

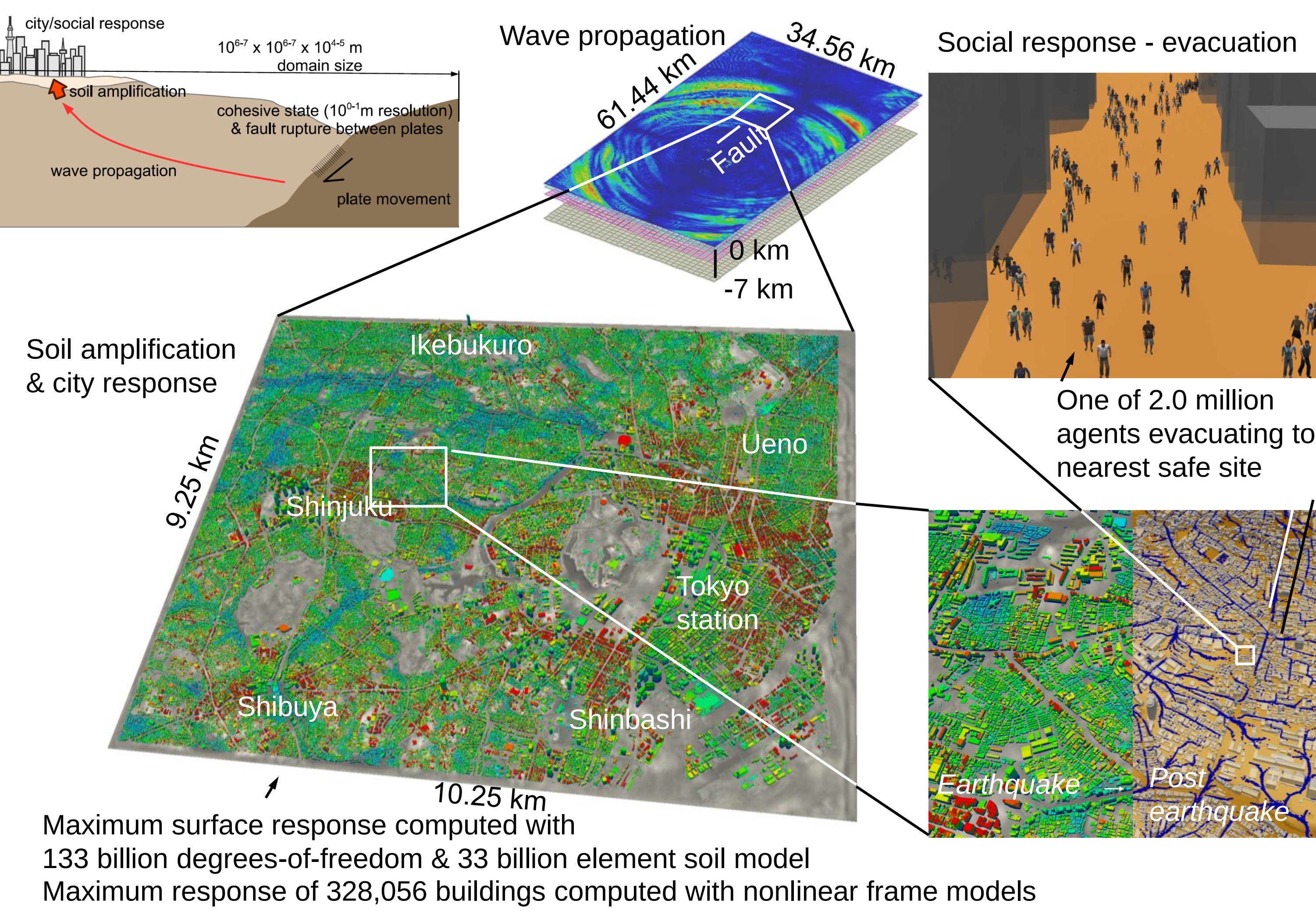
高性能計算を用いた地震シミュレーションにおけるデータ利活用の高度化に向けて

藤田航平, 山口拓真, 市村強, 堀宗朗, Lalith Maddeggedara (東京大学 地震研究所/工学系研究科社会基盤学専攻)

