

AIによる地震ハザード評価の 信頼性向上のための研究

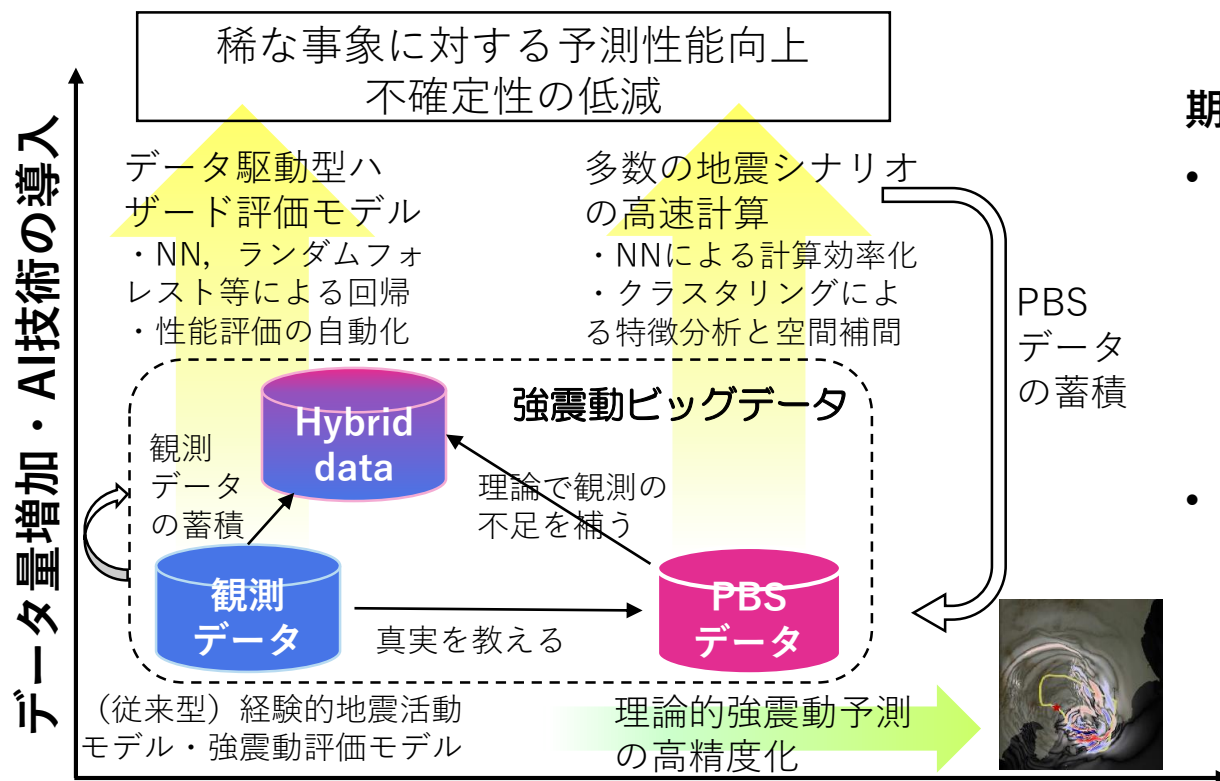
国立研究開発法人 防災科学技術研究所

藤原 広行

AIによる地震ハザード評価の信頼性向上のための研究

背景：確率論的地震ハザード評価における**地震活動モデル**と**強震動評価モデル**には観測記録に基づく経験的な予測モデルが用いられるが、予測の不確実性が大きいことと、未経験の稀な事象に対する予測性能が低ことが根本的課題となっている。観測記録の時空間的不足を物理モデルに基づく数値シミュレーション(PBS)で補い、日々蓄積される観測・PBSデータを効率的に活用して予測モデルを改良する必要がある。

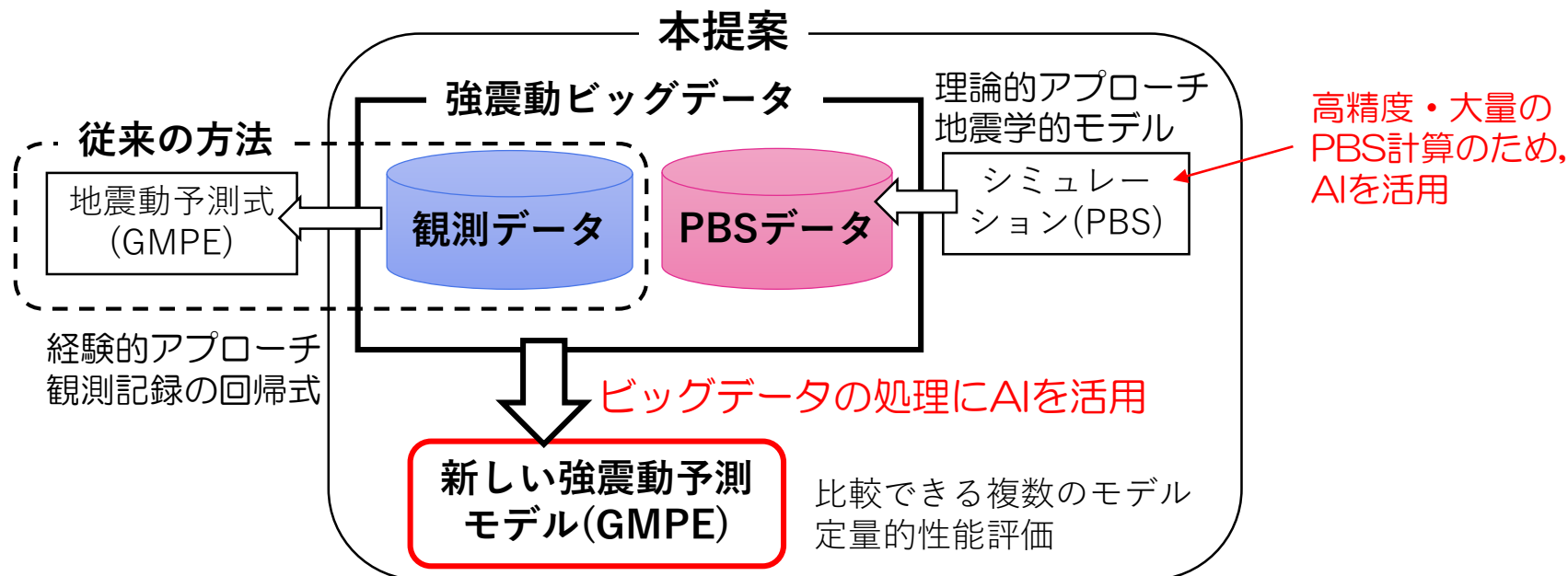
概要：地震ハザード評価の信頼性の向上のために、確率分布としての予測における不確実性の少ないモデルをAI・機械学習の最新手法を用いて実現する。観測記録とPBSデータからなる強震動ビッグデータにニューラルネットワーク(NN)等による回帰分析を適用し、地震活動モデルと強震動評価モデルを改良する。観測データを補強するPBSは、NNを用いた計算効率化や、シミュレーション結果のクラスタリングによる地理的空間補間およびイベント空間補間によって、多数の地震シナリオ計算の高速化を図る。



期待される成果：

- 観測と理論を融合させたデータベースのフル活用により、地震ハザード評価における予測モデルの不確実性が軽減し、地震ハザード評価の信頼性が向上する。
- ハザード評価における不確実性の低減は、**災害リスクの低減・経済性の向上**につながる。

