

動的環境下における人員配置に関する基礎的研究

A fundamental study about a number of persons arrangement in dynamic environment

古田 均 中津功一郎

Hitoshi FURUTA *and Kouichirou NAKATSU**

*工博 関西大学教授 総合情報学部総合情報学科（〒569-1052 大阪府高槻市霊仙寺町1-1）

**関西大学院 総合情報学研究科知識情報学専攻

There are phases such as from management and investigation to a design, execution and maintenance, a plan when I think about a process of public works project greatly. And there are a lot of phases in each stage. And technical progress progresses rapidly and I need to arrange an engineer having technical knowledge with this with the right stuff in the right place and become indispensability. In this paper, I apply improvement type genetic algorithm done on the basis of *Imanishi* theory of evolution as a fundamental study about a number of persons arrangement under dynamic environment and compare it with conventional genetic algorithm and add examination about the availability.

Keyword: dynamic environment, genetic algorithm, Imanishi theory of evolution

1. はじめに

公共事業のプロセスを大きく分けると、調査・計画、設計、施工、維持管理等のフェーズがあり、また、各段階においても多くのフェーズがある。この時、工程を管理することにより、事業やプロジェクト推進の効率化、生産性向上、品質確保やコストダウンを図ることが可能となり、これを実現するために現在PM（プロジェクトマネジメント）に関する検討がなされている。この時、時間に関する管理が重要であることは言うまでもないが、各フェーズにおいて的確な人員を配置することも重要な課題である。また、技術の進歩が急速に進み、これに伴い優秀な技術者の絶対量が減少していくことが予想されるため、事業に対して専門的な知識を有する技術者を適材適所に配置することが必要不可欠となる。これまで、人員の配置に関しては経験則や場当たりの決定方法に委ねられてきたが、上述した様に、これまで以上に高度な技術に対応し、より少ない期間で公共事業全体を実施していくためには、人員の配置を最適化理論により決定していくことが望まれる。

一般に、実世界の最適化問題では厳密な全域解が

必要とされることは少なく、より現実的な実行可能な解が複数個要求されることが多い。また、実世界では、静的な環境ではなく、複雑に変化し続ける動的な環境下における最適解が要求される。近年、遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm :GA)を組み合わせ最適化問題や多峰性問題に応用する研究がなされているが、GAでは、解の探索が不十分な時点で集団の多様性が喪失する現象がたびたび起こる。

本研究で対象とする工事発生時における最適人員配置問題では、個人の経験、工事の重要度、工事の規模など、環境が複雑に変化するなかで、最適な解を見つけ出す必要がある。そこで、本研究では、解候補の多様性を維持するために、“人間は、牛とは交配しない”という種の棲み分けを提唱した今西進化論を基にした改良型GAを適用する。そして、従来のGAによる探索と比較し、その有効性について検討を加える。

2. 遺伝的アルゴリズム

2.1 組み合わせ最適化問題

一般に「最適化問題」と呼ばれるものは、扱われ

る変数や目的関数、制約条件の種類によっていくつかの категорияに分類される。まず、いくつかの線形等式あるいは不等式で表された制約条件のもとで、1 次式で表された目的関数を最大化もしくは最小化する問題を線形計画問題と言い、このとき変数は連続値をとる。また、目的関数と制約条件が一次式ではなく非線形である場合、これを非線形計画問題という。通常、上記の二つの最適化問題で扱われる値は連続値であることが多いが、実社会における最適化問題では連続値で扱われる事は少なく、むしろ離散値を扱う事が多い。このような問題は数理計画の中で、「離散化最適化問題」と言われている。離散化最適化問題とは、与えられた制約条件を満たし、かつ目的関数を最大（最小）にする変数（整数）を決定する問題である。また、離散化最適化問題の一つとして、どの組み合わせがもっとも好ましいかを議論する組み合わせ最適化問題がある。組み合わせ最適化問題では、解空間の組み合わせの個数は有限であっても指数関数的に増え、膨大な数にのぼる事が多く、実際に列挙・探索する範囲をいかに限定するかが重要である。この理論的限界を克服するために、二つのアプローチがとられている。一つは、あくまでも厳密最適解を求めるアルゴリズムを作るというものである。もう一つは、厳密解を求める事ではなく、解として受け入れられる準最適解を求めるというものである。本研究で適用する遺伝的アルゴリズムは、後者のアプローチである。この方法では、良い解を見つけるためには、出来るだけ広い領域を探索する事、及び計算時間を短縮させるためには、探索履歴などを利用して出来るだけ探索領域を狭める事、といった相反する要求をうまくバランスさせ、解の精度向上と計算時間短縮の高バランス化を図ることが重要である。

