

ハイパフォーマンスコンピューティングが拓く固体地球科学の未来：導入 Creating future of solid Earth science with high performance computing (HPC): Introduction

堀 高峰^{1*}; 日野 亮太²; 本蔵 義守³; 金田 義行¹; 有川 太郎⁴; 市村 強⁵; 等々力 賢⁵
HORI, Takane^{1*}; HINO, Ryota²; HONKURA, Yoshimori³; KANEDA, Yoshiyuki¹; ARIKAWA, Taro⁴; ICHIMURA, Tsuyoshi⁵; TODORIKI, Masaru⁵

¹ 海洋研究開発機構, ² 東北大学, ³ 東京工業大学, ⁴ 港湾空港技術研究所, ⁵ 東京大学

¹JAMSTEC, ²Tohoku University, ³Tokyo Institute of Technology, ⁴Port and Airport Research Institute, ⁵University of Tokyo

日本におけるハイパフォーマンスコンピューティング (HPC) は、従来ハードウェア主体で計画が進められてきたが、次世代 HPC 開発では、今後 10～20 年程度の期間で解決すべき社会的・科学的課題への貢献に主眼をおいた議論が、関連各分野で進められてきた。平成 26 年度からは概念設計が始まるため、ますますこうした議論が重要になっている。本セッションは、固体地球科学分野において、これまで議論されてきた HPC の活用が貢献するであろう社会的・科学的課題や課題解決に向けた方向性を共有し、議論を深めることを目的としている。この導入では、将来の HPCI システムのあり方調査研究で平成 25 年度一杯でまとめられた「計算科学ロードマップ白書」を、講演予定の内容とのつながりを含めて紹介し、議論の出発点とする。

キーワード: HPC, 防災・減災

Keywords: HPC, hazard mitigation

「京」コンピュータの成果とポスト「京」コンピュータへの期待 The K Computer and Japan Plan for Exascale

平尾 公彦^{1*}
HIRAO, Kimihiko^{1*}

¹ 計算科学研究機構 理研
¹ AICS RIKEN

スーパーコンピュータ「京」は2012年9月末に共用を開始し、本格稼働している。すでに科学技術のさまざまな分野で優れた成果を創出している。昨年のノーベル化学賞にみられるとおり、スパコンは現代の科学技術の発展に必須のツールであり、産業の国際競争力強化や安全安心な社会の構築にも不可欠な国家存立の基盤技術である。「京」の出現で我が国の計算科学、シミュレーション分野は一気に開花した。「京」以前には見渡すことのできなかつた眺望を「京」は与えてくれている。また、次に何をなすべきか、新たなチャレンジや可能性を「京」は示唆してくれている。さらに「京」の出現によって産業界のスパコン利用が加速している。

「京」は Strong Science Machine としてあと数年は世界の最先端に位置するであろうが、この分野の進展は目覚ましく、いずれ「京」を凌駕するスパコンが現れる。国際競争を勝ち抜くためにも、「京」の後継機、ポスト「京」の開発に今から取り組まねばならない。多くの研究者や産業界から「京」の後継機、ポスト「京」を開発すべきとの要望や期待は大きい。昨年暮れに来年度の予算(案)が閣議決定され、この4月より、「京」の100倍規模のエクサスケール・スーパーコンピュータ、ポスト「京」の開発プロジェクトがスタートすることになった。2020年ころの完成を目指している。プロジェクトの概要は

- 2020年までにエクサスケールのスーパーコンピュータを開発し、実際のシミュレーションでも、「京」の100倍の性能を実現
- 世界一の成果を創出できるアプリケーションをシステムと一体的に開発 (Co-design) し、社会的・科学的課題の解決に貢献
- 自主開発により IT 技術の波及効果が得られ、海外展開に貢献するとともに、我が国に蓄積された高度な ICT 技術・人材を維持・強化
- ポスト「京」を設置するために必要なインフラを備え、計算科学分野の優秀な研究者等を有している理化学研究所が主体となって開発
- 総事業費 約 1,400 億円 (うち国費分 約 1,100 億円)

演算性能で「京」よりも100倍速いコンピュータである。ポスト「京」を必要とする課題が様々な分野で存在する。もっとも重要なことは「京」からエクサスケールに至る途中にシミュレーションに大きな質的变化が現れることである。従来の「経験に追随していたシミュレーション」から「実験に先行するシミュレーション(『予測の科学』)」へとパラダイム転換が起こる。「予測の科学」(Predictive Science)への tipping point に到達する。大いに楽しみである。われわれ理化学研究所・計算科学研究機構は「京」を利用して成果を挙げ、国民の期待に応えるとともに、ポスト「京」コンピュータの開発にも全力を挙げて取り組む。

最新の「京」の成果を分かりやすく解説するとともに、ポスト「京」コンピュータへの期待についても講演したい。

HPCを利用したシミュレーション研究の防災対策への活用への期待 The application of simulation studies using HPC to disaster management: current status and future.