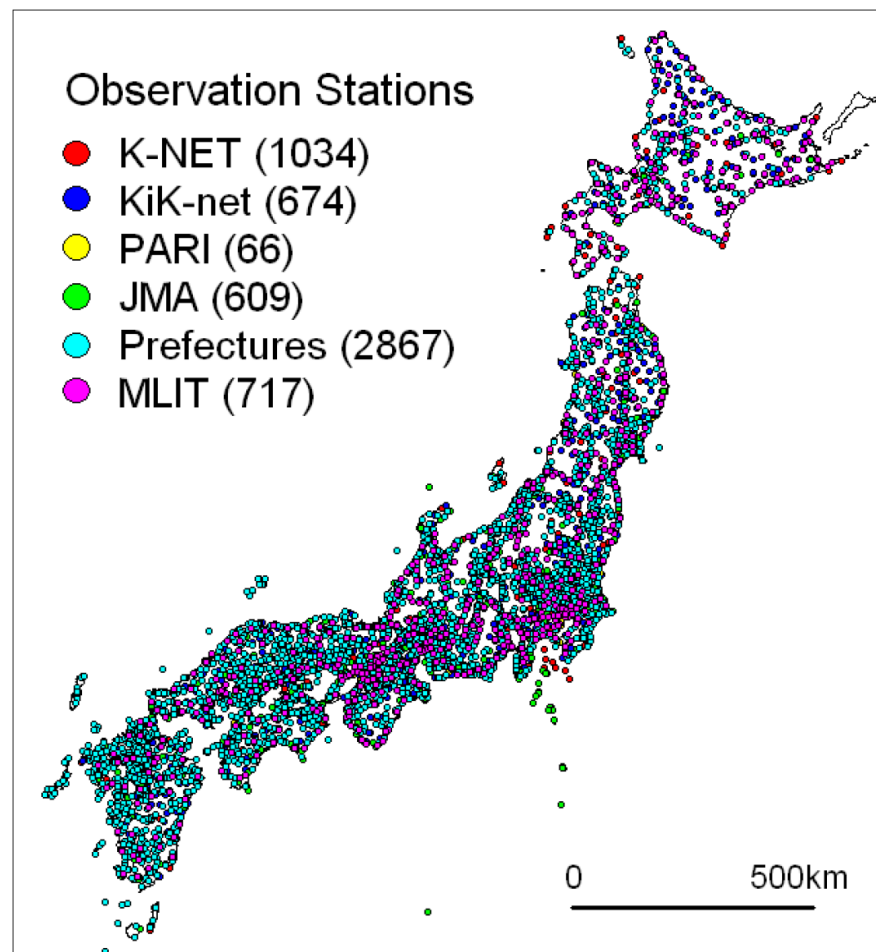
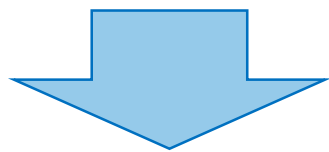
観測データとシミュレーションデータに基づく 新しい強震動予測モデル



- 観測データとPBSデータ（＝理論データ）を融合させることにより、低頻度・未経験の事象を含めた「強震動ビッグデータ」を構築し、共通データベース化する。
- 予測性能と実用性の高いデータ駆動型強震動予測モデルを複数構築する

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
- 震度情報ネットワーク 約3000観測点(自治体)
- 気象庁
- その他



これら観測データを統合した利活用が容易なデータベースの構築が重要である。

米国における共通の強震データベース

NGA-West2 flatfile (NGA=Next Generation Attenuation)

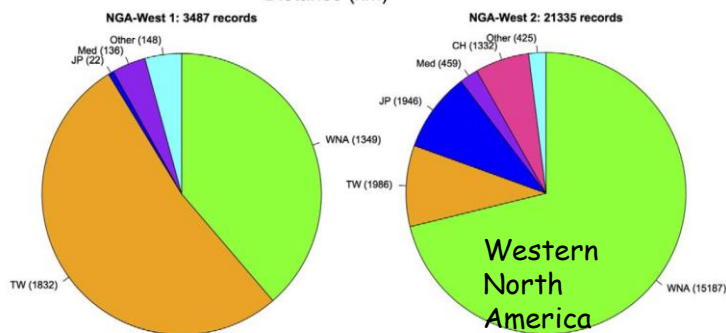
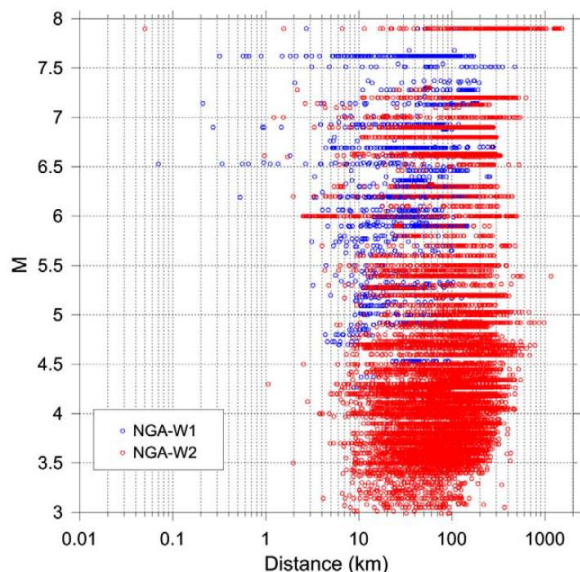


Figure 3. Pie chart of record numbers in the NGA-West1 and NGA-West2 for different regions. CH: China, JP: Japan, Med: Mediterranean, TW: Taiwan, WNA: Western North America (i.e., mostly California).

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

flatfileは公開されている Bozorgnia et al. (2014)
<https://peer.berkeley.edu/research/data-sciences/databases>

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

Search this site

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 GMPs Excel file

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

- Five NGA-West2 horizontal GMPs (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 GMPs (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.

PEER

Give To PEER Subscribe Contact Us PEER Repository

HEADQUARTERS - PACIFIC EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH CENTER

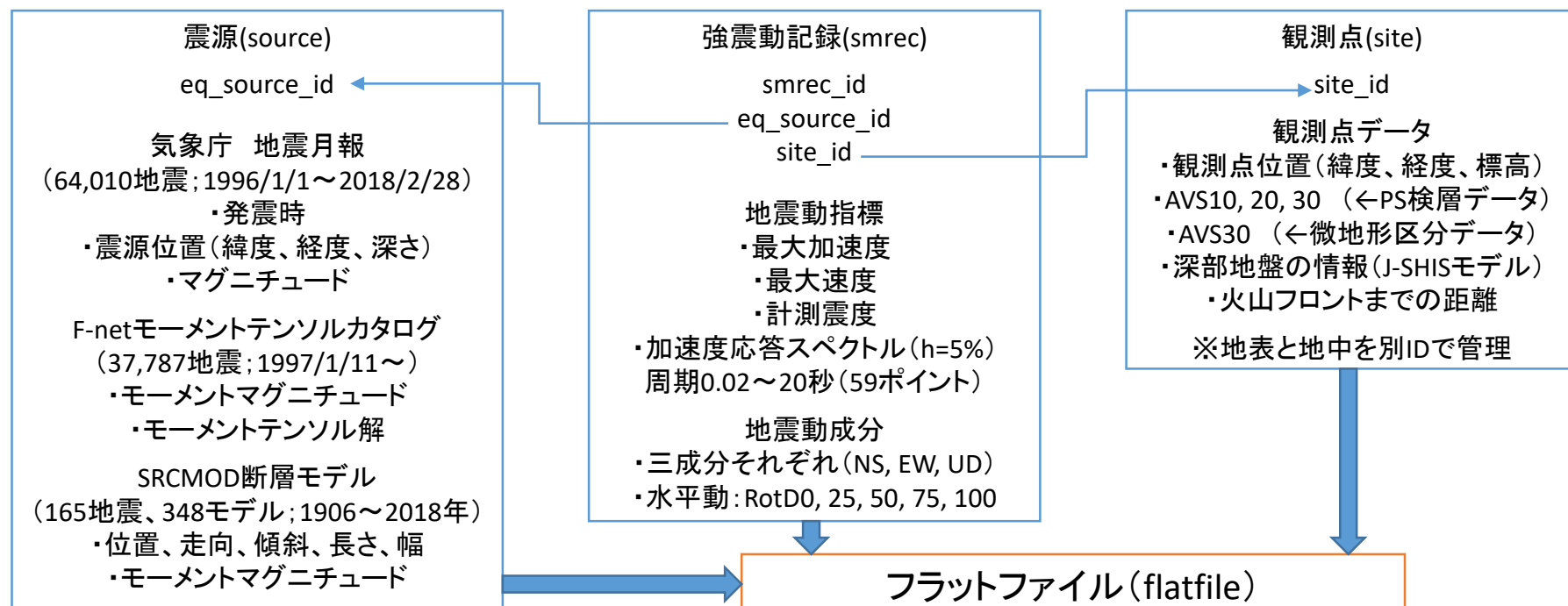
Berkeley
UNIVERSITY OF CALIFORNIA

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



【課題】

- 断層タイプや地震タイプの判定, ノイズデータの除去 → 判定基準の策定, AI化
- 震源断層モデルの選定, 対象とする地震動指標 → 選定基準の策定
- データベースの維持, 管理, 運用 (データ更新・拡充を含む) の枠組みの構築

