

2024年3月9日
東日本大震災メモリアルシンポジウム

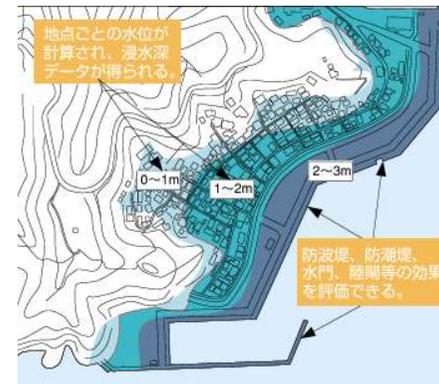
インクルーシブ防災と 数値シミュレーション

野村怜佳, 森口周二, 寺田賢二郎
災害科学国際研究所 計算安全工学研究分野

TOHOKU
UNIVERSITY

- インクルーシブ防災と“数値シミュレーション”
 - 「個別避難計画の作成」が市町村の努力義務化¹⁾
 - 個別避難計画作成の優先度（=どのような方から作成する？）²⁾

1. ハザード状況の確認
2. 本人の心身の状況等
3. 本人の社会的孤立の状況



- 「基本的には、精度の高い浸水深や流速、浸水開始時間等の時系列の情報を得ることができる**数値シミュレーション**によることが望ましい。」³⁾

1) 内閣府HP, 避難行動要支援者の避難行動支援に関する事, 令和3年災害対策基本法の改正

2) 「個別避難計画の作成に取り組むみなさまへ」内閣府(防災担当) 避難生活担当

3) 津波・高潮ハザードマップマニュアルの概要, 内閣府(防災担当) 他,

- インクルーシブ防災を叶えるために...

