

jh170035-NAJ

高精度即時予測のための GPU による大規模津波数値解析

青井 真 (国立研究開発法人 防災科学技術研究所)

概要 高精度な津波即時予測をめざしたデータベース検索型の遡上予測システムを構築するために、計算コードを開発し GPU を用いた津波遡上計算を実施した。8 万もの遡上計算を実施でき、結果を津波シナリオとしてデータベースに登録した。津波シナリオは網羅的に設定したが、高精度予測のためには網羅的シナリオ設定とともに、シナリオ群を対象とした統計処理や機械学習による手法高度化も有効であることが分かった。

1. 共同研究に関する情報

(1) 共同研究を実施した拠点名

東京工業大学

(2) 共同研究分野

- 超大規模数値計算系応用分野
- 超大規模データ処理系応用分野
- 超大容量ネットワーク技術分野
- 超大規模情報システム関連研究分野

(3) 参加研究者の役割分担

研究総括：青井真 (防災科学技術研究所)

大規模数値解析：鈴木進吾・三好崇之・鈴木亘・高橋成実 (防災科学技術研究所)

津波シミュレーター構築：藤原広行・功刀卓 (防災科学技術研究所)

沿岸地震動の評価：前田宜浩・岩城麻子 (防災科学技術研究所)

津波ソルバーの高速化分析：青木尊之 (東京工業大学)

2. 研究の目的と意義

防災科学技術研究所では、平成 26 年から内閣府戦略的イノベーション創造プログラム (SIP) の下、海域での広域高密度地震津波観測を実現する日本海溝海底地震津波観測網 (S-net) から得られる水圧情報を、事前に計算しておいた膨大な津波シナリオ群からなるデータベース (津波シナリオバンク) とリアルタイムに照合し、津波検知後即時に遡上域までを予測するシステムの研究開発を行っている。

このようなデータベース検索型の津波予測シス

テムの予測精度は、データベースに格納される情報量 (津波シナリオ数とその網羅性、計算の高精度性) に依存する。そして、予測精度は津波による人的被害の発生抑止に大きく影響する。

しかしながら、現在の一般的な津波シミュレーション技術では、空間分解能 10m の情報量を保ちながら、大量の津波シナリオを計算するには、膨大な計算負荷が必要となり、即時予測システムの精度向上には長い年月がかかってしまう。本研究では、世界に冠たる大規模な GPU 計算基盤を有する東京工業大学の TSUBAME を用いて、いまだかつて行われてこなかった数の津波シナリオを短期間でシミュレートする。これにより、津波シナリオバンクを大幅に充実させ、即時予測の高度化・高精度化を目指す。

津波の被害を軽減するためには、津波の発生しない長い期間を活用して十二分に様々なシナリオを想定し、緊急時の適切な対応を準備することが最重要である。本研究で目標とする大規模なケースの津波シミュレーション結果データの構築は、東日本大震災を受けて世界的に類を見ない広範囲かつ稠密さで整備されている S-net を用いた高精度・高速な即時予測・状況把握を強力に推し進め、来襲する津波に対して適切に対応する津波防災技術革新と津波に強い社会の基盤となる。また、このように蓄積されたシミュレーションビッグデータを解析することにより、津波リスク評価、効率的な避難戦略の検討、各種システムの緊急時制御など、様々な学問分野と地域・産業の防災実務への展開が考えられる。

このように本研究の成果は、津波に対するレジリエントな社会を作るための、予防、予測、対応のそれぞれの課題において、様々な応用や展開の基礎となるデータとなり、大きな意義を持つものと考えている。

3. 当拠点公募型共同研究として実施した意義

本研究の目的とする高精度の即時予測のための大規模シミュレーションには、大規模な計算基盤が必要である。これまでの研究から GPU で高速に実行が可能な津波数値シミュレーターを開発してきた。その結果、津波の数値計算は GPU の計算基盤とも相性がよく、大幅な高速化が見込まれた。しかし、大量の計算ケースを現実的な時間で実行するためには、大規模な GPU 計算基盤が必要とされた。東京工業大学との共同研究として実施することによって、東京工業大学の大規模な GPU 計算基盤 TSUBAME2.5 および TSUBAME3.0 の環境を利用可能となり、防災科学技術研究所のみではできなかった規模の計算が可能となった。