日本のGMPEの課題① 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

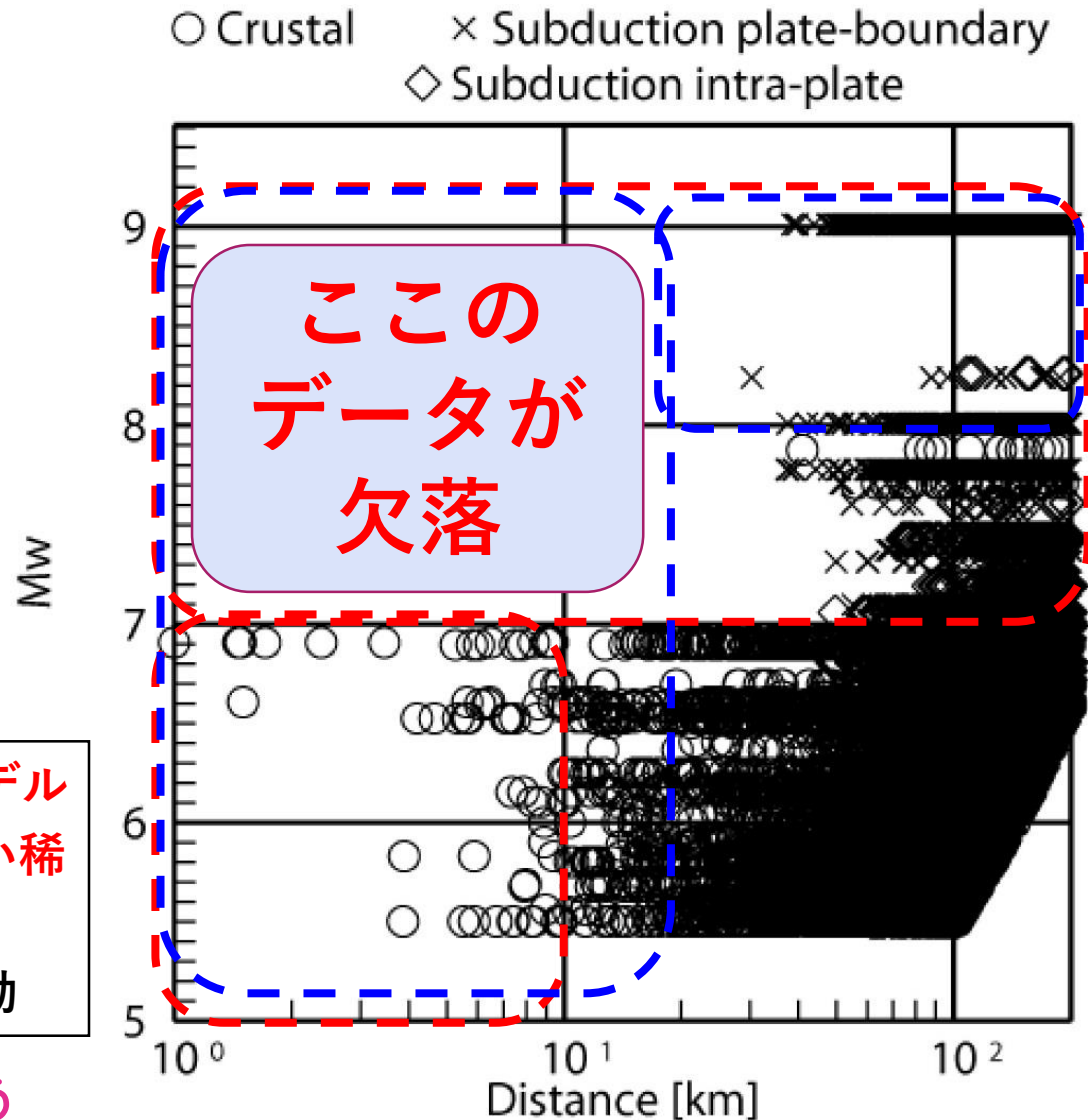
地殻内地震 (Crustal)

$M_w > 7.0$, 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

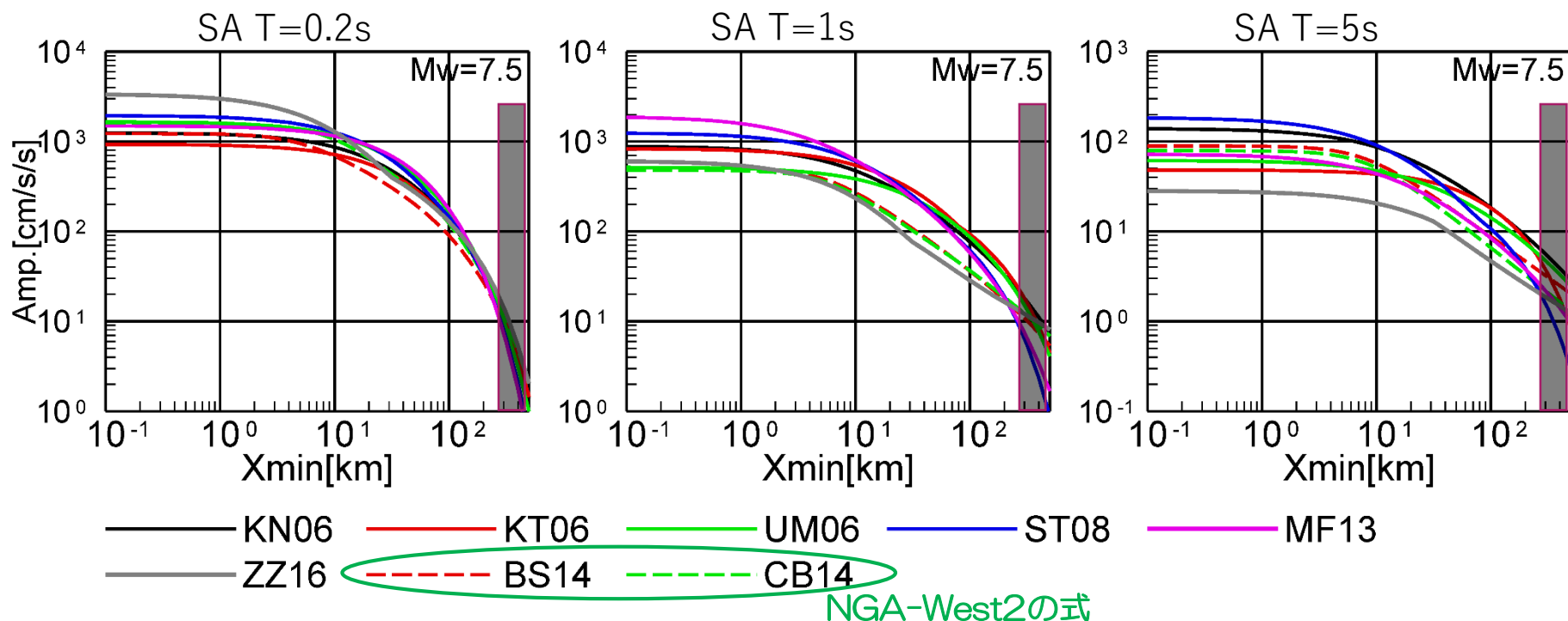
GMPEは観測記録に担保されたモデル
だが、本来予測しなければならない稀
な事象はまだ観測されていない
巨大地震, 断層近傍, 長周期地震動

