

令和 4 年 6 月 7 日現在

機関番号：12102

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2021

課題番号：17K12690

研究課題名（和文）複素モーメント型超並列固有値解析手法に対する数理的耐障害技術の開発

研究課題名（英文）Development of error resilience technology for complex moment-based parallel eigensolvers

研究代表者

今倉 暁 (Imakura, Akira)

筑波大学・システム情報系・准教授

研究者番号：60610045

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題では、日本発の超並列固有値解析手法であり、近年活発に研究が進められている複素モーメント型固有値解法に着目し、アルゴリズムレベルでの耐障害性の実現を目的とし、同解法の理論的誤差解析を通し数理的耐障害技術を開発した。理論的・実験的評価から、開発技術により、障害発生時においても高速・高精度に固有対が得られることが示された。また、実用化を目指した利用性向上のための技術開発を進めた。本研究課題の研究成果を国内外の会議等で発表するとともに、国際論文誌への論文投稿を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

近年のスーパーコンピュータの大規模・高性能化に伴い、システムの故障率が上昇しており、特に次世代スーパーコンピュータでの長時間シミュレーションの困難さが懸念されている。このため、システムレベルでの対策とともに、システム障害によらず正しい計算結果を与える「アルゴリズムレベルでの耐障害性」の実現が近年重要視されている。各種のシミュレーションで基盤となる固有値解析において、アルゴリズムレベルでの耐障害性を実現する本研究課題の成果は、次世代スーパーコンピュータ上での長時間シミュレーションの実現に寄与し、幅広い応用分野において、シミュレーションの大規模化・高精度化につながることを期待される。

研究成果の概要（英文）：In this research project, we focused on the complex moment-based eigensolvers, which are massively parallel eigenvalue analysis methods originated in Japan and have been actively studied in recent years. We developed mathematical fault-tolerance techniques through theoretical error analysis of the method, aiming to realize fault-tolerance at the algorithm level. Theoretical and experimental evaluations have shown that the developed technology can obtain eigenpairs with high speed and accuracy even in the presence of failures. In addition, we have also developed technologies to improve usability for practical use. The results of this research project were presented at domestic and international conferences and submitted to international journals.

研究分野：数値計算、機械学習

キーワード：数値解析 高性能計算 耐障害技術

## 1. 研究開始当初の背景

近年のコンピュータ技術の目覚ましい発展に伴って、超高速計算機の高度利用に基づく「計算科学」は理論・実験に次ぐ第3の科学として広く認知され、様々な科学分野の進歩に必要なものになっている。例えば、超新星爆発・ブラックホールの誕生過程の解明や格子QCDによる物理点でのバリオン間相互作用の決定といった物理学の最先端分野においては計算科学がその中心的な役割を果たしている。これらの複雑な科学技術計算を実施するためには、単に超大規模並列計算機を開発するだけでは不十分であり、その計算資源を効率的に使いこなすアルゴリズムの開発が重要である。特に、大規模固有値解析は幅広い応用分野のシミュレーションの基盤技術であり、超並列アルゴリズムの開発が進められている。中でも、日本発のアルゴリズムである「複素モーメント型超並列固有値解法」はその並列性の高さから近年注目を集め、国内外で活発に研究が進められている。

一方、近年のスーパーコンピュータの大規模・高性能化に伴い、システムの故障率が上昇しており、現行のスーパーコンピュータの平均故障間隔はわずか数日程度である言われている。これは、単純計算として現在の100倍程度の計算機規模では平均故障間隔が数十分程度になることを意味しており、特に次世代スーパーコンピュータでの長時間シミュレーションの困難さが懸念されている。この問題点の解決のため、システムレベルでの対策とともに、システム障害によらず正しい計算結果を与える「アルゴリズムレベルでの耐障害性」の実現が必要不可欠である。

## 2. 研究の目的

本研究課題では、複素モーメント型超並列固有値解法の理論誤差解析を通し、アルゴリズムレベルでの数理的耐障害技術を開発する。また、実用化を目指した利用性向上のため、発生した障害に合わせたパラメータの自動最適化技術についても併せて開発を進める。具体的には以下の3項目について、開発を進める。

