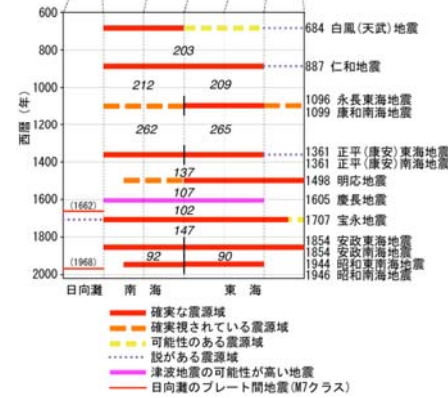
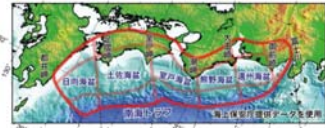




# 南海トラフの巨大地震像



震源地	震源断層領域					Mw
	A	B	C	D	E	
白鳳(天武)地震						8.8
仁和地震						9.0
永長東海地震						9.0
康和南海地震						9.1
正平(康安)東海地震						9.0
正平(康安)南海地震						9.0
明応地震						9.0
慶長地震						9.0
宝永地震						9.0
安政東海地震						9.0
安政南海地震						9.0
昭和東南海地震						9.0
昭和南海地震						9.0

地震調査委員会(2013)

# 南海トラフの巨大地震による長周期地震動

- 次に発生する巨大地震の震源モデルを事前に予測することは極めて困難
- 海溝型巨大地震による長周期地震動予測では、限られた少数の震源モデルを対象とするのではなく、震源モデルの不確実性を考慮して多数のシナリオに基づいた地震動計算を行い、各シナリオによる長周期地震動の予測に加え、それらのばらつきを定量的に評価することが重要

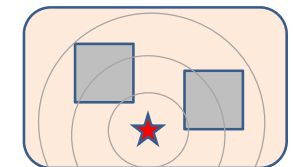
# 南海トラフの巨大地震による長周期地震動

- 南海トラフで発生すると考えられるM8~9の海溝型地震を対象とした長周期地震動ハザード評価をめざし、震源モデルの不確実さが地震動予測結果に与える影響について検討する。
  - 震源域、アスペリティ配置、破壊開始点等の不確実さを考慮して、多数の特性化震源モデルを設定する。
  - 長周期地震動の計算は、特性化震源モデルと全国1次地下構造モデルを用いて、3次元差分法により行う。
  - ただし、現状の海溝型地震のレシピに従って作成した特性化震源モデルを用いるため、計算結果についての、おおよその振幅レベルの把握と震源モデル間の相対的な比較を行うこととする。

# 本研究は、「長周期地震動ハザードマップ作成等支援事業」による。

# 特性化震源モデル

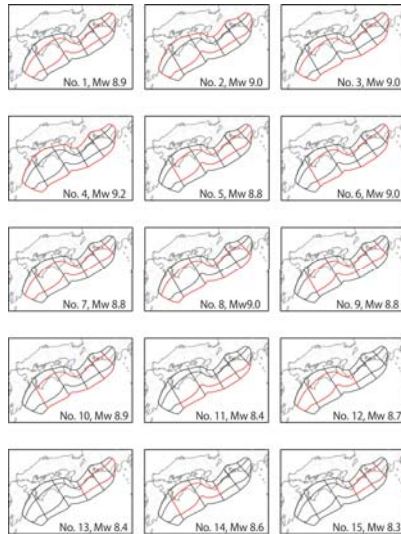
- 3種類のパラメータ
  - 巨視的震源特性
    - 震源断層面の形状や面積
  - 微視的震源特性
    - 震源断層面内の不均質さ(アスペリティ)
  - その他の震源特性
    - 破壊様式
- パラメータは‘レシピ’に従って設定される