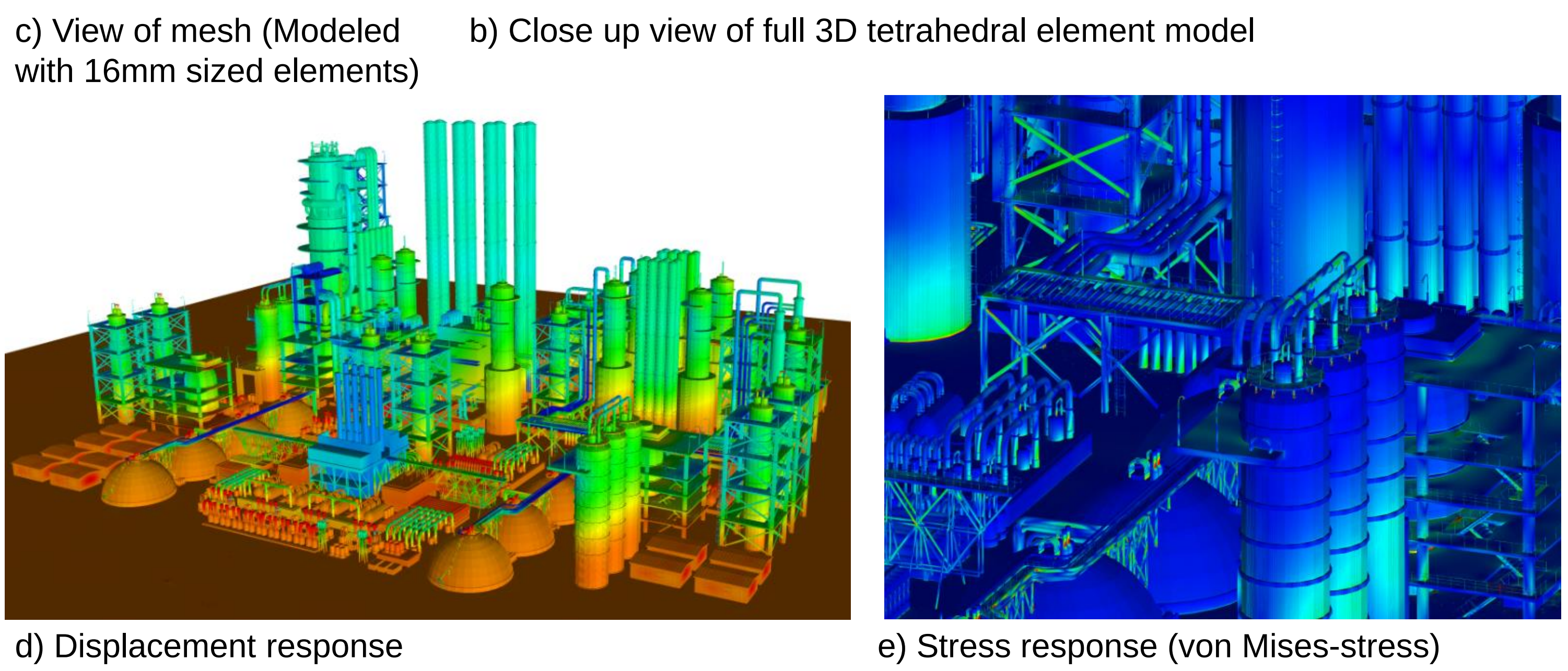