計算機科学の研究者と津波数値シミュレーションのアルゴリズムをさらに効率化することで、さらなる高速化も見込まれる。巨大な被害を発生させる津波災害に対しては、計算科学、津波科学、防災科学の分野を超えて総力を結集することが必要であり、前節で述べた意義に加えて、この点でも、本研究を東京工業大学との共同研究として実施する意義は高い。

4. 前年度までに得られた研究成果の概要

前年度においては、GPU 版津波シミュレーターの構築、局所細分化適合格子 (AMR) 法による津波ソルバーの高速化、地震動シミュレーターによる沿岸地震動の評価を実施した。

GPU 版津波シミュレーターの構築では、津波シミュレーションプログラムを TSUBAME 環境上で実行できるように GPU 用に開発した。また、GPU の特性を活かし、高速で動作できるように次の点を改善した。まず、グローバルメモリへのコアレス

なアクセスを確保するために、メモリへのアクセス順序を見直した。また、ダイバージェンスとなる分岐を極力削除するようにアルゴリズムを改良した。さらに、カーネルの非同期実行を用いて、同期する必要のない計算を非同期で実行できるようにし、無駄な処理待ちを削減した。ネスティングされた津波計算の各領域の境界における値の接続時には、スレッドの割り当て方を工夫することにより、GPU 使用率を引き上げた。

これらの取り組みにより、CPU を利用した場合に比べて、津波数値解析の実行速度は、GPU 化することにより約 18 倍の高速化、これをチューニングすることにより約 2.3 倍の高速化を実現し、これらを総合すると、約 40 倍の高速化を達成した。

そして、TSUBAME2.5 の 1 ノード内の 3 つの GPU を用いて、3 つの計算を同時に実行するようにし、複数領域を一度に計算できるようにした。また、これを 10 ノードで同時に計算を実行できるようにしたシミュレーターを構築した。このシミュレーターを用いて、TSUBAME2.5 上で 17,073 ケース (シナリオ×計算領域) の計算を実行することができ、大規模なケース数の津波数値解析を実行する環境が整った。

AMR 法による津波ソルバーの高速化においては、計算量の削減による高速化を目的として開発を行った。AMR 法を用いた計算機能を、GPU に対応させて試作した。高スレッド化、メモリ局所化、デバイスメモリの最適選択、GPU と CPU 間の通信の最小化をポイントとして GPU 化を実施した。その結果、CPU と GPU での実行時間比較を行ったところ、GPU で実行した場合、CPU で実行した場合に対して約 96 倍の高速化を実現することができた。

地震動シミュレーターによる沿岸地震動の評価においては、津波数値解析結果に大きく影響を及ぼす沿岸構造物の健全性条件について、地震動の面から条件数を削減することを目的として基礎的な解析を実施した。具体的には、断層面内の破壊の不均質性によって、沿岸地震動がどのくらい変化するかを、GPU 版地震動シミュレーターを用いて、同じ震源断層面をもつ 108 の断層を設定し

