

[2016]九州大学情報統括本部年報 : 2016年度

<https://hdl.handle.net/2324/2198501>

出版情報 : 九州大学情報統括本部年報. 2016, pp.1-. Information Infrastructure Initiative, Kyushu University

バージョン :

権利関係 :



第6章 先端計算基盤研究部門

6.1 スタッフ一覧

職名	氏名	研究キーワード
准教授	渡部善隆	精度保証付き数値計算, 偏微分方程式, 有限要素法, 区間解析, 誤差評価
准教授	南里豪志	並列処理, 通信効率化, 動的最適化

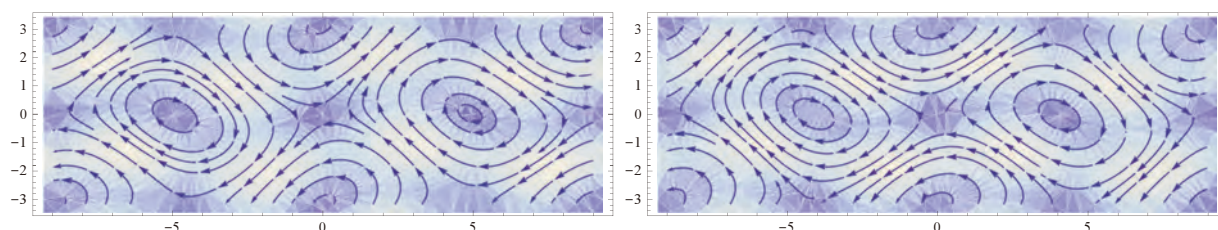
6.2 研究事例紹介

6.2.1 「階楕円型線形作用素に対する逆作用素ノルムの効率的な評価方法の提案」

非線形関数方程式に対する精度保証付き数値計算手法のひとつに、問題を近似解の周りで線形化して得られる無限次元線形作用素の逆作用素ノルム評価を用いた無限次元Newton 法がある。偏微分方程式に対して無限次元Newton 法を適用するためには、逆作用素ノルム評価をいかに少ないコストで効率良く評価できるかが鍵となる。今年度は、2階楕円型線形作用素に対する逆作用素ノルムの数学的に厳密な上界値をコンピュータによって与える手法の効率化に取り組み、具体的な検証例によってその効果を実証した。また得られた成果を国内外に公表した。

6.2.2 「区間 Newton 法の探求と Navier-Stokes 方程式への応用」

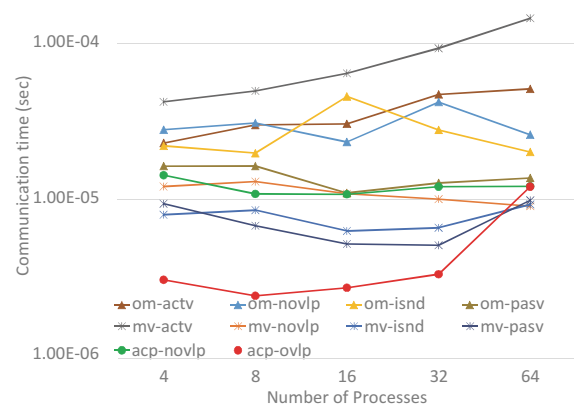
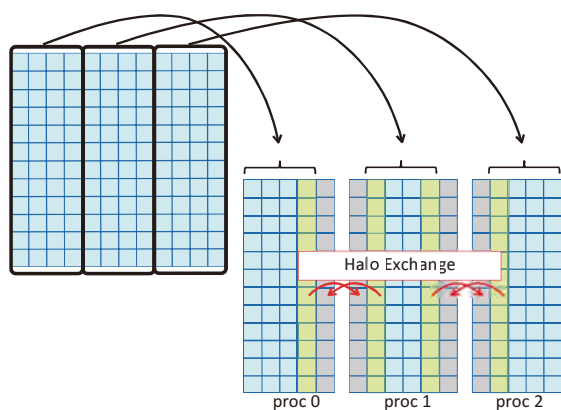
無限次元Newton 法に基づく手順の基幹となる線形化作用素の可逆性の確認と有限次元作用素による一様近似は、有限次元行列に対するスペクトルノルム評価に帰着されることが確認されている。特に偏微分作用素をGalerkin 近似により離散化して得られる行列の多くは大規模疎構造を持ち、一般に Hermite 性・正定値性は保証されない。また、疎行列の構造を保ったままでのスペクトルノルムの精度保証計算は現状では計算コストの面で課題がある。この難点を克服するため、解を包み込むことが期待される有限次元の集合部分を区間と基底関数で表現する解の検証手法(区間Newton 法)について探求し、2次元Navier-Stokes 方程式に特別な外力項を与えた問題(Kolmogorov 問題)に対する精度保証付き数値計算に成功した。



