

# Artificial Bee Colony 法を用いたグラフ色塗り問題の解法

富樫 勇哉<sup>†</sup> アランニャ・クラウス<sup>‡</sup> 狩野 均<sup>‡</sup>  
筑波大学 情報科学類<sup>†</sup> 筑波大学 システム情報系<sup>‡</sup>

## 1. はじめに

Artificial Bee Colony(ABC)[1]は蜂の群れの採餌行動をモデルとした探索手法である。ABCは連続値を扱う問題に対する手法であるため、組合せ最適化問題や制約充足問題に適用するためには離散変数の扱いが問題となる。従来、Sigmoid関数を用いた群知能の離散化方法が提案されている[2]が性能は十分とはいえない。本稿では、ABCの解の変更式を離散変数に適用する方法、ならびに部分解を用いる方法を提案する。

本手法と従来手法をグラフ色塗り問題へ適用し、本手法の有効性を評価する。また、有効な部分解の数について考察する。

## 2. 基礎事項

### 2.1 グラフ色塗り問題

グラフ色塗り問題とは、与えられたグラフに対して、リンクでつながれたノードが同じ色にならないように、すべてのノードに色を塗りわけける問題である。本研究では、Minton らによって提案された方法により 3色グラフ色塗り問題を生成する[3]。また、ノードの数  $n$  とリンクの数  $m$  で定義される制約密度  $d=(m/n)$  を用いて問題を分類して考察する。制約密度は問題の難易度を表すものであり、 $d=2.5$  付近が難しい問題とされている。

### 2.2 解のコード化

本研究では解候補を一次元配列として表現する。使用する色は 3 色で、赤=0、青=1、緑=2 と対応させ、各ノードはいずれかの色で塗られている。ノード数 4 のグラフと解のコードの例を図 1 に示す。

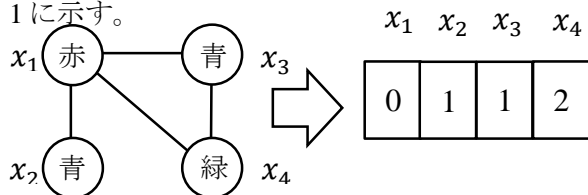


図 1 グラフと解のコードの例

### 2.3 ABC のアルゴリズム

- Step1 ABC の解候補をランダムに初期化する。  
Step2 employed bee と onlooker bee により局所探索を行う。始めに、変更する解候補  $i$  と変更利用する解候補  $k$  を選択する。次にランダムに 1 要素を選択し、解の変更式 (式 (1)) を適用し、解候補の変更を行う。解候補の変更後、解候補の適応度が低下した場合、解候補の変更を取り消す。  
Step3 scout bee が一定回数連続で変更されなかった解候補をランダムに初期化する。  
Step4 終了条件を満たしたら解を発見とし、探索を終了する。終了条件を満たさない場合は Step2 に戻る。

$$x'_{ij} = x_{ij} + \varphi(x_{ij} - x_{kj}) \dots (1)$$

$i$ : 変更する解候補の番号

$j$ : 解候補における要素の番号

$k$ : 変更利用する解候補の番号

$\varphi$ :  $[0, 1]$  の一様乱数

## 3. 提案手法

提案手法では、2.3 節の Step2 を以下のように変更した。

- Step2.1 変更する解候補  $i$  と変更利用する解候補  $k$  を選択する。  
Step2.2 ランダムに  $c$  (定数) 個の要素 (成分) を選択し、その要素において、 $i$  の色を  $k$  の色と同じにする。  
Step2.3 解候補の変更後、適応度が低下した場合には、変更を取り消す。

## 4. 実験

### 4.1 定数パラメータ $c$ の最適化

ノード数 150、180、210、制約密度  $d=2.5$  の 3 色グラフ色塗り問題に対して、定数パラメータ  $c$  の値を変更して実験を行った。また、変更する要素の数を 1~4 の一様乱数で決定する方法とも比較を行った。試行回数は 30 回である。

定数パラメータ  $c$  を変更した実験結果を図 2 に示す。図 2 より以下のことがわかる。

- ・ 制約密度  $d=2.5$  において、ノード数を 150、180、210 で変更しても変更する要素数の最適値は  $c=3$  である。

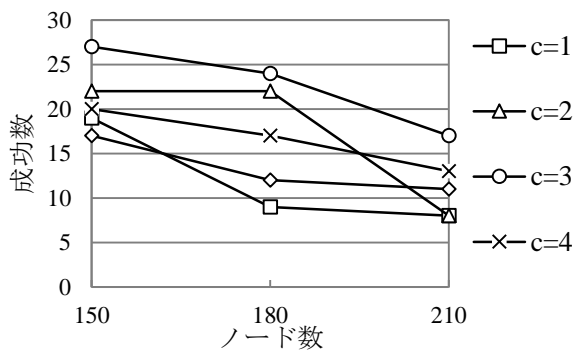


図2 定数パラメータ $c$ とノード数の関係 ( $d=2.5$ )