数値シミュレーションが提供する情報は

- 正確な情報であるべき
- 不確かさを考慮した情報であるべき
- あらゆる人にわかりやすいかたちで提示されるべき

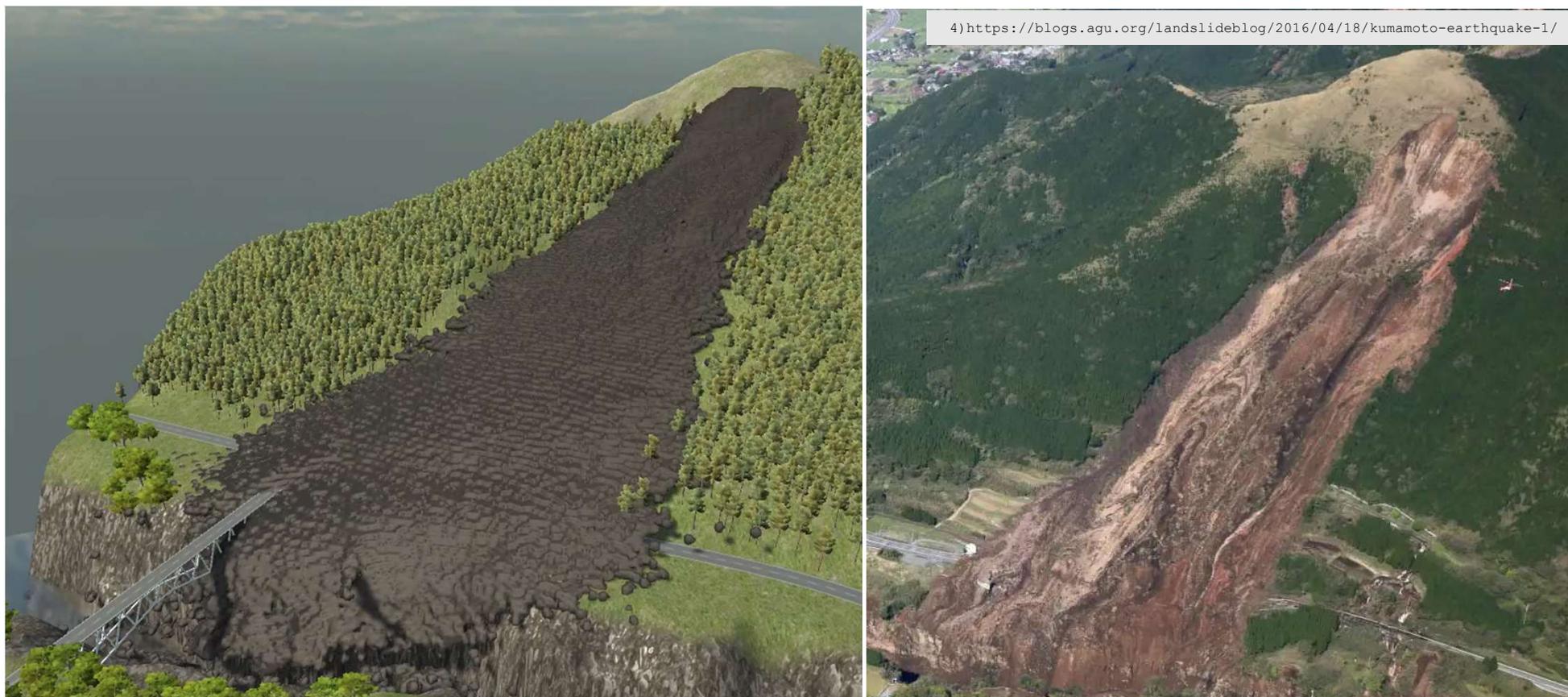


- 本日のお話：**

上記3点を実現するために専門家が努力していること

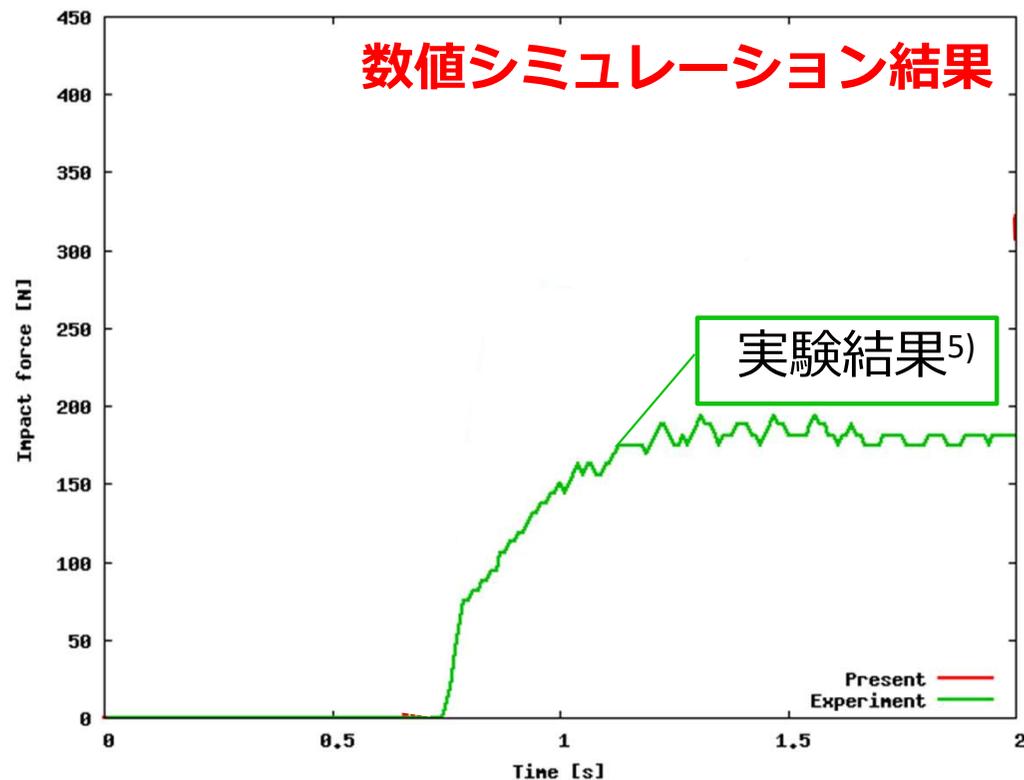
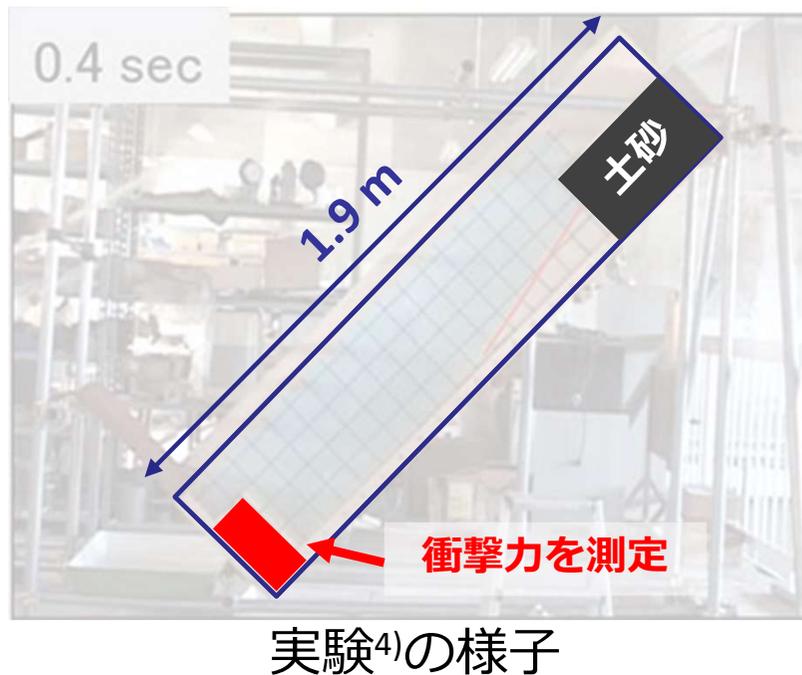
- **より高度な数値シミュレーション手法の開発**
- **データ科学技術の利用**
- **より良い「見える化」 (可視化)**

