

数理解析研究所講究録 2094

RIMS 共同研究 (公開型)

数値解析学の最前線—理論・方法・応用—

京都大学数理解析研究所

2018年11月

数理解析研究所講究録は、京都大学数理解析研究所の共同利用研究集会および共同研究の記録として1964年に刊行が開始されました。当研究所が全国共同利用研究所として発足した翌年のことでしたが、以来半世紀、毎年数十巻を刊行し、2016年には第2000巻が刊行されるに至りました。第1巻から第2000巻までに収録された論文数は29,265編、総頁数は342,960頁という膨大なものであり、最先端の数学・数理科学分野の研究状況を伝えるのみならず、我が国の数学・数理科学の発展の歴史を留める文献として、他に類例を見ない論文集となっています。

講究録の内容は当研究所のウェブサイトおよび京都大学の学術情報リポジトリにおいても公開され、年間の総アクセス数は1,380,032回（2017年度）を数えるなど、多数の方にご利用いただいています。

講究録の使用言語は論文著者の判断に任されていますが、結果的に日本語が多用されていることが特徴の一つとなっています。その結果、講究録は、数学・数理科学の広い領域における最先端の専門知識に母国語でアクセスできるものとして、近年の英語化の流れの中で、重要な文献となりつつあります。

当研究所の共同利用事業に参加し講究録の論文を執筆していただいた多数の方々に対し、講究録を大きく成長させていただいたことを深く感謝いたしますとともに、これからも、当研究所の国際共同利用・共同研究拠点(\*)としての活動にご参加いただき、講究録の発展にご協力いただけますよう心よりお願い申し上げます。

\*数理解析研究所は2018年11月13日、共同利用・共同研究拠点の認定が廃止され、新しく国際共同利用・共同研究拠点に認定されました。

*RIMS Kôkyûroku 2094*

*The State of the Art in Numerical Analysis:  
Theory, Methods, and Applications*

*November 8 ~ 10, 2017*

*edited by Yoshitaka Watanabe*

*November, 2018*

*Research Institute for Mathematical Sciences*

*Kyoto University, Kyoto, Japan*

This is a report of research done at the Research Institute for Mathematical Sciences,  
an International Joint Usage/Research Center located in Kyoto University.  
The papers contained herein are in final form and will not be submitted for publication elsewhere.

講究録

Kôkyûroku

RIMS Kôkyûroku was started in 1964 as the proceedings of symposia, colloquia and workshops supported by RIMS, the Research Institute for Mathematical Sciences, Kyoto University. It was the next year of the establishment of RIMS as one of the Nationwide Cooperative Research Centers. For half a century since then, several dozen volumes have been issued each year, and the 2,000th volume was issued in 2016. The volumes of Kôkyûroku from the 1st through the 2,000th, containing enormous 29,265 articles and 342,960 pages, not only deliver the latest research activities in mathematics and mathematical sciences but also constitute valuable and incomparable collections of articles that pass down history of progress of mathematics and mathematical science in Japan.

Articles in Kôkyûroku are available on the websites of RIMS and Kyoto University Research Information Repository. They are very frequently accessed on the internet, with a total of as many as 1,380,032 accesses in 2017.

The authors choose the languages to write articles, and many are written in Japanese, which is one of the characteristics of Kôkyûroku. As a result, Kôkyûroku is regarded as a significant and important literature which allows easy access to the latest specialized knowledge in the large fields of mathematics and mathematical sciences written in native language for Japanese readers, while more and more research papers are being written in English in recent years.

We are deeply grateful to many of those who have participated in cooperative research activities of RIMS and greatly developed Kôkyûroku. We heartily ask for your continuous participation in research activities at RIMS as an International Joint Usage/Research Center(\*) and your warm support and cooperation for the fruitful development of Kôkyûroku.

\* RIMS was certified as an International Joint Usage/Research Center on Nov. 13, 2018.

## はしがき

この講究録は、2017年11月8日(水)から11月10日(金)まで京都大学数理解析研究所420号室で行われたRIMS共同研究(公開型)『数値解析学の最前線—理論・方法・応用—』の講演からの抜粋記録です。

本共同研究では、講究録に執筆する／しないは講演者の方の判断にお任せすることにしました。そのため、この講究録に掲載がない講演もあります(数行でもいいので概要の執筆をお願いすればよかったかなと今頃思っています)。講演の詳細は次頁からの資料(プログラム最終版)をご覧ください。

