

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 20 日現在

機関番号：14501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760393

研究課題名(和文)次世代型広域・領域洪水モデルの並列化とノウキャスト

研究課題名(英文)Parallelization of a next generation large/local-scale flood model and its application to now-casting

研究代表者

小林 健一郎(Kobayashi, Kenichiro)

神戸大学・都市安全研究センター・准教授

研究者番号：60420402

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円、(間接経費) 1,020,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では洪水モデル並列化と実時間予測に関する基礎研究を実施した。まず250m解像度(427×565=241255節点)の淀川降雨流出・洪水氾濫モデルを開発した。研究開始時は、市販最速クラスCPUのIntel Xeonを用いても予測1時間の計算に5分半程度必要であった。しかし、Open MPスレッド並列化で、14コアで1分30秒程度にまで計算時間を短縮した。その後、「次世代スパコン戦略プログラム」と連動し京コンピュータにもモデルを移植し、予測1時間の計算時間を数10秒にまで短縮した。また淀川モデルと気象庁1km解析雨量GPV等を入力とするリアルタイム洪水予測システムのプロトタイプを開発した。

研究成果の概要(英文)：The basic research regarding the parallelization of a flood model and real-time flood forecasting system has been carried out in the framework of this project. First, a Yodogawa river distributed rainfall-runoff/flood-inundation (DRR/FI) model is developed. The resolution of the Yodogawa DRR/FI model is 250m (427 times 565=241255 nodes). The CPU time was around 5 min and 30 sec. for 1 hour simulation in the beginning of the research even if a fastest commercial CPU Intel Xeon is used. However, this CPU time is reduced down to 1 min. and 30 sec. by the Open MP thread parallelization with 14 cores of the Intel Xeon. Afterwards, through the cooperation with the SPIRE (Strategic Programs for Innovative Research), the Yodogawa DRR/FI model is transferred to the K supercomputer, then the CPU time is reduced down to several tens of seconds. On the same time, a prototype of the Yodogawa real time flood forecasting system with the input of 1km JMA reanalysis radar rainfall is developed.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：土木工学・水工学

キーワード：洪水モデル 降雨流出・洪水氾濫 リアルタイム洪水予測 浅水流方程式 不定流 レーダ降雨 並列計算 高速計算

1. 研究開始当初の背景

これまで、特に我が国においては、リアルタイム洪水予測を実施する場合、適用される水文モデルは計算負荷が軽いもの、したがってモデルの構成方程式は簡略化されたものが選択されてきた傾向がある。他方、本研究ではモデルの構成方程式が複雑なもの、具体的には浸水計算で適用される浅水流方程式で物理的側面からより高度な水文計算を実行し、これを並列計算機で高速シミュレーションすることを目指した。申請者が開発してきた「広域・領域洪水予測モデル」に並列化を施し、高速リアルタイム計算（最終的にはノウキャスト）を可能とするための基礎研究を実施した。研究開始当初、この広域・領域洪水予測モデルは、3,6時間降雨予測などを利用する場合にはすでにリアルタイム計算に適用することが可能な計算速度であった。しかしながら、3,6時間降雨予測の精度はそれほど高くない。他方、現在普及しつつあるXバンドMPレーダなどを入力降雨とする場合には当該洪水モデルの計算速度はまだまだ遅かった。したがって、広域・領域洪水モデルの並列化によりこれを解決することを試みた。こうした高度物理シミュレーションを高速計算機で実行するという試みは長い歴史があるが今なお新しい課題である。水文モデルについてはこの試みが若干停滞していた感があったため、現在の計算機の進歩に鑑み、次世代型の水文モデル開発に挑戦した。

2. 研究の目的

本研究の目的は申請者が開発してきた「広域・領域洪水予測モデル」を並列化し、高速リアルタイム計算（最終的にはノウキャスト）を可能とするための基礎研究を実施することであった。この洪水モデルは堤内地の流出・浸水計算を2次元浅水流方程式によりシミュレーションし、河道流の計算はSt-Venant方程式に基づく一次元不定流計算によりシミュレーションする。一般に広く利