- 土砂流動シミュレーションでの例
 - 2016年 熊本地震
 - 土砂災害発生，阿蘇大橋が崩落⁴⁾



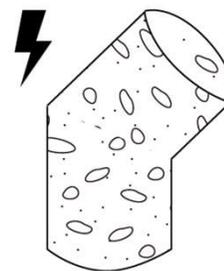
一見，実災害と似た結果だが．．．
防災に役立てるためには衝撃力の正確な評価が必要

- 数値シミュレーション結果と実験結果の比較
 - 実際（実験結果）よりも衝撃力を過剰評価



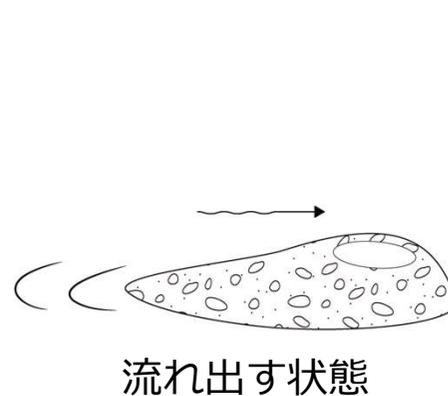
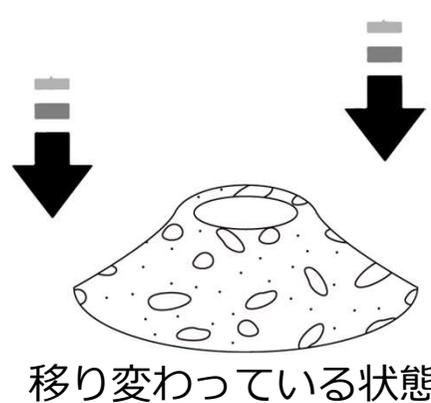
シミュレーションをより高度化する必要性

- 土の流動の表現方法（構成則）



従来モデル：
ある大きさを超える力を加えられると元の形に戻らなくなる

有効摩擦 ↑ 改良モデル^{6),7),8)}



10^{-1}

I_0

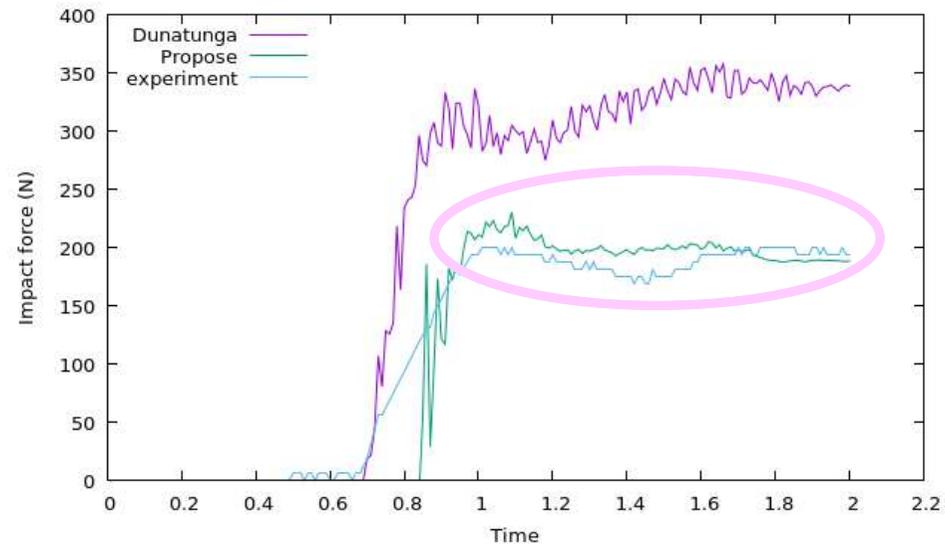
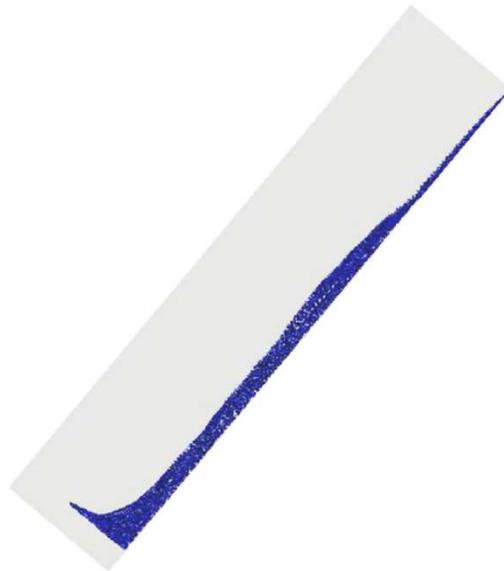
10^1

6) Kamrin, K. (2010). Nonlinear elasto-plastic model for dense granular flow. *International Journal of Plasticity*, 26(2), 167–188.

7) Jop, P., Forterre, Y., & Pouliquen, O. (2006). A constitutive law for dense granular flows. *Nature*, 441(7094), 727–730.

8) Dunatunga, S., & Kamrin, K. (2015). Continuum modelling and simulation of granular flows through their many phases. *Journal of Fluid Mechanics*, 779, 483–513.