存在検証に成功したNavier-Stokes 方程式の流線図(Kolmogorov 問題)

6.2.3 「PGAS 型通信ライブラリ ACP (Advanced Communication Primitives) のアプリケーションへの応用」

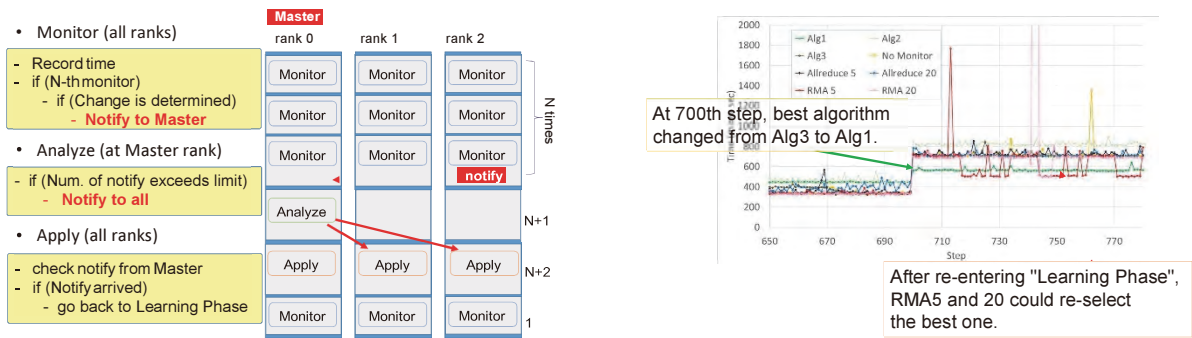
ACPは、CRESTプロジェクト（「省メモリ技術と動的最適化技術によるスケーラブル通信ライブラリの開発」、2011年10月～2017年3月）において開発した、PGAS (Partitioned Global Address Space) 型の通信ライブラリである。ACPの特徴は、通信用メモリの確保と解放を明示するインタフェース設計と、使用メモリ量の管理が容易であることと、PGAS型のグローバルメモリ空間を対象としたメモリコピーインタフェースである。このうち後者は、既存のMPI RMA インタフェースや GASNet における put/get と異なり、送信元でも宛先でもない第三者プロセスが通信を制御できるため、分散データ構造の実装に適している。本年度は、粒子系シミュレーションや、流体シミュレーションへの応用に取り組み、従来のインタフェースに対する省メモリ性や通信性能の優位性を検証した。



流体シミュレーションにおける Stencil 計算の様子（左図）
および各通信インタフェースによる通信時間（右図）

6.2.4 「片側通信を用いた集団通信の非同期性能モニタリング技術の開発」

本研究では、集団通信の性能を実行中にモニタリングする技術を開発した。集団通信は、多数のプロセスが参加する定型パターンの通信インタフェースであり、様々なアルゴリズムが提案されている。各アルゴリズムの優劣は、通信路の混雑状況やプロセス間の負荷バランスなど、実行時の状況に応じて変動するため、最適なアルゴリズムを選択するには、実行中に、低オーバーヘッドで性能変動を検知するモニタリング技術が重要である。本研究では、性能変動を検知したプロセスのみが、片側通信を用いてマスタープロセスに通知する、非同期モニタリング技術を開発した。これにより、定期的に同期を取りながら情報を収集する従来の方法に対して、低オーバーヘッドで性能変動を検知できることを示した。また、既存のアルゴリズム動的選択機構に、本研究の技術を適用し、効率よくアルゴリズム選択を行えることを確認した。



実装動的選択技術の流れ（左図）および動的選択の効果（右図）

研究事例 1, 2, 3, 4 の検証例の計算においては，九州大学情報基盤研究開発センターの高性能アプリケーションサーバ，高性能演算サーバを活用した。

6.2.5 「共同研究」

2016 年度に行なった共同研究は以下の通りである。

1. 無限次元線形化作用素の可逆性の判定とノルム評価の効率化

研究成果: 研究事例紹介 1 を参照.

2. 流体方程式方程式に対する計算機援用証明

共同研究者: Michael Plum, 長藤 かおり (Karlsruhe Institut für Technologie, Germany)

山本 野人, 松田 望(電気通信大学)

研究成果: 研究事例紹介 2 を参照.