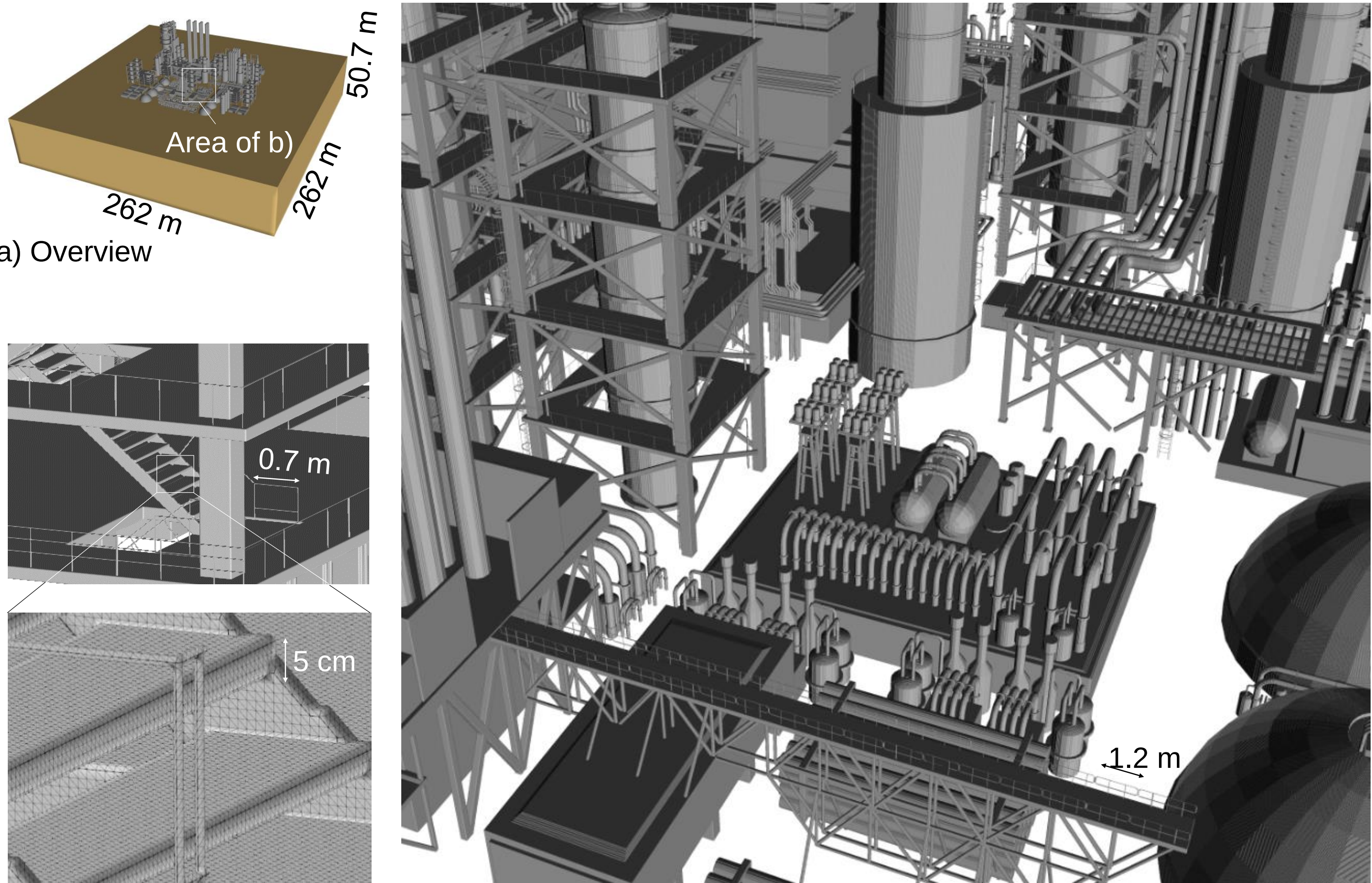


