

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 9 日現在

機関番号：35404

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2010～2013

課題番号：22510166

研究課題名(和文) 近傍構造と近似モデルを利用した効率的制約付き最適化手法に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Efficient Constrained Optimization Methods using Neighborhood Structures and Approximation Models

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) 3,300,000円、(間接経費) 990,000円

研究成果の概要(和文)：「集団に基づく最適化手法」に対して、探索効率と頑健性を向上させる(1)動的パラメータ調整法の提案と(2)比較推定法を用いた効率的制約付き最適化法の提案、を行い、有効性を示した。(1)では、目的関数形状に基づく調整(直線に沿った関数値のサンプリングを用いる方法 近接構造と近接グラフを用いる方法)、探索点の分布推定に基づく調整、探索点のランク情報に基づく調整を提案した。(2)では、複数の低精度近似モデルについて比較実験し、ポテンシャルモデルを用いた比較推定法と制約法による制約付き最適化法が効率的であることを示した。

研究成果の概要(英文)：We proposed methods that improved the efficiency and the robustness of population-based optimization algorithms, such as differential evolution: 1. Methods that dynamically tune algorithm parameters (1)according to the landscape modality of the objective function which is estimated by sampling the objective values along a line and by using proximity graphs and neighborhood structures, (2)according to the estimated distribution of search points, (3)according to the ranking-information of points. Their advantages are shown by solving benchmark problems and comparing them with other methods. 2. Efficient constrained optimization methods that combined estimated comparison method with epsilon constrained method. The estimated comparison is a comparison using rough approximation model. By comparing with several rough models, it is shown that the potential model is the most efficient model for the estimated comparison.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学，社会システム工学・安全システム

キーワード：非線形最適化 多点探索法 サンプリング 近傍構造 近似モデル 低精度近似モデル 制約付き最適化 差分進化

## 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。しかし、多峰性の目的関数や厳しい制約領域を有する最適化問題の中には、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て最適化を行う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に対する計算コストが非常に高くなる傾向にある。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アルゴリズムの開発が大きな課題となっている。従来研究の内容と動向については、次のようであった。

### (1) 制約付き最適化に関する研究

制約付き最適化問題に対して直接探索法を適用する研究が、進化的アルゴリズム(EA)を中心に特に海外において、活発に行われていた。我々は、制約なし最適化手法を制約付き最適化手法に変換する新たなアルゴリズム変換法として制約法を提案し、遺伝的アルゴリズム(GA), Differential Evolution(DE), Particle Swarm Optimization(PSO)等に適用し、制約法が高い探索性能と高速な探索を実現する汎用的なアルゴリズム変換法であることを示していた。

### (2) 目的関数の評価回数削減に関する研究

最適化問題の大規模化に伴い目的関数の評価コストが増大してきており、特に海外において、(目的)関数の評価回数削減に関する研究がEAを中心に活発に行われている。上記(1)の研究で用いたDEやPSOは、複数の解により集団を形成し、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、この解が良ければ元の解と置換するという操作を繰り返すことによって最適化を行うという共通の性質を持つ最適化手法(このような手法を「集団的降下法」と呼ぶ)であるが、このような手法では1回の探索において多数の解に対して関数評価を行うため、関数評価回数の削減は重要な課題である。目的関数の評価回数を大幅に削減する方法としては、目的関数の近似モデルを作成し、近似値を利用する方法がある。多くの従来研究では、高精度の近似モデルを構築し、近似値を利用することで、大幅な評価回数の削減を行っている。しかし、高精度の近似モデルを作成するための学習方法が問題毎に異なり汎用性が低く、近似モデルの学習コストが関数評価回数の削減効果を上回るなど、多くの問題があり、近似モデルの作成まで含めた最適化システム全体としては計算コストが高く、汎用性の低いものになっている。そこで、我々は先行研究において、集団的降下法における新しい解と古い解の比較のみに近似値を用い、新しい解が良いと推定された場合のみ関数評価を行う「比較推定法」を提案し、近似モデルとしてモデル学習が不要な近似精度の低いモデル(低精度近似モ

