

機関番号：12301

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2008～2010

課題番号：20540105

研究課題名（和文）再生核の逆問題への応用と工学的展開

研究課題名（英文）Applications of the reproducing kernel theory to inverse problems and their engineering approach

研究代表者

松浦 勉 (MATSUURA TSUTOMU)

群馬大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：80181692

研究成果の概要（和文）：我々の開発した、再生核理論とチホノフの正則化理論の融合理論もちいて、いくつかの逆問題に挑戦し、具体的な解の計算アルゴリズムを開発した。具体的には、ラプラス変換の実逆変換の解法、特異値分解による解法、非線形変換の逆変換の表現方法に関する研究、混合信号の分離についての研究を行った。とくに、ラプラス変換の実逆問題に対しては、現場に広く応用していただくこと、そのアルゴリズムを特許申請した。

研究成果の概要（英文）：We developed a new type of Tihonov regularization combined with the theory of reproducing kernels. Using our method of regularization we have challenged some famous and historically difficult inverse problems. Furthermore we designed concrete algorithms for solving those problems. In particular we studied real inversion of Laplace transform, solving method by singular value decomposition, representation of inverse transform of nonlinear mapping and separation of mixed signals. In addition for engineer in the field we filed a patent application of our algorithm for inversion of Laplace transform.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：数理工学

科研費の分科・細目：数学・数学一般（含確率論・統計数学）

キーワード：逆問題，再生核理論，ラプラス実逆変換，正則化

1. 研究開始当初の背景

(1) 再生核理論については、研究分担者（齋藤）が長年その理論的リーダーとして世界で活躍しているが、それらの理論を具体的な問題に応用することに関しては、計算アルゴリズム構築の困難性より少数の簡単な例を扱っただけであった。

(2) 松浦（代表研究者）は学生時代より、数理工学を専攻し、神経回路網の数理や統計

的学習理論、非線形最適化問題、パターン認識、サポートベクタマシン、独立成分分析などに関する研究を行ってきた。逆問題にも非常に興味があったが、非適切性、数値的不安定性等は知識として知っており、現場から大きな要請があるにもかかわらず、具体的に適切なアルゴリズムを構築することは困難なことと、この分野を静観していた。

(3) ラプラス変換の実逆変換については、

ダイナミック・プログラミングで有名な応用数学者 Bellman, Kalaba などによる数値的ラプラス逆変換 (Numerical Inversion of the Laplace Transform, Elsevier, 1966) や、数学者の Post, Widder などによる研究があるが、最近のこの方面の集大成の専門書 "Numerical Methods for Laplace Transform Inversion" (Springer, 2007) にも、「非適切性の典型的な逆問題の難問であり、いまだ妥当な解決方法は見いだせていない。」と書かれている。

(4) 熱伝導の逆問題に関して、松浦と齋藤は、再生核理論とチホノフの正則化手法を組み合わせることにより、解の陽的表現を得ていた。また、この表現に基づく数値解法アルゴリズムも構築し、数値実験によって方法の妥当性を確認していた。

(5) 上記の研究の際に、チホノフの正則化手法を応用することにより、逆問題の作用素方程式を解く一般論を発見した。またこの方法で従来解き得なかった様々な逆問題を解く手がかりが得られるのではないかとの感触を得ていた。

2. 研究の目的

(1) 物理や工学、医学などの分野に広汎に存在し、現実の問題を扱うのには非常に重要と認識されてはいるが (たとえ解の存在や一意性が証明されていたとしても)、具体的に解くことは非現実的で困難だと考えられてきた幾多の重要な逆問題群がある。我々の方法を用いて、これらの問題に対する実際的で有効な計算アルゴリズムを確立し、現場に便利な形で提供することが最大の目的である。