高性能計算を用いた地震シミュレーション

- 地震の全過程を解析する統合地震シミュレータを開発している
- 非構造格子有限要素法の高性能計算により、京コンピュータ上で大規模な地盤震動解析を実現(e.g., Ichimura et al. SC14 [Gordon Bell Finalist], Ichimura et al. SC15 [Gordon Bell Finalist])
- 計算機アーキテクチャに応じたアルゴリズム設計・実装により、メニーコア計算機であるOakforest-PACS (Ichimura et al. IPDPS 2018), P100 GPUベースのPiz Daint (Yamaguchi et al. ICCS 2017)においても高性能な有限要素解析を実現
- 高速有限要素解析の実現によりボトルネックとなった有限要素モデル(メッシュ)の高速・ロバストな生成手法も開発(Fujita et al. HPC Asia 2018 [Best Paper Award])



統合地震シミュレーション(京コンピュータ, 全系での実行効率18.6%)



高速・ロバストなメッシュ生成手法を活用した超詳細地震応答シミュレーション. 262 x 262 x 50.7 mの領域を要素サイズ1.6cmでメッシュ生成 (メニーコア用有限要素ソルバーはOakforest-PACS全系で実行効率13.4%を達成)



京コンピュータ



Oakforest-PACS

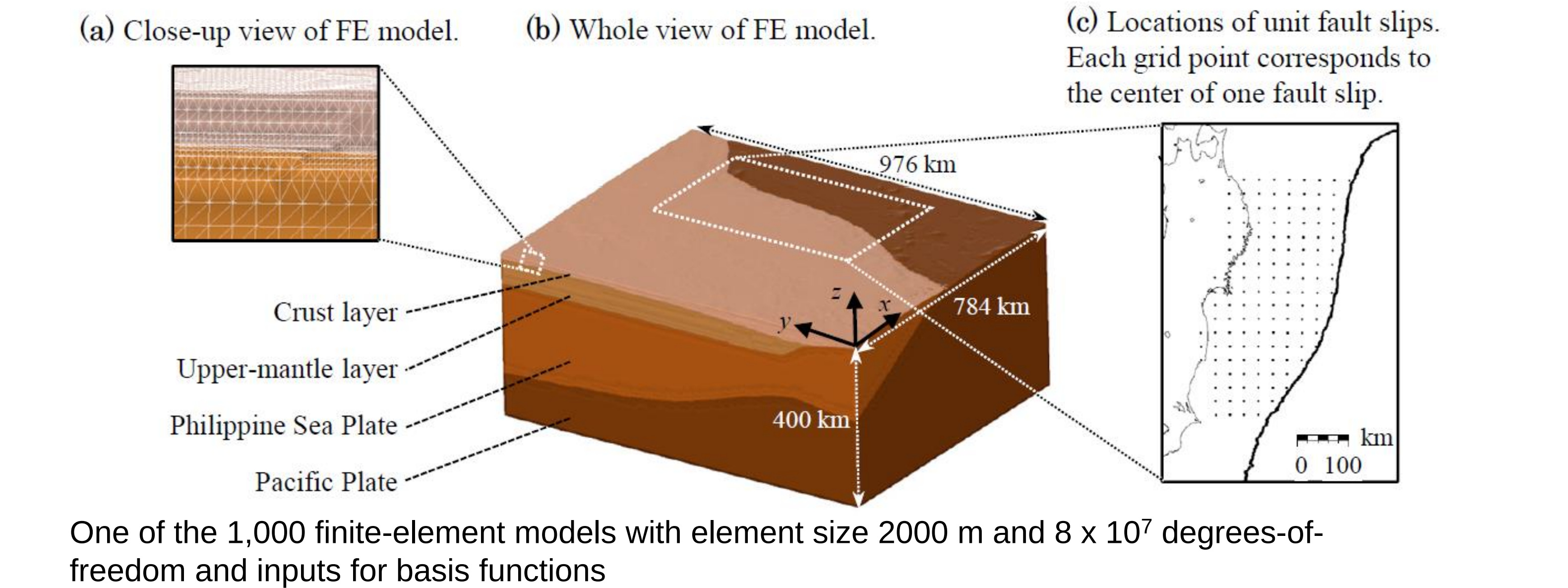
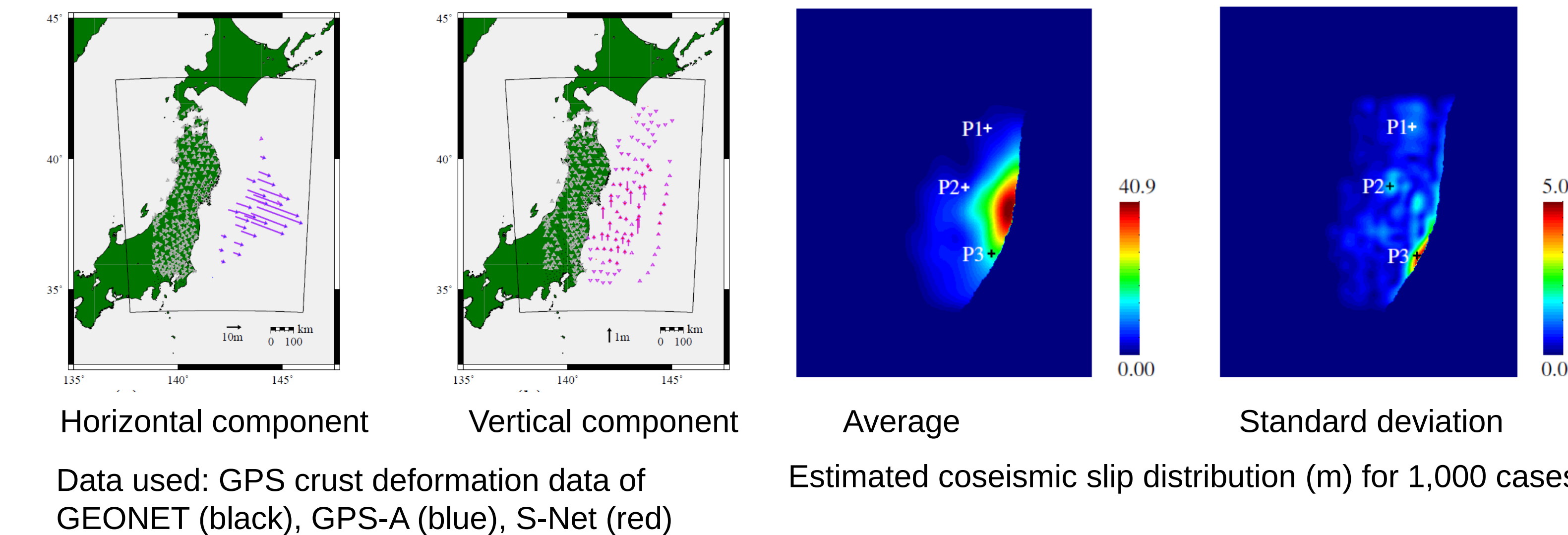


