

# 地震ハザード評価における シミュレーションデータの活用 に向けて

岩城麻子  
防災科学技術研究所  
マルチハザードリスク評価研究部門

# はじめに

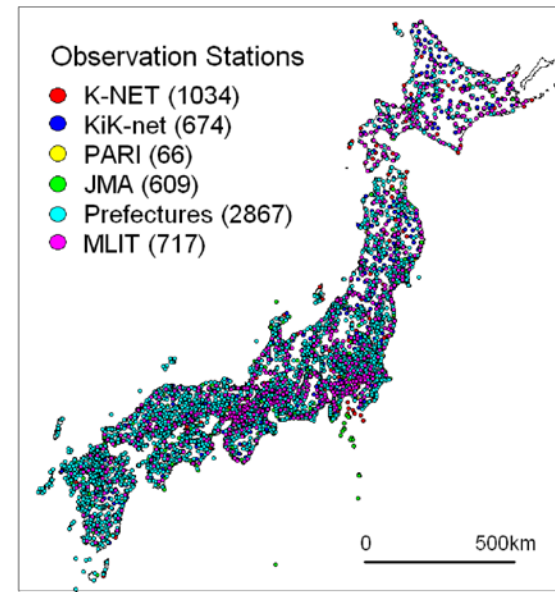
- 強震動予測において、震源・波動伝播モデルに基づく**地震動シミュレーション (physics-based simulation; PBS)**は震源・地下構造モデルの高度化や計算技術・性能の向上により高精度かつ大量に実施することが近年可能になりつつある。PBSは観測データの回帰による**地震動予測式 (ground-motion prediction equation; GMPE)**による方法と比べ、多様な震源過程や三次元地下構造モデル中の伝播過程を反映でき、これは複雑なテクトニクス環境の上に成り立つ日本において重要視される点である。

⇒南海トラフの地震など、シナリオ地震の地震動予測に活用

- 確率論的地震ハザード評価 (probabilistic seismic hazard assessment; PSHA) の観点からは、世界的に見ても最も実用的な強震動予測モデルはGMPEである。NIEDでは、日本におけるPSHAのためのデータ駆動型強震動予測モデル構築のための基盤となる**強震観測データベース**の構築を開始している。
- 現状のGMPEによる強震動予測における課題として、断層近傍地震動など観測記録が不足している稀な事象に対する予測性能が担保されていない点や、複雑な波動伝播効果が反映される地震動、例えば巨大地震時の平野部等での長周期地震動を表現しにくい点が挙げられる。
- PBSデータで観測記録の時空間的な不足やGMPEが不得手とする部分を補うことができるか？

# 強震観測データの蓄積

- 1995年兵庫県南部地震以降の強震観測体制強化
- 防災科研の強震観測網 (K-NET, KiK-net)
  - およそ1000 + 700観測点, 80万超記録
- 気象庁 ・ 自治体震度情報ネットワーク
- 国土交通省 ・ 港湾技研
- 企業(電力, ガス, 鉄道etc.), 大学等



# GMPE (経験的地震動予測式)

- 強震記録に基づき強震動指標値 (震度やPGAなど) を求める経験式
- 基本的に震源距離とMとサイト係数の関数 ("距離減衰式")

$$\log A = a + bM + cR - \log R + d \log G$$

地震動指標      震源特性      距離依存性      サイト特性

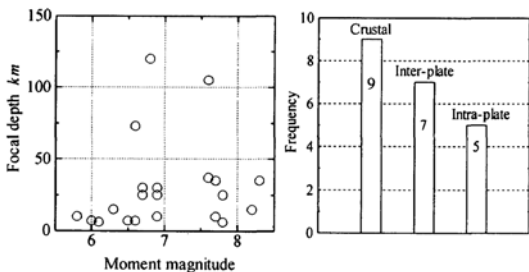
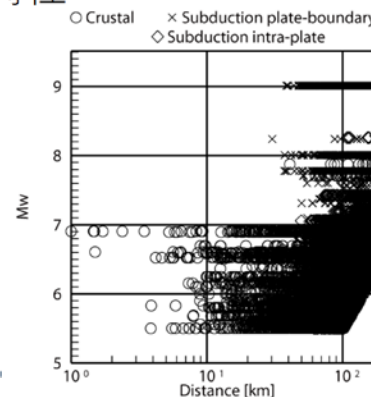


