

## 文部科学省と国立大学附置研究所・センター 個別定例ランチミーティング

### 第41回 東京大学 地震研究所 (2023.5.12)

12:05 – 12:10(5分) : 東京大学地震研究所の概要  
所長 古村 孝志

12:10 – 12:25(15分) : 地震の大規模数値シミュレーション手法の開発  
計算地球科学研究センター 准教授 藤田 航平

12:25 – 12:45(20分) : 質疑応答



# 東京大学地震研究所 概要

所長 古村孝志

1925年(大正14年)創立

「本所永遠の使命とする所は地震に関する諸現象の科学的研究と直接又は間接に地震に起因する災害の予防並に軽減方策の探求とである」

明治廿四年濃尾地震の災害に鑑みて震災  
豫防調査會が設立され我が邦における地震  
學の研究が漸く其緒に就いた大正十二年  
帝都並に關東地方を脅かした大地震の災  
禍は更に痛切に日本に於ける地震學の基  
礎的研究の必要を啓示するものであつた  
この天啓に促がされて設置されたのが當  
東京帝國大學附屬地震研究所である創立  
の際専らその事に盡瘁した者は後に本所  
最初の所長事務取扱の職に當つた工學博  
士末廣恭二であつたその熱誠は時の當大  
學總長古在由直を動かしてその有力なる後  
援と文部省當局の支持とによつて遂に本  
所の設立を見るに至つたのが大正十四年  
十一月十三日であつた本所永遠の使命と  
する所は地震に関する諸現象の科學的研  
究と直接又は間接に地震に起因する災害  
の豫防並に軽減方策の探求とであるこの  
使命とは本所の月に入所する者の日記  
心肝に銘じて忘るべからざるものである  
昭和十年十一月十三日 地震研究所

寺田寅彦による碑文(1935)



# 東大地震研究所: 地震火山メカニズム、災害軽減

防災・減災をめざす

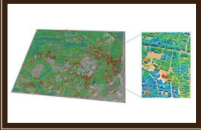
新たな観測機器・解析手法を開発する

地震・火山噴火のしくみを調べる

地球の中をみる

## 地震災害シミュレーション

高性能パソコンと高度な計算科学技術を駆使して、詳細な地震モデルに大地震の揺れを入力して街全体の建物を揺すり、地震被害を高い分解能で予測する研究が進められています。膨大なシミュレーション結果から学習した人工知能を用いて、大地震の際の強い揺れの分布を即座に推定する研究も進めています。

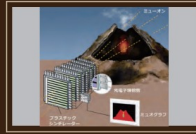


## 沖合ケーブル観測と津波予測

沖合で津波発生をいち早く捉える海底ケーブル地震・津波計を開発し、他機関と協力して太平洋や日本海での観測を行っています。リアルタイム観測データに基づいて、沿岸に到来する津波を予測する技術開発も進めています。また、過去の大津波で陸地に運ばれた津波堆積物を分析し、巨大地震の発生履歴を調べています。

## 観測ビッグデータと予測

高密度の地震観測から得られたビッグデータと、理論モデルに基づく大規模シミュレーションを融合し、統計学を駆使して観測データとモデルの不完全性を考慮した新たな地震解析アルゴリズムの開発が進められています。高度なデータ解析から地震現象の理解を深め、未来をシミュレーションから予測して減災に繋げることが期待されます。



## ミュオンによる地球内部透視

地球に降り注ぐ宇宙線に含まれるミュオン粒子は、X線よりも物体の透過性が高く、火山の内部構造をレントゲン撮影のように調べることができます。マグマの速い連りや深部のマグマの状態を調べて、噴火メカニズムの理解を深めます。高感度のミュオン検出器を独自開発し、野外機動観測を進めています。

## スロー地震と巨大地震

スロー地震は、3つもの地震よりずっと遅いペースのすべりに伴い発生する現象です。今から20年ほど前に、日本で最初に発見されて以来、世界各地の活断層帯で確認され、国際共同研究が進められています。巨大地震の震源域を取り囲むように発生していることから、巨大地震の発生との関連性が注目されています。



## 活断層・構造探査

人工的に微弱な揺れを起こし、地下から反射して戻ってくる地震波を高い密度で設置した地震計で捉え、地下深部を透視する反射法地震探査に基づいて、活断層の位置や地殻構造を調べています。また、地表に現れた活断層とその活動履歴を調べて将来の大地震の発生可能性を探ります。

## 火山観測

日本には、約110の高火山があります。火山の火口周辺に地震計や磁力計を設置して、火山内部のマグマの動きを捉え、また火山ガス成分の変化を調べて、火山噴火を予測する研究が行われています。火山堆積物などを調査して過去の噴火履歴を調べたり、大規模噴火の発生を予測するシミュレーション研究も進めています。



## 地震研究所紹介パンフより

日本列島に多数設置された地震計のデータを解析して、地震の揺れの伝わりかたと地下構造との関係、そして地震被害の成因を調べています。大地震の直後には、震源域の近くに地震計を高い密度で設置し、また電磁場や比抵抗などを測定して地震断層周辺の地下構造を詳細に調べることで、地震発生の原因を探ります。