2.2 遺伝的アルゴリズム

近年、生物の遺伝子の複製、選択淘汰などの遺伝や進化のプロセスをモデルとした計算アルゴリズムが、工学的にも幅広く応用されている。これらの手法は総称して進化論的計算手法、あるいは進化論的アプローチと呼ばれている。代表的なものとして、遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithms : GA) 進化論的戦略 (Evolutionary Strategies : ES) や進化的プログラミング (Evolutionary Programming : EP)、遺伝的プログラミング (Genetic Programming : GP) などがある。遺伝的アルゴリズムは、John Holland とその弟子たちがミシガン大学で行った研究により発展してきた最適化手法である。生物の進化過程を制御の分野に持ち込むという考え方がその最初である。ここでいう生物の進化とは、よく知られているダーウィンの自然淘汰説である。これを基にした Holland らの研究の目的は、自然のシステム

の適応プロセスを説明する事、自然の重要なメカニズムを有する人工的なシステムを設計する事にあった。また、遺伝的アルゴリズムが最適化手法として注目される特徴としては、組み合わせ最適化問題を扱える事、基本概念が受け入れやすく、手順・アルゴリズムが比較的簡単なことにあった。また、評価関数が明確な形で表されてなくてもよいこともある。遺伝的アルゴリズムの簡単な操作手順は、まず初期集団の生成を行い、環境に対して適応度の高い個体が次の世代に生き残るようにしながら、交叉や淘汰を繰り返す。また、各個体に突然変異という遺伝操作を加える。これにより、交叉では生じない個体が得られ、多様性が与えられる。

2.3 遺伝的アルゴリズムの特徴

Simple GA は、非常に簡単な構成ながら、多くの問題に適用されており、その有用性が知られている。GA の大きな特徴のひとつとして、離散変数を扱えることが挙げられる。組み合わせ最適化問題に適用されることが多く、その有用性が知られている。また、短い時間で実用的な解を得ることができる。これは、世代交代シミュレーションの働きによって、悪い解をあらかじめ省くことによって探索するのと同じ時間的効果が得られるため、すべての解について探索する全探索に比べ格段に短い時間で解を得ることができる。第 3 に、GA は初期世代に解空間に多数の探索点を発生させ、その点の周辺から探索を開始する多点探索手法である。そのため、近傍探索のように、ある一点の近傍を探索するのではなく、多点の近傍を探索することで大域的最適解の探索を効率的に行っている。第 4 に、GA は交叉と突然変異を確率的に行う確率的探索手法である。そのため、初期値により解の収束状態が異なり、1 回の計算で解を決定するのではなく、複数の計算結果から最適解を決定する必要がある。最後に、GA は遺伝子のコーディングと解の評価さえ適切に行えば、幅広い探索・組み合わせ問題に適用することができる。また、他の技法と併用しやすく、さらに広い分野へ応用できる可能性を持っている。

2.4 遺伝的アルゴリズムの問題点

遺伝的アルゴリズムは、さまざまな分野で適用されており、その有用性が知られている。しかし、問題点も以下のようにいくつか挙げられる。まず、コーディングの難しさや、対象の問題を解くための一般的な手法がないことが挙げられる。コーディングに関しては、ある程度の知識が必要とされ、効率よく探索するためには対象問題の特性を十分考慮する必要がある。また、第二の問題点として、初期収束がある。GA は探索の性質上個体群の収束が起こる。個体群の収束こそが探索の目的といえるが、適用した問題や遺伝子の設定方

法によっては、探索の非常に早い時期に収束してしまい、最適解の探索が行えない場合があり、局所解からの脱出策や初期収束を起こさないための工夫が必要とされる。

3. 今西進化論

3.1 今西進化論とは

今西進化論とは、日本の霊長類学の創始者である今西錦司により提唱されたものである。今西錦司は生物の世界の中に「生物全体社会---種社会---種個体」という構造を見いだした。「種社会---種個体」の関係は、「生物個体---細胞」の相似関係にある。卵から個体が発生する時に細胞同士の自然選択によって、器官や身体ができるであろうか。優れた細胞が選択されて、身体は成長していくのであろうか。いや、個体という自己同一性に基づいて、一つの受精細胞が発展していくのではないか。同じように、種にも自己同一性、主体性を与えるべきではないか。これは、検証されなければ仮説ではあるが、今西理論の根幹はここにある。