Fig.1. Focal depth vs.  $M_w$       Fig.2. Histogram of the earthquakes

各研究者が独自のデータセットを使用

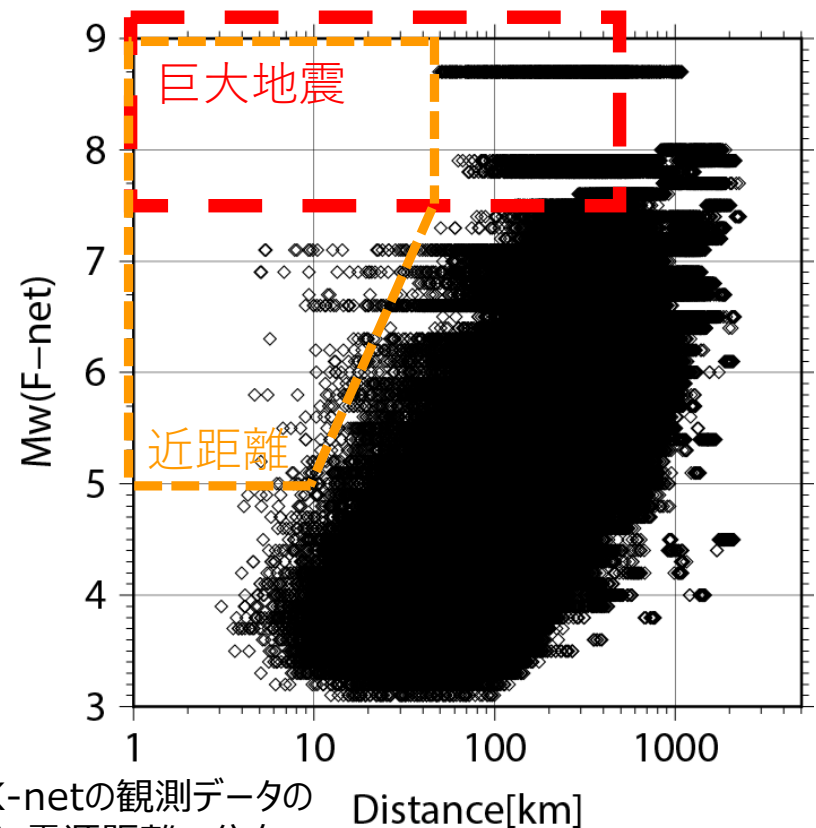
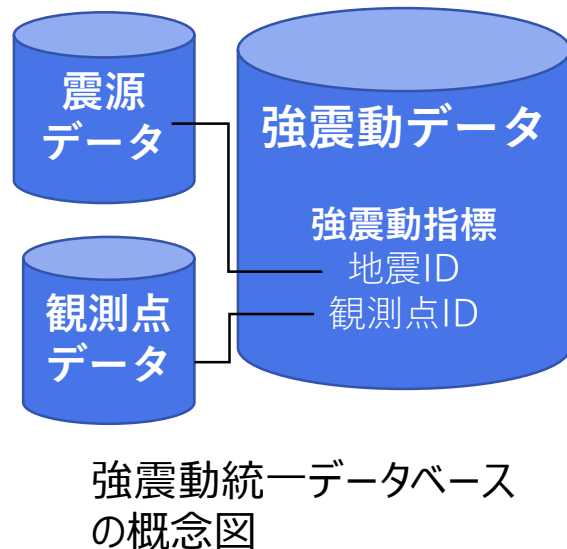
司・翠川(1999)  
日本の21地震856記録



