

**A Dislocation Model  
of  
Strain Accumulation and Release  
at  
a Subduction Zone**

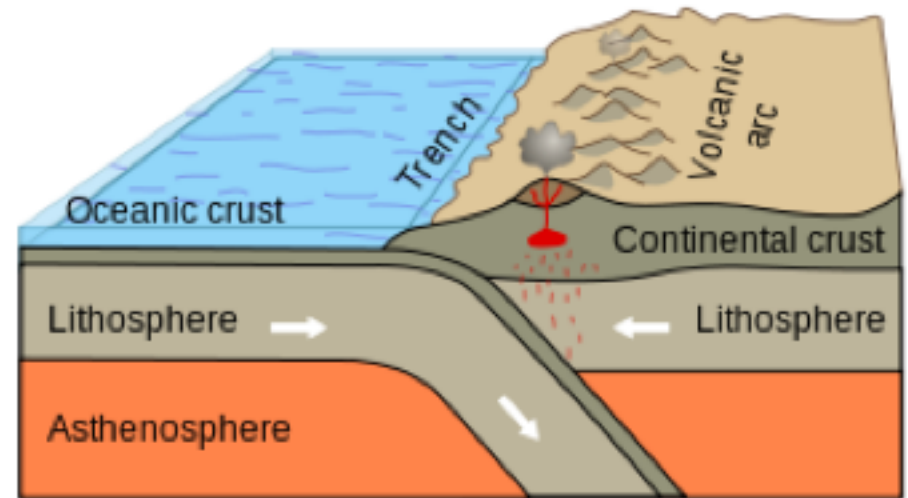
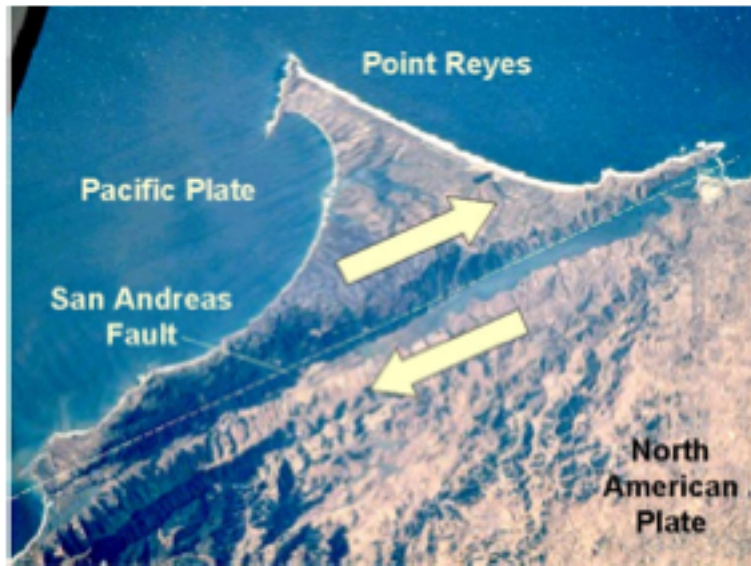
**J. C. SAVAGE**

5/2 地震発生論セミナー予告  
波多野研D2佐藤

# アブストラクト

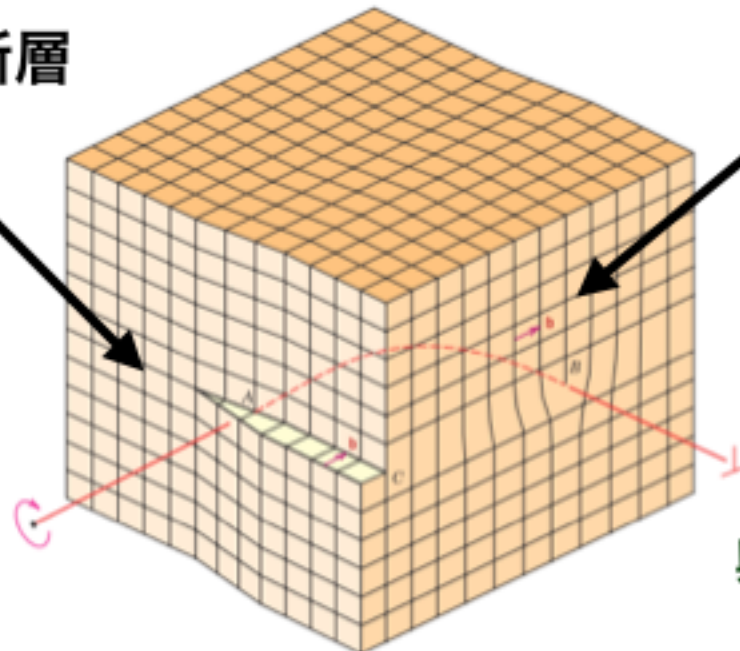
- ・ **導入:**沈み込み帯の地震サイクルを記述したい
- ・ **手法:**系の運動を定常ローディングに対する衝上断層の応答(stick-slip)として定式化
- ・ **結果:**半平面弾性体(A)と線形粘弾性体(B)での歪の具体形
- ・ **議論:**
  - ・ 1.従来モデルに対して近地の振る舞いをよく記述
  - ・ 2.観測との比較1:観測はモデルBというよりモデルA的.
  - ・ 3.観測との比較2:隆起量が全然説明できない(できると言っていた先行研究は仮定がおかしい)

# 導入 地震の転位モデル



## トランスフォーム断層

滑り方向に一様  
(2次元化すると)  
面外滑り(螺旋転位)  
(破壊ではモードIII)  
先行研究[Savage  
Burford 1973]



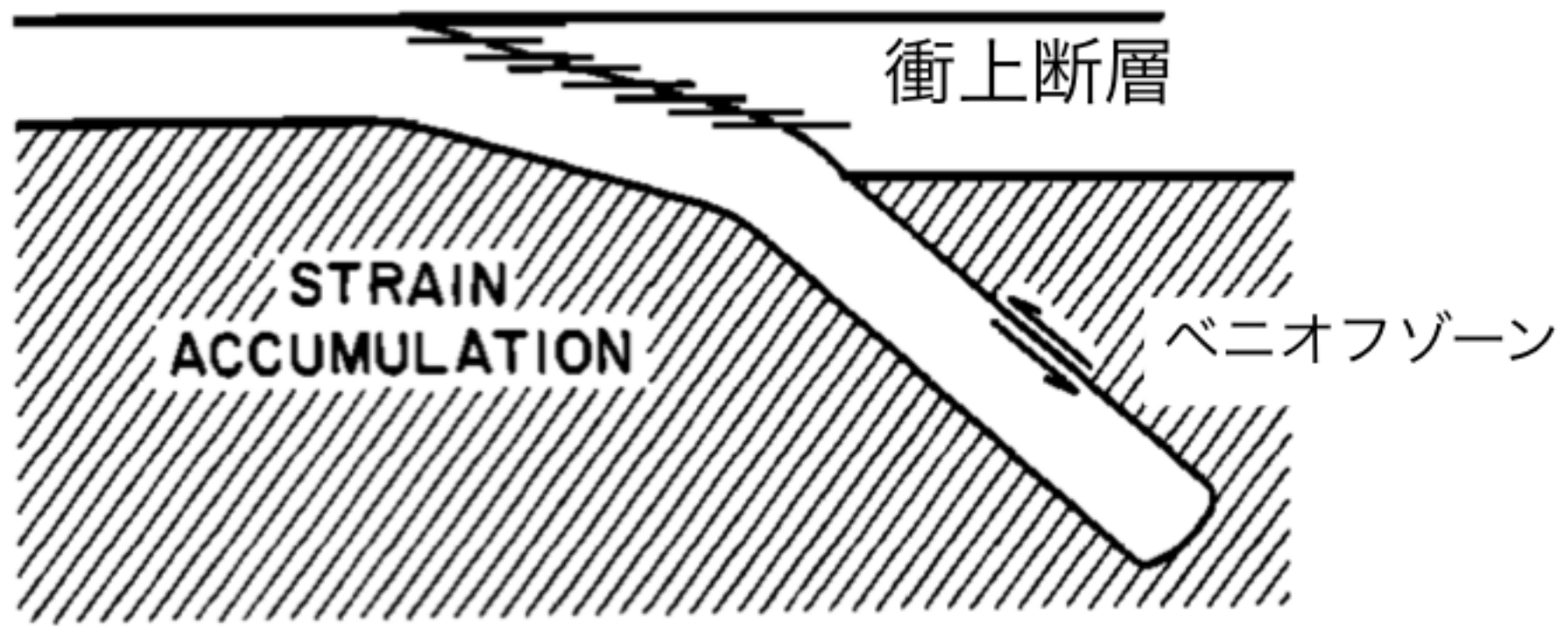
## 沈み込み帯

滑り方向に非一様  
(2次元化すると)  
面内滑り(刃状転位)  
(破壊ではモードII)

