

井元佑介(東北大学), 田上大助, 浅井光輝, 渡部善隆, 小野健二(九州大学),  
三目直登(東京大学), 西浦泰介(海洋研究開発機構), 野中丈士(理化学研究所)



# 粒子法の高精度化と大規模流体シミュレータへの応用

## 背景

粒子法 (SPH・MPSなど)

大規模流体シミュレーションに適した数値計算手法。  
一方で、手法の数値解析が不十分。

課題1: パラメータ選択による時間の浪費

課題2: 非実験規模でも高精度な離散化パラメータが不明

## 本研究

数値解析学・計算力学双方の観点から

- 離散化パラメータの条件を明確化
- 高精度かつ実用的な離散化パラメータの導出

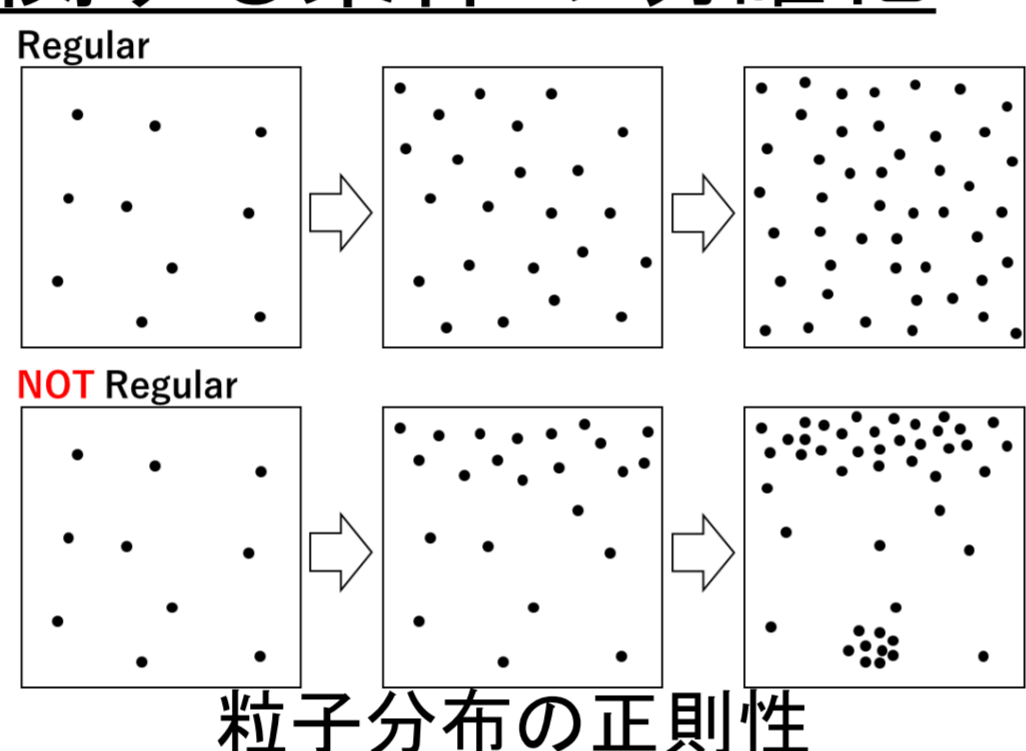
## 大規模流体シミュレータへ応用

+チューニングと可視化システムの開発

## Step 1: 粒子法の数学的・計算力学的基礎検討

### 1-A 離散化パラメータに関する条件の明確化

粒子法の数値解析の知見を用いて、流れ問題に対する粒子法の離散化パラメータに関する条件を明確化し、数値的に検証



