

# 摂動を用いた近傍解を記録した評価表に基づく 局所探索手法の提案

## Local Search Method Based on an Evaluation Table Recording Neighborhood Search Perturbation

成田 龍也† マッキンケネス ジェームス† 永井 保夫†  
Tatsuya Narita Kenneth James Mackin Yasuo Nagai

### 1. はじめに

本論文では、組合せ最適化問題での局所探索手法を提案する。提案手法では、実行可能解の近傍を探索することにより、実行可能解と近傍解との評価値の変化を評価表に記録する。そして、局所解に陥った際に評価値を用いて、評価値が改善するように解を改善していく。

提案手法の有効性を確認するために、代表的な探索手法である山登り法、タブー探索法、ならびに提案手法をナップサック問題に適用し、比較を行った。その結果、提案手法が山登り法やタブー探索法より優れていることが示された。

### 2. 提案手法

#### 2.1 概要

山登り法[1][2]は代表的な局所探索手法の1つである。山登り法では探索の過程で局所解に陥り、探索が終了してしまう。対応策の1つとして、局所解に陥った際にランダムに初期解を生成、探索を再開する手法がある。しかし、これは探索のやり直しをするだけであり、根本的な解決とはならない。提案手法では、探索する過程で最適解への方向を表に記録することで、より効率のよい局所解脱出を試みる。

#### 2.2 アルゴリズムの流れ

提案手法のアルゴリズムを以下のように示す。

- step1 基準解を初期化する。  
 step2 基準解から生成し得る全ての近傍を生成する。step3 近傍の評価値と基準解の評価値の差を評価表の対応する箇所に加算した値を記録する。  
 step4 近傍の内、最も評価値の高いものを近傍解とする。  
 step5 近傍解の評価値が基準解の評価値を上回ったとき、近傍解を基準解と入れ替る。入れ替えがなかった場合は局所解に陥ったとし、評価表を基に新たな基準解を生成する。生成後に評価表を初期化する。  
 step6 step2~5を1世代とし、規定回数に達するまでstep2~5を繰り返す。

次に表1のナップサック問題へ提案手法を適用した際の流れを説明する。なお、ナップサックの容量は20である。表(a)は5つの品物の価値と重量をまとめた表である。表(b)は評価表の初期状態を示す。

step1 ではナップサックの中身が空の状態を初期の基準

解00000(表(c)\*1)とする。この解表現はビット列をとり、解の*i*番目の要素が1のときに*i*番目の品物をナップサックに詰めること示している。

step2 では表(c)の「近傍」に対応する「近傍評価値」がerrorでないものが近傍となる。例えば、11000(表(c)\*2)は1番目と2番目の品物を詰めるという解を表現する。表(a)より1番目の品物の重量は7(表(a)\*3)、2番目の品物の重量は14(表(a)\*4)なので、重量の合計は21となり、ナップサックの容量を超過しているため評価値はerrorとなる。従って、表(c)の近傍はerrorとならない10100,10010,01100,00110,00101である。

step3 では近傍を評価する過程で表(d)の評価表へ近傍の評価値と基準解00000(表(c)\*1)の評価値0(表(c)\*9)の差分を加算し、記録する。No.0の品物を詰めた場合の評価値の変化量(表(d)\*5)は基準解であるビット列の左から1番目の要素を1に変更し、生成した近傍の評価値がerrorでない全ての解(表(c)\*6)の評価値から基準解の評価値との差を累計し、記録する。No.0の品物を詰めた場合の評価値の変化量(表(d)\*5)に加算する値を $a_{01}$ とすると

$$a_{01} = a_{01} + (24 - 0) + (18 - 0) = 42$$

となる。

step4 では近傍のうち、00101(表(c)\*7)の評価値35(表(c)\*8)が最も高いので近傍解となる。

step5 では表(c)での近傍解の評価値は35(表(c)\*8)、基準解の評価値は0(表(c)\*9)である。近傍解の評価値が基準解の評価値を上回るため、表(e)では第2世代の基準解を00101(表(e)\*10)、基準解評価値を35(表(e)\*11)とする。表(e)での近傍解が00110(表(e)\*12)で評価値30(表(e)\*13)となった。近傍解評価値30(表(e)\*13) < 基準解評価値35(表(e)\*11)であり局所解に陥ったため、表(f)を用いて新たな基準解を生成する。表(f)のうち、評価値の変化値が高い値から選択する。まずは最も評価値の高いNo.2の品物を詰めた場合の評価値の変化量(表(f)\*14)が選択される。これによって基準解であるビット列の左から3番目の要素を1に変更し、基準解は00100となる。その次に評価値の高いNo.3の品物を詰めた場合の評価値の変化量(表(f)\*15)となり、基準解は00110となる。次にNo.4の品物を詰めた場合の評価値の変化量(表(f)\*16)の方が高いが、これを詰めると容量を超過してしまうのでNo.4の品物は詰めないままにする。次に評価値の高いNo.1を詰めるとき(表(f)\*17)もNo.4の品物を詰めるとき(表(f)\*16)と同様の理由でNo.1の品物も詰めないままにする。最後にNo.0の品物を詰めた場合の評価値の変化量(表(f)\*18)が残っている。この品物を詰めても容量を超過しないのでこれをナップサックに詰める。基準解であるビット列の左から1番目の要素を変更し、10110となる。これで全ての要素を決定したので基準解の生成を終了する。

