

# 大規模 TSP 向けハイブリッド GA の交叉法の改善

吉原 郁夫<sup>a)</sup>・前田 晴信<sup>b)</sup>・山森 一人<sup>c)</sup>・相川 勝<sup>d)</sup>・安永 守利<sup>e)</sup>

## Improvement of Crossover of a Hybrid GA for Large Scale TSPs

Ikuo YOSHIHARA, Harunobu MAEDA, Kunihito YAMAMORI,  
Masaru AIKAWA, Moritoshi YASUNAGA

### Abstract

Sub-tour Recombination Crossover(SRX) that we have been developing is one of the promising crossovers of Hybrid Genetic Algorithms(HGAs) for large scale Traveling Salesman Problems(TSPs) . This paper proposes a new attempt of crossover operation for enhancing ability to search shorter tour of TSPs.

The key idea of this work is to extend sub-tours from parents to a child so as to inherit desirable sub-tours slightly longer. Benchmark tests show the attempt somewhat useful.

**Keywords:** Traveling Salesman Problem, Genetic Algorithm, Lin-Kernighan heuristic

### 1. はじめに

巡回セールスマン問題 (Traveling Salesman Problem; TSP) は、あるセールスマンが与えられた都市を一度ずつ訪問して出発点に戻るとき、移動コストが最小となる経路を求める問題である<sup>1)</sup>。

大規模 TSP の解法としては、局所的探索に優れる Lin-Kernighan 法(LK 法)<sup>2)</sup>と、大域的探索に優れる遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithm; GA) を組み合わせたハイブリッド GA(Hybrid GA; HGA)が有力である。

当研究室では、10 万都市以上の大規模 TSP 問題の求解を目的とし、部分経路組み換え交叉法 (Sub-tour Recombination Crossover 法 : SRX 法)を提案し<sup>3)</sup>、さらに、親から子に継承される部分経路の長さに下限値を設けることで、解探索の幅を広げた改良版を開発してきた。以下、原版の SRX 法を SRX0 法、改良版を SRX1 法と名付ける。

本研究では、それにさらなる改良を試みる。SRX1 法で親からコピーした部分経路のそれぞれを繋げる前に、どの部分経路にも割り当てられない都市が残っている場合、その都市を既に構成されている部分経路に親の経路のまま繋げる限り繋ぎ、部分経路長を伸長する。そして、構成された部分経路を近くにあるもの同士で繋ぎ巡回経路を構成する。これは、より長い部分経路を構成することにより、解の改善が進むと期待してのことである。改良版 SRX 法と提案手法の比較実験を行い、その有効性を示す。

a) 情報システム工学科 教授

b) 情報システム工学科 学生

c) 情報システム工学科 准教授

d) 技術職員

e) 筑波大学 大学院システム情報工学研究科 教授

### 2. ハイブリッドGA

本研究で用いる HGA の流れを図 1 に示す。まず、初期親個体を構築法により生成し、それを初期世代の個体群とする。次に、個体群を交叉させ、得られた子個体をヒューリスティック(LK 法)により改善する。さらに子個体と親個体全部を巡回経路長が短い順にソートし、短い方から集団数分を選び、次世代の個体群とする。この世代更新をあらかじめ定めた世代数まで繰り返す。

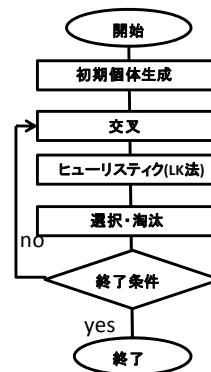


図 1: HGA の流れ

### 3. 部分経路組み換え交叉法 (SRX 法)

#### 3.1 SRX0 法(原版)

まず、最初の部分経路組み換え交叉法(SRX0 法)を説明する<sup>3)</sup>。SRX0 法は、93 年開発の GSX<sup>4)</sup>の流れを汲む方法であり、親個体から子個体に継承する部分経路長に上限を設け、両親個体の経路を適当な長さずつ交互に取り入れた個体を生成する交叉法である。

親個体を A, B と名付け SR0X 法の手順を説明する。

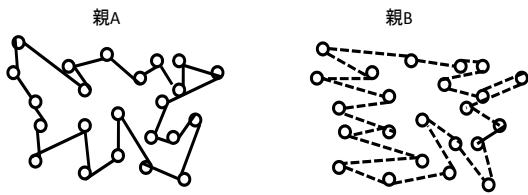
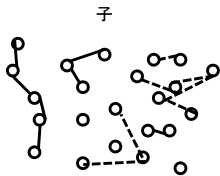