デル)を利用することを提案した。低精度近似モデルは、近似誤差は大きいですが、EA等の場合、近傍点間の大小関係のある程度表現でき、誤差を考慮して近傍の点の比較に利用することは可能である。低精度近似モデルを利用した比較推定法により、大幅な関数評価回数の削減を実現した。さらに、低精度近似モデルはモデル学習が不要であるため、広範囲の問題に適用可能であることを示した。また、制約と組み合わせる制約付き最適化手法に適用し、比較的制約条件が緩やかな問題に対して関数評価回数を大幅に削減できることを示した。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、1.で述べた特に海外での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、近似モデルを含む最適化システム全体としての汎用性が高い最適化手法を開発することである。そのために、以下の目標毎に研究を行った。

### (1) 集団的降下法における探索効率の向上

集団的降下法は、目的関数の解析的性質や制約領域の凸性などの制約を受けない汎用的な方法である。しかし、例えば、最小化問題の場合、谷点(局所最小点)では局所探索、山点(局所最大点)では大域探索を行うことが望ましいにもかかわらず、従来の集団的降下法では、集団内の全ての点に対して一律に同じ探索方法を適用するため、解析的性質を用いた最適化手法に比べて探索効率が悪いという問題がある。そこで本研究では、目的関数の概形を考慮して、各点毎に異なる探索方法を適用し、探索効率の向上を図る。この目標を達成するに当たり、低精度モデルを利用する探索では、特に、目的関数が多峰性の場合や関数形状が急峻な場合、近似精度が低いため関数の山谷などの概形をとらえることは困難であり、新たな方法を検討する必要がある。本研究では、集団内のどの2点か隣接するかという情報(集団の近傍構造)と目的関数値を用いて目的関数の概形を推定する。

### (2) 制約付き最適化問題に対する関数評価回数の削減

等式制約など制約条件が厳しい制約付き最適化問題に対して、制約法と低精度近似モデルを利用した比較推定法を適用し、関数評価回数の削減効果を検証する。

### (3) 探索性能の高い、多峰性関数の最適化に強い、汎用的な制約付き最適化手法の提案

先行研究及び本研究成果を統合し、目的関数の概形を参考にした探索方法、低精度近似モデルを利用した比較推定法、制約法を組み合わせる適用した制約付き最適化手法を提案し、その有効性を検証する。

## 3. 研究の方法

以下の5項目に沿って、段階的に研究を進めた。

(1)集団の近傍構造と目的関数値を利用した解探索法(最適化手法)を提案する.

(2)厳しい制約条件を持つ制約付き最適化問題に対する制約法と比較推定法の適用方法を検討する.

(3)制約法と近傍構造と目的関数値を利用した解探索法を組み合わせ適用した制約付き最適化手法を提案し,同手法の探索性能,汎用性等を検討する.

(4)制約なし最適化問題に対して,近傍構造と目的関数値を利用した解探索法と比較推定法を組み合わせ適用した制約なし最適化手法を提案し,同手法の有効性を検証する.

(5)制約法,近傍構造と目的関数値を利用した解探索法,比較推定法を合わせて適用した制約付き最適化手法を提案し,同手法全体の有効性を検証する.

#### 4. 研究成果

研究年度に沿って次のような研究成果をあげている.

2010 年度:

(1) 先行研究の結果である高速かつ頑健な制約付き最適化手法である DEg(数値計算による gradient を利用した突然変異を用いる DE)を改良した DEag を提案した. DEag

では, DEg に集団の多様性維持のためにアーカイブを導入するとともに, 厳しい制約領域を有する最適化問題に対応するために新たなレベルの制御方法を採用した. この研究は, 2010 IEEE Congress on Evolutionary Computation において IEEE Computational Intelligence Society が開催した"実数値パラメータを有する制約付き最適化"に関する Competition において最優秀賞を受賞した. (2) DE は高速かつ頑健な最適化法である一方, パラメータ制御によるアルゴリズムの調整が困難な方法である. 本研究は, DE に, DE のアルゴリズムパラメータ(スケールングファクタと交差率)に対する適応制御とレベルの新たな制御方法を導入した ADE を提案し, テスト問題に適用し, 既存の様々な最適化手法の約半分の関数評価回数で安定的に最適解の高精度近似解が得られることを示した.

