

## 巡回セールスマン問題におけるタブー探索を導入した 遺伝的アルゴリズムの改良

### Improvement of Genetic Algorithm Incorporating Tabu Search for the Traveling Salesman Problem

花田良子

関西大学システム理工学部

#### 1. 研究目的

本研究は、代表的なグラフ最適化問題である巡回セールスマン問題（Traveling Salesman Problem: TSP）を対象とし、タブー探索を導入した遺伝的アルゴリズム（Genetic Algorithm: GA）の高性能化を図る。GA は多点探索であり、交叉オペレータの操作および解の評価に多大な計算コストを要するため、大規模な例題への適用に向けてそれらの高速化も図る。そのもとで、TSP の 2 種のベンチマーク集の 1 万都市を超える例題において、大域探索性能評価を行う。

#### 2. 研究成果の内容

TSP においては、頂点間（設計変数間）の依存の範囲が大きく、かつ依存強度が不均一であるほど大域的最適解を得ることが難しい例題となる。このような例題に対して、サンプリング点が集まりにくい部分空間への計算コストの集中的な配分戦略として、これまでにタブー探索の選択メカニズムを解の組換え操作（交叉）に取り入れた GA を提案し、TSP の難問である格子状の頂点列を多く含む TSPLIB や VLSI TSP の小～中規模の例題で TSP の state-of-the-art を凌駕する探索性能を示した。本研究では、まず、大規模な例題に適用するにあたり、再利用辺や隣接頂点のデータ構造を改善し、交叉における交換辺の部分集合の構築や実行時間の多くを占める解の制約内への修正操作を中心に、図 1 のように性能を低下させることなく実行時間の大幅な短縮を実現した。これらの結果は研究室の計算機（Intel Core i7 3.6GHz）で得たものである。

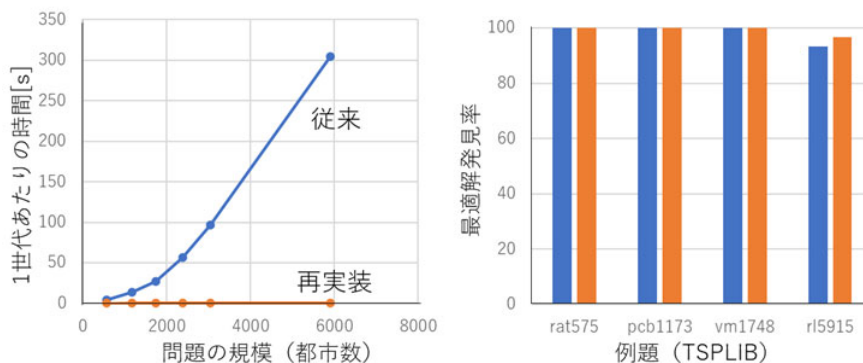


図 1 計算時間の改善と大域的最適解発見率

タブーメカニズムをもつ交叉を高速化したもつとで、永田らによって提案された枝エントロピーに基づく選択オペレータ<sup>[1]</sup>を併用した GA を開発した。本手法は、枝エントロピー選択により GA の母集団に含まれる辺（枝）の多様性を維持することで、交叉における解（子集団）生成での交換辺の多様性をさらに向上させることを目的としている。1 万を超える例題で、タブーメカニズムをもつ交叉と枝エントロピー選択を併用した GA (tabu+entropy) と、枝エントロピー選択のみの GA (entropy) を比較した結果を表 1 に示す。これらは 30 試行の結果である。

表 1 大域的最適解発見回数の比較

TSPLIB	tabu+entropy	entropy	VLSI	tabu+entropy	entropy
rl11849	30	30	xvb13584	30	30
brd14051	24	<b>30</b>	pjh17845	<b>24</b>	21
d15112	2	<b>10</b>	ido21215	<b>27</b>	18
d18512	6	<b>9</b>	xrh24104	<b>20</b>	10

表 1 より、極めて偏りの強い格子状の頂点列をもつ VLSI TSP の例題で提案手法が高い大域探索性能を示すことがわかった。なお、これまで性能検証で用いた中規模の例題で、提案手法はタブーメカニズムをもつ従来の交叉のみを用いた GA と比較して高い大域探索性能を示すことが確認できている。これらについては 5 の成果発表に示した国内学会で成果報告済みである。

### 3. 学際共同利用プログラムが果たした役割と意義

GA は確率的探索手法であることから、各パラメータ設定で数十回の試行を通じて探索性能、挙動を検証する必要がある、手法の評価コストが高い。本プログラムにおいて、試行を並列化することで多くのパラメータ設定での性能分析が可能となり、適切な設定を得るのに大幅な計算時間の短縮が図れた。また、実行環境のメモリが大きく、隣接頂点や再利用辺などの情報を十分に保持することができ、これまで大規模な問題において近似されていた枝エントロピー計算が本来の定義通りに実装できた。

### 4. 今後の展望

TSPLIB の例題において、提案手法は枝エントロピー選択のみの GA と比較して性能が低下している。これらは中規模の例題においても同様であり、現在、種々の試行で最適解の構築過程を個別に検証している。また、並行してタブー辺の選択手法の改善を進めている。

[1] Y. Nagata, and S. Kobayashi, "A powerful genetic algorithm using edge assembly crossover for the traveling salesman problem," *INFORMS Journal on Computing*, vol.25, no.2, pp.346--363, 2013.

5. 成果発表

(1) 学術論文 0 件

(2) 学会発表 3 件

[1] 平木尊, 花田良子, タブー探索を併用した枝組み立て交叉における枝交換規模が探索に与える影響, 情報処理学会第 153 回 MPS・第 82 回 BIO 合同研究発表会, 情報処理学会研究報告, pp. 1--6, 2025

[2] 平木尊, 花田良子, 巡回セールスマン問題における母集団・子集団の多様性を考慮した遺伝的アルゴリズム, 2025 年電気学会電子・情報・システム部門大会, TC4-2-2, pp.1--6, 2025

[3] 平木尊, 小堀正樹, 花田良子, 枝エントロピー指標に基づくタブー探索を併用した枝組み立て交叉, コンピュータシステム研究会 (CPSY), 信学技報, vol. 125, No. 298 (CPSY2025-50), pp. 1--6, 2025

(3) その他

使用計算機	使用計算機に○	配分リソース*		
		当初配分	移行*	一般利用による追加
Pegasus	○	5000		
Miyabi-G	○	15000		
Miyabi-C	○	2000		
※配分リソースについてはノード時間積をご記入ください。 *バジェット移行を行った場合、「+2000」「-1000」のように記入				