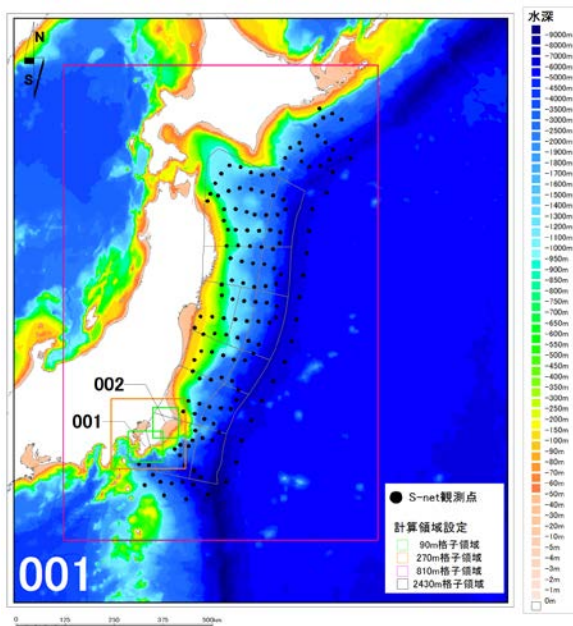


図 1 全範囲の水深データ。

解析した。その結果、津波に対しては同じ震源域とみなせても、断層面内の破壊の不均質性によって地震動としては大きく変わり得ることがわかり、このような場合を考慮した沿岸構造物の健全性条件を設定し、津波シナリオバンクを充実させるべきであることがわかった。

5. 今年度の研究成果の詳細

5.1 千葉県の高九里・外房沿岸地域における津波数値計算の概略

防災科学技術研究所では、千葉県の高九里・外房沿岸地域を対象としたデータベース検索型津波遡上予測システムを構築中である。そこで、本研究ではまずこの地域を対象とした津波シナリオバンクの充実を行った。

本研究を実施するにあたって、数値計算に必要な入力データと計算コードを TSUBAME 上に準備した。計算範囲は千葉県の高九里・外房沿岸地域を含む東日本である(図 1)。津波数値計算ではネスティング格子を使用し、入力データである地形データは複数の格子間隔のものを準備した。地形の最小格子間隔 10m の領域を 13 領域設定し、波源を含む全体の範囲を最大格子間隔 2430m とし、その間を 30m、90m、270m、810m と 1:3 で接続するよ

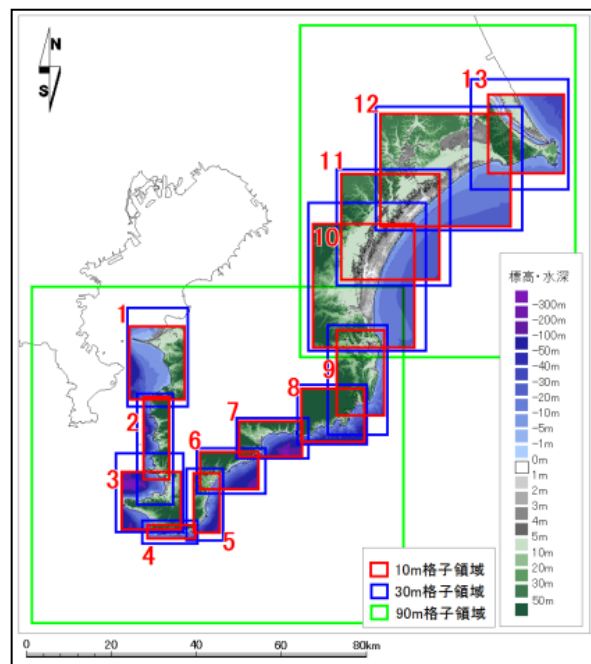


図 2 10m 格子の標高・水深と 30m、90m 格子の領域 (10m 格子で遡上を計算する範囲は、領域 4 から 13 とした)。

うにした。図 1 に全範囲 (2430m 格子) の水深データと 810m 格子、270m 格子の範囲を示し、図 2 に 10m 格子の標高・水深データと 30m、90m 格子の領域の範囲を示す。津波数値計算で処理する空間格子数を表 1 に示す。各領域は遡上範囲を加味して設定されるので、リアス部では遡上範囲が小さくなるため領域も小さくなるが、平野部では大きくとらなければならない。また、一つの波源シナリオ (1 ケースという) に対して、10m 格子の 13 領域分を計算しなければならないため、総計の約 8300 万格子分の計算が 1 ケースあたりで必要となる。ただし、本研究では内房地域の 1-3 領域を除いた 4-13 領域の合計 10 領域を計算することとした。地形データのほかには、粗度係数データ、構造物ラインデータなどを整備し、多数の計算で利用するために TSUBAME 上に配置した。

5.2 津波計算コードと津波シミュレーターの開発

数値計算は、昨年度の研究成果をベースに、防災科学技術研究所が整備している津波ハザード評価ツールを用いて実施した。この評価ツールに含まれる計算コードは、震源断層運動から海底地殻変動を計算して初期水位を算出するプログラム群

