

jh160054-NAH

小野寺 直幸 (海上技術安全研究所)

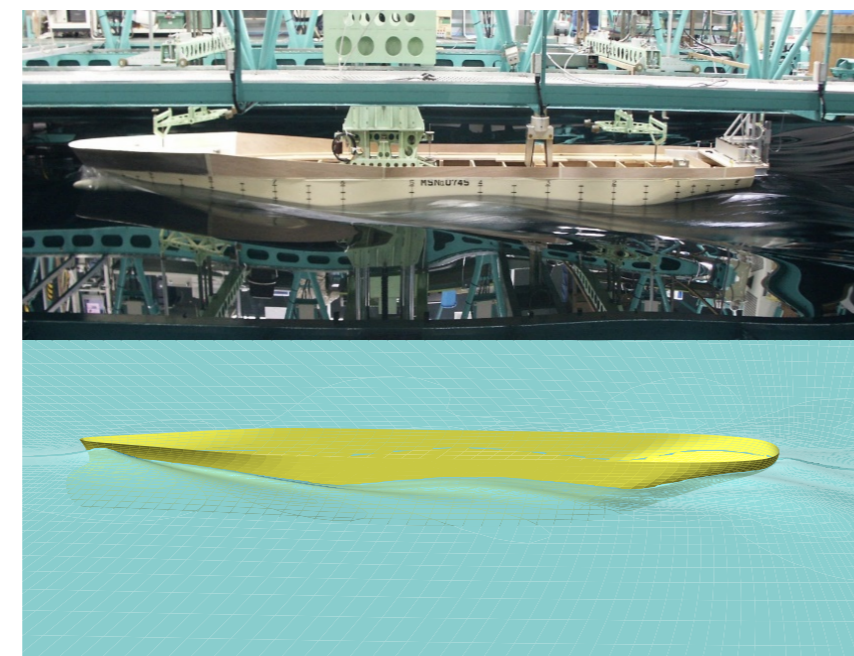
# 実海域の船舶挙動の推定に向けた大規模計算手法の開発



## 研究背景と研究目的

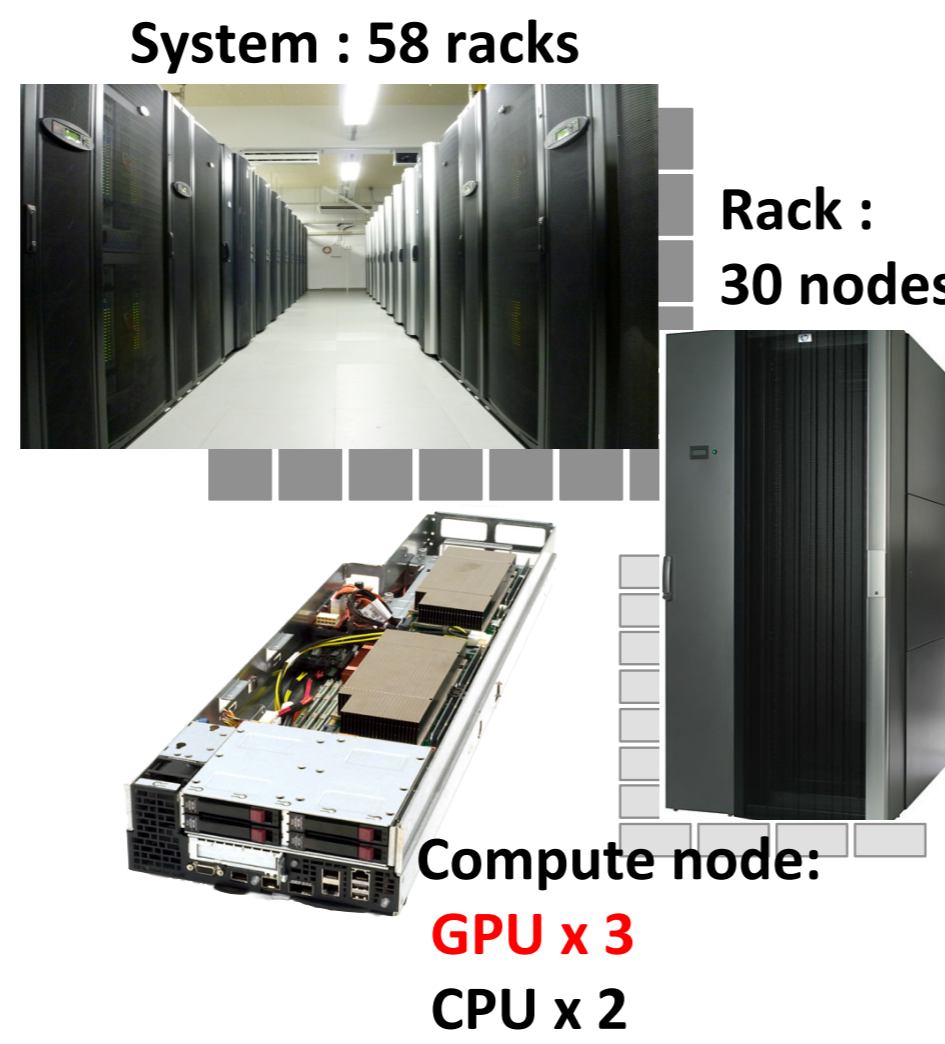
船舶の推進性能・操縦性の向上は省燃費性能や安全性に直結するため、水槽実験やCFDソフトウェアによる解析等の多くの研究が行われている。しかしながら、水槽設備や計算機資源の制約により、模型船を用いた性能評価が主であり、実船の実海域での性能は模型船結果から経験的な知識を用いて推定される。本課題では、実海域における船舶を対象とした大規模計算を実施することで、模型船と実船間のスケールの影響を受けない解析手法の構築、およびスーパーコンピュータに適した大規模自由表面流解析手法を提案する。

