

[大学 ICT 推進協議会 2014 年度 年次大会論文集より転載]

## リアルタイム津波浸水・被害予測シミュレーション システム開発の取り組み

大泉健治†, 阿部孝志\*, 佐藤佳彦\*\*, 松岡浩司\*, 撫佐昭裕‡\*, 小林広明‡

† 東北大学情報部情報基盤課, ‡ 東北大学サイバーサイエンスセンター

\* 日本電気株式会社, \*\* NEC ソリューションイノベーション株式会社

oizumi@cc.tohoku.ac.jp

**概要:** 東北大学サイバーサイエンスセンターは、本学災害科学国際研究所他と共同で総務省 G 空間シティ構築事業のプロジェクトに参加し、リアルタイム津波浸水・被害予測情報配信の実証に取り組んでいる。本稿では、本センターの次期スーパーコンピュータ SX-ACE 上に構築中の、地震発生後 20 分以内の高精度浸水予測および被害予測を目標とする「リアルタイム津波浸水・被害予測シミュレーションシステム」の開発について紹介する。

### 1 はじめに

東北大学サイバーサイエンスセンター（以下、本センター）は、全国共同利用機関として高性能計算やネットワークなど先端学術情報基盤の整備・運用と、これら先端学術情報基盤を活用した新しい科学（サイバーサイエンス）の創造に関する教育・研究を推進している。平成 22 年は学際大規模情報基盤共同利用・共同研究拠点（JHPCN）制度のもとで運用を開始し、平成 24 年は「京」を中核とした全国主要なスーパーコンピュータを連携した革新的ハイパフォーマンス・コンピューティング・インフラ（HPCI）による運用が開始され、本センターは計算機資源提供機関として参画している。また、平成 19 年から平成 22 年は先端研究施設共用促進事業のもと、大学で開発された応用ソフトウェアと計算機資源であるスーパーコンピュータの民間企業への提供を開始している。この事業は、産学官の横断的な研究開発活動を推進し、大学の持つ知と施設によって我が国の経済発展に貢献することを目指している。平成 23 年以降も、本センターの自主事業として、民間企業利用サービス制度のもと民間企業へのサービスを継続し、平成 19 年の事業開始から合わせて 7 社の利用があった。

さらに、平成 26 年度は新たな事業として、総務省の G 空間シティ構築事業のプロジェクトの一つ

である「リアルタイム津波浸水・被害予測・災害情報配信による自治体の減災力強化の実証事業」に、本学災害科学国際研究所他と共同で参加し、防災分野における社会インフラ構築の実証に取り組む。本実証では、大規模地震発生時の地震情報から、本センターの次期スーパーコンピュータ SX-ACE を用いて、津波による浸水被害の予測を地震発生から 20 分以内を目標としたリアルタイムで行うことを目指している。

本稿では、リアルタイム津波浸水・被害予測情報配信の実証事業の概要および本センターが担当するリアルタイム津波浸水・被害予測シミュレーションについて紹介する。

### 2 リアルタイム津波浸水・被害予測シミュレーション

G 空間シティ構築事業は、総務省の平成 25 年度「災害に強い G 空間シティの構築等新成長領域開拓のための実証事業」であり、「G 空間×ICT 推進会議」で提言された実証プロジェクトを実施するものである。この会議では、G 空間（地理情報）情報と ICT の連携により G 空間情報を高度に利活用できる G 空間社会を実現し、経済の再生や防災・減災等、我が国が直面する課題の解決に寄与する方策等を検討している。実証プロジェクトの一つに「世界最先端の G 空間防災モデルの確立に

関する事業」があり、そのモデルの一つが津波防災及び災害情報伝達に関する「リアルタイム津波浸水・被害予測・災害情報配信による自治体の減災力強化の実証事業」（事業実施代表者 災害科学国際研究所 越村俊一教授）である。

## 2.1 シミュレーションの概要

本センターは、災害科学国際研究所、大学院理学研究科、日本電気株式会社及び国際航業株式会社と共同で前述した津波防災及び災害情報伝達モデルの実証事業（図 1）に参加し、大規模地震発生時の津波による津波浸水・被害予測を担当する。