- 土の流動の表現方法（構成則）



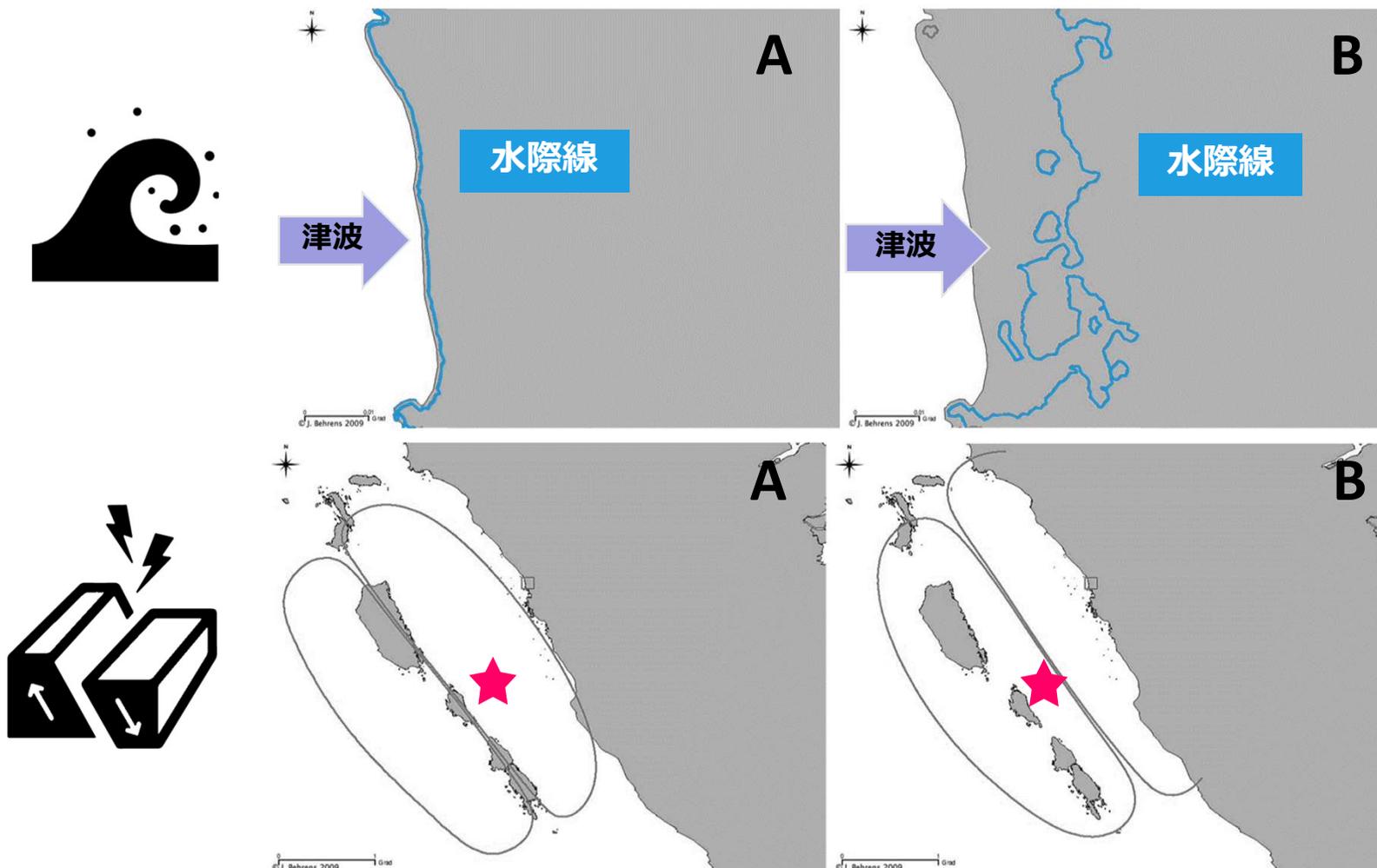
**高度化により衝撃力の予測がより正確に
⇒発災前のアセスメントや崩落のメカニズム解明へ**

5) Kamrin, K. (2010). Nonlinear elasto-plastic model for dense granular flow. *International Journal of Plasticity*, 26(2), 167–188.

6) Jop, P., Forterre, Y., & Pouliquen, O. (2006). A constitutive law for dense granular flows. *Nature*, 441(7094), 727–730.

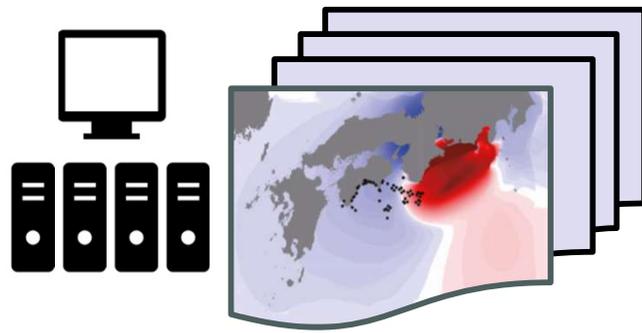
7) Dunatunga, S., & Kamrin, K. (2015). Continuum modelling and simulation of granular flows through their many phases. *Journal of Fluid Mechanics*, 779, 483–513.

