

令和元年5月28日現在

機関番号：35404

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2018

課題番号：26350443

研究課題名(和文) 近傍構造に基づく関数の概形把握を利用した効率的な非線形最適化に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Efficient Nonlinear Optimization using the Landscape Modality of the Objective Function based on Neighborhood Structure

研究代表者

高濱 節子 (Takahama, Setsuko)

広島修道大学・商学部・教授

研究者番号：60186989

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：集団に基づく最適化法に対して、探索効率と頑健性を向上させるために(1)アルゴリズムパラメータの適応制御法の提案、(2)変数間依存性が強い問題に対する新たな交叉の提案、(3)ペナルティ係数法の適用法の提案を行い、有効性を示した。(1)では、近接グラフを用いた山谷判定によるパラメータ制御法、探索点を関数値によりグループ分けしグループ別のパラメータ適応制御法を提案した。(2)では、探索点集団による斜交座標を利用した最適化法の提案と変数間の相関に着目した新たな交叉を提案した。(3)では、古い解と新しい解の拡張目的関数が等しくなる等価ペナルティ係数値に基づくペナルティ係数の制御方法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

進化的アルゴリズムなどの集団による最適化法は、問題の解析的性質や探索空間の幾何的性質を要請しないため広範囲の問題に適応可能であるが、各問題が持つ個別の性質を有効に活用するという点では問題が残っている。本研究では、関数値のみを利用した目的関数の形状推定や探索点の分類に基づいてアルゴリズムパラメータを適応制御することにより、問題が持つ個別の性質に対応した効率的かつ頑健な探索性能をもつ最適化アルゴリズムを提案した。これにより、広範囲の非線形最適化問題を効率的に解くことが可能になり、様々な分野に応用可能となることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：We proposed methods that improved the efficiency and the robustness of population-based optimization algorithms(POAs), such as differential evolution: 1. Methods that control algorithm parameters (1) according to the landscape modality of the objective function which is estimated by using proximity graphs and neighborhood structures, (2) according to the ranking information of search points. 2. Methods that optimize problems being strong correlation between variables (1) according to the oblique coordinate generated by the points, (2) according to new crossover operations. 3. Method that applies to the penalty coefficient method for POAs where a new point is compared with the old point. The equivalent penalty coefficient value (EPC), which makes the two extended objective values of the points the same, is defined and the method controls the penalty coefficient automatically by EPC. Their advantages are shown by solving benchmark problems and comparing them with other methods.

研究分野：複合領域

キーワード：非線形最適化 直接探索法 関数形状推定 差分進化 粒子群最適化 パラメータ学習 近接グラフ 回転不変性

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

### 1. 研究開始当初の背景

近年、様々な分野において複雑で大規模な最適化問題に対する最適化のニーズが高まってきている。それに伴い最適化の対象となる問題には、従来の解析的最適化手法が適用困難だけでなく、目的関数値のみを用いる直接探索法によっても最適化が困難な問題が多く含まれている。しかも、最適化問題、特に目的関数の評価コストや評価時間が増大する傾向にある。このため、解の探索性能が高く、関数評価回数が抑えられた効率的かつ汎用的な最適化手法の開発が大きな課題となっている。進化的アルゴリズム(Evolutionary Algorithm: EA)のように、解集団から得られる情報に基づき、集団内の各解に対して新たな解を生成し、新しい解が良ければ元の解と置換する操作を繰り返すことによって最適化を行う集団的降下法では、関数評価回数の削減は重要な課題である。これに対する従来研究の内容と動向は次のようであった。