(3)変数間に強い関連性がある問題に対応して DE を改良した. DE は変数間に強い関連性がある問題では探索性能が低下する. そこで, 回転不変性を有する交叉を提案し, 確率的に回転不変交叉を用いる DE(RIDE)を提案した. この研究は, 制約なし最適化問題を対象として行い, 13 個のテスト問題に適用し, 従来の DE と探索性能を比較した. その結果, ほとんど全ての問題において, RIDE の方が従来の DE よりも有効であることが示された.

2011 年度:

(1)変数間に強い依存性がある問題に対して DE の探索性能が低下する問題点を解決するために, 回転不変性を有する局所標本操作(Local

Sampling Operation, LSO)を提案した. LSO では, 親と異なる複数の探索点を選択し, 親を中心としこれらの点により張られた局所領域から 1 点を子として選択する. LSO の成功率を用いて DE の通常の交叉操作と LSO を確率的に採用するとともに, 局所探索と大域探索の切替を行った. 13 個のテスト問題により関数評価回数を大きく削減できることを示した. (2)ファジィクラスタリングによる分割エントロピーを用いた探索点の分布推定法を提案した. エントロピーが非常に高ければ探索点が一様に分布し無作為探索, 低ければ偏って分布し方向探索を行うようにパラメータ制御を行った. また, 基本ベクトルの選択方法として貪欲戦略である species-best 戦略を提案した. 13 個のテスト問題により標準 DE に比べて関数評価回数を削減できることを示した. (3)各探索点の集団内のランク情報を用いて, 探索点毎にパラメータ F と CR を制御する固定的パラメータ設定法を提案し, DE に適用した. 比較的簡単な, 3 個のテスト問題により他手法に比べて関数評価回数を大きく削減できることを示した. (4)(2)の species-best 戦略を用いた DE(SDE)において, 種分化で用いる近傍構造による SDE の性能比較を行った. k-平均法, k-近傍法, k-無作為法による近傍を用いた. 13 個のテスト問題による比較実験の結果, SDE においては k-近傍法と k-無作為法が k-平均法より優れていることが示された.

2012 年度:

(1)DE は, 制御パラメータであるスケールングファクタ F, 交叉率 CR, 集団サイズ NP の値によって探索性能に大きな差が出る. 昨年度 F と CR について, 基本ベクトルのランク情報に基づき個体毎に値を固定的に設定するパラメータ設定法を提案し, DE に適用した Rank-based DE(RDE)を提案した. 今年度は, 稜構造関数や多峰性関数など DE において探索性能が低下する困難な問題を含む 13 個のテスト問題に RDE を適用し, 標準的 DE や様々な工夫をした DE, 成功でパラメータ調整を行う JADE と比較し, RDE の有効性を示した. (2)昨年度, 探索点のランク情報に基づきパラメータ値を設定する DE である RDE を提案した. 今年度は, 等式制約や制約領域が非連結な場合など探索が困難な問題を含む 12 個のテスト問題に RDE を適用し, 他の EA による最適化手法と性能比較し, RDE の有効性を示した. (3)高次元の大規模な NLP 最適化問題を解くために, 少数の探索点と多様性を維持するためのアーカイブを用い, ランク情報に基づきスケールングファクタ F の値を固定的に設定する DE(LMDEa)と動的に設定する(LMaDEa)を提案した. 高次元のテスト関数を最適化し他手法と比較しその有効性を示した(4)前年度に引き続き種分化を用いた DE である SDE について検討を行った. 2012 年度は近接グラフを用い, 親と連結した個体で種を構成し最良個体を種とする SDE について検討を行った. 近接グラフとし

ては Gabriel グラフ, 相対近傍グラフ, 競合ヘブ則によるグラフを用いた.