表 1 各領域の空間格子数

10m 領域 No.	空間格子数	10m 領域 No.	空間格子数
1	5,741,464	8	5,255,356
2	4,573,552	9	5,794,276
3	5,348,740	10	10,993,324
4	3,590,896	11	9,472,612
5	4,189,828	12	12,159,364
6	4,537,876	13	6,879,352
7	4,549,324	総計	83,085,964

と、初期水位から津波の支配方程式に従って伝播から遡上までを計算するプログラム群からなる。二つのプログラム群とも CPU 版と GPU 版を開発中であるが、本研究では GPU 版の計算コードを使用した。

初期条件である初期水位の計算では、モーメントマグニチュード (Mw) 8.4 未満は 1 枚の矩形断層を、Mw8.4 以上では多数の要素断層からなる断層面を用いた。すべての波源断層で均質すべりを仮定した。プレート間地震については、要素断層は沈み込むプレートの上面に沿うように設定した。Okada(1992)によって地殻変動量を算出し、鉛直成分の変動量だけでなく Tanioka and Satake(1996)による水平方向の地殻変動量による寄与も考慮し、海底地殻変動量とした。さらに Kajiura (1963)による水理フィルタを適用することで、短波長成分が除去されたものを初期水位として使用した。津波伝播の計算では支配方程式として非線形長波理論または線形長波理論を選択可能である。例えば、非線形性が無視できる外洋を含むレイヤーで、線形長波理論を用いることで計算の短縮化を図れる。支配方程式は Staggard 格子を用いた Leap-Flog 法で差分化し、後述する適切な計算格子間隔のもとで数値解を求めた。本研究の計算条件を表 2 に示し、表 3 には各 10m 格子領域における最小のタイムステップを示す。実際の計算では、表 3 右に示すように、やや短いタイムステップを用いた。この値は線形長波によるものであるが、非線形長波の場合には位相速度が波高に依存するため、規模の大きな津波の場合にはより短いタイムステップ

表 2 本研究における津波数値計算の計算条件

項目	条件
支配方程式	非線形長波理論
沖側境界条件	完全無反射の透過境界
陸側境界条件	陸域への遡上を考慮
施設条件	構造物なし/あり
計算時間	地震発生から 6 時間
計算時間間隔	時間方向間引きあり
初期水位	規模: Mw7.6-9.8 の地震による津波を想定 鉛直成分と水平成分の寄与を付加 梶浦フィルタの考慮 ライズタイム: 考慮なし 破壊伝播: 考慮なし
潮位条件	T. P. +0.77m (領域 1-3) T. P. +0.70m (領域 4-13)
粗度係数	10m 格子は土地利用に基づく粗度を設定。その他は一律 0.025 を設定

表 3 各領域の最小タイムステップ

10m 領域 No.	CFL 条件 (秒)	本研究で使 用した CFL 条件 (秒)
4	0.31	0.25
5	0.19	0.10
6	0.19	0.10
7	0.10	0.05
8	0.24	0.20
9	0.33	0.25
10	0.44	0.25
11	0.40	0.25
12	0.42	0.25
13	0.35	0.25

を使用しないと計算が発散する場合がある。

前年度までに伝播・遡上部分について計算コードを GPU 化したが、初期水位計算部分については未着手であった。矩形断層 1 枚の場合には計算コストはわずかであるが、要素断層を取り入れた大地震の計算を行う場合に、計算コストがかかるこ

とが明らかとなり、ボトルネックとなることがわかった。今年度は、初期水位計算部分の計算コードを GPU 化することで計算時間の短縮化を図った。要素断層で構成された 2011 年東北地方太平洋沖地震の波源断層モデル（内閣府，2012）に対して GPU を用いた計算を実施した。OpenMP を用いた 8 並列の計算に対して、GPU を用いた計算では CPU を用いた場合に比べ、地殻変動計算で約 23 倍の高速化、水理フィルタ計算で約 246 倍の高速化となった。これにより、津波の発生から伝播・浸水までを GPU を用いて計算できるようになった。TSUBAME2.5 から TSUBAME3.0 になったことで、実行速度は約 3.4 倍高速となり、余分な出力を減らすことでも高速化を進め、シミュレーションの高速化が達成できた。