6.3 研究内容紹介

6.3.1 渡部 善隆

研究内容

「精度保証付き数値計算」とは、数理科学上に現れる関数方程式の解を、その存在証明および誤差評価込みで数値的に厳密に捉えようという方法です。

自然界のモデルから導かれる関数方程式の解を数値計算によって近似的に求める場合、離散化による誤差に加えて、計算機による丸め誤差が発生します。「精度保証付き数値計算」はこれら二つの誤差を厳密に評価することによって数値計算の信頼性を保証します。また、この方法は理論的に解の存在証明が困難な解析学の問題に対するアプローチとしても重要であると考えます。

現在は、有限要素法とその誤差評価をもとに、非線形偏微分方程式、特に Navier-Stokes 方程式に対する解の存在の数値的検証法の研究を進めています。

また、センターの全国共同利用計算機システムとして公開されている最新のハイパフォーマンスコンピュータ上で動作する数値計算プログラムライブラリの研究開発、性能評価などを行なっています。

教育・広報活動としては、プログラム言語、アプリケーションライブラリの利用方法に関する解説記事の執筆、利用の手引の作成、講習会の講師、プログラム相談、プログラムライブラリ開発の支援等を担当しています。

所属学会名

日本数学会, 日本応用数理学会

主な研究テーマ

- 非線形偏微分方程式の解に対する事後誤差評価
キーワード：偏微分方程式 精度保証付き数値計算 有限要素法, 2002.04～.

研究プロジェクト

- 沿岸構造物における FEM-SPH 法による大規模シミュレーション
2012.10～2017.03, 代表者：荻野 正雄, 九州大学情報基盤研究開発センター・先端的計算科学研究プロジェクト

研究業績

- 原著論文

1. Takehiko Kinoshita, Yoshitaka Watanabe, Nobito Yamamoto, Mitsuhiro T. Nakao, Some remarks on a priori estimates of highly regular solutions for the Poisson equation in polygonal domains, Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics, 33, 3, 629-636, 2016.12.
2. 渡部 善隆, 射影とその構成的誤差評価 –有限と無限を繋ぐもの–, 研究集会・応用数理と計算科学における理論と応用の融合, 京都大学数理解析研究所講究録, 2005, 149-160, 2016.11.
3. Yoshitaka Watanabe, An Efficient Numerical Verification Method for the Kolmogorov Problem of Incompressible Viscous Fluid, Journal of Computational and Applied Mathematics, 302, 157-170, 2016.09.
4. Yoshitaka Watanabe, Kaori Nagatou, Michael Plum, Mitsuhiro T. Nakao, Norm Bound Computation for Inverses of Linear Operators in Hilbert Spaces, Journal of Differential Equations, 260, 7, 6363-6374, 2016.04.
5. Takehiko Kinoshita, Yoshitaka Watanabe, Mitsuhiro T. Nakao, Some Remarks on the Rigorous Estimation of Inverse Linear Elliptic Operators, Scientific Computing, Computer Arithmetic, and Validated Numerics; 16th International Symposium, SCAN 2014, Würzburg, Germany, September 21-26, 2014. Revised Selected Papers (M. Nehmeier, J. Wolff von Gudenberg, W. Tucker, eds.), Lecture Notes in Computer Science, 9553, 225-235, 2016.04.

- 総説, 論評, 解説, 書評, 報告書等

1. 渡部 善隆, 数値計算と無限 – 区間演算の開拓者・須永照雄博士 –, 数理科学, No. 644(2017 年 2 月号), pp. 57-59, February, 2017. , 2017.02.

- 学会発表

1. 木下 武彦, 渡部 善隆, 中尾 充宏, あるコンパクト作用素のレゾルベントに対する下側評価について, 日本数学会 2017 年年会, 2017.03.26.
2. 渡部 善隆, Navier-Stokes 方程式から導かれる非線形作用素のコンパクト性について, 数値解析の理論と実践, 2017.03.22.
3. Takehiko Kinoshita, Yoshitaka Watanabe, Mitsuhiro T. Nakao, An alternative approach of invertibility verifications for linear operators in Hilbert spaces, The International Workshop on Numerical Verification and its Applications 2017 (INVA 2017), 2017.03.17.
4. Mitsuhiro T. Nakao, Takehiko Kinoshita, Yoshitaka Watanabe, Some remarks on the numerical norm estimation of the inverse operator in Hilbert spaces, The International Workshop on Numerical Verification and its Applications 2017 (INVA 2017), 2017.03.17.
5. 中尾 充宏, 長藤 かおり, 渡部 善隆, Navier-Stokes 方程式に関する非線形作用素のコンパクト性証明, 日本応用数理学会 2017 年研究部会連合発表会, 2017.03.06.
6. 渡部 善隆, 流体方程式に対する精度保証付き数値計算, 流体方程式の構造と特異性に迫る数値解析・数値計算 II, 2017.01.30.

