

# 並列 ACO による分割統治型 TSP 近似解法

三島 諒亮<sup>†</sup> 原 元司<sup>†</sup>

松江工業高等専門学校<sup>†</sup>

## 1. はじめに

近年、蟻コロニー最適化(Ant Colony Optimization, ACO)などの生物の群れの習性や特徴に着目した群知能が注目されている。とくに、ACO の一種である Ant System(AS)は、巡回セールスマン問題(Traveling Salesman Problem, TSP)に対して高い精度を示すことが知られている。しかし、本手法は、大規模な TSP においては局所解に陥りやすい、計算量が増加するという欠点がある。この欠点を克服するために、我々の研究室では、AS に都市を分割する分割統治アルゴリズムを持たせた近似解法(DAS)を提案しており、より少ないコストで高い精度の近似解を得られることを示している<sup>[1]</sup>。しかし、本手法は大規模な TSP に適用する方法はまだ確立できていない。また、DAS では、都市を2分割する手法のみ実験しており、都市の分割数の違うときの性能評価は行っていない。

本研究では、DAS の都市群の分割数を2から3へ拡張した手法を提案し、その評価を行う。

## 2. 蟻コロニー最適化とその問題点

群知能(Swarm Intelligence, SI)は、全体を統括する制御機構がないエージェント群の集合的な振る舞いに着目した人工知能技術である。群知能は、単純なアルゴリズムでありながら、しばしばシステム全体で複雑な創発現象を見せることから、注目されている技術の1つとなっている。

一方、ACO は揮発性物質であるフェロモンにより、蟻が餌を探す行動をモデル化したものであり、この基本原理を忠実に具体化したアルゴリズムが AS である。とくに、TSP を解く AS は他の手法に比べて、精度が高い近似解が得られることが知られている<sup>[2]</sup>。

しかし、その一方で大規模な TSP に対して、AS は局所解に陥りやすい、計算量が増大するといった問題点が知られている。これらの問題点を克服するために、これまでにカニングアントや分割統治法など多くの方法が提案されてきた。

これらの方法の多くは解探索の多様化と集中化をバランスよく達成することを主な目的としている<sup>[3]</sup>。

## 3. 分割統治型 TSP

TSP は複数の都市をすべて1回ずつまわるときの総移動距離が最小になる巡回路を求める組合せ最適化問題である。TSP は、一般に最適解を求めることが難しい NP 困難と呼ばれる問題に分類されている。このため、近似解を効率よく求める方法がこれまでに数多く研究されている。

分割統治法は、そのままでは解決が難しい問題をいくつかの小問題に分解して個別に解を求め、最終的に元の問題を解決する手法である。

我々の研究室で提案された DAS(Divide and conquer Ant System)<sup>[1]</sup>では、AS によって得られた巡回路を2つに分割した上で、分割した一方の部分群に AS を適用する。都市群全体への AS の適用と部分問題に対する AS の適用を交互に繰り返すことで、AS の適用よりも計算コストが少ない上に精度が高い近似解が得られている。しかし、大規模 TSP への適用方法がまだ確立できておらず、TSP の都市群(探索空間)の縮減が大きな課題になっている。

## 4. 提案手法

本稿では、大規模 TSP の最適化への足がかりとして、DAS の都市の分割数を増やした3点分割法について実験を行う。3点分割法は以下のアルゴリズムで解探索をする。

- Step 1** 都市全体に AS を適用し巡回路を生成する。
- Step 2** 都市の中から1つ目の分割点に用いる都市をランダムに選択し、都市 A とする。
- Step 3** 現時点の巡回路に沿い、A から  $n/3$  進んだ都市を選択し、都市 B とする。さらに  $n/3$  先の都市を分割点として選択し、都市 C とする。
- Step 4** 都市 A,B,C から3つの部分巡回路を生成し、1つの部分巡回路に対して AS を適用する。AS を適用しなかった2つの部分巡回路と合成して巡回路を生成する。

A Study on Parallel ACO Algorithm with Divide and Conquer Technique

<sup>†</sup>Ryosuke Mishima, Motoshi Hara  
National Institute of Technology, Matsue College