粒子分布の正則性

### 1-B 高精度な離散化パラメータの導出

“誤差評価の観点から高精度”かつ“実用的”な離散化パラメータ\*1を導出

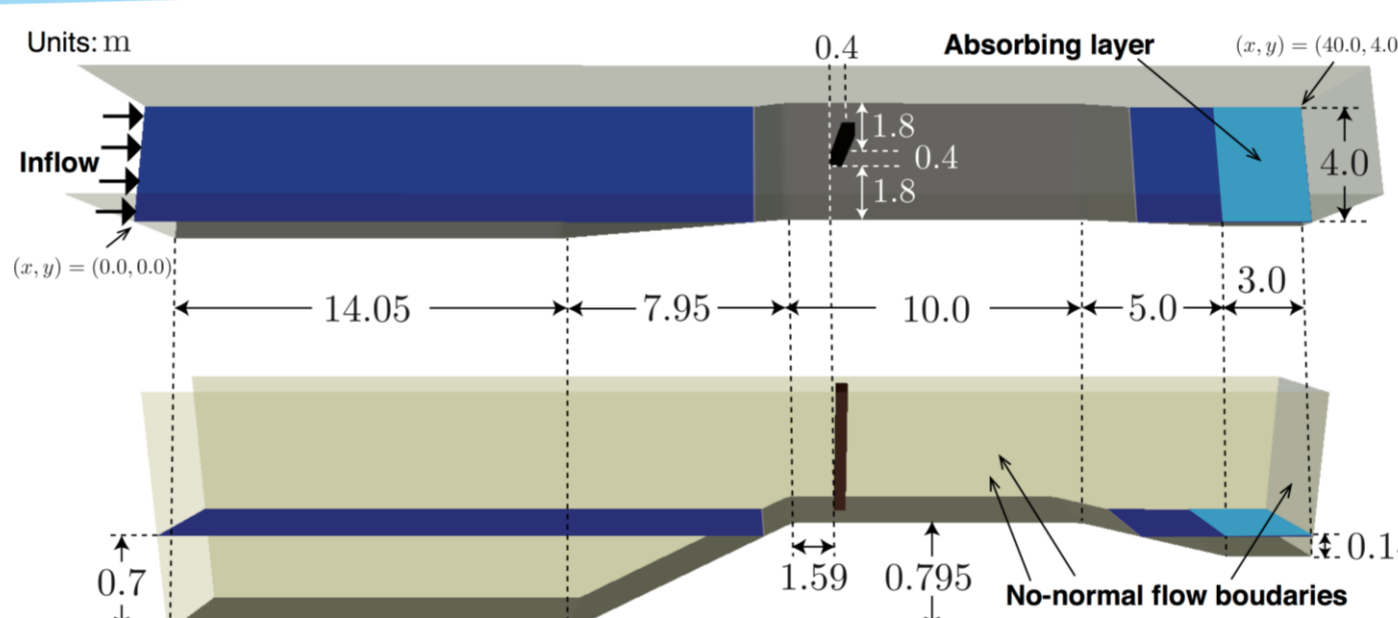
\*1 粒子分布, 粒子体積, 重み関数, 影響半径, 時間刻み

表: Cavity流れ (Re=100)の参照解と数値解の誤差 (離散 $L^2$ ノルム,  $N$ ; 粒子数)

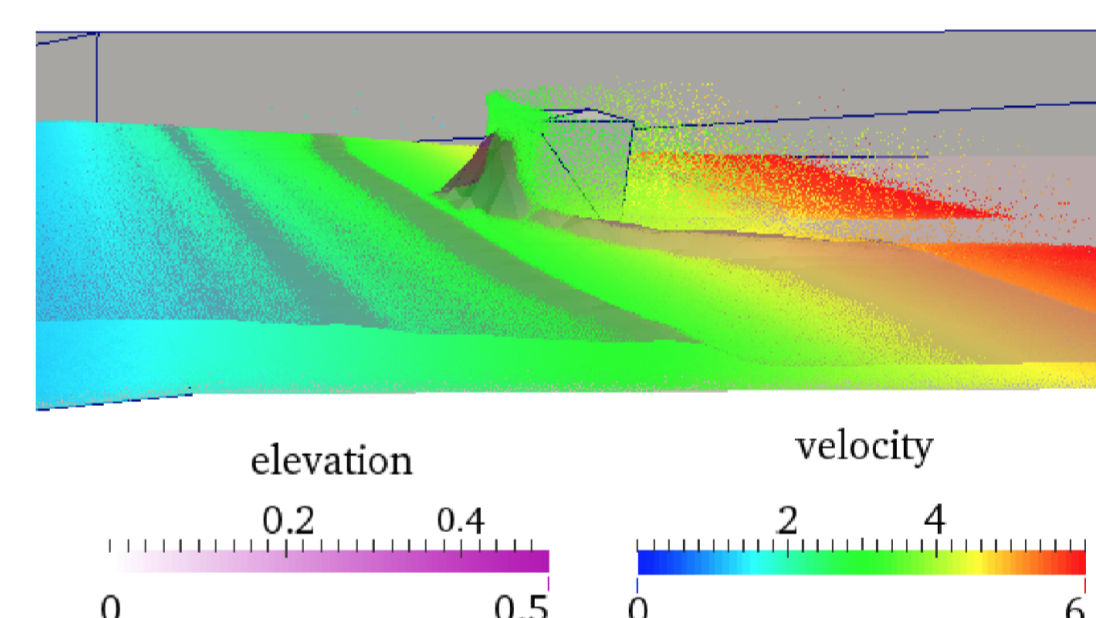
近似作用素	$N = 4 \cdot 10^4$	$N = 16 \cdot 10^4$
Spike(Proposed)	<b>0.048</b>	<b>0.015</b>
MPS	0.129	0.985
SPH(cubic)	0.051	0.021
SPH(quintic)	0.920	1.006