Morikawa & Fujiwara (2013)  
M8, M9地震のデータを追加

# 強震動統一データベースの構築

- 膨大な強震動データを活用したハザードモデルの刷新への貢献，および進化  
するデータ解析技術との融合による研究発展を見据えた研究をスタートさせ，  
「強震動統一データベース」の作成に着手した。
- 強震動統一データベースは，強震動データの強震動指標値と，震源情報，地  
盤状況などの観測点情報が紐づけられハンドリングの容易なデータベース。



K-NET, KiK-netの観測データの  
マグニチュード・震源距離の分布

(森川・他, JpGU, 2020)

# 米国における共通の強震データベース

## NGA-West2 flatfile (NGA=Next Generation Attenuation)

共通DBで複数grがGMPE作成  
flatfileは公開されている

Bozorgnia et al. (2014)

<https://peer.berkeley.edu/research/data-sciences/databases>

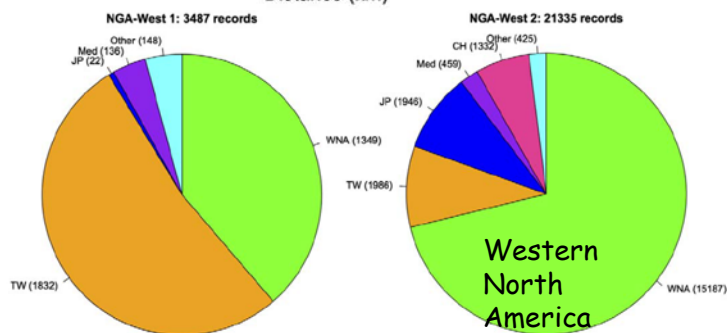
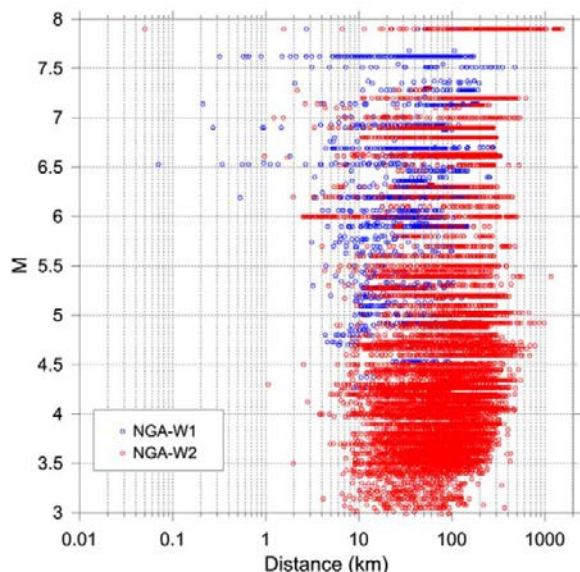


Figure 3. Pie chart of record numbers in the NGA-West1 and NGA-West2 for different regions. CH: China, JP: Japan, Med: Mediterranean, TW: Taiwan, WNA: Western North America (i.e., mostly California).

Ancheta et al. (2014) 600地震 (うち日本の地震5個 (1995-2008 Mw6.6-6.9))

UC Berkeley | CALTECH | OSU | Stanford | UC Davis | UCI | UCLA | UCSD | UNR | USC | UW

### Pacific Earthquake Engineering Research Center

Home News and Events Research Publications & Products Laboratories Library About

Home Research Data Sciences Databases

#### Databases

##### RESEARCH

- PBEE Methodology
- Building Systems
- Transportation Systems
- Lifeline Systems
- Natural Hazards
- Data Sciences -
  - Databases
- Social Sciences
- Funded Project Archive

##### Databases

###### NGA-West2 GMPEs Excel file

The 5 NGA-West2 horizontal ground motion prediction equations (GMPEs) posted below were developed as a part of the multiyear NGA-West2 research program.