水槽試験とCFDによる自由表面流解析



## TSUBAME 2.5 Overview

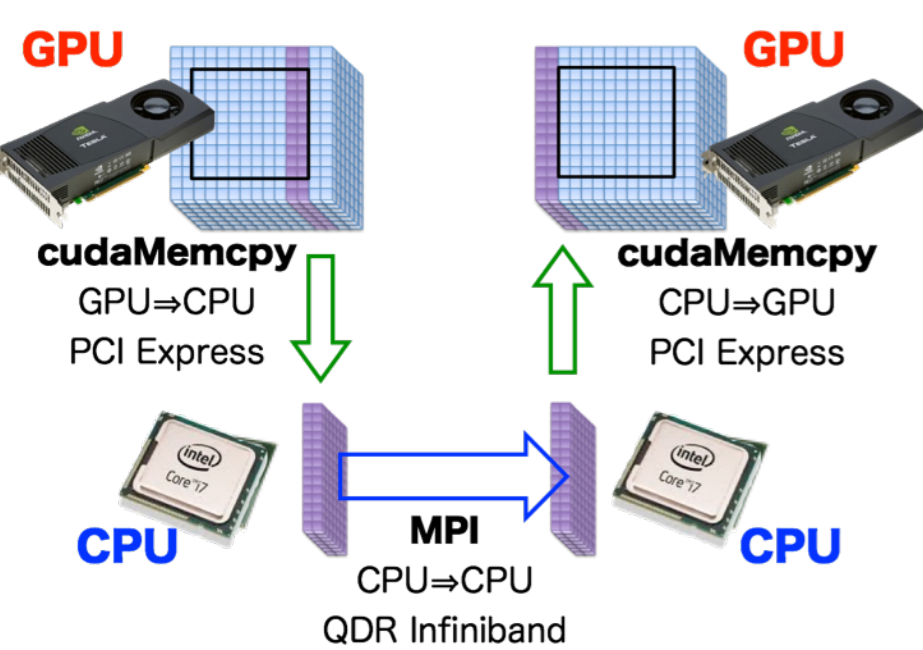
- 理論ピーク性能：17 Pflops (単精度)
- ネットワーク：Fat-tree type 200 Tbps (Full bi-section bandwidth)
- 計算ノード数：1408 nodes
  - GPU/node：3 NVIDIA Tesla K20X
  - CPU/node：2 Intel Xeon X5670
  - 2 Infiniband QDR/node：40Gbps x 2