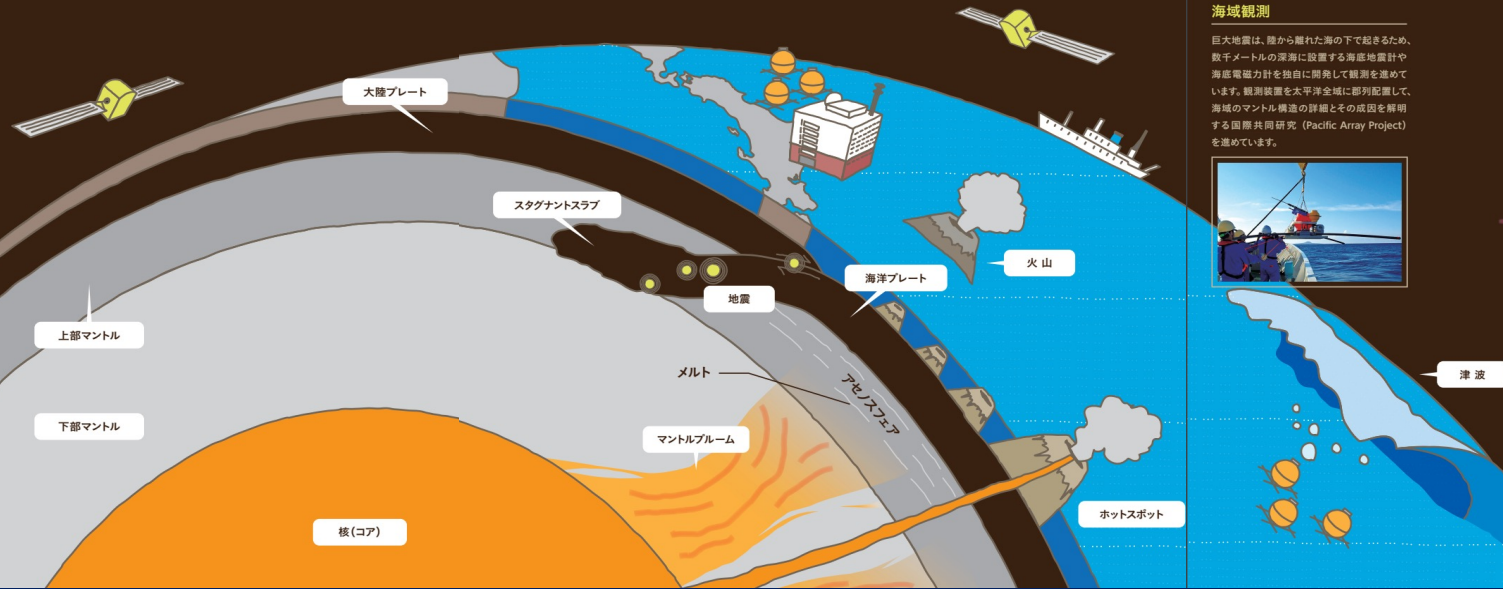
## 耐震工学・建物地震観測

地震の強い揺れによる建物被害を抑え人の命を守るために、大型観測台で建物を揺らす実験やコンピュータシミュレーションなどを通じて建物の耐震設計に関わる研究を進めています。建物に加速度センサーを多数設置して、強い揺れを受けた建物の損傷と倒壊危険度を即座に判断する技術開発も進めています。



## 史料・歴史地震

日本には、1000年以上前に書かれた地震・火山災害の史料が多数残されています。科学的な観測機器がなかった時代の史料を地道に分析することで、地震・火山噴火の発生の予測に向けた重要な基礎資料の提供や、古文書のくずし字を人工知能で高精度で自動により解釈する研究も進められています。



## 海域観測

巨大地震は、陸から離れた海の下で起きるため、数千米の深部に設置する海底地震計や海底電磁力計を独自に開発して観測を進めています。観測装置を太平洋全域に都列設置して、海域のマントル構造の詳細とその成因を解明する国際共同研究 (Pacific Array Project) を進めています。



### 地震研究所について

地震研究所は、関東大震災 (1923年) を契機として1925年に設立されました。地震・火山現象を科学的に解明し、それらに起因する災害を軽減することを使命としています。これに向け、地震・火山現象のみならず、その根源としての地球内部ダイナミクスまで包括的な研究を進めています。地震研究所では、地震学、火山学、地球物理学、地球化学、地質学、測地学、情報科学、社会基盤学、建築学、地震工学などの多様な専門を持つ約85名の教員が、研究を支援する約90名の事務・技術職員とともに教育研究に携わっています。大学院理学系研究科や工学系研究科、学際情報科学府学際情報学専攻などからの約80名の大学院生と、国内外からの数十名の研究員が在籍しています。

## 【役割1】地震火山現象とその根源としての地球ダイナミクスの研究

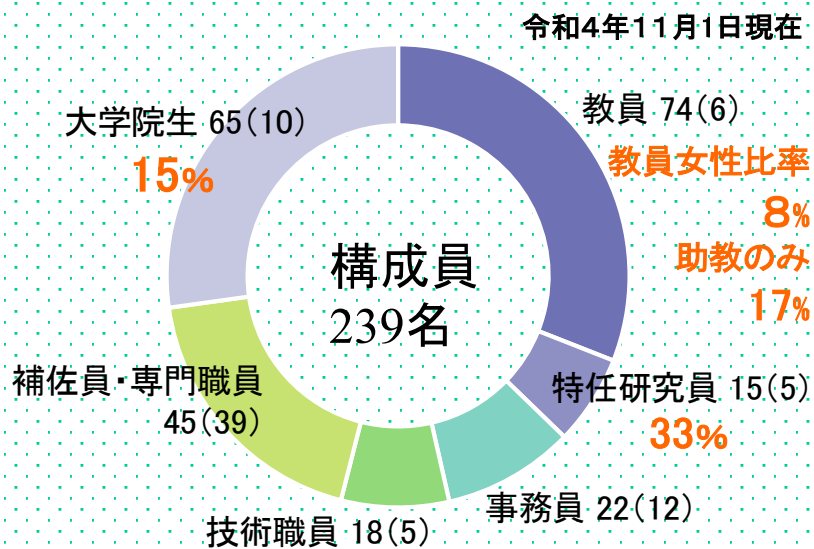
・地震学、火山学、地球物理・化学、地質学、測地学、応用数学、情報科学、社会基盤学、地震工学、など