- Five NGA-West2 horizontal GMPEs (locked version) (compressed .zip file, 487 KB). Updated on April 14, 2015. The included Excel file will be updated as necessary to fix any typos or other errors. Please check this website frequently for new versions. Five NGA-West2 horizontal GMPEs (Unlocked version)

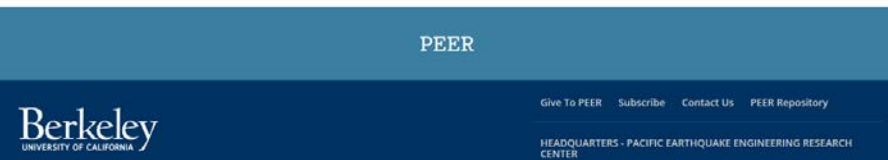
###### NGA-West2 Database Flatfile

The Updated NGA-West2 database "flatfiles" are posted. (January 17, 2015)

- Updated NGA-West2 Flatfile of 5% damped spectra of vertical ground motion (.zip file, 48 MB)
- Updated NGA-West2 Flatfile Part1 (.zip file, 290 MB)
- Updated NGA-West2 Flatfile Part2 (.zip file, 240 MB)

The NGA-West2 database "flatfiles" used in various research components of NGA-West2 are posted below.

- NGA-West2 Flatfile of 5% damped spectra of vertical ground motion (.zip file, 48 MB)
- NGA-West2 Flatfile (compressed .zip file, 527 MB)
- NGA-West2 supporting data for flatfile (compressed .zip file, 2.8 MB) This .zip file contains information and supporting data used for creation of the NGA-West2 Flatfile. See the included "ReadMe" file and PEER Report 2013/03 "PEER NGA-West2 Database" by Ancheta, et al.