## Step 2: 大規模流体シミュレータへの応用・検証

- Step 1で得られた知見を用いた流体シミュレータの開発
- Tomiczekらの津波水槽実験等と比較することで妥当性を確認



Tomiczekらの津波水槽実験



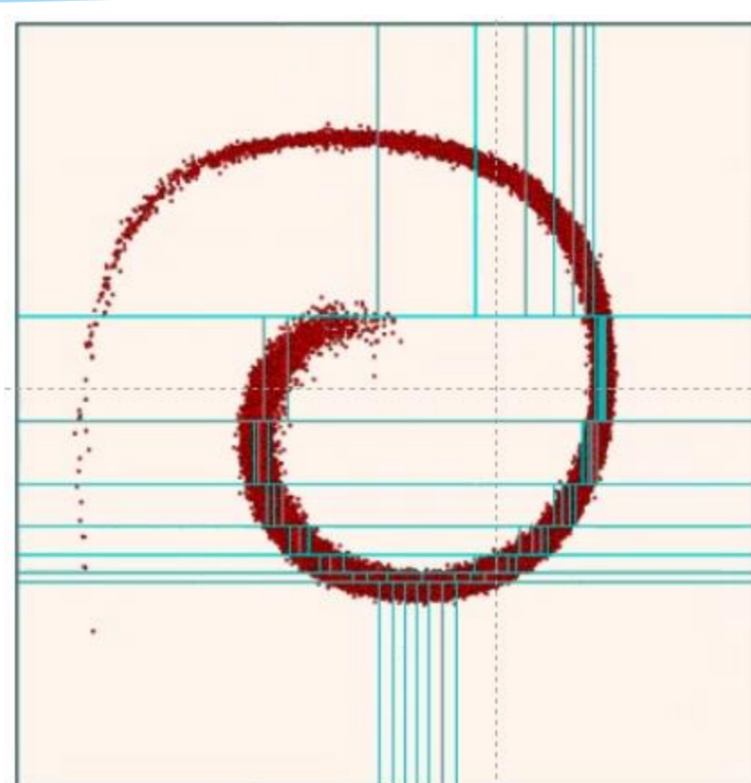
津波水槽実験の粒子法シミュレーション

## Step 3: 大規模流体シミュレータの性能強化

### 3-A 粒子並列計算の高速化

2次元スライスグリッド法に基づく動的負荷分散手法を適用

- 演算性能に応じて負荷分散
- 粒子分布の変化に応じて動的に分割



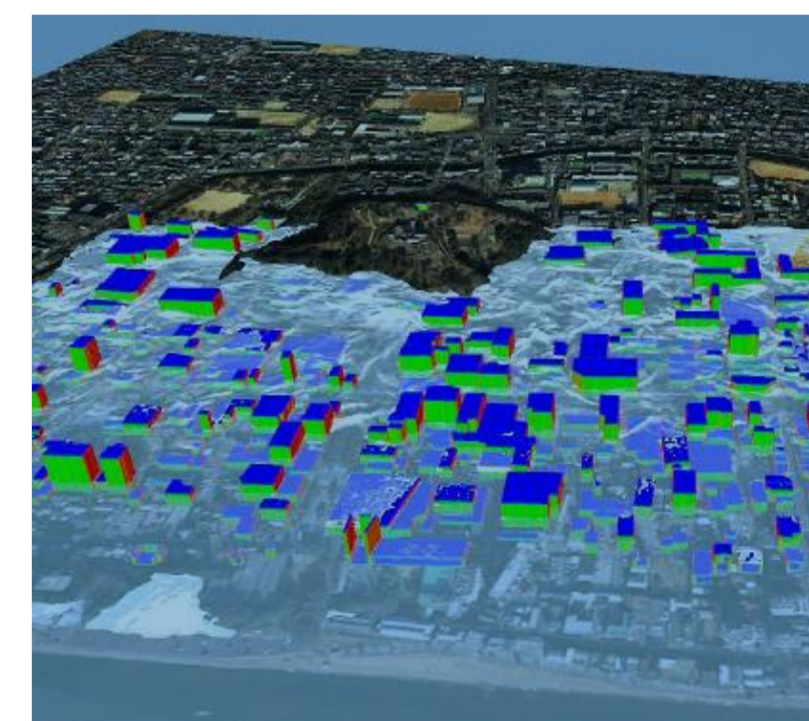
2次元スライスグリッド法 [S. Tsuzuki-T. Aoki, SC16, 2016]