横田 崇^{1*}; 平 祐太郎¹
YOKOTA, Takashi^{1*}; TAIRA, Yutaro¹

¹ 内閣府
¹ Cabinet Office

国の中央防災会議では、災害予防対策や災害応急対策、災害復旧対策の検討のため、想定地震による被害想定を実施している。また、発災直後には被害の状況を把握し政府の応急対応における意思決定をサポートするため被害の早期推計が行われている。より有効な防災計画の策定や、より適切な災害応急対応のためには精度の高い被害推計が必要となる。

事前避難による人的被害の軽減のためには、自然現象の予測技術の高度化が必要であることは言うまでもない。

本講演では、国の防災対策における上記の事項に関する取り組みを紹介し、HPCの活用したシミュレーション研究の防災対策（特に地震・津波対策）への活用に関して期待することについて述べたい。

キーワード: 防災対策, 被害想定, ハイパフォーマンスコンピューティング
Keywords: disaster managment, damege estimation, HPC

京コンピュータ上での統合地震シミュレーターの開発 Development of Integrated Earthquake Simulator on K-computer

市村 強^{1*}; 堀 宗朗¹
ICHIMURA, Tsuyoshi^{1*}; HORI, Muneo¹

¹ 東京大学地震研究所

¹Earthquake Research Institute, The University of Tokyo

Earthquake simulation with high-resolution and high-accuracy could have significant contribution on making rational and effective contour measures against earthquake disaster. Such earthquake simulation must consider whole process from a fault rupture to city responses, since each process has significant effects on the resulting responses. We are now developing such earthquake simulation system on K-computer, which is called Integrated Earthquake Simulator (IES). IES combines spatial data and earthquake simulation with a high-fidelity model to simulate the whole process. The target domain of earthquake simulation is typically very large, making it difficult to prepare sufficient data to construct a high-fidelity model. Even if a high-fidelity model can be constructed, it is difficult to resolve the computational expense due to the discretization of such models. Thus, simplified analyses or analytical methods are typically used in earthquake simulation. However, the construction of high-fidelity models has become popular with recent increases in available spatial data, and a considerable volume of data from high-density observation networks is now available for checking their validity. The realization of analyses using high-fidelity models is desirable. Several examples of analyses using such models can currently be found on the K-class supercomputer, although the resolution is not yet adequate. In this presentation, we discuss the following earthquake simulations (parts of IES) on the K computer, together with problems to be solved: non-linear wave simulation with high resolution, crust deformation analysis with island-scale and the seismic response analysis of soil-structures system.

キーワード: earthquake simulation, high performance computing, high fidelity, high resolution and accuracy
Keywords: earthquake simulation, high performance computing, high fidelity, high resolution and accuracy

HPCによる津波に対する防護施設の粘り強さに関する検討 Consideration to the resiliency of protective structures against tsunami by using High Performance Computer

有川 太郎^{1*}; 大家 隆行¹; 富田 孝史¹
ARIKAWA, Taro^{1*}; OIE, Takayuki¹; TOMITA, Takashi¹

¹ 独立行政法人港湾空港技術研究所
¹ Port and Airport Research Institute

2011年の太平洋沖地震による巨大津波は、防波堤、海岸堤防などの防護施設の高さを乗り越えて、もしくはそれらを破壊して、背後地域に甚大な被害を生じさせた。そのような状況から、中央防災会議(2011)¹⁾では、今後の津波対策に際し、二つのレベルの津波を想定すると提言した。そのうえで、『防護施設に対して、設計対象の津波高を超えた場合でも施設の効果が粘り強く発揮できるような構造物の技術開発を進め、整備していくことが必要である。』とされた。そこで、本研究では、防護施設の効果について、STOC-CADMAS(2005)を用いて浸水域などを検討するとともに、防護施設の粘り強さについて、考察するものである。

スペクトル要素法による理論地震波形計算と地球内部構造推定 Determination of Earth structure using waveform inversion and Spectral-Element Method