### 共同研究の目的・内容 (web ページより)

社会・自然・生命現象を解明するための重要な手段のひとつである数値シミュレーションでは、(1) 微分方程式に代表される数理モデルの導出、(2) 数理モデルを評価するための理論・技術の構築、(3) 数値計算のための離散化手法およびアルゴリズムの設計、(4) 高精度な計算結果を高速に得るための手法の開発と計算機への実装、(5) データの可視化、現実の現象との照合、計算の品質・信頼性の検証、が行われ、その一連の過程において数理学とくに数値解析学が本質的な役割を担います。

本共同研究は、上記(1)~(5)の基盤技術である数値解析学の理論・方法・応用に携わる研究者が集い、公開型の共同研究を行うことにより、数値シミュレーションにおける数学の果たす役割、解決すべき課題、および今後の展望についての価値観を共有することを目的とします。研究計画の実現により、参加者全員の研究が深化・加速するだけでなく、新展開の手がかりとなる着想や知見を得たり、さらに「RIMS共同研究(グループ型)」をはじめとした分野横断的な共同研究への進展も期待できます。

提供される話題は、数値解析学のいくつかの分野における現状と展望を俯瞰した基調講演・特別講演や通常の優れた研究成果に加えて、共同研究の「触媒」となることが期待される内容や、アイデアや研究の方向性は正しいと確信するものの現時点では様々な困難から未完成のため通常の研究集会では発表を躊躇するような問題提起も積極的に受け入れたいと考えています。

### 方針・準備状況

本共同研究は、研究協力者からの紹介・推薦を踏まえてプログラムを組み、一般講演の募集は行いませんでした。準備状況は以下の通りです(年はすべて2017年)。5/26締切で研究協力者から紹介・推薦をいただきました。6/16締切で講演打診を行いました。6/22に講演者の確認作業を完了し講演者一覧をwebに掲示しました。7/3にプログラム作成のための情報提供依頼メールを送付しました。9/5に暫定プログラムを公開しました。9/28に改訂プログラムを公開しました。10/10に再改訂プログラムを公開しました。10/19に研究協力者に座長依頼を行いました。10/27に座長情報付きプログラムを公開しました。

### 謝辞

本共同研究は、京都大学数理解析研究所および日本学術振興会・科学研究費補助金: 基盤研究(B)「関数方程式に対する精度保証付き数値計算法の展開」(課題番号: 15H03637)、基盤研究(C)「粒子法の数値解析へ向けた基盤技術の整備」(課題番号: 15K05002)の援助を受けて開催されました。最後に、参加していただいたすべての方に感謝いたします。

2018年6月

研究代表者 渡部 善隆(九州大学)

研究副代表者 田上 大助(九州大学)



**RIMS 共同研究 (公開型)**  
**数値解析学の最前線 — 理論・方法・応用 —**

*The State of the Art in Numerical Analysis: Theory, Methods, and Applications*

URL: <http://ri2t.kyushu-u.ac.jp/~watanabe/WorkShop/RIMS2017/>

**2017年11月8日(水)～11月10日(金)**

**京都大学 数理解析研究所 420号室**

(〒606-8502 京都市左京区北白川追分町 FAX: 075-753-7272)

プログラム (2017年10月27日版)

**11月8日(水)** 仏滅 / *November 8th, Wed.*



(9:30 開場予定です)

□ 10:15～10:25 挨拶・事務連絡 / *opening*

**Session 1-1** — 座長: 畔上 秀幸 (名古屋大)

● 10:30～11:00

神原 航也 (東京大学) / *Koya Sakakibara (The University of Tokyo), Kobayashi-Warren-Carter モデルの数値解析～結晶粒界の可視化に向けて～*  
*/ Numerical analysis of Kobayashi-Warren-Carter model: toward visualization of the grain boundary*

● 11:00～11:30

飯盛 浩司 (名古屋大学) / *Hiroshi Isakari (Nagoya University), 波動散乱問題におけるトポロジー最適化について*  
*/ A topology optimisation in wave scattering problems*

● 11:30～12:00

代田 健二 (愛知県立大学) / *Kenji Shiota (Aichi Prefectural University), トポロジー最適化を応用した波動方程式族の係数同定逆問題に対する数値解法*  
*/ A numerical method for the coefficient identification problem in a wave-type PDE by using the topology optimization*

(昼食 / lunch)

**Session 1-2** 特別招待講演 — 座長: 速水 謙 (国立情報学研究所)

● **13:15~14:15**

相島 健助 (東京大学) / *Kensuke Aishima (The University of Tokyo)*,

対称固有値問題に対する数値計算法とその応用について

*/ On numerical algorithms for symmetric eigenvalue problems and their applications*

(休憩 / break)