開発した計算コードを用いて津波の発生から伝播・浸水までを計算する GPU 津波シミュレーターを TSUBAME 上に整備した。前年度までに最大 30 ケース（シナリオ×領域）を同時実行する環境を整えた。TSUBAME3.0 では GPU が 1 ノードに最大 4 器搭載されているため、シミュレーターを改修した。本年度は、OpenMPI によるノード間並列と OpenMP によるノード内並列を用いて最大 40 ケースの計算を一斉に実行できるようにした。

シナリオバンク構築のために用いた津波ハザード評価ツールの計算コードは 1GPU が 1 領域を担当するものであり、1 ケースに対して複数の GPU を用いた計算ではない。計算の効率化と高速化を図るため、複数の GPU を用いて 1 ケースを高速に計算するコードを並行して開発中である。メモリの節約のため、AMR 法を用いて計算条件に適合する格子を導入し、津波の発生から伝播・浸水までを計算する。津波ハザード評価ツールで導入済みの水理フィルタ機能の追加、潮位条件の導入など、機能の追加を実施した。津波ハザード評価ツールによるネスティング格子を用いた結果と AMR 法による不均質格子を用いた結果とを比較し、計算結果と計算時間に着目しつつ、開発を進めた。

5.3 津波シナリオバンクの構築と浸水予測

データベース検索型システムを用いた高精度な

即時浸水予測を実施するためには、網羅的な津波波源による膨大な津波シナリオを準備することが重要である。構築中の津波シナリオバンクのうち、今年度に TSUBAME を用いて進めた主な計算は、次の波源断層設定である。太平洋プレート上面の Mw9.4 以上のプレート間地震、アウターライズ断層モデル、構造物条件を考慮したシナリオ、構造物条件を変更したシナリオなどであり、約 8 万ケース（シナリオ×領域）の計算を実施することができた。これらの計算結果は、今後津波シナリオバンクへ登録して予測システムで活用する。

一方で、データベース検索型システムによりシナリオバンクから選別されたシナリオを活用して、予測手法を高度化することで予測精度を高めることも重要である。本研究では、水圧観測データと津波シナリオバンクに格納された水圧データとの複数指標の一致度を計算する Multi-index 法（Yamamoto et al., 2016）を用いる。具体的には、構築中の予測システムでは、S-net 各観測点において 5-10 分間の水圧ピークホールド値を用いて、観測データと津波シナリオバンクに格納されたシナリオデータとの一致度を 30 秒間隔で評価し、一致度が閾値を超えるシナリオを選択し予測情報を可視化する。過去に発生した津波を再現した模擬データを用いて、シナリオバンクからシナリオ選別を実施したところ、沖合での一致度が閾値を超えたシナリオ群には、沿岸での波高や浸水を最もよく説明するシナリオが含まれることがわかった。しかしながら、沖合での一致度が最も高いシナリオが必ずしも沿岸での波高や津波を最もよく説明するものにはなっていなかった。波源は網羅的に設定したものの不足するシナリオがあり、模擬データに対する浸水予測では、場所によっては過大あるいは過小評価となる可能性が高い。更にシナリオ計算を進め、シナリオの網羅性を高めていくことで解決する方法もあるが、豊富な計算資源を用いても現実的ではない可能性が高い。そこで本研究では、選別されたシナリオを用いて予測精度の向上を検討した。

