

# 強震動予測の高精度化に向けた 動力学モデルを用いた 断層破壊シミュレーション

課題責任者

津田健一

清水建設株式会社技術研究所

地球シミュレータ産業戦略利用報告会

#1

## 目次

1. 本課題の目的  
→ 何故”動力学モデル”が必要なのか
2. 課題の実施体制と使用計算コード
3. 計算条件
4. 断層破壊シミュレーション結果
5. まとめと今後の課題

2

## 本課題の目的

- 将来的な強震動予測の高精度化に資することを目的として、「動力学モデル」を用いた断層破壊シミュレーションを行い、プレート境界巨大地震の断層破壊過程の把握を試みる。

#3

## 動力学モデルとは？

### ■ 動力学モデル(Dynamic Model)

“Dynamics is the branch of mechanics that deals directly with force systems, and with the energy balance that governs motion.”  
(Aki and Richards, 2002)

→ ものの動きを決める力の釣り合いに依存  
 (“断層がどのように壊れるか”は仮定されない)

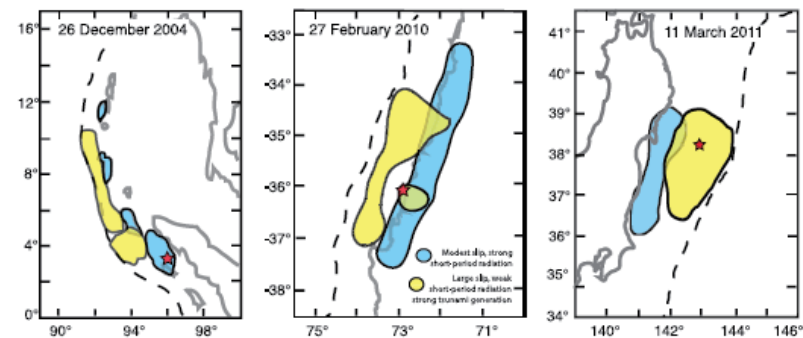
運動学モデル: ものの動きが規定される  
 (“断層がどのように壊れるか”が予め仮定される)

## 動力学モデルとは？

- 動力学モデルの(これまでの地震動予測で用いられてきた)運動学モデルに対する利点
  - ・ 自然界の物理法則(与えられた力の釣り合い)に則って断層破壊が進展
    - 自然現象により近いモデル
- 動力学モデルを用いる際の注意点
  - ・ 結果は初期条件(=断層破壊が始まる時に与えられた力)に大きく依存する
    - 実現象として存在しない現象も存在してしまう。
  - ・ 計算コストが非常に大きい(非線形の収束計算)

5

## 何故動力学モデルが必要なのか？



2004年スマトラ地震      2010年チリ地震      2011年東北地方太平洋沖地震

巨大プレート境界地震での 短周期励起域 ≠ 長周期励起域

黄色の領域：長周期域の地震波の励起域

青色の領域：短周期域の地震波の励起域

→ 複雑な断層運動のメカニズムの把握は運動学モデルでは難しい

Lay・他(2012) <sup>6</sup>

## 動力学モデルを用いた研究の目的

- ・ 運動学モデルでは再現することが難しい断層破壊現象の発生メカニズムを理解する。
- ・ 南海トラフの様なプレート境界で発生が危惧されるプレート境界巨大地震に向けて、動力学モデルによって得られた断層破壊現象に関する知見を今後の強震動予測へ反映させる。

7

## 実施体制

- 課題責任者  
津田健一(清水建設技術研究所)
- 課題メンバー(地球シミュレータ利用者)  
三好崇之(海洋研究開発機構)  
野澤剛二郎(清水建設技術研究所)  
PHAN VAN PHUC (清水建設技術研究所)

#8

## 実施内容と期待される成果

### ■ 実施内容

動力学モデルを用いた断層破壊シミュレーションにおいて、摩擦構成則や応力状態を規定するパラメータ(例えば摩擦係数やせん断応力, 直応力等)を設定し、数値シミュレーションを実施する。

