

# 共進化GAによる動的施設配置問題へのアプローチ

張 明

杉山 正晴

## A Coevolutionary Genetic Algorithm to the Dynamic Facility Layout Problems

Ming CHANG

Masaharu SUGIYAMA

あらまし 本稿では、動的施設配置問題(Dynamic Facility Layout Problems :DFLP)への共進化型遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithms) によるアプローチについて検討した。まず、協調型共進化GAを動的施設配置問題に適用し、従来より提案されたGAと比べて、その有効性を確認した。つぎに、協調型共進化GAにおける信頼度割り当て問題の一解決策として、共生型共進化GAを提案し、協調型共進化GAに対する優位性を示した。  
 キーワード 遺伝的アルゴリズム、動的施設配置問題、共進化、共生

### 1. はじめに

近年、多品種・少量生産を念頭において、動的施設は一問題が注目されている。施設配置問題は、複数の物理的施設の配置に関する問題である。その定式化によって、複数倉庫間の配達業務問題、工場内の複数の機械配置問題や分散メモリ型マルチプロセッサにおける配線問題などに適用できる。これまでの多くの研究は静的施設配置問題に重点を置いてきたが<sup>[1]</sup>、近年の生産スタイルの変化に伴い、動的施設配置問題の解決が重要視されている。それは生産要求の変動に応じて工場内の施設配置を変えることで、生産コストの削減をしようとするものである。

動的施設配置問題に対して、Dynamic Programming(DP)、Tabu-Searchなどの手法が提案されてきたが<sup>[2]</sup>、大規模な問題に対しては、より効率的な手法が必要となる。近年、遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithms)による解決が試みられている<sup>[3,4]</sup>。DPやTabu-Searchなどの手法における「解個体による探索」に対して、GAでは、「解集団による探索」が特徴である。そのため、探索過程においての集団多様性維持が不可欠である。これまで、個体の突然変異や個体間の組換えによって新しい個体を生成するアプローチがしばしばとられている。しかし、動的施設配置問題では、単純な組換え操作では実行不可能な解が生成されることがあるため、付加的な操作が必要になる。そのため、GAによるアプローチの多くは効率的な組換え操作の構築に着目している<sup>[3,4,5]</sup>。

本稿では、動的施設配置問題の問題特性に注目し、共進化GAの適用を提案する。従来より提案されてきた協調型共進化GAの有効性を示した後、新に共生型共進化GA

を提案し、協調型共進化GAに対する優位性を示す。

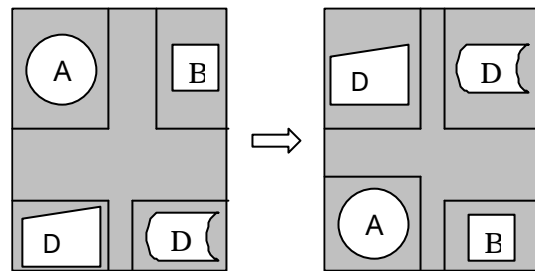


図1 施設の配置を変えることでコストの削減を目指す

### 2. 施設配置問題

施設配置問題(Facility Layout Problem:FLP)は、 $m$ 個の施設を $n(m \leq n)$ ヶ所に配置し、固定投資と運搬コストなどの合計を最少にする問題である。以下に静的施設配置問題(Static Facility Layout Problem:SFLP)及び動的施設配置問題(Dynamic Facility Layout Problem:DFLP)の定式化を示す。静的とは、考慮される生産期間において、施設間の原料運搬量が変動しないことを指す。

#### SFLPの定式化

$$\text{Min} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N a_{ijkl} X_{ij} X_{kl}$$

ただし、

$$\sum_{i=1}^N X_{ij} = 1, \quad j = 1, \dots, N$$

$$\sum_{j=1}^N X_{ij} = 1, \quad i = 1, \dots, N$$

$$X_{ij} \in \{0, 1\}, \quad i, j = 1, 2, \dots, N$$

ここで,

$$X_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{施設}i\text{が場所}j\text{に配置される} \\ 0 & \text{その他} \end{cases}$$

$$a_{ijkl} = \begin{cases} f_{ik}d_{jl} & \text{if } i \neq k \text{ or } j \neq l \\ c_{ij} & \text{if } i = k \text{ and } j = l \end{cases}$$

$c_{ij}$  項が0あるいは, すべての  $i, j$  について等しい場合,

上の式は以下のように書き換えられる.

$$a_{ijkl} = f_{ik}d_{jl}$$

$N$  : 施設数

$i, k$  :  $i, k$ 番目の施設

$j, l$  :  $j, l$ 番目の場所

$c_{ij}$  : 場所  $i$  での施設  $j$  の固定投資

$d_{jl}$  : 場所  $j$  と  $l$  の間の距離,  $d_{jj} = 0$

$f_{ik}$  : 施設  $i$  と  $k$  の間の原料運搬量.

