

14-NA07

階層分割型数値計算フレームワークを用いた 波源から地上構造物までの実地形津波解析

室谷浩平（東京大学）

概要 2011 年 3 月 11 日の東日本大震災によって引き起こされた津波により、東日本は甚大な被害にみまわれた。構造物への被害は、水圧によるだけでなく、浮遊する瓦礫が構造物にぶつかり構造物に被害を及ぼすケースが多くあった。我々は、津波による構造物への被害を検討する際には、津波の遡上計算を行うだけでは不十分と考えており、浮遊物の衝突を含んだ構造解析が必要であると考えている。平成 25 年度は、津波が地上構造物へ及ぼす影響を解析するために 3 段階にわけて解析を行うことに成功した。平成 26 年度は、より現実に近い浮遊物の漂流解析を行うために、粒子法による流体解析と有限要素法による構造解析の連成計算を行えるフレームワークの開発を目指す。有限要素法による弾性体解析を行うことで、定量的な応力評価が可能となり、津波動的荷重と浮遊物衝突の影響を考慮した沿岸構造物の地震時健全性評価が可能となる。さらに、分散メモリ環境で高いパフォーマンスで実行できるチューニングも行う。

1. 共同研究に関する情報

(1) 共同研究を実施した拠点名

名古屋大学情報基盤センター

(2) 共同研究分野

□ 超大規模数値計算系応用分野

(3) 参加研究者の役割分担

- A) 室谷浩平（東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻）：津波の沿岸から遡上の解析のための物理モデルの構築，構造流体連成機能の開発
- B) 荻野正雄（名古屋大学情報基盤センター大型計算支援環境研究部門）：階層領域分割型ソルバーライブラリの開発，VSCG ライブラリの開発
- C) 塩谷隆二（東洋大学総合情報学部総合情報学科）：階層領域分割型ソルバーライブラリの開発，連続体力学向け DSL の開発，地上構造物の解析のための物理モデルの構築
- D) 金山寛（名古屋大学情報基盤センター大型計算支援環境研究部門）：津波の波源から沿岸までの解析のための物理モデルの構築
- E) 河合浩志（諏訪東京理科大学システム工学部）：連続体力学向け DSL の開発，構造流体連成機能の開発

F) 和田義孝（近畿大学 理工学部 機械工学科）：VSCG ライブラリの開発

G) 越塚誠一（東京大学大学院工学系研究科システム創成学専攻）：津波の沿岸から遡上の解析のための物理モデルの構築

2. 研究の目的と意義

2011 年 3 月 11 日の東日本大震災によって引き起こされた津波により、東日本は甚大な被害にみまわれた。構造物への被害は、水圧によるだけでなく、浮遊する瓦礫が構造物にぶつかり構造物に被害を及ぼすケースが多くあった。我々は、津波による構造物への被害を検討する際には、津波の遡上計算を行うだけでは不十分と考えており、浮遊物の衝突を含んだ構造解析が必要であると考えている。

本研究では、津波が地上構造物へ及ぼす影響を解析するためのマルチスケールマルチフィジックス解析を 3 つに分けて行う。第 1 の解析は、震源で発生する波源から沿岸部までの津波伝播計算である。この解析は、数十～数百キロ四方の広範囲な解析が必要となるため、粘性浅水波方程式を有限要素法で解くことにする。第 2 の解析は、沿岸部に押し寄せた津波が地上へ遡上し浮遊物を運搬する計算である。この解析は、遡上計算と浮遊物の取り扱いが容易な粒子法を用いて計算を行う。

粒子法は、解析領域に比例する粒子数を必要とするため、数 km 四方程度の中規模な範囲の解析しか行うことができない。第 3 の解析は、構造物が受ける水圧と浮遊物の衝突による構造解析である。この解析は、複数材料の弾塑性非線形解析であるため、有限要素法を用いて計算を行う。

我々は、津波が地上構造物へ及ぼす影響を解析するために、それぞれの解析ステージで適した解析手法を用いる。これらの異なる 3 つの解析手法を効率的に組み合わせるために、我々は「階層分割型数値計算フレームワーク」を開発し、そのフレームワークを用いて、それぞれの解析ステージにおいて高性能で高精度な解析を実現する。

今年度は、これまで解析を行ってきた石巻市に加え、新たに気仙沼湾の解析を行う。構造物は、昨年度までは剛体として扱ってきたが、今年度は線形弾性体として扱う。

3. 当拠点公募型共同研究として実施した意義

共同研究先である名古屋大学情報基盤センターからは次のサポートを受けた。

① 大規模高精細可視化サポート

これまで、1 億粒子を超える解析結果は、メモリ不足のため可視化結果を間引いて可視化していた。名大の大規模共有メモリ計算機 UV2000 にリモートディスクトップ NVC を利用することで、解析結果を間引くことなく可視化することが可能となった。また、16 面 8K モニターを利用しての大規模高精細可視化を行うことができるようになった。