- (1) 複素モーメント型超並列固有値解法の障害発生時の理論誤差解析
- (2) 耐障害技術の開発
- (3) 実用化を目指した利用性向上のための技術開発

本研究においては、これまでの研究で培った連立一次方程式や固有値解析の理論解析技術および応用技術を基盤とする。

## 3. 研究の方法

本研究課題では、複素モーメント型超並列固有値解法のアルゴリズムレベルでの数理的耐障害技術の開発を目的とする。チェックポイント・リスタートや冗長計算などの従来の耐障害技術は時間的・物理的冗長性を利用し、アルゴリズムの耐障害性を実現している。このため、計算量が大きく並列性の高い部分に対しては必ずしも有効とは言えない。これに対し、本研究課題ではアルゴリズムの障害発生時の数理的誤差解析に基づき、時間的・物理的冗長性を利用しない新しい耐障害技術を開発する。

本研究課題の予備研究として、これまでに研究代表者は、Rayleigh-Ritzの技法に基づく複素モーメント型固有値解法の理論誤差解析を行った。また、各種の複素モーメント型固有値解法が射影法の観点から解釈できることを示した。そこで本研究課題では、射影法に基づく新解釈をもとに各種の複素モーメント型固有値解法の理論誤差解析を行い、障害発生時の理論誤差解析につなげる。また、発生した障害にあわせて各種パラメータの自動最適化手法の開発を行う。

## 4. 研究成果

本研究課題では、複素モーメント型超並列固有値解法の理論誤差解析を通し、アルゴリズムレベルでの数理的耐障害技術の開発を目的とし、(1)複素モーメント型超並列固有値解法の障害発生時の理論誤差解析、(2)耐障害技術の開発、(3)実用化を目指した利用性向上のための技術開発、に取り組んだ。

各項目に対する主な研究成果は以下の通りである。

### (1) 複素モーメント型超並列固有値解法の障害発生時の理論誤差解析

複素モーメント型超並列固有値解法は、有理関数の極の求解を基盤としたアルゴリズムとして導出され、これまでに様々な理論的背景のもと各種の改良法が導出されている。本研究に先立ち、研究代表者は各種の複素モーメント型固有値解法を射影法の観点から一律に解釈可能であることを示した。本研究課題では、この新しい解釈を基盤としてアルゴリズムの障害発生時の理論誤差解析を行った。

計算中の障害として、メモリ上の特定のビットが反転する「ビットフリップ」に着目し、計算

時間の主要部である周回積分の積分点上の線形方程式求解時にビットフリップが発生した場合の誤差解析を実施した[1]。ビットフリップが発生しない場合に対して、ビットフリップにより、初期ベクトル本数(精度向上に寄与する入力パラメータ)の効果が減少することが明らかとなった。また、この結果から、ビットフリップ発生時においても、初期ベクトル本数を予め大きく設定することで、多少の計算時間の増加はあるものの、精度劣化を防ぐことができることが示唆された(図1)。

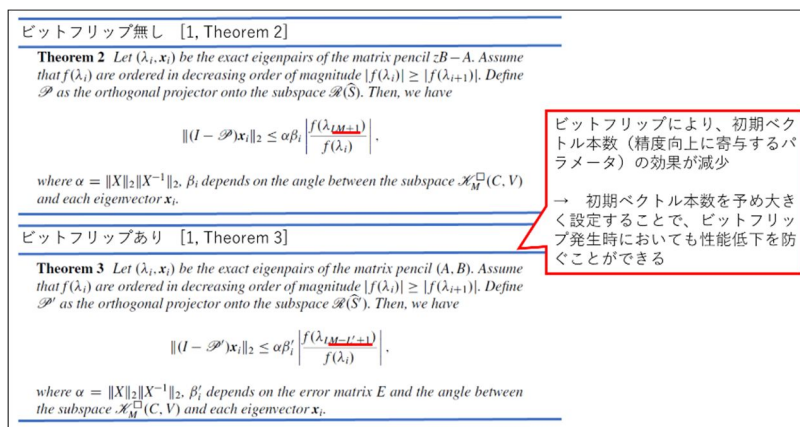


図1：ビットフリップを想定した誤差解析

## (2) 耐障害技術の開発

複素モーメント型超並列固有値解法は、

1. 大規模連立一次方程式の求解、
2. 複素モーメント計算、
3. 小規模固有値問題の求解、

の3つのステップからなる。アルゴリズムの各ステップの計算量および並列性能にあわせて適切な耐障害技術を選択し、アルゴリズム全体での耐障害性を実現した。計算コストの小さい、ステップ2および3については、既存のチェックポイント・リスタートや冗長計算を用いる。一方で、ステップ1は計算コストの主要部であり、かつ最も並列性の高い部分であるため、既存のチェックポイント・リスタートや冗長計算を用いる場合、耐障害性の実現のために多くの計算コストもしくは計算資源を必要とする。

