

# レプリカ数と温度の自動設定機能を持つレプリカ交換法

岡本 啓吾<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 法政大学大学院理工学研究科

平原 誠<sup>††</sup>

<sup>††</sup> 法政大学理工学部

## 1. はじめに

組合せ最適化問題の解法の一つであるレプリカ交換法[1]は、良好な解を得るためにレプリカ数や各レプリカの温度を手により試行錯誤して決定する必要がある。本研究では、レプリカ数と温度の自動設定アルゴリズムをレプリカ交換法に導入し、比較実験によりその性能を評価する。

## 2. レプリカ交換法

レプリカ交換法における系は、異なる温度 $T_i (i = 1, \dots, M)$ を持つ、 $M$  個の独立なレプリカからなる。レプリカごとに温度一定のメトロポリス法による解探索を行い、探索中に一定間隔でレプリカ間での解交換を行う。

## 3. 自動温度設定アルゴリズム

温度設定が困難であるというレプリカ交換法の問題[2]を解決するため、自動温度設定機能を導入する。

本研究ではコスト分布が正規分布であると仮定する。この場合、温度 $T$ とコスト平均値 $\mu$ の関係 $\mu(T)$ 、温度 $T$ とコスト標準偏差 $\sigma$ の関係 $\sigma(T)$ はシグモイド関数で近似できることを数値実験により確認した。これによってサンプリングなしで温度 $T$ のコスト分布を推定することができる。

レプリカの温度設定では、従来研究[3]の方法で求めた最高温度と最低温度を上限 $T_U$ と下限 $T_L$ とする。図1のように2つのレプリカのコスト分布の重なり率 $P$ (赤色部分の面積)が目的の重なり率 $P_0$ となるように高温レプリカのコスト分布を順に設定する。そして $\mu(T)$ の逆関数を用いて高温レプリカの温度を設定する。これを、第1レプリカの温度 $T_1$ を下限 $T_L$ として $P_0$ になるようにレプリカを追加していき、上限 $T_U$ を超えるまで繰り返すことでレプリカ数と各レプリカの温度を自動で設定する。

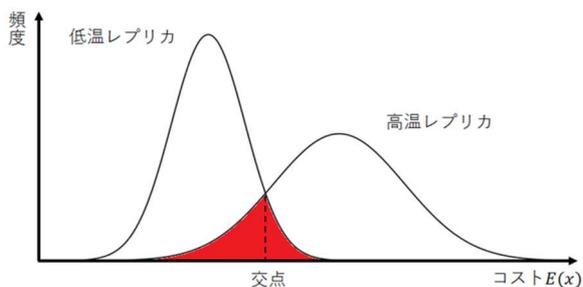


図1. 高温レプリカのコスト分布設定

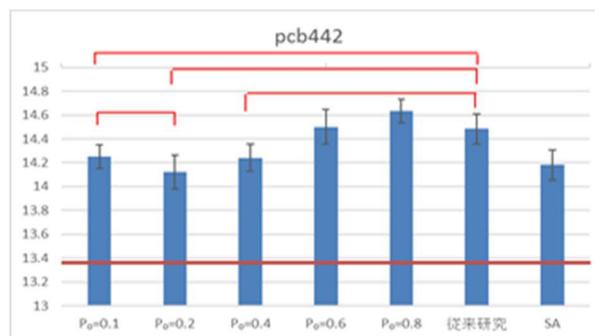


図2. pcb442の結果

## 4. 実験

組合せ最適化問題の一つである巡回セールスマン問題(TSP)に適用して性能評価を行う。TSPのベンチマーク集であるTSPLIB[4]における規模の異なる問題を、自動温度設定機能を持つレプリカ交換法、従来研究[3]の温度設定を用いたレプリカ交換法、SA[5]で計算回数を同程度として解き、出力コストを比較した。図2に問題pcb442(数字は都市数)の結果を示す。 $P_0$ の値が小さい場合に従来研究よりも提案手法のほうが良い結果が得られた。

## 5. 今後の予定

現状では各レプリカの探索回数は同じにしている。SAが高温より低温での探索を重要視しているということを参考にして、各レプリカに異なる探索回数を割り振る方法を検討していく予定である。

## 参考文献

- [1] Robert H. Swendsen, Jian-Sheng Wang : Replica Monte Carlo Simulation of Spin-Glasses, Phys. Rev. Lett., vol.57, No.21, pp.2607-2609 (1986).
- [2] 輪湖純也, 安藤景子, 三木光範, 廣安知之: 遺伝的アルゴリズムを用いた適応的温度スケジュールを持つ並列SA, 情報処理学会論文誌, Vol.47, pp.1-11 (2006).
- [3] 小西健三, 瀧和男, 木村宏一: 温度並列シミュレーション・アニーリング法とその評価, 情報処理学会論文誌, Vol.36, No.4, pp.797-807 (1995).
- [4] <http://comopt.ifi.uni-heidelberg.de/software/TSPLIB95/>
- [5] S.Kirkpatrick, C.D.Gelatt ,Jr., M.P.Vecchi : Optimization by Simulated Annealing, Science, Vol.220, No.4598, pp.671-680 (1983).