

F-006

## エージェントの分布に基づくフェロモン更新を導入した ACO

ACO with Pheromon Update Based on Distribution of Agents

滝川 将巧<sup>†</sup>  
Masayoshi Takigawa

服部 元信<sup>‡</sup>  
Motonobu Hattori

## 1. はじめに

フェロモンを分泌するアリ(以下, エージェント)の群行動からヒントを得た Ant Colony Optimization(ACO)は, 新しい最適化手法として注目され, 近年多くの研究がなされている. ACOは遺伝的アルゴリズム, ニューラルネットワーク, シミュレテッドアニーリングなどの最適化手法との比較においても, 優れた結果が得られることが報告されている. ACOの基本となるモデルである Ant System(AS)[1]はDorigoらにより提案され, 巡回セールスマン問題(Traveling Salesman Problem; TSP)に適用された. 以後, いくつかの改良手法がこれまでに提案されている. Bullnheimerらは, エージェントを経路長によりランク付けし, ランク値に比例した量のフェロモンを分泌させる  $AS_{rank}$  を提案した[2]. しかし, この手法では短い経路長を示す良いエージェントに群全体が似てしまうようになる集中化が起こり, 多様性が失われる傾向がある. 結果として, 良い解を見付けること困難になる場合がある. これに対し, 巽らは, フェロモンの値が少ない経路を高い確率で選択する逆感度を持つエージェントを導入した手法を提案し, 多様性が維持できることを示した[3]. これらの研究から, ACOでは, 遺伝的アルゴリズムのような他の多点探索による最適化手法と同様に, 解の集中化と多様性の維持のバランスが極めて重要であることが示唆される.

そこで本研究では, ACOにおいて, 解の集中化と多様性の維持を両立させることによって, より効率的に解を探索することを目的とし, 巡回経路長を尺度としたエージェントの分布に基づきエージェントをグループ分けし, いくつかのグループのみを選択しフェロモンを分泌させる手法を提案する. このとき, 巡回経路長の短い, 良いグループだけでなく, 巡回経路長の比較的長いグループも選択することで, 解の探索における集中化と多様性の維持が実現できると期待できる.

## 2. ACOの概要

エージェントはそれぞれの都市にランダムに配置され, 都市  $i$  と都市  $j$  に分泌されているフェロモン  $\tau_{ij}$  と, ヒューリスティックな情報  $\eta_{ij}$  を用いて式(1)の確率で次に移動する都市を選択する. ここで,  $p_{ij}^k(t)$  は, サイクル  $t$  におけるエージェント  $k$  が都市  $i$  から都市  $j$  へ移動する確率,  $\alpha$  と  $\beta$  はフェロモンの情報とヒューリスティックな情報のどちらを重視するかを決定する

パラメータ,  $allowed_k$  はエージェント  $k$  が未訪問の都市の集合である.

$$p_{ij}^k = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{s \in allowed_k} [\tau_{is}(t)]^\alpha [\eta_{is}]^\beta} & \text{if } j \in allowed_k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

また, 一般的に,  $\eta_{ij}$  は都市  $i$  と都市  $j$  の距離  $d_{ij}$  の逆数と定義され, 距離が長いと小さい値が与えられる.

$$\eta_{ij} = 1/d_{ij} \quad (2)$$

エージェントはそれぞれが生成した経路  $T^k$  の巡回経路長  $L_k$  により, 式(3)のように新たにフェロモンを分泌する.

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{L_k} & \text{if } (i, j) \in T^k \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

ここで  $Q$  は定数である. 式(3)より, 生成された巡回経路が短いほど, その経路にはより多くのフェロモンが分泌されることになる. 全てのエージェントが都市を巡回し, 経路を生成した後, 都市間に分泌されているフェロモンを式(4)により更新する.

$$\tau_{ij}(t+1) = (1-\rho)\tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k \quad (4)$$

$\tau_{ij}(t)$  はサイクル  $t$  までに経路に蓄積されているフェロモン量,  $\sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k$  はサイクル  $t$  で新たに分泌されたフェロモン量の総和,  $\tau_{ij}(t+1)$  は次サイクルのフェロモン量である. また,  $\rho(0 < \rho < 1)$  は蒸発係数と呼ばれ, 自然界で揮発性物質であるフェロモンは少量ずつ減少することから取り入れられたものである.

## 3. エージェントの分布に基づくフェロモン更新

本研究では, 解探索における集中化と多様性の維持を実現するために, エージェント全体を複数のグループに分け, 選択した少数のグループのエージェントのみにフェロモンを分泌させる方法を提案する.