**Session 1-3** — 座長: 保國 恵一 (筑波大学)

● **14:30~15:00**

伊田 明弘 (東京大学) / *Akihiro Ida (The University of Tokyo)*,

大規模数値解析向け低ランク行列近似手法

*/ Low rank approximation methods for large-scale numerical analyses*

● **15:00~15:30**

小林 由佳◇, 荻田 武史 (東京女子大学) / *Yuka Kobayashi, Takeshi Ogita (Tokyo Woman's Christian University)*,

前処理手法に基づいた相対的に大きな特異値を持つ連立一次方程式の高速かつ高精度な数値計算法

*/ An accurate and efficient algorithm for solving ill-conditioned linear systems with relatively large singular values based on preconditioning methods*

(休憩 / break)

**Session 1-4** — 座長: 田中 健一郎 (東京大学)

● **15:45~16:15**

李 聖林 (広島大学) / *Sungrim Seirin-Lee (Hiroshima University)*,

Phase-field 法を用いた多細胞パターン形成の数値モデル

*/ Mathematical modeling of multicellular pattern formation using phase-field method*

● **16:15~16:45**

村川 秀樹 (九州大学) / *Hideki Murakawa (Kyushu University)*,

*Numerical analysis for nonlinear diffusion problems*

□ **16:45~16:50** 挨拶 / closing

《講演について》

本共同研究は、研究協力者からの紹介・推薦を踏まえて話題提供をお願いしました。したがって、講演はすべて招待講演 (*invited lecture*) です。

◇: 発表者 / *speaker* (連名での講演の場合)

□ 9:10~9:15 挨拶・事務連絡 / opening

**Session 2-1** — 座長: 齊藤 宣一 (東京大学)

● 9:15~9:45

佐々木 多希子 (明治大学), 石渡 哲哉 (芝浦工業大学) / *Takiko Sasaki (Meiji University), Tetsuya Ishiwata (Shibaura Institute of Technology),*  
1次元非線形波動方程式の爆発曲線に関する数値・数学解析  
/ *Numerical and mathematical analysis for the blow-up curve of solutions to 1-dimensional nonlinear wave equations*

● 9:45~10:15

内海 晋弥 (早稲田大学) / *Shinya Uchiumi (Waseda University),*  
高次要素を用いる圧力安定化有限要素法の解析と高レイノルズ数流れ問題への応用  
/ *Analysis of a pressure-stabilized finite element method with higher-order elements and application to high-Reynolds-number flow problems*

● 10:15~10:45

周 冠宇 (東京理科大学) / *Guanyu Zhou (Tokyo University of Science),*  
Navier-Stokes 方程式の片側境界値問題に対する数値方法の安定性について  
/ *The stability of the numerical method for the Navier-Stokes equations with a unilateral boundary condition of Signorini's type*

(休憩 / break)

**Session 2-2** — 座長: 曾我部 知広 (名古屋大学)

● 11:00~11:30

水野 隆文 (名城大学) / *Takafumi Mizuno (Meijo University),*  
投票理論と階層分析法 (ahp) の一対比較行列  
/ *Voting theory and pairwise comparison matrices of ahp*

● 11:30~12:00

佐藤 寛之 (京都大学) / *Hiroyuki Sato (Kyoto University),*  
幾何学的な最適化アルゴリズムとその応用  
/ *Geometric optimization algorithms and their applications*

(昼食 / lunch)

**Session 2-3** 特別招待講演 — 座長: 水藤 寛 (東北大学)

● 13:15~14:15

齊藤 宣一 (東京大学) / *Norikazu Saito (The University of Tokyo),  
Banach-Nečas-Babuška の定理と DG time-stepping 法  
/ Banach-Nečas-Babuška's theorem and DG time-stepping method*

(休憩 / break)

**Session 2-4** — 座長: 中口 悦史 (東京医科歯科大学)

● 14:30~15:00

柳澤 優香◇ (早稲田大学), 劉 雪峰 (新潟大学), 大石 進一 (早稲田大学) / *Yuka Yanagisawa  
(Waseda University), Xuefeng Liu (Niigata University), Shin'ich Oishi (Waseda University),  
スパース行列に対する固有値の厳密計算手法の開発  
/ Guaranteed eigenvalue evaluation method for sparse matrices*

● 15:00~15:30

Masaya Oozawa, Tomohiro Sogabe◇, Yuto Miyatake, Shao-Liang Zhang (Nagoya  
University),  
*Connection between the T-congruence Sylvester and the Lyapunov equations*

(休憩 / break)