今回はこちら。

興味はco, post-seismic

# 導入 沈み込み帯



## 浅いところ

深さ < 40km  
dip ~ 10°  
stick slip 的  
プレート間地震

## 深いところ

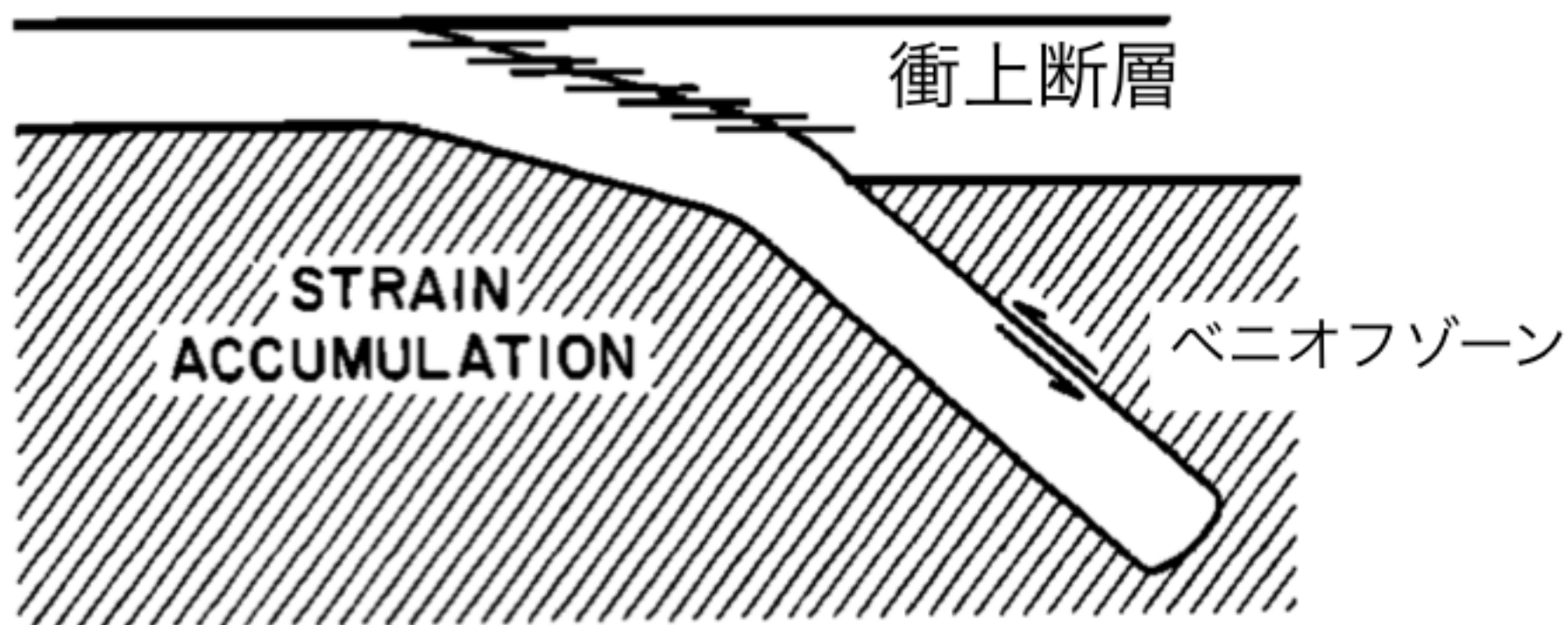
深さ > 40km  
dip ~ 30°  
安定的な滑り  
プレート内地震

浅いところだけスリップ

参考文献

Davies House 1979, Yoshi 1979

# 導入 設定の簡略化



## 浅いところ

全体で同じ滑り方  
大きい地震だけ考慮  
(あと周期的)

## 深いところ

安定的な滑り

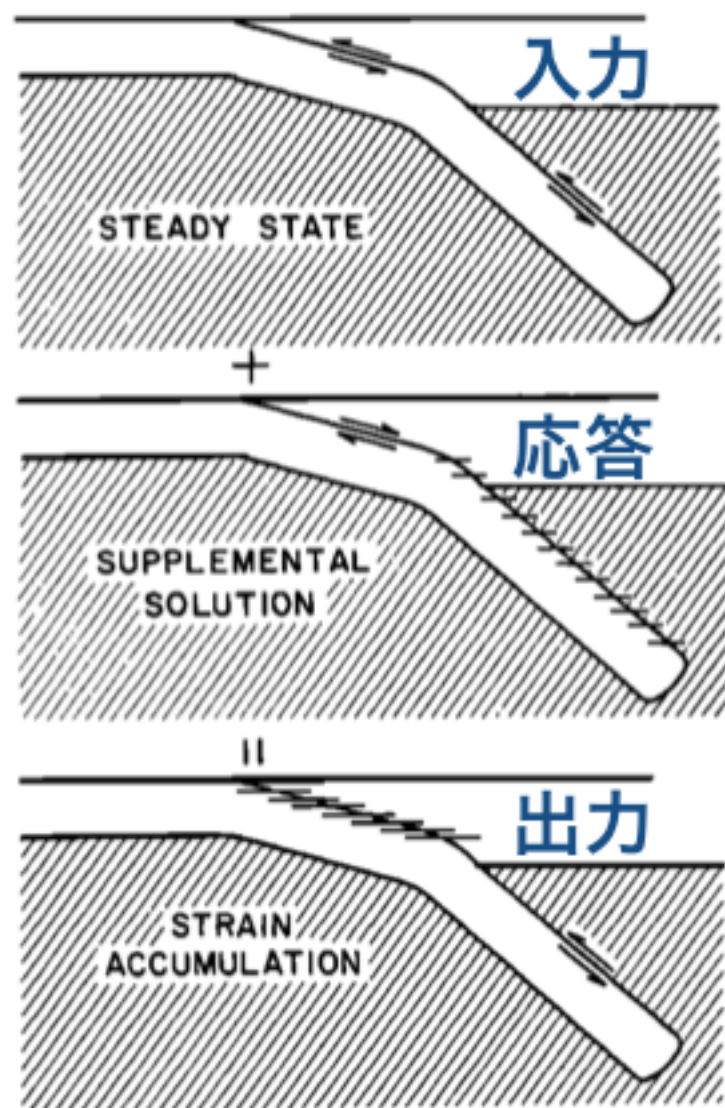
観測で見られる  
複数セグメントや  
パッチのことは  
今は無視

参考文献

Kawakatsu Seno 1983

# 転位モデル:

観測される変数が2つの量からなると考える



設定を次のように捉え直す

**入力**

(ローディング:定常滑り)

+

**応答**

(衝上断層のstick-slip)

=

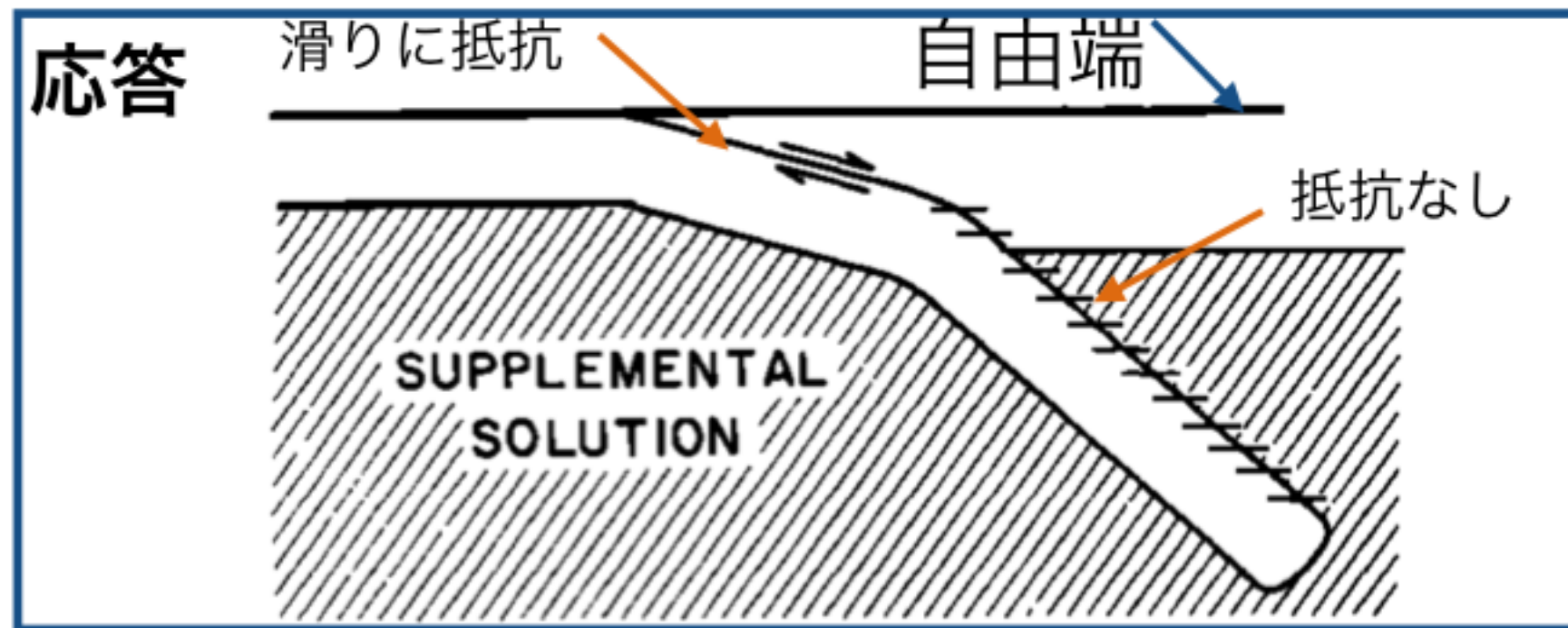
**出力**(実際に起こること)