⇒シミュレーションで補う



日本のGMPEの課題② 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



日本のGMPEはモデル間のばらつきが大きい。
確率論的地震ハザード評価において認識論的
不確定性として処理することができない

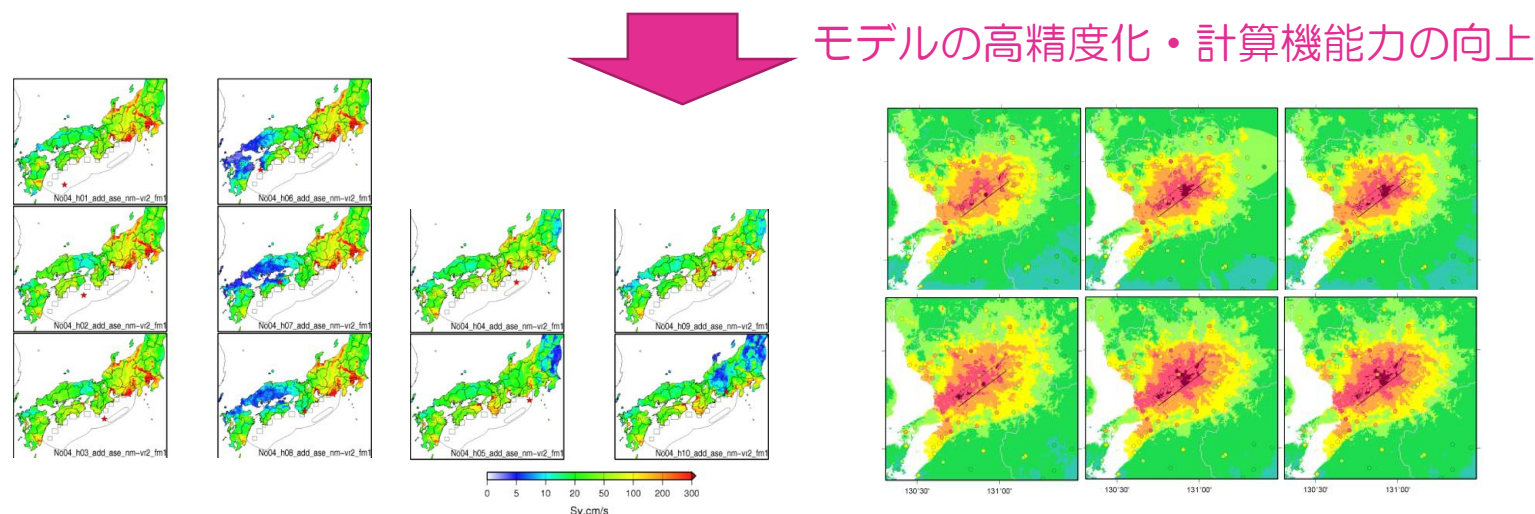
家内工業的研究から組織的な研究への変革が必要

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**

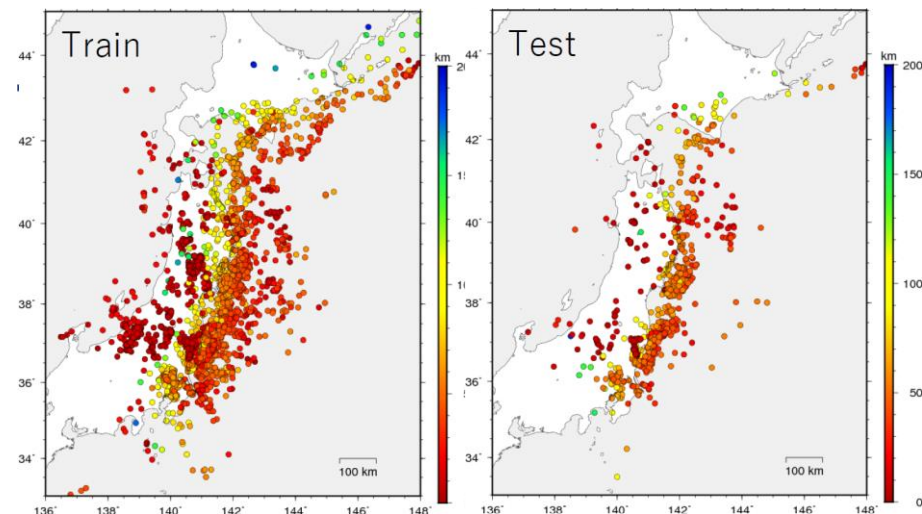
- 強震動予測用（運動学的）**震源モデル化手法の発展**（e.g. 「レシピ」）
- 震源モデルと地下構造モデルに基づく三次元地震波伝播シミュレーション（**PBS = Physics-Based Simulation**）による強震動計算



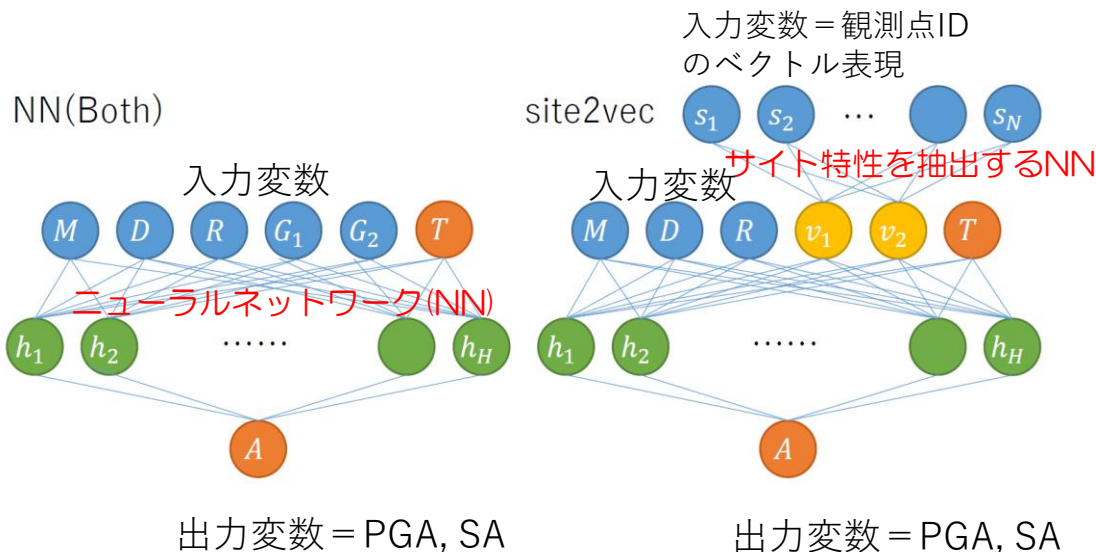
低頻度・未経験の事象（巨大地震，断層ごく近傍，長周期地震動）
について高精度かつ大量の強震動計算が可能になりつつある