## 【役割2】地震・火山科学の全国共同利用・共同研究拠点 0.4億/年

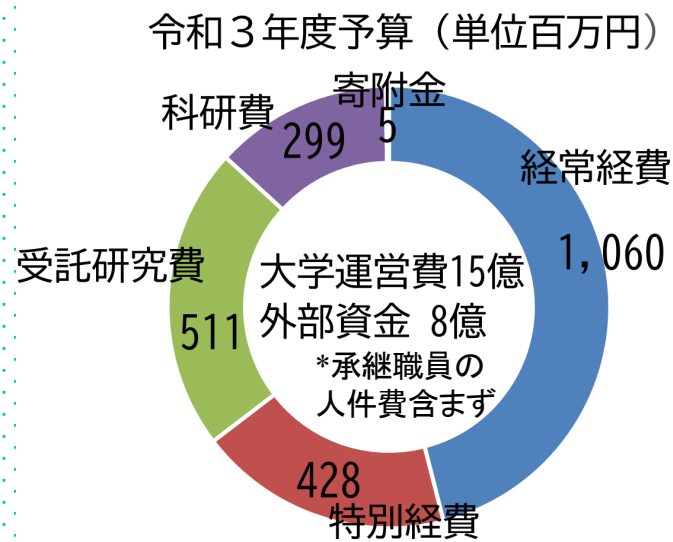
・地震火山噴火予知・災害軽減研究 (文科省科学技術・学術審議会の建議、18大学+10機関・省庁), 3.9億/年  
 ・防災の共・共拠点である京都大学防災研究所との拠点間連携研究, 0.3億/年

# 東京大学地震研究所における研究教育

## □ 人員構成



## □ 予算



## □ 大学院生・専攻

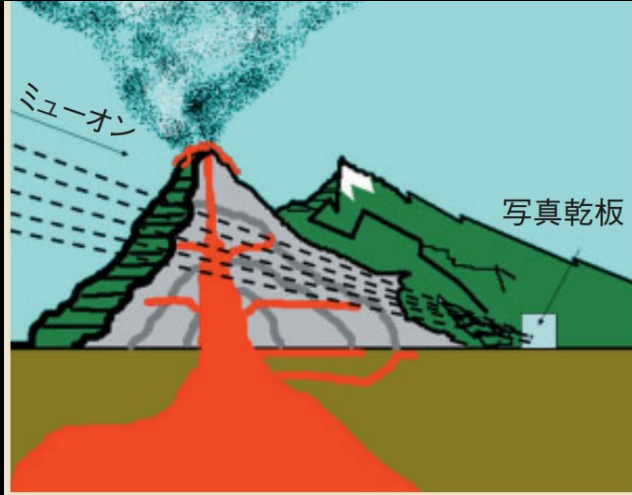
- 修士40名、博士25名
- 理学専攻: 地球惑星科学
- 工学専攻: 建築学・社会基盤学  
・情報理工学
- 学際情報学専攻: 学際情報学

- ・年間予算23億 (令和3年度、承継職員人件費除く)
- ・運営費交付金65% + 外部資金35%
- ・大学院生は、理学・工学・情報学専攻より





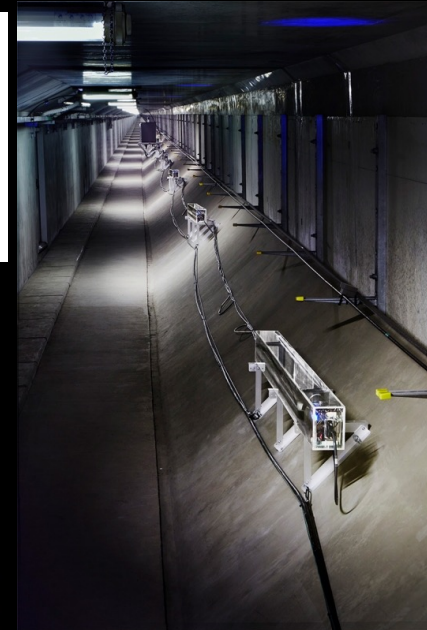
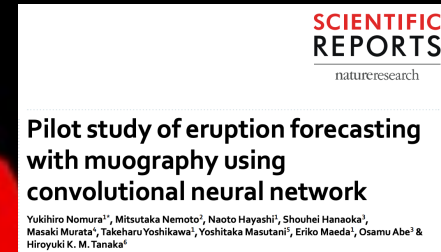
# 東京大学地震研究所で進める異分野・文理融合研究①



