

平成 28 年 6 月 13 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25330291

研究課題名(和文)メタヒューリスティクスの構造解析に基づく汎用設計論の構築とアルゴリズム設計

研究課題名(英文)Construction of General Design Strategy and Algorithm Design of Metaheuristics  
Based on Structure Analysis

研究代表者

安田 恵一郎(Yasuda, Keiichiro)

首都大学東京・理工学研究科・教授

研究者番号：30220148

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：遺伝的アルゴリズム(GA)のように、決定変数情報と評価値情報のみを用いて探索を行う発見的最適化手法(メタヒューリスティクス)は、実用的な最適化手法として注目されている。本研究では、発見的最適化手法のアルゴリズムの構造を解析し、新たなアルゴリズム構築のための設計論を構築した上で、開発した手法の探索性能を数値実験に基づいて検証した。

研究成果の概要(英文)：Heuristic optimization methods (metaheuristics) such as Genetic Algorithm (GA), which method search an optimal solution by using only information of decision variables and evaluation values, are expected as a practical optimization method. While the algorithm structure of metaheuristics was analyzed and a design methodology for new metaheuristics was constructed, the performance of the developed method was verified on the basis of some numerical simulations.

研究分野：システム最適化

キーワード：最適化 メタヒューリスティクス 近接最適性原理 連続型最適化 離散型最適化 アルゴリズム

## 1. 研究開始当初の背景

決定変数情報と評価値情報のみを用いて最適化を実現するメタヒューリスティクスは、数理計画法にはない実用性の高さを有しており、工学的応用に堪え得る実用的な最適化手法として注目されてきた。

しかしながら、従来の研究は主としてアナロジーに基づいており、統一的・汎用的解析やこれに基づく新たなアルゴリズムの開発は充分には行われていなかった。

このような状況の中で、アナロジーという表面的な観点に捕われることなく、最適化手法の基本構造に立脚したアルゴリズムの系統的な解析・分類・整理を踏まえ、発見的最適化手法の汎用解析・設計論の構築と、これに基づく新たなアルゴリズムの開発を進めることが工学適応を目指した最適化の分野においては、重要な課題となっていた。

## 2. 研究の目的

本研究は、最適化手法の基本的な構造解析に立脚し、探索機構・探索戦略における①探索履歴情報の時間的・空間的広がりと変換・活用戦略と②探索点間の相互作用と生成される探索ダイナミクスを近接最適性原理 (Proximate Optimality Principle : POP) の観点から系統的に解析することで、メタヒューリスティクスの汎用設計論を構築し、これに基づく新たなメタヒューリスティクスの開発と性能評価を行うことを目的とした。

本研究における具体的な研究課題は、以下の通りである。

### (1) 離散型発見的最適化手法の開発と性能評価

離散空間における距離を用いた多点探索型 Tabu Search の成果を踏まえ、最良解情報の活用、多様化・集中化の評価、および近傍生成・移動戦略のフィードバック制御機構を新たに導入した離散型発見的最適化手法を開発し、典型的な最適化ベンチマーク問題を用いて探索性能を検証すること。

### (2) 連続型発見的最適化手法の開発と性能評価

多体結合系のダイナミクスを用いた連続型発見的最適化手法の成果を踏まえ、最良解情報の活用、多様化・集中化の評価、および近傍生成・移動戦略のフィードバック制御機構を新たに導入した連続型発見的最適化手法を開発し、探索性能を検証すること。

### (3) 開発した手法の多目的・多数目的最適化手法への拡張

上記(1)および(2)で開発した連続型・離散型発見的最適化手法を、多目的最適化手法および多数目的最適化手法への拡張を行う。本研究では、進化型多目的最適化分野で最もよく用いられている手法の一つである NSGA-II に立脚し、多目的環境における優れた選択戦略

である Crowding Tournament 選択を用いることで多目的化・多数目的化を実現すること。

## 3. 研究の方法

本研究は、(1)メタヒューリスティクスの汎用解析・設計論の構築、(2)新たな連続型・離散型メタヒューリスティクスの開発と性能評価、(3)開発した新たなメタヒューリスティクスの実問題への適用と検証、の3つの主要課題から構成されている。