坪井 誠司^{1*}; 三好 崇之¹; 大林 政行¹; 東野 陽子¹
TSUBOI, Seiji^{1*}; MIYOSHI, Takayuki¹; OBAYASHI, Masayuki¹; TONO, Yoko¹

¹ 海洋研究開発機構

¹JAMSTEC

地球内部の3次元地震波速度構造は、地球内部で起きる地震の性質を研究する上で基礎的なデータとなり、地球の現在の活動を推定するために必要な情報を与えるため、これまでに多くの研究が行われ、様々な3次元モデルが得られている。これらのモデルは、実体波の走時読み取りを元にしたインバージョンにより求めたものがほとんどであるが、地球内部には複雑な形状で沈み込むプレートなどの複雑な構造があり、これらの構造による地震波線経路の1次元モデルからのずれを正しく評価する必要があることは、すでに多くの研究により指摘されてきた。しかし、そのような複雑な3次元構造の元で、理論地震波形記録を厳密に計算するためには、大規模な数値計算が必要であるため、このような影響を波動理論に基づいて考慮した研究はなかった。近年、我々は有限要素法的一种であるスペクトル要素法と世界最速規模のスーパーコンピュータである地球シミュレータを用いた大規模な数値計算により、現実的な3次元地球モデルに対する理論地震波形記録を実体波の周波数領域まで計算できることを示してきた(例えば Tsuboi et al., 2003)。本研究では、スペクトル要素法による理論地震波形計算と、アジョイント法による地震波速度パラメータに関するカーネル計算(Tromp et al., 2005)を組み合わせて、長周期実体波を用いた波形インバージョンにより、日本列島規模の地球内部地震波速度3次元構造モデルを構築することが現実的となっていることを報告する。現在実施している波形インバージョンでは、周期12.5秒から150秒までの間で、二つの周期帯を選び、観測波形から実体波と表面波の位相を切り出してadjoint法による地震波速度パラメータに関するカーネルを計算している。用いる地震は2001年1月以降に東アジア地域で発生したもので161地震を選んだ。この場合、最急降下法によるインバージョンを京コンピュータ等の大規模並列計算機の256コアを用いて実施すると1回の反復に約10万CPU時間を要する。現在までに数回の反復を実行し、観測波形と理論波形との一致は反復ごとに改善する傾向が見られている。得られた地球内部構造モデルは日本列島付近のプレート沈み込みなどの大局的な構造を再現しており、厳密な理論地震波形計算に基づいた波形インバージョンに基づいた地球内部構造推定が現実的な計算時間で実現可能であることを示している。今後は、より短周期の周期帯を用いて日本列島および平野規模の地震波速度構造を求める予定である。

謝辞：本研究は、HPCI戦略プログラム(分野3)「防災・減災に資する地球変動予測」の「地震の予測精度の高度化に関する研究」の一部として行われました。地震波形データの一部に防災科学技術研究所広帯域地震観測網F-netの波形データを使用しました。記して感謝いたします。

キーワード: 地球内部構造, 地震波トモグラフィ, 理論地震波形計算, スペクトル要素法

Keywords: Earth structure, Seismic tomography, Synthetic seismogram, Spectral Element Method

マントル対流研究と HPC: これまでとこれから Mantle convection simulations on HPC: past, present and future

亀山 真典^{1*}; 宮腰 剛広²; 古市 幹人²; 中川 貴司²; 柳澤 孝寿²; 中久喜 伴益³; 小河 正基⁴
KAMEYAMA, Masanori^{1*}; MIYAGOSHI, Takehiro²; FURUICHI, Mikito²; NAKAGAWA, Takashi²; YANAGISAWA,
Takatoshi²; NAKAKUKI, Tomoeki³; OGAWA, Masaki⁴

¹ 愛媛大学地球深部研, ² 独立行政法人海洋研究開発機構, ³ 広島大学, ⁴ 東京大学

¹GRC, Ehime University, ²JAMSTEC, ³Hiroshima University, ⁴University of Tokyo

「マントル対流」とは、岩石からなるマントルが主に固体の状態を保ったまま、非常に長い時間(数百万年～数億年)をかけて、ゆっくりとした速度(数 cm/年)で地球内部を流動している現象を指す。地球惑星科学的に言えばこの流動は、我々が地球表面で観察できる地学現象(地震・火山・プレート運動など)のほとんど全てに関与しているほか、地球や地球型惑星の内部のダイナミクスや進化の過程をも規定する重要なメカニズムである。その一方で流体力学的には、地球惑星の深部で起こっている種々の流動・変動現象の中でもとりわけ特異な性質をもつ流体の運動である。かくも特異なマントル対流の全貌を理解する上では、数値シミュレーションが不可欠なツールの1つである。実際、マントル対流を数値流体シミュレーションから理解しようという試みは、古くは1960年代にまで遡ることができ、それ以来HPCの進歩はマントル対流研究の進展に重要な意味をもっている。

