

Title	RI動態時系列および画像修復のための数学モデルと統計解析に関する研究
Author(s)	水谷, 寛
Citation	大阪大学, 1984, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/33873
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉 大阪大学の博士論文について 〈/a〉 をご参照ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名・(本籍)	みず 水	たに 谷	ひろし 寛
学位の種類	工	学	博 士
学位記番号	第	6 4 7 2	号
学位授与の日付	昭和 59 年 3 月 24 日		
学位授与の要件	工学研究科 応用物理学専攻 学位規則第 5 条第 1 項該当		
学位論文題目	R I 動態時系列および画像修復のための数学モデルと統計解析に関する研究 (主査)		
論文審査委員	教授 杉山 博 教授 藤井 克彦 教授 児玉 慎三 教授 南 茂夫 教授 西田 俊夫		

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、R I 動態曲線の時系列解析および画像修復という問題に対して、それぞれに妥当な数学モデルの考察を行うと共に、統計解析に基づく新しいデジタル処理法とその応用に関する研究をまとめたもので次の 6 章から構成されている。

第 1 章では、R I 動態曲線の時系列解析および統計的画像修復という 2 つのテーマに関する過去の研究経過と本論文で扱う問題を明確にしている。

第 2 章では、R I 動態を表現する線形コンパートメント・モデルおよび逐次画像修復のための拡張された確率的 Semi-Causal 画像モデルを提案し、その意義について述べている。

第 3 章では、R I 動態曲線と逐次画像修復のための統計解析手法とデータ処理法を統括し、第 2 章で設定された数字モデルに含まれる、未知パラメータの最尤推定法を観測値系列に基づいて定式化し、この場合の最尤推定値を求めるための方法として、非線形最適化法を用いる反復数値解法を提案している。次に、雑音を含む観測値系列から線形動的システムの状態を推定するための有力な方法である Kalman 推定機構について記述し、これが逐次画像修復に有用であることを述べている。最後に、設定された数学モデルの妥当性を検定するための統計的手法と、パターン判別法について述べている。

第 4 章では、上述の数字モデルと統計解析に基づいて行われた、R I 動態曲線の時系列解析による 2 つの具体的な研究結果について述べている。その 1 つである局所脳血流量の推定に関する研究では、その推定結果のほか、R I 入力関数として、従来広く使われてきたインパルス入力関数よりも指数関数形の入力関数の方が、より妥当な入力モデルであることを推論している。もう 1 つは、膝関節部を対象とした骨と関節滑膜における R I 動態に関する研究結果である。ここでは、提案した 2 コンパートメント・

モデルに含まれる2つのパラメータによって、骨腫瘍と関節滑膜炎という異なる疾患の判別を可能にする統計的パターン解析法を提案している。

第5章では、第2章と第3章で記述した数学モデルと統計解析に基づいて、画像修復に関する問題を扱い、加法的雑音と流れによって劣化した画像の修復問題、2次元画像の同定問題として未知パラメータとモデルの次数を推定する問題、そして因果性の仮説を考慮した画像の修復問題について論ずると共に、その研究結果を述べている。更に、ここで提案した一連の画像同定・修復アルゴリズムにより、原画像に対するパワースペクトル等の統計量が先験的に与えられていない場合でも、劣化画像の修復が可能であることを示している。また、尤度比の利用により因果性の仮説を考慮した修復アルゴリズムを導出している。

第6章は総括で、以上の研究を通じて得られた結論と今後の課題について述べている。

論文の審査結果の要旨

本論文は、種々の具体的な問題に関連して行われたRI 動態曲線の時系列解析、及び劣化画像の修復問題における、数学モデルの考察に基づいた統計解析の新しいアルゴリズムとその応用に関する研究結果をまとめたもので、その主要な成果は次の通りである。

- (1) RI 動態曲線の時系列解析に関して、局所脳血流量の推定、及び膝関節部を対象とした骨と関節滑膜におけるRI 動態の推定問題をとりあげ、線形コンパートメント・システムの応用として、それぞれの動態の数学モデルを提案した。次に、それらの数学モデルに含まれる未知パラメータの最尤推定値と誤差分散を求めるための方法として、非線形最適化法を用いる反復数値解法を提案した。