重ね合わせができる=線形

# 転位モデル:

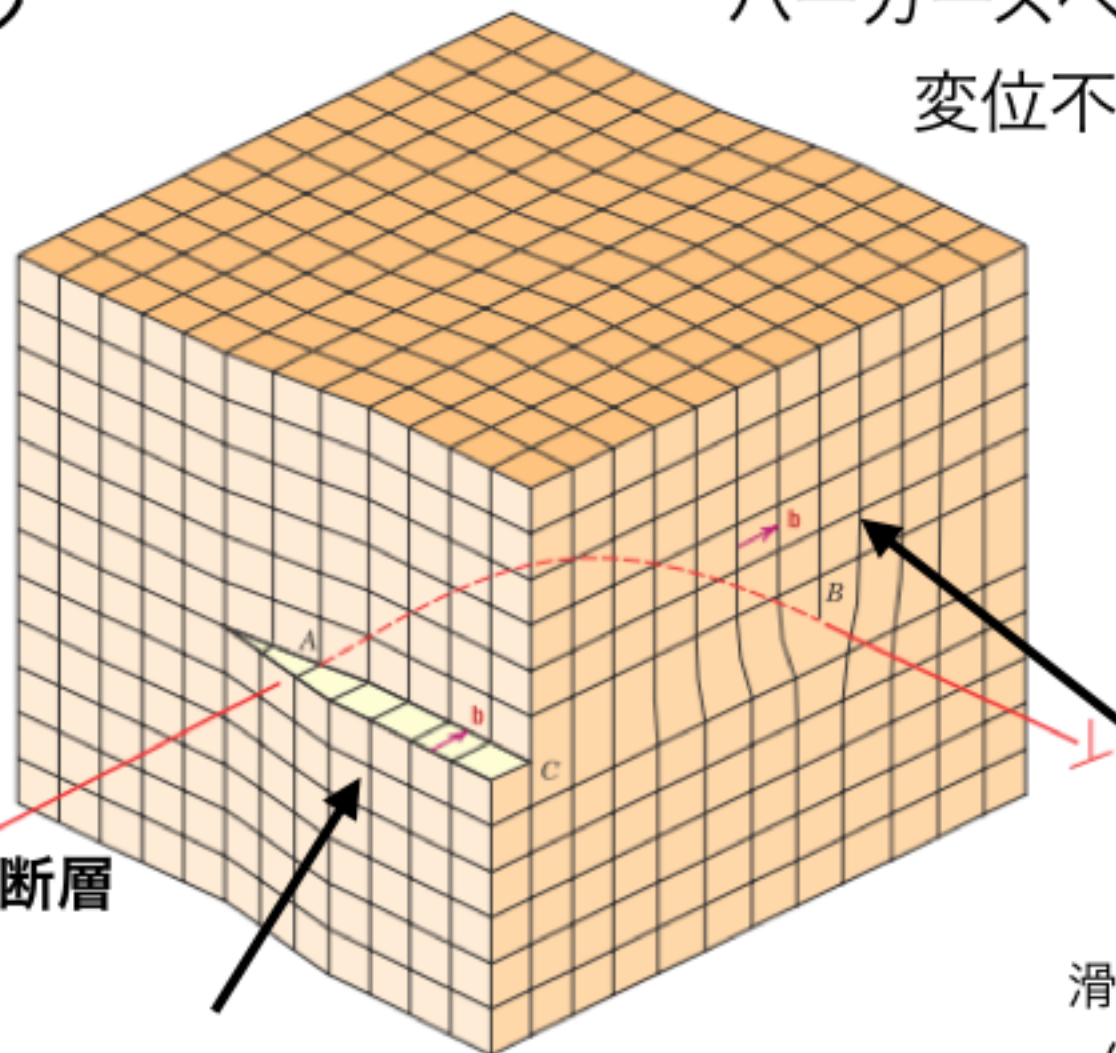
## 応答を転位理論で定式化

- ・ 転位問題:境界条件でひずみを指定
- ・ いつもはスティックして、スリップするとひずみ解放



# 転位セアル

バーガースベクトルとは  
変位不連続のこと



## トランスフォーム断層

滑り方向に一様  
(2次元化すると)  
面外滑り(螺旋転位)  
(破壊ではモードIII)  
バーガースベクトルは  
面外向き

## 沈み込み帯

滑り方向に非一様  
(2次元化すると)  
面内滑り(刃状転位)  
(破壊ではモードII)  
バーガースベクトルは  
面内向き

www.studyblue.com



# 結果1:モデル1/2:半平面弾性体

解(Mura 1968, Freund Barnett 1976)

ひずみ

$$e_{xx} = (2b_x/\pi) s \sin \alpha (s - x \cos \alpha) (x - s \cos \alpha)/D^4$$

$$e_{xy} = (b_y s \sin \alpha) / (2\pi D^2)$$

$$D^2 = x^2 + s^2 - 2xs \cos \alpha$$

垂直変位

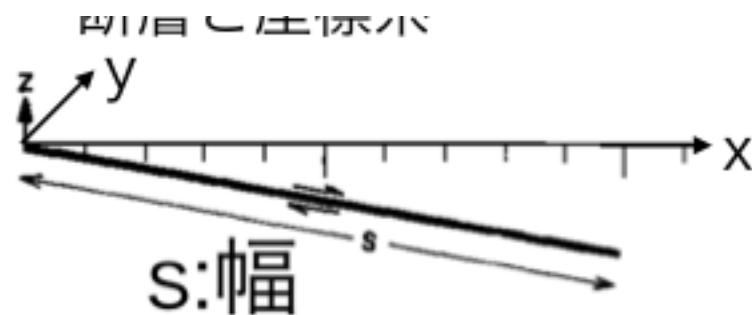
$$w = (b_x \sin \alpha / \pi) \left\{ (xs \sin \alpha) / D^2 + \tan^{-1} [(x - s \cos \alpha) / (s \sin \alpha)] - \pi/2 \right\} \quad x > 0$$

$$x = s / \cos \alpha \quad w_{\max} = (b_x / \pi) [\cos \alpha + (\alpha - \pi/2) \sin \alpha]$$

バーガースベクトル(地震が起きるとリセット)

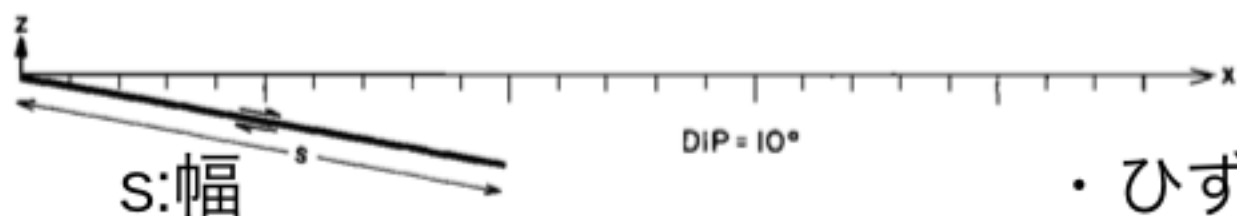
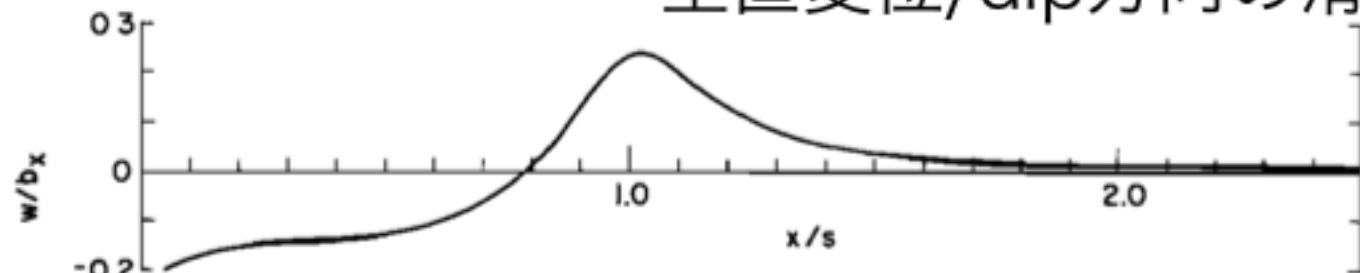
$$b_i = B_i (t - nT) \quad nT < t < (n+1)T$$

