

研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2008～2009
 課題番号：20700206
 研究課題名（和文） 結合非線形力学系モデルを用いた最適化手法の解析とその体系化
 研究課題名（英文） AN ANALYSIS AND AN ORGANIZATION OF OPTIMIZATION METHODS USING COUPLED NONLINEAR DYNAMICS
 研究代表者
 岡本 卓 (OKAMOTO TAKASHI)
 千葉大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号：40451752

研究成果の概要（和文）：本研究では、カオス力学系などのいわゆる非線形力学系モデルで動作する複数の探索点の結合モデルによって最適化を行う「結合非線形力学系最適化モデル」の理論的解析と、これを利用した最適化手法の体系化を目的として研究を行った。その結果、結合力学系の導入の有効性を理論的に明らかにし、制約条件付き問題や多目的最適化問題に対する結合力学系最適化モデルや、慣性付き勾配系を用いた手法を提案し、結合非線形力学系最適化モデルの体系化に寄与する成果を得た。

研究成果の概要（英文）：In this study, we theoretically analyzed the optimization methods using coupled nonlinear dynamics in which multiple search points driven by nonlinear dynamics implement optimization. Furthermore, we studied an organization of the optimization method using nonlinear dynamics. In consequence, we theoretically explain effectiveness of the introduction of coupled dynamics to the optimization method. Furthermore, we proposed optimization methods using coupled nonlinear dynamics for constrained optimization problems and multi-objective problems. In addition, we proposed an optimization method using coupled gradient dynamics with inertia. These fruits contribute to organize the optimization methods using coupled nonlinear dynamics.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2009年度	700,000	210,000	910,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,000,000	600,000	2,600,000

研究分野：システム工学

科研費の分科・細目：情報学・感性工学・ソフトコンピューティング

キーワード：大域的最適化, カオス, 結合力学系, 同調現象, 多目的最適化

1. 研究開始当初の背景

等式・不等式制約条件下で多くの解候補の中から評価値が最適であるような解を求める、いわゆる最適化手法の開発が長年の研究

テーマとなっている。最適化手法は、システム、金融、通信、設計、学習など様々な分野で利用され、とくに、目的関数が多峰性で多数の局所的最適解を持つ問題に対する大域

的最適化手法の開発が強く求められている。

本研究では、大域的最適化手法の中でも、カオス力学系などのいわゆる非線形力学系モデルを計算モデルとして用いる最適化手法に注目する。これまでの非線形力学系モデルによる最適化手法は、確定論的方程式に従うカオス軌道を発生させても、これをいわば「大域的探索可能なランダムサーチ軌道」としてしか利用せず、また、その有効性も数値実験的に確認するのみである「ヒューリスティクスの域を出ない」手法に過ぎなかった。しかし、近年の研究代表者らの研究により、その収束解の特徴と問題点が理論的に明らかになり、最適化手法としてカオス軌道を用いる意義が確立しつつある。

上述した単点の非線形力学系最適化モデルの問題点とは、目的関数値を考慮した集中化戦略の欠如であるといえるが、研究代表者らは、すでに

非線形力学系モデルを駆動モデルとして自律探索を行う複数の探索点によって結合系を形成した上で、探索点群を優秀探索点の軌道へ同調させることで、目的関数値を考慮した探索戦略を非線形力学系モデルへ導入した「エリート結合型非線形最適化モデル」

を提案した。このモデルは、結合非線形力学系に固有な同調現象を利用した非線形力学系の特性を生かした新しい最適化の枠組みを持つモデルであり、また、高次元（100変数以上）多峰性関数に対して、従来法と比較して極めて有効であることが数値シミュレーションを通して確認されており、将来的展望が大きい最適化モデルであるといえる。しかしながら、依然として以下の2点が課題となっている。

1. 結合系全体として考えた場合の収束解に対する理論的解析が行われていない点
2. たとえば、結合させる力学系が各探索点で共通な場合しか考慮していないなど、体系的な研究が行われていない点

2. 研究の目的

本研究では、上述した研究背景を踏まえて、「3. 研究の方法」で述べる4点について研究を行い、その研究成果をまとめることで、結合非線形力学系最適化モデルの理論的解析と、これを用いた最適化手法の体系化を目指すことを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、以下の4点についての研究を、理論的解析と、コンピュータを用いた数値実験を通して行った。

(1) さまざまな非線形力学系最適化モデルに対する理論的解析

「1. 研究開始当初の背景」で述べた単点の非線形力学系最適化モデルに対する「理論的解析」は、離散時間の最急勾配系（以降、離散時間1次勾配系）から発生するカオス軌道を利用したモデルに対して行ったものである。そこで、離散時間の慣性付き勾配系（以降、離散時間2次勾配系）を用いたモデルをはじめとする最適化モデルに対する理論的解析を行う。