Multi-index 法で閾値をみたまシナリオは複数

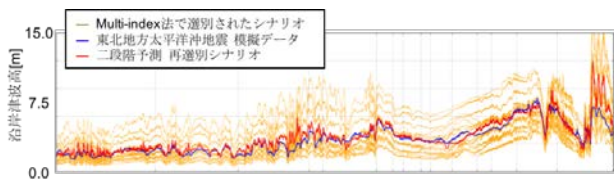


図 3 2011 年東北地方太平洋沖地震に対する二段階予測機能の適用例。グラフは沿岸での津波高を示し、左が房総半島南部で右が銚子にあたる。

選別されるが、それらのシナリオ群の統計情報を用いて、シナリオを再選別する方法を検討した。ひとつめの方法は、選別されたシナリオ群の沿岸津波高分布を平均化した津波高分布を計算し、その平均津波高分布と最も沿岸での一致度が高いシナリオを予測結果とする方法である。2011 年東北地方太平洋沖地震津波を模擬データとして二段階の選別による予測を検証したところ、九十九里・外房沿岸地域に対して沿岸津波高（図 3）及びそれに結びつく遡上分布について高い再現性が得られた。予測システムを構築していくうえで、実際のシステムに実装できる機能となる可能性がある。

もうひとつの方法は、地域ごとの浸水予測の向上をめざしたもので、Multi-index 法によって選別されたシナリオ群に対して、AI の一種であるサポートベクターマシン (SVM) と重回帰分析によるシナリオ絞り込みで精度向上を試みた。まず、地域ごとに設定した陸域の代表地点に対して、シナリオバンクを用いて、代表地点の浸水有無と沖合水圧変動を学習データとした SVM と、浸水深と沖合水圧変動の重回帰分析を行う。観測データに対して SVM により代表地点の浸水の有無を予測し、次に浸水ありと予測された代表地点で、重回帰分析結果を用いて浸水深を予測する。予測結果は、Multi-Index 法で選別されたシナリオから、代表地点における予測浸水深に最も適合するシナリオを対象地域ごとに再選別し、面的な浸水深分布予測を行う。この方法を 1677 年延宝房総沖地震津波の模擬データに適用して、方法の検証を行った。図 4 に長生村周辺と南房総市南部の例を示す。この事例では、最終的に両地域で異なるシナリオが

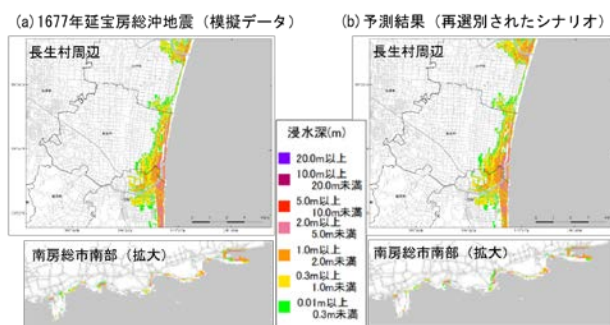


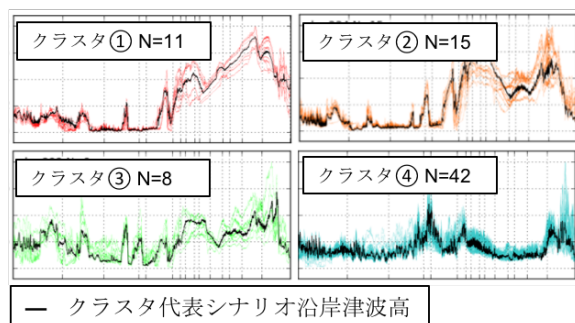
図 4 サポートベクターマシンと重回帰分析を用いたシナリオ絞り込みによる地域ごとの予測例。(a) 1677 年延宝房総沖地震津波の模擬データ。(b)再選別されたシナリオによる予測結果。

選別されることとなり、模擬データと予測結果は両地域でよく一致している。この方法も予測システムを構築するうえで、実際のシステムに実装できる機能となる可能性がある。

シナリオバンクの最適化や効果的なシナリオ計算のために、ビッグデータ解析的なアプローチとして津波シナリオ群を対象にクラスタ解析を実施した。膨大な津波シナリオデータの定量的な分類を行うことで、検索性津波シナリオバンクの津波シナリオの性質の把握とクラスタ群を用いた適切な予測情報創出の可能性を検討した。まず、主成分分析により高次元データの次元圧縮を行い、K-Means 法によってデータをクラスタリングした。この方法を津波シナリオバンクの沖合水圧変動データ、沿岸津波高データ、陸域浸水深データに適用しクラスタ分類を行った。結果の一例を図 5 に示す。沖合—沿岸—陸域の各クラスタ間の関係性から、沖合の観測値から沿岸、陸域のクラスタを予測し、予測の代表値とばらつきが簡単に表現可能となるほか、予測地点グループごとに予測モデルを最適化する高度な予測手法の検討も可能と考えている。