② JHPCN-DF の導入

JHPCN 採択課題 (jh140004-NA02) である萩田 (防衛大学)・荻野(名古屋大学情報基盤センター)らの研究成果 JHPCN-DF を利用して、解析結果出力ファイルの大幅な圧縮に成功した[c5]。

③ MPS 陽解法コードのチューニングサポート

昨年度までは、カーネル関数のピーク性能比が、CX400 の Xeon E5-2697 v2 で 7%程度だったのが、最大で 18%まで出るようになり、FX10 の SPARC64TM IXfx で 9%程度であったのが、最大

で 26%まで出るようになった[a10,b1-6]。

④ SC14 名大ブースでの成果公開サポート

SC14 の名大ブースで本 JHPCN 課題の成果をポスターとフル HD モニターで展示し、成果公開に協力してもらえた[b1]。

4. 前年度までに得られた研究成果の概要

平成 25 年度は、津波が地上構造物へ及ぼす影響を解析するために 3 段階にわけて解析を行うことに成功し、津波に運搬された多数の浮遊物がどのように市街地に押し寄せるかを実現できるようになった[a3,4]。

5. 今年度の研究成果の詳細

現在までに、次の項目が完了している。

① 分散メモリ並列 EMPS ライブラリ LexADV_EMPS v0.1b[e1]の公開【中間報告書記載済】

塩谷 CREST プロジェクトで開発が進められている LexADV シリーズの一つとして、2014 年 10 月に LexADV_EMPS v0.1b を

【<http://adventure.sys.t.u-tokyo.ac.jp/lexadv/>】に公開した。LexADV_EMPS v0.1b は、高並列な分散メモリ環境での粒子法ソルバー開発支援を目的としており、「ParMETIS を用いた動的負荷分散機能」、「隣接間通信のための Halo 領域交換機能」、「高次精度空間離散化モデルのマクロ関数」、「流体剛体連成機能」の機能を有している。今後定期的に本課題の成果を取り込み、機能を拡充していく予定である。第 9 回 ADVENTURE 定期セミナーや学会発表[c1-4,d1-7]で、LexADV_EMPS の紹介を行った。

② 「MPS 半陰解法を開発し、MPS 陽解法とのトレードオフを検討する。」【中間報告書から進捗あり】

陽解法と半陰解法の精度を検証しつつ、計算時間やメモリ使用量を比較した。

MPS 陽解法と MPS 半陰解法の圧力分布を比較するために、流体圧力分布(図 1)と構造解析でメッ

シユが受け取る圧力分布(図 2)を比較した. 本解析では, 粒子サイズ:メッシュサイズを 1:4 に設定している. 図 1(a)の陽解法では圧力振動が激しく起こっているが, 図 1(b)の半陰解法では圧力振動は起こっていない. 本来なら半陰解法を用いたいところであるが, 図 2 のメッシュ面が受け取る圧力分布を比較すると図 2(a)の陽解法と図 2(b)の半陰解法の差はかなり小さくなる. これは, メッシュ面に所属する壁粒子の平均圧力を, メッシュ面が受け取るため, 壁粒子の圧力が平均化されるためである[a2,6-9].

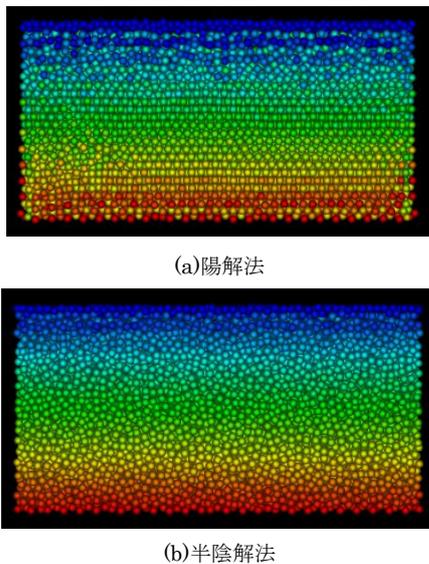


図 1. 静水圧解析の流体圧力分布

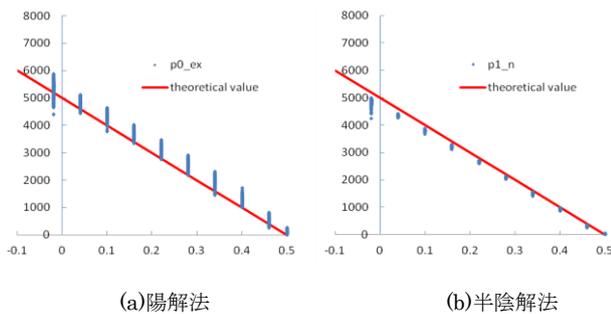


図 2. 静水圧解析でメッシュ面が受け取る圧力分布

一方で, 東大 FX10 上で陽解法と半陰解法のストロングスケールと計算コストを測定した. 図 3 は, 12 ノードから 4800 ノードのストロングスケール結果である. 陽解法は省メモリであるため, 314,572,800 粒子のストロングスケールを行うことができ, 半陰解法は行列を保存するため, 40,867,293 粒子のストロングスケールを行っ

た. 半陰解法は, 並列効率が悪い上, 行列の保持にメモリを多く使うため, 1 ノード当たりの割り当てることができる粒子数が 1/10 程度に少くなる.