そこで、本研究課題では、(1)で行った解析結果を基に時間的・物理的冗長性によらない新しい耐障害技術を開発した[1]。具体的には、計算精度の向上に寄与する初期ベクトル本数を予め大きく設定する。数値実験から、ビットフリップ発生時においても計算時間の大きな増大なく、高精度に固有対を計算可能となることが明らかとなった(図2)。

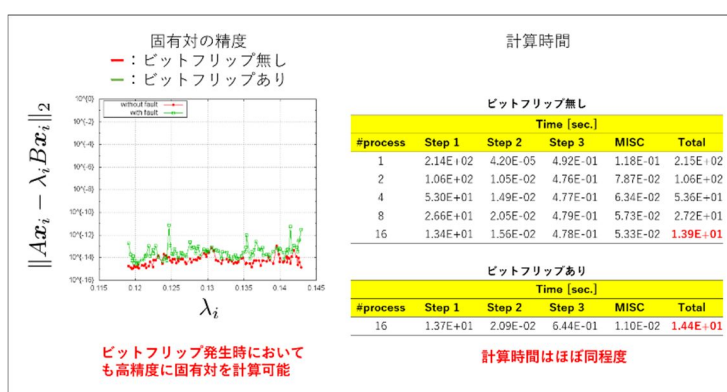


図2：ビットフリップ発生の有無による計算精度と計算時間の比較

## (3) 実用化を目指した利用性向上のための技術開発

複素モーメント型超並列固有値解法には、モーメント次数、初期ベクトル本数、低ランク近似の閾値など様々なパラメータが存在する。実アプリケーションでの実用化を目指し、障害発生時に発生した障害にあわせて各種パラメータを調節するパラメータの自動チューニング手法を開発した。

特に、初期ベクトル本数は対象となる固有対数に応じて適切に決める必要があり、その決定が性能を左右する重要な入力パラメータである。本研究課題では複素モーメント型固有値解法が部分空間反復法に基づく反復計算を利用している点に着目し、より収束性に優れた block Arnoldi 型反復に基づく複素モーメント型固有値解法を開発した。

数値実験から、開発技術は入力ベクトル本数に対してロバストであり、従来技術と異なり最適なパラメータを用いない場合でも安定的に高速・高精度に固有対を計算することができることが明らかとなった。

従来法	L	Iter	空間サイズ	Time [sec.]					max res in $\Omega$
				LU	Solve	RR	MISC	Total	
	20	--	20	1.28	9.39	8.69	0.08	19.44	6.66E-03
	40	--	40	1.28	18.27	16.14	0.13	35.83	5.81E-03
	60	--	60	1.28	24.38	23.63	0.20	49.50	4.65E-03
	80	--	80	1.27	31.80	35.36	0.26	68.69	3.83E-03
	100	39	100	1.28	29.77	30.53	0.25	61.82	7.99E-13
	120	5	120	1.29	4.54	5.05	0.10	10.98	1.27E-14
	140	4	140	1.30	4.22	4.67	0.06	10.24	8.89E-14
提案法	L	Iter	空間サイズ	Time [sec.]					max res in $\Omega$
				LU	Solve	RR	MISC	Total	
	20	13	102	1.25	2.44	1.88	0.02	5.61	3.49E-16
	40	7	102	1.27	2.56	1.83	0.03	5.69	1.81E-15
	60	5	102	1.26	2.46	1.85	0.03	5.60	6.62E-15
	80	5	102	1.27	3.14	1.94	0.03	6.38	4.08E-16
	100	4	102	1.26	3.01	1.93	0.07	6.27	4.07E-16
	120	4	102	1.27	3.65	2.13	0.05	7.10	4.31E-16
	140	3	102	1.28	3.12	1.93	0.05	6.38	4.77E-15