#### (1) アルゴリズムパラメータを探索状況に応じて動的に調整し探索効率を向上させる方法の研究

① 観測による調整: 探索状況を観測し、観測値に応じて適切なパラメータ値を推測し、パラメータを動的に調整する。先行研究で、ファジィクラスティングによる分割エントロピーを利用し探索点の分布状態を推定した DESFC と局所サンプリングを用いる方法を提案していたが、これらの方法は動的な調整を行えるが、問題や問題のスケールに依存しない観測項目を設定するのが困難であるという課題がある。また、探索点集合による近接グラフを用いて各探索点の隣接点を決定し隣接点間の目的関数値を比較し、各点を山の頂点(山点)、谷の底(谷点)などに分類し、各点の種別ごとにパラメータ値を調整する方法を提案した。山谷判定による方法は目的関数の大域的な概形を推定できるが、Sphere 関数のような滑らかな単峰性関数のように探索点が関数面の同一等高線上に並んだ状態で最適化が進んでゆく場合、谷点が複数となり、単峰性を判定することができないという課題があった。また、サンプリングによる関数概形の推定方法を提案した。この推定方法では、探索点の重心と最良点を結ぶ直線上から標本点を抽出し、各標本点の関数値を用いて直線上での関数形状を把握し、パラメータ値を調整する。この方法は局所的ではあるが、関数の単峰性/多峰性を比較的正確に判定することができるが、探索点の山谷判定はできないため、探索点種別に応じたパラメータ調整は困難であり、探索効率の向上という点での課題が残った。② 成功による調整: 良い探索点を生成した場合を成功と捉え、成功したときのパラメータ値が使用され易いように動的に調整する。成功に応じてパラメータの平均値を調整する JADE 等があり、先行研究では  $\epsilon$  ADE を提案した。しかし、探索点の近傍で良い探索点を発見すると、集団がその方向に収束するようにパラメータ調整が行われるため、稜構造問題や多峰性問題において局所解に陥る場合があるという課題があった。

#### (2) 目的関数の近似モデルを構成し、近似値を利用して探索を行う方法の研究

① 高精度近似モデルの利用: 高精度近似モデルを構築すれば、大幅に関数評価回数を削減できる。しかし、近似モデルの構築に対する計算コストがかかること、汎用性が低いという課題がある。② 低精度近似モデルの利用: 近似誤差が大きく評価回数の削減はやや小さくなるが、近似誤差を適切に考慮できれば汎用的に利用可能である。先行研究では、低精度近似モデルを用いた比較推定法を提案している。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、1. で述べた研究動向とこれまでの研究成果を踏まえ、さらに探索効率が高く、汎用性が高い最適化手法を開発することである。以下の項目について段階的に研究を進め、統合することにより探索効率を大幅に向上させることを目指した。

(1) 目的関数の概形タイプの推定: 解集団を観測し、最適化の対象となる関数の単峰性/多峰性/稜構造などの大域的な形状を推定する。推定形状に適したアルゴリズムパラメータを選択し探索効率を向上させる。また、概形のタイプによって、関数近似の難易度を予測する。

(2) 低精度近似モデルの改良: Gradient boosting 法を用いて、低精度近似モデルを直列に多階層に並べたモデルの構築を検討する。

(3) 関数近似の難易度に基づく比較推定法: 比較推定法では、各々の解から新しい解を生成した後、近似モデルによりそれぞれの解の近似値を求める。新しい解が良いと推定されたときのみその解の真値を評価し、真値で 2 つの解を比較し、新しい解の方がよければ元の解と置き換える。比較推定法では近似値を比較するため大小関係の判定が正しければ、真値との誤差が大きくても最適解を発見できるため、低精度近似モデルの活用が可能となる。さらに、比較推定法では、誤差余裕パラメータを指定することにより、近似誤差に配慮した大小比較を行うことが可能である。しかし、適切な誤差余裕パラメータを選択することは難しい。本研究では、(1)で推定した関数の概形タイプから予測される関数近似の難易度に基づき誤差余裕パラメータを調整する方法について検討する。