用されているキネマテックウェーブ法に基づく流出モデルに比較すると計算負荷が高いモデルで、単独CPUでは計算速度に限界があった。こうした計算速度の問題を解決する方法は単純には2つある。一つは構成方程式をより低次のものに変える方法で、拡散波近似などが考えられる。もう一つの方法は高速な並列計算機を適用する方法である。本研究では後者の方法に挑戦した。日本における近年の水文モデルは前者による場合が多く見受けられる。計算機の進歩を勘案し、後者の方法を水文モデルで試した点が本研究の新規性である。

3. 研究の方法

本研究ではまず2次元浸水計算にOpenMPによるスレッド並列化を施した。次に同2次元浸水計算にMPIによるプロセス並列化を施した。またその後、同様なスレッド・プロセス並列化を一次元不定流計算にも適用している。なお本研究は「HPCI戦略プログラム：防災・減災に資する地球変動予測」「気候変動リスク情報創生プログラム：課題対応型の精密な影響評価」と深く連動している。

4. 研究成果

本研究では、まず図-1に示すような250m解像度（総節点数 $427 \times 565 = 241255$ ）の淀川分布型降雨流出・洪水氾濫モデルを開発した。この洪水モデルは降雨流出過程と洪水氾濫過程を同時に追跡することを目的としたモデルである。図-1左が降雨分布、右が浸水分布を示している。研究開始時は、現在市販最速クラスCPUのIntel Xeonを用いてもシミュレーション1時間の計算に5分半程度必要であった。しかし、まずOpenMPによるスレッド並列化を実施し、14コアで1分30秒程度にまで計算時間を短縮した。この作業は「気候変動リスク情報創生プログラム：課題対応型の精密な影響評価」と連動して実施した。その後、「HPCI

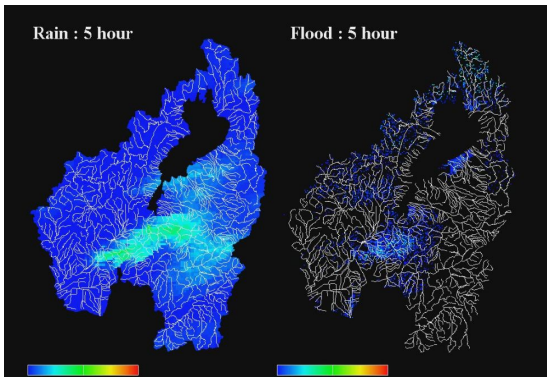


図-1：淀川分布型降雨流出・洪水氾濫モデル

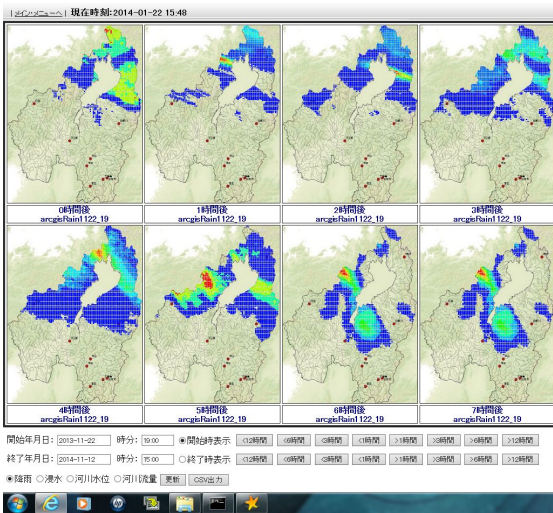


図-2：リアルタイム淀川流出・氾濫予測システム

戦略プログラム：防災・減災に資する地球変動予測」を通じて京コンピュータにも淀川モデルを移植し、浸水・河道計算両面での並列化により、シミュレーション1時間の計算時間を数10秒にまで短縮することができた。詳細に検討が必要な項目がいくつかあるため、期間内に並列化に関する論文発表は完了できなかったが、今後随時公表していく。

また、同時に淀川モデルと気象庁の現況1kmメッシュ解析雨量GPV及び6時間先までの時間降水量予測値1kmメッシュ降水短時間予報GPVを入力とするリアルタイム洪水予測システムのプロトタイプを開発した。この概要を図-2に示す。図-2は1

