

シミュレーテッドアニーリングにおけるクーリング回数の検討
竹崎 亮

1 はじめに

シミュレーテッドアニーリング (Simulated Annealing: SA) とは, 金属の焼きなましを模倣した最適化手法である. 本報告では, SA のプログラムを JAVA で作成し, 連続最適化問題の一つである Schwefel 関数に適用し, クーリング回数が解探索性能に与える影響について検討を行う.

2 SA のアルゴリズム

Fig. 1 に SA のアルゴリズムを示す. 今回はこのアルゴリズムに基づいて SA のプログラムを作成した.

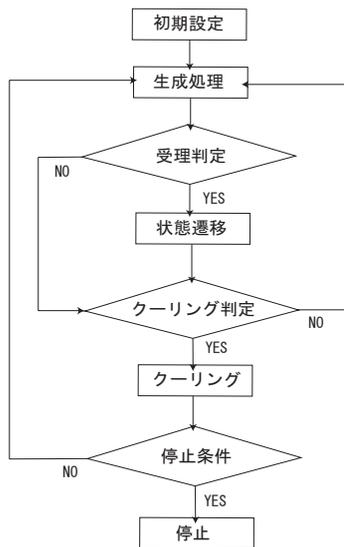


Fig. 1 SA のアルゴリズム

3 Schwefel 関数

Schwefel 関数は, 最適解を探索領域の境界付近に持つ多峰性関数であり, 式 (1) で表される. 最適解の周辺に局所解が存在しないため, 探索プロセスの早い段階において大域的な解探索がなされなければ, 局所解に収束してしまう.

$$F_{Schwefel}(x) = \sum_{i=1}^n -x_i \sin(\sqrt{|x_i|}) \quad (1)$$

$$(-512 \leq x_i < 512)$$

$$\min(F_{Schwefel}(x)) = F(420.968750, \dots, 420.968750)$$

$$= -418.98288727 \cdot n$$

4 実験

4.1 対象問題

本実験では, クーリング回数の増減に伴う解探索性能の変化について検討を行う. 対象問題は, 二次元の Schwefel 関数である. Fig. 2 に二次元の Schwefel 関数の概形とエネルギーの等高線を示す. Schwefel 関数では, 正確な最適解を求めることは困難なため, 本実験では最適解領域を -837 以下とする.

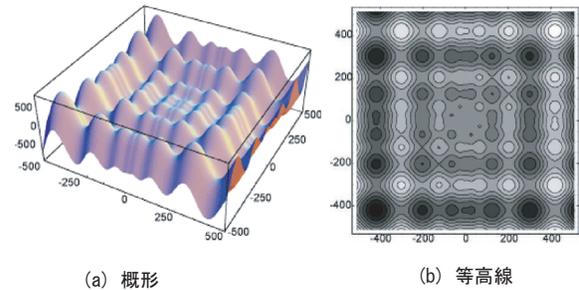


Fig. 2 Schwefel 関数 (二次元)

4.2 パラメータ

クーリング回数以外の SA のパラメータの初期値を Table.1 に示す.

Table 1 SA パラメータの初期値

パラメータ	値
最高温度	100
最低温度	0.01
近傍	10
アニーリング数	320000
試行回数	100

近傍幅は局所解間の距離と同程度にとった方が良く考えられるため, Fig. 2 より 100 ~ 200 程度が適当である. しかしながら, 近傍を最適化すると, クーリング回数による影響がわかりにくくなる可能性がある. そこで, クーリング回数の影響が現れやすくするため近傍幅を最適値よりも小さいと考えられる 10 に設定した.

4.3 実験結果

4.3.1 クーリング回数による検討

クーリング回数を 32 から 640 まで 32 回ごとに区切った値と, 16, 1 (クーリングなし) について解探索性能の検

討を行った．それぞれのクーリング回数において，発見されたエネルギー値を Fig. 3 に示す．なお，結果は100回試行の中央値を表している．図の縦軸はエネルギー値，横軸はクーリング回数を表しており，縦軸の値が小さいほど良好な結果を示しているといえる．