# 震源モデルの設定

## ● 巨視的震源特性

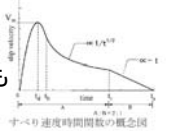
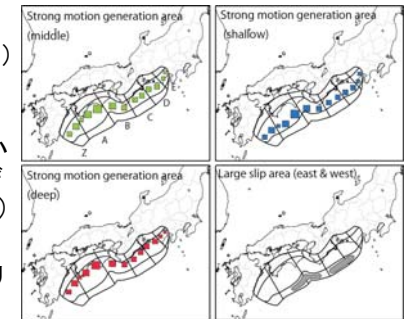
- 震源域は、最大クラスの震源域を走向方向に6区分、深さ方向に3区分した小領域の組合せとして表現。
- 確率論的地震動予測地図(地震調査委員会、2013)で想定されている15ケースの震源域を検討対象とする。
- 断層面は全国1次地下構造モデルのフィリピン海プレート上面に設定。500m間隔で配置した点震源により面を表現。
- 震源域全体の平均応力降下量は3MPa[例えば、Kanamori and Anderson (1975)、Allmann and Shearer (2009)]を仮定する。



# 震源モデルの設定

## ● 微視的震源特性

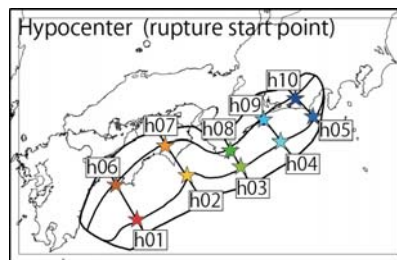
- アスペリティ(あるいは強震動生成域)は、深さ方向に区分された3領域のうち中部領域の各小領域に2個程度を配置し、面積と平均すべり量は、各小領域の面積と平均すべり量のそれぞれ20%と2.2倍(Murotani et al., 2008)とする。
- 深部領域(約25km以深)にはアスペリティを配置しない。
- 浅部領域(約10km以浅)にはすべりの大きな領域を設定する。
- アスペリティの応力降下量に対しては、バラツキを考慮する。
- 震源時間関数は、中村・宮武(2000)による関数を基本とする。ただし、浅部領域に対しては滑らかなすべりを表す関数(たとえば、箱型関数やsmoothed ramp関数)とするケースも考慮する。



# 震源モデルの設定

## ● その他の震源特性

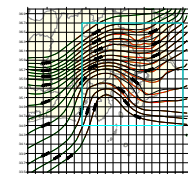
- 破壊開始点は、走向方向・深さ方向の領域境界付近(10か所)を候補とする
- 破壊開始点から同心円状に破壊が伝播。
- 破壊伝播速度は2.7km/s [=0.72Vs; Geller(1976)]とする。ただし、浅部領域に対しては2.7km/sよりも遅い破壊伝播速度とするケース(2.3km/s)を考慮する。
- 破壊がアスペリティに到達した点から、アスペリティ内部の破壊が始まる(マルチハイポセンター)
- 破壊伝播の不均質性(破壊速度のゆらぎ)は考慮しない。



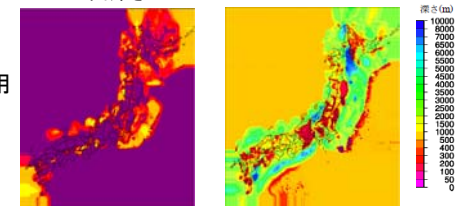
# 地下構造モデル

## ● 全国1次地下構造モデル

- 首都圏においてフィリピン海プレート上面の修正を施したモデルを使用

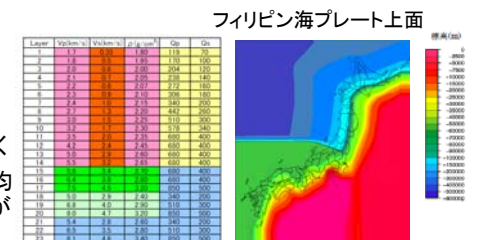


第4層 (Vs=700m/s) 上面深さ  
第14層 (Vs=3200m/s) 上面深さ



## ● 発散対策

- 第1層を第2層の物性値に置換
- 浅部の50mよりも薄い層を取り除く
- 境界面を跨ぐ格子の物性値に平均的な値を与える(表層の第1格子が対象)