提案法は初期ベクトル本数（精度向上に寄与するパラメータ）に依存せず安定的に高速・高精度に固有対を計算できる

図3：block Arnoldi型反復を用いた複素モーメント型固有値解法の性能

・その他の研究成果

本研究課題で得られたその他の研究成果として、複素モーメント型固有値解法の機械学習への応用技術[2,4]、および数値計算誤差を正確に評価する精度保証付き数値計算法の開発[3]を進めた。

[引用文献]

- [1] Akira Imakura, Yasunori Futamura, Tetsuya, Sakurai, An error resilience strategy of a complex moment-based eigensolver, In: Sakurai T., Zhang SL., Imamura T., Yamamoto Y., Kuramashi Y., Hoshi T. (eds) Eigenvalue Problems: Algorithms, Software and Applications in Petascale Computing. EPASA 2015. Lecture Notes in Computational Science and Engineering, vol 117. Springer, Cham, pp.1-18, 2017.
- [2] Akira Imakura, Momo Matsuda, Xiucui Ye, Tetsuya Sakurai, Complex Moment-Based Supervised Eigenmap for Dimensionality Reduction, In: the AAAI Conference on Artificial Intelligence, Vol. 33, pp. 3910-3918. 2019.
- [3] Akira Imakura, Keiichi Morikuni, Akitoshi Takayasu, Verified partial eigenvalue computations using contour integrals for Hermitian generalized eigenproblems, Journal of Computational and Applied Mathematics, Vol. 369, 112543, 2020.
- [4] Takahiro Yano, Yasunori Futamura, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai, Efficient Implementation of a Dimensionality Reduction Method Using a Complex Moment-Based Subspace, In: HPC Asia 2021: The International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region, pp. 83-89, 2021.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計21件（うち査読付論文 21件 / うち国際共著 5件 / うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Suhyeon Baek, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai, Ichiro Kataoka	4. 巻 12280
2. 論文標題 Accelerating the Backpropagation algorithm by Using the NMF-based method on Deep Neural Networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 In: Uehara H., Yamaguchi T., Bai Q. (eds) Knowledge Management and Acquisition for Intelligent Systems. PKAW 2021. Lecture Notes in Computer Science	6. 最初と最後の頁 1-3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-69886-7_1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takahiro Yano, Yasunori Futamura, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai	4. 巻 1
2. 論文標題 Efficient Implementation of a Dimensionality Reduction Method Using a Complex Moment-Based Subspace	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 In: Proceedings of HPC Asia 2021: The International Conference on High Performance Computing in Asia-Pacific Region	6. 最初と最後の頁 83-89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1145/3432261.3432267	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Akira Imakura	4. 巻 41
2. 論文標題 An improvement of multigrid methods using multiple grids on each layer for parallel computing	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Mathematical Research with Applications	6. 最初と最後の頁 87-98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3770/j.issn:2095-2651.2021.01.009	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Xian-Ming Gu, Ting-Zhu Huang, Bruno Carpentieri, Akira Imakura, Ke Zhang, Lei Du	4. 巻 375
2. 論文標題 Efficient variants of the CMRH method for solving a sequence of multi-shifted non-Hermitian linear systems simultaneously	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Computational and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 112788
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cam.2020.112788	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Christie L. Alappat, Andreas Alvermann, Achim Basermann, Holger Fehske, Yasunori Futamura, Martin Galgon, Georg Hager, Sarah Huber, Akira Imakura, Masatoshi Kawai, Moritz Kreutzer, Bruno Lang, Kengo Nakajima, Melven Rohrig-Zollner, Tetsuya Sakurai, Faisal Shahzad, Jonas Thies, Gerhard Wellein,	4. 巻 136
2. 論文標題 ESSEX: Equipping Sparse Solvers For Exascale,	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 In: Bungartz HJ., Reiz S., Uekermann B., Neumann P., Nagel W. (eds), Software for Exascale Computing - SPPEXA 2016-2019, Lecture Notes in Computational Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 143-187
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-030-47956-5_7	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Akira Imakura, Yusaku Yamamoto	4. 巻 36
