「マルチスケール・マルチフィジックス現象の統合シミュレーション」
平成 17 年度採択研究代表者

松浦　充宏

（東京大学大学院理学系研究科　教授）

「観測・計算を融合した階層連結地震・津波災害予測システム」

１．研究実施の概要

プレート沈み込み帯に位置する我が国の地震・津波災害の軽減に資するために、プレート運動による地殻応力の蓄積を経て大地震が発生し、地震波が構造物を揺らし、津波が海岸部を襲うまでの一連の過程を「地球シミュレータ」上で再現・予測する観測・計算融合の階層連結型高精度シミュレーション・システムを世界に先駆けて開発する。平成 17 年度は、設備と既存要素モデルの整備並びに全体システムの基本設計を行った。平成 18− 19 年度には、既存要素モデルを結合して、地震発生予測シミュレーション、強震動／津波予測シミュレーション、人工構造物振動予測シミュレーションを実施する。また、これと並行して階層連結プラットフォームを構築する。

平成 20− 21 年度には、これら３つのサブシステムを更に階層連結して全体システムを構築し、実シナリオに即した地震・津波災害予測の統合シミュレーションを試みる。

２．研究実施内容

研究目的

プレート運動による地殻応力の蓄積を経て大地震が発生し、地震波が構造物を揺らし、津波が海岸部を襲うまでの一連の過程を「地球シミュレータ」上で再現・予測する観測・計算融合の階層連結型高精度シミュレーション・システムを世界に先駆けて開発する。

研究方法

本研究で開発する地震・津波災害予測システムは、プレート運動、地殻応力蓄積、地震破壊伝播、地震波動伝播、津波発生伝播、及び人工構造物振動の６つの要素モデルと地殻変動データ解析、地震活動データ解析、及び強震動データ解析の３つの基本プログラム、そしてそれらを連結するシミュレーション・プラットフォームから構成される（図１）。全体システムを構成する要素モデル及び基本プログラムは、津波発生伝播モデルを除き、既にそのプロトタイプが開発されている。従って、本研究の第１フェーズ（平成 17 年度ー19 年度）では、先ず津波発生伝播モデルを新に開発すると共に、相互に関連する要素モデル

及び基本プログラムを結合して３つのサブシステムを構築し、地震発生予測シミュレーション、強震動／津波予測シミュレーション、及び人工構造物振動予測シミュレーションを実施する。また、これと並行して、大規模連成シミュレーションのための階層連結プラットフォームを開発する。第２フェーズ（平成 20 年度〜22 年度）では、これらの３つのサブシステムを更に階層連結した全体システムを構築し、実シナリオに近い形での地震・津波災害予測シミュレーションを実施する。

上記研究計画は、６つの研究グループ（松浦、古村、奥田、市村、長嶋、福山の各グループ）が連携・協力しながら、分担して遂行する。各グループの分担研究項目は次の通りである。

（１）プレート運動に依る地殻応力の蓄積と地震発生予測シミュレーション（松浦グループ）
（２）地震波動伝播と津波発生伝播のシミュレーション（古村グループ）
（３）階層連結プラットフォームの構築（奥田グループ）
（４）地震波動伝播と都市構造物群の連成シミュレーション（市村グループ）
（５）地震波動伝播と流体構造連成シミュレーション（長嶋グループ）
（６）地震発生と地震波動伝播の連成シミュレーション（福山グループ）