図 4 は, 1 ノード当り 851,402 粒子の 1 ステップ当たりの計算時間である. 1 ノードから 240 ノードまで比較を行い, 240 ノードでは 204,336,469 粒子の解析となった. ポアソン方程式の解法は, 対角スケール前処理 BiCGSTAB 法を用い, 収束判定値は $1e-6$ とした. 1 ノードでは, 陰解法の計算時間は陽解法の 35 倍であった. ノード数が増えるにつれて計算時間の差は開き, 240 ノードでは 147 倍にまで増えた. これはポアソン方程式の次元数が増え, 反復解法の反復回数が増えるためである. 半陰解法は, 約 10 倍メモリの使用量と, 100 倍以上の計算時間が必要であるので大規模な解析を行う際には, 計算コストの面から陽解法の方が推奨される.

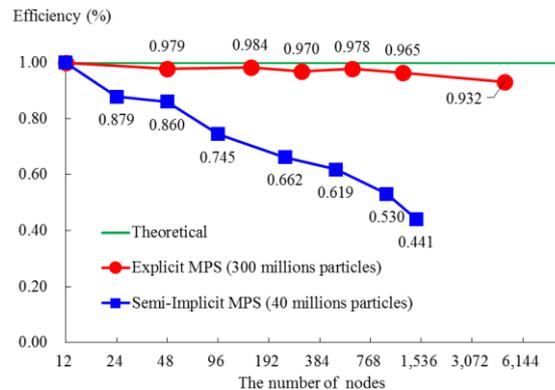


図 3. MPS 陽解法と MPS 半陰解法のストロングスケール

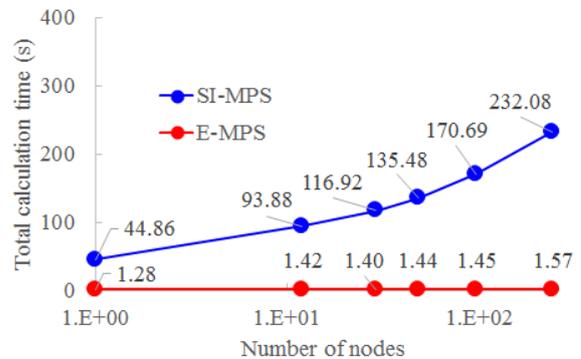


図 4. MPS 陽解法と MPS 半陰解法の計算時間

以上結果, 構造物が受ける流体圧力を考えた場合, 陽解法の圧力振動はある程度抑えられることが確認でき, さらに, 問題が大規模になるにつれ

て陽解法と半陰解法の並列性能と計算時間の差が大きく開くことが確認できたため、本研究課題では、従来通り MPS 陽解法を用いることにした[c2,d4]. 一方で、今回は、対角スケーリング前処理 BiCGSTAB を用いたが、DDM の実装が完了し、今後パフォーマンス測定を行う予定である[d8]. 更に、実装中の DDM-BDD や AMG を試し、半陰解法の高高速化に努める予定である.

③ 「HDDM 構造解析：1000 万要素のモデルで物理時間 15 分間の解析を行う。」【中間報告書から進捗あり】

石巻市街地モデルを地上構造物と地盤を合わせたメッシュを作成し、流体の動的荷重を地上構造物へ渡す有限要素解析を行った. 図 5 はメッシュサイズ 2m の四面体メッシュである. 本メッシュは 1000 万要素となった. 図 6 は流体圧力を受けて ADVENTURE_Solid で構造解析[a1]をした結果を相当応力で表示した結果である [a2-7,c3-4,d1-4].

更に、構造解析と流体解析の計算ノードの割当てを、FX10 の Tofu インターコネクットの幾何的な情報と通信実測値を用いて最適配置を求めた[d2].