図2: SRX法を適用する親個体の例

- step-1** 親個体 A が持つ任意の部分経路を、子個体にコピーする。ここで、コピーできる都市数の上限を  $k$  とする。一度コピーした都市は選択せず、また、部分経路上にコピー済みの都市が現れた場合は、その直前まででコピーを打ち切る。
- step-2** **step-1** と同様に、親個体 B が持つ任意の部分経路を、コピーする。
- step-3** 図3のように、全ての都市をコピーするまで、**step-1** ~ **2** を繰り返す。

図3: 部分経路コピー例( $k=5$ )

- step-4** 図4のように、各部分経路の端点で近いもの同士を繋ぎ、巡回経路を構成する。なお、近くの部分経路同士を繋ぐ辺は二重線で示している。

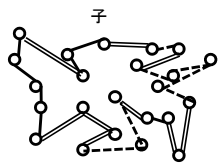


図4: 巡回経路の構成例

### 3.2 SRX1法(改良版)

SRX1法は親から継承する部分経路の都市数に下限値を設ける。これは余りに短い部分経路が出来ないようにするためである。図5(a)は、図2の親個体からSRX0法で部分経路をコピーした例である。SRX1法では、親個体から子個体に部分経路をコピーする際、下限値以下の都市数の(短い)部分経路は継承しない。

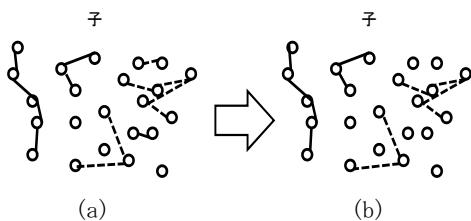


図5: SRX1法での部分経路コピー例

例えば、下限値を2とすると、図5(a)の2都市からなる部分経路を親個体からコピーしないようにすることで、図5(b)のような部分経路のコピー例が得られる。

### 3.3 SRX2法(提案法)

SRX1法をさらに改良した提案法をここではSRX2法と名付ける。SRX1法では、都市数が増えるに従って、継承できなくなる都市の部分経路が増える。このため、SRX0法の手順Step3で、繋ぐべき箇所が多くなる。その中にはまだ、親から継承でき、かつ、都市数が下限値以上、上限値以下の部分経路が存在する。その数もまた都市数が増えるごとに増えていく。そこで、SRX1法で部分経路を親から継承した後、どの部分経路にも割り当てられない都市が残っている場合、その都市を既に構成されている部分経路に親の経路のまま繋げる限り繋ぎ、部分経路長を伸長するSRX2法を提案する。以下SRX2法をSRX1法と比較して説明する。

図6(a)はSRX1法で部分経路をコピーした例である。部分経路の端点に限り部分巡回路をさらに親個体の経路に従って継承する結果、図6(b)のように、2つの部分経路が図6(a)より長く継承することができる。後は、図6(b)を図7のように各部分経路の端点で近いもの同士を繋ぎ、巡回経路を構成する。なお、近くの部分経路同士を繋ぐ辺は二重線で示す。