(4)  $\epsilon$  制約法による効率的かつ汎用的制約付き最適化:  $\epsilon$  制約法は、目的関数値の大小比較による制約なし最適化手法を、制約付き最適化手法に変換するアルゴリズム変換法である。 $\epsilon$  制約法では、等式制約のような厳しい制約領域を持つ問題において拡張された実行可能領域で解を探索し、拡張領域を実行可能領域へ収束させることにより、最適解を発見する。 $\epsilon$  レベルはこの拡張度合いを制御するパラメータである。本研究では、探索の状況に応じて  $\epsilon$  レベルを動的に調整する方法を検討し、(1)~(3)の成果と統合する。

### 3. 研究の方法

以下の項目に沿って段階的に研究を進める予定であった。

(1) 探索点の関数値の変化を観測し、近傍構造およびサンプリングに基づいた関数の大域的形状の

推定法と、探索点の分類方法を提案する。

(2) (1)による関数形状の推定および探索点の分類種別に基づいたアルゴリズムパラメータの動的調整法を検討する。

(3) 1 階層の低精度近似モデルについて引き続き改良を行うとともに、Gradient Boosting 法を用いた多階層近似モデルについても検討する。

(4) 比較推定法を改良するために、関数の概形タイプに基づく関数近似の難易度予測に着目した誤差余裕パラメータの自動調整法を検討する。

(5)  $\varepsilon$  制約法を改良するために、制約条件の緩和水準を表す  $\varepsilon$  レベルの動的な調整方法を提案し、改良した  $\varepsilon$  制約法と(1)~(4)の成果を統合した制約付き最適化手法を提案する。

#### 4. 研究成果

主な研究成果を年度毎に記述する。

(1) 2014 年度の成果:①サンプリング法による関数形状の推定:サンプリング法は探索点の重心と最良点を結ぶ直線上の標本点の関数値の変化によって関数形状を推定する方法である。サンプリング法を PSO に適用し関数形状に基づいた戦略の選択方法を提案した。②サンプリング法の改良:内積を用いて、ある次元の標本点の成分が同じ値でもサンプリング法を使用できるように改良した。③比較推定法の改良:比較推定法で用いる低精度近似モデルの精度を向上させるため、勾配ブースティングを適用する方法を提案し有効性を示した。④適応型差分進化 JADE の改良版 CADE の提案:尺度因子 F と交叉率 CR を独立に調整する JADE に対して、F と CR 間の相関を利用した CADE を提案し有効性を示した。⑤対話型差分進化(IDE)の探索性能の改良:一対比較は IDE でユーザの疲労を軽減するために用いられる。JADE は適当な戦略を選ぶことによって IDE に対しても有効であることを示した。

(2) 2015 年度の成果:①近接グラフを用いた関数形状の推定:前年度研究したサンプリング法による関数形状の推定は、サンプリング点に対して関数評価を追加する必要があった。2015 年度は追加の関数評価が不要な方法として、探索点を頂点とし、隣接する探索点を繋いだ近接グラフを用いて関数形状を推定する方法を提案し PSO に適用した。また、概形の推定結果に応じて、適切な戦略を選択し、最悪個体を更新する2種類の突然変異操作を提案した。②稜構造の判定:集団的最適化手法で探索が困難な稜構造を有する問題に対して、稜構造の探索方法および制御パラメータの適応制御法を提案した。③山谷判定による JADE の改良:①と同じく近接グラフによる山谷判定を用いて、谷点では F を小さく、山点では F を大きくするように調整することによって、JADE の探索性能と頑健性を改良した。①②③は、テスト関数問題を用い他手法との比較によって有効性を示した。