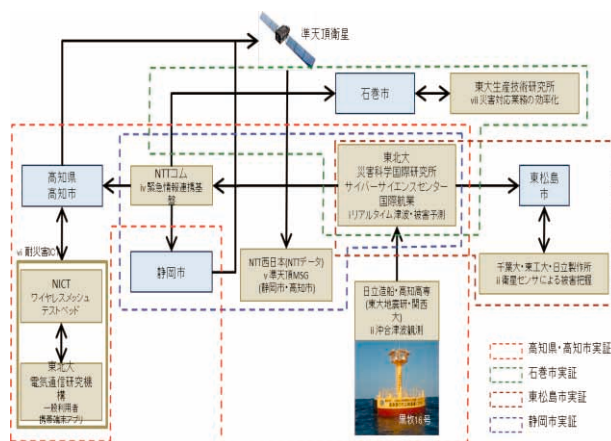


図 1：リアルタイム津波浸水・被害予測・災害情報配信による自治体の減災力強化の実証事業の概略図

大規模地震発生時の津波による浸水予測には、震源位置や地震規模、津波の対象となる地域の地形などの情報の解析が必要であり、被害の予測は、人口や建物などの情報をもとにして推計を行う。津波浸水・被害予測を実際に被害想定地域の防災・減災対策として利用するには、これら大量の情報を高精度かつ即時性をもって予測解析することが必要不可欠である。本実証では、本センター

の次期スーパーコンピュータシステム SX-ACE および運用管理システムが持つ強力な実行性能と利用・運用機能を活用することで、津波による浸水被害の予測までを地震発生から 20 分以内にリアルタイムで行う、という汎用的なサーバシステムでは困難な目標を実現しようとするものである。

## 2.2 リアルタイム津波浸水・被害予測シミュレーションシステム

地震発生から被害予測情報の配信までの流れが図 2 である。

まず、地震発生をきっかけに、災害科学国際研究所の専用サーバがリアルタイム津波浸水・被害予測シミュレーションに必要な震源や断層等の地震情報の即時推定を行う。つぎに、本センターの SX-ACE が、推定した地震情報や予測対象となる自治体の地形データ等を入力データとして、津波浸水・被害予測シミュレーションプログラムを実行する。プログラムの実行が完了した時点で、対象地点の浸水予測情報と被害予測情報を出力データとして災害科学国際研究所の専用サーバに転送する。最後に、出力データを受けた災害科学国際研究所の専用サーバは、自治体に被害予測情報を配信する。

地震は昼夜を問わず随時発生し得るため、この一連の処理は、人手を介さずにリアルタイムで処理することが必要である。また、本センターのスーパーコンピュータは、通常時は全国共同利用計算機として運用しているため、地震発生時には、津波浸水・被害予測シミュレーションプログラムを直ちに実行開始ができるよう、津波シミュレーション専用運用に自動的かつ迅速に切り替えて対応を行う。スーパーコンピュータを用いてリアルタイムに津波浸水・被害予測を行う実証実験は世界で初めての取り組みであるとともに、全国共同利用計算機の新たな利活用の試みである。