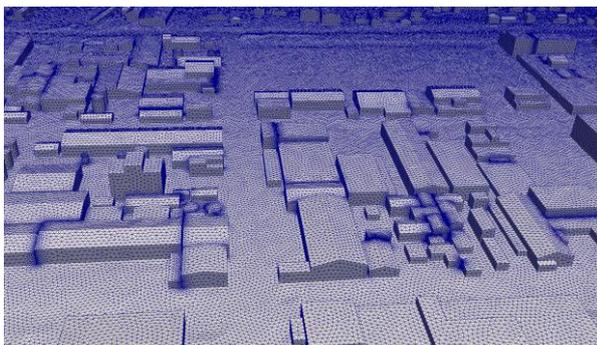


図 5. メッシュモデル

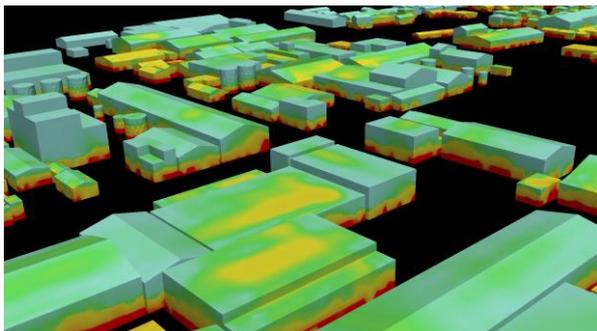


図 6. 地上構造物の相当応力

④ 大規模高精細可視化と可視化用データの圧縮【中間報告書記載済】

名古屋大学情報基盤センターのサポートを受けて、図 7 の様に、UV2000 を利用した 8K モニターでの可視化に成功した[d6-7]. JHPCN-DF を利用することで、ほぼ同程度の品質の可視化を実現しつつデータを 60%前後圧縮することに成功した[c5].

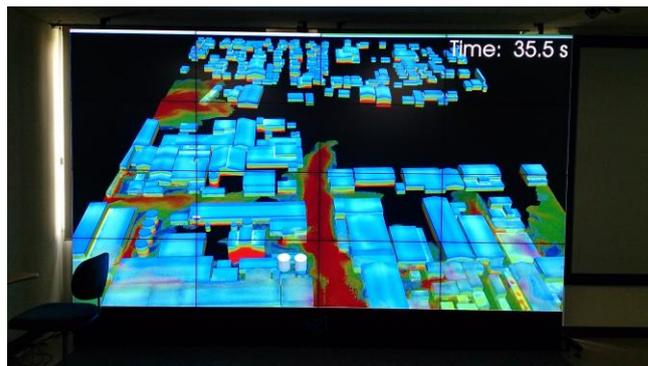


図 7. 16 面 8K モニターによる可視化

⑤ LexADV_EMPS のチューニング【中間報告書から進捗あり】

LexADV_EMPS のチューニングを行い、大幅に性能が改善された. 図 8 は、それぞれのプロセッサ/アクセラレータでのピーク性能比を示した結果である. 昨年度までは、カーネル関数のピーク性能比が、CX400 の Xeon E5-2697 v2 で 7%程度だったのが、最大で 18%まで出るようになり、FX10 の SPARC64TM IXfx で 9%程度であったのが、最大で 26%まで出るようになった[a10,b1-6].

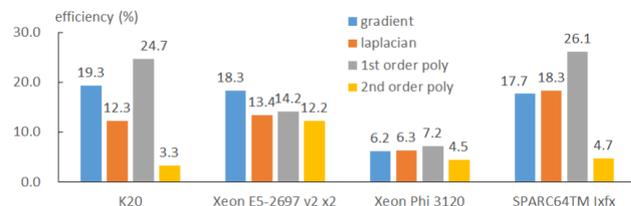


図 8. 各プロセッサ/アクセラレータでのピーク性能比

⑥ 気仙沼湾と市街地モデルの作成と津波遡上解析【中間報告書から大幅進捗あり】

空測量データを国土地理院からレンタルし、航空写真を国際航業株式会社から購入し、海上保安

庁から海底測定データ(海図)を購入して、気仙沼湾と市街地モデル(図 9)を作成した。全長 60 メートル船舶(図 10)を 3ds MAX を用いて作成した。



図 9. 気仙沼湾と市街地モデル

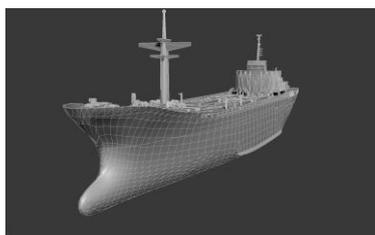


図 10. 全長 60 メートル船舶モデル

津波波源から沿岸部までを構造計画研究所のソフトウェア TSUNAMI-K を用いて浅水長波解析を行った。断層パラメータに藤井佐竹の 55 小断層モデル Ver. 8.0(図 11)を用い観測点を図 12 の様に設定した。図 13 は TSUNAMI-K による解析結果である。図 13 (b)の気仙沼湾周辺では、TSUNAMI-K 標準のデータベースは 500m 間隔の水深データを用いているため、気仙沼湾周辺の水深データを、海図を元に手入力で修正を行った。図 14 は宮城北部沖における GPS 観測結果と TSUNAMI-K による解析結果の波高を比較した結果である。TSUNAMI-K による解析結果が GPS 観測結果に比べて波高が若干低めの結果になった。