□ 東京大学ミュオグラフィ連携研究機構  
地震研究所・医学部附属病院・工学系研究科  
・理学系研究科・総合研究博物館



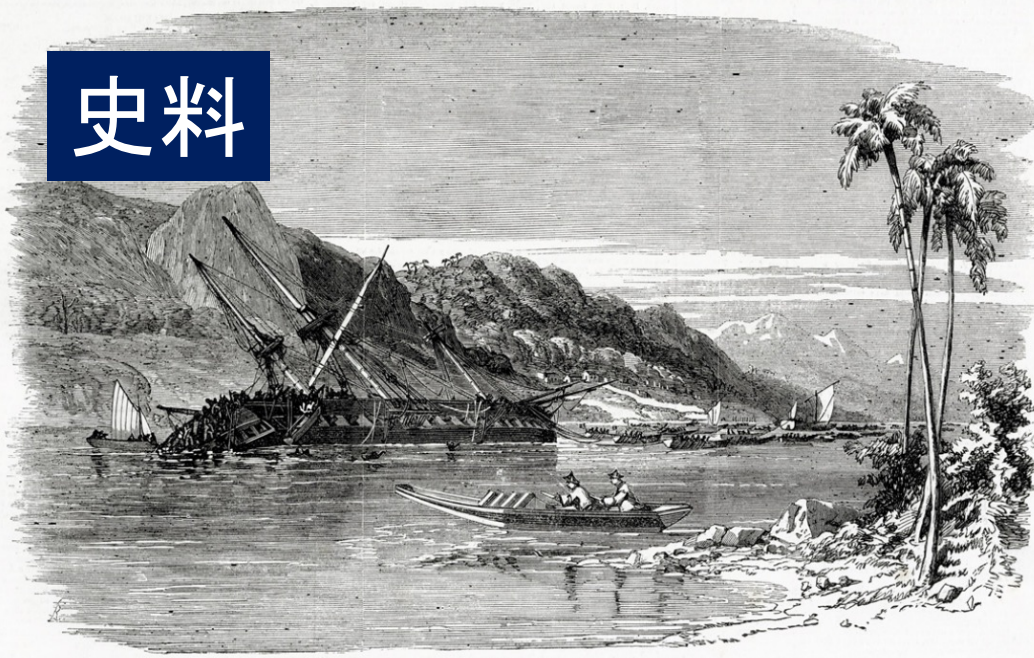
- ・東京アクアラインでの潮位・津波観測
- ・機械学習による桜島火山噴火予測(筆頭著者:東大病院)



薩摩硫黄島内部の透視(ミュオグラフィ)

# 東京大学地震研究所で進める異分野・文理融合研究②

## 史料



SCENE OF THE RECENT EARTHQUAKE IN JAPAN.—SINKING OF "THE DIANA."

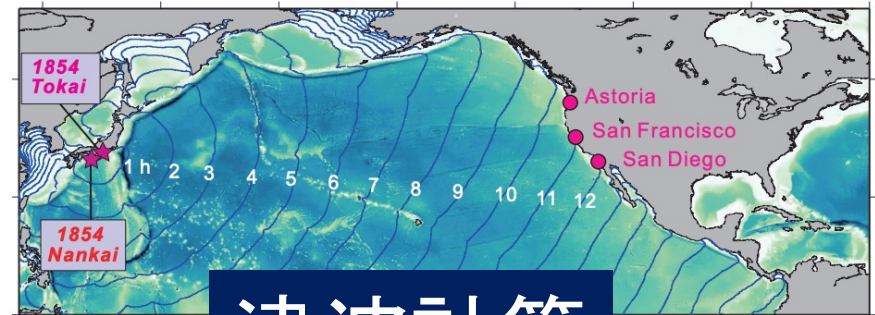
&

## □ 東京大学地震火山史料連携研究機構

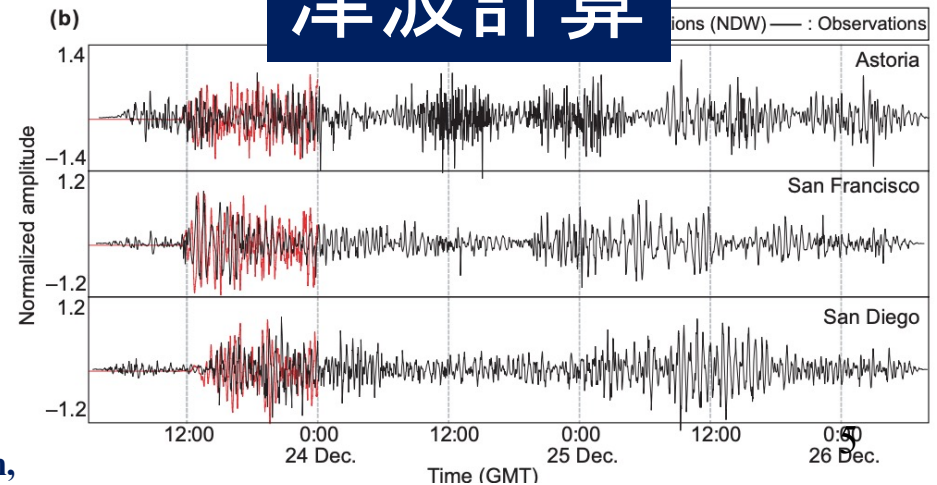
- ・地震研究所・史料編纂所
- ・歴史資料データベース、出版



- ・1854年安政東海地震の発生時刻  
近世史料研究者(黒船航海日記)  
+地震研究者(津波シミュレーション)  
Sugimori, Arizumi & Satake (2022)



## 津波計算





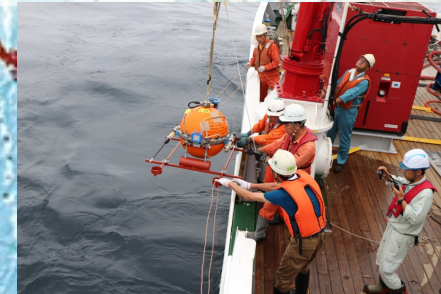
# 東京大学地震研究所で進める国際共同研究の例

世界の地震分布

■ 2023トルコ南部の地震  
地震と災害の総合調査  
(科研費特別研究推進費)