(3) 2016 年度の成果:①関数形状の推定に基づく突然変異の制御:局所・大域の2個の突然変異を提案し PSO に適用した。形状推定には近接グラフによる山谷判定を用いた。単峰性関数では局所突然変異を用い、最悪個体を最良個体に急速に近づけ収束を促進する。多峰性関数では大域突然変異を用い、山点の個体を最良個体から離し集団の多様性を維持する。②適応アーカイブと関数形状推定による JADE の改良:JADE は子より悪い親をアーカイブとして保持し集団の多様性維持に選択的に用いるが、アーカイブの選択確率は固定である。本研究では、アーカイブを用いて親より良い子ができた(成功)確率を用いて選択確率を適応制御する方法を提案した。また、①と同じく山谷判定を用いて、パラメータ F と CR の適応制御方法を提案した。③グループ別パラメータ制御による JADE の改良:JADE では F と CR をそれぞれ集団全体で共通な確率分布に基づく乱数として与え、分布パラメータは成功したときの F と CR の値を用いて更新する。本研究では、個体をランク付けし、ランクによりグループ分けし、グループ別に確率分布の更新を行った。①②③は、テスト関数を解き、他手法と比較して提案手法の有効性を検証した。

(4)2017 年度の成果:①グループ別パラメータ制御:前年度に引き続き、集団を個体のランクによって3つにグループ分けし、上位集団は収束を進めるために小さな F と大きな CR を、下位集団は多様性を保持するために大きな F と小さな CR を、適用する制御方法を提案した。13 個のテスト問題において、提案手法が JADE よりも非常に優れた性能を有することを示した。②グループ別パラメータの適応制御:①と同様に、集団をグループ化し、グループ毎にパラメータを適応制御する方法を提案した。この制御法を DE に適用し、13 個のテスト問題において、JADE よりも優れた性能を持つことを示した。さらに、上位集団では収束を加速するように、下位集団では多様性を維持するように、パラメータが適応制御されることを示した。③斜交座標を用いた PSO の改良:変数依存性が強い問題に対する探索性能を向上させるために、集団により斜交座標系を生成し、これを用い摂動させた差分ベクトルを PSO の速度更新規則に組み入れた ObliquePSO を提案した。さらに、大域変異と局所変異の2つの突然変異を提案した。13 個のテスト問題及びそれらの回転問題において、提案した突然変異を取り入れた ObliquePSO が標準 PSO よりも概ね優れており、非常に優れた安定性をもつことを示した。

(5) 2018 年度の成果:①変数間の依存性が強い問題に対して、二項交叉(BX)をベースに相関が強い変数を同時に交叉する(交叉しない)2 種類の交叉(CBX, GBX)を提案した。さらに、探索点の多様性を維持するために、提案した交叉と BX を確率的に採用する採用確率の適応制御方法を提案した。②2親交叉である BLX- $\alpha$  は変数分離型問題に強い交叉であるが、回転不変性を持たないため、変数間に強い依存性がある問題に対する性能が低い。本研究では、変数依存性のある問題空間を変数依存性がないあるいは低い問題空間に変換して BLX- $\alpha$  を用いる交叉である TBLX- $\alpha$  を提案した。③ペナルティ関数法はペナルティ係数の値によって制約条件と目的関数のバランスをとる制約付き最適化法であるが、ペナルティ係数を適切に制御することが困難であるという問題がある。本研究では、新しい解と古い解を比較するタイプの集団的最適化手法(POA)に対して、両方の解の拡張目的関数値が等

しくなる等価ペナルティ係数値(EPC)を提案し、さらに POA のための EPC に基づくペナルティ係数の適応制御法を提案した。提案法をDEに導入したDEEPCを定義し、提案手法のパラメータが適切な値であるとき、DEEPC が頑健で高い探索性能を持つことを示した。④PSO は変数分離型や単峰性の問題に対して強力な探索性能を持つが、変数非分離型となる回転問題では性能が劣化する。本研究では、探索点による斜交座標系で個体の速度更新を行う PSO を提案した。さらに、集団の多様性維持と個体の速度低下を防ぐために、最良個体と最悪個体に対する2つの突然変異を提案した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 21 件)