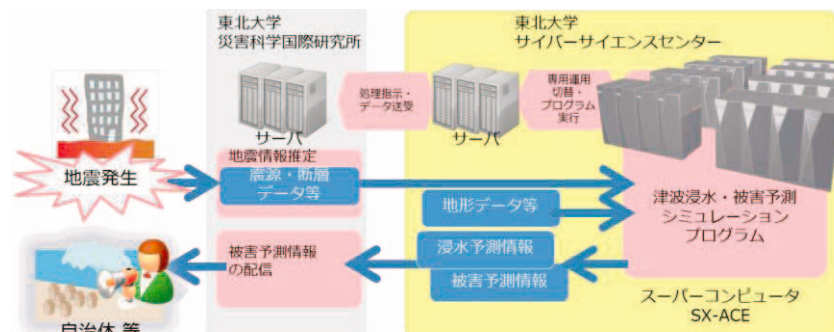


図 2：リアルタイム津波浸水・被害予測シミュレーションシステムの構成

### 2.3 スーパーコンピュータ SX-ACE

リアルタイム津波浸水・被害予測シミュレーションシステムは、本センターに導入予定のSX-ACEを用いて構築する。本センターのスーパーコンピュータは、従来から高速なベクトル処理能力が必要なプログラムや、高いメモリバンド幅を必要とする流体解析、気象解析及び電磁界解析の分野によく利用されている。最近はベクトル演算や自動並列化機能による高速化に加えて、複数ノードを用いた大規模計算が増加している。このため、増加する計算需要に対応し、さらなるシミュレーションモデルの大規模化と精度の向上を促進するため、現行のSX-9をSX-ACE(図3)に更新中で平成27年初頭に運用開始の予定である。

システムは、全2,560ノードで構成され、総理論最大演算性能は706.6TFLOPSと大幅に増強される。1ノードあたりは、64GBの共有メモリと4個のベクトルコアを有し、256GB/sの高いメモリバンド幅を持つ(表1)。



図3：スーパーコンピュータ SX-ACE 外観

表1：スーパーコンピュータ SX-ACE の性能

CPUあたり	コア数	4個
	理論最大演算性能	276 GFLOPS
	最大ベクトル演算性能	256 GFLOPS
	メモリバンド幅	256 GB/sec
	ADB (Assignable Data Buffer)	1,024 KB×4
ノードあたり	CPU数	1個
	理論最大演算性能	276 GFLOPS
	最大ベクトル演算性能	256 GFLOPS
	メモリ容量	64 GB
	メモリバンド幅	256 GB/sec
	ノード間通信速度	16 GB/sec
システムあたり	CPU数	2,560個
	理論最大演算性能	706.6 TFLOPS
	最大ベクトル演算性能	655.4 TFLOPS
	メモリ容量	160 TB

### 2.4 津波浸水・被害予測シミュレーションプログラム

リアルタイム津波予測・被害予測シミュレーションの中核となるシミュレーションプログラムは、災害科学国際研究所越村教授が開発したコードを、本センターのSX-ACEに最適化して実装する。本コードは、非線形長波理論にもとづき Staggered leap-frog 法を用いて、津波の伝搬と浸水を再現するものであり、津波の到達時刻、津波の波高、流量などを求めることができる。本実証では、予測対象とする宮城県石巻市・東松島市、高知県高知市及び静岡県静岡市の4つの自治体について、それぞれ10mという詳細な格子サイズでの計算モデルを作成し、地震発生後6時間のシミュレーションを行い、津波浸水・被害予測するものである。

本プログラムは、1つの自治体のシミュレーションにおいて、汎用的なサーバシステムの逐次処理では80時間以上の計算時間を必要とするが、本センターのSX-ACEの有するベクトル処理性能および大規模並列性能を用いることで、いずれの自治体も10分以内に予測解析が完了することを目標とする。SX-ACEは導入前のため、現行のスーパーコンピュータSX-9にてプログラムの最適化を進めている。プログラムの移植、目標実行時間に収めるための高速化と大規模並列化のチューニング等の開発作業をSX-9上で行い、SX-ACEでの実行時間や計算資源量を見積もっている。

プログラムの高速化では、ベクトルプロセッサの性能を引き出すためにベクトル化チューニングを実施している。本プログラムの主な処理は流体計算の「連続の式」と「運動方程式」の差分計算であり、基本的にはコンパイラの自動ベクトル化機能でベクトル化ができるものであった。しかし、一部のDOループではベクトル化の障害要因となる入出力処理や最適化の余地がある分岐処理があり、ソースコードの修正でベクトル化と最適化を行っている。現在、1つの自治体のシミュレーションにおいて、SX-9 1CPUによる実行時間はスカラサーバ(Intel Xeon E5-2695v2) 1コアと比較して5倍以上の高速化がされている(図4)。

