

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年3月31日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22560404

研究課題名（和文） 近接最適性原理に基づくメタヒューリスティクスの解析と設計

研究課題名（英文） Analysis and Design of Metaheuristics Based on Proximate Optimality Principle

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：30220148

研究成果の概要（和文）：発見的操作を含む最適化手法は、メタヒューリスティクスと呼ばれている。本研究では、既存のメタヒューリスティクス改良と、新たなメタヒューリスティクスの構築を目的として、良い解の類似性を示す原理である近接最適性原理に基づいて、メタヒューリスティクスの構造を解析した。この解析結果に基づいて、メタヒューリスティクスの改良と新たなメタヒューリスティクスの構築を行ない、良く知られたベンチマーク問題を用いた数値実験により、開発した手法の性能を検証した。

研究成果の概要（英文）：The optimization method including heuristic operations is called metaheuristics. For the purposes of improving conventional metaheuristics as well as constructing new metaheuristics, the structure of metaheuristics is analyzed in this study based on proximate optimality principle which implies that good solutions in optimization problems have similar structure. While the improvement of metaheuristic and the construction of new metaheuristic are done on the basis of the numerical analysis, the performance of the developed method is verified by simulations using well known benchmark problems.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
総計	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：システム工学

キーワード：最適化，ソフトコンピューティング，メタヒューリスティクス，アルゴリズム

## 1. 研究開始当初の背景

数学を基礎としたこれまでの最適化手法にはない、多様なアナロジーが存在するという斬新なインパクトを持つメタヒューリスティクスは、さまざまな工学分野に適用され、成果を挙げてきた。

メタヒューリスティクスのアルゴリズムの解析・設計においては、個々の手法の持つアナロジーに基づいて行われることが多い。

例えば、遺伝的アルゴリズムにおいては、交叉、突然変異、淘汰（選択）を基本とする生物の進化過程の枠組みの中で議論されてきた。

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分類・整理を踏まえた、メタヒューリスティクスの汎用設計論の構築とこれに基づく具体的なアルゴリズム

ムの開発を進める必要があるが、これまでは上述のようなアプローチからの研究は十分には行なわれていなかった。

## 2. 研究の目的

メタヒューリスティクスの解析・設計は、アルゴリズムの移動戦略の解析・設計に帰着できる。本研究では、メタヒューリスティクスの持つアナロジーに立脚するのではなく、最適化手法としての基本構造、すなわち移動戦略における ①探索履歴情報の時間的・空間的広がりの変換・活用戦略、②探索点間の相互作用と生成される探索のダイナミクス、を近接最適性の観点から統一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を行うことを目的とする。

## 3. 研究の方法

本研究は、メタヒューリスティクスの持つアナロジーに立脚するのではなく、最適化手法の基本構造に立脚して、メタヒューリスティクスの汎用解析・設計論を構築し、この成果に基づいて新たな連続型・離散型メタヒューリスティクスの開発と性能評価を行うことを目的とする。

研究期間における具体的な研究課題と方法は以下の通りである。

(1) 近接最適性原理に立脚し、これまでの主要なメタヒューリスティクスを、探索履歴情報の時間的・空間的広がりの変換・活用戦略、及び探索点間の相互作用と生成される探索のダイナミクスの観点から統一的に解析し、最適化手法としての構造的特徴を明らかにする。

(2) 上記の構造的解析を踏まえた、アナロジーに基づかないメタヒューリスティクス汎用設計法の構築と、高い自由度と探索性能を有する新たな連続型・離散型メタヒューリスティクスを開発し、探索性能を検証する。

(3) 開発した新たなメタヒューリスティクスの制御系設計問題、電磁機器設計問題等の実問題への適用を行い、有用性を検証する。

## 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) 近接最適性原理の数値実験的検証

ナップサック問題、巡回セールスマン問題、ジョブショップ・フローショップスケジューリング問題を対象として検証を行なった。具体的には、良い解を評価値が優れた解と定義し、解の類似性を解同士の距離で定義した上で、これらの問題において、良い解同士の類似性、すなわち近接最適性原理が成立していることを数値実験的に検証した。

(2) メタヒューリスティクス構造解析  
代表的な離散型メタヒューリスティクスとして、Tabu Search, Genetic Algorithm, Artificial Immune Algorithm, Ant Colony Optimization, Differential Evolution を取り上げ、探索点間の相互作用、探索点履歴情報の時空間的広がり、探索履歴情報の変換・活用戦略、探索過程の多様化・集中化機能を近接最適性原理の観点から解析した。

### (3) メタヒューリスティクスの改良

局所的解集合によって構成される新たな探索空間を定義し、この空間での新たな移動操作を定義することで、Tabu Search の改良を行ない、ベンチマーク問題を用いて性能を検証した。