本研究の主対象は、千葉県九十九里・外房沿岸であるが、これら以外の地域に対する浸水予測に関して北海道から関東に至る太平洋沿岸域においても計算を進めて本手法の他地域への適用を検討している。沿岸津波高を対象とした概観的津波予

(a) 沿岸津波高データへの適用



(b) 陸域浸水深データへの適用

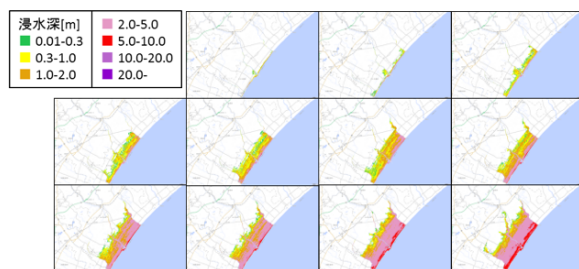


図 5 クラスタリング解析による津波シナリオの分類結果。(a) 沿岸津波高データ、(b) 陸域浸水深データ。

測のために、90m 格子を最小格子間隔とする地形データを整備し、前年度までに整備した約 1,000 の断層モデルを用いて、北海道から関東までを対象に津波シナリオ計算を進め、シナリオバンクを構築した。過去の津波による模擬データを対象に、10 分間のデータを用いた Multi-index 法によるシナリオ選別を実施したところ、広域的な沿岸津波高分布の特徴を概ね予測できることが分かった。

6. 今年度の進捗状況と今後の展望

GPU を用いた津波計算コードの開発と津波シミュレーターの構築に関しては、前年度に開発した津波ハザード評価ツールを利用した。今年度は、津波の発生から伝播・浸水計算における一連の計算の中でボトルネックとなっていた初期水位計算部分の GPU 化を進めて、OpenMP を用いた 8 並列の計算に対して、GPU を用いた計算では地殻変動計算で約 23 倍の高速化、水理フィルタ計算で約 246 倍の高速化を実現することができた。今年度まで津波ハザード評価ツールの計算コードの

GPU 化を概ね達成でき、一般的な GPU 向けのチューニングも実施済みである。ただし、TSBAME3.0 の環境に最適な計算コードとはなっていないため、高度なチューニング技術を適用してより最適化する余地は残っている。津波シミュレーターの構築は、TSBAME3.0 でも環境を整えることができ、OpenMPI によるノード間並列と OpenMP によるノード内並列を用いて最大 40 ケースの計算を一斉に実行できるようにした。以上のように、計算の効率化を進めることができ、計算環境をほぼ整えることができた。AMR 法による津波計算ソルバーについては、前年度に引き続いて開発を行った。今年度の進捗は津波ハザード評価ツールの計算コードに準拠した計算機能の追加であり、計算コードの最適化までには至らなかった。多ノードを用いた計算コードであるため、引き続き開発を進めてより効率的な計算ができるよう改善していく予定である。

本研究の主目的である大規模な津波数値解析による津波シナリオバンクの充実に関しては、今年度の計算によって、千葉県九十九里・外房沿岸地域において 8 万ケース（シナリオ×領域）以上、前年度分と合わせて約 10 万ケースの津波数値解析を実施することができ、津波シナリオバンクの充実を図ることができた。また、前年度までに、沿岸構造物の被災評価に向けて地震動シミュレーターによる検討を実施したが、今年度は津波シナリオバンク構築を優先して進めたため地震動評価の代わりに構造物条件を変更することでシナリオ計算を進めた。さらに、北海道から関東に至る概観的津波予測に対する津波シナリオ計算も進めることができ、浸水予測対象領域の拡大も具体化できそうである。現在、断層面上での均質なすべりを想定しているが、不均質すべりを考慮した波源断層モデルを加えるなど、網羅的な津波シナリオバンクの構築に向けて検討を進めていく予定である。今後は、過去の津波を再現したデータなどの模擬データを増やすことで、シナリオバンクの検証を進めていき、より高い精度で浸水予測ができるよう予測システムを構築していく。