エージェントのグループ分けは次のように行う. まず, サイクル  $t$  における巡回経路長  $L_k(t)$  を尺度にして, エージェントの分布を求める. 求めた分布を図1のように, 標準偏差 (s.d.) を用いて, 6つのグループ

<sup>†</sup>山梨大学大学院医学工学総合教育部

<sup>‡</sup>山梨大学大学院医学工学総合研究部

に分ける．巡回経路が短いエージェントほど良い解を表していることになるから，グループ1は最優良集団であり，グループ2,3はそれぞれ優良集団，良集団といえる．一方，グループ4~6は解としては相対的に悪いものの集団となる．

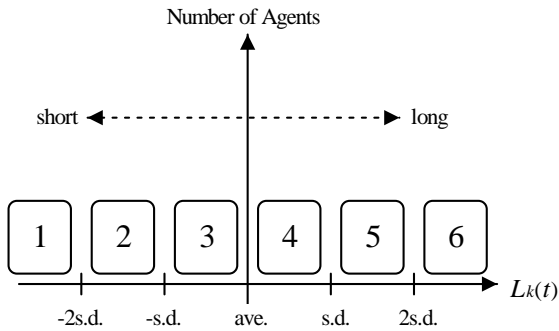


図 1: エージェントの分布とグループの設定．

このとき，フェロモンを分泌させる集団として，グループ1や2のみを選択すると，うまくいくと効率よく良い解を得ることが出来る可能性があるが，一方で，急速に多様性が失われ，局所解から抜け出せなくなる可能性もある．そのため，集中化と多様性の維持を両立させるためには，良い解の集団だけではなく，悪い解の集団にもフェロモンを分泌させることが効果的であると考えられる．具体的に，どのグループを選択してフェロモンを分泌させると良いかについては，次章の実験によって調査する．

#### 4. 計算機シミュレーション

##### 4.1 グループの組合せ

ここでは，提案手法における効果的なグループの組合せを調査することを目的とし，TSPLIB[4]の100都市問題(kroA100)を用いて，探索によって得られた最良解の推移を調べた．グループの組合せは，最優良集団であるグループ1を基準として，(1,6)，(1,5)，(1,4)，(1,2)，(1,2,5)の5通りを用いた．またサイクル数の上限は10000， $\alpha=0.1$ ， $\beta=0.4$ ， $\rho=0.02$ とした．図2に結果を示す．図に示されているように，(1,6)，(1,5)のように極端な組合せでは，ランダムに経路を選択するような傾向になってしまい，効率的な探索は行えなかった．一方，(1,2,5)のように優良集団と平均より少し悪い集団を組み合わせたとこ，5通りの組合せの中でもっとも最適解に近い値を求めることができた．これは，グループ1,2による集中化に加え，グループ5による多様性が加わったためと考えられる．

##### 4.2 従来法との比較

ここでは，100都市問題(kroA100)を用いて提案法と従来法の比較を行った．提案法のグループの組合せは(1,2,5)とした．表1はサイクル数の上限を10000としたときの最良解(Best)，10試行の平均値(Average)，標準偏差(S.D.)を示す．この表より，提案法は従来法に比べ優れた探索性能を有することがわかる．

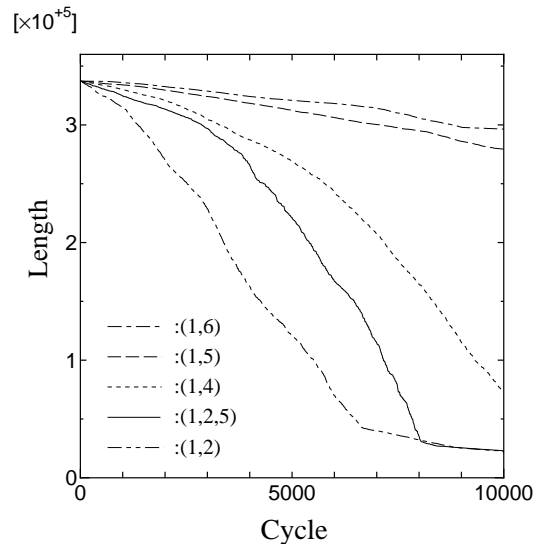


図 2: グループの組合せによる最良解の推移．

表 1: kroA100(最適解:21281)における比較．

手法	Best	Average	S.D.
AS	22561.2	22913.7	192.1
AS <sub>rank</sub>	21718.6	21823.7	60.2
異ら	21296.0	21331.7	31.2
提案法	21284.1	21310.2	20.2

#### 5. むすび

本研究では，ACOにおいてフェロモンを分泌するエージェントを解の分布に基づいて決定する方法を提案した．今回の結果から，グループの組合せにより集中化と多様性の維持を両立できる可能性があることがわかった．今後の課題として，問題の規模を拡張することが挙げられる．

#### 参考文献

- [1] Dorigo M. *et al.*: The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents, IEEE Trans. on SMC-Part B, 26(1):29-41 (1996).
- [2] Bullnheimer, B. *et al.*: A new rank based version of the Ant System: a computational study, Cent. Europ. J. for Op. Research and Economics, 7(1):25-38 (1999).
- [3] 異 啓司 他: 解の多様性を維持するアントコロニー最適化手法, 数理解析研究所講義録, 1526: 241-249 (2006).
- [4] <http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/>