

## 3J-02 最適温度探索に基づく SA の高速化

三木 光範<sup>†</sup> 廣安 知之<sup>†</sup> 實田 健<sup>††</sup> 吉田 武史<sup>‡</sup>  
<sup>†</sup>同志社大学工学部 <sup>††</sup>同志社大学工学部学生 <sup>‡</sup>同志社大学大学院

### 1 はじめに

シミュレーテッドアニーリング (Simulated Annealing: SA) は、広範囲の組合せ最適化問題に有効な汎用近似解法である。しかし、最適解を得るために膨大な計算が必要という欠点を有している。SA では、解探索効率は温度スケジュールに大きく依存するが、従来、経験的に設定された温度スケジュールでは必ずしも効率的に解探索が行えない。また近年の研究において、SA の解探索性能が非常に良好となる一定温度 (以下、重要温度) が存在することが明らかとなっている [1]。

そこで本研究では、代表的な離散問題である巡回セールスマン問題 (Traveling Salesman Problem: TSP) を対象として、重要温度に着目し、温度スケジュールのうち最高温度を自動決定する適応的シミュレーテッド・アニーリング (Adaptive SA/Maximum Temp.: ASA/MAXT) を提案する。

### 2 TSP に対するの最高温度

TSP を SA で解く場合の最高温度は、次の方法が一般的に用いられている。[2]。

- 最高温度：最大の改悪となる状態遷移が 50% の確率で受理されるような温度

重要温度は、こうして決定される温度スケジュールの低温度領域において存在していることが実験的に明らかとなった。しかしながら重要温度は問題に依存しており、各問題に適した重要温度を特定することは容易ではない。そこで本研究では、この重要温度を検知することによって最適な最高温度を自動的に決定する ASA/MAXT のアルゴリズムを考える。

### 3 最高温度に関する適応的シミュレーテッド・アニーリング (ASA/MAXT)

#### 3.1 ASA/MAXT のアルゴリズム

ASA/MAXT のアルゴリズムの概要を図 1 に示す。

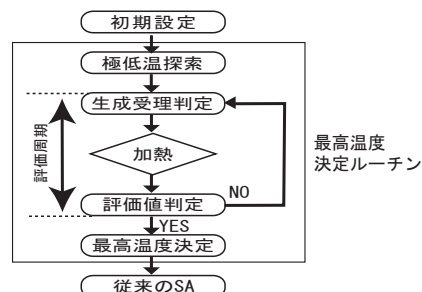


図 1: ASA/MAXT のアルゴリズム

この図よりわかるように、通常の SA を開始する前に極低温探索と、評価値を用いた重要温度探索という手順をもつ最高温度決定のルーチンが加わる。

- 極低温探索  
初期解を生成後、極低温 (温度=0) で局所探索を行う。この操作により非常に早い段階で局所解に達する。局所解に到達後、通常の SA で用いていた最低温度から探索を行い、一定の割合で温度を上げていく。
- 評価値を用いた重要温度探索  
極低温探索によって得られた局所解を評価基準値とし、アニーリング中にその基準値を下回る値の受理に対して、評価基準値との差を評価値として加算する。重要温度付近では頻りに評価基準値を下回るため、評価値は高くなる。各温度で評価値を計算すると重要温度を挟んで図 2 のようになると考えられる。

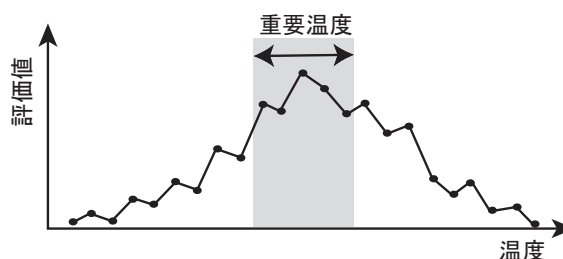


図 2: 評価値の推移

図 2 のような評価値の推移より、適切な最高温度を決定し、その最高温度から通常の SA を開始する。ASA/MAXT において加熱は重要温度を検知することが目的であるため、アニーリングステップ幅を狭くし、

Improvement in the efficiency of SA based on the optimal temperature search

<sup>†</sup> Mitsunori MIKI (mmiki@mail.doshisha.ac.jp)

<sup>†</sup> Tomoyuki HIROYASU (tomo@is.doshisha.ac.jp)

<sup>††</sup> Takeshi JITTA (jitta@mikilab.doshisha.ac.jp)

<sup>‡</sup> Takeshi YOSHIDA (undry@mikilab.doshisha.ac.jp)

Department of Knowledge Engineering and Computer Science, Doshisha University (†)  
 1-3 Miyakodani, Tatara, Kyotanabe, Kyoto 610-0321, Japan