永年歪みなしの固有地震



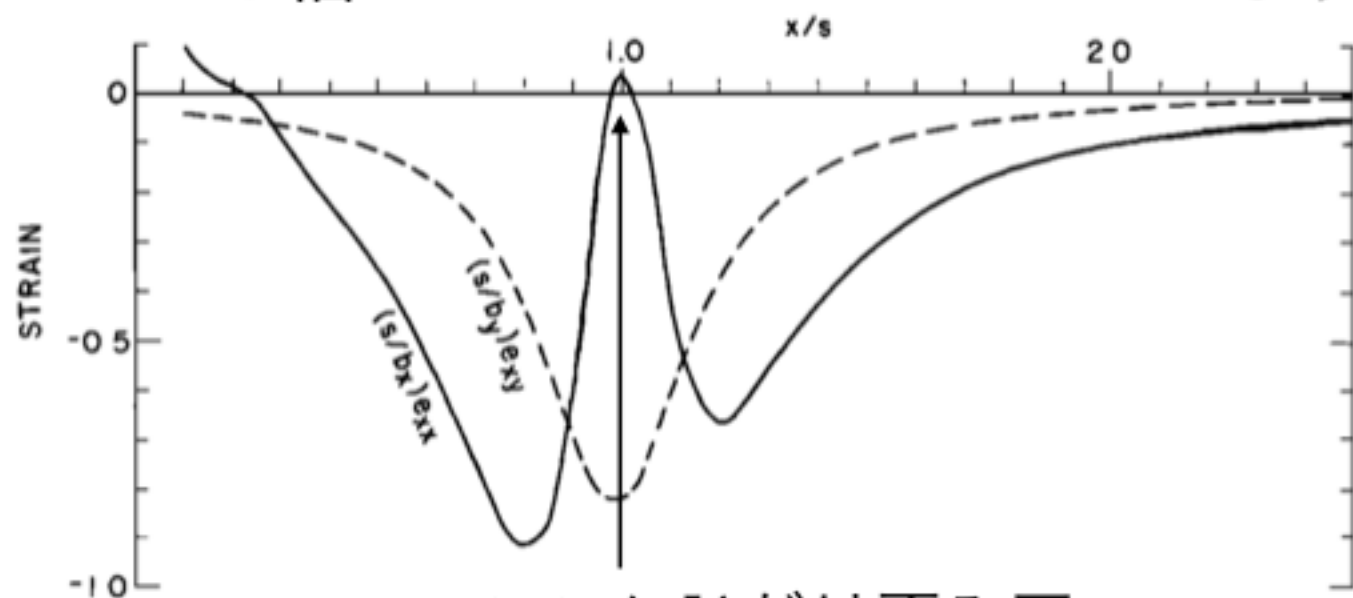
# 結果1:モデル1/2:半平面弾性体

・ 垂直変位/dip方向の滑り vs 規格化距離



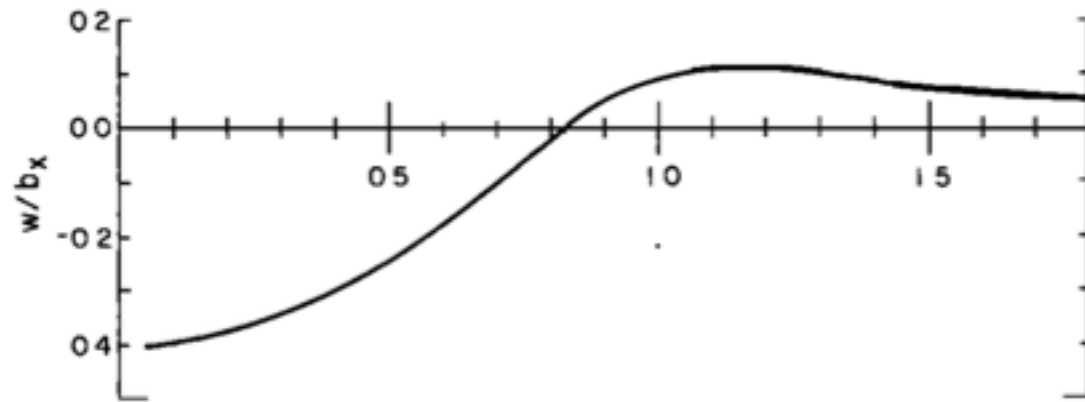
・ 幾何

・ ひずみ vs 規格化距離

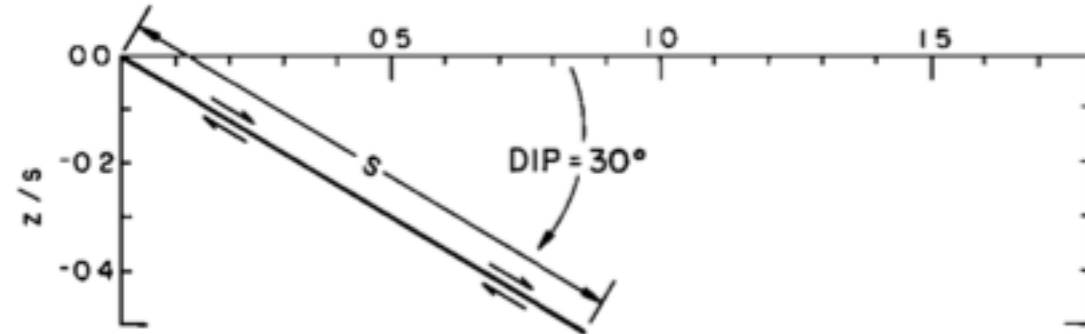


ここ(~1)だけ歪み正

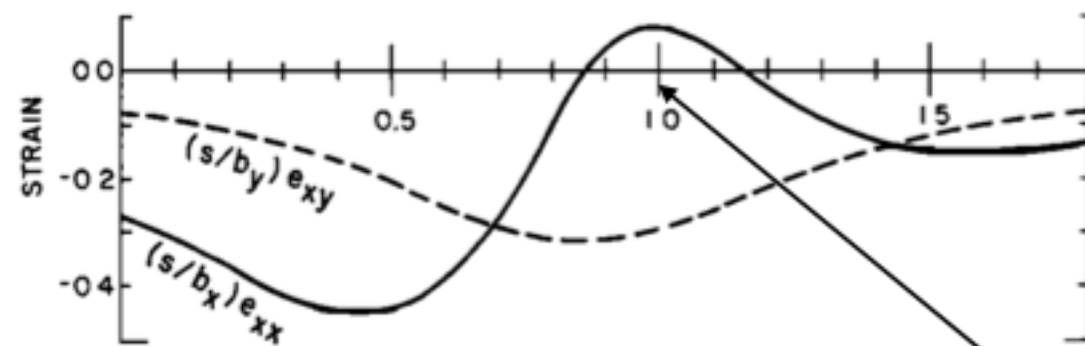
結果1:セアトル1/2:半平面弾性体 (dip増加させた時)



・ 垂直変位/dip方向の滑り  
VS  
規格化距離



・ 幾何



・ ひずみ vs 規格化距離

Fig. 3. Same as Figure 2 except main thrust zone dip is 30°.

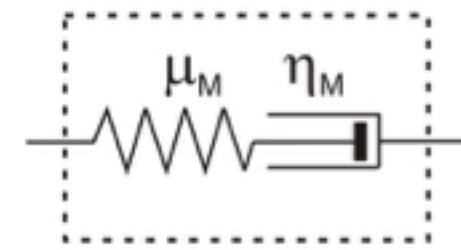
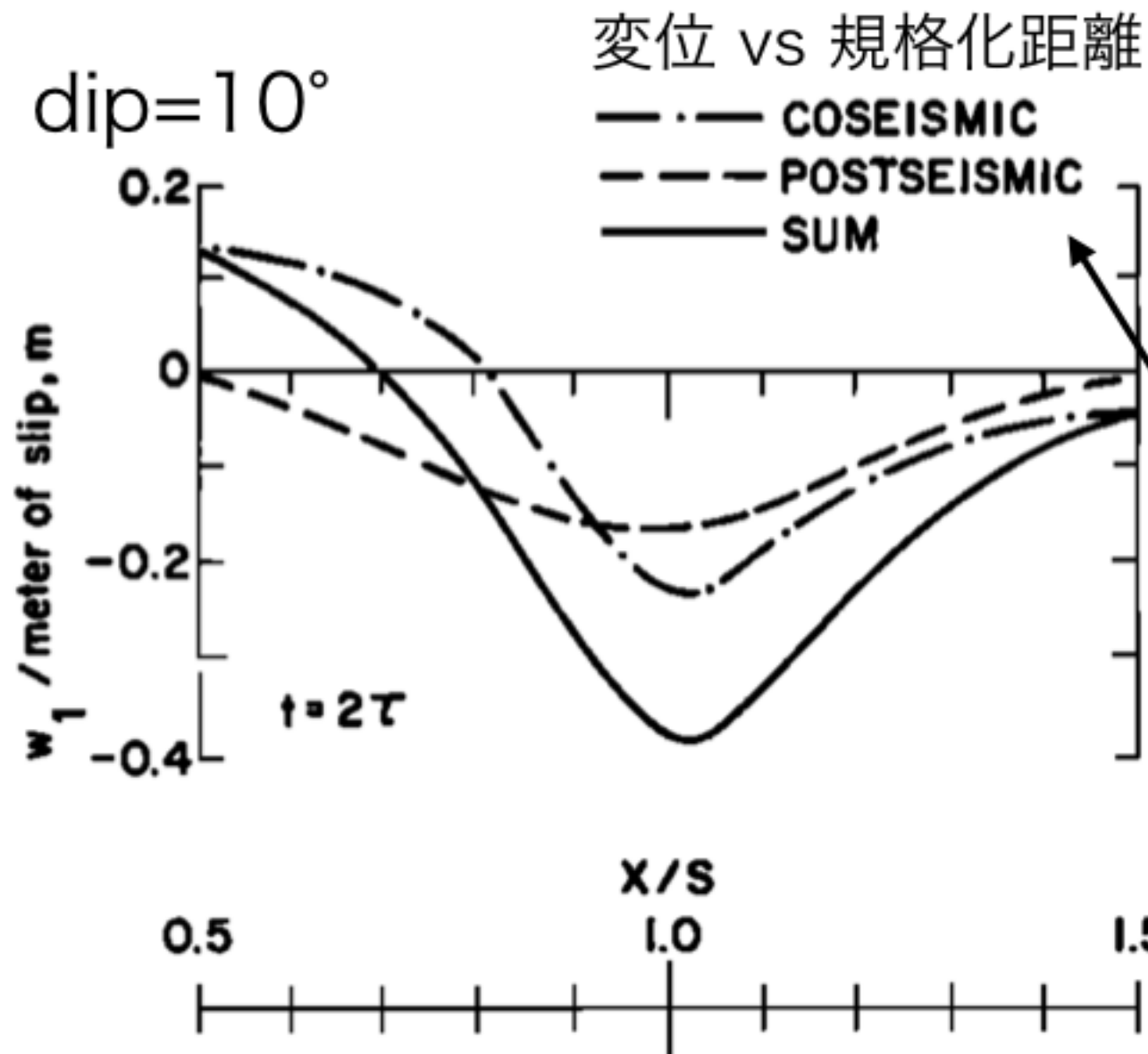
ここ(~0.8)だけ歪み正