7. 渡部 善隆, Orr-Sommerfeld 方程式の臨界 Reynolds 数に対する精度保証付き数値計算(下), 応用数学合同研究集会, 2016.12.17.
8. 木下 武彦, 渡部 善隆, 中尾 充宏, コンパクト作用素のレゾルベントに対する下側評価, 応用数学合同研究集会, 2016.12.16.
9. Yoshitaka Watanabe, Takehiko Kinoshita, Mitsuhiro T. Nakao, Validated constructive error estimations for bi-harmonic problems, 17th GAMM-IMACS International Symposium on Scientific Computing, Computer Arithmetic, and Validated Numerics (SCAN 2016), 2016.09.28.
10. 渡部 善隆, 木下 武彦, 中尾 充宏, 重調和方程式の近似解に対する構成的誤差評価, 日本数学会 2016 年度秋季総合分科会 応用数学分科会, 2016.09.18.
11. 渡部 善隆, 木下 武彦, 中尾 充宏, Legendre 多項式による重調和方程式の精度保証付き誤差評価, 日本応用数理学会 2016 年度年会, 2016.09.14.

研究資金

- 科学研究費補助金

1. 2015 年度～2019 年度, 基盤研究(B), 代表, 関数方程式に対する精度保証付き数値計算法の展開

- 共同研究

1. 研究テーマ「Orr-Sommerfeld 方程式に対する計算機援用証明」カールスルーエ大学 M. Plum 教授との共同研究, 2004 年 3 月より継続.
2. 研究テーマ「Maxwell 方程式から導かれる固有値問題の除外法」Cardiff 大学 M. Brown 教授との共同研究, 2009 年 1 月より継続.

- 競争的資金

1. 2014 年度～2019 年度, 戦略的創造研究推進事業 (文部科学省), 分担, モデリングのための精度保証付き数値計算論の展開 (研究領域: 現代の数理科学と連携するモデリング手法の構築)

教育活動

- 教育活動概要

1. 情報数値解析（システム情報科学府）平成 21 年度～（継続）
2. 情報処理概論（工学部）平成 14 年度～（継続）
3. 平成 10 年度～ 研究用計算機システム講習会講師担当（継続）
4. 平成 10 年度～ 研究用計算機システム利用の手引き・広報記事執筆（継続）

大学運営

- 学内運営に関わる各種委員・役職等

1. 2012.04～2017.03, 百年史編集委員会

6.3.2 南里 豪志

研究内容

電器店で購入出来るパーソナルコンピュータから世界最速のスーパーコンピュータまで、現在我々が使用する計算機のほとんどは CPU コアを複数搭載した並列計算機である。並列計算機の性能を発揮させるためには並列プログラムの作成が必要だが、プログラミングや性能チューニングが困難である。

そこで、並列プログラムのより簡単な記述を可能にするための技術として、分散共有メモリシステムの研究を行っている。これは、PC クラスタや大規模な並列計算機システム等、物理的に分散した複数の計算ノードで構成される計算機において、計算ノードの各メモリを仮想的に共有させることにより、非並列のプログラムに近いイメージで並列プログラムを記述できるようにするものである。

一方、並列プログラムの性能チューニング技術として、通信の動的最適化技術に関する研究を行っている。並列計算においてプロセス間の通信コストは性能に大きく影響するため、様々な高速化技術が提案されているが、そのほとんどは並列計算機の基本性能が一定であることを前提としている。しかし実際には、プロセスに割り当てられる計算ノードの配置や、同時に動作しているジョブの影響により、通信の基本性能は大きく変化する。そこで、実行時の状況に応じて通信の方式を調整する動的最適化技術の開発を進めている。

所属学会名

IEEE, 情報処理学会

主な研究テーマ

- 大規模並列計算機向け通信ライブラリの動的高速化手法に関する研究
キーワード：並列計算, 動的最適化, 2005.04～.
- 階層型クラスタシステム上のプログラム開発環境に関する研究
キーワード：クラスタシステム, 並列計算, 分散共有メモリ, コンパイラ, 2003.04～.