また、パラメータの自己調整機能を導入することで、探索過程における多様化・集中化を適応的に実現可能とする Differential Evolution を開発し、ベンチマーク問題を用いて性能を検証した。

### (4) メタヒューリスティクスの開発

対数螺旋構造の渦のダイナミクスに基づく新たなメタヒューリスティクスを開発し、ベンチマーク問題を用いて性能を検証した。

### (5) 実システムへの応用

改良および開発したメタヒューリスティクスを、電磁機器最適設計問題、および分散型エネルギーシステムの最適運用問題に適用し、改良および開発したメタヒューリスティクス実用性を検証した。

### (6) 今後の課題と展望

本研究期間中には、メタヒューリスティクスの最適化手法としての基本構造の解析と、既存のメタヒューリスティクスの改良、さらには渦のダイナミクスに基づく新たなメタヒューリスティクスの開発を行なうことができたが、メタヒューリスティクス基本構造の解析や、これに基づくメタヒューリスティクスの汎用設計論の構築には、更なる解析の深化が必要である。今度も本研究の視点に立った研究の継続が重要であると判断する。

## 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 12 件)

- ① 矢澤一行, 元木誠, 石亀篤司, 安田恵一郎  
適応化を考慮したクラスタ構造型 Particle Swarm Optimization,  
電気学会 電子・情報・システム部門誌,  
Vol. 130, No. 4, pp. 723-724 (2010) 【査読有】  
DOI:10.1541/ieejieiss.130.723
- ② 上山大地, 田村健一, 安田恵一郎  
滑降シンプレックス法を取り入れた Differential Evolution

- 電気学会 電子・情報・システム部門誌,  
Vol.130, No. 7, pp.1271-1272 (2010) 【査読有】  
DOI:10.1541/ieejeiss.130.1271
- ③K. Tamura and K. Yasuda  
Primary Study of Spiral Dynamics Inspired Optimization  
IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, Vol.6, No.S1, pp.S98-S100 (2011) 【査読有】  
DOI:10.1002/tee.20628
- ④増田和明, 相吉英太郎  
多品種同時競売のための最適価格決定問題と Particle Swarm Optimization による最適価格探索法  
電気学会 電子・情報・システム部門誌,  
Vol.131, No.2, pp.763-768 (2011) 【査読有】  
DOI:10.1541/ieejeiss.131.461
- ⑤金澤貴彦, 安田恵一郎  
組合せ最適化問題の解空間における上位構造に基づくメタヒューリスティクスの基礎検討  
電気学会 電子・情報・システム部門誌,  
Vol.131, No.4, pp.934-935 (2011) 【査読有】  
DOI:10.1541/ieejeiss.131.934
- ⑥矢澤一行, 田村健一, 安田恵一郎, 元木誠, 石亀篤司  
相互作用と適応化を考慮したクラスタ構造型 Particle Swarm Optimization  
電気学会 電子・情報・システム部門誌,  
Vol.131, No.5, pp.943-950 (2011) 【査読有】  
DOI:10.1541/ieejeiss.131.943
- ⑦森井宣人, 相吉英太郎  
PSO を用いた進化型アントコロニー法  
電気学会 電子・情報・システム部門誌,  
Vol.131, pp.1038-1042 (2011) 【査読有】  
DOI:10.1541/ieejeiss.131.1038
- ⑧K. Tamura and K. Yasuda  
Spiral Dynamics Inspired Optimization  
Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol.15, No.8, pp.1116-1122 (2011) 【査読有】  
<http://www.fujipress.jp/finder/xslt.php?mode=present&inputfile=JACII001500080020.xml>
- ⑨矢口航太, 田村健一, 安田恵一郎, 石亀篤司  
近接最適性原理を用いた近傍探索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.132, No.5, pp.813-814 (2012) 【査読有】  
DOI:10.1541/ieejeiss.132.813
- ⑩小川直明, 相吉英太郎  
制約条件付き 0-1 組合せ最適化問題に対する PSO を用いた進化型解法  
電気学会 電子・情報・システム部門誌,  
Vol.132, No.7, pp.1136-1143 (2012) 【査読有】  
DOI:10.1541/ieejeiss.132.1126
- ⑪上山大地, 田村健一, 安田恵一郎  
局所的降下方向ベクトルを用いた Differential Evolution の多目的最適化問題への拡張  
電気学会 電子・情報・システム部門誌,  
Vol.132, No.8, pp.1356-1361 (2012) 【査読有】  
DOI:10.1541/ieejeiss.132.1356
- ⑫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 (2013) <掲載決定> 【査読有】
- [学会発表] (計 20 件)
- ①D. Kamiyama, K. Tamura, and K. Yasuda  
Differential Evolution with Down-hill Simplex Method Based on Average Distance,  
2010 IEEE International Conference on Systems, Man & Cybernetics, pp.203-208 (2010-10) トルコ 【査読有】
- ②T. Tanaka, K. Tamura, and K. Yasuda  
Integrated Optimization Based on Successive Adaptive Approximation  
2010 IEEE International Conference on Systems, Man & Cybernetics, pp.74-79 (2010-10) トルコ 【査読有】
- ③大西怜志, 相吉英太郎  
PSO を用いた Lotka-Volterra 方程式のヘテロクリニックサイクル生成法  
平成 22 年電気学会 電子・情報・システム部門大会 熊本 (2010-9) 【査読無】
- ④金澤貴彦, 安田恵一郎  
組合せ最適化問題の解空間における上位構造に基づくメタヒューリスティクスの基礎検討  
平成 22 年電気学会電子・情報・システム部門大会 熊本 (2010-9) 【査読無】
- ⑤安田恵一郎  
群知能と Particle Swarm Optimization  
日本機械学会 第 9 回最適化シンポジウム 2010 (OPTIS2010) pp.162-166 (2010-12) 名古屋 【査読無】
- ⑥K. Tamura and K. Yasuda  
Spiral Optimization -A New Multipoint Search Method-  
IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.1759-1764 (2011-10) 米国 【査読有】