### ■ 期待される成果

地球シミュレータを使用したパラメータスタディにより、断層破壊を規定する初期パラメータの設定法に関する知見が得られる。

→プレート境界巨大地震の断層の破壊過程を把握し、それらの巨大地震を対象とした強震動予測を行う際に有益

#9

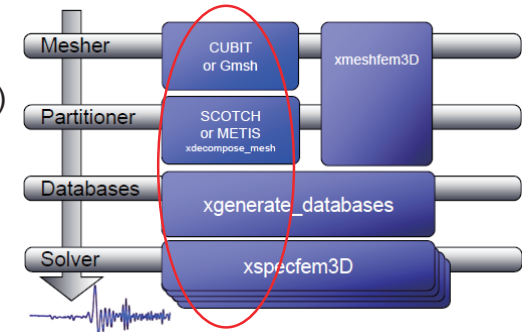
## 課題で使用する計算コード

### ■ 計算手法: スペクトル要素法(SPECFEM3D)

➤ 計算コード: SPECFEM3D\_Cartesian (Peter・他 2011)に断層破壊ソルバー(Galvez・他, 2014)が追加されたもの

➤ 利点:

- ・有限要素法的一种
- ・大規模計算(並列計算)に適している
- ・ESでの利用実績あり

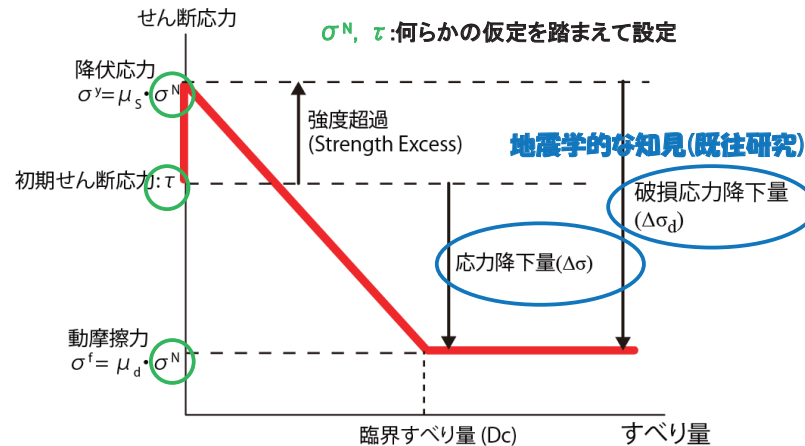


本検討で使用する計算のフロー

#10

## 計算条件の設定

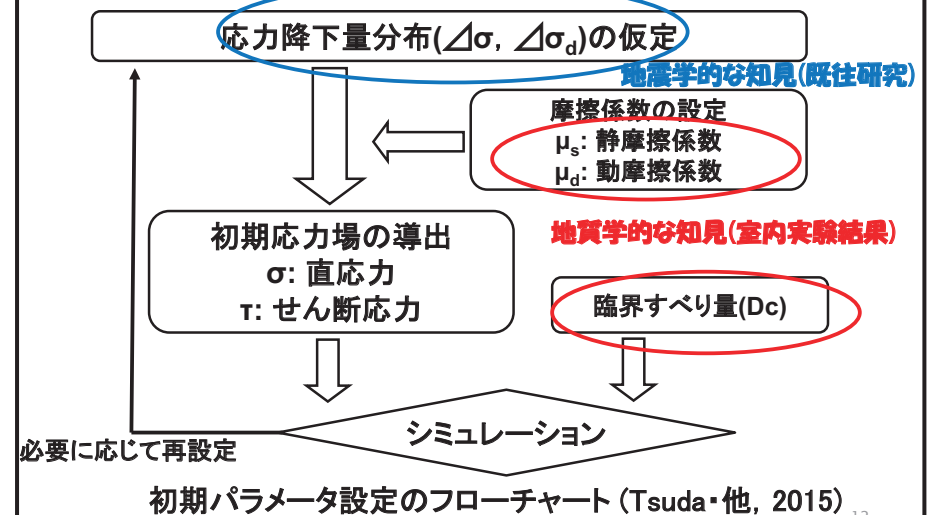
### ■ 破壊の構成則(応力がどう変化するかを規定)



すべり弱体化則 (Ida, 1972, Andrews 1976等)

#11

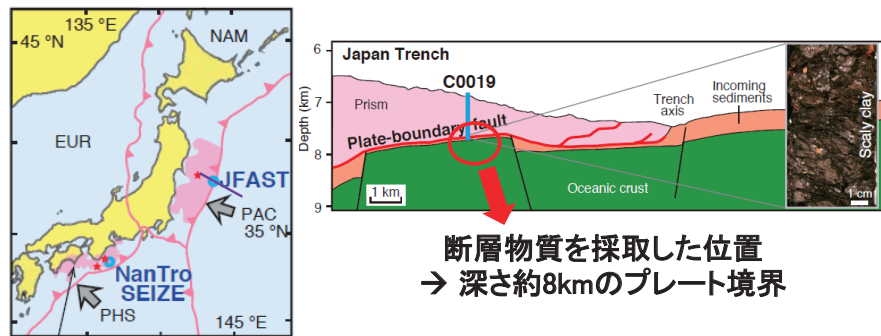
## 初期パラメータの設定



初期パラメータ設定のフローチャート (Tsuda・他, 2015)