AIによるGMPE作成の試み

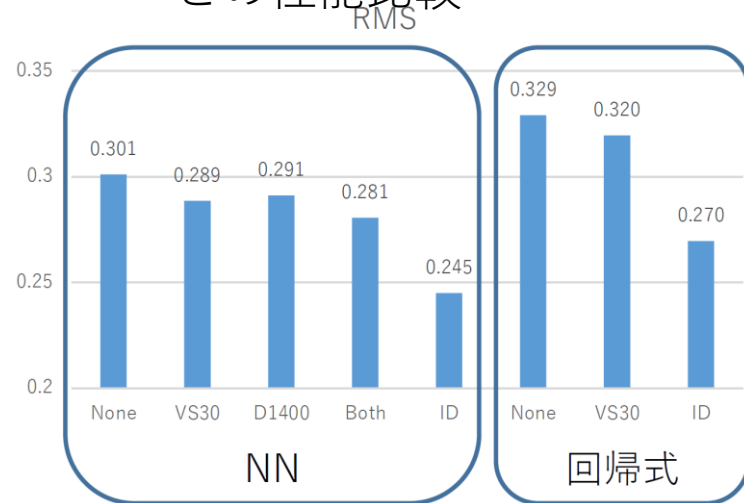
- データベースを活かしたニューラル・ネットワーク(NN)によるGMPEの構築
⇒従来のGMPEのような定式化が不要
- サイト特性を入力変数にとる場合, サイト特性を表す物理量の選択に任意性がある (例えば表層30m平均S波速度, 地盤の卓越周波数など)
⇒サイト特性自体をNNで抽出することを試みた