- ⑦K. Yaguchi, K. Tamura, K. Yasuda and A. Ishigame  
Basic Study of Proximate Optimality Principle Based Combinatorial Optimization Method  
2011 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.1753-1758 (2011-10) 米国【査読有】
- ⑧T. Kosuge, K. Yasuda and J. Tsuchiya  
Magnetic Pole Shape Optimization for Motor Using Integrated Optimization with Constraints  
2011 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.1753-1758 (2011-10) 米国【査読有】
- ⑨K. Tamura and K. Yasuda  
Spiral Multipoint Search for Global Optimization  
2011 IEEE International Conference on Machine Learning and Applications, pp. 470-475 (2011-12) 米国【査読有】
- ⑩平島裕, 増田和明, 相吉英太郎  
非線形散逸項を有する慣性降下型動的連想記憶  
平成 23 年電気学会電気学会電子・情報・システム部門大会 富山【査読無】
- ⑪小川直明, 相吉英太郎  
等式制約条件付き 0-1 組合せ最適化問題に対する PSO を用いた進化型解法  
平成 23 年電気学会電気学会電子・情報・システム部門大会 (2011.9) 富山【査読無】
- ⑫小野寺龍大, 田村健一, 安田恵一郎  
メタヒューリスティクスの基本構造の解析と評価  
平成 23 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会 (2011.9) 富山【査読無】
- ⑬牧瀬健吾, 田村健一, 安田恵一郎  
Differential Evolution と Evolution Strategy の結合手法における制御変数の自動調整についての検討  
平成 23 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会 (2011.9) 富山【査読無】
- ⑭落合広樹, 田村健一, 安田恵一郎  
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  
平成 24 年 電気学会 電子・情報・システム部門大会, (2012.9) 弘前【査読無】
- ⑮K. Yasuda, K. Makise and K. Tamura  
A Study on Combination of Differential Evolution and Evolution Strategy  
2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, pp. 587-592 (2012-10) 韓国【査読有】
- ⑯K. Yasuda, S. Oya and K. Tamura  
A Basic Study on Autonomous Decentralized Operation for Distributed Energy Systems

- 2012 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp.3179-3784 (2012-10) 韓国【査読有】
- ⑰小野寺龍大, 田村健一, 安田恵一郎  
メタヒューリスティクスの構造解析に基づく最適化戦略の提案  
計測自動制御学会 システム情報部門学術講演会 2012, 2B1-2, pp. 258-262 (2012.11) 名古屋【査読無】
- ⑱大矢俊介, 安田恵一郎  
デマンドレスポンスに基づく分散型エネルギーシステムの需要制御 - 学習機能付きルールベースの適用 -  
進化計算学会 進化計算シンポジウム 2012, S1-6 (2012.12) 長野【査読無】
- ⑲落合広樹, 田村健一, 安田恵一郎  
組合せ最適化問題における近接最適性原理の数値実験的検証と最適化手法への応用  
進化計算学会 進化計算シンポジウム 2012, S2-4 (2012.12) 長野【査読無】
- ⑳高村秋平, 田村健一, 安田恵一郎  
近傍探索に基づく多目的組合せ最適化の基礎検討  
電気学会 産業計測制御/メカトロニクス制御合同研究会, IIC-13-157, MEC-13-157, pp.123-128 (2013.3) 東京【査読無】

## 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：30220148

### (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：90137985

### (3) 連携研究者

なし。