仮定: 永年歪みなしのT周期関数(固有地震的)

$$w(x, T) = w(x, 0) = 0$$

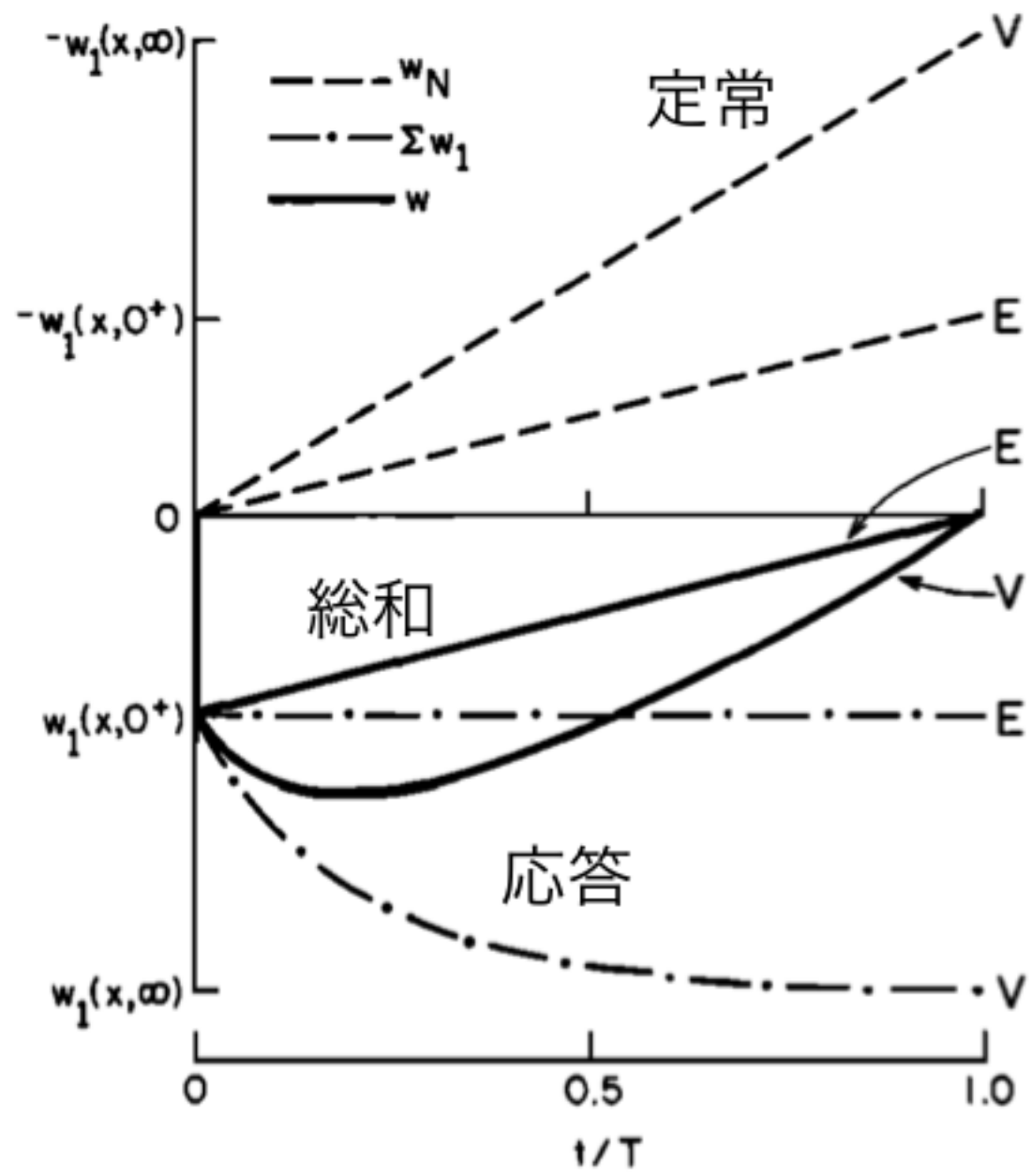
のときの歪みの関数形  $w_1$ : 地震イベントに対する応答

$$w(x, t) = -w_1(x, \infty) t/T + w_1(x, t) + \sum_{n=1}^{\infty} [w_1(x, t + nT) - w_1(x, nT)] \quad 0 < t < T$$



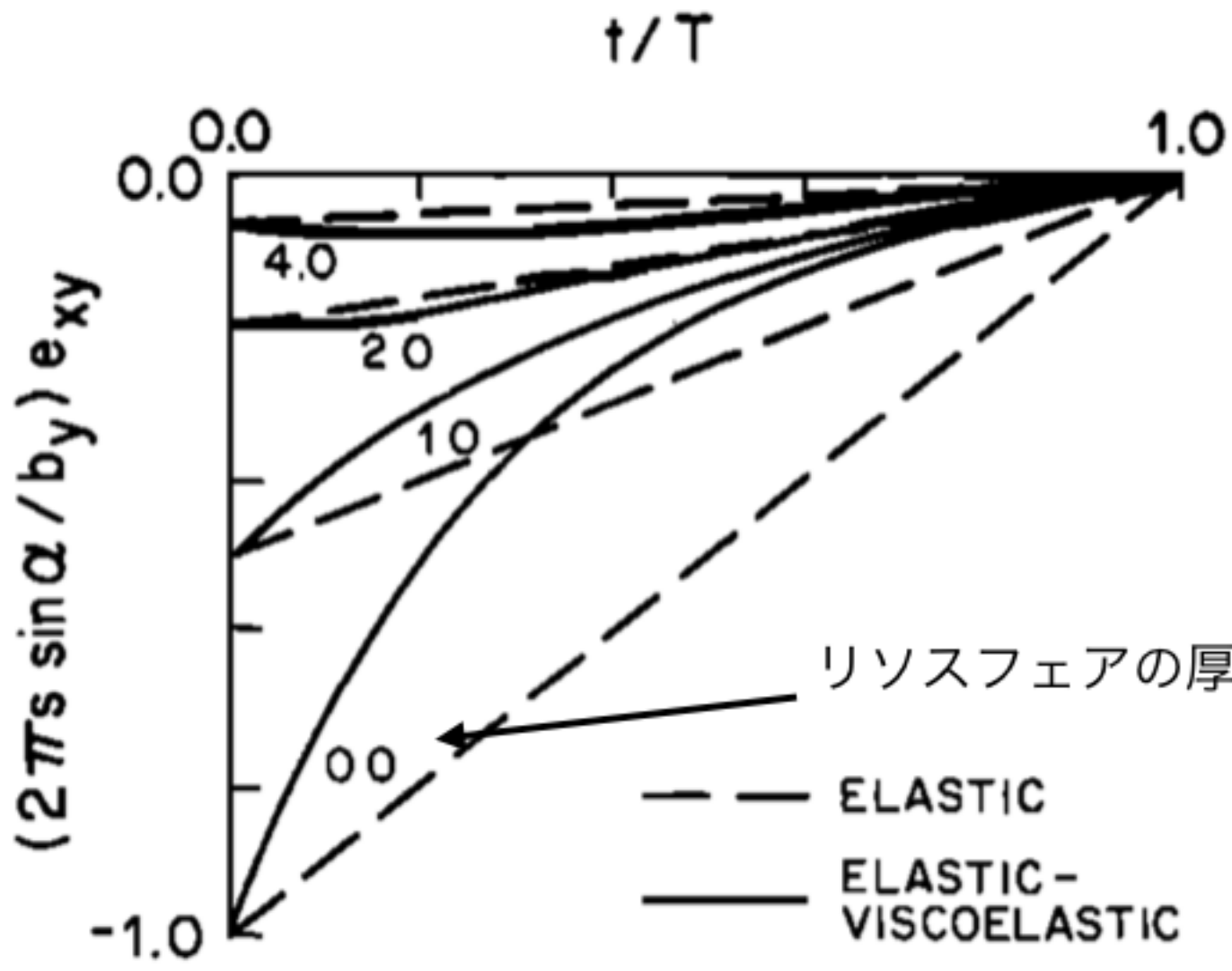
Maxwell fluid  
 $\tau_M = \eta_M / \mu_M$

変位に時間遅れ



弾性論は余効すべりなし  
弾性論は線形な回復

結果3:弾性ありとの比較(ひずみ)