今年度までに行なったシナリオ計算をもとにシナリオバンクを構築したが、模擬データに対する浸水予測では、場所によっては過大あるいは過小評価となる場合があった。シナリオの網羅性を高める以外の方策を用いることで、予測精度の向上を検討した。Multi-index 法による選別結果を用いて、それらのシナリオから統計情報を得ることで予測精度の向上を試みた。いくつかの模擬データでは良好な結果が得られたので、引き続き調査を進めていく予定である。また、津波シナリオバンクに登録された大量の計算結果から、S-net 観測点などにおける水位変動の特徴量と、沿岸の水位時系列、浸水範囲、浸水深、時刻などの特徴量との関係を機械学習等で分析し、関係性を導き出す取り組みも進めた。具体的には、沿岸波高等の計算結果のクラスタリングを実施し、沖合水圧から沿岸波高および浸水分布に遷移する関係性を検討した。今後、このような大量のデータの解析による結果をもとに、津波シナリオバンクの効率的な拡充のために計算すべきシナリオを特定することや、効率的に精度ある予測ができるようリアルタイム津波予測システムや津波シナリオバンクを改善するための研究を行っていく予定である。

TSUBAME2.5 から TSUBAME3.0 になったこともあり、今年度は大量に津波シナリオ計算を実施することができ、網羅的にシナリオを設定し、津波シナリオバンクを拡充することができた。その一方で、多様な自然現象に対してモデル化する限界もみえてきており、シナリオの網羅性をカバーするために、シナリオ群を対象とした統計処理や機械学習等を用いた予測手法を導入して、高精度な津波遡上予測システムを構築していきたい。

7. 研究成果リスト

(1) 学術論文

該当なし

(2) 国際会議プロシーディングス

該当なし

(3) 国際会議発表

Aoi, S., N. Yamamoto, W. Suzuki, K. Hirata, H.

Nakamura, T. Kunugi, and T. Kubo, S-net utilization for real-time tsunami inundation forecast system, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, HDS12-02, Chiba (2017.5)

Suzuki, W., S. Aoi, N. Yamamoto, K. Hirata, H. Nakamura, and T. Kunugi, Key features of the real-time forecast system for tsunami inundation developed by NIED, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, HDS12-P03, Chiba, (2017.5)

Suzuki, S., and S. Aoi, Development of GPU tsunami simulator for expanding tsunami scenario bank, JpGU-AGU Joint Meeting 2017, HDS12-P04, Chiba, (2017.5)

Aoi, S., N. Yamamoto, W. Suzuki, K. Hirata, H. Nakamura, T. Kunugi, and T. Kubo, Real-time tsunami inundation forecast system using NIED S-net, IAG-IASPEI 2017, J04-4-02, Kobe (2017.7)

Suzuki, W., N. Yamamoto, T. Miyoshi, and S. Aoi, Test operation of a real-time tsunami inundation forecast system using actual data observed by S-net, AGU Fall Meeting 2017, NH23A-0252, New Orleans (2017.12)

(4) 国内会議発表

鈴木亘・山本直孝・三好崇之・青井真、データベース検索型津波遡上即時予測システム:S-net 実観測データによる動作検証、日本地震学会 2017 秋季大会、S17-12、鹿児島市 (2017.10)

山本直孝・鈴木亘・三好崇之・青井真、データベース検索型津波遡上即時予測システム:津波シナリオバンクの構築とシナリオ選別アルゴリズムの拡張、日本地震学会 2017 年度秋季大会、S17-09、鹿児島市 (2017.10)

三好崇之・山本直孝・鈴木亘・青井真、データベース検索型津波遡上即時予測システム:模擬津波データによる検証、日本地震学会 2017 年度秋季大会、S17-15、鹿児島市 (2017.10)

(5) その他 (特許, プレス発表, 著書等)

該当なし