

学 位 論 文 題 名

Theories and Applications on
Vibrating Potencial Method

（振動ポテンシャル法に関する理論とその応用）

学位論文内容の要旨

本論文は、場との相互作用を用いた新しい情報処理法の構築を試みたものである。周知のごとく工学の分野で一般的に用いられてきた情報処理法は、集中管理方式と分散管理方式の2つに大別される。すなわち、前者の特徴としては、比較的容易に制御が可能であるが、処理装置の故障などに弱く、処理速度が装置の能力に依存するなどの欠点がある。後者はこの欠点を補う可能性を持ち、複数の処理装置に対してタスクとしての情報処理の負荷分散を行い、高速処理性、対故障性に優れた処理が期待されるうえ、現在この分野の研究開発が盛んである。今日までに検討されている各種分散管理方式では、各処理装置を結線結合し相互通信しつつ、全体としての情報処理を実行することを前提としており、そこにおける各処理装置は個別的であり、統一的に取り扱うことが困難なため、結果として拡張性が悪くなる。さらに、すべての処理装置の実際の動きは、手続きの記述に依存していて結果として自律性、柔軟性に欠ける問題が指摘できる。

一方、自然界には、これらの結線・通信に基づく情報処理法以外に、光、音、臭いなどの伝播する情報を利用した処理法が広く用いられている。一般に動物だけでなく生命体すべての個体間の情報伝達はこの方法によっていることが知られている。この方法は“場”と呼ばれる特殊な仲介媒体を必要とするが、多種多様な情報を不特定多数の個体へ伝達できるという利点を備えていることが予想される。さらに、個体群の情報処理は場を通じて相互に情報交換することにより、自己組織的に行われており、そこでは、各個体群を管理する機能を持つような特別な個体が存在しない場合でも、高度な情報処理を実現している場合が多い。このような自然界における自己組織的情報処理方式は、工学における分散管理の研究に対して有効な情報処理機構を提供する可能性を持つものと考えられる。自己組織的現象そのもののモデルは Hermann Haken の研究における自己体制化、物質の原子レベルの性質と物質間の相互作用を方程式で記述した Schrodinger 方程式、あるいは、これを拡張した有機軌道論はタンパク質などの生体内物質の性質を表現する有

効な数理モデルなどが知られている。しかし、これらは特に情報処理機構の構築を意図したものではないゆえ、如何にして自然界における自己組織的情報処理方式を工学的に実現するかは未知の課題である。このような認識の下で、本研究は、本課題への一つのアプローチとして、場の概念を導入した情報処理法の理論構築とその応用を模索する。ここで提案する情報処理法は、基本的には並列分散処理法であり、それは、次の要件を満たすような状態空間からなるものと仮定する。

a) 各種情報処理装置間の非結線性：情報処理装置群間の双方向または一方向通信をも含む結線による情報伝達方式を前提条件としないような情報処理機構。

b) 情報処理モデル表現の統一性：処理対象モデルは一様に統一的に数式表現されるもののみを扱う。

c) 各情報処理装置挙動の自律性：情報処理の場に設定された因果律に従って、各情報処理装置は自律的に、全体としては並列分散的に問題解決に向かう挙動を示す。

本論文はこれらの要件 a) b) c) を満たすような情報処理モデルとその応用に関するものであり、3章から構成されている。

第一章において、まず必要となる情報処理装置、場、場を通じた複数情報処理装置間の情報伝播機構等を定義することにより理論構築を行う。ここで展開する情報処理構造ではすべての情報処理装置への情報の入出力は各装置と情報処理の場との相互作用によって媒介されるものであるため、情報処理の場を明示することが要求される。ここではこの場を2つに分けて設定する。すなわち、全ての装置の物理的存在が認識される場、いわゆる全体の場合および、個々の情報処理装置の張る場を考える。特に、全体の場合は、情報の媒体であり、複数の情報が同時に伝播する場合を考慮し、重ね合わせの可能な調和振動（個々の情報処理装置の張る場）によって構成されるものであるとして振動場と呼ばれる。各情報処理装置は処理すべき対象問題に固有に設定された対象問題表現形式にしたがって自律的に動作するものとする。また空間的相互作用能力を損なわないで情報の入出力を可能にすることを目的として、それぞれの処理装置は装置に固有の場を持ち、この場を通して全体の場合と相互作用をするようにする。以降ではこれら処理装置は便宜上ユニットと呼ばれる。