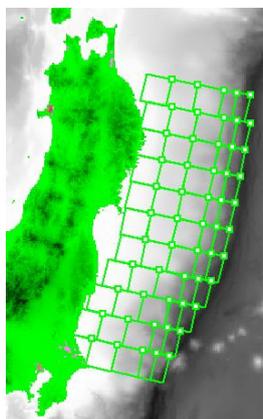


図 11. 断層パラメータ

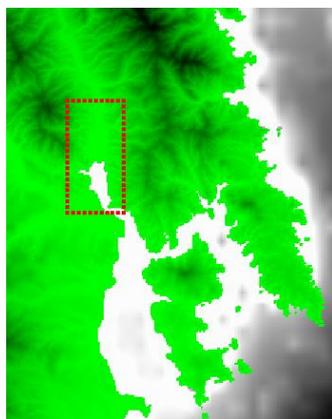


図 12. 測定点



(a) 震源付近

(b) 気仙沼湾と市街地

図 13. TSUNAMI-K による解析結果

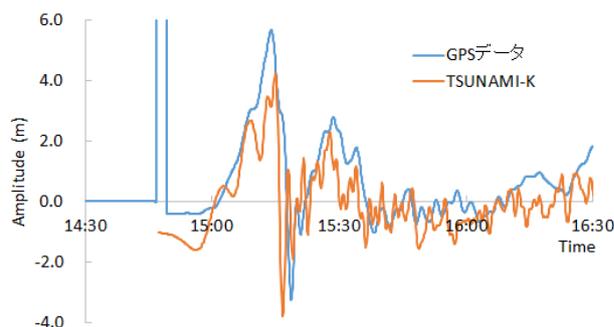


図 14. 宮城北部沖の TSUNAMI-K による解析結果

図 15 と図 16 は気仙沼湾と市街地解析の LexADV_EMPS による解析結果である。本解析は、解析領域 4km×2km を直径 1m の粒子でモデル化し、30 分の解析で最大 2 億粒子になった。本解析を行うために、本研究課題により提供を受けた名古屋大学情報基盤センターFX10 を 96 ノード用いて 1 ヶ月かかった。

6. 今年度の進捗状況と今後の展望

今年度の進捗状況は 80% である。まず、JHPCN の開発項目を取り入れた LexADV_EMPS を 2014 年度 10 月に公開できたのが最大の成果であった。更に、LexADV_EMPS を用いた MPS 半陰解法の実装と精度検証とパフォーマンス測定を行い、現在公開準備中である。今後、DDM-BDD や AMG を導入することで、半陰解法の高速度化に努める予定である。

名古屋大学情報基盤センターとの共同研究では、UV2000 と 8K モニターによる大規模高精細可視化サポート、JHPCN 採択課題 (jh140004-NA02) の研究成果 JHPCN-DF の導入によるデータ圧縮

手法の導入，カーネル関数のピーク性能比の大幅改善に大きな協力があつた。

今年度の未達成項目は，気仙沼解析の流体構造連成解析である．解析上の問題点が幾つか明らかになったため，次年度に研究開発が引き続き行う予定である．

7. 研究成果リスト

(1) 学術論文

- [a1] A.M.M. Mukaddes, Masao Ogino, and Ryuji Shioya, “Performance Evaluation of Domain Decomposition Method with Sparse Storage Schemes in Modern Supercomputer”, *International Journal of Computational Methods*, Vol. 11, Suppl. 1, 1344007, pp.1-14, 2014 (DOI: 10.1142/S0219876213440076).
- [a2] N. MITSUME, S. YOSHIMURA, K. MUROTANI and T. YAMADA: MPS-FEM PARTITIONED COUPLING APPROACH FOR FLUID-STRUCTURE INTERACTION WITH FREE SURFACE FLOW, *International Journal of Computational Methods (IJCM)*, Vol. 11, issue 4, pp.1350101, 16 pages, 2014 (DOI: 10.1142/S0219876213501016).
- [a3] Kohei Murotani, Seiichi Koshizuka, Tasuku Tamai, Kazuya Shibata, Naoto Mitsume, Shinobu Yoshimura, Satoshi Tanaka, Kyoko Hasegawa, Eiichi Nagai and Toshimitsu Fujisawa: Development of Hierarchical Domain Decomposition Explicit MPS Method and Application to Large-scale Tsunami Analysis with Floating Objects, *Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering (JASSE)*, Vol. 1, No. 1, pp.16—35, 2014 (DOI:10.15748/jasse.1.16).
- [a4] Kentaro Tanaka, Satoshi Tanaka, Kyoko Hasegawa, Kohei Murotani, Seiichi Koshizuka: Translucent Visual Analysis of Large Scale 3D Point Data Generated by Particle Fluid, *Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering (JASSE)*, Vol. 1, No. 1, pp.5—15, 2014 (DOI: 10.15748/jasse.1.5).
- [a5] Yokoyama, M., Murotani, K., Yagawa, G., and Mochizuki, O., Some Considerations on Surface Condition of Solid in Computational Fluid-Structure Interaction. In *Numerical Simulations of Coupled Problems in Engineering (Computational Methods in Applied Sciences)*, Springer International

Publishing, Vol. 33, pp. 171-186, 2014 (DOI: 10.1007/978-3-319-06136-8_8).