2. 論文標題 Efficient implementations of the modified Gram-Schmidt orthogonalization with a non-standard inner product	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 619-641
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13160-019-00356-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akira Imakura	4. 巻 36
2. 論文標題 Minimal residual-like condition with collinearity for shifted Krylov subspace methods	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 643-661
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13160-019-00357-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Andreas Alvermann, Achim Basermann, Hans-Joachim Bungartz, et. al.	4. 巻 36
2. 論文標題 Benefits from using mixed precision computations in the ELPA-AE0 and ESSEX-II eigensolver projects	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 699-717
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13160-019-00360-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Akira Imakura, Keiichi Morikuni, Akitoshi Takayasu	4. 巻 369
2. 論文標題 Verified partial eigenvalue computations using contour integrals for Hermitian generalized eigenproblems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Computational and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 112543
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cam.2019.112543	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akira Imakura, Momo Matsuda, Xiucai Ye, Tetsuya Sakurai	4. 巻 33
2. 論文標題 Complex Moment-Based Supervised Eigenmap for Dimensionality Reduction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence	6. 最初と最後の頁 3910-3918
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1609/aaai.v33i01.33013910	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akira Imakura, Tetsuya Sakurai	4. 巻 74
2. 論文標題 Block SS--CAA: A complex moment-based parallel nonlinear eigensolver using the block communication-avoiding Arnoldi procedure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Parallel Computing	6. 最初と最後の頁 34-48
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.parco.2017.11.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akira Imakura, Tomohiro Sogabe, Shao-Liang Zhang	4. 巻 35
2. 論文標題 A Look-Back-Type Restart for the Restarted Krylov Subspace Methods for Solving Non-Hermitian Linear Systems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Japan Journal of Industrial and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 835-859
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s13160-018-0308-x	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takahiro Yano, Yasunori Futamura, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai	4. 巻 10
2. 論文標題 Performance evaluation of the Sakurai-Sugiura method with a block Krylov subspace linear solver for large dense Hermitian-definite generalized eigenvalue problems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 JSIAM Letters	6. 最初と最後の頁 77-80
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14495/jsiaml.10.77	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 関川 悠太, 二村 保徳, 今倉 暁, 櫻井 鉄也	4. 巻 29
2. 論文標題 複数右辺ベクトルを持つシフト線形方程式に対する多項式前処理の有効性の検証	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本応用数学会論文誌	6. 最初と最後の頁 141-164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11540/jsiamt.29.1_141	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Lei Du, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai	4. 巻 77
2. 論文標題 Simultaneous Band Reduction of Two Symmetric Matrices	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Computers and Mathematics with Applications	6. 最初と最後の頁 2207-2220
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.camwa.2018.12.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Shigeru Iwase, Yasunori Futamura, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai, Shigeru Tsukamoto, Tomoya Ono	4. 巻 97
2. 論文標題 Contour integral method for obtaining the self-energy matrices of electrodes in electron transport calculations	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 PHYSICAL REVIEW B	6. 最初と最後の頁 195449
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.97.195449	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -