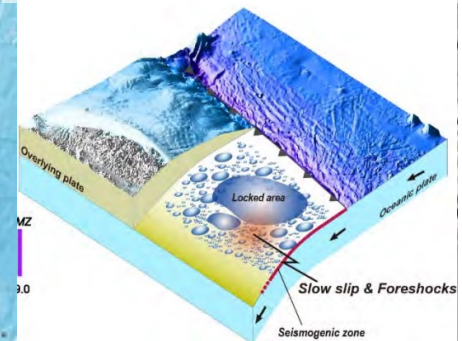
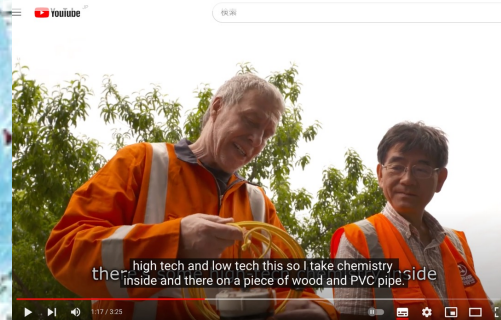
■ 太平洋プロジェクト  
プレート発達史解明  
海底地震・電磁気観測

■ ネパール  
プレート衝突帯  
地震観測



■ ニュージーランド  
ヒクランギ沈み込み帯  
地震・電磁気観測

■ チリ沖  
プレート三重会合点  
海底地震観測



□ 地震・火山噴火、災害軽減＝全人類課題  
・国際共同観測研究、防災に向けた協働  
・海外研究者招聘、3月～1年(20名/年)

国際室体制：職員3+教員(委員会)



# 東京大学地震研究所で進める広報アウトリーチ活動

□地震火山科学の理解、防災力向上に向けて

- ・施設見学：中高校生 1000名／年
- ・サイエンスカフェ：  
報道関係者、自治体防災担当者 6回／年

広報室体制：職員2+URA1+教員(委員会)





## 文部科学省と国立大学附置研究所・センター 個別定例ランチミーティング

第41回 東京大学 地震研究所 (2023.5.12)

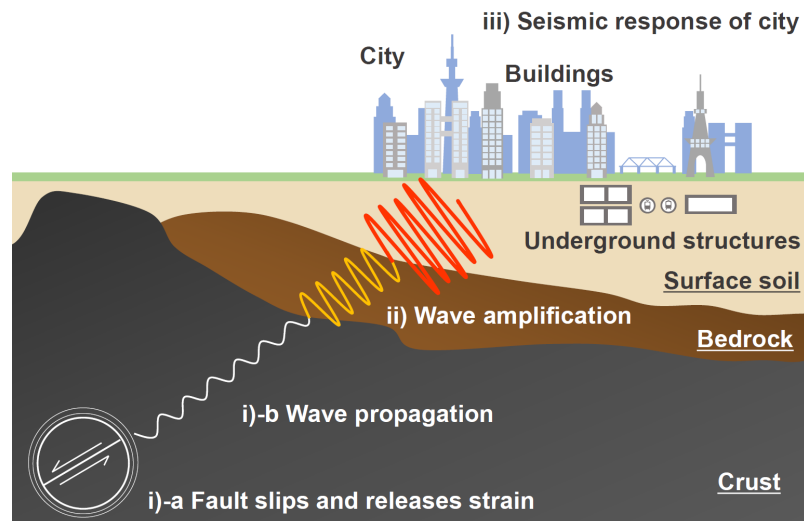
# 地震の大規模数値シミュレーション手法の開発

計算地球科学研究センター 准教授 藤田航平



# 地震分野における数値シミュレーション

- 対象が広大かつ要求分解能が高い
  - 領域サイズ100~1000 kmに対し構造物の部材は0.1 mスケール
- 固体地球観測データは地表付近でしか取れない
  - 多数回の数値シミュレーションを介して地下の情報を推定
- まじめに計算しようとする超大規模計算となるため、現状では形状や物理過程を単純化して計算
  - 工学・防災面から：現行のハザードマップや耐震設計では適切に計算を近似。ただし、これを精緻化しようとする途端に計算コストが膨大に・・・
  - サイエンスとしては、せっかくの観測データが生かされきれない・・・





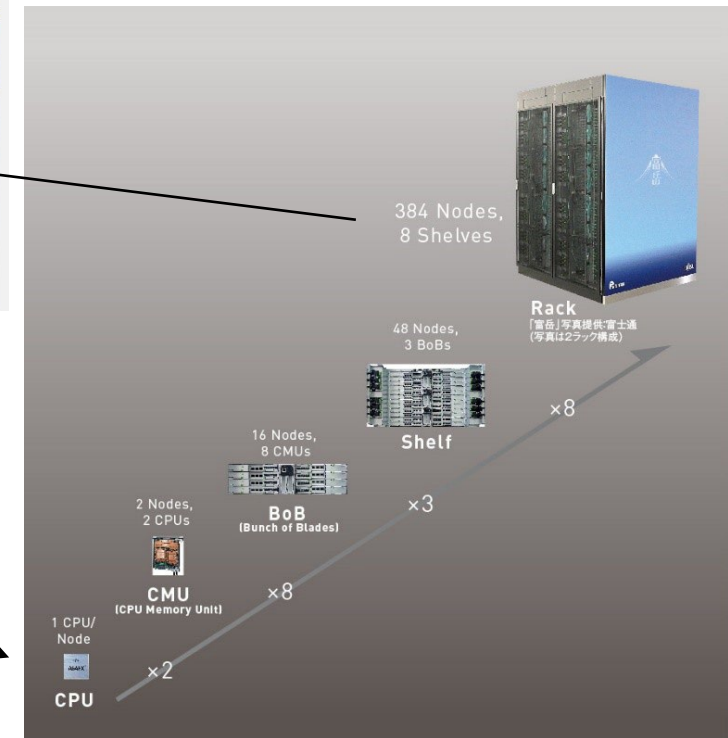
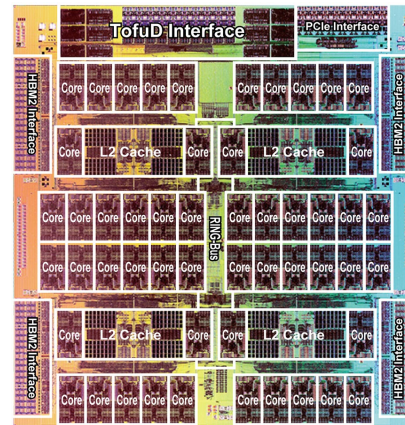
# 研究のアプローチ