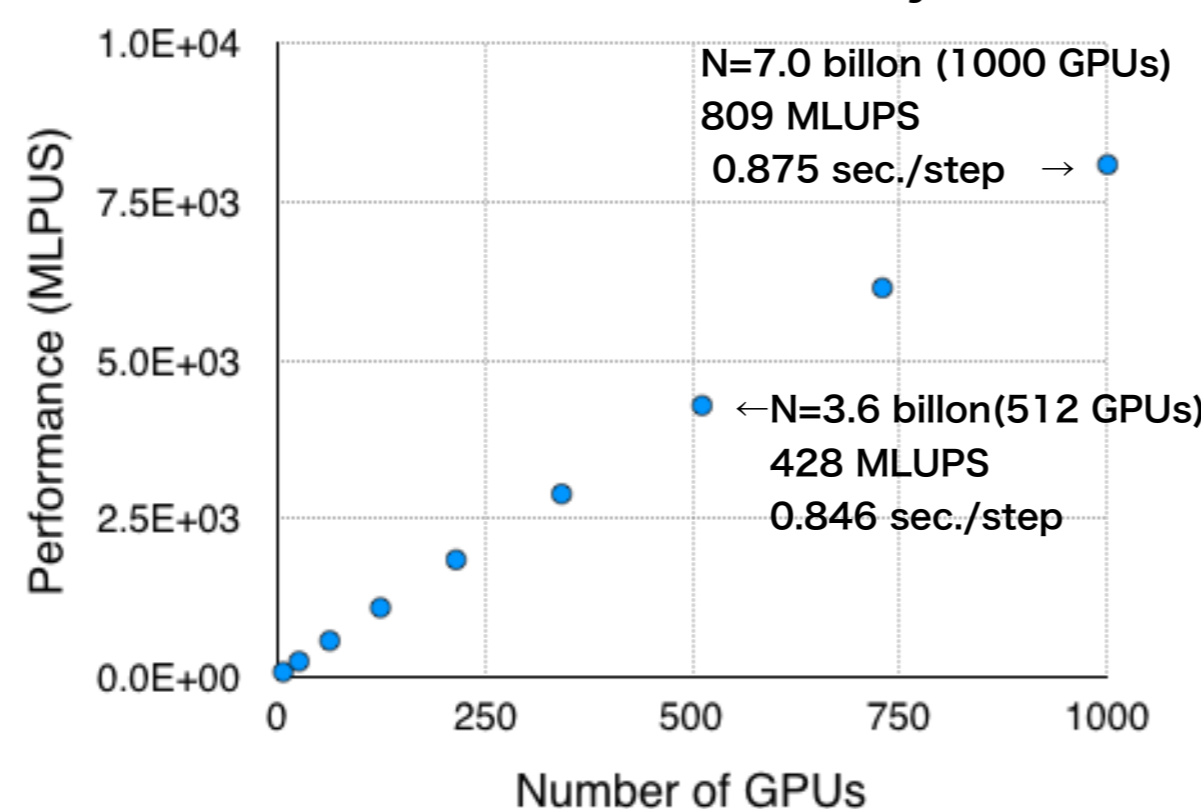
## TSUBAME 2.5 でのWeak Scaling

TSUBAME 2.5にて、自由表面流モデルを適用した格子ボルツマン法(D3Q27)のWeak scalingでの実効性能測定を行った。並列化手法として、各計算領域にGPUを割り当てるFlat MPIを採用し、各GPUに割り当てる格子点数は192<sup>3</sup>と設定した。並列計算として、8 GPU(2<sup>3</sup>)から1000 GPU(10<sup>3</sup>)まで測定を行い、良いスケールリングが得られると共に、単精度の実効性能として512 GPUにて428 MLUPS(MLUPS：mega lattice update per second)、1000 GPUにて809 MLUPSが得られた。

MPIによるGPU間通信



D3Q27+Free surface modelでのWeak scalability



## 今後の計画

格子ボルツマン法に乱流モデルおよび自由表面流モデルを適用することで、基本的な船体運動解析が可能である事を確認した。今後は実海象条件下での船体性能の推定および最適化手法の構築に向けて、以下の内容に取り組む。

- 1). 船体形状および乱流境界層を高精度に捉えるためにAMR(Adaptive Mesh Refinement)法の導入
- 2). 実海象条件を模擬した条件下での船体の性能解析および適用範囲の推定
- 3). 実アプリケーションでのデータ出力の高速化として、I/Oと計算の非同期処理手法の導入

## 格子ボルツマン法による自由表面流解析手法

格子ボルツマン法は有限個の方向を持つ速度分布関数の時間発展方程式を解くことで、流体现象を再現する。メモリアクセスが規則的かつ局所的であるため、GPU計算に非常に適している。ラージエディ・シミュレーションの乱流モデルおよび自由表面流モデルを適用することで、大規模な自由表面流解析が可能となる。

### ボルツマン方程式

$$f_i(x + c_i \Delta t, t + \Delta t) = f_i(x, t) - \frac{1}{\tau} (f_i(x, t) - f_i^{eq}(x, t)) + F_i$$

### コヒーレント構造スモグリンスキーモデルによる渦粘性

$$\tau = \frac{3\nu_*}{c^2 \Delta t} + \frac{1}{2}$$

$$\nu_* = \nu_0 + \nu_{SGS}$$

$$\nu_{SGS} = C \Delta^2 |S|$$

$$C = C_1 |F_{CS}|^{3/2} \quad F_{CS} = \frac{Q}{E}$$

### 自由表面流モデル

$$f_{-i}(x, t + \Delta t) = f_i^{eq}(\rho_A, u_B) + f_{-i}^{eq}(\rho_f, u_B) - f_i(x, t)$$

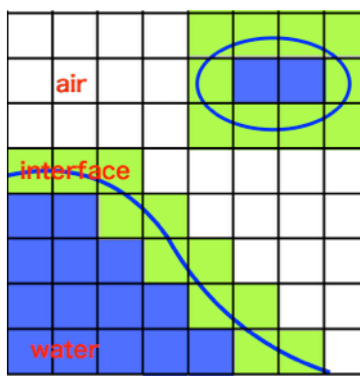
$\rho_A$  atmospheric pressure(=1)