**Session 2-5** — 座長: 藤原 宏志 (京都大学)

● 15:45~16:15

剣持 智哉 (東京大学) / *Tomoya Kemmochi (The University of Tokyo),  
Allen-Cahn 方程式の数値解に対する漸近的な誤差解析  
/ Asymptotic error analysis for numerical solutions of the Allen-Cahn equation*

● 16:15~16:45

矢崎 成俊 (明治大学) / *Shigetoshi Yazaki (Meiji University),  
ヘレ・シヨウ流れ, 結晶成長, 紙の燃焼に対する境界追跡法について  
/ On boundary tracking methods for Hele-Shaw flows, crystal growth and com-  
bustion of paper*

□ 16:45~16:50 挨拶 / closing

□ 9:10~9:15 挨拶・事務連絡 / opening

**Session 3-1** — 座長: 小林 健太 (一橋大学)

- 9:15~9:45  
Elliott Ginder (明治大学) / *Meiji University*,  
*On the investigation of some interfacial active matter systems*
- 9:45~10:15  
後藤田 剛 (北海道大学) / *Takeshi Gotoda (Hokkaido University)*,  
*Numerical simulation of vortex sheet motion approximated by point vortices*
- 10:15~10:45  
寺尾 剛史◇, 尾崎 克久 (芝浦工業大学), 南畑 淳史 (産業総合研究所, 早稲田大学) / *Takeshi Terao, Katsuhisa Ozaki (Shibaura Institute of Technology), Atsushi Minamihata (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, Waseda University)*,  
*連立一次方程式の数値解に対する高速精度保証法*  
*/ Fast verification methods for solutions of linear systems*

(休憩 / break)

**Session 3-2** — 座長: Karel Svadlenka (京都大学)

- 11:00~11:30  
相原 研輔 (東京都市大学) / *Kensuke Aihara (Tokyo City University)*,  
*短い漸化式を用いる Krylov 部分空間法の偽収束改善について*  
*/ Reducing the residual gap in short-recurrence Krylov subspace methods*
- 11:30~12:00  
藤原 宏志 (京都大学) / *Hiroshi Fujiwara (Kyoto University)*,  
*連立線型方程式に対する定常反復解法の並列計算に関する一考察*  
*/ A remark on paralell computation of stationary iterative methods*

(昼食 / lunch)

**Session 3-3** — 座長: 岡山 友昭 (広島市立大)

- 13:15~13:45  
小林 健太◇(一橋大学), 土屋 卓也 (愛媛大学) / *Kenta Kobayashi (Hitotsubashi University), Takuya Tsuchiya (Ehime University)*,  
*Crouzeix-Raviart 型有限要素法の誤差解析について*  
*/ Error analysis of Crouzeix-Raviart finite element mehod*
- 13:45~14:15  
田中 健一郎 (東京大学) / *Ken'ichiro Tanaka (University of Tokyo)*,  
*重み付きハーディ空間における高精度数値積分公式の設計*  
*/ Design of accurate numerical integration formulas in weighted Hardy spaces*

(休憩 / break)

**Session 3-4** — 座長: 野津 裕史 (金沢大学)

● 14:30~15:00

前川 秀 (京都大学) / *Suguru Maekawa (Kyoto University)*,

マルチスケール非適合有限要素法による MR エラストグラフィ

*/ Multiscale reconstruction algorithm with nonconforming FEM for MR elastography*

● 15:00~15:30

磯 祐介 (京都大学) / *Yusuke Iso (Kyoto University)*,

分数階常微分方程式の数値解法: 特異積分方程式の一つの応用

*/ Numerical analysis for the Cauchy problem of a fractional order differential equation: An application of numerical approach to integral equations with singular kernels*

(休憩 / break)

**Session 3-5** — 座長: 土屋 卓也 (愛媛大学)

● 15:45~16:15

ボジャーノ ノルベルト (金沢大学) / *Norbert Pozar (Kanazawa University)*,

crystalline Gibbs-Thomson 法則を持つ Stefan 問題の等高線数値解法

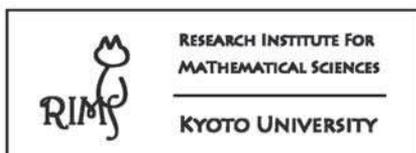
*/ A numerical level-set method for the Stefan problem with a crystalline Gibbs-Thomson law*

● 16:15~16:45

Kaori Nagatou, Michael Plum (Karlsruhe Institute of Technology),

*An approach to computer-assisted existence proofs for nonlinear space-time fractional parabolic problems*

□ 16:45~16:50 挨拶 / closing



研究代表者: 渡部 善隆 (九州大学) 研究副代表者: 田上 大助 (九州大学)

