

「シミュレーション技術の革新と実用化基盤の構築」

平成16年度採択研究代表者

大石 進一

(早稲田大学理工学部 教授)

「数値線形シミュレーションの精度保証に関する研究」

1. 研究実施の概要

本研究では次を目標に研究を行っている：

- (1) 数値線形シミュレーションツールを精度保証付きシミュレータへと性能向上させる理論とアルゴリズムを確立して、主要なシミュレータに実装して有効性を示す。
- (2) 悪条件線形問題の解法アルゴリズムとポータブルかつ高速・高精度な精度保証アルゴリズムを開発し、既存有力シミュレータに実装して有効性を確認する。

以上の研究が達成されることにより、従来取り扱えなかった悪条件な数値線形代数の問題もシミュレータで必要最小限に近い手間で解け（解の存在、一意性の検証を含む）、得られた数値解の精度もほぼ過大評価なしに評価できるようになる。

これらを達成するためには以下の研究が不可欠である。

- (a) 実問題に対して精度保証付きシミュレータを適用するために大規模な線形問題を高速に精度保証付きで解く方法の開発
- (b) 非常に悪条件問題も取り扱えるようにするために高速・高精度な内積演算アルゴリズムの開発
- (c) 上記で開発したアルゴリズムにポータビリティを持たせるための枠組みの提案

本年度はこれらの課題に関する基礎的な部分の研究を行い次の成果を得た：

- (a) 線形問題の精度保証に置いて重要な役割を果たす行列の積を高速に精度保証付きで計算するアルゴリズムの開発（論文[1]）。また、そのアルゴリズムを実装したインタプリタの開発（論文[3]）。一般化固有値問題の高速な精度保証付き数値計算法の提案（論文[6]）。Double Turning Pointの精度保証付き計算法の提案（論文[2]）。実対称行列の固有値に対する成分毎精度保証付き数値計算法（学会発表[1], [3]）。疎行列を係数行列にもつ連立一次方程式の精度保証法の基礎的検討（学会発表[12, 13]）
- (b) 倍精度浮動小数点数を成分とするベクトルの内積を条件数に応じた必要な計算時間で仮数部分の精度を持つように（高精度に）計算するポータブルなアルゴリズムの提案（論文[5]）。FMAを用いた高精度内積演算（学会発表[7]）。悪条件線形方程式の精度保証付き数値計算法の提案（学会発表[2]）。
- (c) 有効丸めを用いない高速かつ高精度な精度保証付き数値計算法の提案（論文[4], 学会

発表[4, 5])。それを応用したJavaによる連立一次方程式のための精度保証法(学会発表[9])。固有値問題の精度保証において有効丸めを用いない計算法(学会発表[3])。

2. 研究実施体制

精度保証グループ

- ① 研究分担グループ長：大石 進一(早稲田大学理工学術院、教授)
- ② 研究項目：大規模線形問題の精度保証付き数値計算

3. 主な研究成果の発表

(1) 論文発表

- T. Ogita, S. Oishi: Fast Inclusion of Interval Matrix Multiplication, *Reliable Computing*, 11:3 (2005), 191-205.
- K. Tanaka, S. Murashige, S. Oishi: On necessary and sufficient conditions for numerical verification of double turning points, *Numerische Mathematik*, 97:3 (2004), 537-554.
- R. B. Kearfott, M. Neher, S. Oishi, and F. Rico: Libraries, Tools, and Interactive Systems for Verified Computations: Four Case Studies, in *Numerical Software with Result Verification* (R. Alt, A. Frommer, R. B. Kearfott, and W. Luther eds.), *Lecture Notes in Computer Science*, 2991, Springer-Verlag, Heidelberg, 2004.
- S. Miyajima, T. Ogita, K. Ozaki, S. Oishi: Fast Error Estimation for Eigenvalues of Symmetric Matrix without Directed Rounding, *Proceedings of the 2004 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications*, Fukuoka, Japan, 2004, 167-170.
- T. Ogita, S. M. Rump, S. Oishi: Accurate Sum and Dot Product with Applications, *Proceedings of the 2004 IEEE International Symposium on Computer Aided Control Systems Design*, Taipei, Taiwan, 2004, 152-155.
- 丸山 晃佐, 荻田 武史, 中谷 祐介, 大石 進一: 実対称定値一般化固有値問題のすべての固有値の精度保証付き数値計算法, *電子情報通信学会論文誌*, J87-A:8 (2004), 1111-1119.