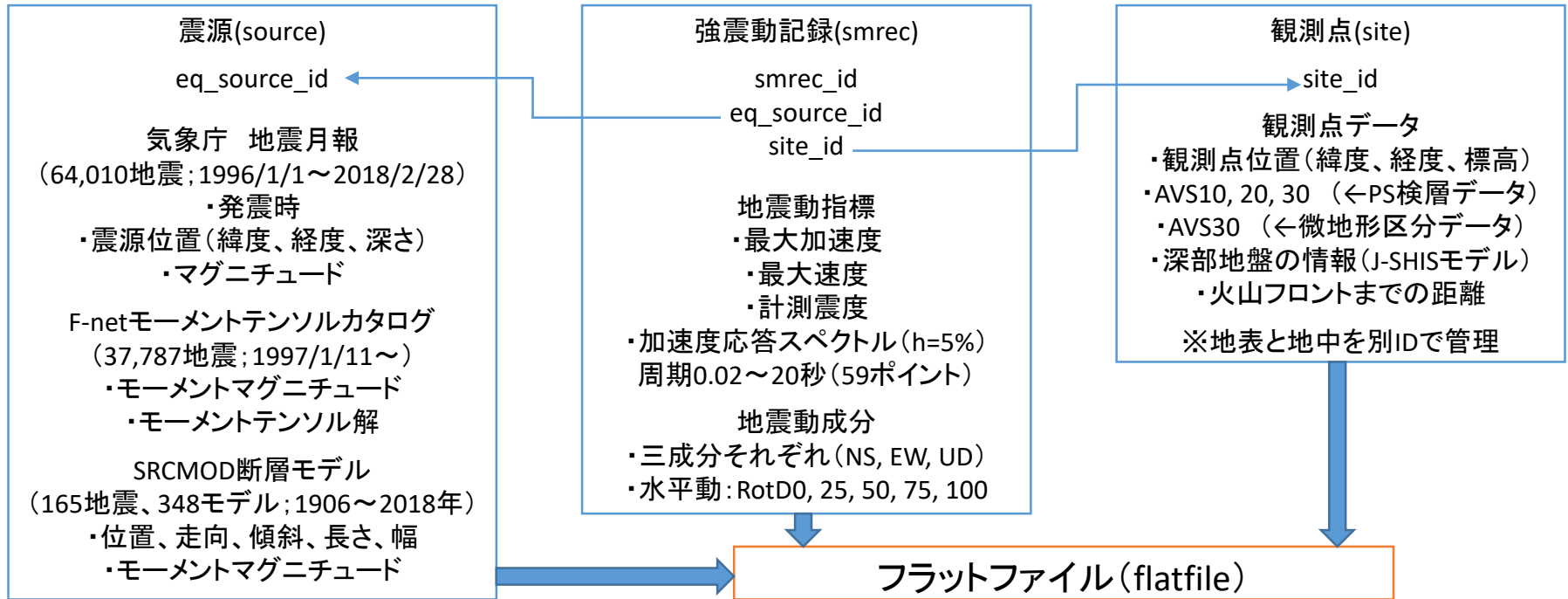


Flatfile: (行)地震 × 観測点数 (列)M, 距離, 各種地震動指標  
Fault info: 断層面位置形状, M  
Site info: 観測点位置, VS30, 検層情報, 地質情報等

# 「強震動統一データベース」の試作

K-NET, KiK-netの公開記録（約100万記録）を対象とした「試作版」を作成

→ データベースの設計, 方向性の議論, 課題抽出

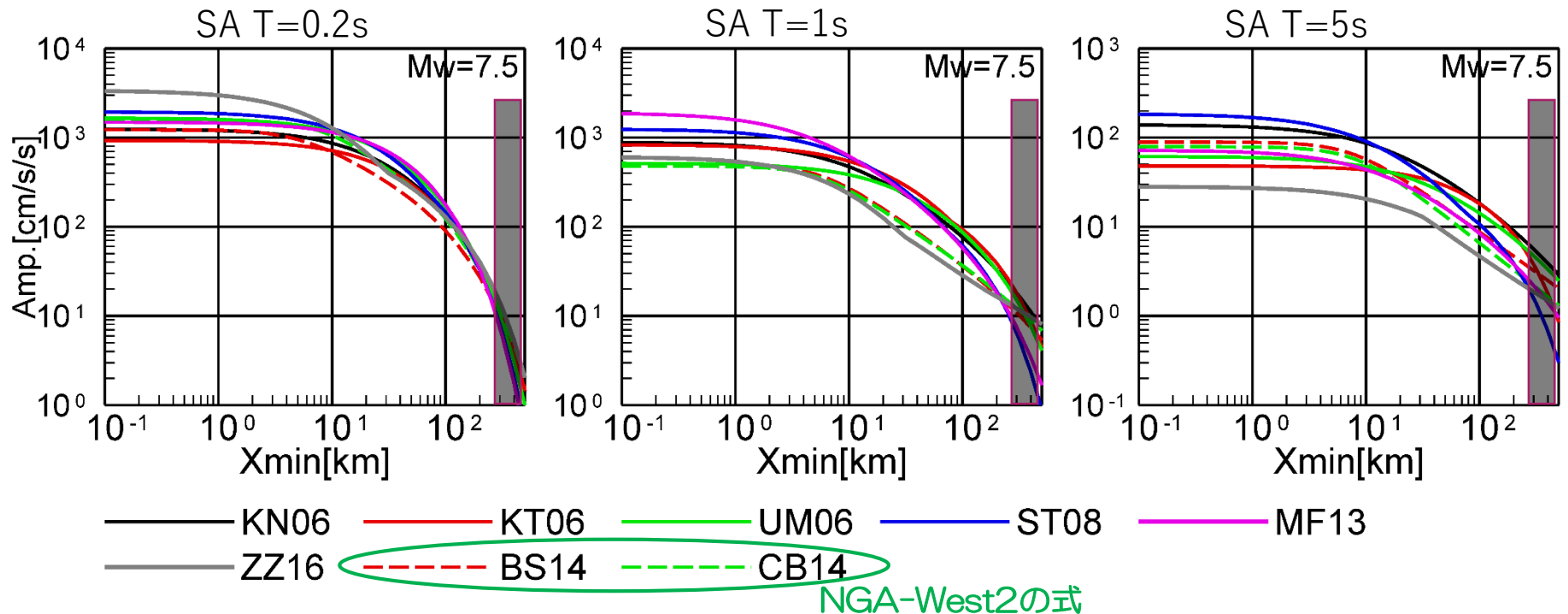


【統一データベースに基づく地震動予測式(GMPE)の仕様】を策定.