まず、局所脳血流量の推定については、灰白質に対応して、2コンパートメント・モデルを設定するにあたり、並列モデルと直列モデルの2種類を考え、実データにもとづいて各モデルの適合度を検討した結果、並列モデルが妥当であることを立証すると共に、この並列モデルに基づいて灰白質と白質に対応する局所脳血流量の推定結果を与えている。次に、局所脳血流量をPoisson カウント時系列から推定するにあたり、RI トレーサが注入される際の入力関数形について実データを用いた検討を行い、従来から広く想定されているインパルス入力関数よりも指数関数形の入力関数を用いる方がより妥当であることを推論している。

つぎに、膝関節部を対象としたRI 動態に関する研究においては、血流を含む軟部組織と骨組織から構成される2コンパートメント・モデルについて考察し、RI の骨組織への吸着係数及び骨から血流中への遊離係数をも考慮に入れて、骨組織内のRI トレーサ量 $X(t)$ と軟部組織内のRI トレーサ量 $U(t)$ とを簡潔な微分方程式によって関係づけ、 $U(t)$ には1個の減衰係数を用いた関数形を設定した上で、 $X(t)$ を求め、ついで2コンパートメント・システム全体として観測されるRI トレーサ総量、即ちシステム全体の強度関数を求めている。次に、この強度関数の中に含まれる3つの未知パラメータの値を予め与えた上で、再びこれらを未知パラメータとして、観測されたPoisson

カウントの時系列から推定するためのシミュレーション実験を行い、本研究で提案した未知パラメータの推定アルゴリズムが、実用上有用であることを確認した。更に、提供された膝関節部の各部位ごとの実データから求めた未知パラメータの推定値の組を用いる統計的パターン解析法を提案し、膝関節部の病変が骨腫瘍であるか関節滑膜の炎症であるかを、従来の方法に比較してきわめて短い時間内に判別できることを確認した。

- (2) 他方、統計的画像修復の研究においては、離散的2次元画像における i 行、 j 列の画素が指標 j については或る有限次数だけさかのぼった過去からの画素と相関を持つという意味で因果的であり、指標 i については $i-1$ 行と、 $i+1$ 行の座標をもつ画素に依存するという意味で非因果的である数学モデルを考え、これに2次元正規性白色雑音を印加したものが現在の画素であるとするモデルを提案し、これを拡張された確率的Semi-Causalモデルと名付けた。ついで、このSemi-Causalモデルにサイン変換行列を導入することによって2次元の画像方程式が、行を表す指標 i について互いに独立な1次元スカラー方程式の集合に帰着できることを示した。その結果としてKalman フィルタリングの適用と画像同定が容易になること、又このモデルが2次元画像の処理における計算時間の短縮に有用であることを示した。

次に、このモデルに基づいてKalman フィルタリングを適用するこの画像修復アルゴリズムが、加法的雑音及び原画像と画像センサーとの相対的な移動、即ち、流れによって劣化された画像の修復にも極めて有効であることを確かめた。更に、さきの拡張された確率的Semi-Causalモデルに含まれる未知パラメータの対数尤度関数の値を、非線形最適化のための方法を用いて最大にするアルゴリズムにより、この場合の未知パラメータの最尤推定値を的確に求め得ることを示した。また、これに関連して、赤池の情報量規準AICの値を最小にすることにより、拡張された確率的Semi-Causalモデルにおける次数決定が可能なこと、いくつかの候補モデルの中から最良のモデルを決定できることを示した。更に、以上の画像同定と修復のアルゴリズムにより、原画像に対するパワー・スペクトルや相関関数、また観測雑音の分散等の統計量が先験的に与えられていない場合でも、劣化画像の修復が、可能であることを示した。又、その修復度は前記の統計量が既知の場合とほぼ同程度であることを示した。終りに、顔や文字等、2次元画像における画素の指標 j の増大が、1次元信号処理における時間進展の方向と同様に、画面における左端から右端への移動に対応する場合と、その逆の場合を、仮説 H_1 及び H_2 とし、これを2次元画像における因果性の仮説と名付けた。更に、この因果性、換言すれば2次元画像における確率場の各方向に沿ったマルコフ性の度合を表す測度を尤度比により定式化した。次にこの尤度比を用い、因果性の仮説を考慮した画像修復アルゴリズムにより、修復度のより高い画像の修復が可能であることを確認した。

以上、本論文はRI 動態時系列および画像修復のための数学モデルに基づく統計解析の手法として、新しいデジタル・データ処理法を提案し、かつ又、種々の実際問題に関する応用研究を通じて、これらのデータ処理法の有用性を実証したもので、数理工学とその応用上寄与するところが大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。