本発表では、マントル対流のシミュレーションのこれまでの進歩を簡単に振り返りつつ、今後のHPCの発展と歩調を合わせながら進んでいくであろうマントル対流研究の方向性についても考えてみたい。

キーワード: マントル対流, 数値シミュレーション

Keywords: mantle convection, numerical simulation

クラウドサービスによるデータ同化技術の公開 Cloud Services to Release Techniques of Data Assimilation

長尾 大道^{1*}; 樋口 知之²
NAGAO, Hiromichi^{1*}; HIGUCHI, Tomoyuki²

¹ 東京大学地震研究所, ² 統計数理研究所

¹Earthquake Research Institute, The University of Tokyo, ²The Institute of Statistical Mathematics

Data assimilation (DA) is a fundamental technique to integrate numerical simulations and observation data in the framework of the Bayesian statistics. The purpose of DA is to provide an assimilation model that enables us to predict the future state and/or to determine parameters in the given simulation model. A sequential Bayesian filter, e.g., Kalman filter and particle filter, alternatively estimates probability density functions of one-step-ahead prediction and filtering, which respectively mean the states conditionally given the past observation data and given both past and present observation data. DA seems to be hard to implement due to complex programming of the procedure and needed numerous computation, which essentially requires High Performance Computing (HPC). Cloud service (CS) can be a solution for this through an implementation of the DA procedure on a parallel computing environment.

We have developed and released several CSs related to DA such as CloCK-TiME (Cloud Computing Kernel for Time-series Modeling Engine) and DA system for seismoacoustic waves. CloCK-TiME enables us to carry out a multivariate time-series analysis using the particle filter through the Internet. Users can, via the user interface, construct observation and system models, and specify optional parameters to control the analysis in detail. DA system for seismoacoustic waves enables us to determine hypocentric parameters through DA based on a numerical simulation related to seismoacoustic wave propagation using the normal model summation and observed infrasound data obtained at Shionomisaki and Sugadaira.

We will discuss the importance and availability of CS for DA researches through introduction of CSs we have developed.

キーワード: クラウドコンピューティング, データ同化, 時系列解析, 地震音波, 多変量解析

Keywords: cloud computing, data assimilation, time-series analysis, seismoacoustic wave, multivariate analysis

NICTサイエンスクラウドによるビッグデータ処理技術 Techniques of Big-Data Processing on the NICT Science Cloud

村田 健史^{1*}; 渡邊 英伸¹; 鶴川 健太郎²; 村永 和哉²; 鈴木 豊²; 建部 修見³; 田中 昌宏³; 木村 映善⁴
MURATA, Ken T.^{1*}; WATANABE, Hidenobu¹; UKAWA, Kentaro²; MURANAGA, Kazuya²; YUTAKA, Suzuki²; TATEBE,
Osamu³; TANAKA, Masahiro³; KIMURA, Eizen⁴

¹ 情報通信研究機構, ² 株式会社 セック, ³ 筑波大学, ⁴ 愛媛大学

¹NICT, ²Systems Engineering Consultants Co., LTD., ³University of Tsukuba, ⁴Ehime University

現在、多くの科学研究分野ではデータのほとんどがデジタル化され、その量および種類は大規模化の一途をたどっている。これからますます大規模化・複雑化するデータ指向型科学時代を踏まえて、ビッグデータ処理がより容易に、また一元的に行うことができるクラウドシステムが求められている。

NICTサイエンスクラウドは、地球惑星科学を含む様々な科学研究データおよびソーシャルデータのためのクラウドシステムである。NICTサイエンスクラウドでは(1)データ伝送・データ収集機能、(2)データ保存・データ管理機能、(3)データ処理・データ可視化機能の3つの柱(機能)から構成されている。それぞれの機能についての基盤技術を開発するだけでなく、複数の基盤技術を組み合わせることでシステム化を行うことができる。システムを実際に科学研究に応用・適用することで、様々な分野でのビッグデータ科学・データインテンシブ科学が可能となる。