1. 著者名 Yasunori Futamura, Takahiro Yano, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai	4. 巻 62
2. 論文標題 A real-valued block conjugate gradient type method for solving complex symmetric linear systems with multiple right-hand sides	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applications of Mathematics	6. 最初と最後の頁 333-355
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21136/AM.2017.0023-17	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hongjia Chen, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai	4. 巻 62
2. 論文標題 Improving backward stability of Sakurai-Sugiura method with balancing technique in polynomial eigenvalue problem	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Applications of Mathematics	6. 最初と最後の頁 357-375
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21136/AM.2017.0016-17	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Akira Imakura, Tetsuya Sakurai	4. 巻 75
2. 論文標題 Block Krylov-type complex moment-based eigensolvers for solving generalized eigenvalue problems	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Numerical Algorithms	6. 最初と最後の頁 413-433
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s11075-016-0241-5	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hongjia Chen, Yasuyuki Maeda, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai, Françoise Tisseur	4. 巻 9
2. 論文標題 Improving the numerical stability of the Sakurai-Sugiura method for quadratic eigenvalue problems	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 JSIAM Letters	6. 最初と最後の頁 17-20
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14495/jsiaml.9.17	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Akira Imakura, Yasunori Futamura, Tetsuya Sakurai	4. 巻 117
2. 論文標題 An Error Resilience Strategy of a Complex Moment-Based Eigensolver	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Eigenvalue Problems: Algorithms, Software and Applications in Petascale Computing. EPASA 2015. Lecture Notes in Computational Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 1-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/978-3-319-62426-6_1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計48件(うち招待講演 0件/うち国際学会 25件)