具体的には、これまでに行ってきた探索点間の相互作用と近接最適性原理に立脚したメタヒューリスティクスに関する研究成果と多体結合系の相互作用に立脚したメタヒューリスティクスに関する研究成果を踏まえ、メタヒューリスティクスの汎用設計論の構築、および新たなメタヒューリスティクスの開発と性能評価を行った。

## 4. 研究成果

研究期間中に得られた主な研究成果は以下の通りである。

### (1) 「解空間の階層構造と近接最適性原理に基づく組合せ最適化手法の構築」

組合せ最適化手法の構築において最も根本的かつ重要な役割を果たす解空間に着目し、極小解が構成する新たな解空間を定義した上で、この解空間の情報に基づいて近傍生成と移動を行なう新たな発見的組合せ最適化手法の構築を行い、数値実験に基づき、探索性能の評価・検証を詳細に行なった。

### (2) 「探索点間の相互作用を考慮した近傍探索に基づく多目的組合せ最適化手法の構築」

優れた単一目的組合せ最適化手法である Tabu Search に、近傍生成、および探索履歴情報活用の戦略を埋め込んだ、新たな多目的組合せ最適化手法を構築し、典型的なベンチマーク問題を用いて構築した多目的組合せ最適化手法の探索性能の評価・検証を多角的かつ詳細に行なった。

### (3) 「適応化のフレームワークの構築と適応型メタヒューリスティクスの開発」

メタヒューリスティクスの適応能力向上を実現し得る「適応化のフレームワーク」の構築と Cuckoo Search の適応化を実現し、数値実験に基づいて探索性能の詳細な評価・考察を行った。

### (4) 「安定性解析に基づく多点型確率的最適化アルゴリズムの設計手法の構築」

複数の探索点から構成され、確率的な近傍生成・移動メカニズムを有するメタヒューリスティクスの汎用設計論をアルゴリズムの安定性解析に基づいて提案した上で、具体的なアルゴリズムを構築し、探索性能の評価・検証を詳細に行なった。

- (5) 「問題構造の推定機構を有する組合せ最適化手法の開発」

メタヒューリスティクスが持つ探索構造(近傍生成と移動・選択)と探索戦略(集中化・多様化のバランス)のみならず、従来のメタヒューリスティクスに存在しない推定機構をも新たな構成要素とすることで、「問題構造の推定機構」を有するシステムとしてのメタヒューリスティクスを構築し、典型的な離散型のベンチマーク問題を用いた数値実験により、探索性能と有用性を多角的に検証した。

#### 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 16 件)

- [1] 森田真英, 落合広樹, 田村健一, 安田恵一郎  
問題構造の概形の推定機構を有する多点探索型組合せ最適化手法  
電気学会 電子・情報・システム部門誌 Vol.136, No.7 【査読有】 <掲載決定>
- [2] K. Tamura and K. Yasuda  
Spiral Optimization Algorithm Using Periodic Descent Directions," SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration, Vol. 9, No. 3 【査読有】 <掲載決定>
- [3] 関根嵩之, 相吉英太郎  
改良型応答曲面法を用いたサポートベクターマシンの最適ハイパーパラメータ決定法  
システム制御情報学会論文誌, Vol.29, No.3, pp.105-113 (2016-3) 【査読有】
- [4] 森田聖惇, 高村秋平, 田村健一, 土屋淳一, 安田恵一郎  
探索機能分担に基づく多目的 Artificial Bee Colony Algorithm の基礎検討  
電気学会 電子・情報・システム部門誌, Vol.135, No.12, pp.1598-1599 (2015.12) 【査読有】  
DOI: 10.1541/ieejeiss.135.1598
- [5] 金政 実, 相吉英太郎  
回転不変性を考慮した超球交叉による Differential Evolution の改良  
計測自動制御学会論文集, Vol.51, No.7, pp.503-511 (2015-7) 【査読有】  
DOI: 10.9746/sicetr.51.503
- [6] 熊谷渉, 田村健一, 土屋淳一, 安田恵一郎  
Cuckoo Search のパラメータ解析と適応化に関する基礎検討  
電気学会 電子・情報・システム部門誌, Vol.135, No.6, pp.721-722 (2015-6) 【査読有】  
DOI: 10.1541/ieejeiss.135.721
- [7] K. Tamura, K. Makise, and K. Yasuda