- (1) Takahama Tetsuyuki, [Sakai Setsuko](#), New Binomial Crossover Considering Correlation Among Decision Variables for Adaptive Differential Evolution, Proc. of SCIS-ISIS 2018, 査読有, 1, 467-473, 2018
- (2) Takahama Tetsuyuki, [Sakai Setsuko](#), The velocity updating rule according to an oblique coordinate system with mutation and dynamic scaling for particle swarm optimization, Artificial Life and Robotics, 査読有, 23, 618-627, 2018  
DOI: 10.1007/s10015-018-0498-y
- (3) Takahama Tetsuyuki, [Sakai Setsuko](#), Grouping of Genes According to Correlation Coefficients and Grouping-Based Crossover for Adaptive Differential Evolution", Proc. of the 50th ISICIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, 査読有, 1, 115-116, 2018
- (4) 阪井節子, 高濱徹行, 変数間依存性を解消する変換を導入したブレンド交叉の提案, 不確実性の下での意思決定理論とその応用: 計画数学の展開 数理解析研究所講究録, 査読無, 2078, 65-72, 2018
- (5) Takahama Tetsuyuki, [Setsuko Sakai](#), Particle Swarm Optimization with the Velocity Updating Rule According to an Oblique Coordinate System, Proc. of the 2nd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics, 査読有, 1, 70-77, 2017
- (6) 阪井節子, 高濱徹行, 適応型差分進化JADEにおける個体順位に基づくグループ別パラメータ制御, 確率的環境下における数理決定モデルの理論と応用 数理解析研究所講究録, 査読無, 2044, 159-170, 2017
- (7) Takahama Tetsuyuki, [Sakai Setsuko](#), An Adaptive Differential Evolution with Exploitation and Exploration by Extreme Individuals, Proc. of SICE Annual Conference 2017, 査読有, 1, 1147-1152, 2017  
DOI: 10.23919/SICE.2017.8105438
- (8) Takahama Tetsuyuki, [Sakai Setsuko](#), An Adaptive Differential Evolution with Learning Parameters According to Groups Defined by the Rank of Objective Values, Proc. of the Eighth International Conference on Swarm Intelligence, 査読有, 1, 411-419, 2017  
DOI: 10.1007/978-3-319-61824-1\_45
- (9) Takahama Tetsuyuki, [Sakai Setsuko](#), Kushida Jun-ichi, Hara Akira, Particle Swarm Optimization with Mutation Operations Controlled by Landscape Modality Estimation using Hill-Valley Detection, Artificial Life and Robotics, 査読有, 21, 423-433, 2016  
DOI: 10.1007/s10015-016-0299-0
- (10) Takahama Tetsuyuki, [Sakai Setsuko](#), An Adaptive Differential Evolution with Adaptive Archive Selection and Hill-Valley Detection, Proc. of the 2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 査読有, 1, 48-55, 2016  
DOI: 10.1109/CEC.2016.7743777
- (11) 阪井節子, 高濱徹行, レーティングシステムを利用した差分進化によるコンピュータオセロプレイヤーの学習, 不確実・不確定性の下での数理意思決定モデルとその周辺 数理解析研究所講究録, 査読無, 1990, 136-145, 2016
- (12) Takahama Tetsuyuki, [Sakai Setsuko](#), Improving an Adaptive Differential Evolution Using Hill-Valley Detection, International Journal of Hybrid Intelligent Systems, 査読有, 13, 1-13, 2016  
DOI: 10.3233/HIS-160220
- (13) Takahama Tetsuyuki, [Sakai Setsuko](#), Learning Game Players by an Evolutionary Approach Using Pairwise Comparison without Prior Knowledge, Proc. of International Conference on Intelligent Informatics and BioMedical Sciences 2015, 査読有, 1, 121-127, 2015
- (14) Takahama Tetsuyuki, [Sakai Setsuko](#), Improving an Adaptive Differential Evolution Using Hill-Valley Detection, 1, Proc. of the 7th International Conference on Soft Computing and Pattern Recognition, 査読有, 1, 284-289, 2015
- (15) Takahama Tetsuyuki, [Sakai Setsuko](#), Improving Particle Swarm Optimization by Estimating Landscape Modality Using a Proximity Graph", Proc. of the First International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics, 査読有, 1, 356-363, 2015
- (16) Takahama Tetsuyuki, [Sakai Setsuko](#), Emerging Collective Intelligence in Othello Players Evolved by Differential Evolution, Proc. of the 2015 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games, 査読有, 1, 214-221, 2015