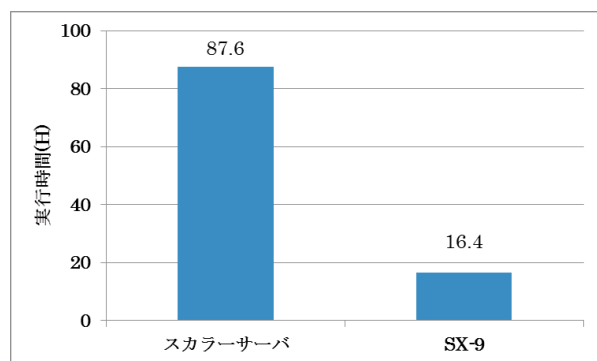


図4：シングルコアでの実行時間

また、プログラムの並列化はMPIライブラリによる並列化を行っている。本プログラムの計算領域は、図5に示すように5つの異なる格子サイズの領域を計算しており、それぞれの領域における演算量は異なっている。そのため、並列化における演算のロードバランスが崩れないように各領域の分割数を調整できるようにした。また、ベクトル演算性能が低下しないようにベクトル長を維持した領域分割も行った。この並列化により、現在、並列化率98%以上を達成し、1つの自治体のシミュレーションにおいて、SX-9 64CPUの実行時間は35分に短縮されている（図6）。

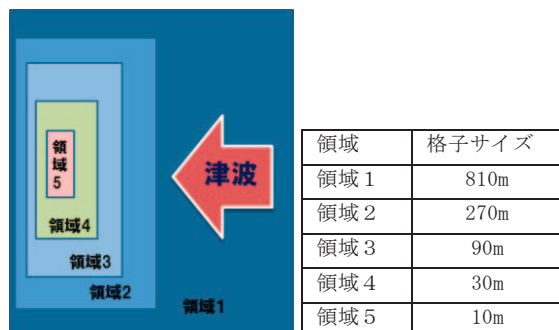


図5：シミュレーションの領域

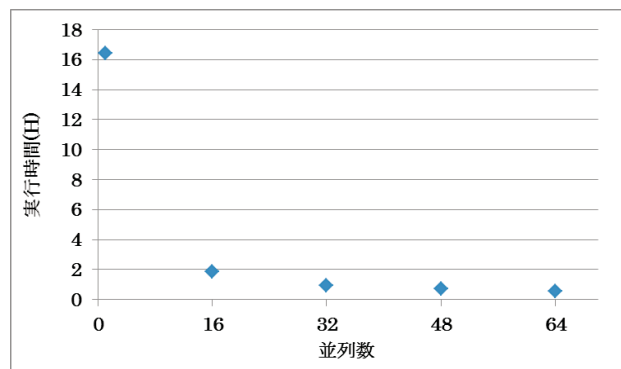


図6：並列数ごとの実行時間

今後はSX-ACEにおける大規模並列実行を念頭に置き、MPI通信のさらなる最適化を予定してい

る。現在行っているSX-ACEでの性能見積もりでは、4つの自治体のシミュレーションにおいて、SX-ACE 192ノードで目標の10分を達成することができる見込みである。

### 3 むすび

リアルタイム津波浸水・被害予測シミュレーションを概説するとともに、本センターが担当するシミュレーションコードの開発状況、そのコードを実装するスーパーコンピュータSX-ACEのシステム構成及び運用方法について紹介した。本センターは、学術研究や産業分野への情報基盤の提供に加え、防災分野における社会インフラとしての新たな役割を、本事業での環境構築や評価を通し可能性を示していきたい。

### 謝辞

本システムの環境構築にあたり、災害科学国際研究所、大学院理学研究科、日本電気株式会社及び国際航業株式会社の皆様には多大なるご協力をいただいております。皆様に深く感謝の意を表します。

### 参考文献

- [1] G空間シティ構築事業：  
[http://www.soumu.go.jp/main\\_sosiki/joho\\_tsusin/top/local\\_support/02ryutsu06\\_03000054.html](http://www.soumu.go.jp/main_sosiki/joho_tsusin/top/local_support/02ryutsu06_03000054.html)