Concept of Feedback-Controlled Differential Evolution and Its Realization

IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol.10, No.4, pp.423-437 (2015-4) 【査読有】

DOI: 10.1002/tee.22102

- [8] 金政 実, 相吉英太郎  
多点型進化戦略と遺伝的プログラミングによる創発的パラメータ調整ルールの設計  
電気学会 電子・情報・システム部門誌, Vol.135, No.3, pp.321-330 (2015-3)  
DOI:10.1541/ieejeiss.135.321
- [9] Y. Koguma and E. Aiyoshi  
A New Framework with a Stability Theory for Multipoint-Type and Stochastic Meta-Heuristic Optimization Algorithms  
IEICE Trans. Fundamentals, Vol.E98-A, No.2, pp.700-709 (2015-2) 【査読有】  
DOI:10.1587/transfun.E98.A.700
- [10] 落合広樹, 金澤貴彦, 田村健一, 安田恵一郎  
解空間の階層構造に基づく組合せ最適化手法  
電気学会 電子・情報・システム部門誌, Vol.135, No.2, pp.254-264 (2015-2) 【査読有】  
DOI: 10.1541/ieejeiss.135.254
- [11] 小熊祐司, 相吉英太郎  
最大エントロピー法に基づく Differential Evolution の探索点分布解析  
電気学会 電子・情報・システム部門誌, Vol.134, No.9, pp. 1341/1347 (2014-9) 【査読有】  
DOI: 10.1541/ieejeiss.134.1341
- [12] M. Kanemasa and E. Aiyoshi  
Algorithm Tuners for PSO Methods and Genetic Programming Technique for Learning Tuning Rules  
IEEJ Transaction on Electrical and Electronic Engineering, Vol.9, Issue 4, pp. 407-414 (2014-7) 【査読有】  
DOI:10.1002/tee.21986
- [13] 落合広樹, 田村健一, 安田恵一郎  
解空間の階層構造に基づく多点型組合せ最適化手法  
電気学会 電子・情報・システム部門誌, Vol.134, No.7, pp.999-1000 (2014-7) 【査読有】  
DOI: 10.1541/ieejeiss.134.999
- [14] K. Tamura and K. Yasuda  
A Parameter Setting Method for Spiral Optimization from Stability Analysis of Dynamic Equilibrium Point  
SICE Journal of Control, Measurement, and System Integration,