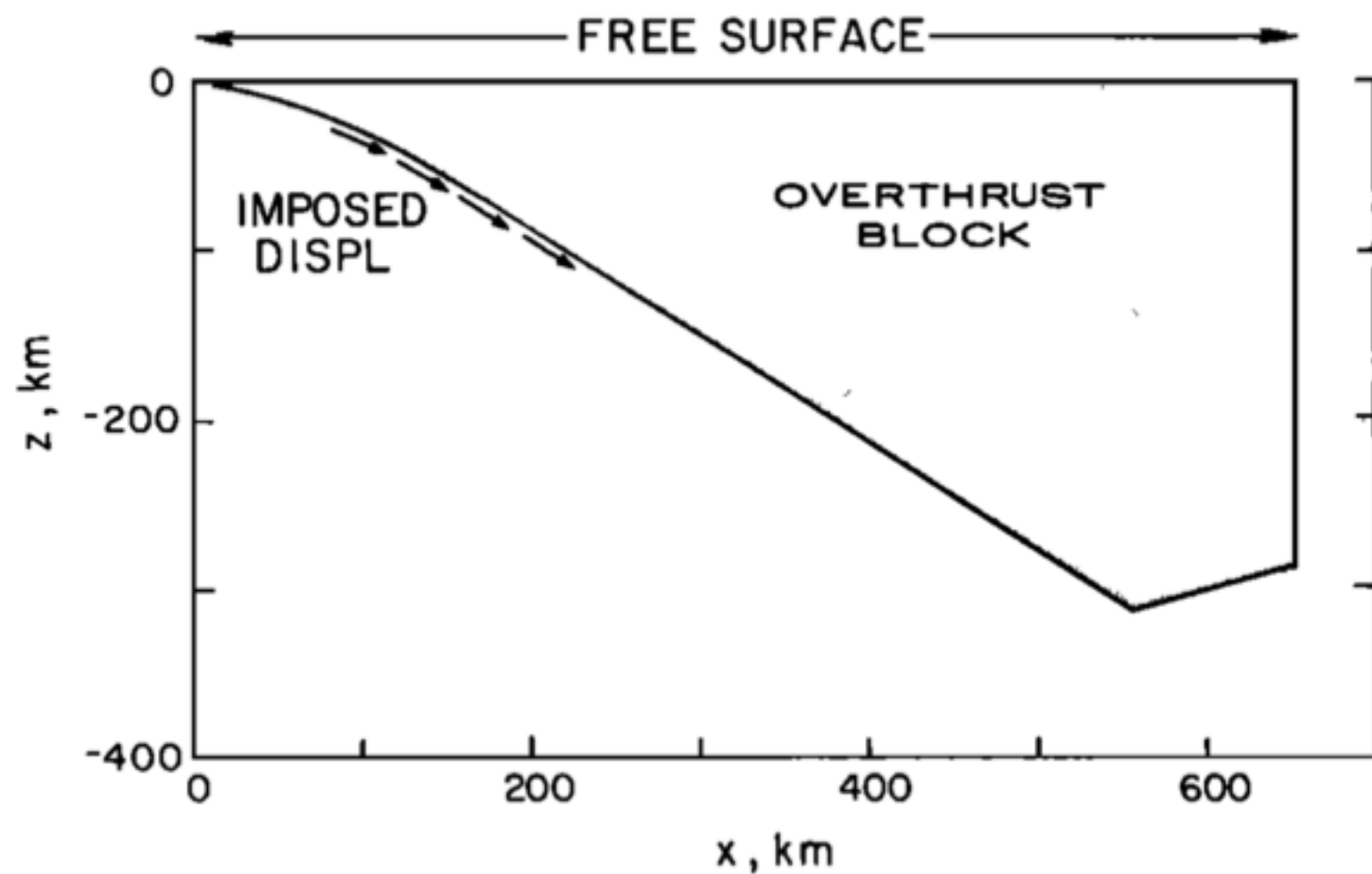


リソスフェアの厚みで規格化した距離

長時間でずれが顕著になる

議論1: 先行研究モデルとの比較

## drag model



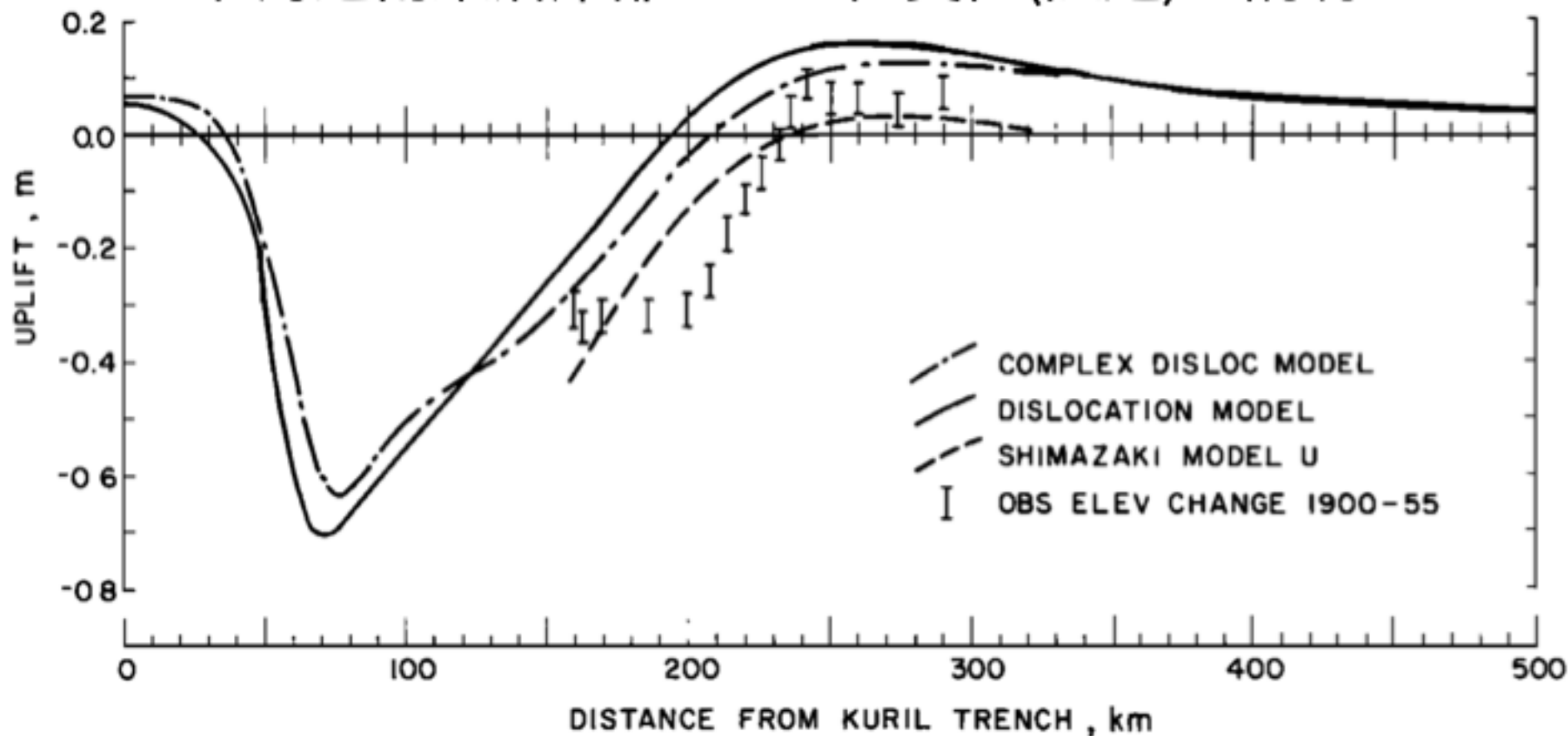
Shimazaki 1974a 境界で変位(drag)を指定

議論1:先行研究モデルとの比較



# 隆起量についてdrag modelと比較

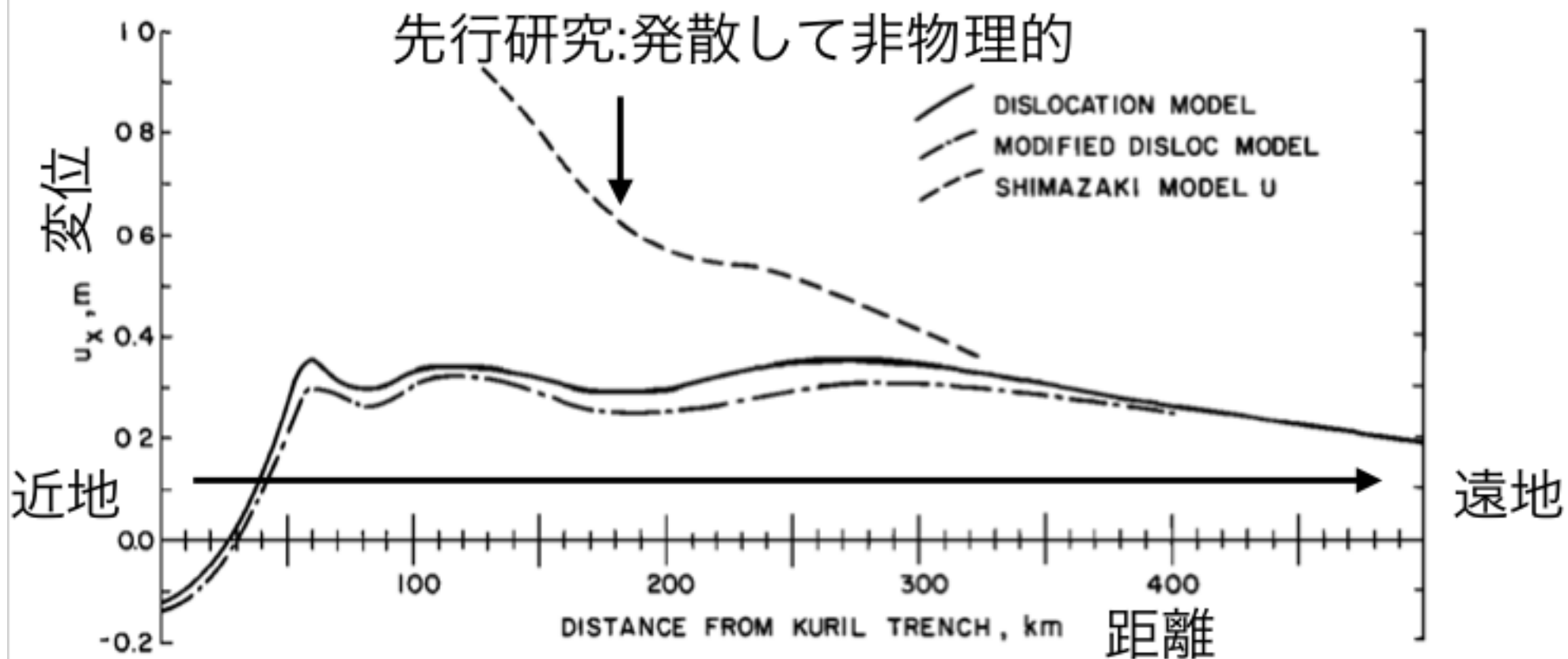
北海道南東沿岸部での垂直変位(隆起)の説明



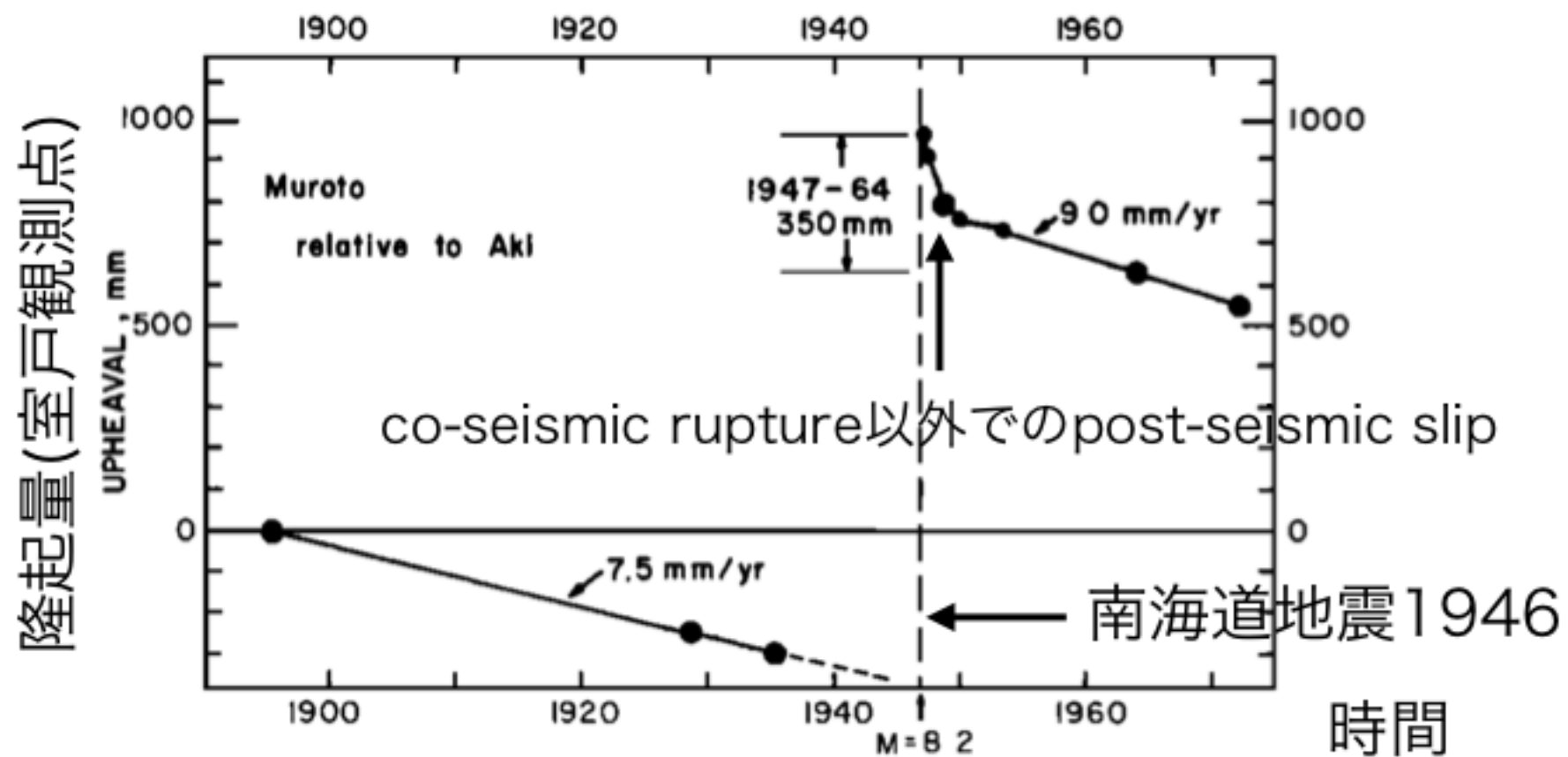
隆起量は観測の範囲ではどちらも大差なし

議論1: 先行研究モデルとの比較

# 変位についてdrag modelと比較



drag modelよりdislocation modelがいい  
drag modelは端の変位(slip)を調節/今回はnonslipを満たす歪みで調節



- ・ 室戸の隆起を今回のモデルのどちらがよく説明するか比較
- ・ 長時間では線形の回復(だから粘弾性的というより弾性的)