研究プロジェクト

- 省メモリ技術と動的最適化技術によるスケーラブル通信ライブラリの開発（JST CREST 研究領域「ポストペタスケール高性能計算に資するシステムソフトウェア技術の創出」）
2011.10～2017.03, 代表者：南里 豪志, 九州大学（日本）
将来、スーパーコンピュータの性能向上に向けて計算機のさらなる大規模化が予想されてい

る。しかし、計算機内部の通信を担当する通信ライブラリは、現在の設計のままでは大規模化に伴う使用メモリ量の増加やチューニング作業の複雑化によって、実用性が大幅に低下する。そこで本プロジェクトでは、通信ライブラリが使用する通信バッファ領域を抑えながら、実アプリケーションにおいて数千万～数億プロセスまでの性能向上を維持することを目標とし、その実現に向けて通信ライブラリ実装技術とスケーラブルなアプリケーション作成技術を研究開発する。このうち通信ライブラリ実装技術としては、通信インタフェース、基本通信プロトコル、および通信路制御の各レイヤを対象に、省メモリ化技術と動的最適化技術を研究開発する。

研究業績

- 原著論文

1. Tetsuya Nakatoh, Sachio Hirokawa, Toshiro Minami, Takeshi Nanri, Miho Funamori, Assessing the Significance of Scholarly Articles using their Attributes, Proc. of the 22nd International Symposium on Artificial Life and Robotics (AROB2017), 742-746, 2017.01.

- 学会発表

1. Shinji Sumimoto, Yuichiro Ajima, Takafumi Nose, Kazushige Saga, Naoyuki Shida, Takeshi Nanri, Parallel Application Experiences Using Advanced Communication Primitives, 25th Euromicro International Conference on Parallel, Distributed and network-based Processing, 2017.03.06.
2. Takeshi Nanri, Keiichiro Fukazawa, Effect of Overlapping Halo Exchange with One-Sided Communication, 5th JSST Annual Conference International Conference on Simulation Technology, 2016.10.
3. Keiichiro Fukazawa, Takayuki Umeda, Takeshi Nanri, Performance Evaluation of MHD Simulation Code with X86 CPUs and Manycore Systems, 5th JSST Annual Conference International Conference on Simulation Technology, 2016.10.
4. Ryutaro Susukita, Yoshiyuki Morie, Takeshi Nanri, Efficient communications of particle data in particle-based simulations, 5th JSST Annual Conference International Conference on Simulation Technology, 2016.10.
5. Hiroaki Honda, Yoshiyuki Morie, Takeshi Nanri, Development of A Memory Efficient Communication Method for Connecting MPI Programs by using ACP Library, 5th JSST Annual Conference International Conference on Simulation Technology, 2016.10.
6. Shinji Sumimoto, Yuichiro Ajima, Kazushige Saga, Takafumi Nose, Naoyuki Shida, Takeshi Nanri, The Design of Advanced Communication to Reduce Memory Usage for Exa-scale Systems, 12th International Meeting On High Performance Computing for Computational Science, 2016.09.
7. Keiichiro Fukazawa, Toshiya Takami, Takeshi Soga, Yoshiyuki Morie, Takeshi Nanri, Effective Calculation with Halo communication using Halo Functions, 23rd European MPI Users' Group Meeting, 2016.09.
8. Seiji FUJINO, Takeshi Nanri, Improvement of Eisenstat-SSOR preconditioning using tolerance value, 5th IMA Conference on Numerical Linear Algebra and Optimization, 2016.09.
9. Takeshi Nanri, Runtime Algorithm Selection of Collective Communication with RMA-based Monitoring Mechanism, 4th Annual MVAPICH Users Group Meeting, 2016.08.

10. Ryutaro Susukita, Yoshiyuki Morie, Takeshi Nanri, NSIM-ACE: An Interconnection Network Simulator for Evaluating Remote Direct Memory Access, International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications, 2016.07.

研究資金

- 科学研究費補助金

1. 2011 年度～2016 年度, 戦略的創造研究推進事業, 代表, 省メモリ技術と動的最適化技術によるスケーラブル通信ライブラリの開発
2. 2015 年度～2017 年度, 基盤研究(C), 代表, MPI 向け準備型集団通信インタフェースの研究開発.

教育活動

- 教育活動概要

1. 工学部の留学生向けに、プログラミングに関する講義を英語で行っている。また、システム情報科学研究府の大学院生向けにネットワークに関する講義を行っている。

社会貢献・国際連携

- 社会貢献活動

2016 年度, 並列プログラミングにおける国際的な標準規格 MPI (Message Passing Interface) の仕様策定会議に参加。