- 不確かさを考慮するためのデータ科学技術の利用
 - 入力条件（初期条件・境界条件）の違いによって予測情報が大きくばらつく⁸⁾



8) Behrens, J., Androsov, A., Babeyko, A. Y., Harig, S., Klaschka, F., & Mentrup, L. (2010). A new multi-sensor approach to simulation assisted tsunami early warning. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10(6), 1085-1100.

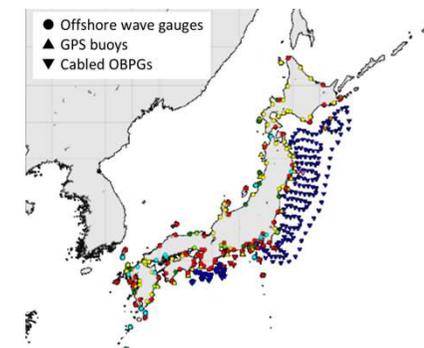
- 不確かさを考慮した津波リスク評価^{9),10)}
 - 事前に多くのシナリオをシミュレーションし、津波発生時には観測データと一致度が高いシナリオを絞り込むことでリスク評価



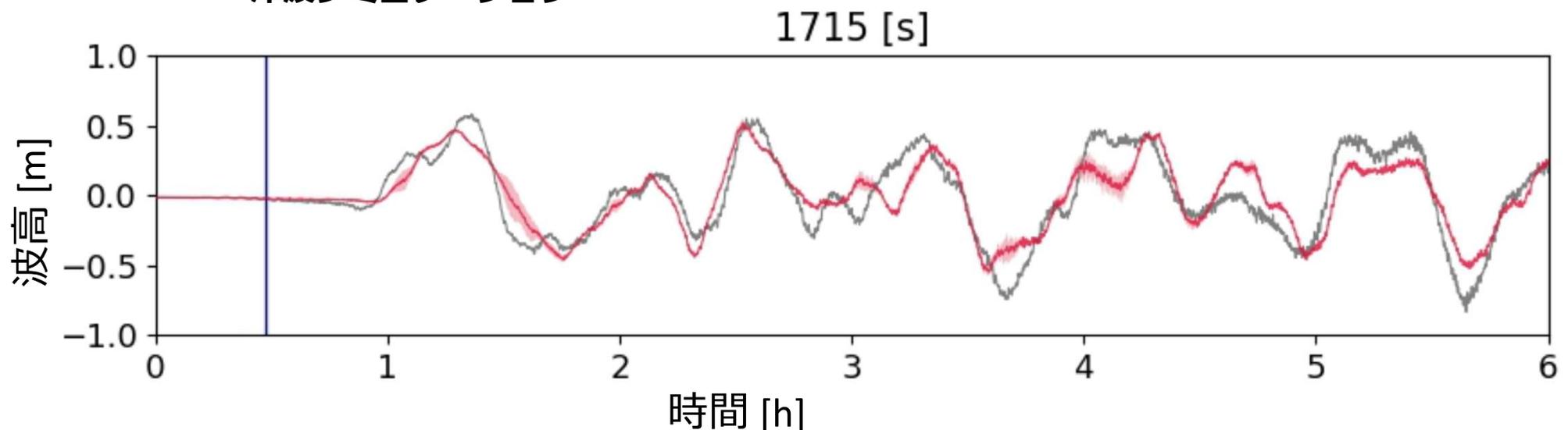
津波シミュレーション



データ科学技術



リアルタイム観測



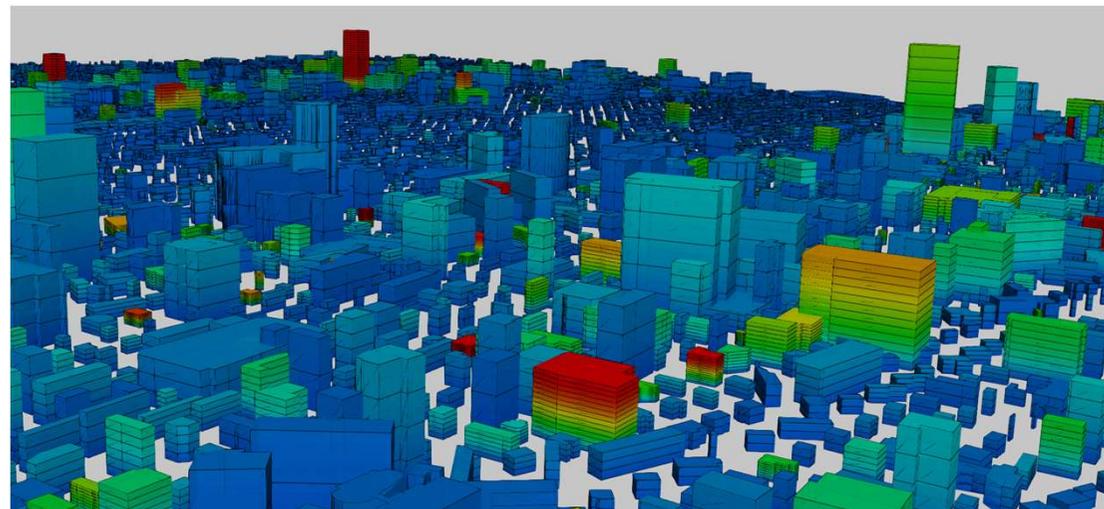
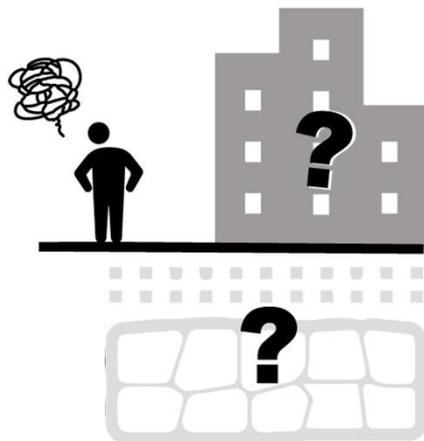
9) Nomura et al. Sequential Bayesian Update to Detect the Most Likely Tsunami Scenario Using Observational Wave Sequences. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 127(10), e2021JC018324.