(2) 我々の見出した逆問題の解構成方法を具体的な逆問題に応用することによって、解の表現を得ることも目的の一つである。

(3) 信号解析や画像解析における逆問題に関して、我々の手法を応用して、従来解くことが困難であった問題に解決の糸口を見出す。

(4) 現場で簡便に応用できる形にアルゴリズムを構築し、産業界に広く利用してもらうことを目指す。

3. 研究の方法

(1) 個々の逆問題を適切に定式化し、それを解くための妥当な関数空間を設定して、その空間の再生核関数を見出し、チホノフの正則化手法と組み合わせることによって、近似解の表現を得る。

(2) 上記の近似解表現を解くための具体的なアルゴリズムを構築し、数値的不安定性を避けながら計算する方法を見出す。

(3) 上記アルゴリズムをプログラム化して、普通の (一般的な PC の) 精度で十分実用的な数値解が得られるかを検証する。得られな

い場合は無限精度計算ライブラリを使用して、この困難を解決できるかを検討する。さらにそれらが実用的な時間内で計算できるかを調査する。

4. 研究成果

(1) ラプラス実逆変換について、我々の方法 (再生核理論) を用いて高精度計算を行いその有用性について検証した。また特異値分解を用いた方法を開発し、この方法による計算結果との比較を詳細に行った。その結果、方法論の簡明さや適用範囲の柔軟性の観点からは、再生核理論を用いる方法が有利であることを明らかにすることができた。

(2) 産業界への寄与を目指し、上記の方法を群馬大学と京都大学の共同で、特許申請を行った。

(3) 非線形変換の逆変換の表現方法に応用する研究もおこなった。一般次元の非線形変換の逆変換を元の変換形式を用いて表現することは、従来の常識からすれば思いもよらないことであり、その意外性から大きな反響を呼んでいる。この表現形式は再生核理論のほか一般化されたストークスの定理、外微分の方法などを駆使し得られたものであり、はからずも微分形式理論の強力さを実証したものと見える。この成果を応用志向の強い日本機械学会講演会や CPIM (International Conference on Precision Instrumentation and Measurement) 2010 で発表したところ、会場の実務者からいくつかの現場の問題に適用できるのではないかという意見を頂き、それらの方々との共同研究も始まりつつある。

(4) コーシー問題の数値的解法に再生核理論を応用する研究もおこなった。これは本研究課題の開始以前にすでに手掛けていたものであるが、境界の形状に依存しないことを強調する論文を作成し、その有用性を応用数学界にアピールした。

(5) 信号処理における大きなテーマである混合信号の分離について、我々の方法にウェーブレット変換を取り入れた手法を考案した。この方法も従来の (画像解析を含む) 信号処理工学の分野には全くなかった発想であり、この分野の研究者には驚きであったようである。

(6) 一般逆行列の計算方法を再生核理論の立場から導いた。数値計算の分野では一般逆行列の解法は既に確立されたものと考えられているが、再生核理論の立場から光をあてることにより、異なる側面が見えてきた。現在のところ、これが今後どのように発展していくか不明であるが、何か工学的な応用が考えられないかと思案しているところである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 14 件)

① Tsutomu Matsuura, Saburo Saitoh, Approximate solutions for the Poisson equation by using the theory of reproducing kernels, Journal of the Japan Society of Applied Electromagnetics and Mechanics, 査読有, 2011, in press.

② Tsutomu Matsuura, Amirul Faiz and Kouji Kiryu, Separation and reproduction of mixed images using 2-D complex wavelet transform, Applied Mechanics and Materials, 査読有, Vol. 36, 2010, 466-475.

③ Tsutomu Matsuura and Saburo Saitoh, Integral and Direct Representations of Nonlinear Inverse Mapping, Applied Mechanics and Materials, 査読有, Vol. 36, 2010, 476-484.

④ K. Iwamura, T. Matsuura and S. Saitoh, A numerical construction of a natural inverse of any matrix by using the theory of reproducing kernels with the Tikhonov regularization, Far East Journal of Mathematical Education, 査読有, Vol. 4, 2010, 141-149.

