

令和 6 年 5 月 20 日現在

機関番号：25403

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2023

課題番号：17K14147

研究課題名(和文) Sinc法の再定式化と応用拡大

研究課題名(英文) Reformulation and expanding application of the Sinc methods

研究代表者

岡山 友昭 (Okayama, Tomoaki)

広島市立大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：80587866

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：本研究の目的は、解析的な関数に対する超高性能数値計算法であるSinc法を改良し、また適用範囲を拡大していくことである。自然科学・工学では、扱う対象が解析的な関数であることが多く、この場合は既存の汎用手法に比べSinc法が非常に高性能であることが知られている。そこで本研究では、このSinc法をさらに改良し適用範囲を拡大すべく、提案されているSinc法に基づく数値計算法に対し(a)連立系への拡張、(b)Sinc法と組み合わせる変数変換の改善、(c)精度保証付き数値計算法の開発、等について研究を行った。特に(a)においては、実装が煩雑にならないようSinc法の再定式化も行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

Sinc法は、現実でよく現れる関数の性質をうまく使って、汎用技術を遙かに上回る高性能を実現できる計算法である。本研究ではこのSinc法の弱点を克服しさらに発展を行うものである。実装に難があった部分を改善したため、数値計算ライブラリの実装が容易になっている。さらに近似誤差を(見積もりではなく)数学的な不等式によって厳密かつ計算可能な形で評価したため、精度保証付き数値計算も可能になった。このように、本研究で理論的に得られた結果は応用でも有用な内容となっている。

研究成果の概要(英文)：In comparison to existing general methods, the Sinc methods have been known to be highly efficient for analytic functions, which often appear in the field of natural science and engineering. This project contributed the Sinc methods in the following points: (a) extended the Sinc methods to the system of equations, (b) improved the variable transformation combined with the Sinc methods, and (c) developed self-validating numerics based on the Sinc methods. In particular, in the case of (a), we reformulated the Sinc methods to avoid being complicated in implementation.

研究分野：数値解析

キーワード：数値解析

### 1. 研究開始当初の背景

自然科学・工学において現れる問題は陽に解を求めることは困難であることが多く、コンピュータを用いて近似計算・シミュレーションを行うのが通常であり、そのために様々な汎用技術が開発されている。その根幹技術である関数近似法において特に有名なものが Spline 補間という方法であり、Matlab や Scilab など著名なソフトウェアにもルーチンが実装されている。これらは、対象とする関数が「 $n$  階連続微分可能」という性質をみたくを想定して設計されている。

ただし、 $n$  階連続微分可能だが  $n+1$  階微分は不可能、という設定は人工的であり、自然科学・工学では「ある領域で解析的」という設定をおく方が自然であることが知られている。その場合には Sinc 法と呼ばれる関数近似技法が非常に有効である。Sinc 法の大きな研究一派として海外の Stenger のグループがある。Sinc 法は適切な変数変換と組み合わせる用いることが多いが、特に Stenger のグループでは変数変換に「Single-Exponential (SE)変換」と組み合わせることが標準的であり、総称して SE-Sinc 法と呼ばれている。SE-Sinc 法は現実的な性質をうまく使って汎用技術を遙かに上回る高性能を実現しており、微分・積分の近似計算や、微分方程式・積分方程式の数値計算、Fourier 変換・Laplace 変換やそれらの逆変換の数値計算など、あらゆる科学技術計算に応用されてきている。

さらに近年、杉原をはじめとする我が国のグループにより、Sinc 法において SE 変換の代わりに「Double-Exponential (DE)変換」と組み合わせることで、Sinc 法をさらに高性能化する研究が進められている (DE-Sinc 法と呼ばれる)。

### 2. 研究の目的

本研究の主目的は、上述のような高性能さを誇る Sinc 法を改良し、さらに適用範囲を拡大していくことである。主に次の3点について研究を進める。

1 つ目は、連立系方程式への拡張である。これまでに Sinc 法による数値解法が提案されている方程式は多々存在するが、単一の方程式を想定していることが多い。本研究ではそれらを連立系に拡張することを考える。