### 3-B オフライン可視化の実装

HIVE\*2を用いた可視化システム

特徴: スケーラブルな並列レンダリング性能, マルチプラットフォーム対応, マルチシナリオ対応, 自動処理

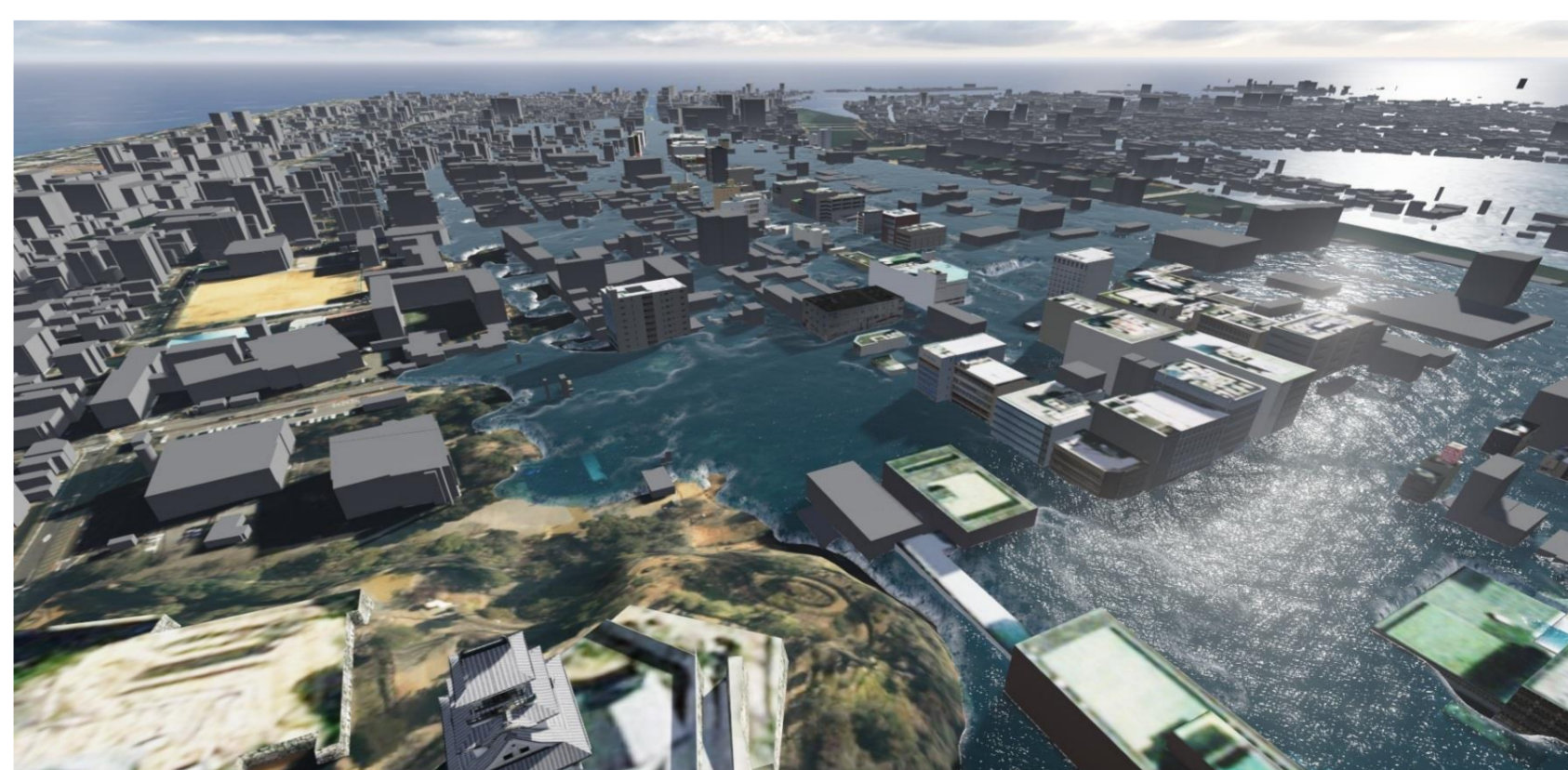
\*2 理化学研究所計算科学研究機構で開発している大規模並列可視化システム



HIVEによる可視化

## 大規模津波シミュレーションの実現

Step1, 2, 3より, 大規模・高信頼の流体シミュレータを開発. 10億粒子を用いた大規模津波予測シミュレーションを目標.



高知市の津波シミュレーション(1.5億粒子)

共同研究大学: 東京大学 名古屋大学 京都大学  
共同研究分野: 超大規模数値計算系応用分野