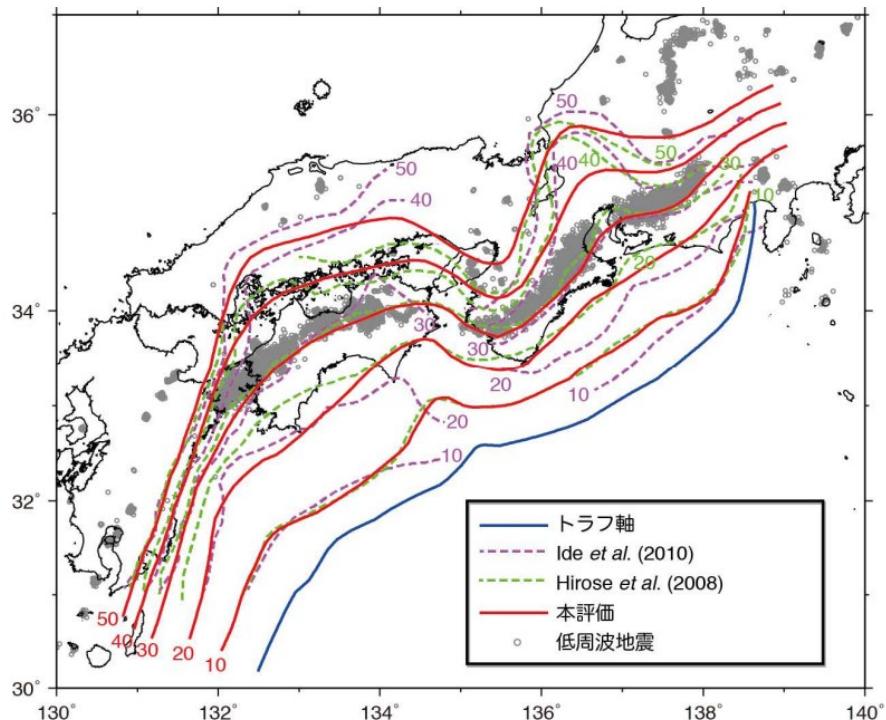


図 2-3 南海トラフから沈み込むフィリピン海プレートの上面深度

(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  
（20-30km等深線間）→ 10度  
（※室津港直下は20km等深線付近）

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。

# $\beta$ 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 ( $V=5 \sim 10 \text{ mm/year}$ ) 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