2013 年度:

(1)目的関数の形状推定: 昨年度, 探索領域内に探索点の重心と最良点を結ぶ直線上の標本点における関数値の変化によって関数形状を推定するサンプリングに基づく方法を提案し, DE に適用した. 今年度は, PSO に対して同方法を適用し有効性の検討を行った. また, 今年度はグラフに基づく推定方法について検討した. 探索点集合からなる近接グラフを構成し, 隣接した探索点の関数値を比較する. 隣接する全ての点よりも関数値が良好な点を谷点と推定する. 谷点の数が 1 ならば単峰性, そうでなければ多峰性と判定する方法を提案し, その有効性を確認した. (2)アルゴリズムパラメータの自動調整: 対象とする最適化アルゴリズムとしては, DE を採用した. DE のアルゴリズムパラメータであるスケールリングファクタ  $F$  と交叉率  $CR$  について, (1)の関数形状の推定に基づき, 単峰性の場合には収束速度を高めるために  $F$  を小さく  $CR$  を大きくし, 多峰性の場合には局所解を避けるために  $F$  を大きく  $CR$  を小さくする自動調整法を採用した. NRDE(DE with Nest-building and Role-sharing)を提案した. (3)制約付き最適化の効率化: 制約付き最適化の探索効率を向上するために, 低精度近似モデルを用いて関数評価回数を削減する比較推定法と制約法を統合する方法について検討した. 目的関数の近似はカーネル回帰モデルを用いた低精度近似モデルを採用した. DEkr を提案し, 13 のベンチマーク問題で実験し, その有効性を確認した.

## 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 19 件)

1)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Efficient Constrained Optimization by the  $\varepsilon$  Constrained Differential Evolution with Rough Approximation Using Kernel Regression, Proc. of 2013 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 査読有, 2013, pp.1334-1341

DOI: 10.1109/CEC.2013.6557719

2)高濱徹行, 阪井節子, 進化的アルゴリズムにおける関数形状の概形推定, 第3回コンピュータショナル・インテリジェンス研究会講演論文集, 査読無, 2013, pp.25-31

3)阪井節子, 高濱徹行, 巢形成と役割分担を用いた最適化手法に関する一考察, 数理解析研究所講究録, 査読無, 1864, 2013, pp.20-29

4)阪井節子, 高濱徹行, 巢形成と役割分担を用いた最適化手法の改良, 数理解析研究所講究録, 査読無, 1857, 2013, pp.1-18

5)Setsuko Sakai, Tetsuyuki Takahama, Large Scale Optimization by Adaptive Differential

Evolution with Landscape Modality Detection and a Diversity Archive, Journal of Business Studies (近畿大学商経学叢), 査読無, vol.58, 2012, pp. 605-627

6)高濱徹行, 阪井節子, RDE: 探索点のランク情報を利用した効率的な Differential Evolution の提案, 電子情報通信学会論文誌, 査読有, vol. J95-D, 2012, pp. 1196-1205

7)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Efficient Constrained Optimization by the  $\varepsilon$  Constrained Rank-Based Differential Evolution, Proc. of 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 査読有, vol.1, 2012, pp. 62-69  
DOI: 10.1109/CEC.2012.6256111

8)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Differential Evolution with Dynamic Strategy and Parameter Selection by Detecting Landscape Modality, Proc. of 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 査読有, vol.1, 2012, pp. 2114-2121  
DOI: 10.1109/CEC.2012.6256613

9)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Large Scale Optimization by Differential Evolution with Landscape Modality Detection and a Diversity Archive, Proc. of 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 査読有, vol.1, 2012, pp. 2842-2849  
DOI: 10.1109/CEC.2012.6252911

10)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Differential Evolution with Graph-Based Speciation by Competitive Hebbian Rules, Proc. of Sixth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing, 査読有, vol.1, 2012, pp. 445-448  
DOI: 10.1109/ICGEC.2012.83

11)阪井節子, 高濱徹行, 制約付き最適化手法制約 Differential Evolution における探索点のランク情報の利用法に関する一考察, 数理解析研究所講究録, 査読無, 1802, 2012, pp. 34-41

12)阪井節子, 対話的一対比較評価のための種分化型差分進化の提案, 日本生産管理学会論文誌, 査読無, vol.19, 2012, pp. 35-40

13)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Efficient Nonlinear Optimization by Differential Evolution with a Rotation-Invariant Local Sampling Operation, Proc. of 2011 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 査読有, vol.1, 2011, pp. 2215-2222  
DOI: 10.1109/CEC.2011.5949889

14)Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Fuzzy C-Means Clustering and Partition Entropy for Species-Best Strategy and Search Mode Selection in Nonlinear Optimization by Differential Evolution, Proc. of 2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 査読有, vol.1, 2011, pp. 290-297