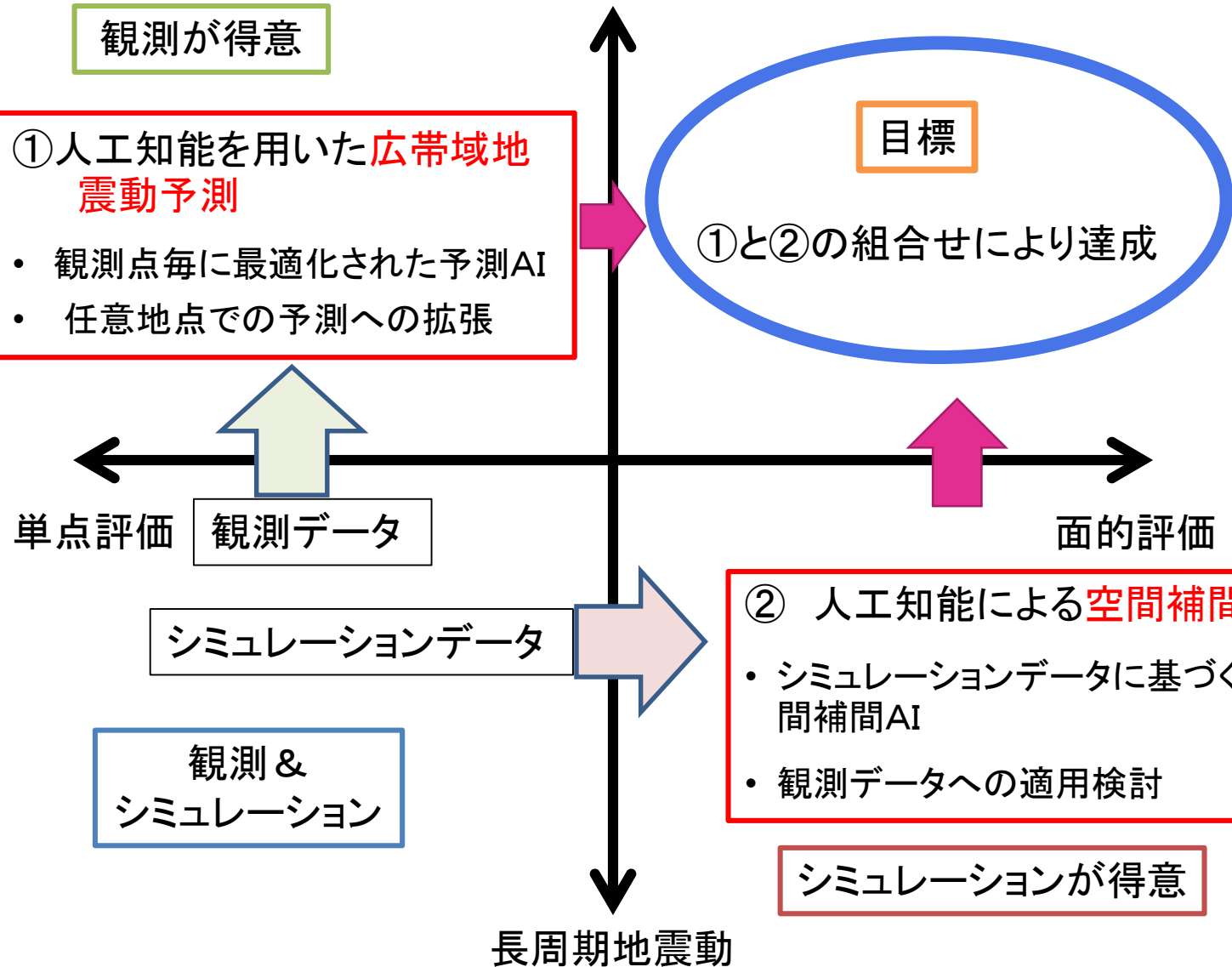
試作版統一データベースから学習データ, 試験データをサンプル



従来型GMPE(回帰式)
との性能比較

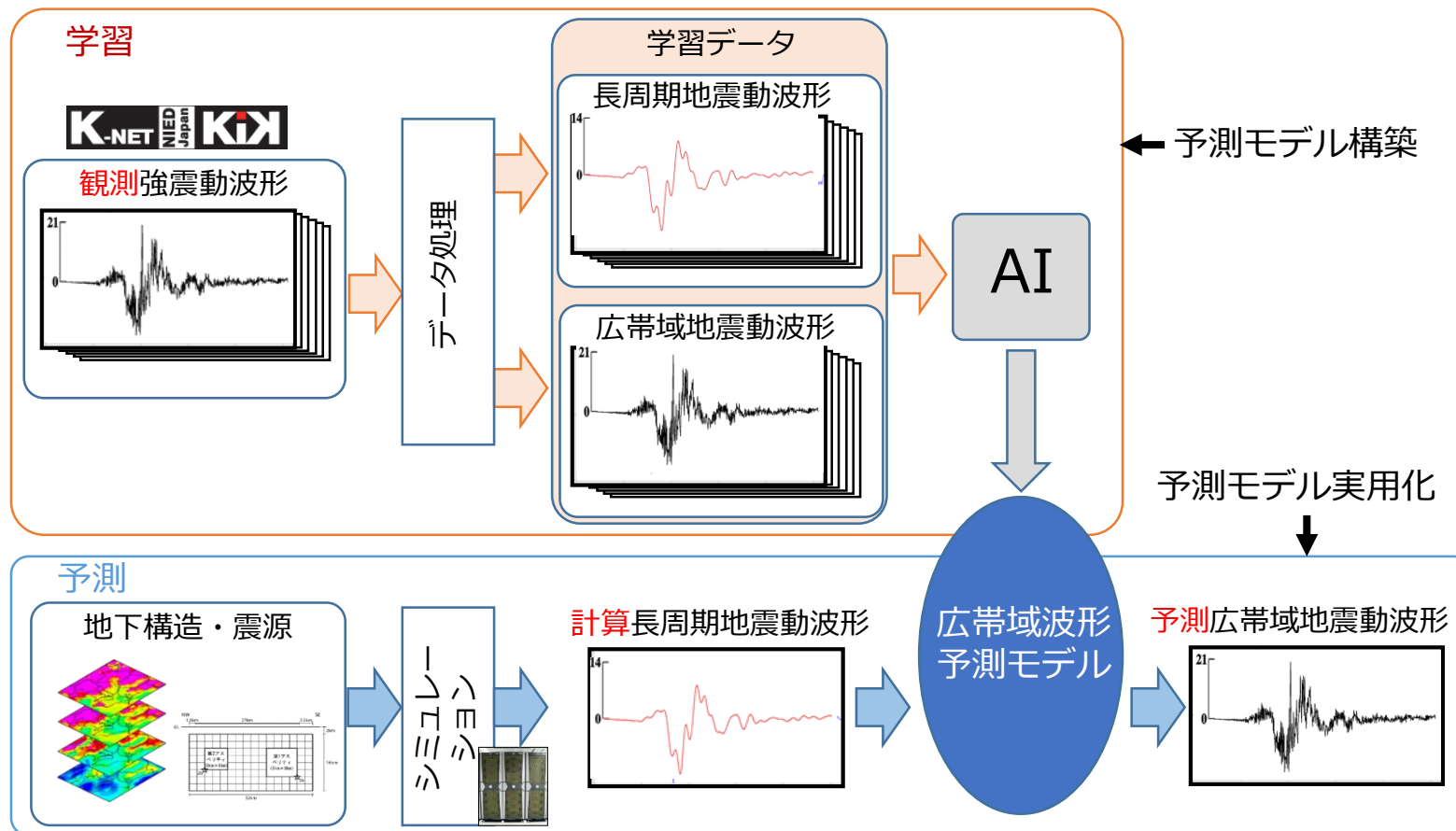


短周期を含む広帯域地震動



カップリング学習によるアップサンプリング技術を用いた**広帯域地震動予測**

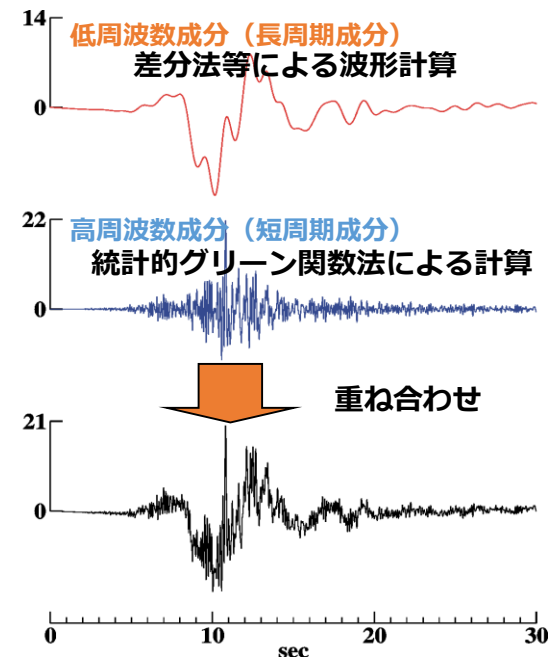
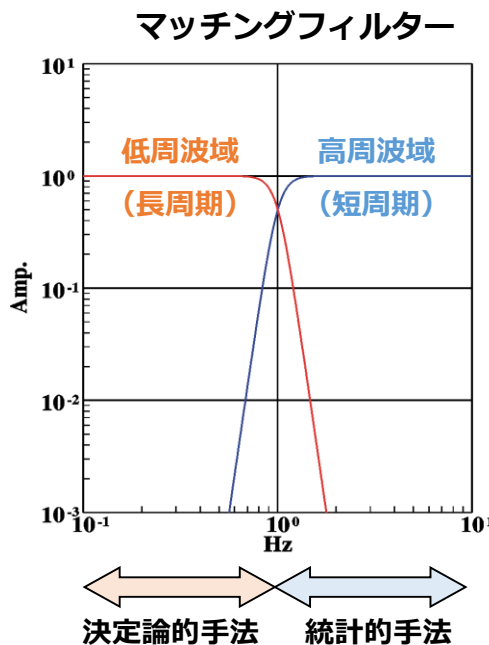
- 防災科研に蓄積された膨大な観測記録を基に、長周期地震動から広帯域地震動を予測するAIを構築（上段）
- シミュレーションによる長周期地震動にAIを適用し、面的な広帯域地震動を予測（下段）



カップリング学習によるアップサンプリング技術を用いた**広帯域地震動予測**

背景

- 広帯域地震動予測で用いられているハイブリッド合成法では、別々に計算した長周期成分と短周期成分を足し合わせることで広帯域地震動を計算している。
- 別々の計算結果を足し合わせるため、長周期成分と短周期成分の走時がずれたり、境界となる周期付近の地震動が過少評価される可能性がある。
- K-NET、KiK-netにより蓄積された大量の観測記録を活用し、長周期帯域と短周期帯域の地震波形の関係性を学習したAIを構築すれば、詳細な地下構造モデルを用いて決定論的手法により計算された長周期地震動を基に広帯域地震動が求められる可能性がある。

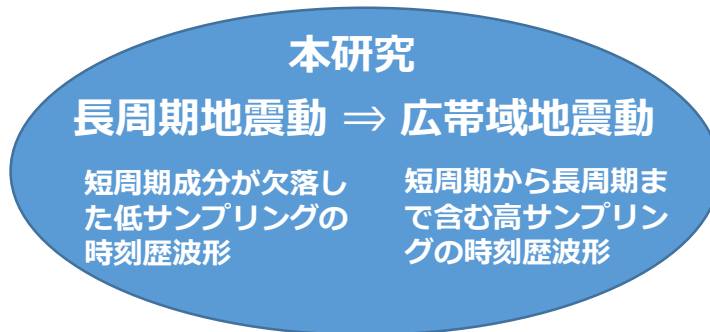
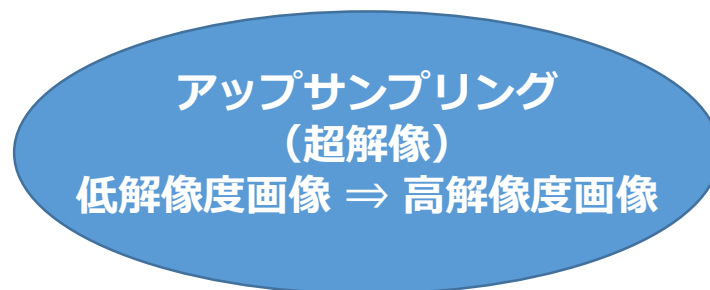
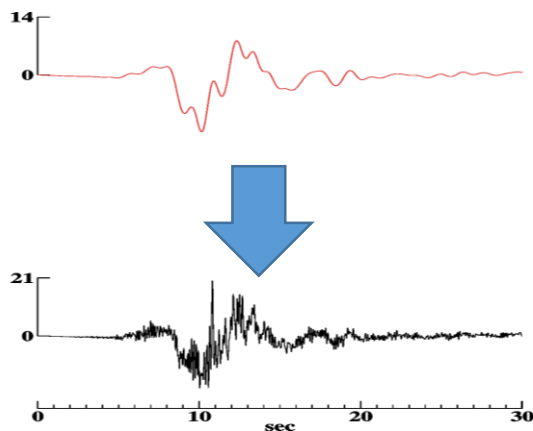


カップリング学習によるアップサンプリング技術を用いた**広帯域地震動予測**

長周期地震動を短周期成分が欠落した低サンプリング（低解像度）の地震動、広帯域地震動を短周期から長周期まで含む高サンプリング（高解像度）の地震動と考えると、低解像度画像から高解像度画像を予測するアップサンプリングの問題として捉えることが可能。本研究では、カップリング学習（永田ほか、2016）を採用。