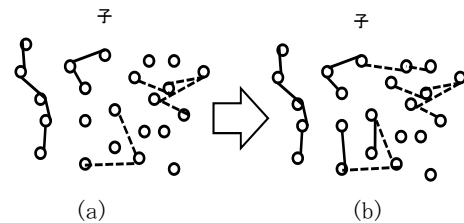


図6: SRX2法での部分経路コピー例

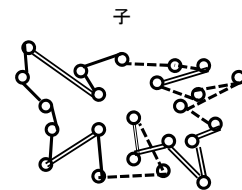


図7: 巡回経路の構成例

## 4. 実験

### 4.1 実験条件と評価方法

SRX2法の性能を、従来のSRX1法と比較し評価する。解の良さは式(1)で定義する最適解からの乖離率で評価する。

$$\text{乖離率} = \frac{L - L_{OPT}}{L_{OPT}} \times 100 \quad (\%) \quad (1)$$

式(1)で、 $L$ は得られた解の巡回経路長であり、 $L_{OPT}$ は最適

解の巡回経路長である。ただし、最適解が分かっていない問題は、現最良解を用いる。乖離率の値が 0 に近いほど、より良い解ということである。

TSP のベンチマークとして、VLSI TSPs<sup>5)</sup>で公開されている 13,584~238,025 都市の 5 問を使用する。HGA のパラメータは個体数 50、世代数 10,000 とし、あらかじめ乖離率約 1%の解を求めておき、それを初期解として、部分経路の上限値、下限値を振った場合乖離率がどう変わるかを調べる。上限値を都市数に比例させると計算量を抑えるという点で不利になり、定数では都市数に係らず一定となり不自然である。SRX1 までは、 $\sqrt{n}$ を上限値として使用していたので、これを中心に振ってみることとし、 $\sqrt{n}/\sqrt{2}$ 、 $\sqrt{n}$ 、 $\sqrt{2}\sqrt{n}$  ( $n$  は都市数)の各 3 種類を上限値とした。下限値は上限値を $\sqrt{n}$ と考えた時、その数%以下の値をメドとして 5、10、20 の各 3 種類を設定した。

各問題を SRX1 法で解いた場合、最も良い解を出した上限値、下限値の組み合わせの結果を表 1 に掲げる。実験回数は、各ベンチマークごとに 10 回とした。

表 1: 使用した上限値, 下限値

ベンチマーク	上限値	下限値
xvb13584	$\sqrt{n}(117)$	20
bbz25234	$\sqrt{n}(159)$	10
fna52057	$\sqrt{n}(228)$	5
sra104815	$\sqrt{2}\sqrt{n}(458)$	5
ara238025	$\sqrt{2}\sqrt{n}(690)$	5

## 4.2 実験結果

SRX1 法と SRX2 法で解いた場合の平均乖離率を表 2 に示す。なお、SRX1 法の結果は SRX2 法と同じ計算機環境下で改めて実験し得たものである。

表 2: SRX1 法と SRX2 法の比較

ベンチマーク	手法	平均乖離率(%)
xvb13584	SRX1 法	0.1969
	SRX2 法	0.1954
bbz25234	SRX1 法	0.2075
	SRX2 法	0.2023
fna52057	SRX1 法	0.2646
	SRX2 法	0.2596
sra104815	SRX1 法	0.4191
	SRX2 法	0.4081
ara238025	SRX1 法	0.5402
	SRX2 法	0.5224

計算機実験の結果、SRX1 法よりも親個体から継承した部分経路を親の経路に基づいて引き伸ばした SRX2 法が全ての問題で良い解が得られている。改善の度合いは 0.005%程度であった。また、都市数が増えるごとに SRX1 法と SRX2 法の性能差は大きくなっており、23 万都市にもなると、0.018%の解の改善が見られた。これは、都市数が増えるごとに伸長できる都市数が増え、SRX2 法での工夫がより強く反映しているためと思われる。SRX2 法は、都市数が多い問題で有効な方法といえる。

## 5. おわりに

本研究では、SRX1 法(改良版)で親からコピーした部分経路のそれぞれを繋げる前に、どの部分経路にも割り当てられない都市が残っている場合、その都市を既に構成されている部分経路に親個体都市の並びに従い、繋げる限り繋ぎ、部分経路長を伸長し、構成された部分経路を近くにあるもの同士で繋ぎ巡回経路を構成する交叉法(SRX2 法)を提案した。

SRX2 法について、計算機実験により性能評価を行ったところ、SRX1 法と比べ、SRX2 法は全ての問題において解の向上が見られた。その大きさは乖離率で 0.005%であるが、問題規模が大きいほど効果が大きいのが特徴である。

## 参考文献

- 1) 山本芳嗣、久保幹夫、巡回セールスマン問題への招待、朝倉書店、1997.
- 2) S. Lin and B. W. Kernighan: "An effective heuristic algorithm for the traveling salesman problem", Operations Research, Vol.21, No.2, pp.498-516, 1973.
- 3) M. Kuroda, K. Yamamori, M. Munetomo, M. Yasunaga and I. Yoshihara: "A proposal for zoning crossover of hybrid genetic algorithms for large-scale traveling salesman problems", Proc. of CEC2010, pp.646-651, 2010.
- 4) 仙石浩明、吉原郁夫: "遺伝的アルゴリズムによる TSP の高速解法"、情報処理学会 46 回全国大会、8D-4、1993.
- 5) VLSI Data Sets. <http://www.tsp.gatech.edu/vlsi/index.html>.