

# 並列固定温度シミュレーテッドアニーリング

## Parallel Constant temperature Simulated Annealing

吉田 武史  
Takeshi YOSHIDA

**Abstract:** In this paper, I describe the Parallel Constant temperature Simulated Annealing(PCSA). This algorithm automatically searches the important temperature of SA. Compared with TPSA, PCSA is superior in the ability of solution search.

### 1 はじめに

シミュレーテッドアニーリング (Simulated Annealing : SA) において, 温度パラメータの推移と解探索能力は密接に関係する. 従来, 高温から低温に冷却することが重要と考えられてきたが, 近年の研究において特定の温度範囲のみが解探索能力に影響することがわかってきた<sup>1)</sup>. しかし, この温度範囲は対象問題に依存し, 明確な決定方法は明らかになっていない.

そこで本研究では SA を並列化し, 探索過程でこの重要な温度範囲 (以後, 重要温度と呼ぶ) を自動的に探索する並列固定温度シミュレーテッドアニーリング (Parallel Constant temperature SA : PCSA) を提案し, その有効性を検証する.

### 2 TSP における重要温度

解交換を行わない温度並列 SA (Temperature Parallel SA : TPSA) を用いて重要温度を確認する. この方法では, 各プロセスが一定温度で解探索を行うことになり, それぞれの解の精度を比較することで重要温度を確認できる. この実験の対象問題として, 巡回セールスマン問題 (Traveling Salesman Problem : TSP) のテスト問題集である TSPLIB<sup>2)</sup> から, 複数の最適解既知の問題を取り上げた. Table 1 に各問題で確認された重要温度を示す.

以上の結果より, どの TSP においても重要温度が確認できた. しかし重要温度の値や範囲は, 各問題に依存し明確な決定方法はない. そこで PCSA では解探索中に, 自動的に解探索する温度を重要温度周辺に設定するメカニズムを導入した. 以降の節で PCSA のアルゴリズムを説明し, 数値実験を行う.

### 3 並列固定温度 SA

PCSA は SA を並列化したアルゴリズムである. 各プロセスは固有の温度を持ち, 独立に解探索を行う (Fig. 1). そして, この解探索と同時に評価値を計算する. 評価値の計算方法は, 重要温度付近で解探索すると大きな

Table 1 TSP における重要温度

対象問題	最適解	都市数	重要温度
a280	2579	280	2 ~ 6
bier127	118282	127	150 ~ 200
ch130	6110	130	10 ~ 15
ch150	6528	150	10 ~ 13
gil262	2378	262	1.5 ~ 3
kroA100	21282	100	40 ~ 70
lin105	14379	105	30 ~ 50
lin318	42029	318	25 ~ 40
pr152	73682	152	100 ~ 140
tsp225	3916	225	3 ~ 5

値になるような計算方法を採用した. このことで解探索が進むと共に, 各プロセスの温度が重要温度付近に集中すると考えられる.

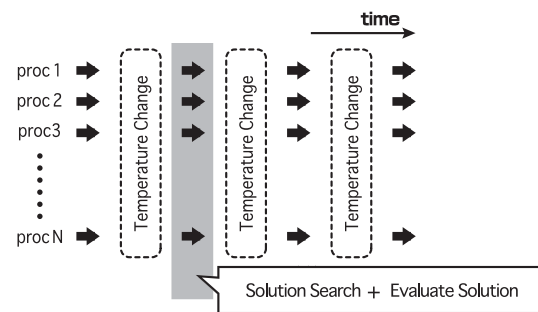


Fig. 1 並列固定温度 SA

### 4 数値実験・考察

PCSA の性能を検証するために実験を行う. TSP に PCSA, TPSA, 解交換を行わない TPSA と逐次 SA を適用し, 次の点を比較した.

- 最適解発見率 : 20 試行中に最適解を発見した率

- 下界からの距離<sup>3)</sup> : 最適解からの超過パーセンテージ (経路長/最適解-1.0)
- 解探索回数 : 最適解誤差 1% 以内の解を発見するまでの解探索回数

まず Fig. 2 に最適解発見率を示す. この結果より, どの問題においても PCSA が他の手法に比べ有効である. また都市数が大きな問題では, どの手法も最適解発見率が低下している.