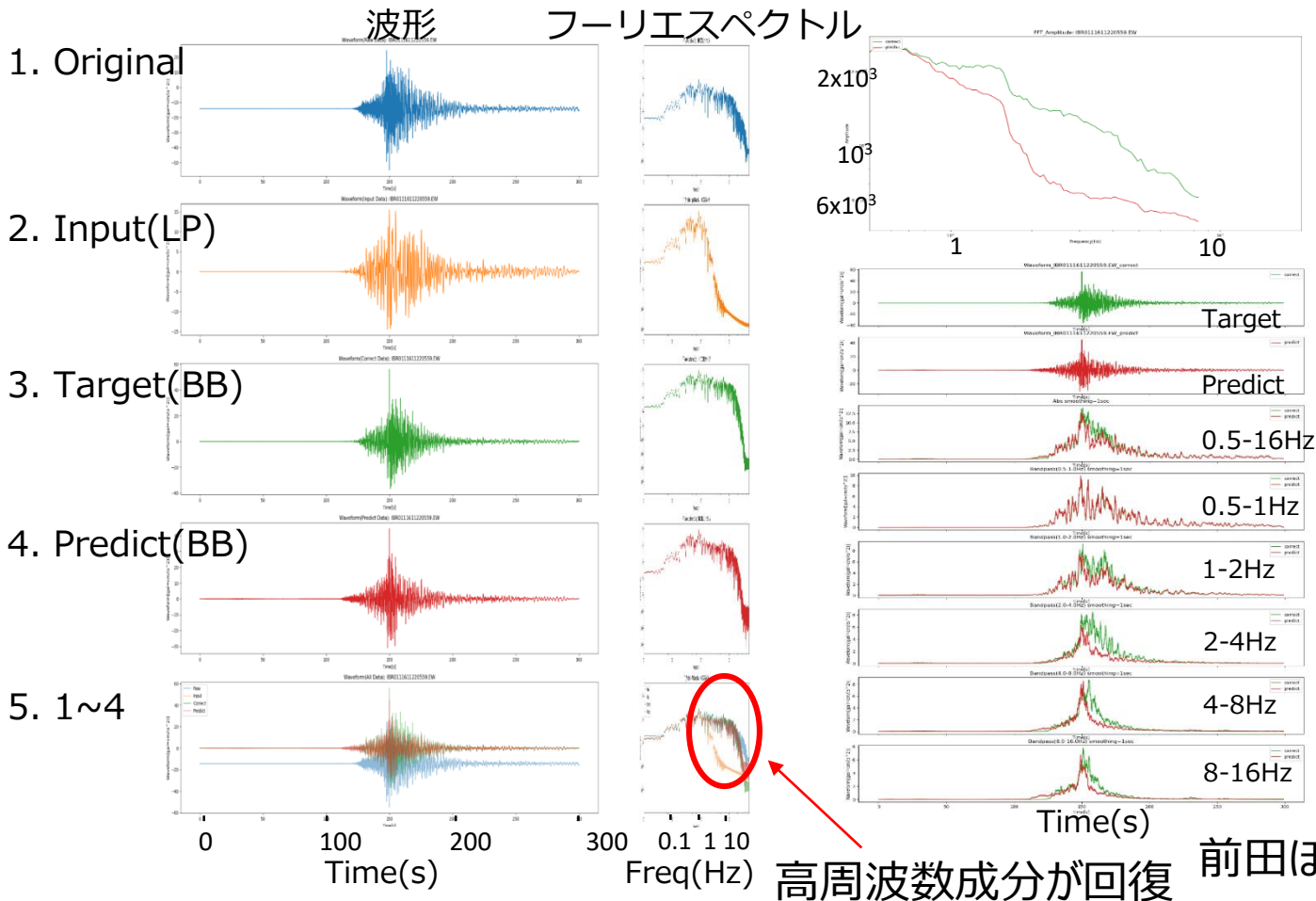


(永田ほか, 2016)



カップリング学習によるアップサンプリング技術を用いた**広帯域地震動予測**

- カップリング学習により、K-NETつくば（IBR011）の観測記録を用いて、0.1～1Hzの長周期地震動から0.1～16Hzの広帯域地震動を予測するAIを構築。
- 長周期（橙色）から予測された広帯域（赤色）は、観測記録（緑色）と整合的。

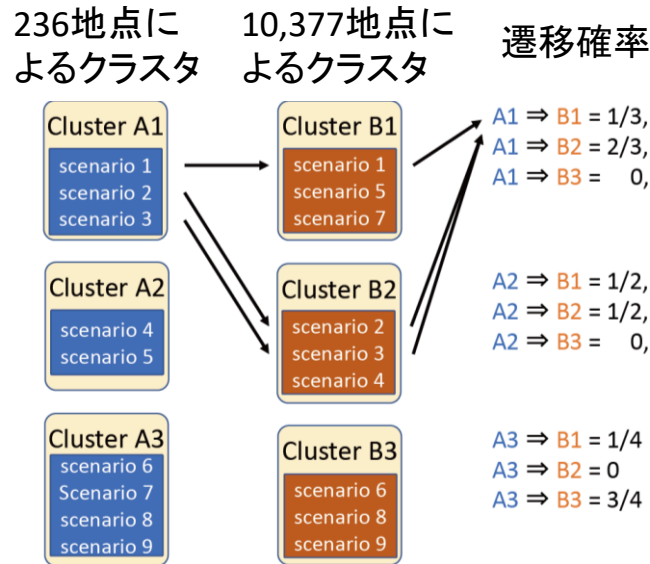


前田ほか（2019）

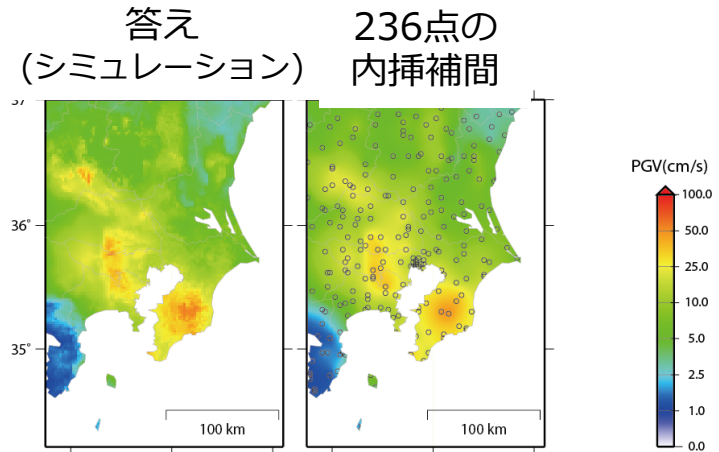
クラスタリング結果の地震動分布推定への活用

Maeda et al.(2019)

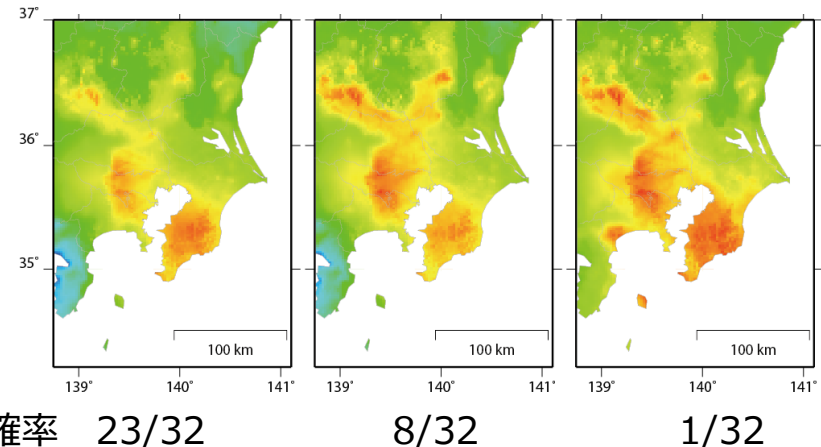
- 多数の地震動シミュレーションデータを用いて、離散的に分布する実観測点（236点）における地震動から、稠密に配置した仮想観測点（10377点）における地震動を予測するAIを構築



236点のみのデータから求めたクラスタ内のシナリオが、10,377点のデータから求めたクラスタに含まれる割合を遷移確率として定義。高確率のクラスタの平均的な地震動分布が予測結果となる。