10) Fujita et al. (2024). Optimization of a tsunami gauge configuration for pseudo-super-resolution of wave height distribution. *Earth and Space Science*, 11(2), e2023EA003144.

- 不確かさを考慮した都市規模地震リスク評価



- 入力データにまつわる不確かさ
- 観測データの利用による不確かさの低減
 - 地震発生少数の観測点の情報から**都市全体の地震リスクを即時評価**



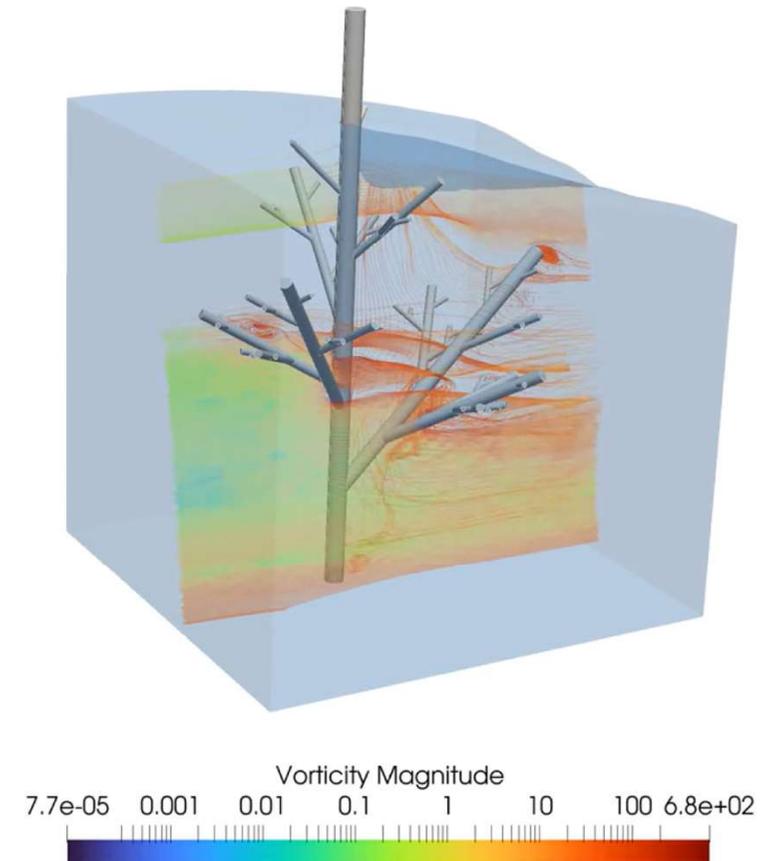
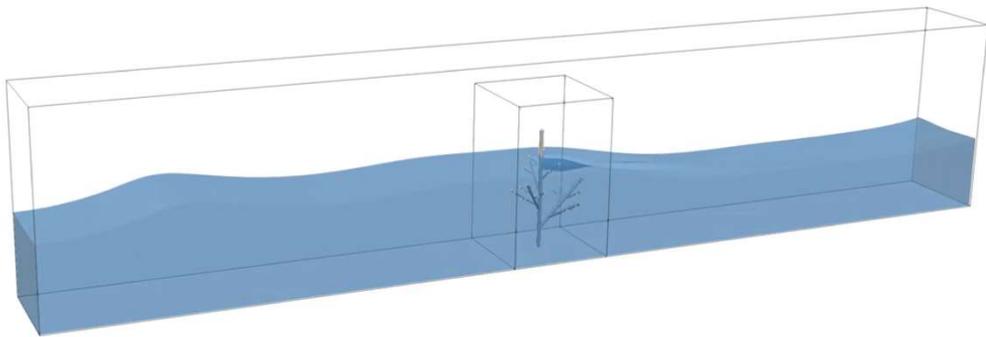
より良い見える化（可視化）