DOI: 10.1109/FUZZY.2011.6007625

15)Tetsuyuki Takahama,  Setsuko Sakai, Constrained Optimization by the Constrained Differential Evolution with an Archive and Gradient-Based Mutation, Proc. of 2010 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 査読有, vol.1, 2010, pp. 1680 - 1688

DOI: 10.1109/CEC.2010.5586484

16)Tetsuyuki Takahama,  Setsuko Sakai, Efficient Constrained Optimization by the Constrained Adaptive Differential Evolution an Archive and Gradient-Based Mutation, Proc. of 2010 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 査読有, vol.1, 2010, pp. 2052 - 2059

DOI: 10.1109/CEC.2010.5586545

17)Tetsuyuki Takahama,  Setsuko Sakai, Solving Nonlinear Optimization Problems by Differential Evolution with a Rotation-Invariant Crossover Operation using Gram-Schmidt Process, Proc. of the World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing 2010, 査読有, vol.1, 2010, pp. 533 - 540

DOI: 10.1109/NABIC.2010.5716327

18)阪井節子,高濱徹行,多次元空間における近傍構造を利用した最適化アルゴリズムに関する一検討,数理解析研究所講究録,査読無, 1682, 2010, pp. 184 - 192

<http://hdl.handle.net/2433/141385>

19)阪井節子,高濱徹行, Differential Evolution による非線形最適化

— 直交ベクトルを用いた回転不変性を有する交叉の実現 —, 数理解析研究所講究録, 査読無, 1734, 2011, pp. 188 - 195

<http://hdl.handle.net/2433/170761>

〔学会発表〕(計 18 件)

1)阪井節子,高濱徹行, 峰判定を利用した Particle Swarm Optimization の戦略選択に関する提案, 愛知大学経営学会主催ワークショップ, 2014 年 2 月 22 日, 愛知大学(名古屋市)

2)阪井節子,高濱徹行, 低精度近似モデルを用いた制約なし最適化における勾配ブースティングの効果, RIMS 研究集会「不確実性の下での数理的意思決定の理論と応用」, 2013 年 11 月 12 日, 京都大学数理解析研究所(京都市)

3)Tetsuyuki Takahama,  Setsuko Sakai, Efficient Constrained Optimization by the Constrained Differential Evolution with Rough Approximation Using Kernel Regression, 2013 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2013 年 6 月 22 日, カンクン(メキシコ)

4)阪井節子,高濱徹行, 巢形成と役割分担を用いた最適化手法の改良, RIMS 研究集会「決定過程に関わる 数理モデルの新たな展開と応用」, 2013 年 2 月 18 日, 京都大学数理解析研究所(京都市)

5)阪井節子,高濱徹行, 巢形成と役割分担を用

いた最適化手法に関する一考察, RIMS 研究集会「確率的環境下での意思決定解析」, 2012 年 11 月 19 日, 京都大学数理解析研究所(京都市)

6)阪井節子, 対話的—対比較評価のための種分化型差分進化の提案, 日本生産管理学会第 36 回全国大会, 2012 年 9 月 09 日, 広島修道大学(広島市)

7)高濱徹行, 阪井節子, 競合ヘブ則によるグラフ生成に基づく種分化型 Differential Evolution の提案, 第 22 回インテリジェント・システム・シンポジウム, 2012 年 8 月 31 日, てだこホール(浦添市)

8)Tetsuyuki Takahama,  Setsuko Sakai, Differential Evolution with Graph-Based Speciation by Competitive Hebbian Rules, The Sixth International Conference on Genetic and Evolutionary Computing, 2012 年 8 月 26 日, 北九州国際会議場(北九州市)

9)Tetsuyuki Takahama,  Setsuko Sakai, Large Scale Optimization by Differential Evolution with Landscape Modality Detection and a Diversity Archive, 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2012 年 6 月 14 日, プリスベン(オーストラリア)

10)Tetsuyuki Takahama,  Setsuko Sakai, Differential Evolution with Dynamic Strategy and Parameter Selection by Detecting Landscape Modality, 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2012 年 6 月 13 日, プリスベン(オーストラリア)