本研究では、NICTサイエンスクラウド上で科学研究のビッグデータ処理を行うための基盤技術について議論する。データサイズが大きい場合にクラウドデータ処理で解決すべき問題点の一つはデータI/Oである。本発表では、分散ファイルシステム(Gfarm)でのデータ読み出し速度の評価を行い、将来の大規模データ処理のためのスケーラビリティについても検討する。

さらに、この高速I/Oを元にしたビッグデータ処理技術について議論する。NICTサイエンスクラウドでは、衛星観測データ処理や3次元シミュレーションデータ処理、3次元気象レーダデータ処理(リアルタイム)等で60倍から100倍を超えるビッグデータ処理の高速化を達成している。この技法は汎用性が高いため様々な研究分野において応用が可能である。

ハイパフォーマンスコンピューティングが拓く固体地球科学の未来 ー総合討論 Creating future of solid Earth science with high performance computing (HPC): Discussion

日野 亮太^{1*}; 堀 高峰²; 本蔵 義守³; 金田 義行²; 有川 太郎⁴; 市村 強⁵; 等々力 賢⁵
HINO, Ryota^{1*}; HORI, Takane²; HONKURA, Yoshimori³; KANEDA, Yoshiyuki²; ARIKAWA, Taro⁴; ICHIMURA, Tsuyoshi⁵; TODORIKI, Masaru⁵

¹ 東北大学, ² 海洋研究開発機構, ³ 東京工業大学, ⁴ 港湾空港技術研究所, ⁵ 東京大学

¹Tohoku University, ²JAMSTEC, ³Tokyo Institute of Technology, ⁴Port and Airport Research Institute, ⁵University of Tokyo

ハイパフォーマンスコンピューティング (HPC) のめざましい進歩は、固体地球科学をどのように変えるだろうか？招待講演を含む多角的な視点からの講演をうけ、今後10～20年という時間スケールで、HPCと固体地球科学との関わりを議論します。特に、平成26年度から概念設計が始まる次期フラグシップマシンを筆頭に、それを支えるHPCインフラが全体としてどのようなシステムであることが固体地球科学における問題解決にとって重要なかを議論します。例えば、防災・減災に高度なシミュレーションを実際に役立てていく（社会実装していく）か・自然災害の想定、災害誘因発生の長期評価や発生直後の即時予測と警報などの改良をどういう流れで進めるか・ビッグデータをどう防災・減災に活かすか、といったことを念頭に議論を展開していきたいと考えています。

Parallel Performance of Particle Method in Many-Core System Parallel Performance of Particle Method in Many-Core System

古市 幹人^{1*}; 西浦 泰介¹

FURUICHI, Mikito^{1*}; NISHIURA, Daisuke¹

¹ 海洋研究開発機構

¹Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

We present a computational performance of the smoothed particle hydrodynamics (SPH) simulation on three types of current shared-memory parallel computer devices: many integrated core (MIC: Intel Xeon Phi) processor, graphics processing units (GPU: Nvidia Geforce GTX Titan), and multi-core Central Processing Unit (CPU: Intel Xeon E5-2680 and Fujitsu SPARC64 processors). We are especially interested in the efficient shared-memory allocation methods with proper data access patterns on each chipset. We first introduce several parallel implementation techniques of SPH code for shared-memory system. Then they are examined on our target architectures to find the best algorithms for each processor unit. In addition, the computing and the power efficiency, which are increasingly important to compare multi device computer systems, are also examined for SPH calculation. In our bench mark test, GPU is found to mark the best arithmetic performance as the standalone device and the most efficient power consumption. The multi-core CPU shows the best computing efficiency. On the other hand, the computational speed by the MIC on Xeon Phi approached to that by two Xeon CPUs. This indicates that using MIC is attractive choice for the existing SPH codes parallelized by OpenMP to gain the computational acceleration by the many many-core processors.