- 見える化（可視化）：
コンピュータから出力される情報を人間にわかりやすく
動画・画像にする作業

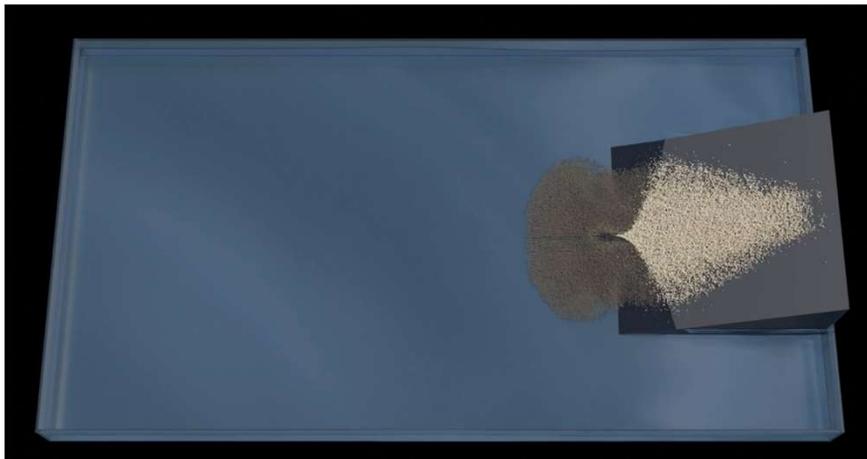
```
-0.150000E+04 -0.500000E+02 0.000000E+00 0.000000E+00 0.265927E+02 0.159268E+01
-0.750000E+03 -0.500000E+02 -0.450707E+01 0.000000E+00 0.264163E+02 0.141633E+01
-0.750000E+03 0.500000E+02 -0.450727E+01 0.000000E+00 0.264163E+02 0.141633E+01
-0.150000E+04 0.500000E+02 0.000000E+00 0.000000E+00 0.265927E+02 0.159268E+01
0.000000E+00 -0.500000E+02 0.225620E+01 0.000000E+00 0.165447E+01 0.165447E+01
0.000000E+00 0.500000E+02 0.225612E+01 0.000000E+00 0.165481E+01 0.165481E+01
0.205000E+03 -0.500000E+02 0.312379E+01 0.000000E+00 0.181024E+01 0.181024E+01
0.205000E+03 0.500000E+02 0.312227E+01 0.000000E+00 0.181132E+01 0.181132E+01
0.250000E+03 -0.500000E+02 -0.311261E+00 0.000000E+00 0.775876E+00 0.775876E+00
0.250000E+03 0.500000E+02 -0.312081E+00 0.000000E+00 0.776382E+00 0.776382E+00
0.150000E+04 -0.500000E+02 -0.339562E+01 0.000000E+00 0.679900E+00 0.679900E+00
0.150000E+04 0.500000E+02 -0.324543E+01 0.000000E+00 0.659801E+00 0.659801E+00
-0.149500E+04 -0.500000E+02 -0.827946E-02 0.000000E+00 0.265927E+02 0.159270E+01
-0.149000E+04 -0.500000E+02 -0.164429E-01 0.000000E+00 0.265927E+02 0.159274E+01
-0.148500E+04 -0.500000E+02 -0.245671E-01 0.000000E+00 0.265928E+02 0.159282E+01
-0.148000E+04 -0.500000E+02 -0.326124E-01 0.000000E+00 0.265929E+02 0.159293E+01
-0.147500E+04 -0.500000E+02 -0.403856E-01 0.000000E+00 0.265931E+02 0.159307E+01
-0.147000E+04 -0.500000E+02 -0.483472E-01 0.000000E+00 0.265933E+02 0.159325E+01
-0.146500E+04 -0.500000E+02 -0.561740E-01 0.000000E+00 0.265935E+02 0.159346E+01
-0.146000E+04 -0.500000E+02 -0.639476E-01 0.000000E+00 0.265937E+02 0.159370E+01
-0.145500E+04 -0.500000E+02 -0.716327E-01 0.000000E+00 0.265940E+02 0.159396E+01
-0.145000E+04 -0.500000E+02 -0.789773E-01 0.000000E+00 0.265942E+02 0.159425E+01
-0.144500E+04 -0.500000E+02 -0.865045E-01 0.000000E+00 0.265946E+02 0.159457E+01
-0.144000E+04 -0.500000E+02 -0.936063E-01 0.000000E+00 0.265949E+02 0.159489E+01
-0.143500E+04 -0.500000E+02 -0.100624E+00 0.000000E+00 0.265952E+02 0.159523E+01
-0.143000E+04 -0.500000E+02 -0.107668E+00 0.000000E+00 0.265956E+02 0.159560E+01
-0.142500E+04 -0.500000E+02 -0.114408E+00 0.000000E+00 0.265960E+02 0.159597E+01
-0.142000E+04 -0.500000E+02 -0.121098E+00 0.000000E+00 0.265964E+02 0.159636E+01
-0.141500E+04 -0.500000E+02 -0.127506E+00 0.000000E+00 0.265967E+02 0.159674E+01
-0.141000E+04 -0.500000E+02 -0.134426E+00 0.000000E+00 0.265972E+02 0.159716E+01
-0.140500E+04 -0.500000E+02 -0.140447E+00 0.000000E+00 0.265975E+02 0.159753E+01
-0.140000E+04 -0.500000E+02 -0.146881E+00 0.000000E+00 0.265979E+02 0.159792E+01
-0.139500E+04 -0.500000E+02 -0.153423E+00 0.000000E+00 0.265983E+02 0.159830E+01
-0.139000E+04 -0.500000E+02 -0.159982E+00 0.000000E+00 0.265987E+02 0.159867E+01
-0.138500E+04 -0.500000E+02 -0.166589E+00 0.000000E+00 0.265990E+02 0.159901E+01
-0.138000E+04 -0.500000E+02 -0.172930E+00 0.000000E+00 0.265993E+02 0.159932E+01
-0.137500E+04 -0.500000E+02 -0.180213E+00 0.000000E+00 0.265996E+02 0.159963E+01
-0.137000E+04 -0.500000E+02 -0.186924E+00 0.000000E+00 0.265999E+02 0.159987E+01
-0.136500E+04 -0.500000E+02 -0.194376E+00 0.000000E+00 0.266001E+02 0.160010E+01
-0.136000E+04 -0.500000E+02 -0.202272E+00 0.000000E+00 0.266003E+02 0.160027E+01
-0.135500E+04 -0.500000E+02 -0.210292E+00 0.000000E+00 0.266004E+02 0.160038E+01
-0.135000E+04 -0.500000E+02 -0.218950E+00 0.000000E+00 0.266004E+02 0.160044E+01
-0.134500E+04 -0.500000E+02 -0.228233E+00 0.000000E+00 0.266004E+02 0.160043E+01
-0.134000E+04 -0.500000E+02 -0.238230E+00 0.000000E+00 0.266003E+02 0.160035E+01
-0.133500E+04 -0.500000E+02 -0.249204E+00 0.000000E+00 0.266002E+02 0.160019E+01
-0.133000E+04 -0.500000E+02 -0.261130E+00 0.000000E+00 0.265999E+02 0.159993E+01
-0.132500E+04 -0.500000E+02 -0.274326E+00 0.000000E+00 0.265996E+02 0.159957E+01
-0.132000E+04 -0.500000E+02 -0.287869E+00 0.000000E+00 0.265992E+02 0.159915E+01
-0.131500E+04 -0.500000E+02 -0.304695E+00 0.000000E+00 0.265985E+02 0.159854E+01
-0.131000E+04 -0.500000E+02 -0.321580E+00 0.000000E+00 0.265978E+02 0.159785E+01
-0.130500E+04 -0.500000E+02 -0.340524E+00 0.000000E+00 0.265970E+02 0.159702E+01
-0.130000E+04 -0.500000E+02 -0.361193E+00 0.000000E+00 0.265961E+02 0.159609E+01
-0.129500E+04 -0.500000E+02 -0.383922E+00 0.000000E+00 0.265950E+02 0.159502E+01
```