$u_B$  velocity of free-surface

Liquid cell

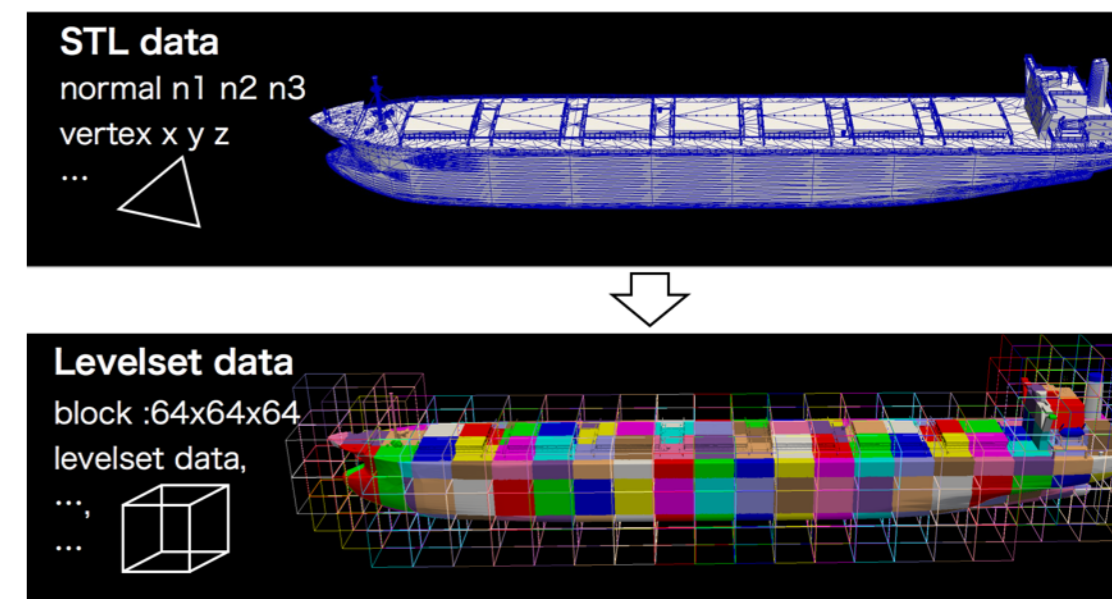
Interface cell

Gas cell



## 物体データの表現方法

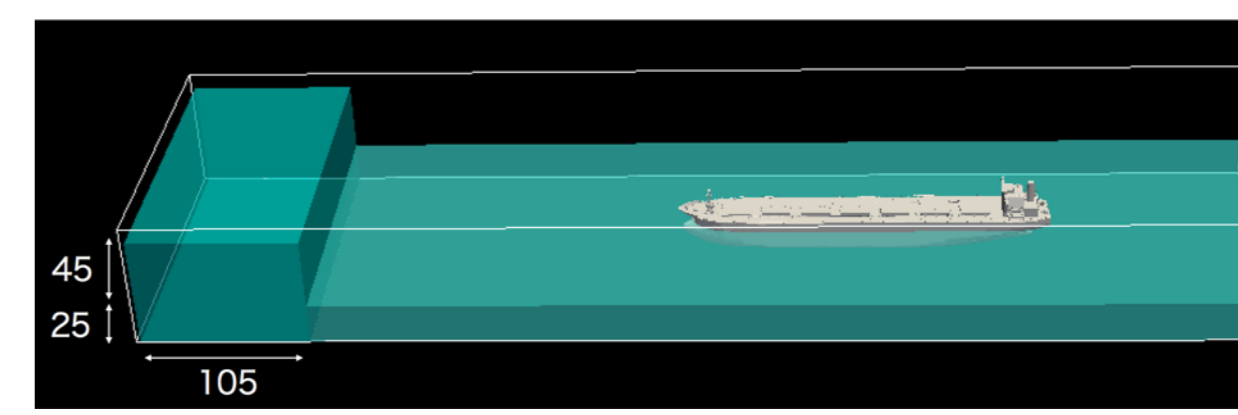
三角形の頂点と法線からなるSTLデータを、高解像度の格子点上の符号付き距離関数へと変換することで物体形状を表現する。計算で用いる距離関数は、GPU上にて効率的なメモリアクセスが行えるように64<sup>3</sup>の格子点Blockを用いて構築する。



## 大波高中でのバルクキャリアに対する自由表面流解析

### 計算条件

- 格子点数：2048 x 236 x 612 ( $\Delta x = 0.34$  m)
- 計算領域：700 x 80 x 200 m
- ノード数：24nodes (72GPUs)



### Povrayによる自由表面・船舶の可視化結果および速度・角速度の時間履歴