- ・日本国内の実務で利用可能なGMPE. 米国NGAと比較可能なもの.
- ・出力パラメータの指定 (出力地震動指標の中央値, ばらつき)
- ・適用範囲の指定 (距離, 深さ, M, 地盤条件etc.)

# 日本のGMPEの課題① モデル間のばらつき

M7.5地殻内地震: Strike-slip, 震源深さ(H)=10km, Vs30=600m/s相当



## ・ 認識論的不確定性を考慮した地震ハザードモデルへ

ただ一つのGMPEに依存したモデルから脱却し、認識論的不確定性を取り入れたハザードモデルの提案のための研究を進める。

統一データベースと仕様に基づく複数の研究グループ・さまざまなアプローチによるGMPEセットを作成する。

# 日本のGMPEの課題② 観測記録の偏り

## 海溝型地震 (Subduction)

$M_w > 8.0$ , 震源距離  $< 20\text{km}$   
のデータが極めて少ない

## 地殻内地震 (Crustal)

$M_w > 7.0$ , 震源距離  $< 10\text{km}$   
のデータが極めて少ない

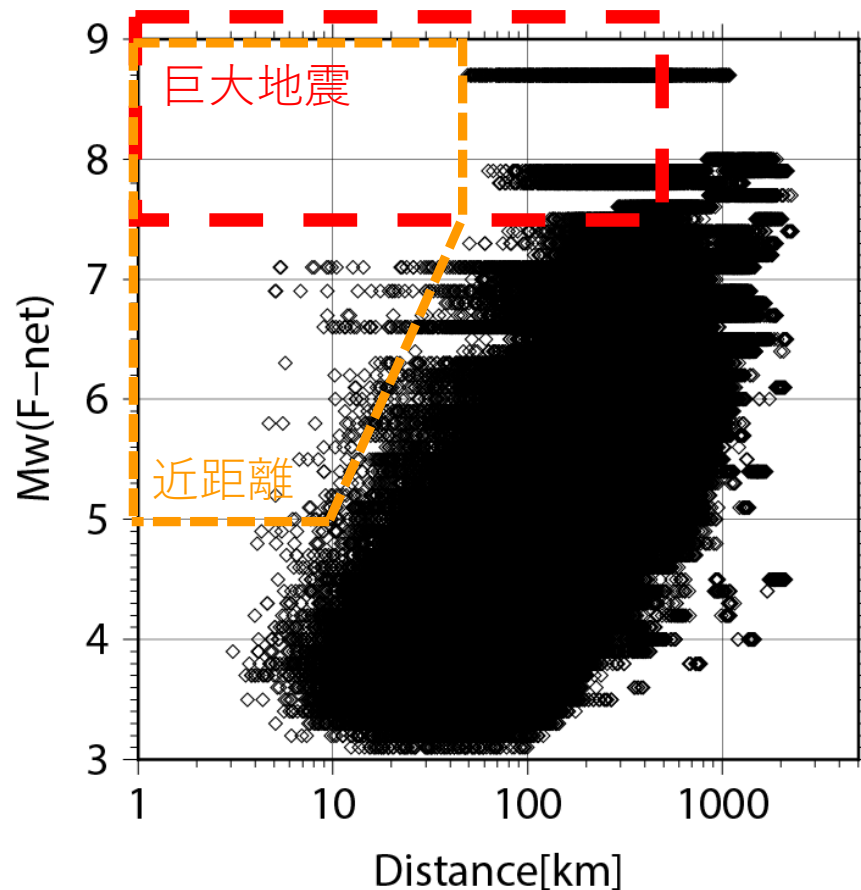
巨大地震時の長周期長時間地震動  
(主に平野部) のデータも不足

**本当は未経験・稀な事象の地震動を  
予測したいがデータがない！**

**⇒シミュレーションで補う**

**巨大地震, 断層近傍, 長周期地震動  
(低頻度事象)**

K-NET, KiK-netの観測データの  
マグニチュード・震源距離の分布



(森川・他, JpGU, 2020)