2 つ目は、Sinc 法と組み合わせる変数変換の改善である。上述したように、Sinc 法は適切な変数変換と組み合わせる用いることが多いが、この変数変換には自由度がある。これまでも、適用する区間や関数の性質にあわせてふさわしい(と思われていた) SE 変換や DE 変換が提案されてきたが、より良い SE 変換やより良い DE 変換を考えることができる場合がある。本研究ではそれらについて提案・解析・比較などを行う。

3 つ目は、精度保証付き数値計算法の開発である。応用では、許容誤差を与えれば、その許容誤差を満たす解が出力されるということが望ましい。ところが Sinc 法の既存研究では、計算法の提案や収束性解析は行われていることが多いものの、得られた計算結果がどの程度正しいものかを保証するための研究まで踏み込んでいないことは少ない。本研究では、計算可能な誤差上界を数学的に与えることで、精度保証付き数値計算法の開発を可能にする。

### 3. 研究の方法

1 つ目の連立系方程式への拡張について障害の一つとなっているのが、Sinc 法におけるサンプリング点の取り方である。実はこれまでのスキームではサンプリング点を端点のまわりで変則的にとるようになっており、単一の方程式ではそこまで煩雑ではないものの、連立系に拡張する場合には実装が非常に煩雑でユーザーの負担となる。これは実用化の障害となりうる。そのため、サンプリング点を変則的にとらずに済むよう、Sinc スキームを再定式化することがポイントとなる。

2 つ目の変数変換の改善については、(i)計算対象区間が半無限区間 $(0, \infty)$ かつ関数が急減少関数の場合、および(ii)計算対象区間が全無限区間 $(-\infty, \infty)$ かつ関数が片側急減少関数の場合について研究を行う。(i)については、既存の SE 変換や DE 変換よりも性能が高い SE 変換や DE 変換を提案しており、数値積分や関数近似などさまざまな計算法においてその有効性を数学的に示す。また(ii)については、既存の SE 変換よりも性能が高い SE 変換を提案し、また DE 変換は(まだ提案されていないため)新たな DE 変換を提案する。これについてもやはりさまざまな計算法においてその有効性を数学的に示す。

3 つ目の精度保証付き数値計算法については、基本方針としては、誤差評価の際に現れるすべての定数を明示的に(計算可能な形で)評価するということである。既存研究では、「ある定数  $C$  が存在して」という形で、存在のみ示されている定数があり、具体的に誤差評価式を計算することができなかった。そこで本研究では、さまざまな Sinc 法に基づく計算法において、誤差評価式をすべて計算可能な形で与え、近似精度を数学的に保証することを可能にする。

#### 4. 研究成果

1 つ目の連立系への拡張については、まず計算対象区間が有限区間、および半無限区間 $(0, \infty)$  の場合の微分方程式の初期値問題に対する Sinc 選点法について行った。ここで一つポイントとなったのは、端点の周りにおける変則性をなくしたサンプリング点の取り方であるが、これをさらに有限区間に対する Fredholm 積分方程式についても適用した。

2 つ目の変数変換の改善については、(i) 計算対象区間が半無限区間 $(0, \infty)$  かつ関数が急減少関数の場合における場合は、SE 変換において、既存の SE 変換と本研究で用いている SE 変換を数学的に比較し、本研究における SE 変換の方が優れていることを示した（日本応用数理学会論文賞を受賞）。また DE 変換も改良版における応用を進めた（1 つ目の研究における半無限区間の場合にもこの結果が用いられている）。さらに (ii) 計算対象区間が全無限区間 $(-\infty, \infty)$  かつ関数が片側急減少関数の場合においては、既存の SE 変換より性能が高い SE 変換を提案し、数値積分や関数近似においてその有効性を数学的に示した。また DE 変換については新たな DE 変換を提案し、数値積分においてその有効性を数学的に示した。

3 つ目の精度保証付き数値計算法については、数値積分や関数近似など様々な基本近似公式において、全ての定数を明示的にした誤差評価式を与え、計算可能な誤差上界を求めた。その結果として、近似誤差の精度を（真の値や解を知ることなしに）保証できるようになった。

その他にも、メッシュ幅や計算項数を工夫することで収束性能を向上させたり、関数近似手法そのものを改善したりというような成果も積み重ねている。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 20件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 18件）