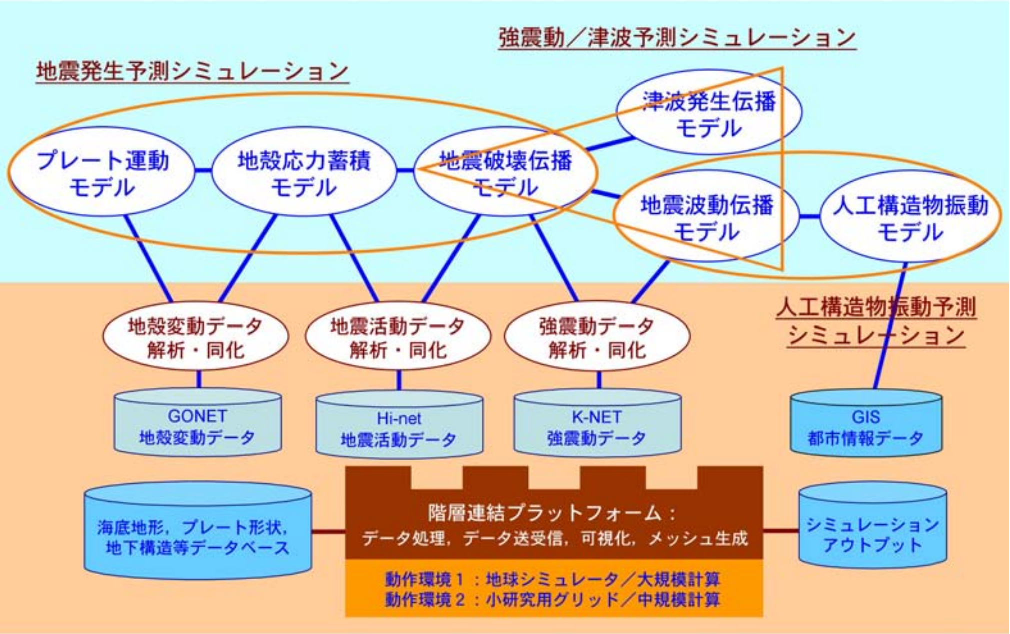

図１　観測・計算融合の階層連結地震・津波災害予測システムの構成

平成 17 年度の研究成果

東京大学理学系研究科及び地震研究所に PC クラスタ、防災科学技術研究所及び国土地理院（東京大学理学系研究科と共同研究）に観測データ処理ファイルサーバーを設置し、こ

れらの４機関／部局を結んだ小規模研究用グリッド環境構築の準備を行った。また、各研究グループは、全体システム開発構想（図１）に従って、既存要素モデルの整備並びに予備的なシミュレーションを実施した。具体的には、松浦グループは、プレート間相互作用による地殻変形・応力蓄積モデルを大規模連成シミュレーションに向けて高度化する一方、国土地理院と協力して日本列島域の地殻変動データ解析・同化システムのプロトタイプを開発し、関東地域に適用してその有効性を検証した（図２）。古村グループは、日本列島の高精度地下構造モデル（分解能 0.25km～1km）と震源滑りモデルを用いて 2004 年新潟県中越地震と 2006 年宮城県沖地震の２つの地震動計算を実施し（図３）、K-NET や KiK-net 等の強震計ネットワークの波形記録とシミュレーション結果の比較から、大規模波動伝播計算手法の有効性を検証するともに、地下構造モデルの物性値の微調整を行った。また、東南海地震の震源断層モデルと日本列島の高精度地下構造モデルを用いて東南海地震の強震動シミュレーションを実施し、関東平野の各地点での強震動特性を評価した。奥田グループは、多階層解析支援データリザボア、多階層ボクセルを用いた可視化データの粗密調整と多階層解析可視化ライブラリ、連成用カプラー、並列連立一次方程式ソルバーライブラリの開発および整備に向けて、データ構造の検討およびシステム基本設計を行った。市村グループは、GIS/CAD データから数値解析用のデータ構造を定義しながら都市モデルを構築するためのフレームワークのプロトタイプを開発した。長嶋グループは、有限要素法（FEM）による薄肉構造物の動的応答解析プログラム、FEM による自由表面を含む非粘性・非回転ポテンシャル流れ解析プログラムを整備し、それぞれ単独で実行する場合についての検証解析を行った。福山グループは、テクトニック応力の蓄積から動的破壊に至る遷移過程のシミュレーション、動的破壊から地震波動を生成するシミュレーションの実施に先立ち、これらの連結部分の具体的な検討を行った。

