氏　　名	西山岳宏（にしやま たけひろ）
学位(専攻分野)	博　士（工　学）
学位記番号	工　博　第2097号
学位授与の日付	平成13年11月26日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	工学研究科航空宇宙工学専攻
学位論文題目	Algorithm for Optimization Problems Based on Bifurcation Characteristics of Dynamical Systems （力学系の分岐特性にもとづく最適化問題の解法）
論文調査委員	（主査）教授 土屋和雄　教授 井上紘一　教授 川原琢治

論文内容の要旨

本論文は，離散，および連続最適化問題に対して，力学系にもとづく効率的な解法の提案を目的として行った研究の成果をまとめたものであって，7章からなっている。

第1章は序論であり，本論文において対象とする最適化問題について，従来の解法の問題点を述べ，本論文で提案する解法の新規性，および有効性をまとめている。最適解を求めることが困難な大規模な最適化問題に対して，実用的な計算コストのもとで性能の良い解を求める方法として，力学系にもとづく解法がある。本研究では，力学系として，レプリケータモデル，振動子モデルと呼ぶ2つの新しいモデルを提案し，その分岐特性の詳細な解析を行い，その結果にもとづき，効率的な解法を提案している。提案する解法を離散，および連続最適化問題の両方に適用し，提案解法の有効性を検証している。

第2章では，2次割当問題と呼ばれる離散最適化問題に対して，レプリケータ方程式にもとづく力学系（レプリケータモデル）を構成し，その分岐特性の詳細な理論解析，および数値解析を行っている。力学系は，2次割当問題の評価指標と制約条件をもとに，適切に構成され，その平衡解は，一様解，遷移解，許容解の3種類に分類される。ここで，許容解とは最適化問題の許容解に対応した平衡解である。力学系に含まれる制御パラメータの値が十分小さい時，一様解が唯一の安定平衡解となり，制御パラメータの値が十分大きい時には，全ての許容解が安定となる。それぞれの許容解は，制御パラメータの値を増加させると昌次元の熊手型分岐を介して，性能の良いものから順に安定化することが示されている。すなわち，一様解の領域から制御パラメータの値を増加させると，一様解は1次元の熊手型分岐を繰り返し，遷移解を経て，ある1つの許容解にほぼ連続的に接続する。

第3章では，レプリケータモデルの分岐特性にもとづき，決定論的アニーリングと呼ぶ最適化アルゴリズムを提案し，その有効性を数値実験により検証している。制御パラメータの値を，一様解の領域から出発し，徐々に増加させる。力学系の分岐特性により，最終的にある1つの許容解が得られ，その解は一意的であり，最適化問題の良い解である。制御パラメータの増加量は，分岐構造にもとづいて効率的に制御される。提案アルゴリズムは2次割当問題の多くの問題例に適用され，性能の良い解が効率的に得られることが示されている。

第4章では，レプリケータモデルの分岐特性にもとづき，マルコフ連鎖モンテカルロ法にもとづく最適化アルゴリズムを提案している。制御パラメータの値を性能の良い許容解のみが安定に存在するよう，適切に設定する。そして，これらの安定平衡解により構成された探索空間において，マルコフ連鎖モンテカルロ法を適用する。すなわち，ある許容解から出発し，その近傍において力学系により新たな許容解を生成する。得られた許容解への遷移は，評価指標の増加量に応じて確率的に決定される。提案アルゴリズムを2次割当問題の多くの問題例に適用した結果，大規模な問題例に対しても，性能の良い解を短い時間で求め得ることが示されている。さらに，いくつかの問題例においては，現在得られている最良解と同じ評価指標値を持つ新たな解を，より短い時間で求め得ることが示されている。

第5章では，2次割当問題に対して，規準振動子を含む非線形振動子からなる力学系（振動子モデル）を構成し，その分

岐特性の解析にもとづく解法を提案し，その性能の検証を行っている。力学系は２次割当問題の評価指標と制約条件をもとに，適切に構成される。振動子モデルは，振動子間の引き込み現象により，２次割当問題の全ての許容解に対応した位相パターンを形成する。そして，それらの位相パターンは力学系に含まれる制御パラメータの値を増加させると，性能の良いものから順に安定化する。力学系のこれらの性質にもとづき，レプリケータモデルに対するものと同様の，マルコフ連鎖モンテカルロ法にもとづく最適化アルゴリズムを提案し，２次割当問題の多くの問題例に適用している。その結果，振動子モデルはレプリケータモデルとほぼ同等な性能を持つことが示され，さらに，レプリケータモデルよりも実計算時間を短縮し得ることが示されている。

第６章では，連続最適化問題に対して，力学系にもとづく大域的探索法を提案している。連続な決定変数の許容領域を有限個の格子点に分割し，連続最適化問題を目的関数値の小さい格子点を求める離散最適化問題として定式化する。そして，レプリケータモデルにもとづく力学系を構成し，上記で提案された決定論的アニーリングと逐次２次計画法を組み合わせた，大域的探索法を提案している。提案アルゴリズムは大域的最小値を求めることが困難な多峰性関数であるフレッチャー・パウエル関数に適用され，大域的最適解を効率的に求め得ることが示されている。

第７章は結論であり，本論文で得られた成果について要約している。

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

本論文は，力学系を用いた最適化問題の効率的な解法を提案することを目的として行った研究の成果をまとめたものであり，得られた主な成果は以下の通りである。

1. 離散最適化問題に対し，レプリケータ方程式（レプリケータモデル）にもとづく解法を提案した。提案する力学系には，最適化問題の全ての許容解に対応した平衡解が存在する事を明らかにし，その近似安定化条件を導出した。そして，力学系のこれらの性質にもとづいて，２種類の最適化アルゴリズムを提案した。提案するアルゴリズムを２次割当問題に適用し，その有効性を検証した。
2. 離散最適化問題に対し，規準振動子を含む非線形振動子系（振動子モデル）にもとづく解法を提案した。提案する力学系は，振動子間の引き込み現象により，最適化問題の全ての許容解に対応した位相パターンを形成することを明らかにした。そして，力学系のこれらの性質にもとづいて，最適化アルゴリズムを提案した。提案するアルゴリズムを２次割当問題に適用し，その有効性を検証した。
3. 離散最適化問題の解法をもとに，連続最適化問題に対する解法を提案した。連続な決定変数の許容領域を有限個の格子点に分割することで，連続最適化問題を目的関数値の小さい格子点を求める離散最適化問題として定式化し，上記で提案した最適化アルゴリズムと逐次２次計画法を組み合わせた最適化アルゴリズムを提案した。提案するアルゴリズムを，最小値を求めることが困難な多峰性関数であるフレッチャー・パウエル関数に適用し，その有効性を検証した。

以上要するに，本論文は，レプリケータ方程式，および非線形振動子系を用いて，離散，および連続最適化問題に対し，効率的な解法を提案し，その有効性を理論解析，および数値計算により検証したもので，その成果は学術上，実際上寄与するところが少なくない。よって，本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また，平成13年９月20日，論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果，合格と認めた。