今西進化論というのは、生物の世界が多数の種社会から成り立っていて、それぞれの種社会が棲みわけることによって、お互いに共存していると考えことから説明する進化論である。地球上には150万種という多様な生物が生存し、それらがそれぞれ進化してきたことに注目した今西錦司は、生物は自然淘汰による生存競争ではなく、自らが生存できる場所を拡大しながら進化してきたと考えた。

3.2 今西進化論の遺伝的アルゴリズムへの適用

遺伝的アルゴリズムはダーウィン進化論に基づいて構成されるのが一般的であるが、自然淘汰により適応度が高い個体のみが残る。このため、個体集団の多様性が失われる可能性があり、局所解への収束、進化の停滞、複数の最適解を持つ問題に対しては一つの最適解の発見にとどまるなどの問題点がある。上記の問題を解決するために、種を定義し、種の棲みわけ、種の進化を実現する今西進化論を用いることを考える。

図3(a)に示すような探索空間でGAを実行すると、初期世代の個体が一様にランダムであれば、それらは関数の定義域内で均等に分布することが期待される。つまり、どの山の近くにも同じくらいの数の個体がいるであろう。世代が進むにつれ、個体はこの山を上っていく、やがて、ほとんどの個体が5つの山のどれかの頂上付近に集まる。また、図3(b)においては、山の高さが異なっているために、一番高い山に個体は集中してしまう。しかし、山の高さに比例して部分集団を割り振りたいことがある。このようなときにニッチの形成が有効である。そのために、「差別交配」をするのである。これは、これまでのランダムな交配ではなく、

“人間は、牛とは交配しない”という考え方であり、似ているもの同士が交配するというものである。以上の考え方をGAに適用する。

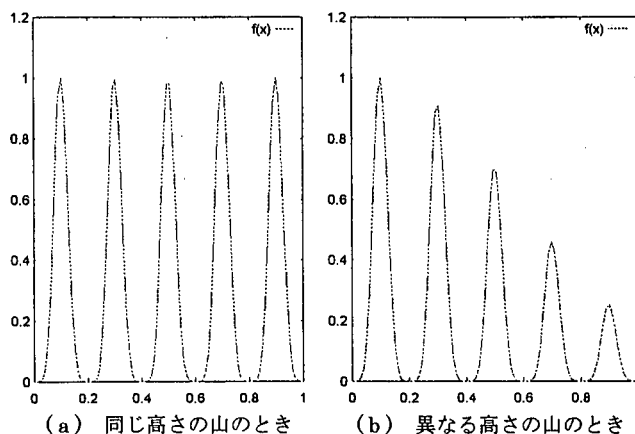


図3 多峰性の解空間

4. 人員配置問題への適用

4.1 最適配置問題への適用

まず、複数の工事が同時に発生した場合における最適配置と複数の工事進行中に新しい工事が発生した場合における最適配置をSimple GAを用いて探索する。その後、今西進化論に基づくGAを用いて、環境が変化しても対応できるような多様性を維持した最適配置を上記の2種類の場合について考える。そして、2種類のGAを用いて探索を行った結果、どちらが有効であるかについて検討する。

4.2 複数の工事が同時に発生した場合の最適配置

まず、複数の工事が同時に発生した場合に、人をどのように配置したらよいかということについて、GAを用いて検討を行った。ここで、評価において重要となってくる各工事への経験、各工事現場への距離は仮想データとして入力している。ここで、本研究で用いたGAのパラメータを表4-1に示す。

表4-1 GAのパラメータ

世代数	300
初期集団数	100
交叉確率	0.5
突然変異率	0.01
交叉	2点交叉
淘汰	ルーレット選択

4.3 各個体の適応度の評価

適応度の決定において、仮想データとして各工事における経験 (Ze)、各工事現場への距離 (Zd) を表4.2 のように入力した。これを用いて評価関数を式(1)のように定義する。

また、工事に重要度を仮定した場合の評価関数を式(2)のように定義する。ここで、 z_i は仕事*i*に配置された人数である。また、重要度は工事7が一番高く、工事0が一番低いと仮定した。ここで v 、 $v1$ は適応度である。本研究では、各場合において探索を行った。