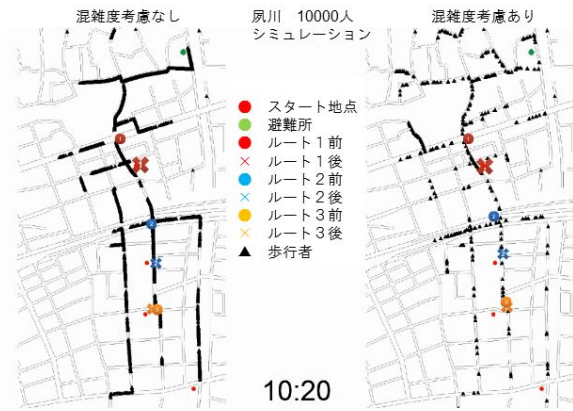


図-3：兵庫県西宮市避難行動シミュレーション

時間ごとの降雨分布を示しており、それぞれの降雨に対応した浸水分布が予測システムで計算される。このシステムにより、洪水リアルタイム計算の基礎的な検討が可能となった。データの蓄積と予測成功事例が増えた段階で随時論文公表していく。

また、関東、中部地方の流出・氾濫モデルのプロトタイプ開発、マルチエージェントモデルに基づく避難行動モデル（西宮市避難訓練データを用いて検証）作成も実施した。避難モデルの概要を図-3に示す。避難行動モデルの妥当性は西宮市の2012年1月の広域避難訓練の際に取得した歩行者行動ログを用いて検証した。このように歩行者行動モデルをも構築したので、これを用いて、リアルタイム洪水予測の自然科学的側面だけでなく、社会科学的側面も検討することが可能となった。

なお、全体的には淀川モデル及びこれに基づく洪水予測システム開発が科研費研究成果として最も意義が高いと判断している。したがって、本実績概要としては主にこの点について強調する。

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計6件)

1. 伊勢湾台風擬似温暖化実験による淀川流域の洪水規模変化予測: 小林健一郎, 奥勇一郎, 中北英一, 中野満寿男, 寶馨, 土木学会論文集 B1(水工学) Vol. 70, No.4, pp. I_889-I_804, 2014 (論文, 査読有)
2. 中小河川流域における豪雨・洪水のアンサンブル予測, 小林健一郎, 大塚成徳, 寶馨, 折口征二, 斉藤和雄: 土木学会論文集 (B1) (水工学) Vol. 69, No.4, pp. I_1597-I_1602, 2013 (論文, 査読有)
3. メソアンサンブルによる予測, 斉藤和雄, 折口征二, Le Duc, 小林健一郎: 気象庁技術報告第134号, pp. 170-184, 2013 (論文, 査読有)
4. 洪水予測技術の現状と課題について, 椿良太, 小林健一郎, 内藤正彦, 谷口丞: 河川技術論文集第19巻, pp. 1-6, 2013 (論文, 査読有)
5. Evaluation of water retention capacity and flood control function of the forest catchment, Nobuhiko Sawai, Kaoru Takara and Kenichiro Kobayashi: Journal on Food, Agriculture and Society, Vol. 1, No. 1, pp. 13-22, 2013 (論文, 査読有)
6. Development of a Distributed Rainfall-Runoff/Flood Inundation Simulation and Economic Risk Assessment Model, Kobayashi, K. and Takara, K.: Journal of Flood Risk Management, Volume 6, Issue 2, pages 85-98, 2013 (論文, 査読有)

[学会発表](計4件)

1. An Ensemble Flood Simulation For The Dam Preliminary Release Operation In Japan Using JMA-NHM Rainfall, Kenichiro Kobayashi, Shigenori Otsuka, APIP and

Kazuo Saito, Proceedings of the 35th IAHR World Congress, CD-ROM, 2013

2. 高空間分解能数値降雨を入力とするアンサンブル洪水予測, 小林健一郎, 計算工学講演会論文集 (CDROM), 2013
3. 流出・氾濫モデルと避難モデルの統合による大阪市の広域避難に関する一考察, 小林健一郎, 寶馨, 中北英一, 水文水資源学会 2013 年度研究発表会要旨集, pp. 230-231, 2013
4. Development of a Yodogawa River Distribute Rainfall-Runoff/Flood-inundation model for flood risk management, Kobayashi, K. and Takara, K.: Programme book of 2nd International Conference on Water Resources, CD-ROM, p. 80, 2012

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 健一郎 (KOBAYASHI Kenichiro)
神戸大学 都市安全研究センター・准教授
研究者番号: 60420402