## 観測される変形との比較

パラメタは(微妙な議論を除けば)測地から任意性なしに決まる

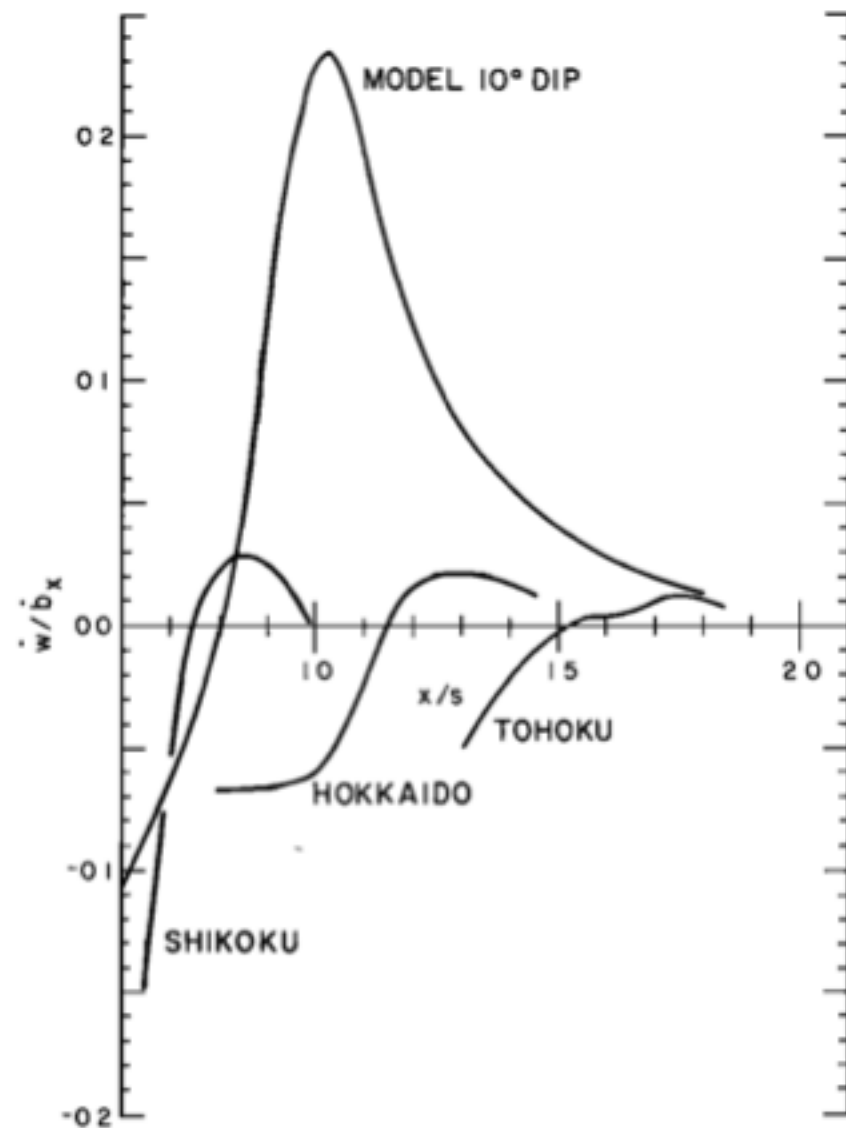
Location	Observed Strain Rate			Predicted Strain Rate, $\mu\text{strain/yr}$
	Time Interval	Source	Rate, $\mu\text{strain/yr}$	
Shikoku	1948-1971	Nakane [1973]	-0.26	-0.07
Tohoku	1893/1904-1962	Nakane [1973]	-0.13	-0.1
	1893/1904-1962	Seno [1979]	-0.06	-0.1
Hokkaido	1903/1908-1967	Nakane [1973]	-0.17	-0.08
	1903/1908-1967	Shimazaki [1974a]	-0.05	-0.08

歪み速度の結果は定性的には一致

議論3:観測との比較2

四角 (左側) の変形速度の平均値を説明する...

四国/東北/北海道の隆起量を説明できない.