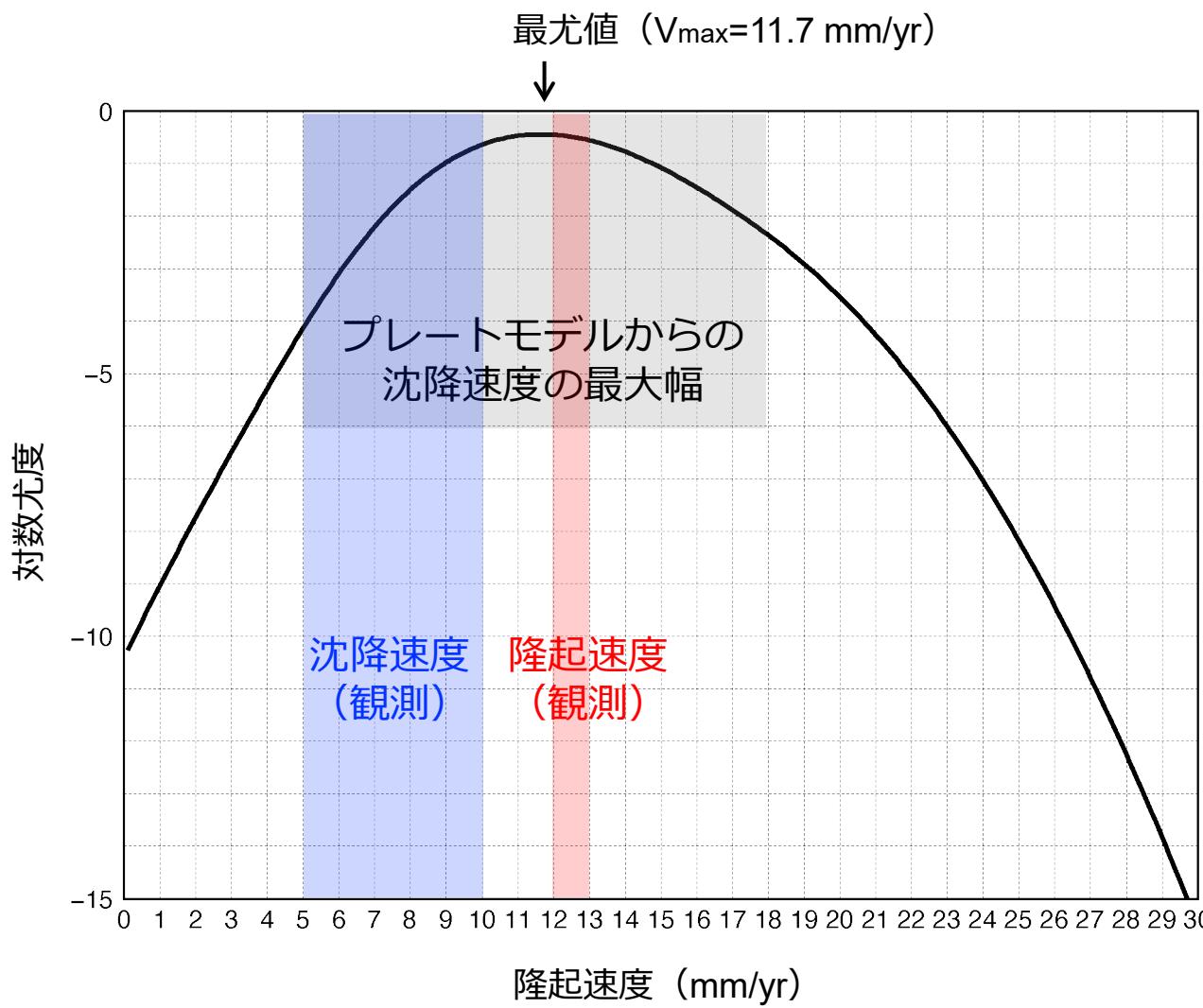
周辺尤度は分散に関しては発散してしまうので、

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

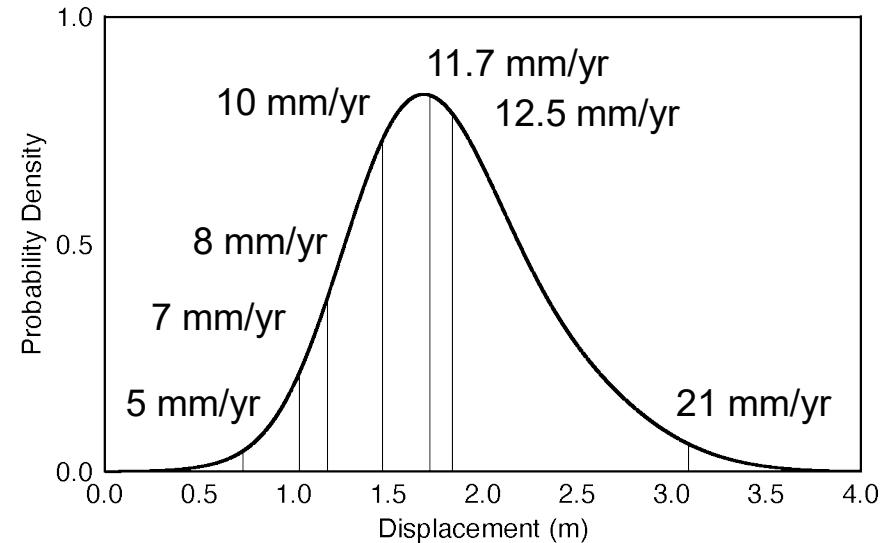
$\beta = 0.56 \sim 2$  ( $V = 5 \sim 18 \text{ mm/year}$ 相当) として、この幅を  $\pm 3\sigma$  とする  
 $\rightarrow \sigma_\beta = 0.24 \rightarrow$  確率計算へ

# 隆起速度と尤度の関係 (データの不確実性を考慮、 $\gamma=0$ )

(別紙 1)



宝永地震の隆起量確率分布 (宝永～安政：147年)



安政地震の隆起量確率分布 (安政～昭和：92年)