- 最新スパコンの性能を出し切る超高速・大規模計算が可能な計算手法を開発することで、固体地球観測とシミュレーション技術を融合した計算地球科学の創成を目指す
  - 対象とする計算は他分野の計算と比べても大規模（既往の計算手法を使うだけでは不十分）。**年々進化する計算機にあわせて計算手法を開発**
  - **汎用の計算手法となるため、地震分野以外への波及効果も期待**



# 大規模地震シミュレーションの難しさ

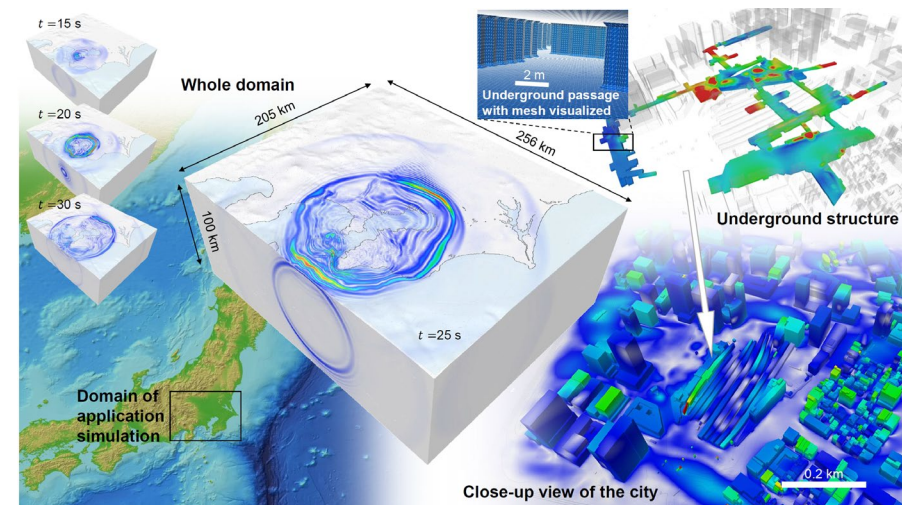
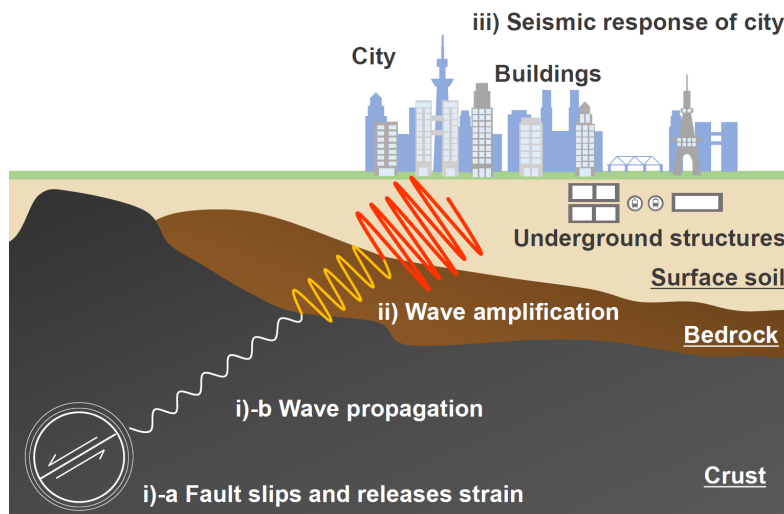
- スパコンは多階層の並列計算機となっている
  - 全階層を有効活用して初めて性能が出る
  - 計算負荷の分散・通信コストの削減が必須
- 地震シミュレーションで対象とする有限要素法は近年の計算機で性能が出しにくい
  - 飛び飛びの場所からデータをアクセスする
- これらの課題を解決する手法を開発



スーパーコンピュータ富岳（理化学研究所）  
48コアCPU × 158,976台 = 7,630,848 CPUコア

# 計算科学シミュレーションと人工知能による国際的成果(計算地球科学研究センター)

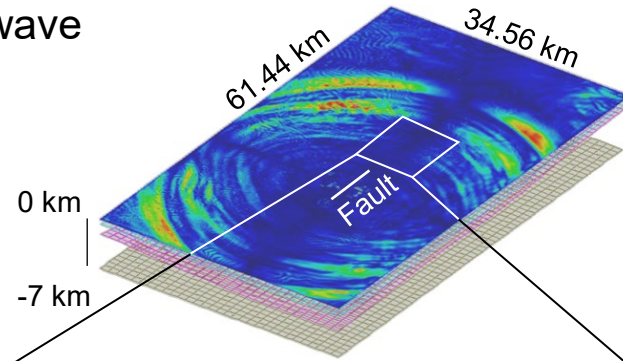
- 世界初の超高詳細大規模地震解析をいくつか実現
  - 兆自由度で地球を解く
- High Performance Computingの世界最高峰の国際会議(Supercomputing Conference)にて継続的に高く評価
  - ゴードンベル賞ファイナリスト(2014年, 2015年, 2018年, 2022年), ベストポスター賞(2016年, 2017年), WACCPDベストペーパー賞(2016年, 2017年), WACCPD Honorable Mention(2021年)