表 4-2 データの入力

経験においては未経験をレベル0としてレベル4まで5段階
距離においては遠い方をレベル0としてレベル4まで5段階

距離	工事0	1	2	3	4	5	6	7	経験	工事0	1	2	3	4	5	6	7
人1	1	2	3	4	4	3	2	1	人1	2	3	4	1	2	3	4	0
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	3	1	2	4	3	1
3	3	3	3	2	4	2	0	1	3	4	2	3	2	1	2	0	3
4	1	2	3	4	0	0	2	4	4	1	3	1	2	4	2	1	3
5	1	2	4	4	3	3	2	2	5	4	2	3	4	1	2	4	2
6	1	4	3	3	4	4	3	3	6	2	2	2	3	2	1	4	2
7	3	3	2	2	3	3	4	4	7	0	2	3	2	1	0	2	3
8	1	1	2	1	1	3	2	2	8	1	2	3	4	4	1	1	1
9	0	1	2	1	2	1	2	1	9	1	1	2	2	2	3	3	3
10	2	2	4	2	4	2	3	2	10	3	3	3	3	3	3	3	3
11	2	3	4	3	4	3	1	3	11	2	2	2	2	2	2	2	1
12	1	3	2	3	4	3	2	3	12	4	3	2	4	4	3	2	3
13	1	2	4	2	4	2	3	2	13	0	0	1	0	2	3	1	1
14	1	3	2	4	3	2	3	2	14	1	1	1	2	3	2	3	1
15	1	2	3	3	2	3	2	4	15	2	2	2	3	2	4	4	1
16	1	4	2	3	2	0	4	4	16	2	2	4	4	4	2	3	3
17	1	4	3	2	3	2	4	1	17	0	0	0	1	0	2	0	0
18	1	2	3	4	2	3	4	4	18	1	1	1	2	2	0	0	4
19	1	2	4	3	2	3	4	2	19	1	4	3	3	3	4	4	4
20	1	2	2	0	2	2	4	2	20	2	2	2	3	4	3	3	2

$$v = (\sum Ze)^2 + (\sum Zd) \cdots (1)$$
$$v1 = v + \sum z_i \cdot (i + 1) \cdots (2)$$

また、ここで、以下の制約条件を満たさない個体に関しては、評価値を下げることにした。(本研究では3分の1にしている。)

- どの工事においても未経験者はつけてはならない
- 工事1に3人以上配置しなければならない
- 工事2に経験レベルが3を満たしていない人を配置してはならない

5. 今西進化論に基づいたGAを適用した人員配置
適用例1において今西進化論に基づいたGAを適用し検討する。ここで、評価において重要となってくる各工事への経験、各工事現場への距離はSimpleGAを適用した場合と同じく表4-2に示したものである。ここで、本研究で用いたGAのパラメータを表4-3に示す。ここで、交叉に一樣交叉を用いたのは、以下の理由からである。1点交叉や2点交叉では、交叉点の数が少ないために親個体のスキーマの大半がそのまま子に伝

わる。したがって、1点交叉や2点交叉を用いた場合には初期母集団が持つ部分解の個体間での交換が主となる。このため、母集団サイズが小さく有効な部分解が少ない場合には局所解に陥りやすい。また、今西進化論に基づいたGAでは、似ている親同士を交叉させるために、ダーウィン進化論に基づくGAよりも以上のような交叉方法では、さらに局所解に陥りやすくなることが予想される。そのために、本研究では、大域的な解の探索が可能になる一樣交叉を用いた。

表 4-3 GAのパラメータ

世代数	900
初期集団数	100
交叉確率	1.0
突然変異率	0.01
交叉	一樣交叉
淘汰	ルーレット選択

5.1 多様性保持

ここで、目的とするのは多様性保持であり、環境が変化しても、つまり制約条件を変えても、適応する人員最適配置である。ある環境に対して、つまり、ある一つの制約条件に関して、最適な人員配置も必要であるが、考えられる環境の変化に対応できる最適な人員配置、つまり、規律性(robustness)を持ち、多様性を保持した人員配置も必要である。

5.2 制約条件の変化

処理の途中で、制約条件を変化させることで環境を変化させる。制約条件の変化について、以下に述べる。300世代まで

- どの工事においても未経験者をつけてはならない
- 工事1に2人以上配置しなければならない
- 工事2に経験レベルが3を満たしていない人を配置してはならない

300世代から600世代まで

- 工事2に2人以上配置しなければならない
- 工事4に2人以上配置しなければならない
- 工事3に経験レベルが3を満たしていない人を配置してはならない

600世代から終了まで

- 工事3に2人以上配置しなければならない
- 工事5に2人以上配置しなければならない
- 工事4に経験レベル3を満たしていない人を配置してはならない

5.3 処理手順

処理手順として、適用例1と変更があるのは適応度

の評価，終了条件，交叉においてであり，以下にその詳細を示す。

(1) 各個体の適応度の評価

適応度の評価におけるデータに関しては適用例1のデータと同じである。また，制約条件は先に示したように，ある一定の世代を超えると変化する。評価方法は Simple GA を用いた場合と同じである。ここで，世代を超える前に遺伝子に印をつけ，その遺伝子が最終的に淘汰されずに残った場合，その個体を最適解としている。