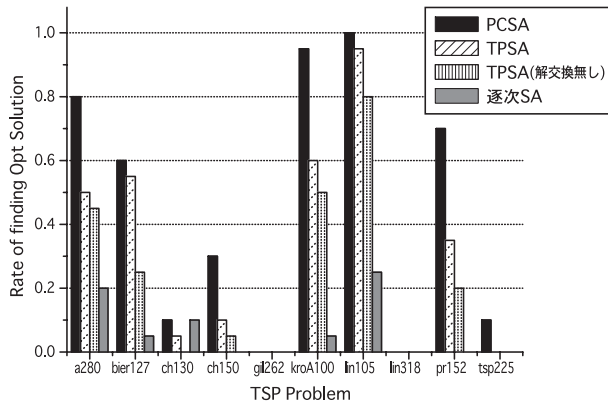


Fig. 2 最適解発見率

次に下界からの距離を比較した結果を Fig. 3 に示す. この結果においても, PCSA の有効性がわかる.

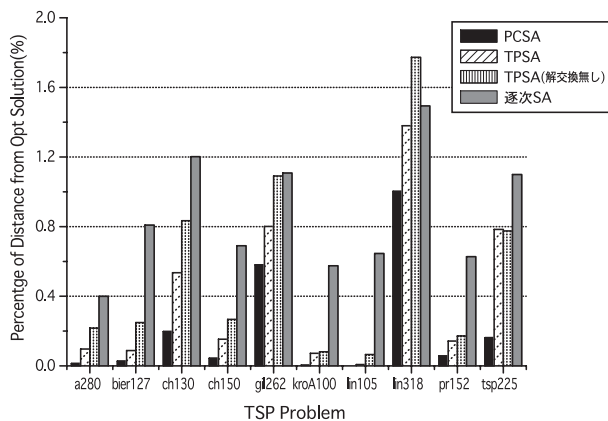


Fig. 3 下界からの距離

最後に最適解から誤差 1% 以内の解を探索するのに必要な解探索数を比較した結果を Fig. 4 に示す. この結果では, 逐次 SA において必要な探索回数との比率を示している.

以上の実験結果より, 上記の三点において PCSA は他の手法に比べ有効である. これは PCSA における各プロセスの温度推移が影響している. Fig. 5 に PCSA を kroA100 に適用したときの各プロセス温度推移を示す. この結果から分かるように, 各プロセスの温度は解探索

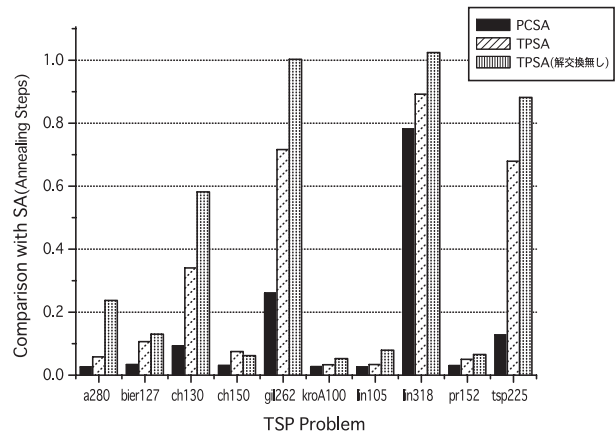


Fig. 4 解探索回数

が進行するとともに, その問題の重要温度に集中する. そのため解探索能力が向上し, 上記の結果になったと考えられる.

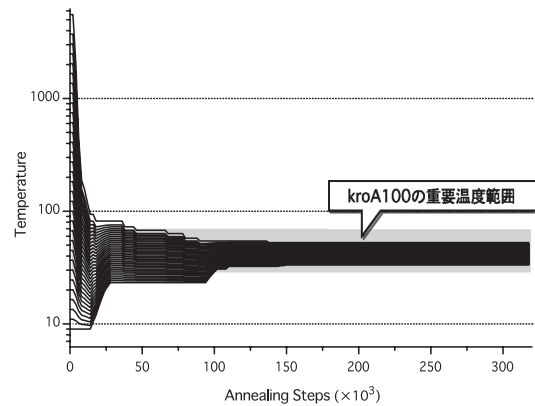


Fig. 5 PCSA を適用したときの温度推移

## 5 最後に

本研究では重要温度を自動的に探索する並列固定温度 SA について検証を行った. その結果, 従来有効と考えられていた温度並列 SA と比べ, 解探索能力と計算量の点で優れていることがわかった. 今後の課題として, 他の組合せ最適化問題において重要温度の存在を確認し, 並列固定温度 SA の有効性を検証していく.

## 参考文献

- 1) Harry, C. Mark, F, SIMULATED ANNEALING : SEARCHING FOR AN OPTIMAL TEMPERATURE SCHEDULE, SIAM Journal on Optimization, 1999
- 2) <http://www.iwr.uni-heidelberg.de/groups/comopt/software/TSPLIB95/>
- 3) M.Held and R.M.Karp, "The traveling salesman problem and minimum spanning trees," Oper. Res.,1970