- [a6] N. Mitsume, S. Yoshimura, K. Murotani and T. Yamada : Improved MPS-FE Fluid-Structure Interaction Coupled Method with MPS Polygon Wall Boundary Model, *Computer Modeling in Engineering & Sciences (CMES)*, Vol.101, No. 4, pp. 229-247, 2014 (DOI:10.3970/cmes.2014.101.229).
- [a7] Naoto Mitsume, Shinobu Yoshimura, Kohei Murotani, Tomonori Yamada: Explicitly Represented Polygon Wall Boundary Model for Explicit-MPS Method, *Computational Particle Mechanics (CPM)*, 13 May 2015. (DOI:10.1007/s40571-015-0037-8)
- [a8] Kazuya Shibata, Issei Masaie, Masahiro Kondo, Kohei Murotani, Seiichi Koshizuka: Improved pressure calculation for the moving particle semi-implicit method, *Computational Particle Mechanics (CPM)*, 08 May 2015. (DOI:10.1007/s40571-015-0039-6)
- [a9] Kazuya Shibata, Seiichi Koshizuka, Kohei Murotani, Mikio Sakai, Issei Masaie: Boundary Conditions for Simulating Karman Vortices Using the MPS Method, *Journal of Advanced Simulation in Science and Engineering (JASSE)*, accepted.
- [a10] Kohei MUROTANI, Issei MASAIE, Takuya MATSUNAGA, Seiichi KOSHIZUKA, Ryuji SHIOYA, Masao OGINO, Toshimitsu FUJISAWA: Performance Improvements of Differential Operators Code for MPS method on GPU, *Computational Particle Mechanics (CPM)*, accepted.

(2) 国際会議プロシーディングス

- [b1] Kohei Murotani, Seiichi Koshizuka, Masao Ogino, Ryuji Shioya, Yasushi Nakabayashi: Development of distributed parallel explicit Moving Particle Simulation (MPS) method and zoom up tsunami analysis on urban areas, SC14, poster session, New Orleans, Nov. 16-21, 2014.
- [b2] Kohei Murotani, Seiichi Koshizuka, Naoto Mitsume, Shinobu Yoshimura, Kazuya Shibata, Tasuku Tamai, Satoshi Tanaka, Kyoko Hasegawa, Toshimitsu Fujisawa: Large-Scale Tsunami Analysis on Urban Area using MPS-FE Fluid-Structure Interaction Coupled Method, The 14th Asia Simulation Conference & The 33rd JSST Annual Conference:

International Conference on Simulation Technology, Kitakyushu, Japan, October 26-30, 2014.

(3) 国際会議発表

[c1] Kohei MUROTANI, Seiichi KOSHIZUKA, Hiroshi KANAYAMA, Kazuya SHIBATA, Tasuku TAMAI, Naoto MITSUME, Shinobu YOSHIMURA, Satoshi TANAKA, Kyoko HASEGAWA, and Toshimitsu FUJISAWA: Large-scale run-up tsunami analysis with many floating objects on urban area by three analyses stages using hierarchical domain decomposition in explicit MPS method, 1st International Conference on Computational Engineering and Science for Safety and Environmental Problems (COMPSAFE 2014), Sendai, Japan, 13-16 April 2014.

[c2] (Invited Lecture) Kohei MUROTANI, Seiichi KOSHIZUKA: Comparisons of calculation cost and accuracy between the explicit and semi-implicit distributed memory parallel MPS method (Invited), 5th International Conference on Computational Methods (ICCM2014), Fitzwilliam College Cambridge, England, 28-30th July 2014.

[3] (Invited Lecture) Kohei MUROTANI and Seiichi KOSHIZUKA: Zoom up tsunami analysis with many floating objects on urban areas by three analyses stages using distributed parallel explicit MPS method, 5th AICS International Symposium, Kobe, Japan, December 8-9, 2014.

[c4] Kohei Murotani, Ryuji Shioya, Seiichi Koshizuka, Masao Ogino, Hiroshi Kawai: Development of a Numerical Library based on Hierarchical Domain Decomposition for Post Petascale Simulation, SC14, ATIP Workshop on Japanese Research Toward Next-Generation Extreme Computing, New Orleans, Nov. 16-21, 2014.

[c5] Katsumi Hagita, Manabu Omiya, Takashi Honda, Kohei Murotani, Masao Ogino, Study of Efficient Data Compression by JHPCN-DF, Annual Meeting on Advanced Computing System and Infrastructure (ACSI) 2015, つくば国際会議場, 2015 年 1 月 26 日-28 日

(4) 国内会議発表

[d1] 室谷浩平, 越塚誠一, 玉井佑, 柴田和也, 三目直登, 吉村忍, 田中覚, 長谷川恭子, 藤澤智光: 階

層型領域分割 MPS 陽解法を用いた多数の浮遊物が漂流する市街地津波遡上解析, 第 19 回計算工学講演会, 広島国際会議場所, 2014 年 6 月 11-13 日.