(2) 終了条件

終了条件は900世代に達したときに終了するものとした。これは，一つの環境，つまり，1種類の制約条件ごとに収束するのに300世代経過すれば，収束するであろうという考えからである。本研究では3つの環境，つまり3種類の制約条件を課したので，900世代で終了とした。また，ここで，3つすべての環境において生き残った個体を最適解として，その人員配置を出力する。

(3) 交叉

個体同士を比べることによって，似ている個体同士を交叉させる。つまり，差別交配である。似ているか，似ていないかの判別に，ここでは，個体の遺伝子型において，一つ一つ比べてより近いもの同士を交叉させる。また，交叉には一様交叉を用いた。

以上が今西進化論に基づいた遺伝的アルゴリズムを用いた人員最適配置方法である。

6. 人員最適配置問題の計算結果

6.1 同時発生時の最適配置結果

以下の表 5-1 は，工事の重要度を考慮せずに探索した場合における評価の高かった上位3つの個体の配置(a),(b)である。図 5.1 は収束図である。

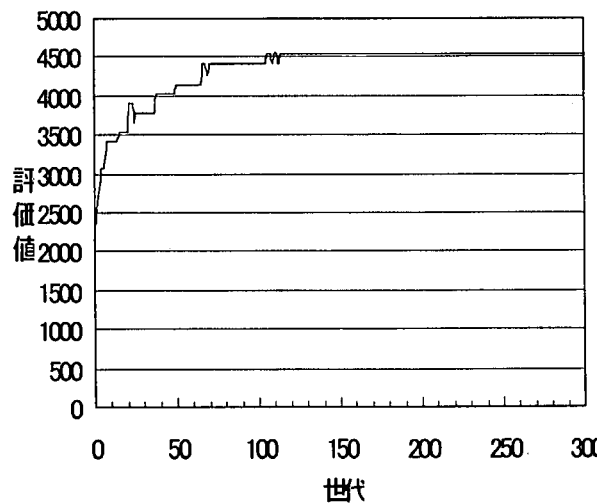


図 5-1 重要度を考慮しない場合の収束図

表 5-1 重要度を考慮しない場合の最適配置
評価値(a)4538 評価値(b)4539

	配置	経験	距離
人1	2	4	3
2	5	4	2
3	0	4	3
4	4	4	0
5	6	4	2
6	1	2	4
7	1	2	3
8	3	4	1
9	6	3	2
10	2	3	4
11	4	2	4
12	3	4	3
13	5	3	2
14	6	3	3
15	5	4	3
16	4	4	2
17	5	2	2
18	7	4	4
19	1	4	2
20	3	3	0

6.2 今西進化論を用いた最適配置結果

以下の表 5-2 は今西進化論を用いた最適配置である。本研究では，制約条件が変わっても生き残った個体が多様性を持つ解であり，最適解とした。また，表 5-3 は Simple GA を用いて探索した結果の人員配置である。

表 5-2 今西進化論を用いた最適配置結果

制約条件1の評価値	4142	4671
制約条件2の評価値	4142	4671
制約条件3の評価値	4142	4671

	配置	経験	距離
人1	6	4	2
2	6	3	2
3	0	4	3
4	4	4	0
5	5	2	3
6	6	4	3
7	7	3	4
8	2	3	2
9	6	3	2
10	3	3	2
11	1	2	3
12	3	4	3
13	5	3	2
14	4	3	3
15	6	4	2
16	2	4	2
17	5	2	2
18	1	1	2
19	7	4	2
20	4	4	2

	配置	経験	距離
人1	1	3	2
2	5	4	2
3	0	4	3
4	1	3	2
5	6	4	2
6	6	4	3
7	2	3	2
8	4	4	1
9	6	3	2
10	2	3	4
11	6	2	1
12	0	4	1
13	5	3	2
14	6	3	3
15	3	3	3
16	3	4	3
17	5	2	2
18	7	4	4
19	5	4	3
20	4	4	2