12

# シミュレーションに使用した室内実験



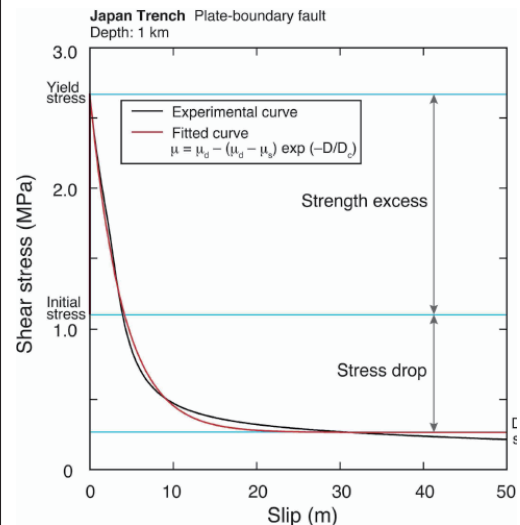
断層物質を採取した位置  
→ 深さ約8kmのプレート境界

Cape Muroto

- 断層物質を用いた室内実験で得られたパラメータを使用  
Hirono・Tsuda・他(2016)  
(Nature Communications, 審査中)

#13

# 室内実験の概要

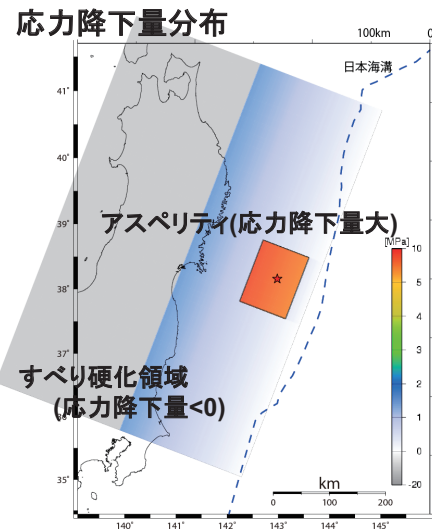


室内実験を踏まえて設定したすべり弱化解線  
(深さ1km, 日本海溝)

#14

20

# 断層破壊シミュレーションの初期条件

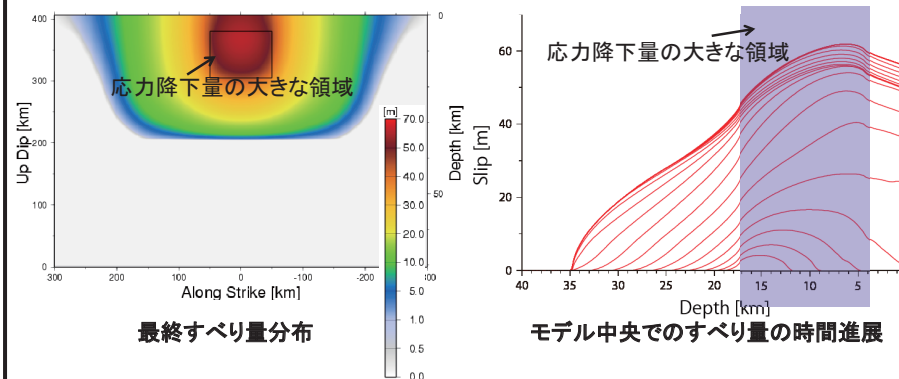


- 東北地方太平洋沖地震をイメージしたモデル
  - モデル中央にアスペリティ(応力降下量大の領域)を設定
  - 形状は平面を仮定
  - 均質媒質
  - 所要計算時間: 約50時間 (UV2000, 100コア利用)