伝達を前提としない伝播に力点を置いた場における情報は、複数の情報が重畳された状態で同時に存在する。これを統一的に演算処理することを可能とすることを目的として、情報を空間的広がりをもつ強度分布（ポテンシャル）、その伝播媒介機構を波動とし、その表現に必要とされる座標系を各々のユニットに対して固定とする。これにより、例えば振動場上の波動の相互干渉

によって情報の伝播、装置への入出力は統一表現され、各ユニットは所定の演算によって、各ユニット座標上における場の状態を観測することができる。すなわち、ユニット間、ユニットと場の相互作用は全て2者相互作用で置き換えられることになり、情報処理システムとして完全な分散管理方式が構成される。そこで、目的とする情報処理の一方法として、これら情報処理装置、場、場を通じた複数情報処理装置間の情報伝播機構を統一的に記述することにより、ここで提案する振動ポテンシャル法が構築される。

第二章では本方法の自己組織的性質を示すために、生体／生体群の基本的機能を振動場を媒介した情報交換によってモデル化する試みについて記述している。そこでは、個々の生体を情報処理装置と見なして、次のような機能がシミュレートされている。生体間の情報交換を通じた機能分担、生体近傍の場の状態を情報として受け取ることにより進むべき方向を決定する機能、生体近傍の場の状態に依存して増殖の可否を決定する機能などを対象とした、これら本方法によって表現された機能は情報処理装置群が周囲の振動場の状態に依存したある安定状態に到達する傾向を示した。すなわち振動場の状態を問題空間であると捉えるならば、安定状態に到達する傾向は問題空間における探索的挙動であると見なすことができる。また、本方法がこれら生体の多様な機能を実現可能であることは、問題解決機としての有効性を示唆するものである。

第三章では、本方法を工学的諸問題解決に応用する方法と問題解決機としての能力について、ここでは展開した緒理論の有用性、正当性を評価するために、種々の工学的応用問題を対象として計算機数値実験を試みる。具体問題としては巡回セールスマン問題、ジョブショップスケジューリング問題、空間配置問題、把持問題、積木問題、ギヤーボックス設計問題、リンク機構設計問題にそれぞれアプローチした。この新しい情報処理法で処理されるべき問題は物理的相互作用と情報処理を同時並行的に処理することが要求されるような問題であり、対象とする問題の表現形式は一様に統一的な全領域関数により問題の持つ制約条件式を振動場上で表現するものである。最後にこれら問題解決の過程を調べることによって、ユニットの情報伝達、情報処理などの相互作用により振動場上のすべてのユニットの局所安定状態を探索することによってプログラムレス（自律的）に問題解決がなされることを示した。すなわち、従来の結線情報処理を基本とする情報処理法とは異なり、新しく場という媒体を通じて、振動により情報処理を実行できる理論の正当性と有用性を明らかにした。

学位論文審査の要旨

主査	教授	嘉数 侑 昇
副査	教授	池田 正 幸
副査	教授	島 公 侑
副査	教授	山田 元

並列情報処理は、その高速処理性、対故障性に優れた情報処理の可能性により、この実現に向けて多くの研究が進められている。しかしながら、今日までに検討されている方式では、各処理装置が結線結合し相互通信しつつ、全体として情報処理を実行することを前提としており、そこにおける各処理装置は個別的であり、統一的に取り扱うことが困難なため、結果として拡張性が悪くなり、すべての処理装置の実際の動きは、手続き的記述に依存して結果として自立性、柔軟性に欠けることが指摘されている。本論文は、これらの問題に対する一つのアプローチを目的として、場の概念を導入した情報処理法の理論構築とその応用を行ったものであり、3章から構成されている。