[d2] 室谷浩平, 越塚誠一, 柴田和也, 三目直登, 吉村忍, 藤澤智光: 階層型領域分割 MPS-FEM 流体構造連成解析のための最適なロードバランスの検討, 日本機械学会 第 27 回計算力学講演会 (CMD2014), 岩手大学, 2013 年 11 月 22-24 日.

[d3] 室谷浩平: 大規模分散メモリ並列 MPS 法の開発と市街地浸水津波解析, 先駆的科学計算に関するフォーラム 2014, 福岡, 九州大学情報基盤研究開発センター, 2014 年 8 月 5-6 日.

[d4] 室谷浩平: 分散メモリ並列 MPS 陽解法・半陰解法の圧力振動抑制, 計算精度と計算コストの比較, ワークショップ 自由表面や気液界面を含む流れの数値解析 一粒子法と格子法, 数理と実践一, 福岡, リファレンス駅東ビル, 2014 年 9 月 10 日.

[d5] 室谷浩平: 粒子法シミュレーションコードの実装を通じた Intel x86 CPU, Fujitsu Sparc64 CPU, Intel Xeon Phi, GPU コンピューティングの比較, Prometech Simulation Conference 2014, 東京コンファレンスセンター・品川, 2014 年 9 月 26 日.

[d6] 室谷浩平: スーパーコンピュータを用いた大規模粒子法解析とその可視化, 第 20 回ビジュアライゼーションカンファレンス, タイム 24, 東京, 2014 年 11 月 7 日.

[d7] 室谷浩平, 越塚誠一, 塩谷隆二, 荻野正雄: 分散メモリ並列 EMPS ライブラリ LexADV_EMPS の使い方と大規模可視化システム UV2000 上での ParaView, AVS, Ensignt による大規模粒子系シミュレーション結果の可視化, 第 30 回粒子法コードユーザグループ会合, 海上技術安全研究所本館 A 会議室, 2014/11/26.

[d8] 本橋佑一, 室谷浩平, 柴田和也, 越塚誠一, 荻野正雄, 田上大助: 圧力ポアソン方程式への部分構造反復法の実装とその性能検証, 日本機械学会 第 27 回計算力学講演会 (CMD2014), 岩手大学, 2013 年 11 月 22 日-24 日.

(5) その他 (特許, プレス発表, 著書等)

[e1] 【受賞】日本機械学会計算力学部門 2013 年度優秀講演表彰, 和田義孝, 2014 年 7 月 1 日.

[e2] 【著書】越塚誠一, 柴田和也, 室谷浩平: 粒子法入門 「MPS 法による流体シミュレーションの基礎から並列計算と可視化まで」 (サンプルプログラムのソースコード付き), 丸善出版, 256 ページ, 2014 年 6 月 25 日初版出版.

[e3]【プログラム登録】 著作者：室谷浩平，越塚誠一，
塩谷隆二， 題号：分散メモリ並列 EMPS ライブ
ラリ LexADV_EMPS v0.1-b，登録番号：P 第
10453 号-1，平成 26 年 10 月 14 日，内容：分散

メモリ並列 MPS 陽解法解析プログラム.