11)Tetsuyuki Takahama,  Setsuko Sakai, Efficient Constrained Optimization by the Constrained Rank-Based Differential Evolution, 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2012 年 6 月 11 日, プリスベン(オーストラリア)

12)阪井節子,高濱徹行, 制約付き最適化手法 制約 Differential Evolution における探索点のランク情報の利用法に関する一考察, RIMS 研究集会「不確実・不確定環境下における数理的意決定とその周辺」, 2011 年 11 月 7 日, 京都大学数理解析研究所(京都市)

13)Tetsuyuki Takahama,  Setsuko Sakai, Fuzzy C-Means Clustering and Partition Entropy for Species-Best Strategy and Search Mode Selection in Nonlinear Optimization by Differential Evolution, 2011 IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 2011 年 6 月 28 日, 台北(台湾)

14)Tetsuyuki Takahama,  Setsuko Sakai, Efficient Nonlinear Optimization by Differential Evolution with a Rotation-Invariant Local Sampling Operation, 2011 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2011 年 6 月 8 日, ニューオーリンズ(アメリカ合衆国)

15) Tetsuyuki Takahama,  Setsuko Sakai, Solving Nonlinear Optimization Problems by Differential

Evolution with a Rotation-Invariant Crossover Operation using Gram-Schmidt Process, The World Congress on Nature and Biologically Inspired Computing 2010, 2010年12月17日, 北九州国際会議場 (北九州市)

16) 阪井節子, 高濱徹行, Differential Evolutionによる非線形最適化—直交ベクトルを用いた回転不変性を有する交叉の実現—, RIMS 研究集会「不確実性下における意思決定問題」, 2010年11月25日, 京都大学数理解析研究所(京都市)

17) Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Efficient Constrained Optimization by the Constrained Adaptive Differential Evolution, 2010 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2010年7月23日, バルセロナ(スペイン)

18) Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Constrained Optimization by the Constrained Differential Evolution with an Archive and Gradient-Based Mutation, 2010 IEEE Congress on Evolutionary Computation, 2010年7月21日, バルセロナ(スペイン)

〔図書〕(計 5 件)

1) Setsuko Sakai, Tetsuyuki Takahama, Kyushu University Press, “A Comparative Study on Estimation Models of Landscape Modality for Evolutionary Algorithms” in Legal Informatics, Economic Science and Mathematical Research, M.Kitahara and C.Czerkowski (eds.) 2013, pp.55-80

2) Setsuko Sakai, Tetsuyuki Takahama, Kyushu University Press, “A Comparative Study on Graph-Based Speciation Methods for Species-Based Differential Evolution” in Social Systems Solutions through Economic Sciences, M.Kitahara and C.Czerkowski (eds.), 2012, pp.105-125

3) Setsuko Sakai, Tetsuyuki Takahama, Kyushu University Press, “A Comparative Study on Neighborhood Structures for Speciation in Species-Based Differential Evolution” in Social Systems Solutions Applied by Economic Sciences and Mathematical Solutions, M.Kitahara and C.Czerkowski (eds.), 2011, pp. 111-135

4) Tetsuyuki Takahama, Setsuko Sakai, Springer-Verlag, “Reducing Function Evaluations Using Adaptively Controlled Differential Evolution with Rough Approximation Model” in Computational Intelligence in Expensive Optimization Problems, Y.Tenne and C.-K.Goh(eds.), 2010, pp. 111 - 129

5) Setsuko Sakai, Tetsuyuki Takahama, Kyushu University Press, “RIDE: Differential Evolution with a Rotation-Invariant Crossover Operation for Nonlinear Optimization” in The New Viewpoints and New Solutions of Economic Sciences

in the Information Society, S.Hiraki and N.Zhang (eds.), 2010, pp. 85 - 108

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://ns1.shudo-u.ac.jp/~setuko/Jp/papers.html>

## 6 . 研究組織

### (1) 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: 6 0 1 8 6 9 8 9

### (2) 研究分担者

海生 直人 (KAIO Naoto)  
広島修道大学・経済科学部・教授  
研究者番号: 8 0 1 4 8 7 4 1

廣光 清次郎 (HIROMITSU Seijirou)  
広島修道大学・経済科学部・教授  
研究者番号: 9 0 0 4 3 8 2 7