(2) 結合非線形力学系最適化モデルに対する理論的解析

単点の非線形力学系モデルに対する理論的解析で得られた知見をもとに、結合モデルの理論的解析を行うことで、多点化・結合構造の導入が大域的最適化に与える影響を理論的に明らかにする。

(3) さまざまな力学系を用いた最適化手法

「1. 研究開始当初の背景」で述べた「エリート結合型非線形最適化モデル」では、結合させる力学系が1種類の場合のみの適用にとどまっていた。そこで、結合させる力学系を異なる力学系（たとえば、2次勾配系モデルなど）にした場合についての検証を行う。

(4) 結合非線形力学系を用いた多目的最適化

結合非線形力学系最適化モデルが、複数の探索点による協調システムを形成していることに注目して、各探索点に異なる目的関数を考慮させることで多目的最適化への応用を行う。

4. 研究成果

(1) さまざまな非線形力学系最適化モデルに対する理論的解析

本研究では、制約条件付き最適化問題におけるLagrange関数についての離散時間1次勾配系モデルと、無制約最適化問題における離散時間2次勾配系モデルに対する理論的解析を行った。その結果、以下の成果が得られた。

① 制約条件付き最適化問題におけるLagrange関数についての離散時間1次勾配系モデルの収束特性が、Lagrange関数の決定変数に対するヘッセ行列の正定値性に依存することを明らかにした。また、無制約問題と同様のシナリオで、カオス軌道が発生することを説明した。

② 無制約問題に対する離散時間2次勾配系モデルの探索軌道の特徴を理論的に明らかにした。その特徴とは、慣性付き勾配系に対する引き込み領域内を、周回的な軌道によって、集中的かつ多様に探索す

る点にある。

これらの成果は、非線形力学系最適化モデルの制約条件付き問題での有効性や、慣性付き降下モデルの有効性を理論的に明らかにしており、非線形力学系最適化モデルを用いた最適化手法の理論的解析の体系化に寄与すると考えられる。

上述の成果のうち、①は、「5. 主な発表論文等」の〔学会発表〕 [1], [2], [4], [5], [6]で発表した。また、②は、〔学会発表〕 [7]で発表した内容を発展させた論文として、現在投稿中である。

(2) 結合非線形力学系最適化モデルに対する理論的解析

本研究では、無制約最適化問題における離散時間1次勾配系モデルと、制約条件付き最適化問題における離散時間1次勾配系モデルに対する結合構造の導入の効果について、理論的に考察を行った。その結果、以下の成果が得られた。

- ① 無制約問題において、優秀探索点への結合構造の導入によって、より目的関数値が小さい領域に、1次勾配系モデルの探索軌道を引きつけることができることを明らかにした。
- ② 前述した制約条件付き最適化問題における Lagrange 関数についての離散時間1次勾配系モデルの収束特性を、結合構造の導入によって改善できることを明らかにした。

これらの成果は、結合構造の導入の有効性を理論的に明らかにしており、結合力学系最適化モデルを用いた最適化手法の理論的解析の体系化に寄与すると考えられる。

上述の成果のうち、②は、「5. 主な発表論文等」の〔学会発表〕 [1], [2], [4], [5], [6]で発表した。また、①は、今後、投稿予定の論文で発表する予定である。

(3) さまざまな力学系を用いた最適化手法

本研究では、無制約問題における離散時間2次勾配系を用いた多点型カオス最適化手法と、離散時間1次勾配系を用いたカオス最適化手法に同時摂動勾配近似を導入した手法と、離散変数問題に対する Lagrange 関数法の改良手法を提案し、その有効性を、主に、数値実験を通して検証した。その結果、以下の成果が得られた。

- ① 離散時間2次勾配系を用いた多点型カオス最適化手法が、1次勾配系を用いた手法と同等、ないしは、それ以上の大域的最適化性能を有することを明らかにした。
- ② 最適化問題の目的関数値しか得られない場合に、その勾配を近似的に得る手法の1

つに同時摂動勾配近似がある。この同時摂動勾配近似を導入した離散時間1次勾配系からも、準カオス軌道とよぶべき探索軌道が発生することを明らかにした。

- ③ 離散変数問題に対する Lagrange 関数法について、改悪解への移動や慣性項を導入した手法が、大域的探索性能を有することを明らかにした。

これらの成果は、非線形力学系を用いた最適化手法の有効性を網羅的に明らかにしており、非線形力学系最適化モデルが広い範囲に適用可能であることを示唆している。

上述の成果のうち、①は、「5. 主な発表論文等」の〔学会発表〕 [7]で発表しており、その内容を発展させた論文を現在投稿中である。また、②は、〔学会発表〕 [3]で、③は、〔学会発表〕 [8]で発表している。