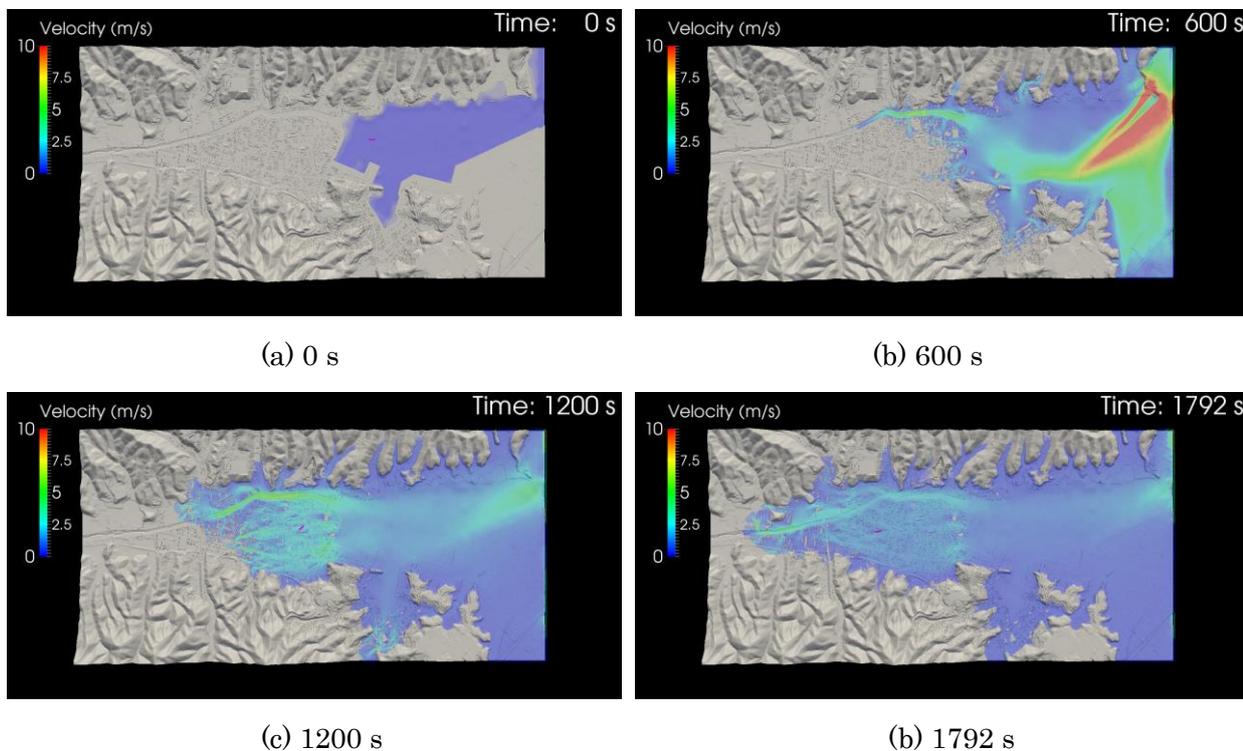


図 15. 気仙沼湾と市街地の LexADV_EMPS による解析結果 (真上から)

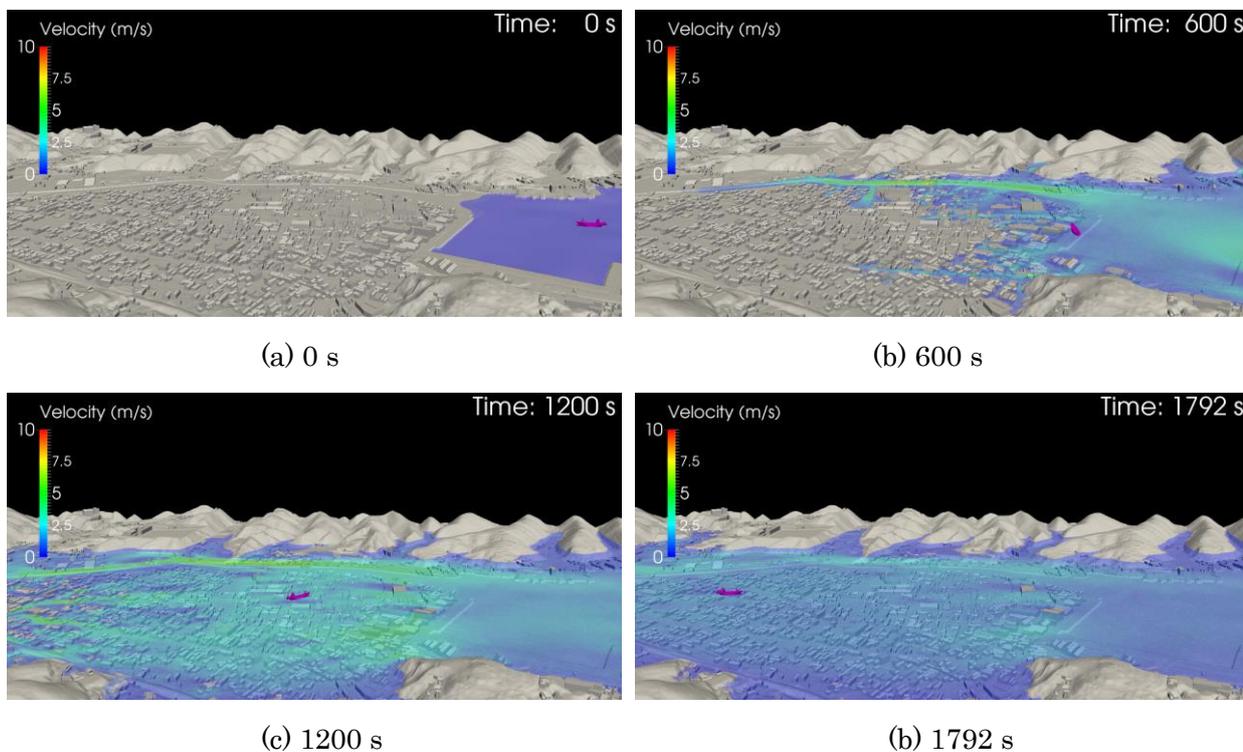


図 16. 気仙沼湾と市街地の LexADV_EMPS による解析結果 (高台から)