- ・ 変更する要素数は一様乱数の場合と比べて、定数のほうが高い成功数を示す。

## 4.2 従来手法との比較

### 4.2.1 実験方法

ノード数150の3色グラフ色塗り問題に対して、本手法、Sigmoid関数を用いたABC(SigmoidABC)、遺伝的アルゴリズム(GA)の比較実験を行った。SigmoidABCは、従来のABCの解の変更式(式(1))にSigmoid関数を適用したものである。GAはルーレット選択、一様交叉、エリート保存なしとした。表1に実験条件を示す。パラメータの値は予備実験により最適化した。以下では、50回の試行中で解を発見できた回数(成功数)、ならびに解を発見できた場合の適応度の評価回数の平均(平均評価回数)を用いて各手法の性能を評価する。また、各手法の評価回数が同じになるように配慮した。

表1 実験条件

	提案手法	SigmoidABC	GA
世代数	2万	2万	20万
集団サイズ	500	500	100
$c$	3	3	N/A
employed bee	500	500	N/A
onlooker bee	500	500	N/A
scout bee	1	1	N/A
突然変異率	N/A	N/A	0.6%

### 4.2.2 実験結果と考察

図3は成功数、図4は平均評価回数を表している。本手法をSigmoidABCと比較すると、提案手法が $d=2.5$ において高い成功数を示した。これは、SigmoidABCが解の変更式にSigmoid関数を適用した際、色の種類によって距離が異なってしまうため、各色の出現割合が等価でなくなってしまうことが原因と考える。次に提案手法とGAを比較すると、提案手法が $d=2.5$ 付近で高い成功数を

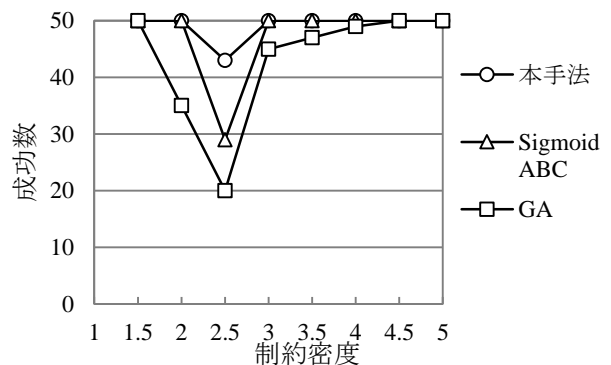


図3 50回中の成功数 (ノード数=150)

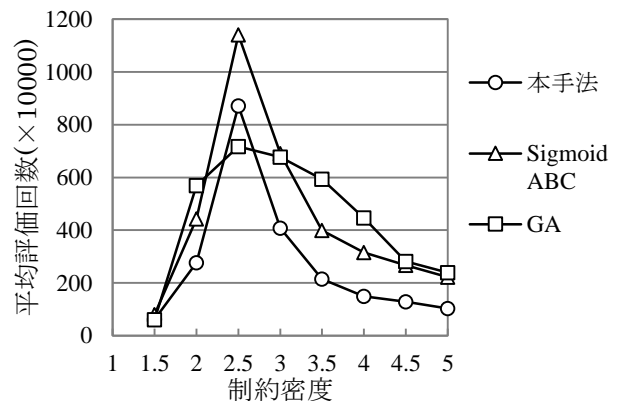


図4 50回中の平均評価回数 (ノード数=150)

示した。これはABCの局所探索が有効に働いたものと考えられる。

## 5. おわりに

ABCを用いたグラフ色塗り問題の新たな手法を提案した。実験結果より、本手法の有効性を確認した。今後は、ノード数のより大きい問題に対する実験と、制約密度 $d=2.0\sim 3.0$ について、詳細な実験と考察を行う予定である。本研究はJSPS科研費15K00296の助成を受けたものである。

## 参考文献

- [1] D. Karaboga, B. Bosturk, A powerful and efficient algorithm for numerical function optimization: artificial bee colony (ABC) algorithm, *Journal of Global Optimization*, Vol.39, No.3, pp.459-471 (2007).
- [2] Jonas Krause, et al., *A Survey of Swarm Algorithms Applied to Discrete Optimization Problems*, *Swarm Intelligence and Bio-Inspired Computation: Theory and Applications*. Elsevier Science & Technology Books pp.169-191(2013).
- [3] Steven Minton, et al., Minimizing Conflicts: A Heuristic Repair Method for Constraint-Satisfaction and Scheduling Problems, *Artificial Intelligence*, Vol.58, pp.161-205 (1992).