Piz Daint

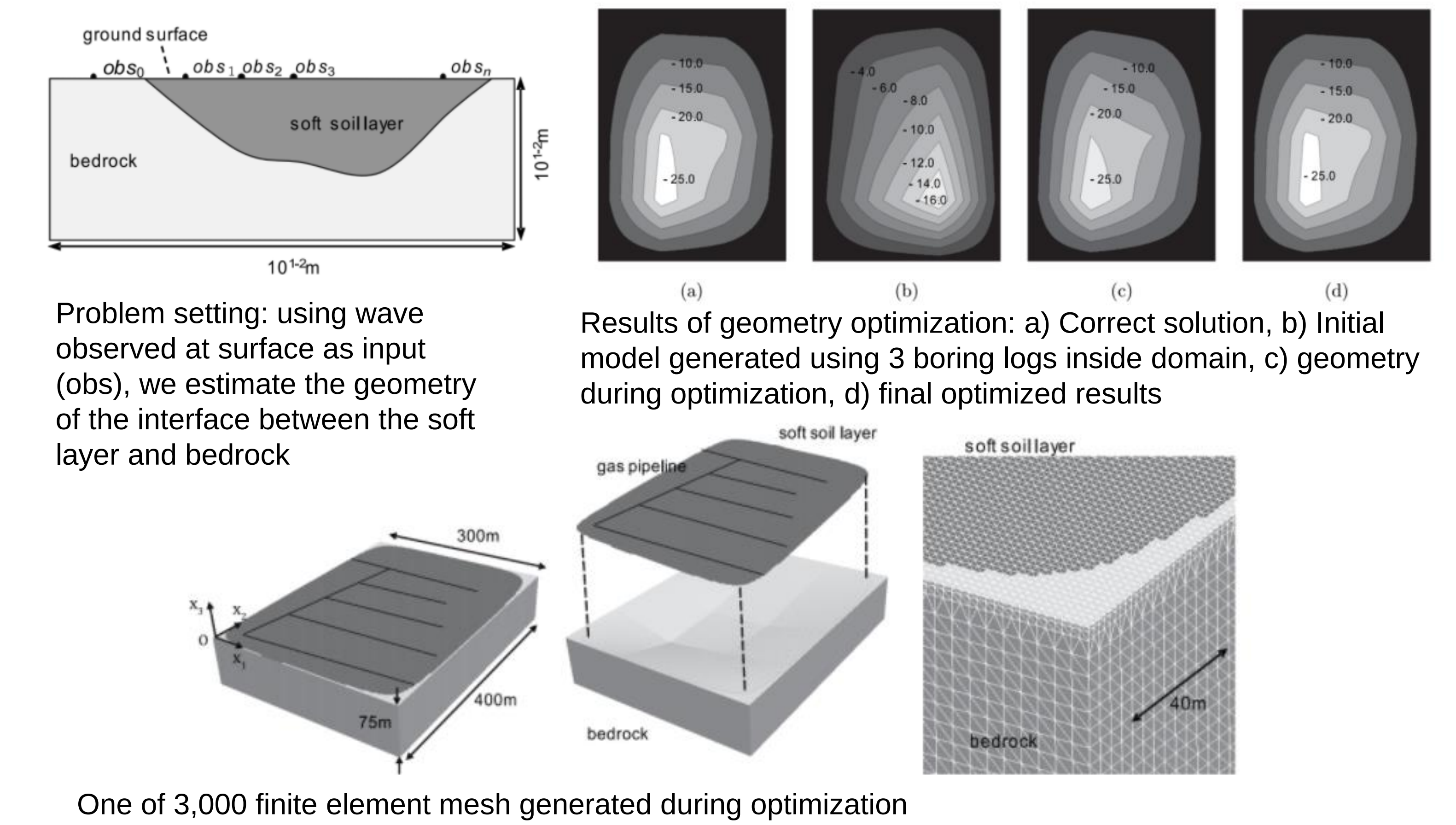
計算機アーキテクチャに応じたアルゴリズム設計・実装により、マルチコアCPUシステム(京コンピュータ), メニーコアCPUシステム(Oakforest-PACS), GPUシステム(Piz Daint)で高性能を実現

