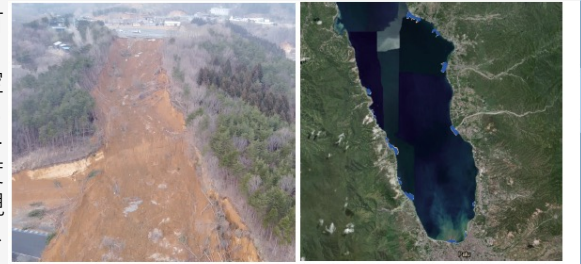


# MPMとFEMによる未解明な大規模土砂災害の数値シミュレーション

## 研究の目的

災害の数値シミュレーションは、その高度化によって災害リスク評価を可能とする強力なツールであり、今後も防災・減災の中で重要な役割を担うと期待されている。しかし、土砂崩れ等の斜面災害を対象とする場合には、空間スケールが大規模になるだけでなく、固体および流体またはそれに準ずる固体の流動挙動や固相・液相の遷移挙動を表現する必要があり、シミュレーションは非常に困難であると言われている。これらの課題を解決できる高度な解析手法の開発が喫緊の課題であり、またその手法により防災・減災の観点で重要な情報をどの程度予測可能かを定量的に把握することは適切なリスク評価に直結する重要事項である。このような背景の下、本研究では、2021年エビスサーキット（福島県）で発生した地震による大規模な土砂崩れと、2018年インドネシアのスラウェシ島付近で発生した海底地すべりとそれに起因する津波を対象として、その大規模・長時間・高解像度の精緻な解析が可能な計算ツールの開発を行う。



(a)エビスサーキット実地写真 (b)パル海底地すべりの発生源位置図

図1 本研究の対象

両解析対象は、解析において時空間の解像度に偏りが生じるため、適切な領域分割・荷分散を行わなければ計算は極めて非効率なものとなり、目的とするシミュレーションの実現は叶わない。このような複雑な自然現象を、時間的・空間的の連続性を考慮したうえで精緻に表現するためには、計算力学の分野で蓄積された知見と最先端の計算科学技術の融合が必須である。

本研究では、この融合により従来の計算手法におけるアルゴリズムの効率化とコーディングの最適化を実現し、大規模3次元解析を実施可能とすることで、災害発生時の状況をできる限り詳細に再現し、未解明部分が多かった発生・伝搬メカニズムの解明を目的とする。

## 研究の計画

高解像度および長時間の大規模災害シミュレーションを実現するには、大規模・高性能スパコンを活用していくことが必須である。土砂崩れを対象とした数値解析においては並列計算時にプロセス間ごとの負荷が不均等になりやすいため、本課題においては、最新の動的荷分散技術を採用し、スパコンを効率良く使用できるようにコード開発に取り組む。具体的には、1年目に固相解析コードの高速化と実問題への適用、2年目に流相も含めたコードの高度化と実災害の再現解析に取り組む。2022年度には、主に固相解析コードの高度化・高速化の実現を目指す。現状のコードには粒子とメッシュの対応関係をリンクリスト構造で管理するなど非効率な部分があるため、空間充填曲線を利用した実装に置き換えるなどの単体コードとしての高度化も実施する。さらに、Wisteria-Oを100ノード規模（約5万CPUコア規模）で使用した際にも並列化効率の低下が最小限となるように動的な荷分散も施す。この際、宇宙物理分野で実績のあるSampling methodをMPMに適用する予定であるが、もともと考慮されていない「粒子を一つも含まない計算領域を担当する MPIプロセスが存在しうる」というMPM特有の状況設定に応じた拡張も施す。図2は各グループが担当する作業内容を示している。

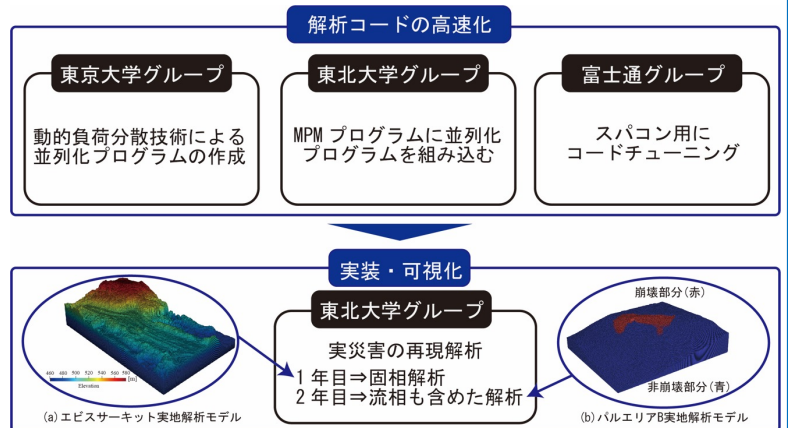


図2 各グループの担当

## これまでの研究成果

参画メンバーのこれまでの研究成果の中で、東北大学で実施してきた本研究の内容と関連するものを紹介する。

東北大学グループは、主に計算力学に関する研究を展開しており、特に近年では、粒子法の一つであるMPM (Material Point Method) による地盤材料の大変形問題や固液混合問題のための解析手法を開発している。図3(a)は2016年に発生した阿蘇の土砂流動を再現解析した結果であり、実地形において流動挙動や橋梁への土砂の衝突力を評価した実績がある。

また、既存のMPMは流体計算に対していくつかの課題（数値不安定性、高い計算コストなど）が知られており、これらを克服するためにFEMとMPMを組み合わせた流体と固体の連成解析手法の開発を行ってきた。図3(b)は海底地すべりを模擬した実験の準3次元解析の結果であり、メカニズムに未解明な部分が多い水中土塊の崩壊現象やそれに起因する津波の発生および伝播の表現性能を確認し、本手法の有効性を例証している。

本研究に関連して最近発表した成果のうち主なもの

- [1] Y. Yamaguchi, S. Takase, S. Moriguchi, K. Terada, "Solid-liquid coupled material point method for simulation of ground collapse with fluidization", Computational Particle Mechanics, Vol. 7, No. 2, pp. 209-223, 2020.
- [2] S. Pan, Y. Yamaguchi, A. Suppasri, S. Moriguchi, K. Terada, "MPM-FEM hybrid method for granular mass-water interaction problems", Computational Mechanics, Vol. 68, No. 1, pp. 155-173, 2021.

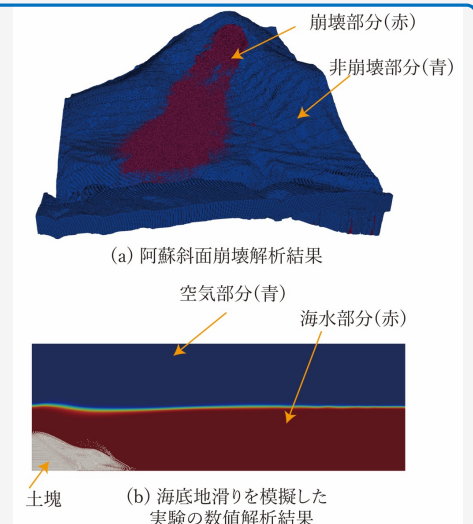


図3 東北大学グループ研究成果