#### DFLPの定式化

$$\text{Min} \left\{ \sum_{t=2}^P \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^N A_{ijkl} Y_{ijl} + \sum_{t=1}^P \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{k=1}^N \sum_{l=1}^N C_{ijkl} X_{ij} X_{kl} \right\}$$

ただし,

$$\sum_{i=1}^N X_{tij} = 1, \quad j = 1, \dots, N \quad t = 1, \dots, P$$

$$\sum_{j=1}^N X_{tij} = 1, \quad i = 1, \dots, N \quad t = 1, \dots, P$$

$$X_{tij} \in \{0, 1\}, \quad i, j = 1, \dots, N \quad t = 1, \dots, P$$

ここで,

$$X_{tij} = \begin{cases} 1 & \text{時間}t\text{に施設}i\text{が場所}j\text{に配置される} \\ 0 & \text{その他} \end{cases}$$

$$C_{ijkl} = f_{ik}d_{jl}$$

$$Y_{ijl} = X_{(t-1)ij} \times X_{tij}$$

$P$  : 考慮する生産期間数

$N$  : 施設数

$i, k$  :  $i, k$ 番目の施設

$j, l$  :  $j, l$ 番目の場所

$Y_{ijl}$  : 生産期間  $t$  に, 施設  $i$  を場所  $j$  から  $l$  に

再配置するかどうかに関する0-1の2値変数  $Y_{ijl}$  は再配置を表す

$A_{ijkl}$  : 生産期間  $t$  に, 施設  $i$  を場所  $j$  から  $l$  に再配置するコスト

$C_{ijkl}$  : 生産期間  $t$  に, 場所  $j$  での施設  $i$  と場所  $l$  での施設  $k$  の間の原料運搬コスト

$d_{jl}$  : 場所  $j$  と  $l$  の間の距離,  $d_{jj} = 0$

$f_{ik}$  : 生産期間  $t$  に, 施設  $i$  と  $k$  の間の原料運搬量.

### 3. 制約付き動的施設配置問題

DFLP を定式化する際, 再配置コストに関して制約を加えたものが制約付き動的施設配置問題 (Constrained Dynamic Facility Layout Problem : CDFLP) であり<sup>[6]</sup>, 以下のように定式化される.

$$\sum_{t=2}^P \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^N A_{ijkl} Y_{ijl} \leq B$$

上の式によって, 再配置コストが  $B$  以下に制限される. また, それぞれの生産期間における再配置コストに制約を加えた CDFLP は文献[4]によって定式化されたが, 本稿では以下のように定式する.

$$\sum_{t=2}^T \left( B_t - \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \sum_{l=1}^N A_{ijkl} Y_{ijl} \right) \leq 0$$

ここで,  $T = 2, \dots, P$  とし,  $B_t$  は生産期間  $t$  での再配置コストに関する制約を表す. 上式は再配置が, それに使える資金が蓄えられた時だけ行えることを表す. 各生産期間における再配置投資資金を  $(B_2, B_3, \dots, B_P)$  のように表す.

### 4. 共進化 GA

DFLP に対して DP, Tabu-Search, GA などの手法が提案されている<sup>[2]</sup>. この中で, GA によるアプローチにおいて良い結果が報告されている<sup>[3, 4, 12]</sup>. GA は生物の遺伝と進化を計算機上で模倣して人工物の環境適応, 学習及び最適化に適用する手法であり, 多峰性, 非線形や制約付き目的関数を持つ問題に特に適すると言われている. DP や Tabu-Search などの最適手法での「個体」による探索に対して, 「集団」による探索が GA の特徴と言える. そのた

め、効率的な探索には、探索集団の多様性維持が不可欠である。これまで、集団内の個体が問題の完全解をコーディングし、適応度に基づいて選ばれた個体の突然変異や個体間の組換えによって新しい個体を生成するアプローチがしばしばとられている<sup>[3,4]</sup>。しかし、自然数の順列による個体表現を用いるため、単純な組換え操作では実行不可能な解が生成されてしまう。そのため、多くのGAによるアプローチは効率的な組換え操作の構築に着目している<sup>[3,4,5]</sup>。本稿では、共進化GAによる動的施設配置問題へのアプローチについて検討する。