- (17) 阪井節子, 高濱徹行, パラメータの相関を考慮した適応型差分進化アルゴリズム JADE の改良, 不確実性の下での数理モデルとその周辺 数理解析研究所講究録, 査読無, 1939, 114-124, 2015
- (18) Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko, An Adaptive Differential Evolution Considering Correlation of Two Algorithm Parameters, Proc. of the Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 査読有, 1, 618-623, 2014  
DOI: 10.1109/SCIS-ISIS.2014.7044698
- (19) Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko, Selecting Strategies in Particle Swarm Optimization by Sampling-Based Landscape Modality Detection using Inner Products, Proc. of SICE Annual Conference 2014, 査読有, 1, 1561-1566, 2014  
DOI: 10.1109/SICE.2014.6935286
- (20) 阪井節子, 高濱徹行, 比較推定法における Gradient Boosting の利用に関する一考察, 不確実性の下での数理的意思決定の理論と応用 数理解析研究所講究録, 査読無, 1912, 121-130, 2014
- (21) Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko, Selecting Strategies in Particle Swarm Optimization by Sampling-Based Landscape Modality Detection, Proc. of the 2014 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, 査読有, 1, 215-221, 2014

[学会発表] (計 22 件)

- (1) 阪井節子, 高濱徹行, 対話型差分進化における一対比較に基づく鏡映点の利用, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 2019 年春季研究発表会, 2019
- (2) Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko, New Binomial Crossover Considering Correlation Among Decision Variables for Adaptive Differential Evolution, Joint 10th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 19th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 2018
- (3) Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko, Grouping of Genes According to Correlation Coefficients and Grouping-Based Crossover for Adaptive Differential Evolution, The 50th ISCIE International Symposium on Stochastic Systems Theory and Its Applications, 2018
- (4) 阪井節子, 高濱徹行, 集団的降下法に対するペナルティ係数の適応的調整法の提案, 京都大学数理解析研究所 RIMS 共同研究(公開型)「不確実性の下での意思決定理論とその周辺」, 2018
- (5) 高濱徹行, 阪井節子, 差分進化における相関係数に基づく遺伝子のグループ化とグループ単位の交叉の提案, 情報処理学会数理モデル化と問題解決研究会, 2018
- (6) 阪井節子, 高濱徹行, 変数間依存性を解消する変換を導入したブレンド交叉の提案, 京都大学数理解析研究所 RIMS 共同研究(公開型)「不確実性の下での意思決定理論とその応用 : 計画数学の展開」, 2017
- (7) Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko, Particle Swarm Optimization with the Velocity Updating Rule According to an Oblique Coordinate System, The 2nd International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics, 2017
- (8) Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko, An Adaptive Differential Evolution with Exploitation and Exploration by Extreme Individuals, SICE Annual Conference 2017, 2017
- (9) Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko, An Adaptive Differential Evolution with Learning Parameters According to Groups Defined by the Rank of Objective Values, The Eighth International Conference on Swarm Intelligence, 2017
- (10) 高濱徹行, 阪井節子, 斜交座標系に基づく回転不変なブレンド交叉の提案, 情報処理学会数理モデル化と問題解決研究会, 2017
- (11) 高濱徹行, 阪井節子, 差分進化における個体のグループ化とグループ別パラメータ制御の効果, 第 10 回コンピューターショナル・インテリジェンス研究会, 2016
- (12) 阪井節子, 高濱徹行, 適応型差分進化 JADE における個体順位に基づくグループ別パラメータ制御, 京都大学数理解析研究所「確率的環境下における数理モデルの理論と応用」研究集会, 2016
- (13) Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko, An Adaptive Differential Evolution with Adaptive Archive Selection and Hill-Valley Detection, The 2016 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2016
- (14) Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko, Learning Game Players by an Evolutionary Approach Using Pairwise Comparison without Prior Knowledge, International Conference on Intelligent Informatics and BioMedical Sciences 2015, 2015
- (15) Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko, Improving an Adaptive Differential Evolution Using Hill-Valley Detection", The 7th International Conference on Soft Computing and Pattern Recognition, 2015
- (16) 阪井節子, 高濱徹行, レーティングシステムを利用した差分進化によるコンピュータオセロプレイヤーの学習, 京都大学数理解析研究所「不確実・不確実性の下での数理意思決定モデルとその周辺」研究集会, 2015
- (17) Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko, Improving Particle Swarm Optimization by Estimating Landscape Modality Using a Proximity Graph, The First International Symposium on Swarm