- 見える化（可視化）：
コンピュータから出力される情報を人間にわかりやすく
動画・画像にする作業

Time: 9.2



- 地すべり津波のシミュレーション技術での例¹³⁾
 - 直感的にわかる
 - 英語の文書が読めずとも，専門用語を知らなくとも，論文検索エンジンを知らずとも，色の知覚に問題があっても，



インクルーシブ防災実現のために 数値シミュレーションができること

- 正確な情報を提供する
- 様々な不確かさを考慮した情報を提供する
- あらゆる人にわかりやすい形で情報を提供する

数値シミュレーションの専門家たちが努力していること

- より高度な数値シミュレーション手法の開発
 - 土砂流動シミュレーションによる建物への衝撃力を正確に評価の例
- 不確かさを考慮できるデータ科学技術の利用
 - 断層シナリオの不確かさを考慮できる津波リスク評価
 - 建物に設置したセンサーを利用する都市規模地震リスク評価の例
- より良い「見える化」 (可視化)

- 越村俊一先生（東北大学災害科学国際研究所）
- 大竹雄先生（東北大学工学研究科）
- 高瀬慎介先生（八戸工業大学）
- 郭佳先生（京都大学，元：東北大学災害科学国際研究所）
- 日本工営株式会社様
- 日本工営レジリエントシティ技術実装共同研究部門の皆様
 - 江川新一先生，大野晋先生，
櫻庭 雅明先生，野島 和也先生，Sukulthanasorn Naruethep先生，凌国明先生
 - 佐藤誠一様，森篤史様，小谷拓磨様
- 計算安全工学研究室の学生・卒業生の皆様
 - 山口裕也さん，吉田昴平さん，Pan Shaoyuanさん，
宇佐美秀和さん，飛弾野壮真さん，藤田真粹君，
木村凌一さん，山岸 広祐さん，石澤修司さん
- 京都大学スーパーコンピュータ共同利用制度
- 日本学術振興会 科学研究費助成事業
 - 23K13529，22H00507，21K20441，19H01094