表 5-3

Simple GA を用いた人員配置

制約条件 1 の評価値 4 4 0 5

制約条件 2 の評価値 1 4 6 8

制約条件 3 の評価値 4 4 0 5

	配置	経験	距離
人 1	2	4	3
2	6	3	2
3	0	4	3
4	1	3	2
5	3	4	4
6	3	3	3
7	2	3	2
8	3	4	1
9	5	3	1
10	7	3	2
11	1	2	3
12	3	4	3
13	5	3	2
14	5	2	2
15	5	4	3
16	2	4	2
17	5	2	2
18	7	4	4
19	3	3	3
20	4	4	2

6.3 考察

(1) 同時発生時の最適配置結果

工事毎の人数は以下の表 5-4 のとおりである。

表 5-4 工事ごとの配置人数

	工事0	1	2	3	4	5	6	7
(a)の人	1	3	2	3	3	4	3	1
(b)の人	1	3	1	4	3	4	3	1

表 5-1 と表 5-3 から以下の制約条件を満たしていることが分かる。また、収束図 5-1 を見てみると大体 120 世代あたりで収束していてよい結果が得られたと言える。

- どの工事においても未経験者はつけてはならない
- 工事 1 に 3 人以上配置しなければならない
- 工事 2 に経験レベルが 3 を満たしていない人を配置してはならない

(2) 今西進化論を用いた最適配置結果

表 5-2 から改良型 GA を用いた場合、制約条件を満たし、simple GA を用いた場合には、表 5-3 のように制約条件をすべて満たすことはできなかった。

しかし、simple GA においても、制約条件を満たすことがあるのだが、10 回に 2, 3 回ぐらいであり、それに対し、今西進化論を用いた GA においては 10 回に 7, 8 回の成功がみられた。つまり、初期設定の状況により、simple GA においても、精度の高い解が得られること

もある。しかし、解の安定という面で、今西進化論を用いた GA のおいての方がより有効であるといえる。以上より、多様性を持つ準最適解を探索する場合において、今西進化論に基づいた GA は有効であるといえる。

7. 本研究の結論と今後の課題

本研究において、複数の工事が同時の発生した場合、また、複数の工事進行中に新しい工事が発生した場合の人員最適配置においては、simple GA が手法として有効であると言える。また、重要度を考慮した場合においても、simple GA が手法として有効であると言える。ゆえに、環境が変化しない、つまり、制約条件が変化しない中で、準最適解を探索するためには、simple GA が有効であると考えられる。しかし、制約条件が一定ではなく、変化していく中での人員最適配置においては、simple GA では、解の安定性が不十分であった。そのため、本研究では、今西進化論を用いた GA を手法とし、解に安定性があり、多様性を維持した準最適解を得ることが出来た。以上の事から、多様性を維持した準最適解を探索するためには今西進化論を基にした遺伝的アルゴリズムを用いることは有効であるといえる。このことから本研究で用いたこのシステムは、新たな最適配置案を得られると考えられる。

今後の課題として、環境の変化をさらに複雑にし、動的な環境の中で最適配置を探索可能にしていく必要がある。また、ここでは、評価に関するデータが経験と地理の 2 つのみであったため、コストなどを評価に入れることによってどういった結果になるかを試みる必要がある。また、本研究では仮想データで探索を行ったため、実際の最適配置との比較が出来なかった。そのためにデータの収集の必要がある。これらの解決のために、さらなる研究が望まれる。

参考文献

- (1) 西村克巳：よくわかるプロジェクトマネジメント，ソフトリサーチセンター：2000. 4
- (2) 古田均：遺伝的アルゴリズムの構造工学への応用，森北出版：1997. 9
- (3) 北野宏明：遺伝的アルゴリズム，産業図書：1993. 6
- (4) 伊庭斉志：遺伝的アルゴリズムの基礎，オーム社：1994. 9
- (5) 立命館大学理工学部情報学科知能情報処理研究 [西川研究室]：<http://www.maru.cs.ritsumeit.ac.jp/>
- (6) 齊藤麻紀子：修士論文，関西大学院総合情報学研究科知識情報学専攻：2000. 3
- (7) 伊庭斉志：進化論的計算の方法，東京大学出版会：1999. 2
- (8) 今西錦司：ダーウィンを越えて，朝日出版社：1979
- (9) 神戸大学工学部電気電子工学科電子計算機研究室：<http://cslab.eedept.kobe-u.ac.jp>