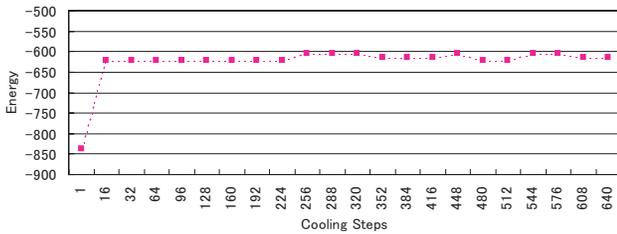


Fig. 3 クーリング回数とエネルギー値の関係

Fig. 3 より，クーリングを行わない場合は最適解に到達しているが，それ以外の場合では局所解に陥っていることが確認できる．そこで，クーリング回数が少ない状態における解の挙動を見るため，クーリング回数が1, 4, 8, 12, 16 の場合について検討を行う．それぞれのクーリング回数において，発見されたエネルギー値を Fig. 4 に示す．なお，結果は100回試行の中央値を表している．図の縦軸はエネルギー値，横軸はクーリング回数を表している．

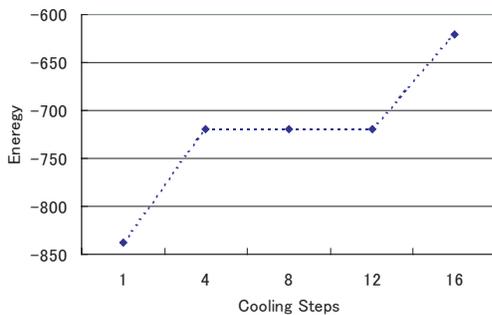


Fig. 4 クーリング回数が少ない場合におけるエネルギー値

Fig. 4 より，クーリング回数が少ない場合に良好な結果を示しており，特にクーリングを行わない場合に最も良好な結果を示していることが確認できる．このようなことから，クーリング回数が少ない方が高い解探索性能を示すと考えられる．

4.3.2 近傍幅による検討

前実験では，クーリング回数が解探索性能に与える影響を明確にするため，近傍幅を極端に小さくして検討を

行った．そこで，本実験では，ある程度適切な近傍幅を設定し，検討を行った．Fig. 2 より，局所解間の距離はほぼ100~200であることが確認できる．このことから，近傍幅をこの値に合わせれば大域的に探索が進み，最適解に到達しやすくなると考えられる．そこで，近傍幅を100，他のパラメータを Table.1 の値に設定し，検討を行った．それぞれのクーリング回数において，発見されたエネルギー値を Fig. 5 に示す．なお，結果は100回試行の中央値を表している．図の縦軸はエネルギー値，横軸はクーリング回数を表している．

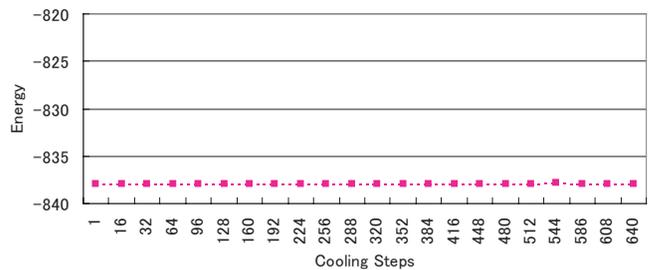


Fig. 5 近傍幅100におけるクーリング回数と結果

Fig. 5 より，近傍幅100の場合においては，クーリング回数に関わらず，半数以上の試行で最適解に到達していることが確認できる．

5 考察

実験結果より，クーリング回数が少ないほど良い解が得られることが確認できた．Schwefel 関数は，最適解と局所解との間が離れているため改悪方向への探索が進まなければ容易に局所解に陥ってしまうと予想される．クーリング回数が少なければ，高温状態での探索数が多く，改悪方向へも探索が進みやすいため最適解に到達しやすいと考えられる．

6 まとめ

本報告では，SA のパラメータの一つであるクーリング回数について検討を行った．その結果，Schwefel 関数においては，クーリング回数が少ない場合に良好な解探索性能を示すことが確認された．しかしながら，近傍幅がある程度最適な値に設定されている場合，クーリング回数の大小に関わらず，良好な解探索性能を示すことが確認できた．したがって Schwefel 関数を SA で最適化するとき，クーリング回数よりも近傍幅の最適な設定が重要と考えられる．