急速な加熱を行い，冷却は通常の SA の冷却率を用いる．ASA/MAXT の温度スケジュールと通常の SA の比較を図 3 に示す．

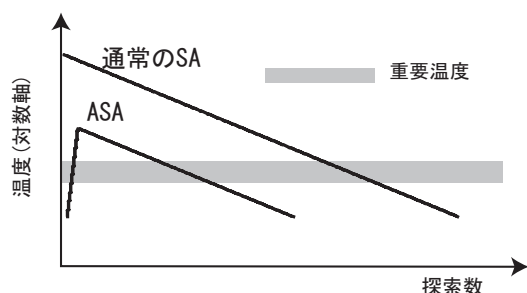


図 3: 温度スケジュール

ここでは最高温度の決定方法として以下の 2 つのタイプの実験を行い，SA の高速化を試みた．また対象問題は TSP のベンチマーク集である TSPLIB[3] を利用し，重要温度が既知である 3 つの TSP を取り上げた．

- ASA/MAXT-1：評価値が完全に 0 になったときの温度を最高温度（探索温度 1）とする．
- ASA/MAXT-2：評価値の山の中で最も値が高い時の温度を最高温度（探索温度 2）とする．

## 4 実験結果

### 4.1 実験概要

実験では最適解が既知の 3 つの TSP に対し SA と ASA/MAXT-1, ASA/MAXT-2 を適用し，各手法で得られる最小経路長と，その最小経路長を得るまでの総探索数を比較した．パラメータは最高温以外は通常の SA と同一の値を用い，ASA における加熱率は通常の SA の (1/冷却率) を用いた．なお実験結果は 20 回試行の平均である．

### 4.2 実験結果と考察

表 1 は通常の SA の最高温度と，ASA/MAXT のアルゴリズムによって得た探索温度 1, 探索温度 2, また実験により得られた重要温度を示している．また表 2 は各手法で得られた最小経路長と最適解を示している．

表 1: 最高温度と重要温度

手法	berlin52	pr152	lin318
SA	2350	23100	6620
ASA/MAXT-1	195	1124	185.5
ASA/MAXT-2	37.9	138	29.9
重要温度	44.8	131.5	23.8

次に最小経路長が得られるまでの総探索数の比較を図 4 に示す．図の縦軸は総探索数，横軸は各手法を示している．

表 2: 最小経路長と最適解

手法	berlin52	pr152	lin318
SA	7565	74122	42647
ASA/MAXT-1	7556	74133	42794
ASA/MAXT-2	7668	74698	43263
最適解	7542	73682	42029

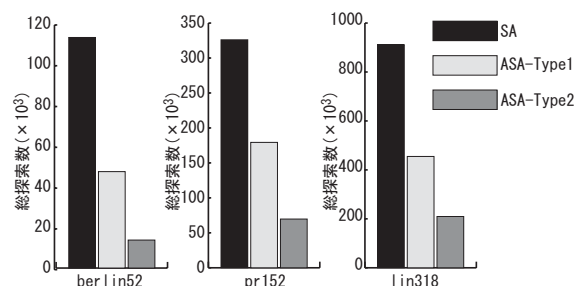


図 4: 総探索数

## 4.3 考察

表 2 および図 4 より ASA/MAXT-1 ではおよそ半分の探索数で，ほぼ同程度の解の精度を得ることが出来た．また ASA/MAXT-2 に関しては，解の精度は多少劣るが探索数は 1/4 以下という結果となった．解の精度が落ちた原因は，重要温度付近の探索が他の手法より少なくなったためと考えられる．以上の結果より，従来の最高温度は必要以上に高温であり，高温部における探索は，ほとんど不必要であったことが明らかとなった．また SA において解の性能を決定するのは重要温度付近のアニーリングであり，その重要温度より少し高い温度を最高温度とすると，不必要な探索をなくし効率の良い探索が行えることがわかる．

## 5 結論

本研究では，重要温度を検知し，自動的に最適な最高温度を決定する適応的シミュレーテッド・アニーリングを提案した．そしてテスト問題を用いた実験によりその有効性を示した．

### 参考文献

- [1] MARK FIELDING. SIMULATED ANNEALING WITH AN OPTIMAL FIXED TEMPERATURE. SIAM J. Optim., vol.11, No.2, pp.289-307,2000
- [2] 小西健三, 瀧和男. 温度並列シミュレーテッド・アニーリング法の評価. 情報処理学会論文誌, vol.36, No4, pp.797-807,1995
- [3] TSPLIB, <http://www.iwr.uni-heidelberg.de/groups/comopt/software/TSPLIB95/>