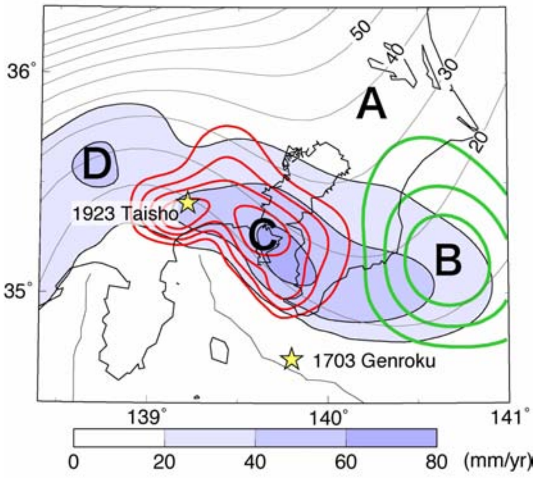

図2. 地殻変動データのインバージョン解析に基づく北米ーフィリピン海プレート境界の応力解放形態の違いによる領域区分

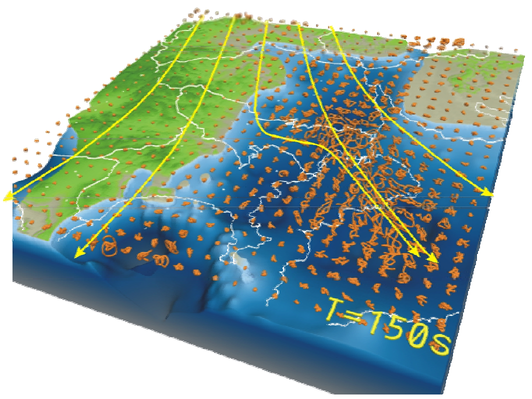

図3. 日本列島の高精度地下構造モデルを用いた 2004 年新潟県中越地震による関東地域の強震動シミュレーション

研究進捗状況

平成17年10月に開始した本研究計画は、PCクラスタ及びデータ処理ファイルサーバーを導入して４機関／部局を結んだ小規模研究用グリッド環境構築の準備を進める一方、各研究グループは既存要素モデルの整備並びに予備的シミュレーションを実施するなど、順調に進捗している。

３．研究実施体制

松浦グループ

① 研究分担グループ長：松浦　充宏（東京大学大学院理学系研究科、教授）

② 研究項目：複雑なテクトニック環境の下にある日本列島域を対象として、プレート運動に依る地殻応力の蓄積から破壊核の形成を経て大地震に至るまでの一連の過程を、観測データと理論モデルを融合した大規模シミュレーションにより「地球シミュレータ」上で再現・予測する。

古村グループ

① 研究分担グループ長：古村　孝志（東京大学地震研究所、助教授）

② 研究項目：地震波動伝播と津波発生伝播のシミュレーションを行う。断層面上での動的破壊により放射された地震動を入力として，不均質媒質中を地震波が伝播し，地表に強震動を生成する過程をFDMによりシミュレーションする。これを入力地震動として，人工構造物振動シミュレーションとの連成解析を実施する。地震断層運動による海底地殻変動を，海底地形と地殻の物性パラメータを組み込んだ大変形FEMを用いて計算し、津波の発生と伝播のシミュレーションを行う。

奥田グループ

① 研究分担グループ長：奥田　洋司（東京大学人工物工学研究センター、教授）

② 研究項目：観測データとモデル計算を融合した大規模連成計算を地球シミュレータ上で効率良く実施し、プログラム間のデータ交換、大規模データ可視化処理を行うための階層連結プラットフォームを構築する。

市村グループ

① 研究分担グループ長：市村　強（東京工業大学大学院理工学研究科、助教授）

② 研究項目：強震動に人工構造物が応答して地震動災害が起きる最終局面を、地震波動伝播と構造物応答の動的相互作用を考慮した連成シミュレーションにより再現・予測する。

長嶋グループ

①　研究分担グループ長：長嶋　利夫（上智大学、助教授）

②　研究項目：配管構造や石油貯蔵タンクなど湾岸地帯に設置されているプラント機器構造物に地震波が入力した場合の動的応答を高精度かつ高速にシミュレーションする計算コード開発を行う。

「福山」グループ

①　研究分担グループ長：福山　英一（防災科学技術研究所、主任研究員）

②　研究項目：境界積分方程式法による地震の動的破壊シミュレーションコードと差分法による地震波動伝播コードを連結し、地震発生の物理過程を考慮した定量的な地震動シミュレーションを行う。