**Step 5** Step2~4 を 2 回繰り返す。

**Step 6** 終了条件が満たされれば終了。

満たされなければ, Step1 へ戻る。

上記の 3 点分割法 (以下 1/3-DAS) では, 従来手法の 2 点分割法と同様に, 全体の巡回路と部分巡回路の最適化を交互に適用することで, 解探索の多様化と集中化が期待できる。

また, 3 点分割法のアルゴリズムの Step4 で 3 つのうち, 2 つの部分巡回路を 1 つの部分巡回路として, 経路の 2/3 に対して AS を適用し, AS を適用しなかった 1 つの部分巡回路と合成して生成するアルゴリズムの 3 点分割法 (2/3-DAS) の性能評価も行う。なお, 分割する経路は分割する時点での最良な巡回路情報を用いる。

## 5. 実験

### 5.1 実験の概要と結果

本稿では, 最適解が既知である TSPLIB [4] の小規模, 大規模な問題をそれぞれ 5 個ずつ用いて, DAS, 1/3-DAS, 2/3-DAS の 4 つの手法に対する性能評価を行なった。AS は正確な局所探索を不得手な特性があるため, 先行研究と同様に MAX-MIN Ant System と 2-opt を併用した。

なお, 本実験で用いた AS のパラメータはフェロモンの重み  $\alpha=1$ , 可視度の重み  $\beta=5$ , 蒸発係数  $\rho=0.8$ , 蟻の数  $n=50$ ,  $Q=100$  である。

それぞれ都市数が少ない問題, 都市数が多い問題に対して,  $10万 \times n$  回手法を適用し, 各問題につき 20 回ずつ実行した。表 1, 2 に手法を適用した場合の経路長の誤差率を示す。計算時間は分割して生成された部分都市数で大きく変化し, 長い順から AS, 2/3-DAS, DAS, 1/3-DAS となる。

本実験の結果, 3 点分割法による 1/3-DAS は AS よりも精度が悪くなった。小規模な問題の最適化には DAS と 2/3-DAS が平均して, 同じ精度でよい解を得られた。また, 大規模な問題においては, 2/3-DAS がもっともよい精度を得られた。

### 5.2 考察

3 点分割法による 1/3-DAS は都市群が小さくなったことで大域探索の特性が薄れてしまい, あまり良い精度が得られなかったと考える。2/3-DAS は DAS とほとんど同じだが, 大規模問題では解精度を改善できている。

**Table 1.** 小規模問題の最適解との誤差率 [%]

問題	AS	DAS	1/3-DAS	2/3-DAS
st70	0.5	0.4	0.7	0.4
eil76	2.8	2.2	2.3	2.0
pr76	0.7	0.6	2.1	0.6
kroA100	0.6	0.4	1.8	0.5
lin105	0.6	0.5	1.1	0.5
平均	1.0	0.8	1.6	0.8

**Table 2.** 大規模問題の最適解との誤差率 [%]

問題	AS	DAS	1/3-DAS	2/3-DAS
lin315	4.4	4.1	4.6	4.0
Pr439	5.5	4.9	6.2	4.7
att531	4.3	3.5	3.9	3.5
rat783	4.4	4.0	5.1	3.8
pr1002	9.5	8.5	11.2	8.3
平均	5.6	5.0	6.2	4.9

## 6. まとめ

本研究では, 分割統治型 AS(DAS)で実施する都市群の分割数を 2 から 3 に拡張した 1/3-DAS と 2/3-DAS を提案し, その性能評価を行なった。いずれも DAS に比べて計算時間で有利であるが, 小規模 TSP については 1/3-DAS が DAS よりも解制度で劣る結果となった。しかし, 大規模 TSP については, 解精度の面で 2/3-DAS が DAS よりも有利であることが確認できた。

今後は Tabu 探索等を併用し, より大規模な問題への適用を試みたい。

### 参考文献

- [1]原 元司, 梶野大輔, 堀内 匠 : “ACO による分割統治型 TSP 近似解法”, 知能と情報, Vol24, No.6, pp1101-1105(2012).
- [2] M.Dorigo, V.Maniezzo & A.Colomi: The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents, IEEE Trans. On SMC-Part B, Vol.26, NO.1, pp.29-41 (1996).
- [3] 筒井茂義 : ACO : アントコロニー最適化. システム/制御/情報, Vol52, No.10, pp390-398 (2008).
- [4] TSPLIB:  
<http://elib.zib.de/pub/mp-testdata/tsp/tsplib/tsplib.html>