Behavior and Bio-Inspired Robotics, 2015

(18) Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko, Emerging Collective Intelligence in Othello Players Evolved by Differential Evolution, The 2015 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games, 2015

(19) Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko, An Adaptive Differential Evolution Considering Correlation of Two Algorithm Parameters, The Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems, 2014

(20) 阪井節子, 高濱徹行, パラメータの相関を考慮した適応型差分進化アルゴリズム JADE の改良, 京都大学数理解析研究所「不確実性の下での数理モデルとその周辺」研究集会, 2014

(21) Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko, Selecting Strategies in Particle Swarm Optimization by Sampling-Based Landscape Modality Detection using Inner Products, SICE Annual Conference 2014, 2014

(22) Takahama Tetsuyuki, Sakai Setsuko, Selecting Strategies in Particle Swarm Optimization by Sampling-Based Landscape Modality Detection, The 2014 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications, 2014

〔図書〕 (計 5 件)

(1) Sakai Setsuko, Takahama Tetsuyuki, A Study on an Equivalent Penalty Coefficient Value for Adaptive Control of the Penalty Coefficient in Constrained Optimization by Differential Evolution, Advanced Studies in Economic Sciences: Information Systems, Economics and OR, 65-86, Kyushu University Press, 2019

(2) Sakai Setsuko, Takahama Tetsuyuki, A Study on Selecting an Oblique Coordinate System for Rotation-Invariant Blend Crossover in a Real-Coded Genetic Algorithm, Recent Studies in Economic Sciences: Information Systems, Project Managements, Economics, OR and Mathematics, 65-87, Kyushu University Press, 2018

(3) Sakai Setsuko, Takahama Tetsuyuki, A Comparative Study on Grouping Methods for an Adaptive Differential Evolution, Challenging Researches in Economic Sciences: Legal Informatics, Environmental Economics, Economics, OR and Mathematics, 51-91, Kyushu University Press, 2017

(4) Sakai Setsuko, Takahama Tetsuyuki, A Comparative Study on Detecting Ridge Structure for Population-Based Optimization Algorithms, Contemporary Works in Economic Sciences: Legal Informatics, Economics, OR and Mathematics, 61-82, 2016

(5) Sakai Setsuko, Takahama Tetsuyuki, A Study on Adaptive Parameter Control for Interactive Differential Evolution Using Pairwise Comparison", New Solutions in Legal Informatics, Economic Sciences and Mathematics, 101-121, Kyushu University Press, 2015

## 6. 研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名:海生 直人

ローマ字氏名:(Kaio, naoto)

所属研究機関名:広島修道大学

部局名:経済科学部

職名:教授

研究者番号(8桁):80148741

研究分担者氏名:廣光 清次郎

ローマ字氏名:(Hiromitsu, seijirou)

所属研究機関名:広島修道大学

部局名:経済科学部

職名:研究員

研究者番号(8桁):90043827

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。