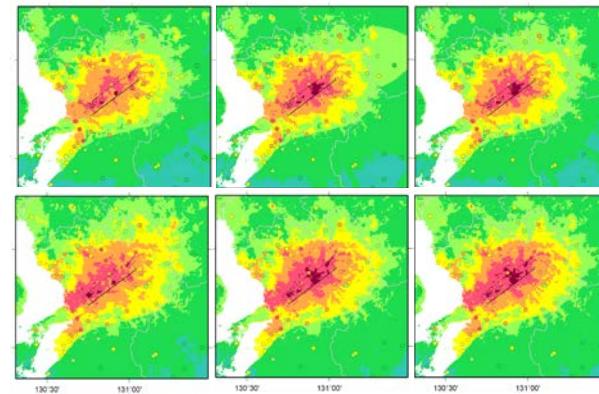
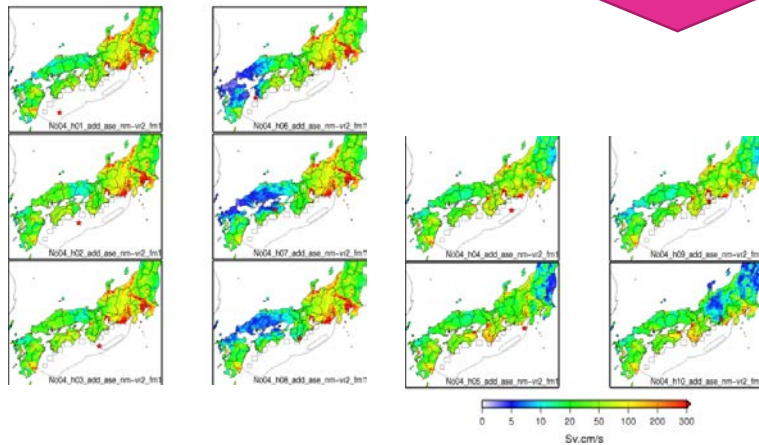


# シミュレーションデータの蓄積

- 統合化地下構造データベース（科学技術振興調整費H18-H22）等により地下構造探査データが蓄積
  - ⇒ 強震動計算のための**3次元地下構造モデル構築**
- 強震動予測用（運動学的）**震源モデル化手法の発展**（e.g. 「レシピ」）
- 震源モデルと地下構造モデルに基づく三次元地震波伝播シミュレーション（**PBS = Physics-Based Simulation**）による強震動計算



モデルの高精度化・計算機能力の向上



**低頻度・未経験の事象（巨大地震，断層ごく近傍，長周期地震動）**  
**について高精度かつ大量の強震動計算が可能になりつつある**

# まとめ

- 地震ハザード評価の最も基本的なモデルは観測記録の分析から将来を予測するモデル(GMPE)である。NIEDでは、地震ハザード評価に認識論的不確定性を導入することを目標に、強震動統一データベースと仕様を作成し、複数のアプローチで複数のGMPEを構築する取り組みを始めた。
- 観測記録に基づく地震ハザード評価では、未経験の稀な事象の予測精度が高くないという根本的な問題がある。例えば、想定すべき南海トラフ地震などの「巨大地震」は観測史上未経験であり、また観測点の数には限りがあるため震源から「近距離」のデータは極めて稀少である。
- このような観測データベースの偏りや不足を、適切な断層モデルと地下構造モデルに基づく地震動シミュレーションのデータで補う“ハイブリッドデータベース”作成の試みを開始した。