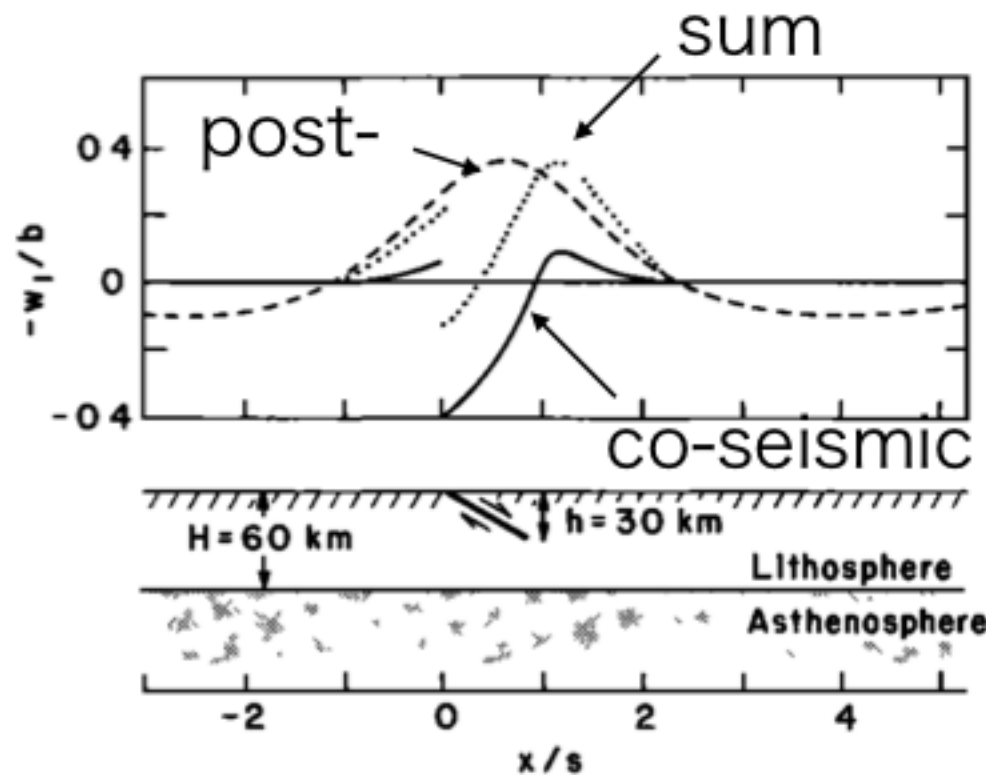
規格化垂直変位 vs 規格化距離

- ・ 先行研究は合っていると  
言っていた
- ・ マイナーチェンジでは  
どうしてもなく合わない

議論3:観測との比較2

不 致 の 原因 の 追 究

## 不一致の原因の追究

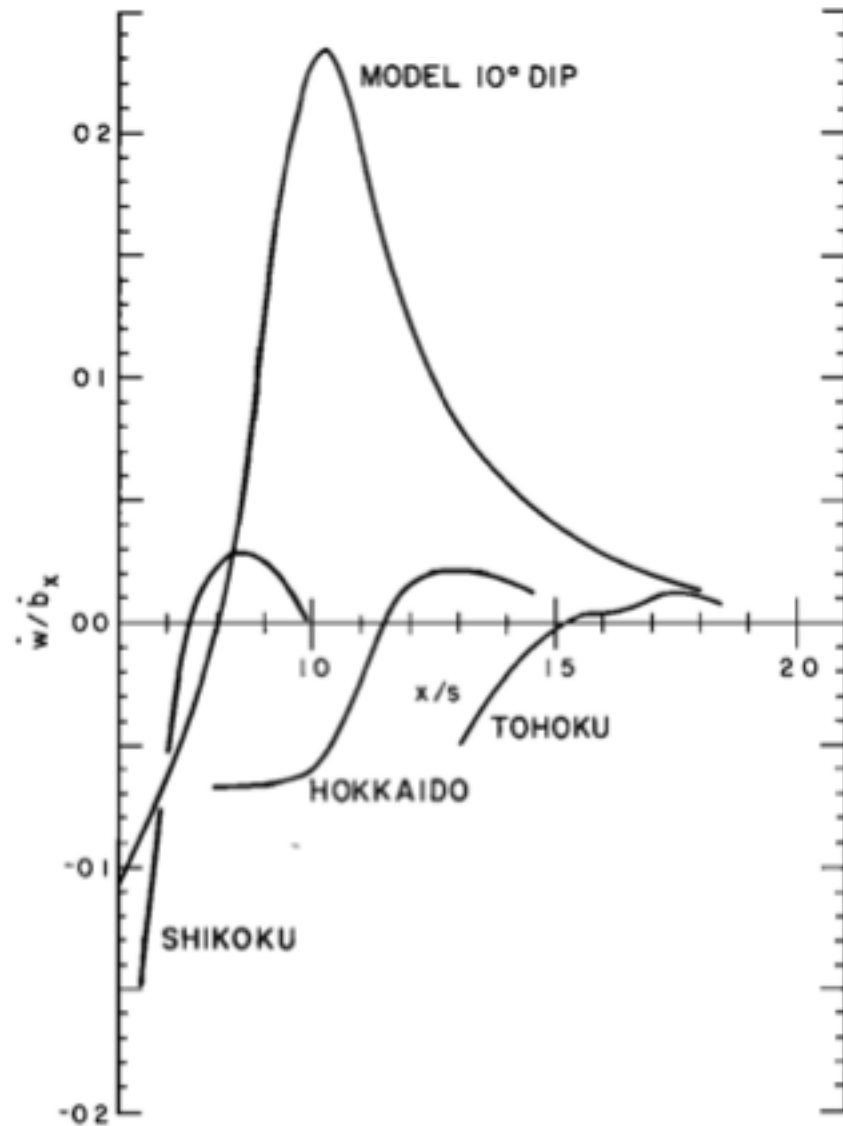


- ・ アセノスフェアの揚力 [Rundle 1982]を入れると整合性は悪化(構成則の簡略化によるものではなさそう)
- ・ 粘弾性効果はこのタイムスケールではすでに棄却
- ・ 孤立したパッチだけがstickしているのかも [Kawakatsu Seno 1983]

## 議論3:観測との比較2

四国/東北/北海道の隆起量を説明できない

四国/東北/北海道の隆起量を説明できない。



- ・ 先行研究は合っていると言っていた [Shimazaki 1974, Seno 1979, Kato 1979]
- ・ それらは100km以深にまでプレート境界を伸ばしている
- ・ それくらい深いとS波は低速度で・地震はない(部分溶融やマグマがあると思われる)

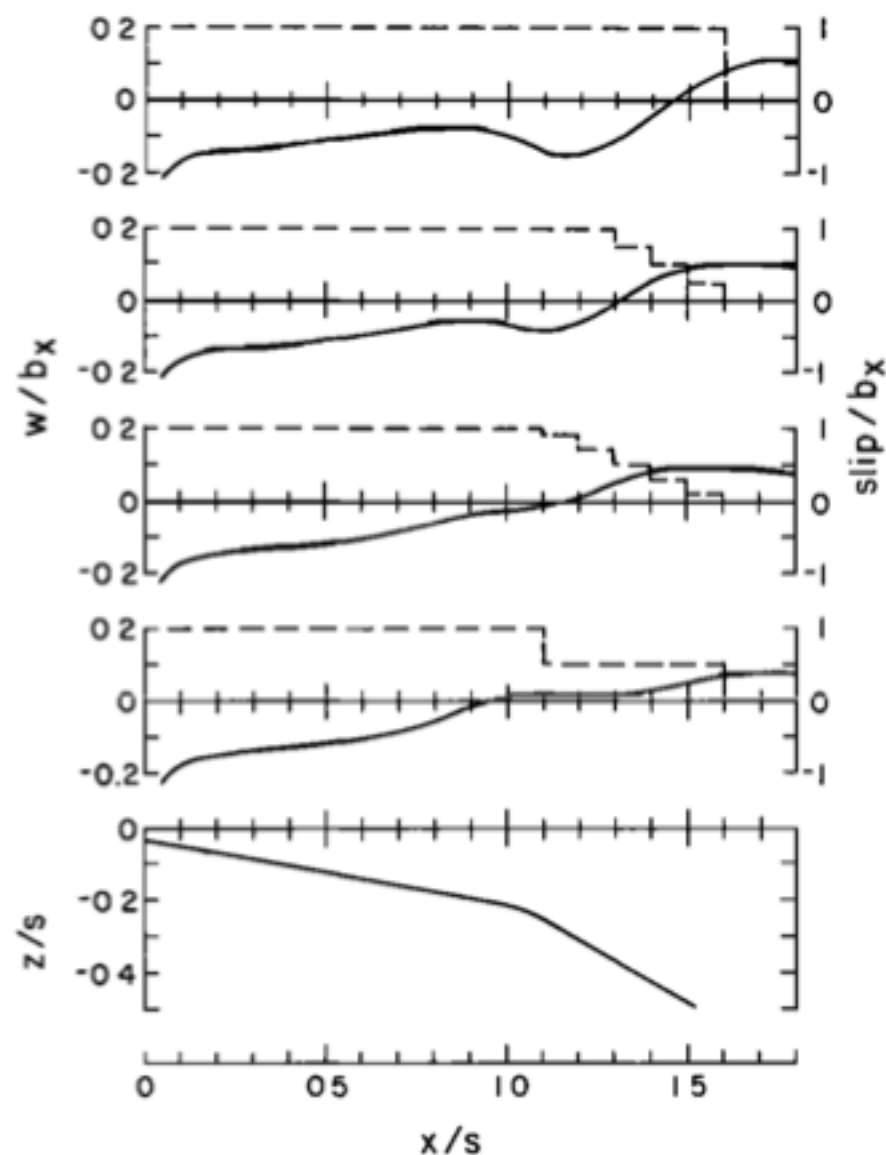
先行研究は仮定がまずい

議論3:観測との比較2

不一致の原因の追空



## 不一致の原因の追究



- ・ 100km以深にまでプレート境界を伸ばして一応やってみた(上から東北・北海道・四国)
- ・ このような取り扱いには測地学的には疑問だ

議論3:観測との比較2

不一致の原因の追究

その他考えられるもの

**沈み込みプレートでのはがれによる永年歪み**

[Abe 1977, Kato 1979]

<-北海道で濃厚,(永年歪みを示す花咲の記録

[Abe 1978])

**複数の地震サイクルの重ね合わせ**

[Kasahara Kato 1981]

この論文では結論は保留.

## まとめ

- ・ **導入:**沈み込み帯の地震サイクルを記述したい

- ・ **手法:**系の運動を定常ローディングに対する衝上断層の応答(stick-slip)として定式化
- ・ **結果:**半平面弾性体(A)と線形粘弾性体(B)での歪の具体形
- ・ **議論:**
  - ・ 1.従来モデルに対して近地の振る舞いをよく記述
  - ・ 2.観測との比較1:観測はモデルBというよりモデルA的.
  - ・ 3.観測との比較2:隆起量が全然説明できない(できると言っていた先行研究は深いところまでスティックさせすぎ)