# 京コンピュータ全系を使った大規模シミュレーション例

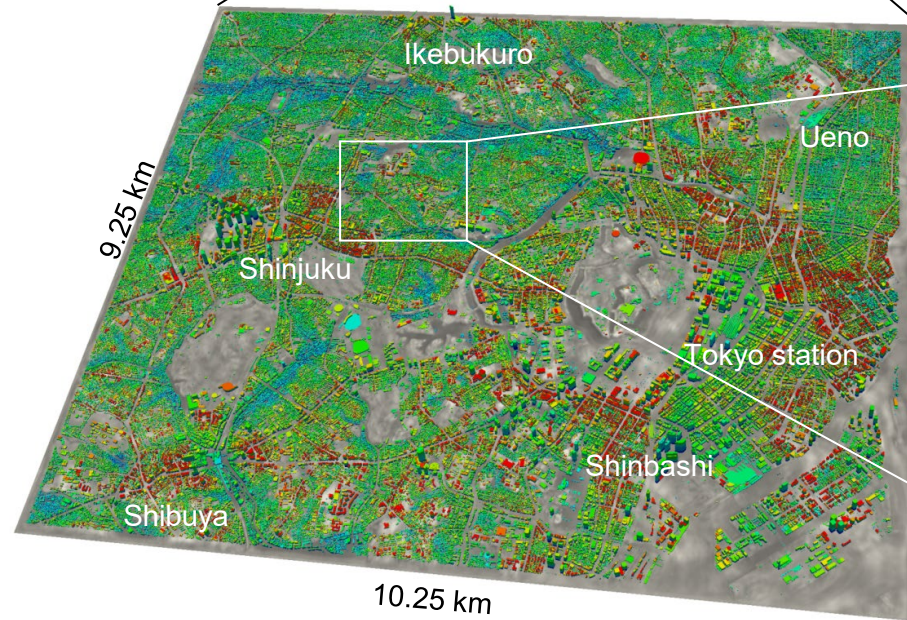
a) Earthquake wave propagation



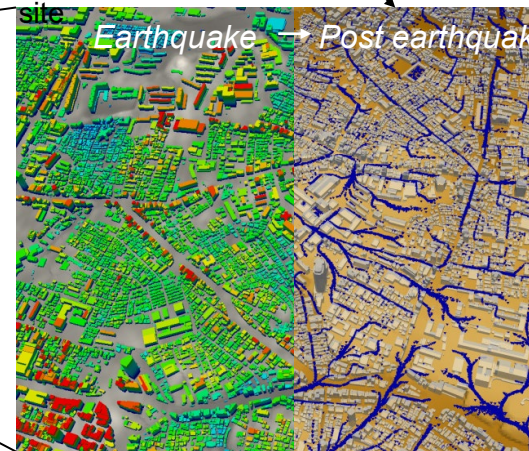
c) Resident evacuation



Two million agents evacuating to nearest safe site



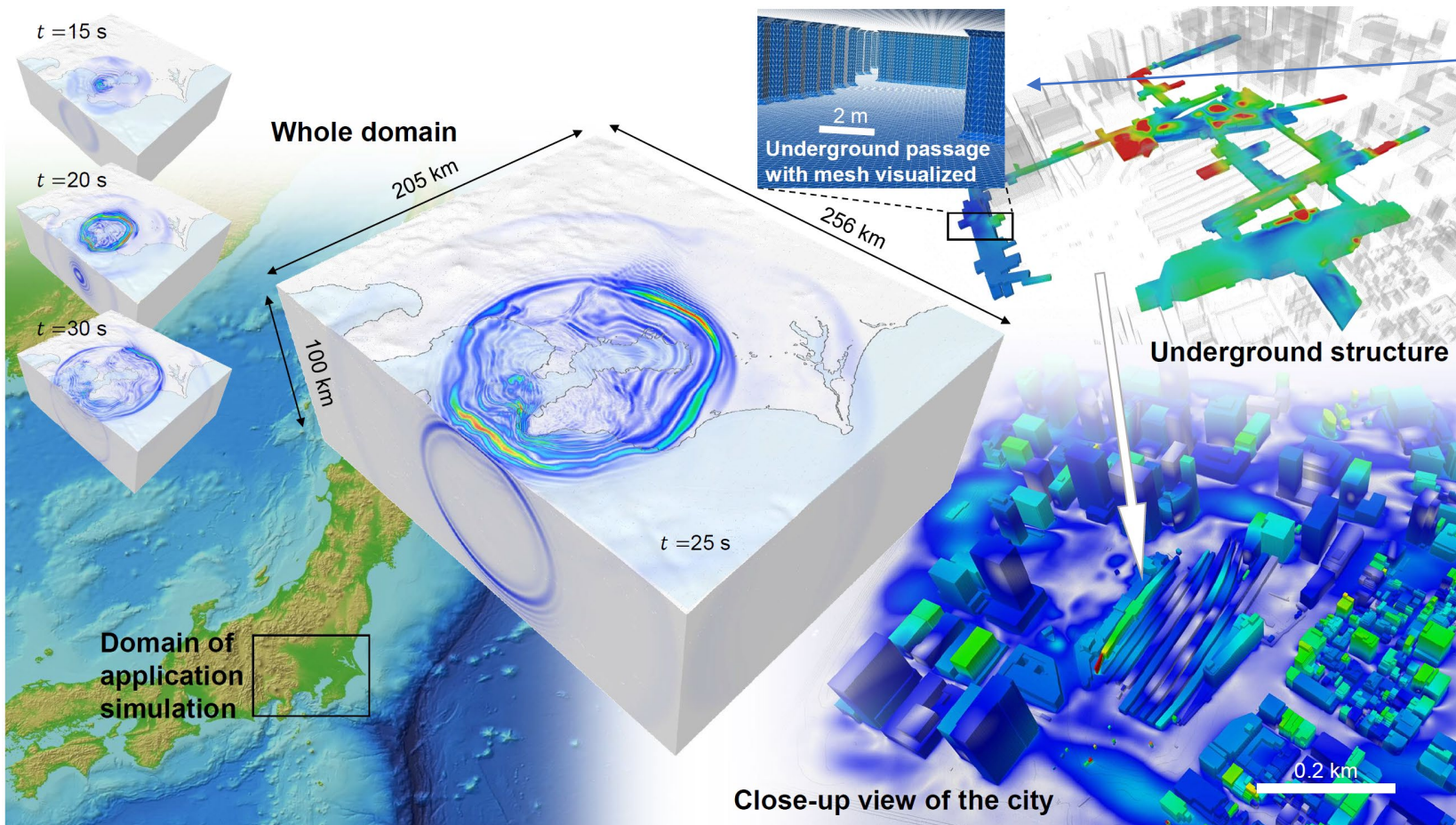
b) City response simulation



Large finite-element simulation enabled by the developed solver



# 富岳全系を活用した断層から都市までの一体型の連成地震応答シミュレーション例



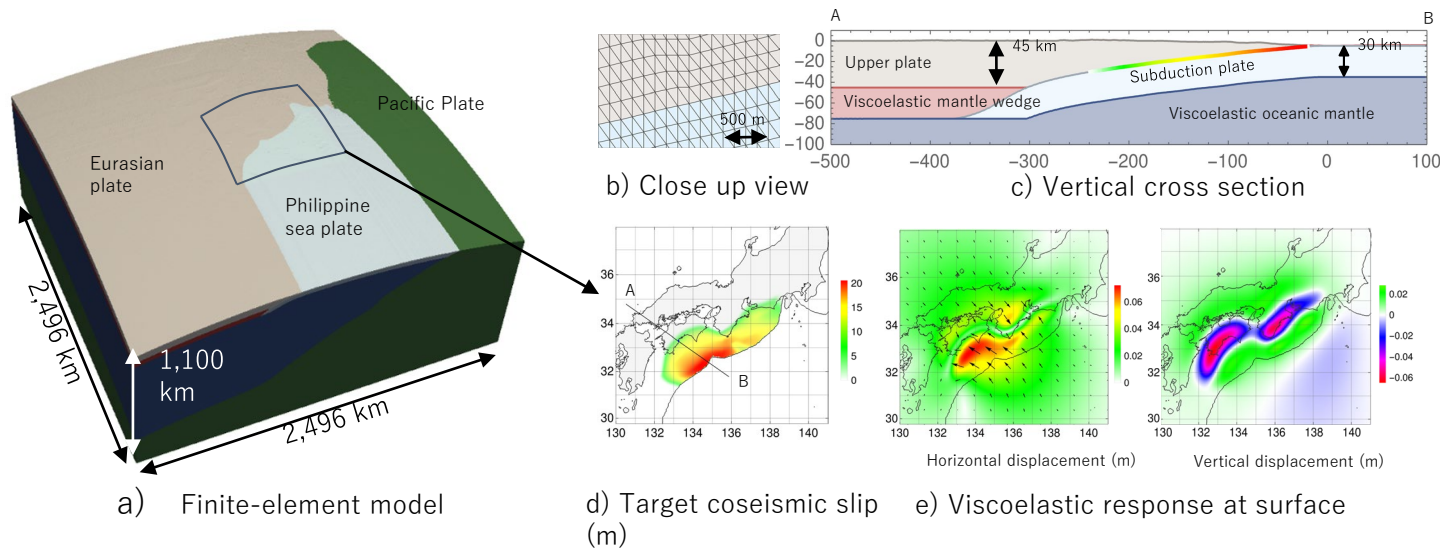
都市における構造物も陽に解像  
(最小要素サイズ: 12.5 cm)

開発手法を富岳全系(152,352計算ノード(609,408 MPI processes × 12 OpenMP threads = 7,312,896 CPUコア)上で実行することでこれまでにない解像度で一体解析を実現



# 物理シミュレーションと人工知能の融合研究

- 人工知能による予測：高速に解を推定可能だが、精度は保証されない
- 物理シミュレーション：精度が保証されるが高コスト
- これらをうまく組み合わせて物理シミュレーションを高度化できないか？
  - 物理シミュレーションの結果を人工知能で学習しつつ予測した解を物理シミュレーションの「初期解」として使うことで物理シミュレーションを高速化
  - 人工知能は初期解の推定にしか使われないため、計算結果は通常の物理シミュレーションと同じ



他の高速アルゴリズムと組み合わせることで最大76倍の高速化を達成  
Fujita, Murakami, et al., SC22, ScalAH workshop

# まとめと今後の展望

- 固体地球観測データの有効活用のための大規模数値シミュレーション手法の開発を進めている
  - 最新スパコンの性能を出し切る計算手法を開発（高性能計算による物理シミュレーションの高度化、物理シミュレーションと人工知能の融合）
  - High Performance Computingの世界最高峰の国際会議（Supercomputing Conference）にて継続的に評価。汎用の手法のため地震分野以外にも応用可能
- 今後の展望
  - 最新計算機特性に合わせた計算手法開発
  - 観測データの不確実性を考慮した数値シミュレーションを可能とする超高速計算手法