★東北地方太平洋沖地震の震央

#15

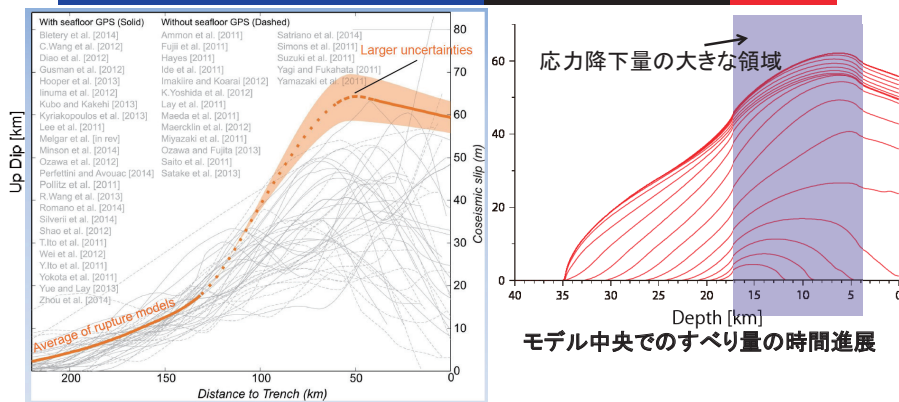
# これまで実施してきた検討結果の例



プレート境界をイメージしたモデル面(断層面)上に応力降下量の大きな領域を設定し, その破壊挙動を検討 (Tsuda・他, 2015)

16

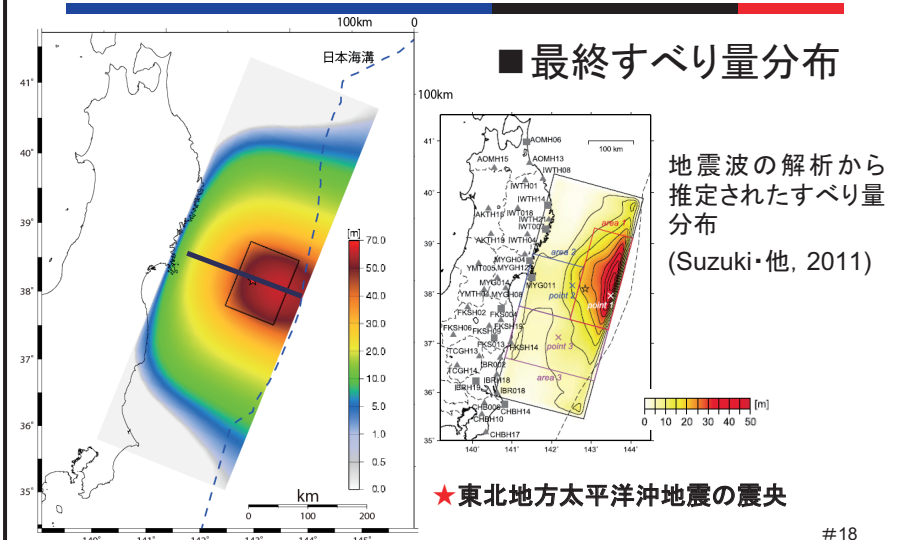
# これまで実施してきた検討結果の例



地殻変動記録を踏まえた2011年東北地方太平洋沖地震の深さ方向でのすべり量の2次元プロファイル(Sun・他, 2015)