キーワード: ハイパフォーマンスコンピューティング, メニイコア, SPH, 並列計算, パフォーマンス解析, 共有メモリ

Keywords: high-performance computing, many core, SPH, Parallel Computing, Performance analysis, Shared memory

大規模・高詳細な準動的地震サイクルシミュレーションに向けた高並列化の検討 Numerical investigation of efficient parallelization of large scale quasi-dynamic earthquake generation cycle simulation

兵藤 守^{1*}; 安藤 和人¹; 日吉 善久¹; 堀 高峰¹
HYODO, Mamoru^{1*}; ANDO, Kazuto¹; HIYOSHI, Yoshihisa¹; HORI, Takane¹

¹ 海洋研究開発機構

¹ Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology

Ohtani et al.(2011) は、準動的な地震サイクルの問題に、H-matrices 法と呼ばれる、密行列を階層的な小行列に分割し個々の小行列を効率的に圧縮する手法を適用した。これにより、断層の離散化数 N が 10^5 - 10^6 の範囲で、M8 の地震サイクルを計算した場合の演算数が、従来法の $O(N^2)$ から $O(N) \cdot O(N \log N)$ に減少できることとなり、京コンピュータなどの大規模並列計算機を利用した capacity computing によって、様々な M8 クラスの地震発生シナリオを評価できるようになってきた。

しかし、実際のプレート境界では、蓄積される歪(すべり欠損)は本質的に規模が異なる地震同士の相互作用によって解消されており、地震サイクルのシミュレーションを現実近づけるにはこういった様々なスケールの地震の相互作用をモデル化する必要がある。そのためには、対象とする最小規模の地震を解像するだけの細かな空間離散化をモデル化するプレート境界に適用する必要性が生じ、例えば、従来の研究で対象としていた地震のマグニチュードを基準とし、そのマグニチュードより 2 小さな地震まで含めたシミュレーションを実施するとすれば、モデル地震断層の断層長が従来の研究の凡そ 1/10 になり、プレート境界を 100 倍細かなメッシュへ離散化することが要求される。そういった計算は、もはやリアル CPU での計算は不可能となり、京コンピュータ等の大規模並列計算機の大部分を利用するような計算(capability computing)を実施する必要性が生じる。以上から、現実的な地震サイクルシミュレーションの実現には大規模並列化が必要不可欠である。

我々はこれまで、Ohtani et al.(2011) で扱われたモデルと同程度のモデル断層 ($N=3 \times 10^5$) に Hmatrices 適用し、並列数を百程度とした数値計算を実施してきている。その際、Hmatrices 化前の密行列を基準に行方向に密行列を均等に分割するようなバンド状の部分領域を設定し、各部分領域を MPI プロセスに割り当て、そのバンド幅にオーバーラップする小行列をその MPI プロセスに割り当てるような次元分割で並列計算を実施している。この並列化方法は複数のバンド領域を跨ぐ小行列に関するバンド領域間通信が不要となり、コーディングが単純化できる反面、こういった重複小行列に関する演算の一部は、複数バンド領域で同一の計算を冗長に繰り返す必要性が生じる。つまり、大並列を仮定した場合、リアル計算と比較してトータル演算量が著しく増大してしまいストロングスケーリングが成り立ちにくくなるといったデメリットがあり、現行の並列化方法は並列化での実行に適さない。

このことから、今回我々は、行方向のバンド分割をある分割数に抑えることにより重複演算の増加を抑制し、各行バンドに対し、列方向へも領域分割を適用し、分割を 2 次元化する方針で並列化を見直した。つまり、従来の次元分割の各行バンド内の演算を並列処理することによって、全体としてのスピードアップを計ろうとしている。

各行バンド内で、小行列の大きさと独立したサイズ(ブロック数)を基準にして cyclic な分割を行えば、大きな小行列は複数プロセスに分割され、演算の負荷バランスを解消できる。ただし、これによって従来の次元分割計算に比べると、小行列内での通信と(最終的な行列-ベクトル積の結果を得るための)小行列間の通信の両方が各行バンドに追加されることとなる。しかし、行分割による演算数増加の抑制と、演算を行バンド内で並列処理できること、との兼ね合いによって、現時点でも、同じ並列数(1024MPI プロセス)の計算 ($N=1.3 \times 10^6$) に対し、従来法より 2 倍以上の高速化を達成している。

今回採用した並列化方法は、ブロック数・各次元方向の並列数等の並列パラメータの指定により演算-通信のバランスが変化し、全体としての計算性能に影響を及ぼすと考えられる。今後は、並列化の更なる効率化と、最適な並列パラメータの探索を実施していくことになる。

謝辞. 本研究の一部には理化学研究所の京コンピュータを使用させて頂きました(課題番号 hp120278). 地震サイクルコードの並列化・チューニングには富士通(株)のチューニングチームに助力させて頂きました.

キーワード: 地震サイクル, ケイパビリティコンピューティング, 並列計算, 階層行列

Keywords: earthquake cycle, capability computing, parallel computing, H-matrices