† 東京情報大学 総合情報学部 情報システム学科  
Department of Information Systems, Tokyo University of  
Information Sciences

基準解が 00101 (表(e) \*10)から 10110 (表(g) \*19)へ振動したことにより評価値 36 (表(g) \*20)の最適解となった。

### 3. ナップサック問題への適用

#### 3.1 ナップサックのパラメータ

提案手法をナップサック問題に適用し、評価を行った。品物の総数  $n$  は 1000 個、ナップサック内容量  $V$  は 100 g とした。品物の価値のベクトルを  $P$ 、品物の重量のベクトルを  $W$  とし、 $i$  が  $0 \leq i < n$  であるとき  $1 \leq P_i \leq 100$ 、 $1 \leq W_i \leq 100$  とした。同じ品物は 1 つしか、詰めることができない。

#### 3.2 結果と考察

図 1 は提案手法と一般的な局所探索手法である、山登り法およびタブー探索法のナップサック問題への適用結果である。図 1 より山登り法では局所解に陥っていることがわかる。局所解からの脱出に成功している 2 つの手法では結果から提案手法の方が学習速度並びに精度が高いことがわかる。ナップサック問題においては有効時間内に最適解を得られることが知られている手法として、動的計画法がある。これにより、最適解が 2056 であることがわかった。図 1 より提案手法の評価値が 2056 に近いことから最適解への方向を正常に表に記録できていることが示された。

### 4. おわりに

本研究では最適解への方向を評価表に記録することにより局所解を脱出することのできる局所探索手法を提案した。

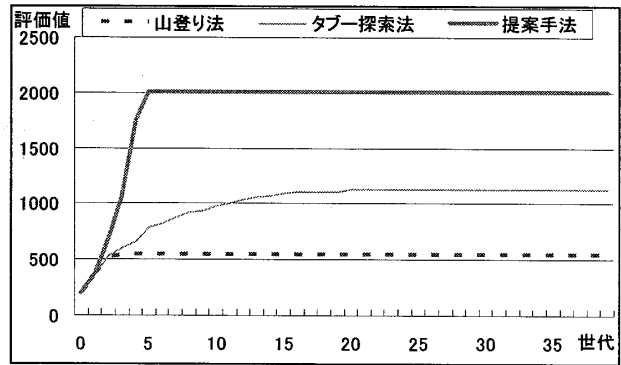


図 1. 各手法のナップサック問題への適用結果

提案手法の性能比較のため、ナップサック問題に適用した。この実験の結果、提案手法の有用性を示すことができた。今後、巡回セールスマン問題やスケジューリング問題といった実行可能解を集合で表現しなければならない問題への適用を行い、提案手法の有用性を検証する。

#### 参考文献

- [1] 久保幹雄, J.P.ペドロソ: 「メタヒューリスティクスの数理」, 共立出版(2009)
- [2] J.ホロムコヴィッチ: 「計算困難問題に対するアルゴリズム理論」, シュプリンガー・フェアラーク東京(2005)

表 1. ナップサック問題での基準解の遷移による評価表の変化

(a) パラメータ表

品物No	0	1	2	3	4
価値(P)	6	11	18	12	17
重量(W)	*3	7*4	14	5	8

(b) 評価表の初期状態

品物No	No.0	No.1	No.2	No.3	No.4
品物を詰めない場合の評価値の変化量	0	0	0	0	0
品物を詰めた場合の評価値の変化量	0	0	0	0	0

(c) 1世代目における基準解と近傍の評価値

基準解	*1 00000	基準解評価値	*9 0							
近傍	*2 11000	*6 10100	*6 10010	10001	01100	01010	01001	00110	*7 00101	00011
近傍評価値	error	24	18	error	29	error	error	30	*8 35	error

(d) 1世代目における評価表

品物No	No.0	No.1	No.2	No.3	No.4
品物を詰めない場合の評価値の変化量	0	0	0	0	0
品物を詰めた場合の評価値の変化量	*5 42	29	108	48	35

(e) 2世代目における基準解と近傍の評価値

基準解	*10 00101	基準解評価値	*11 35							
近傍	11101	10001	10111	10100	01001	01111	01100	00011	00000	*12 00110
近傍評価値	error	error	error	24	error	error	29	error	0	*13 30

(f) 2世代目における評価表

品物No	No.0	No.1	No.2	No.3	No.4
品物を詰めない場合の評価値の変化量	0	0	-52	0	-57
品物を詰めた場合の評価値の変化量	*18 20	*17 23	*14 108	*15 48	*16 35

(g) 最適解とその評価値

最適解	*19 10110	最適解評価値	*20 36
-----	-----------	--------	--------