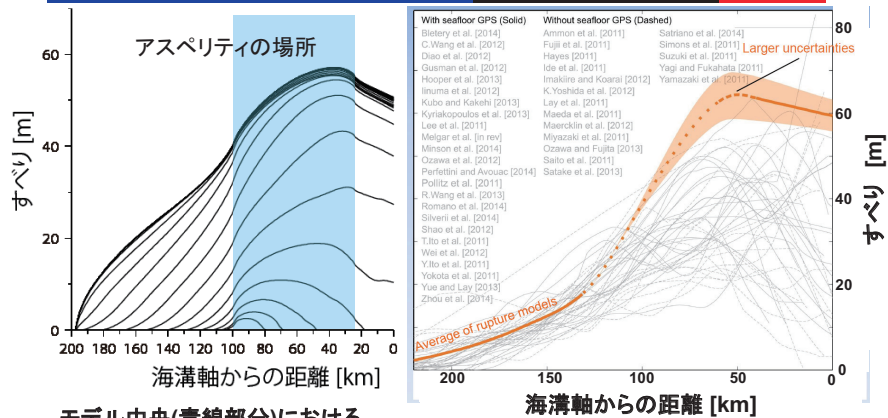
17

# シミュレーション結果



# 18

# シミュレーション結果

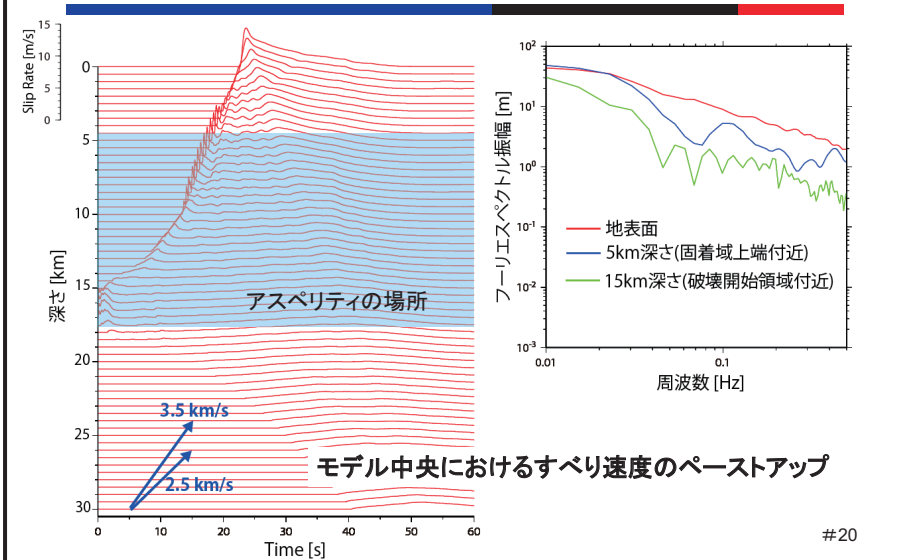


モデル中央(青線部分)におけるすべり量の時間進展(5秒間隔)

地殻変動記録を踏まえた2011年東北地方太平洋沖地震の深さ方向でのすべり量の2次元プロファイル(Sun・他, 2015)

19

# シミュレーション結果

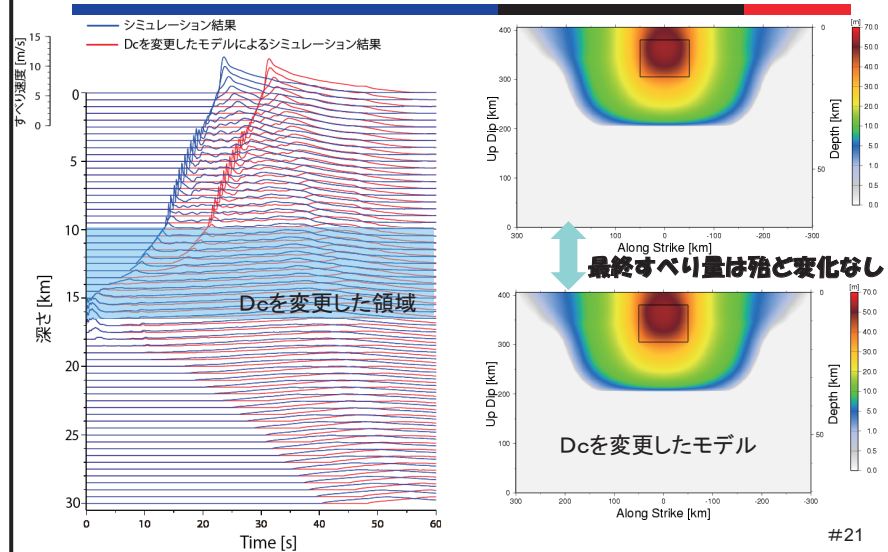


モデル中央におけるすべり速度のペースアップ

# 20



## 臨界すべり量を変化させた検討



## まとめと今後の課題

- 地球シミュレータシステムを用いて、2011年東北地方太平洋沖地震をイメージした動力学モデルによる断層破壊シミュレーション結果が得られた。
  - 臨界すべり量は、震源断層のすべり速度に影響するが、最終すべり量に影響しないことを確認
- 他の摩擦パラメータ(摩擦係数や応力)を変化させた場合の断層の破壊挙動の把握
- 断層面の形状の変化や媒質の不均質性を考慮した動力学モデルによる断層破壊シミュレーションの実施
  - 強震動予測に向けた知見の集積

#22

## 付録

### ■ 断層運動によるエネルギーバランス

- $E_R$ : 地震波として放射されるエネルギー
- $E_G$ : 破壊そのもので消費されるエネルギー
- $E_H$ : 熱として消費されるエネルギー