1. 著者名 田中 健一郎、岡山 友昭	4. 巻 33
2. 論文標題 有限区間におけるSinc関数近似の理論誤差評価の証明	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 応用数理	6. 最初と最後の頁 94-102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11540/bjsiam.33.2_94	査読の有無 無
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 Tomoaki Okayama	4. 巻 16
2. 論文標題 Sinc-collocation methods with consistent collocation points for Fredholm integral equations of the second kind	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Dolomites Research Notes on Approximation	6. 最初と最後の頁 63-74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14658/PUPJ-DRNA-2023-3-9	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 Tomoaki Okayama and Yuta Kawai	4. 巻 15
2. 論文標題 Optimal selection formulas of mesh size and truncation numbers for the double-exponential formula	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JSIAM Letters	6. 最初と最後の頁 81-84
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14495/jsiaml.15.81	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 田中 健一郎、岡山 友昭	4. 巻 33
2. 論文標題 Sinc関数近似から導かれる数値不定積分公式	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 応用数理	6. 最初と最後の頁 152-163
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11540/bjsiam.33.3_152	査読の有無 無
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 Tomoaki Okayama, Katsuya Hirohata	4. 巻 14
2. 論文標題 Theoretical comparison of two conformal maps combined with the trapezoidal formula for the semi-infinite integral of exponentially decaying functions	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 JSIAM Letters	6. 最初と最後の頁 77-79
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14495/jsiaml.14.77	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 Tomoaki Okayama, Ken'ichiro Tanaka	4. 巻 15
2. 論文標題 Yet another DE-Sinc indefinite integration formula	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Dolomites Research Notes on Approximation	6. 最初と最後の頁 105-116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14658/pupj-drna-2022-3-10	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 Tomoaki Okayama, Ken'ichiro Tanaka	4. 巻 15
2. 論文標題 Error analysis of approximation of derivatives by means of the Sinc approximation for double-exponentially decaying functions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 JSIAM Letters	6. 最初と最後の頁 5-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14495/jsiaml.15.5	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 Tomoaki Okayama	4. 巻 -
2. 論文標題 Corrected error bound for the real gamma function using the DE formula	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications	6. 最初と最後の頁 593-596
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34385/proc.71.C5L-E-04	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 田中 健一郎、岡山 友昭	4. 巻 33
2. 論文標題 Sinc数値計算法序論	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 応用数理	6. 最初と最後の頁 40-47
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11540/bjsiam.33.1_40	査読の有無 無
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 Tomoaki Okayama, Tomoki Nomura, Saki Tsuruta	4. 巻 389
2. 論文標題 New conformal map for the trapezoidal formula for infinite integrals of unilateral rapidly decreasing functions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Computational and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 113354
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cam.2020.113354	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 Tomoaki Okayama, Tomoya Shiraishi	4. 巻 13
2. 論文標題 Improvement of the conformal map combined with the Sinc approximation for unilateral rapidly decreasing functions	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 JSIAM Letters	6. 最初と最後の頁 37-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14495/jsiaml.13.37	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 Tomoaki Okayama	4. 巻 14
2. 論文標題 Double-exponential formula for infinite integrals of unilateral rapidly decreasing functions	5. 発行年 2022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.14.17	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 Tomoaki Okayama, Yuya Shintaku and Eisuke Katsuura	4. 巻 373
2. 論文標題 New conformal map for the Sinc approximation for exponentially decaying functions over the semi-infinite interval	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Computational and Applied Mathematics	6. 最初と最後の頁 112358
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.cam.2019.112358	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 Tomoaki Okayama and Shu Hanada	4. 巻 186
2. 論文標題 A modified Stenger's quadrature formula for infinite integrals of unilateral rapidly decreasing functions and its theoretical error bound	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Mathematics and Computers in Simulation	6. 最初と最後の頁 3-18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matcom.2020.03.006	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 Tomoaki Okayama and Ryota Hara	4. 巻 -
2. 論文標題 Sinc-collocation methods for exponential decay initial value problems	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2020 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications	6. 最初と最後の頁 509-512
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34385/proc.74.D2L-D-1	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 Ryota Hara and Tomoaki Okayama	4. 巻 10
2. 論文標題 Error analyses of Sinc-Nystroem methods for initial value problems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nonlinear Theory and Its Applications, IEICE	6. 最初と最後の頁 465-484
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1587/nolta.10.465	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 Tomoaki Okayama and Chisei Kurogi	4. 巻 12
2. 論文標題 Improvement of selection formulas of mesh size and truncation numbers for the double-exponential formula	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JSIAM Letters	6. 最初と最後の頁 13-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14495/jsiaml.12.13	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 Ken' ichiro Tanaka, Tomoaki Okayama and Masaaki Sugihara	4. 巻 234
2. 論文標題 An optimal approximation formula for functions with singularities	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Approximation Theory	6. 最初と最後の頁 82-107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jat.2018.06.004	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 Tomoaki Okayama and Ryota Hamada	4. 巻 11
2. 論文標題 Modified SE-Sinc approximation with boundary treatment over the semi-infinite interval and its error bound	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JSIAM Letters	6. 最初と最後の頁 5-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.14495/jsiaml.11.5	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 Ryota Hara and Tomoaki Okayama	4. 巻 -
2. 論文標題 Improvement of Sinc-Nystroem methods for initial value problems	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications	6. 最初と最後の頁 651-654
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	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 Tomoaki Okayama	4. 巻 58
2. 論文標題 Theoretical analysis of Sinc-collocation methods and Sinc-Nystroem methods for systems of initial value problems	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 BIT Numerical Mathematics	6. 最初と最後の頁 199-220
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10543-017-0663-z	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 Tomoaki Okayama	4. 巻 324
2. 論文標題 Theoretical analysis of a Sinc-Nystroem method for Volterra integro-differential equations and its improvement	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Mathematics and Computation	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.amc.2017.11.062	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 Ryota Hara and Tomoaki Okayama	4. 巻 -
2. 論文標題 Explicit error bound for Muhammad-Mori's SE-Sinc indefinite integration formula over the semi-infinite interval	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2017 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications	6. 最初と最後の頁 677-680
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.34385/proc.29.C2L-C-5	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 -