共進化GAには、協調型共進化GA(Cooperative Coevolutionary Genetic Algorithms: CCGA)がある。その特徴に、多集団による解候補の表現、各集団内の個体は部分解を表す、個体の評価は他集団中の個体と生成した完全な問題解を通じて行われるなどがあげられる。関数最適化<sup>[7]</sup>、Artificial Neural Networkの最適化<sup>[8]</sup>とロボット制御<sup>[9,10]</sup>などの問題において、CCGAがCGAより良い性能を示すことが報告されている。CCGAの問題点に、問題分割に関する一般的な基準がないこと、個体評価における信頼度割り当て問題、つまり完全解が個体らによって生成されたもので、その評価は明確な評価関数さえ存在すれば、容易であるが、各個体が生成された解にどれぐらい貢献しているかは決めにくいなどがあげられる。本稿では、CCGAにおける信頼度割り当て問題の一解決策として共生型共進化GA(Symbiotic Coevolutionary Genetic Algorithm: SCGA)を提案しDFLPを用いてその性能を検証する。

#### 4.1 協調型共進化GA

CCGAをP生産期間のN施設のDFLPに適用するにあたり、まず、DFLPを各生産期間におけるSFLPに分割する。そして、それぞれのSFLPに対して探索集団を用意する。第t集団内の個体は、生産期間tにおける施設配置を表す。個体表現には自然数の順列を用いる。個体の初期評価は他集団内のランダムな個体と生成した完全解の適応度とする。つぎに、各集団に対して、順次にGAを適用する。その時、個体の適応度は他集団内の最良個体と構成した完全解の適応度とする。この評価方法は、分割して得られた部分問題間に相関がある場合には不適切である。CCGAは、最良個体による評価と併せてほかの評価方法を用いることもあるが、最良個体による評価はその根本的な評価方法であると言える。集団内のすべての個体が評価された後、適応度に基づく撰択による集団の更新が行なわれる。選ばれた個体らに突然変異・組換えなどの遺伝操作を適用して次世代の個体を生成する。本稿での実験においては、組換え操作は使わないが、自然数の順列による個体表現を用いるため、これまでに提案された組換え操作は応用できる。突然変異として、シンプルなswap mutation operator、つまり、順列中の二つのランダムに選ばれた数字の位置を交換する操作を使用した。

#### 4.2 共生型共進化GA

CCGAにおける信頼度割り当て問題の一解決策として、ここでは、共生型共進化GA(Symbiotic Coevolutionary Genetic Algorithm: SCGA)を提案する。まず、部分解を表す個体には明示的な適応度を割り当てないことから始まる。つぎに、各部分集団の更新は、並列的に同時に行なわれる。つまり、評価・撰択は個体らによって生成される完全解に、突然変異・組換えなどの遺伝操作は各集団内で部分解を表す個体に対して行なう。つまり、評価・撰択と突然変異・組換えを異なるレベルに分けて考える。具体的な実現方式として、ここでは進

化戦略での( $m^l$ )撰択に因んで、以下のようにする。ま

ず始めに、部分集団からランダムに $l$ 個の完全解を生成し、評価する。つぎに、上位の $m$ 個の完全解を用いて各部分集団を同時に更新する。最後に、各部分集団内に突然変異・組換えなどの遺伝操作を実施する。

### 5. 計算機実験結果

CCGAおよびSCGAを問題I(5生産期間, 2x3のFLP<sup>[11]</sup>)と問題II(5生産期間 3x3のFLP<sup>[4]</sup>)に適用した。パラメータは評価回数が文献[4]の実験と同じになるように設定した。CCGAは個体数5, 10, 20, 40及び80などを用いて実験した。以下に示した結果はその中で最良なものである。SCGAは(30, 200)、つまり個体数30の各部分集団から200個の完全解を生成し、その上位の30個を用いてそれぞれの部分集団を更新する。突然変異率はCCGAで0.2, SCGAで0.4とした。実験結果は全て100回の平均結果とする。

#### 5.1 DFLPに関する実験結果

問題Iは最適解として71187が知られている<sup>[11]</sup>。この問題に関して、文献[11]では、DPを使って最適解より1.1%劣った解が見つかった。また、文献[4]では、GAを使って最適解を見つけている。CCGAとSCGAは100回の中に最適解を、それぞれ20回(平均71713, 分散419)、26回(平均71610, 分散326)に見付けた。問題IIは、再配置コストを考慮しない場合に、五つの独立なSFLPに相当し、最適解として592029が知られている<sup>[11]</sup>。文献[4]ではGAを使って、1回試行の結果として、最良解と解集団の平均はそれぞれ593856と595274であり、最適解は見つかっていない。CCGAとSCGAは100回の中に最適解を、それぞれ2回(平均593858, 分散1306)、14回(平均592982, 分散808)に見付けた。また、再配置コストを考慮した場合での最適解は知られていないが、CCGAとSCGAの100回試行結果はそれぞれ、(最良606762, 平均612157, 分散1775)、(最良606762, 平均610550, 分散1731)のようになっている。