第一章において、まず必要となる情報処理装置、場、場を通じた複数情報処理装置間の情報伝播機構等を定義することにより理論構築が行われている。ここで展開している情報処理構造ではすべての情報処理装置への情報の入出力は各装置と情報処理の場との相互作用によって媒介されるものであるため、情報処理の場を明示することが要求される。それゆえ2つの場が設定される。すなわち、全ての装置の物理的存在が認識される場、いわゆる全体の場合および、個々の情報処理装置の張る場である。特に、全体の場合は、情報の媒体であり、複数の情報が同時に伝播する場合を考慮し、重ね合わせの可能な調和振動によって構成されている（振動場）。また、各情報処理装置（ユニット）は処理すべき対象問題に固有に設定された対象問題表現形式にしたがって自律的に動作するものとしている。伝達を前提としない伝播に力点を場における情報は、複数の情報が重畳された状態で同時に存在するので、これを統一的に演算処理することを可能とすることを目的として、情報を空間的広がりをもつ強度分布（ポテンシャル）、その伝播媒介機構を波動とし、その表現に必要とされる座標系を各々のユニットに対して固定としている。これにより、例えば振動場上の波動の相互干渉によって情報の伝播、装置への入出力は統一表現され、各ユニットは所定の演算によって、各ユニット座標上における場の状態を観測することができるようになっている。すなわち、ユニット間、ユニットと場の相互作用は全て2者間相互作用で置き換え

られることにより、情報処理システムとして完全な分散管理方式が構成される。これら情報処理装置、場、場を通じた複数情報処理装置間の情報伝播機構を統一的に記述することにより、ここで提案される振動ポテンシャル法が構築されている。

第二章では本方法の自己組織的性質を示すことを目的として、生体／生体群の基本的機能を振動場を媒介した情報交換によってモデル化する試みについて記述している。そこでは、個々の生体を情報処理装置と見なして、生体間の情報交換を通じた機能分担、あるいは人工虫の挙動模擬実験など人工生命問題への適用を試みその有用性を検証している。さらに、実験結果によるとこれら本方法によって表現された機能は情報処理装置群が周囲の振動場の状態に依存したある安定状態に到達する傾向を示している。すなわち振動場の状態を問題空間であるとして捉えるならば、安定状態に到達する傾向は問題空間における探索的挙動であると見なすことができる。また、本方法がこれら生体の多様な機能を実現可能であることは、問題解決機としての有効性を示唆するものである。

第三章では、本方法を工学的諸問題解決に応用する方法と問題解決機としての能力について、展開した諸理論の有用性、正当性を評価するために、種々の工学的応用問題を対象として計算機数値実験が試みられている。具体問題として TSP、スケジューリング問題、複数移動ロボット軌道計画、機構設計問題などにそれぞれアプローチがなされた。この新しい情報処理法で処理されるべき問題は物理的相互作用と情報処理を同時並列的に処理することが要求されるような問題であり、対象とする問題の表現形式は一様に統一的な全域的関数により問題の持つ制約条件式を振動場上で表現するものである。最後にこれら問題解決の過程を考察することにより、ユニットの情報伝達、情報処理などの相互作用から振動場上のすべてのユニット、ユニットの情報伝達、情報処理などの相互作用から振動場上のすべてのユニットの局所的安定状態を探索することによりプログラムレス（自律的）に問題解決がなされることが明らかにされている。

これを要するに著者は、従来の結線情報処理を基本とする情報処理法とは別に、新しく場という媒体を通じて、振動により自律分散的情報処理を実行可能な理論を提案し、本手法により物理的相互作用と、情報処理を同時並列的に実行することが要求されるような問題の安定解を求める技術が確立され、結果として統一的かつ自律的に問題解決が図れるような情報処理機構の構築可能性を提案・実証されていて、精密工学、ならびに情報工学の進歩に寄与するところが大きい。

よって、著者は、博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。