- Vol.7, No.3, pp.173-182 (2014-5) 【査読有】  
DOI: 10.9746/jcmsi.7.173
- [15] 高村秋平, 田村健一, 安田恵一郎  
多目的組合せ最適化問題に対する Tabu Search に基づく多点探索法の提案  
電気学会 電子・情報・システム部門誌, Vol.134, No.3, pp.466-467 (2014-3) 【査読有】  
DOI: 10.1541/ieejieiss.134.466
- [16] 矢口航太, 田村健一, 安田恵一郎, 石亀篤司  
近接最適性原理の定量的評価に基づく組合せ最適化手法  
電気学会 電子・情報・システム部門誌, Vol.133, No.6, pp.1218-1228 (2013-6) 【査読有】  
DOI: 10.1541/ieejieiss.133.1218
- [学会発表] (計 17 件)
- [1] M. Morita, H. Ochiai, K. Tamura, and K. Yasuda  
Multi-point Search Combinatorial Optimization Method Based on Neighborhood Search Using Evaluation of Big Valley Structure  
2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp.2835-2840 (2015-10) 香港(中国)【査読有】
- [2] W. Kumagai, K. Tamura, and K. Yasuda  
Search Dynamics Analysis and Adaptive Parameter Adjustment of Cuckoo Search  
2015 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.1700-1705 (2015-10) 香港(中国)【査読有】
- [3] J. Tsuchiya and K. Yasuda  
The Optimal Design of a Halbach-type Permanent Magnet Surface Motor Using Integrated Optimization  
10th International Symposium on Linear Drives for Industry Applications, No.225 (2015-7) アーヘン(ドイツ)【査読有】
- [4] 前田竜二, 相吉英太郎  
拡大ラクランジュ関数法による最適化問題の新分割解法とエネルギー流れ最適化問題への応用  
計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2014 (2014-11) 岡山大学(岡山県・岡山市)【査読無】
- [5] 関根嵩之, 相吉英太郎  
RBF ネットワークを用いた応答局面法による SVM の最適パラメータ決定法  
計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2014 (2014-11) 岡山大学(岡山県・岡山市)【査読無】
- [6] 小泉 光, 相吉英太郎  
ヒューリスティック手法のための最適確率モデル獲得問題とその解法  
計測自動制御学会システム・情報部門学術講演会 2014 (2014-11) 岡山大学(岡山県・岡山市)【査読無】
- [7] K. Suzuki, K. Tamura and K. Yasuda  
Study on Cluster-Structured Spiral Optimization  
2014 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.100-105 (2014-10) アメリカ【査読有】
- [8] K. Tamura and K. Yasuda  
Primary Study on Feedback Controlled Differential Evolution  
2014 IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp.371-378 (2014-7) 中国【査読有】
- [9] 関口智矢, 岡本 卓, 相吉英太郎  
カオスの特性を利用した多点型最適化手法  
計測自動制御学会 システム・情報部門学術講演会 2013 (2013-11) ピアザ淡海(滋賀県・大津市)【査読無】
- [10] T. Okamoto and E. Aiyoshi  
Gamification of the Optimization Problem and Multi-point type optimization methods  
2013 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.3516-3522 (2013-10) マンチェスター(イギリス)【査読有】
- [11] R. Ji, K. Tamura and K. Yasuda  
Adaptive Parameter Adjustment of Differential Evolution  
2013 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.3915-3920 (2013-10) マンチェスター(イギリス)【査読有】
- [12] H. Katayama, K. Tamura and K. Yasuda  
Multi-Objective Integrated Optimization Using Optimization, Modeling and Simulation," Proc. of 2013 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.3537-3542 (2013-10) マンチェスター(イギリス)【査読有】
- [13] H. Ochiai, K. Tamura and K. Yasuda  
Combinatorial Optimization Method Based on Hierarchical Structure in Solution Space  
2013 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.3543-3548 (2013-10) マンチェスター(イギリス)【査読有】
- [14] K. Tamura and K. Yasuda  
A Stability Analysis Based Parameter Setting Method for Spiral

## Optimization

2013 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.3909-3914 (2013-10) マンチェスター (イギリス) 【査読有】

- [15] 小熊祐司, 相吉英太郎: 最大エントロピー法に基づく Differential Evolution の探索点分布解析,  
第 23 回インテリジェント・システム・シンポジウム (2013-9) 九州大学 (福岡県・福岡市) 【査読無】
- [16] 小泉 光, 相吉英太郎: Cuckoo Search におけるレヴィーフライトの効用とハイブリッド化による改良,  
第 23 回インテリジェント・システム・シンポジウム (2013-9) 九州大学 (福岡県・福岡市) 【査読無】
- [17] K. Tamura and K. Yasuda  
The Spiral Optimization and Its Stability Analysis  
2013 IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp.1075-1082 (2013-6)  
カンクン (メキシコ) 【査読有】

〔図書〕 (計 1 件)

- [1] 相吉英太郎, 岡本卓, 安田恵一郎  
最適化手法の基礎 - 力学モデルによる理解と実装  
森北出版, 206 頁 (2014-12)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

なし。

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

安田 恵一郎 (YASUDA KEIICHIRO)

首都大学東京・大学院理工学研究科・教授

研究者番号: 3 0 2 2 0 1 4 8

### (2) 研究分担者

相吉 英太郎 (AIYOSHI EITARO)

慶應義塾大学・理工学部・教授

研究者番号: 9 0 1 3 7 8 9 5

### (3) 連携研究者

なし。