表 1 : DFLP に関する実験結果

問題 I	CCGA	SCGA
Hits	20/100	26/100
平均	71713	71610
分散	419	326
問題 II	CCGA	SCGA
最良	606762	606762
平均	612157	610550
分散	1775	1731

### 5.2 再配置コストの制約付きDFLPに関する実験結果

CCGA と SCGA を各生産期間に再配置コストの制約付き DFLP に適用した。文献[4]での最良解は 608904 であるが、各生産期間におけるそれぞれの再配置コストに関する制約は示されていないため、その最良解での再配置コスト(2,304; 2,349; 2,925; 4,539)を参考に、ここでは各生産期間における再配置コストの制約として(3,000; 3,000; 3,000)を用いた。また、各生産期間での再配置コストが  $B_i$  を超えた場合、ペナルティとしてその再配置コストの 100 倍のコストを課す。CCGA と SCGA の 100 回試行結果はそれぞれ、(最良 607677, 平均 629311, 分散 8889), (最良 607677, 平均 623411, 分散 6617)のようになっている。

### 6. おわりに

本稿では、動的施設配置問題(Dynamic Facility Layout Problems : DFLP)への共進化 GA によるアプローチについて検討した。まず、協調型共進化 GA を動的施設配置問題に適用し、従来より提案された GA と比べて、その有効性を確認した。つぎに、協調型共進化 GA における信頼度割り当て問題の一解決策として、共生型共進化を提案し、協調型共進化 GA に対する優位性を示した。計算機実験において、二つの小規模の DFLP を用いたが、今後は、大規模な DFLP への提案手法の適用、また、組換え操作を取り入れる場合の提案手法の性能などについて検討したいと考えている。

### 文 献

- [1] Kusiak, A. and Keragu, S. S., The facility layout problem, E. J. Op. Res., Vol.29, pp.229-251 (1987)
- [2] Balakrishnan, J. and Cheng. C. H., Dynamic layout algorithms: a state-of-the-art survey, Int. J. Mgmt. Sci. Vol.26, No.4, pp.507-521 (1998)
- [3] Balakrishnan, J. and Cheng, C. H., Genetic search and the dynamic layout problem, Computer&Operation Research, Vol.27, pp.587-593 (2000)
- [4] Conway, D. G. and Venkataramanan, M. A., Genetic search and the dynamic facility layout problem, Computer & Operation Research, Vol.21, No.8, pp.955-960 (1994)
- [5] Ahuja, R. K., Orlin, J. B. and Tiwari, A., A greedy genetic algorithm for the quadratic assignment problem, Computer & Operation Research, Vol.27, pp.917-934 (2000)
- [6] Bakakrishnan, J., Jacobs, F. R. and Venkataramanan, M. A., Solutions for the constrained dynamic facility layout problem, E. J. Op. Res., Vol.57, No.2, pp.280-286 (1995)
- [7] Potter, M. A. and DeJong, K. A., A cooperative coevolutionary approach to function optimization, in Parallel Problem Solving From Nature - PPSN III, Int. conf. on Evolutionary Computation. Lecture Notes in Computer Science, Vol. 866, Berlin: Springer Verlag, pp.249-257 (1994)
- [8] Potter, M. A. and DeJong, K. A., Evolving neural networks with collaborative species, in Proc.1995 Summer Computer Simulation Conference, Ottawa, Ontario (1995)
- [9] De Jong, K. A. and Potter, M. A., Evolving complex structures via cooperative coevolution, in Proc. 4th Annu. Conf. on Evolutionary Programming. The MIT Press (1995)
- [10] Potter, M. A., DeJong, K. A. and Grefenstette, J. J., A coevolutionary approach to learning sequential decision rules, in Genetic Algorithms: Proc. 6th Int. Conf. Morgan Kaufmann, pp.260-267 (1995)
- [11] Rosenblatt, M. J., The dynamics of plant layout, Management Sci., Vol.32, No.1, pp.76-86 (1986)
- [12] 張明 大倉和博 上田完治 杉山正晴: 「共生型共進化GAによる動的施設配置問題の一解法」, 2001年度精密工学会秋季大会