⑤ L. Castro, Q. Chen and S. Saitoh, Source inversion of heat conduction from a finite number of observation data, Appl. Anal., 査読有, Vol. 89, 2010, 801-813.

⑥ Y. Sawano, M. Yamada and S. Saitoh, Singular integral inequalities and natural regularizations, Math. Inequal. Appl., 査読有, Vol. 13, 2010, 289-303.

⑦ Tsutomu Matsuura, Real inversion formulas and numerical experiments of the Laplace transform by using the theory of reproducing kernels, Procedia Social and Behavioral Sciences, 査読有, Vol. 2, 2010, 111-119.

⑧ H. Fujiwara, T. Matsuura, S. Saitoh and Y. Sawano, Numerical Real Inversion of the Laplace Transform by using a high-accuracy numerical method, Further Progress in Analysis, World Scientific, 査読有, 2009, 574-585.

⑨ T. Matsuura and S. Saitoh, Analytical and numerical real inversion formulas of the Laplace transform, More Progresses in Analysis, World Scientific, 査読有, 2009, 191-200.

⑩ T. Matsuura, S. Saitoh and M. Yamamoto, Numerical Cauchy problems for the Laplace equation, More Progresses in Analysis, World Scientific, 査読有, 2009, 1375-1384.

⑪ H. Fujiwara, T. Matsuura, S. Saitoh and Y. Sawano, Real Inversion of the Laplace Transform in Numerical Singular Value Decomposition, Journal of Analysis and Applications, 査読有, Vol. 6, 2008, 55-68.

[学会発表] (計 7 件)

① 松浦勉, Approximate solutions for the Poisson equation by using the theory of reproducing kernels, Asia-Pacific Symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, 2010. 7. 29, Hotel Istana Kuala Lumpur (クアラルンプール、マレーシア)

② 松浦勉, Integral and Direct Representations of Nonlinear Inverse Mapping, CPIM 2010, 2010. 3. 18, 桐生市民文化会館 (群馬県)

③ 松浦勉, Real inversion formulas and its numerical experiments of the Laplace transform by using the theory of reproducing kernels, SPC 2009, 2009. 10. 29, 桐生市市民文化会館 (群馬県)

④ 松浦勉, 非線形写像の逆写像の積分表現, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会 2009 前橋, 2009. 9. 26, 群馬高専 (群馬県)

⑤ 松浦勉, Numerical solutions of nonlinear simultaneous equations, ISAAC 2009, 2009. 7. 11, Imperial College London (ロンドン、英国)

⑥ 松浦勉, 再生核理論を用いたラプラス実逆変換, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会, 2008. 9. 19, 小山高専 (栃木県)

⑦ 松浦勉, sinc 関数近似によるラプラス実逆変換アルゴリズム, 日本機械学会関東支部ブロック合同講演会, 2008. 9. 19, 小山高専 (栃木県)

〔産業財産権〕

○出願状況（計2件）

①

名称：逆ラプラス変換プログラム，逆ラプラス変換のためのテーブル作成プログラム，逆ラプラス変換の数値解算プログラム，および逆ラプラス変換装置

発明者：藤原宏志、齋藤三郎、松浦勉

権利者：国立大学法人群馬大学、国立大学法人京都大学

種類：特許

番号：12/673718

出願年月日：2010. 2. 16

国内外の別：外国

②

名称：逆ラプラス変換プログラム，逆ラプラス変換のためのテーブル作成プログラム，逆ラプラス変換の数値解算プログラム，および逆ラプラス変換装置

発明者：藤原宏志、齋藤三郎、松浦勉

権利者：国立大学法人群馬大学、国立大学法人京都大学

種類：特許

番号：PCT/JP2008/064453

出願年月日：2009. 8. 12

国内外の別：国内

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松浦 勉 (MATSUURA TSUTOMU)

群馬大学・大学院工学研究科・准教授

研究者番号：80181692

(2) 研究分担者

齋藤 三郎 (SAITOH SABUROU)

群馬大学・名誉教授

研究者番号：10110397