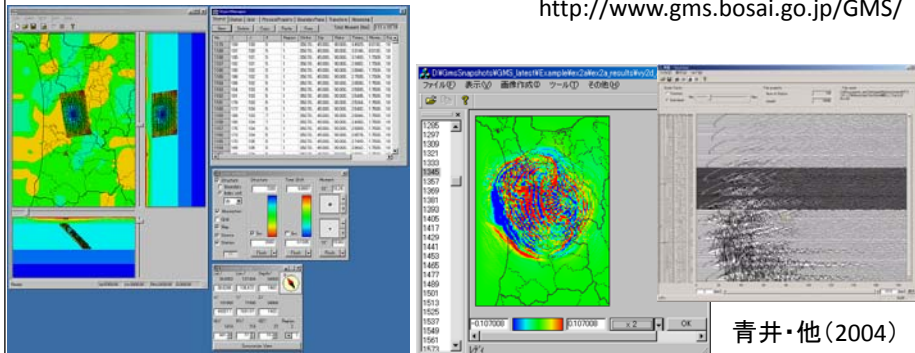
# GMS(地震動シミュレータ)

(Ground Motion Simulator)

- 差分法を用いた3次元地震動シミュレータ
  - 入力: 構造・震源・観測点パラメータ、計算パラメータ
  - 出力: 波形、振幅スナップショット、可視化画像

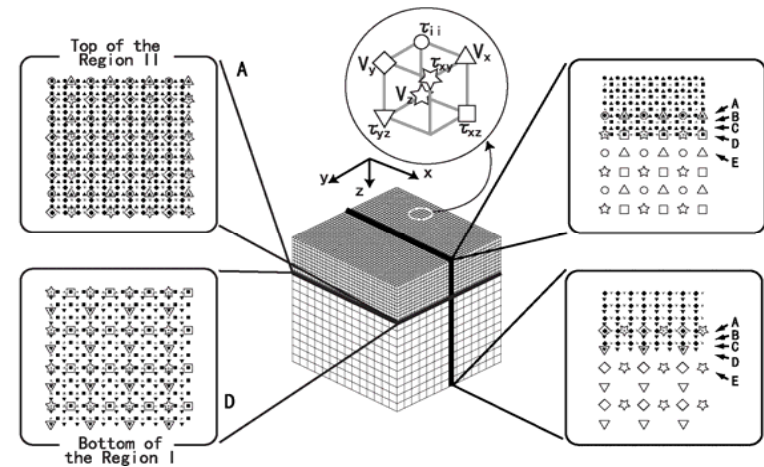


<http://www.gms.bosai.go.jp/GMS/>



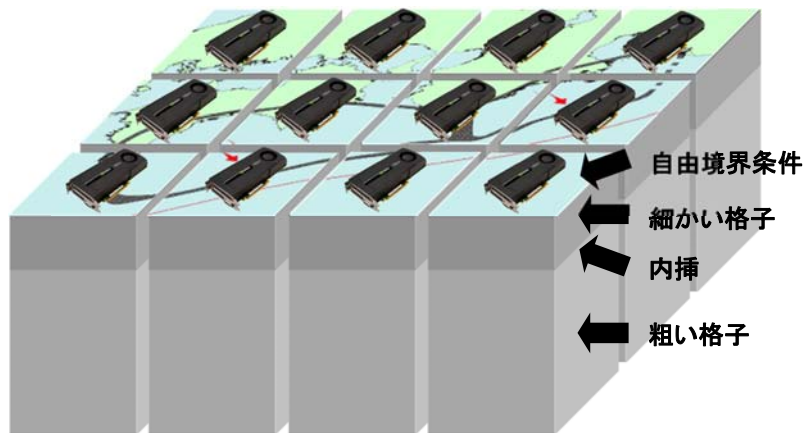
青井・他(2004)