1. 発表者名 Takahiro Yano, Yasunori Futamura, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai
2. 発表標題 Efficient Implementation of a Dimensionality Reduction Method Using a Complex Moment-Based Subspace
3. 学会等名 HPC Asia 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Suhyeon Baek, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai, Ichiro Kataoka
2. 発表標題 Accelerating the Backpropagation algorithm by Using the NMF-based method on Deep Neural Networks
3. 学会等名 2020 Principle and Practice of Data and Knowledge Acquisition Workshop (PKAW2020) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 今倉暁, 相原研輔, 保國恵一
2. 発表標題 複数右辺ベクトルを持つ線形方程式に対するblock generalized CGS法
3. 学会等名 日本応用数理学会 第17回 研究部会連合発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 相原研輔, 今倉暁, 保國恵一
2. 発表標題 Sylvester方程式に対するglobal Krylov部分空間法のresidual gap評価とその改善
3. 学会等名 日本応用数理学会 第17回 研究部会連合発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 相原研輔, 今倉暁, 保國恵一
2. 発表標題 漸化式に着目したblock Krylov部分空間法のresidual gap評価と残差スムージング
3. 学会等名 日本応用数理学会「行列・固有値問題の解法とその応用」研究部会 第30回研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 来栖壮馬, 今倉暁, 櫻井鉄也
2. 発表標題 エルミート一般化固有値問題に対するBlock SS-Hankel法の固有ベクトル精度改善法
3. 学会等名 日本応用数理学会2020年度年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 伊田明弘, 今倉暁
2. 発表標題 カーネルリッジ回帰へのBLR行列近似の適用法検討
3. 学会等名 日本応用数理学会2020年度年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 今倉暁, 櫻井鉄也
2. 発表標題 複素モーメント型部分特異値分解法
3. 学会等名 2020年並列 / 分散 / 協調処理に関する『福井』サマー・ワークショップ (SWoPP2020)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Yusaku Yamamoto, Akira Imakura
2. 発表標題 Efficient Implementations of the Modified Gram-Schmidt Orthogonalization in a Non-Standard Inner Product
3. 学会等名 The 13th workshop in the series of the "Parallel Numerics" (ParNum 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Imakura, Momo Matsuda, Xiucai Ye, Tetsuya Sakurai
2. 発表標題 A complex moment-based dimensionality reduction for data analysis
3. 学会等名 2019 Mini-Workshop on Computational Science (MWCS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Xiucai Ye, Hongmin Li, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai
2. 発表標題 Distributed Collaborative Feature Selection Based on Intermediate Representation
3. 学会等名 The 28th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI-19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Imakura, Momo Matsuda, Xiucai Ye, Tetsuya Sakurai
2. 発表標題 A novel dimensionality reduction method using a complex momnet-based subspace
3. 学会等名 International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Imakura, Tetsuya Sakurai
2. 発表標題 Nonlinear semi-NMF based method for deep neural network computations and its improvements
3. 学会等名 International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuya Sakurai, Yasunori Funamura, Xiucai Ye, Akira Imakura
2. 発表標題 A complex moment-based spectral method for detecting anomalous structures in large graphs
3. 学会等名 International Congress on Industrial and Applied Mathematics (ICIAM2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Imakura
2. 発表標題 Nonlinear semi-NMF based method for deep neural network computations
3. 学会等名 International Symposium on "Digital Science Now" (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今倉暁, 櫻井鉄也
2. 発表標題 Arnoldi型反復を用いたblock SS-CAA法の改良
3. 学会等名 日本応用数理学会 第16回 研究部会連合発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Imakura, Momo Matsuda, Xiucai Ye, Tetsuya Sakurai
2. 発表標題 Complex Moment-Based Supervised Eigenmap for Dimensionality Reduction
3. 学会等名 情報系 WINTER FESTA Episode5
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今倉暁, 櫻井鉄也
2. 発表標題 行列分解を基盤としたディープニューラルネットワーク計算法
3. 学会等名 RIMS研究集会「諸科学分野を結ぶ基礎学問としての数値解析学」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 櫻井鉄也, 今倉暁, 二村保徳, 叶秀彩
2. 発表標題 スケーラブルな固有値解析エンジンとそのAIへの展開
3. 学会等名 RIMS研究集会「諸科学分野を結ぶ基礎学問としての数値解析学」
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今倉暁, 二村保徳, 櫻井鉄也
2. 発表標題 NMF型DNN計算法とその応用
3. 学会等名 日本応用数理学会2019年度年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本有作, 今倉暁
2. 発表標題 一般内積における直交化のためのMGS-HP法の誤差解析
3. 学会等名 日本応用数理学会2019年度年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yasunori Futamura, Takahiro Yano, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai
2. 発表標題 A contour integral-based stochastic estimator for eigenvalue counts of generalized eigenproblems
3. 学会等名 SIAM Conference on Computational Science and Engineering (CSE19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Akira Imakura, Momo Matsuda, Xiucai Ye, Tetsuya Sakurai
2. 発表標題 Complex Moment-Based Supervised Eigenmap for Dimensionality Reduction
3. 学会等名 The Thirty-Third AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-19) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Akira Imakura, Tetsuya Sakurai
2 . 発表標題 A complex moment-based method and its improvement for computing partial singular value decomposition
3 . 学会等名 The 37th JSST Annual International Conference on Simulation Technology(JSST2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Akitoshi Takayasu, Akira Imakura, Keiichi Morikuni
2 . 発表標題 Verified computing for partial eigenvalues using a contour integral-type eigensolver
3 . 学会等名 The 18th International Symposium on Scientific Computing, Computer Arithmetic, and Verified Numerical Computations (SCAN2018) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Yasunori Futamura, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai
2 . 発表標題 Symmetry-preserving of the Hankel-type Sakurai-Sugiura eigenvalue solver for large sparse Hermitian definite generalized eigenvalue problem
3 . 学会等名 10th International Workshop on Parallel Matrix Algorithms and Applications (PMAA18) (国際学会)
4 . 発表年 2018年