[学会発表] 計30件(うち招待講演 1件/うち国際学会 14件)

1. 発表者名 Tomoaki OKAYAMA, Ryota HARA and Shun'ichi GOTO
2. 発表標題 Error analyses of Sinc-collocation methods for exponential decay initial value problems
3. 学会等名 Second International Conference on Mathematical And Computational Modelling, Approximation and Simulation (MACMAS 2023) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tomoaki Okayama
2. 発表標題 Sinc-collocation methods with consistent collocation points for Fredholm integral equations of the second kind
3. 学会等名 International Conference on Functional Analysis, Approximation Theory and Numerical Analysis (FAATNA20>22) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 岡山友昭, 田中健一郎
2. 発表標題 二重指数関数型減衰関数に対するSinc関数近似に基づく微分近似の誤差評価
3. 学会等名 日本応用数理学会2022年度年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoaki Okayama
2. 発表標題 Corrected error bound for the real gamma function using the DE formula
3. 学会等名 The 2022 International Symposium on Nonlinear Theory and Its Applications (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 幸阪忠俊, 岡山友昭
2. 発表標題 DE変換と組み合わせたSinc関数近似に基づく有限区間における導関数の近似法とその理論誤差評価
3. 学会等名 日本応用数理学会2023年研究部会連合発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 土山紗矢, 岡山友昭
2. 発表標題 DE変換と組み合わせたSinc関数近似に基づく半無限区間における導関数の近似法とその理論誤差評価
3. 学会等名 日本応用数理学会2023年研究部会連合発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Tomoaki Okayama
2. 発表標題 Yet another Sinc indefinite integration formula
3. 学会等名 5th Dolomites Workshop on Constructive Approximation and Applications (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoaki Okayama and Shota Ogawa
2. 発表標題 Improvement of selection formulas of mesh size and truncation number for the DE-Sinc approximation and its theoretical error bound
3. 学会等名 The 19th International Symposium on Scientific Computing, Computer Arithmetic, and Verified Numerical Computations (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川井祐太, 岡山友昭
2. 発表標題 DE公式に対する刻み幅と打ち切り数の決定式の改善と理論誤差評価
3. 学会等名 日本応用数理学会2022年研究部会連合発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小川翔大, 岡山友昭
2. 発表標題 DE-Sinc関数近似の刻み幅と打ち切り数の決定式の改善と理論誤差評価
3. 学会等名 日本応用数理学会2021年研究部会連合発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 廣畑克哉, 岡山友昭
2. 発表標題 指数的減衰関数の半無限積分に対し複合台形則と組み合わせる二つの変数変換の優劣の理論解析
3. 学会等名 日本応用数理学会2021年研究部会連合発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Tomoaki Okayama and Ryota Hara
2. 発表標題 Sinc-collocation methods for exponential decay initial value problems
3. 学会等名 The 2020 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 岡山友昭
2. 発表標題 片側急減衰関数の全無限積分に対する二重指数関数型数値積分公式
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 岡山友昭
2. 発表標題 変数変換型数値計算法の発展について
3. 学会等名 数値解析談話会2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岡山友昭, 黒木治世
2. 発表標題 二重指数関数型数値積分公式の理論誤差評価の改善
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 Tomoaki Okayama and Shu Hanada
2. 発表標題 A modified Stenger's quadrature formula for infinite integrals of unilateral rapidly decreasing functions and its theoretical error bound
