

氏 名 宮 本 定 明
みやもとさだあき
 学位の種類 工 学 博 士
 学位記番号 工 博 第 547 号
 学位授与の日付 昭 和 53 年 3 月 23 日
 学位授与の要件 学 位 規 則 第 5 条 第 1 項 該 当
 研究科・専攻 工 学 研 究 科 数 理 工 学 専 攻
 学位論文題目 **Studies on indentification of distributed parameter systems by regularization method**
 (正則化法による分布定数系の同定に関する研究)

論文調査委員 (主査) 教授 榎木義一 教授 得丸英勝 教授 明石 一

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、分布定数系の同定問題ならびにその環境汚染問題への応用について行なった研究成果をまとめたものであり、序論、本論5章、考察の7章よりなっている。

第1章は序論であり、従来行われてきた分布定数系に関する諸研究の系統的紹介を試み、それらについて問題点を指摘することによって、本論文の主題が分布定数系の未知入力同定であることを述べ、あわせて本論文の概要と構成について述べている。

第2章においては、この入力同定問題を偏微分方程式の逆問題として考察する方法を述べ、その解法として正則化の方法を提案している。まず、正則化の方法が、適切でない第1種の方程式の正則な変分問題による近似であることを述べ、正則化汎関数の導入によってもとの問題の近似解が得られることを証明している。次に、入力同定の問題が正則化法によって、ある自乗評価関数の最適化に帰着させられることを述べ、あわせて正則化法と従来の統計的状態推定法との関連について議論している。さらに数値例によって本方法の有効性を実証している。

第3章では、正則化法の適用により得られた最適化問題を解析することによって、逐次的に系の状態推定を行う公式が得られることが示されている。初めに未知の入力関数が空間変数と時間変数の2変数の関数である場合、カルマン・フィルターに類似した推定式が得られることが示されている。つぎに入力が空間変数のみの関数であるとき、未知要素を新たな状態変数と解釈することによって、状態推定が行われることを証明している。

第4章では、上述の方法を環境汚染問題に応用し、河川の汚染源同定の問題を考察している。すなわち、河川の汚染指標として BOD (生物化学的酸素要求量)、DO (溶存酸素量) をとりあげ、その濃度を状態変数と考へて、定数係数偏微分方程式系で記述している。流れ方向に沿う汚染源の分布を、系の強制入力として表わし、この入力の同定のため、数点の測定点における汚染濃度のデータを用いている。実際の応用のために幾つかの異なった仮定のもとで問題が数種類の第1種積分方程式に帰着するこ

とが示され、正則化法によって安定な解が得られたことが述べられている。そして幾つかの数値例において、アルゴリズムの有効性が示されている。

第5章で扱われる問題は前章とはほぼ同一のものであるが、前章では積分核の陽な表示が可能な問題を論じたのに対し、一般には偏微分方程式の解を陽に表示することは困難であるので、本章では陽な表示が困難な場合を考察している。すなわち、偏微分方程式系を差分近似することにより、正則化汎関数の Euler 方程式をある代数方程式で近似するアルゴリズムを導出している。数値例はこのアルゴリズムが有効であることを示している。

第6章は、偏微分方程式系の未知な係数を同定する問題を論じている。この問題を本論文では双線形偏微分方程式系の最適化問題と考え、解法として傾斜法を適用するため、この最適化問題のグラジエントの存在を証明し、随伴方程式の導入によるグラジエントの表示を考察している。この章の特徴は関数解析に基づく評価関数の導関数の存在の証明およびその系として最大原理が導出されている点にある。

第7章は、前章までの議論をまとめ、分布定数系の諸分野との関連や、未解決の問題、将来の研究への見通しなどについて考察が行われている。

論文審査の結果の要旨

大気汚染や河川汚染の現象の把握と制御は、現在、システム工学の重要な1分野をなしているが、この論文は、このような環境問題に関連した分布定数系の同定を、偏微分方程式の逆問題の立場から考察したものである。

系の状態変数の推定値を観測データから求める状態推定問題は集中定数系、分布定数系を問わず広く研究されているが、著者は特に分布定数系において未知の強制入力 of 同定が重要であることに注目している。すなわち、環境系において強制入力 is 一般に汚染源からの排出を意味することが多いので、その探知、同定は実際上有意義かつ重要と思われる。従来、汚染源の情報を観測データの解析により把握しようとする試みは少く、この論文のように逆問題と正則化に基づくこの種の方法は応用上極めて意義深いものがある。

著者が用いている正則化法とは、適切性が明らかでない問題、すなわち解の存在、一意性、データへの連続性、いいかえると観測データの微少な誤差が求める解に大きな誤差を与えたり発散させる性質が明らかでない問題を、適切な問題による近似によって解く方法である。この論文では、まず入力の同定問題が、適切でない第1種の方程式に帰着させられ、正則化法の適用によって、自乗評価関数の最適化問題として定式化される。正則化法自体は以前から利用されてきた概念であるが、著者の用いている方法はチホノフの正則化法の一変形というべきもので、この論文でも議論されているように、従来用いられてきた分布定数系の同定のための統計的方法や状態推定法と比較して、著者の方法はいくつかの点においてその長所を示していると認めることができる。すなわち、(1)解の誤差範囲、安定性に関して関数解析的な厳密な考察を行い、従来の諸研究を含む分布定数系の同定アルゴリズムの統一的解釈を可能にした。(2)チホノフの正則化汎関数をより簡略化することにより、カルマン・フィルタのような統計的逐次推定法と類似の状態推定法を考察している。(3)集中定数系にみられるパラメータ推定法を分布定数

系に拡張する試みがなされた。

一方応用面で、この論文は、河川の汚染源同定の問題を扱っている。汚染源同定の問題はその重要性にもかかわらず、定式化の困難さと数値計算の不安定のため放置されてきた。本論文では、流域に沿う一点あるいはたかだか数点の汚染濃度測定という現実的条件および汚染源の排出パターンが空間変数の関数と時間変数の関数との積に変数分離されるという仮定を用いて解を求めている。問題の解は第1種積分方程式の正則化、あるいはシステム方程式の有限差分近似によって計算され、アルゴリズムが有効であることが、数値例から判断される。

この論文は上述の入力同定問題にとどまらず、非線形のパラメータ推定に関しても興味ある結果を与えている。この問題は一般に自乗評価関数の最適化問題として定式化でき、勾配法に基づくアルゴリズムが適用されることが多い。著者は広汎なパラメータのクラスに対して成立する勾配の計算法を与え、関数解析に基づく新しい証明を示している。この方法はパラメータに対する状態変数の感度関数を用いている点で新しい方法と考えられる。

要するに、この論文は、いままでに研究例が少なく、しかも応用上重要な系の入力の同定問題およびパラメータ同定問題を考察し、理論的に興味ある様々な数学的結果を導出しつつ、一方で環境システム解析への応用をめざしたもので、その手法は応用範囲が広く、学術上、実際上寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。