1 . 発表者名 Yuta Inagawa, Yasunori Futamura, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai
2 . 発表標題 Efficient Parallel Implementation of Spectral Nested Dissection for Large-Scale Sparse Linear System
3 . 学会等名 10th International Workshop on Parallel Matrix Algorithms and Applications (PMAA18) (国際学会)
4 . 発表年 2018年



1. 発表者名 Hongjia Chen, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai
2. 発表標題 Improving numerical stability and analyzing backward error for heavily damped quadratic eigenvalue problem
3. 学会等名 13th SIAM East Asian Section Conference 2018 (EASIAM2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Akira Imakura, Tetsuya Sakurai
2. 発表標題 Complex Moment-Based Partial Singular Value Decomposition
3. 学会等名 SIAM Conference on Applied Linear Algebra (SIAM-ALA18) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今倉 暁, 保國 恵一, 高安 亮紀
2. 発表標題 一般化エルミート固有値問題の部分固有値計算における周回積分に基づく精度保証法の改良
3. 学会等名 日本応用数理学会 第15回 研究部会連合発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今倉 暁
2. 発表標題 複素モーメント型並列固有値解法の概要と最近の進展
3. 学会等名 岩手数理学科学セミナー
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 今倉 暁, 櫻井鉄也
2. 発表標題 複素モーメント型部分特異値分解アルゴリズムと非線形変数変換を用いた精度改善
3. 学会等名 日本応用数理学会「行列・固有値問題の解法とその応用」研究部会 第26回研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今倉 暁, 保國 恵一, 高安 亮紀
2. 発表標題 一般化エルミート固有値問題の周回積分型精度保証付き部分固有値計算
3. 学会等名 日本応用数理学会 2018年度 年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 矢野貴大, 二村保徳, 今倉 暁, 櫻井鉄也
2. 発表標題 反復線形ソルバを用いた大規模密一般化固有値問題向けSS-RR法の性能評価
3. 学会等名 日本応用数理学会 2018年度 年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 稲川 裕太, 二村 保徳, 今倉 暁, 櫻井 鉄也
2. 発表標題 Intel Xeon Phiを用いたSpectral nested dissectionの性能評価
3. 学会等名 2018年並列 / 分散 / 協調処理に関する『熊本』サマー・ワークショップ (SWoPP2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今倉 暁, 保國恵一, 高安亮紀
2. 発表標題 Verified Partial Eigenvalue Computation for Generalized Hermitian Eigenproblems Using Contour Integrals
3. 学会等名 第47回数値解析シンポジウム (NAS2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yasunori Futamura, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai
2. 発表標題 Recent Advances on the Algorithm-based Fault Tolerance of the Sakurai-Sugiura Eigensolver
3. 学会等名 SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (SIAM PP18) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shigeru Iwase, Yasunori Futamura, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai, Shigeru Tsukamoto, Forschungszentrum Julich, Tomoya Ono
2. 発表標題 Contour Integral Method to Evaluate Self--Energy Matrices for Large-Scale Electron Transport Calculations
3. 学会等名 SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (SIAM PP18) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akitoshi Takayasu, Akira Imakura, Keiichi Morikuni
2. 発表標題 Contour Integral-Based Verified Computing for Partial Eigenvalues
3. 学会等名 SIAM Conference on Parallel Processing for Scientific Computing (SIAM PP18) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akira Imakura, Yasunori Futamura, Tetsuya Sakurai
2. 発表標題 An improvement of the block SS - Hankel method for solving Hermitian generalized eigenvalue problems
3. 学会等名 International Workshop on Eigenvalue Problems: Algorithms; Software and Applications, in Petascale Computing (EPASA2018) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shigeru Iwase, Yasunori Futamura, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai, Tomoya Ono
2. 発表標題 Efficient and Scalable Calculation of Complex Band Structure Using Sakurai-Sugiura Method
3. 学会等名 International Conference for High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis (SC17) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akira Imakura, Yasunori Futamura, Tetsuya Sakurai
2. 発表標題 Structure-preserving of the block SS--Hankel method for solving Hermitian generalized eigenvalue problems
3. 学会等名 12th International Conference on Parallel Processing and Applied Mathematics (PPAM2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akira Imakura, Tetsuya Sakurai
2. 発表標題 A complex moment-based parallel eigensolver using the block communication-avoiding Arnoldi procedure
3. 学会等名 4th JCAHPC Seminar (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Akira Imakura, Tetsuya Sakurai
2. 発表標題 A complex moment-based nonlinear parallel eigensolver using the block communication-avoiding Arnoldi procedure
3. 学会等名 Householder Symposium XX on Numerical Linear Algebra (HHXX) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 今倉 暁, 二村 保徳, 櫻井 鉄也
2. 発表標題 対称性を保存するblock SS-Hankel法について
3. 学会等名 日本応用数理学会 第14回研究部会連合発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 今倉 暁, 保國恵一, 高安亮紀
2. 発表標題 複素モーメントの誤差評価を用いた周回積分型精度保証付き部分固有値計算
3. 学会等名 日本応用数理学会 2017年度 年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Chen Hongjia, Akira Imakura, Tetsuya Sakurai
2. 発表標題 A balancing technique for improving backward error of heavily damped quadratic eigenvalue problem
3. 学会等名 日本応用数理学会 2017年度 年会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 今倉 暁, 保國恵一, 高安亮紀
2. 発表標題 実対称行列に対する周回積分を用いた精度保証付き部分固有値計算
3. 学会等名 第46回数値解析シンポジウム(NAS2017)
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 山本 有作, 多田野 寛人, 今倉 暁, 相島 健助, 宮田 考史, 櫻井 鉄也, 中村 佳正, 保國 恵一, 曾我部 知広, 中島 研吾, 深谷 猛, 二村 保徳, 大島 聡史	4. 発行年 2018年
2. 出版社 共立出版	5. 総ページ数 336
3. 書名 数値線形代数の数理とHPC	

〔産業財産権〕

〔その他〕

個人ホームページ <a href="http://www.cs.tsukuba.ac.jp/~imakura/">http://www.cs.tsukuba.ac.jp/~imakura/</a> <a href="http://www.trios.tsukuba.ac.jp/researcher/0000003376">http://www.trios.tsukuba.ac.jp/researcher/0000003376</a> <a href="https://researchmap.jp/imakura?lang=ja">https://researchmap.jp/imakura?lang=ja</a>
---

6. 研究組織			
	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------