地震シミュレーションにおけるデータ利活用の高度化に向けて

- 現在まではdeterministicなモデルに対して順計算をしてきたが、計算・メッシュ生成手法の高速化により、データに応じてモデルを更新するタイプの計算も可能となってきた
- 例1: 断層形状に不確実性を入れた断層滑り分布推定(Yamaguchi et al. 2017, ICCS 2017)
 - 地震時の断層滑り分布の推定は地震過程の分析に重要な情報となる
 - 地表での地殻変動データから断層の滑りを推定する問題となるが、実際には断層面の形状は不確定で、断層位置には大きな不確実性がある
 - 本研究では断層形状を確率分布(i.e., 断層面の沈み角を確率変数とする)で表し、その確率分布から1000サンプルを取り出して断層滑りの確率分布を求めた
 - 各断層形状ケースにおいて断層の滑り分布を求めるために360個のグリーン関数を求める必要があるため、全部で360 x 1,000 = 360,000回の順解析を実施
 - 同様の解析により、どこにセンサーを追加すると逆解析の分散が減るかなど定量的な分析をすることが可能になると期待



- 例2: 地表面での観測波形から地盤の3次元内部構造を推定する手法の開発 (Ichimura et al. 2017, Journal of Earthquake and Tsunami)
 - 地震時の応答分布の推定は構造物の耐震評価などの基礎情報となる
 - 現状では限られた数のボーリングデータなどから地下の3次元構造を推定しているため、複雑な構造を持つ地盤においては地下構造の推定精度が不十分となる
 - 本研究では、地表面での時刻歴地震応答分布を入力に地下の3次元構造の精度を改善する方法を開発
 - 地下構造を逐次変更しながら有限要素モデルの生成・波動場解析を繰り返す方法で最適な地盤構造を推定する方法により、3,000回の試行で正解に近い地下構造を推定することに成功



今後に向けて

- 今年度より科研費プロジェクトとして高性能計算によるデータ利活用研究を本格始動する計画(震災軽減のためのヘテロ解析による地殻イメージング手法の開発とその適用, 研究代表者: 市村強, 科研基盤S, 18H05239)
- 具体的には最新のGPU環境である, Power9+V100 GPU環境における高性能計算アルゴリズムと、それを用いたGPU計算機上での地盤構造推定手法を開発中. これにより計算ケース数・問題規模の拡大が可能となり、より詳細な地下構造の推定が可能になると期待できる
- 将来的にはポスト京プロジェクトにおいて地震過程の分析の高度化を進める計画

謝辞: 本研究では、理化学研究所の京コンピュータ(hp170249, hp180217), JCAHPCのOakforest-PACS, Swiss National Supercomputing CentreのPiz Daintを使用しました. 本研究は科研費の助成を受けています (18H05239, 26249066, 25220908, 17K14719).