3. 学会等名 Mathematical and Computational Modelling, Approximation and Simulation 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野村友暉, 岡山友昭
2. 発表標題 片側急減衰関数の全無限積分に対する鶴田らのSE公式の理論誤差評価の改善
3. 学会等名 日本応用数理学会2020年研究部会連合発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 白石朋也, 岡山友昭
2. 発表標題 片側急減衰関数に対するSE-Sinc関数近似の改善と理論誤差評価
3. 学会等名 日本応用数理学会2020年研究部会連合発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 原涼太, 岡山友昭
2. 発表標題 微分方程式の初期値問題に対するSinc-Nystroem法の誤差解析
3. 学会等名 第47回数値解析シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomoaki Okayama, Yuya Shintaku and Eisuke Katsuura
2. 発表標題 New conformal map for the Sinc approximation for exponentially-decaying functions over the semi-infinite interval
3. 学会等名 Numerical Analysis and Scientific Computation with Applications 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ryota Hara and Tomoaki Okayama
2. 発表標題 Improvement of Sinc-Nystroem methods for initial value problems
3. 学会等名 The 2018 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoya Yamanaka, Tomoaki Okayama and Shin'ichi Oishi
2. 発表標題 Verified algorithm for the sine integral
3. 学会等名 The 18th International Symposium on Scientific Computing, Computer Arithmetic, and Verified Numerical Computations (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Fuminori Tatsuoka, Tomoaki Okayama, Shao-Liang Zhang and Masaaki Sugihara
2. 発表標題 A note on computing the $p$ th root of Sinc matrices
3. 学会等名 16th International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Naoya Yamanaka, Tomoaki Okayama and Shin'ichi Oishi
2. 発表標題 Verified error bounds for the gamma function using double exponential formula
3. 学会等名 International Workshop on Industrial Mathematics / ICIAM Board Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 岡山友昭, 瀧田亮太
2. 発表標題 半無限区間における境界を考慮したSE-Sinc関数近似の改善と誤差評価
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 原涼太, 岡山友昭
2. 発表標題 微分方程式の初期値問題に対するSE-Sinc-Nystroem法の改善
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 Naoya Yamanaka, Tomoaki Okayama and Shin'ichi Oishi
2. 発表標題 Verified algorithm for the gamma function using double exponential formula and its applications
3. 学会等名 The 36th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ryota Hara and Tomoaki Okayama
2. 発表標題 Explicit error bound for Muhammad-Mori's SE-Sinc indefinite integration formula over the semi-infinite interval
3. 学会等名 The 2017 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 原涼太, 岡山友昭
2. 発表標題 微分方程式の初期値問題に対するDE-Sinc-Nystroem法の改善
3. 学会等名 日本応用数理学会2018年研究部会連合発表会
4. 発表年 2018年



1. 発表者名 鶴田早紀, 花田脩, 岡山友昭
2. 発表標題 片側急減衰関数の無限積分に対するSE公式の改善と理論誤差評価
3. 学会等名 日本応用数理学会2018年研究部会連合発表会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 田中 健一郎、岡山 友昭	4. 発行年 2023年
2. 出版社 岩波書店	5. 総ページ数 280
3. 書名 変数変換型数値計算法	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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