(4) 結合非線形力学系を用いた多目的最適化

本研究では、多目的最適化問題に対して、離散時間1次勾配系モデルの結合モデルを用いた手法を提案した。

提案手法では、まず、各目的関数を独立に最適化手法とする勾配系にしたがう探索点を準備し、その結合モデルを考える。そして、結合により、各探索点の軌道を同調させながら、各最適化モデルの動特性を変化させることで、多目的最適化問題の解であるパレート解集合全体を、同調した探索軌道によって、連続的に被覆する。数値実験の結果から、この手法は、他のメタヒューリスティクスを用いた手法と比較して、十分に有用な手法であることを確認した。

この成果は、非線形力学系を用いた最適化手法が多目的最適化問題においても有効であることを示しており、非線形力学系を用いた最適化手法の体系化に寄与すると考えられる。

なお、本研究成果は、「5. 主な発表論文等」の〔雑誌論文〕 [1]で発表している。

(5) まとめと今後の展望

本研究では、結合非線形力学系最適化モデルの理論的解析と、これを利用した最適化手法の体系化を目指した研究を行った。その結果、結合力学系の導入の有効性を理論的に明らかにし、制約条件付き問題や多目的最適化問題に対する結合力学系最適化モデルや、慣性付き勾配系を用いた手法を提案し、結合非線形力学系最適化モデルの体系化に寄与する成果を得た。近年の最適化研究では、工学的応用を念頭に、数値実験的でなく理論的保証を伴った手法の開発が強く求められている。したがって、得られた成果は工学的に大

きな意義がある。

今後の展望としては、結合非線形力学系最適化モデルを、微分不可能性や等式・不等式制約条件などの種々の制約を有する問題に応用し、現実の最適化問題に応用可能で、大域的探索能力に優れた手法を開発することがあげられる。

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 1 件)

- [1] 岡本 卓, 平田 廣則, 「結合離散化勾配系モデルを用いた多目的最適化」, 電気学会論文誌(C), 査読有, 第 130 巻, 2010 年, pp.39-49

[学会発表] (計 8 件)

- [1] 岡本 卓, 平田 廣則, 「Lagrange 関数法と離散化勾配系カオスモデルを用いた制約条件付き最適化」, 平成 20 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2008 年 8 月 21 日, 公立ほこだて未来大学 (北海道函館市)
- [2] 岡本 卓, 平田 廣則, 「目的関数重み付け Lagrange 関数と結合離散化勾配系カオスモデルを用いた制約条件付き最適化」, 計測自動制御学会 システム・情報部門 学術講演会 2008, 2008 年 11 月 26 日, 姫路市国際交流センター (兵庫県姫路市)
- [3] 森谷 俊之, 岡本 卓, 小坪 成一, 平田 廣則, 「同時摂動法を用いたカオス最適化」, 電気学会 産業計測制御研究会 「情報知能システムとその産業応用」, 2009 年 3 月 3 日, 関東学院大学 KGU 関内メディアセンター (神奈川県横浜市)
- [4] T. Okamoto, H. Hirata, “Constrained Optimization using the Lagrangian Method and the Improved Discrete Gradient Chaos Model”, IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics 2009, 2009 年 10 月 14 日, Hyatt Regency Riverwalk, San Antonio (Texas USA)
- [5] T. Okamoto, H. Hirata, “Constrained Optimization using the Chaotic Lagrangian Method and the Simultaneous Perturbation Gradient Approximation”, ICCAS-SICE 2009, 2009 年 8 月 18 日, Fukuoka International Congress Center (Fukuoka JAPAN)
- [6] 岡本 卓, 平田 廣則, 「カオス Lagrange 関数法を用いた混合整数最適化手法」,

電気学会 産業計測制御研究会 「情報知能システムとその産業応用」, 2010 年 3 月 3 日, 関東学院大学 KGU 関内メディアセンター (神奈川県横浜市)

- [7] 岡本 卓, 浜田 憲一郎, 相吉 英太郎, 「多点型離散化時変慣性系モデルを用いた大域的最適化」, 計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会, 2009 年 11 月 25 日, 東京工業大学 すすかけ台キャンパス (神奈川県横浜市)
- [8] 花岡 祐也, 岡本 卓, 小坪 成一, 平田 廣則, 「大域的探索のための離散 Lagrange 関数法の改良」, 平成 21 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, 2009 年 9 月 4 日, 徳島大学 常三島キャンパス (徳島県徳島市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

岡本 卓 (OKAMOTO TAKASHI)
千葉大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号: 40451752

(2) 研究分担者

(3) 連携研究者