# 不連続差分格子 (Aoi and Fujiwara, 1999)



堆積層に代表される、低速度な媒質(=地震波の波長が短い)は、極表面近く  
にのみ存在することが多い。計算コストの大きな、細かい格子は、必要な領域  
にとどめ、**計算コストを最適化**を図る(1/5~10程度に軽減される)。

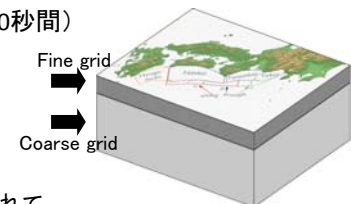
# 並列化のための領域分割



負荷の均質化を考慮し、水平方向にのみ分割  
モデル規模は**水平方向に大きい**場合が多い  
袖領域の通信の隠蔽と相性がよい

# 地震波伝播シミュレーション

- 計算手法
  - 不連続格子を用いた3次元差分法 (Aoi and Fujiwara, 1999)
- 計算対象領域
  - 1150 km x 950 km x 100 km
- 格子サイズ
  - 水平方向 200m、深さ方向 100m (深さ8kmまで)
  - 水平方向 600m、深さ方向 300m (深さ8~100km)
  - 約35億格子
- 計算タイムステップ数: 72000ステップ (=600秒間)
- 出力地点: 約8万点 (陸上約2km間隔)
- 点震源: 約8万~57万個
- 減衰の影響 (Graves, 1996): 参照周期 5秒
- 解析対象周期帯: 約5秒以上
  - 特性化モデルには、短波長不均質が考慮されて  
いないため



## TSUBAME2.5 によるGPUを用いた 大規模波動伝播シミュレーション

- TSUBAME2.5
  - 東京工業大学学術国際情報センター
  - CPU: Intel Xeon 2.93 GHz (6コア) × 2816個
  - GPU: NVIDIA Tesla K20X × 4224個
  - 理論ピーク性能5.7PFlops
  - TOP500の11位 (2013年11月現在)
  - Green500の6位 (2013年11月現在)
- 計算時間
  - 1ケース: 150分 (81GPU)



## CPUとGPUの計算時間の比較

モデル	CPU	GPU
• 水平200m、鉛直100mで離散化 • 格子数: 約20億 • 60,000ステップ (500秒間)	on SGI Altix4700 • 計算時間: 19時間 (256core)	on TSUBAME • 計算時間: 105分 (50GPU) • 計算時間: 66分 (100GPU)
• 水平100m、鉛直50mで離散化 • 格子数: 約158億 • 120,000ステップ (500秒間)	on SGI Altix4700 • 計算時間: 1週間弱? (512core)	on TSUBAME • 計算時間: 161分 (512GPU) (100,000stepからの換算値)

## まとめと今後の課題

- 昨年度までの検討では、南海トラフのM8~9級の巨大地震の多様な発生パターンを考慮し、多数のシナリオに基づいて長周期地震動を計算し、震源モデルの不確かさにより最大速度、速度応答スペクトルが大きくなばらつきを持つことを確認した。
- 震源域が小さい地震では長周期地震動の振幅レベルは低いが、震源域が拡がり地震規模が大きくなるほど振幅レベルは大きくなる傾向がみられる。また、震源域が同じ地震でも、破壊開始点、アスペリティ配置により数倍から10倍以上のばらつきが見られた。
- 計算結果は確率分布として捉える必要がある。現在、さらに多くのシナリオに基づいたシミュレーションを行い、分布形状(ばらつき)について検討している。その結果と震源域毎の地震の発生頻度の情報を組み合わせることで、長周期地震動のハザード評価を試行する予定である。
- 計算結果の絶対値の議論のためには、震源モデル、地下構造モデル、計算手法の改良が必要である。特に、震源モデルの設定法(レシピ)や検討ケースの妥当性の検討が必要である。