高確率のクラスタの平均的な地震動分布



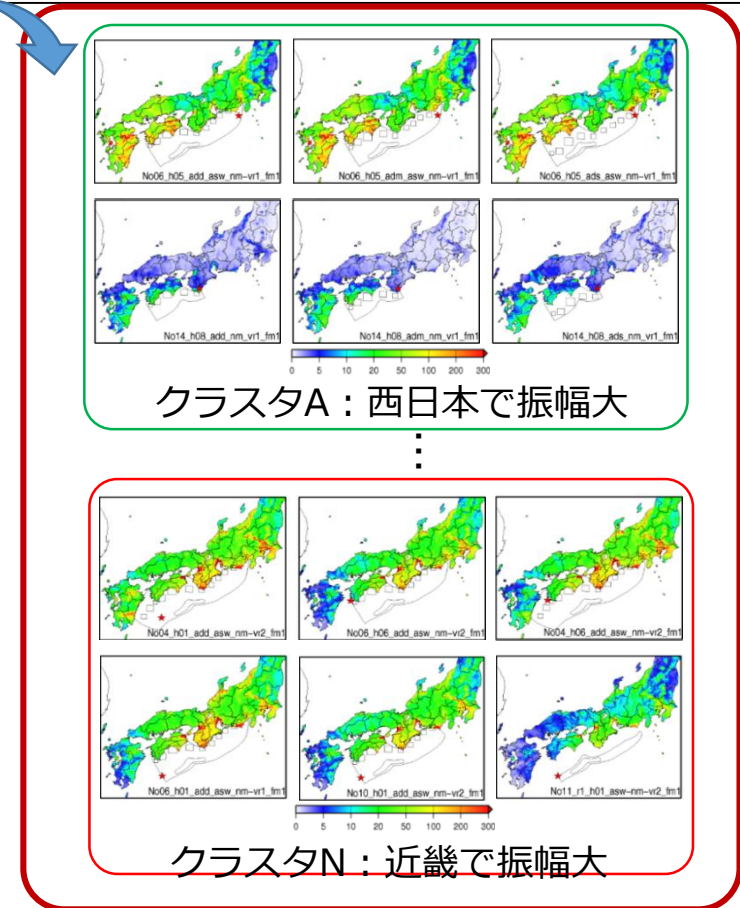
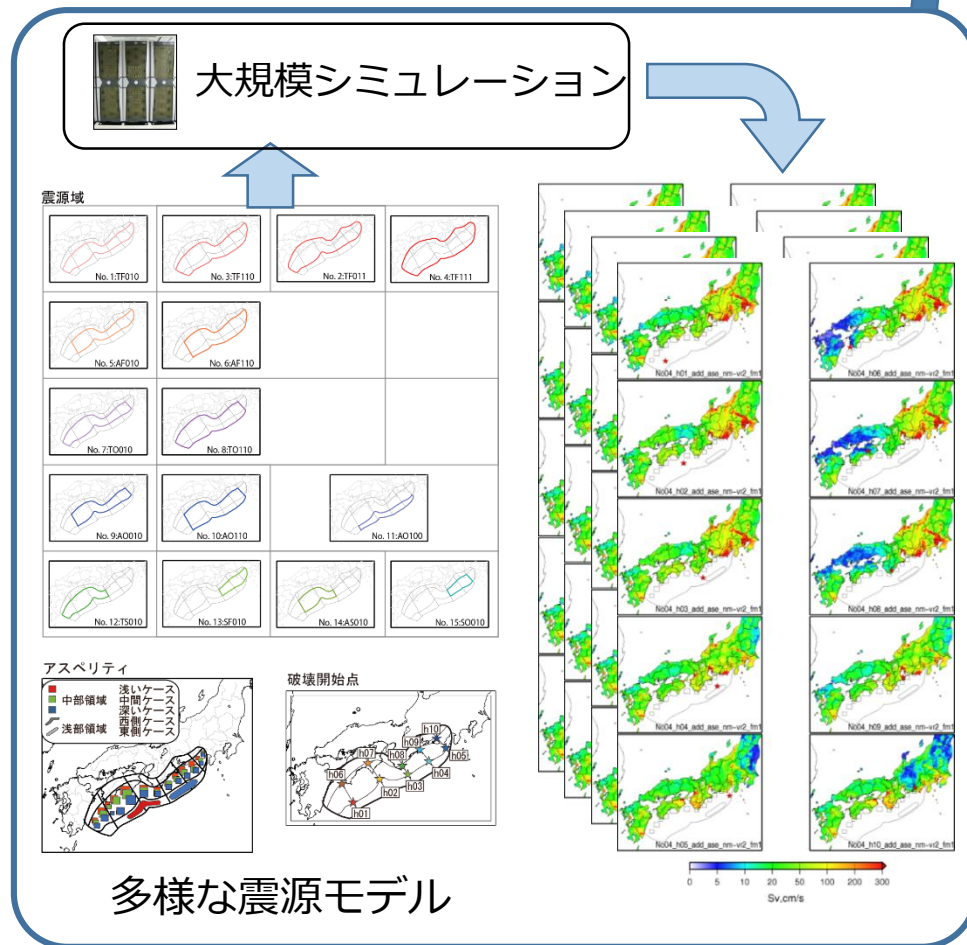
単純な内挿では表現できない不均質な空間分布を再現できている

クラスタリングによる地震動シミュレーションデータ分析

前田ほか (2017)

- 既往PJにより多様な震源モデルに対する大量の大規模地震動シミュレーションデータが蓄積されている。

シミュレーションデータへのクラスタリング（教師無し学習）の適用



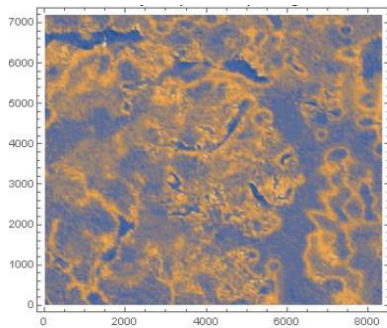
多数のシナリオ群から、特徴の異なる少数の代表シナリオを抽出可能

ニューラルネットワークによるシミュレーションの効率化

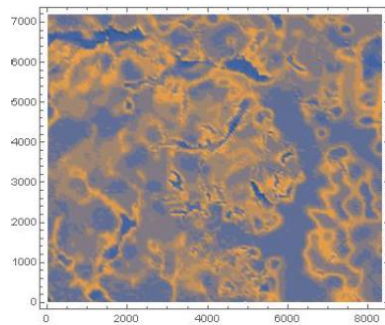
Ichimura et al.(2017) SC'17 Best Poster

- 高精細地下構造モデルを用いた超大規模地震波伝播シミュレーションによる地震動計算（計算コスト大；京コンピュータの全CPU coreを8時間使用）
- 1ケースの超大規模シミュレーション結果を基に、各地点の地下構造（境界面深さ）と地震動レベルとの関係を学習したAIを構築
- 不確実性を考慮して作成した1000ケースの地下構造モデルを用いたAIによる地震動レベル計算（計算コスト小）
- 地下構造モデル起因の地震動の不確実性評価

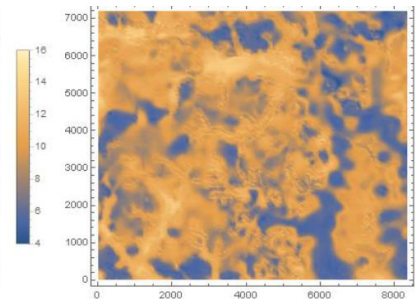
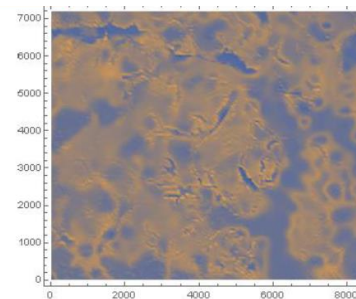
シミュレーションによる
地震動分布



AIによる地震動分布



AIを用いたモンテカルロシミュレーションにより評価
した地震動分布の平均(左)とばらつき(右)



計算範囲：約10km四方