謝辞: 本共同研究は京都大学数理解析研究所および下記の日本学術振興会・科学研究費補助金を援助を受けて開催されます。

基礎研究 (B) 「関数方程式に対する精度保証付き数値計算法の展開」 (課題番号: 15H03637)

基礎研究 (C) 「粒子法の数値解析へ向けた基礎技術の整備」 (課題番号: 15K05002)

本プログラムで使用した画像は京都大学数理解析研究所の公式ロゴ (汎用ロゴ 1 点・様々な事業で使用されるロゴ 2 点) です。講演者・座長のみなさまの敬称は省略いたしました。

数値解析学の最前線—理論・方法・応用—  
The State of the Art in Numerical Analysis: Theory, Methods, and Applications  
RIMS 共同研究（公開型）報告集

2017年11月8日～11月10日  
研究代表者 渡部 善隆 (Yoshitaka Watanabe)

目次

1. Kobayashi-Warren-Carter モデルの数値解析 ～結晶粒界の可視化に向けて～	-----	1
榊原 航也 (Koya Sakakibara)		東京大学 (U. Tokyo)
2. 音場弾性場連成問題におけるトポロジー最適化について	-----	6
飯盛 浩司 (Hiroshi Isakari)		名古屋大学 (Nagoya U.)
3. Numerical analysis for nonlinear diffusion problems	-----	16
村川 秀樹 (Hideki Murakawa)		九州大学 (Kyushu U.)
4. 1 次元非線形波動方程式の爆発曲線に関する数値・数学解析	-----	26
佐々木 多希子 (Takiko Sasaki)		明治大学 (Meiji U.)
石渡 哲哉 (Tetsuya Ishiwata)		芝浦工業大学 (Shibaura Inst. Tech.)
5. 高次要素を用いる圧力安定化有限要素法の解析と 高レイノルズ数流れ問題への応用	-----	36
内海 晋弥 (Shinya Uchiumi)		早稲田大学 (Waseda U.)
6. Several numerical methods for the Navier-Stokes problem with Signorini's boundary condition	-----	44
周 冠宇 (Guanyu Zhou)		東京理科大学 (Tokyo U. Sci.)
柏原 崇人 (Takahito Kashiwabara)		東京大学 (U. Tokyo)
齊藤 宣一 (Norikazu Saito)		東京大学 (U. Tokyo)
杉谷 宜紀 (Yoshiki Sugitani)		東北大学 (Tohoku U.)
7. 幾何学的な最適化アルゴリズムとその応用	-----	55
佐藤 寛之 (Hiroyuki Sato)		京都大学 (Kyoto U.)

8.	Banach-Nečas-Babuška の定理と DG time-stepping 法	-----	65
	齊藤 宣一 (Norikazu Saito)	東京大学 (U. Tokyo)	
9.	スパース行列に対する固有値の厳密計算手法の開発	-----	73
	柳澤 優香 (Yuka Yanagisawa)	早稲田大学 (Waseda U.)	
	劉 雪峰 (Xuefeng Liu)	新潟大学 (Niigata U.)	
	大石 進一 (Shin'ichi Oishi)	早稲田大学 (Waseda U.)	
1 0.	Allen-Cahn 方程式の数値解に対する漸近的な誤差解析	-----	82
	剣持 智哉 (Tomoya Kemmochi)	東京大学 (U. Tokyo)	
1 1.	ヘレ・ショウ流れ, 結晶成長, 紙の燃焼に対する 境界追跡法について	-----	90
	矢崎 成俊 (Shigetoshi Yazaki)	明治大学 (Meiji U.)	
1 2.	Numerical simulation of vortex sheet motion approximated by point vortices	-----	102
	後藤田 剛 (Takeshi Gotoda)	北海道大学 (Hokkaido U.)	
	Robert Krasny	U. Michigan	
1 3.	短い漸化式を用いる Krylov 部分空間法の偽取束改善について	-----	112
	相原 研輔 (Kensuke Aihara)	東京都市大学 (Tokyo City U.)	
1 4.	連立線型方程式に対する定常反復解法の 並列計算に関する一考察	-----	122
	藤原 宏志 (Hiroshi Fujiwara)	京都大学 (Kyoto U.)	
1 5.	マルチスケール非適合有限要素法による MR エラストグラフィ	-----	131
	前川 秀 (Suguru Maekawa)	京都大学 (Kyoto U.)	
1 6.	A numerical level set method for the Stefan problem with a crystalline Gibbs-Thomson law	-----	137
	Norbert Požár	金沢大学 (Kanazawa U.)	