TSP に対する免疫アルゴリズムの構成に関する基礎研究

945734J 當間愛晃　　指導教官 遠藤 聡志　山田 孝治

1　はじめに

マルチエージェントシステムの構成において適応アルゴリズムの有効性がさまざまな研究成果により指摘されている．免疫系は生体内に内在するインテリジェントシステムであり，その工学的応用に関する研究が進められている．

本研究では，免疫システムの抗原の認識機構，抗体の記憶機構，抗原の排除機構に着目し, その工学問題に対する有効性を検討するために, マルチエージェントシステムに対する最適化問題の一例である分業巡回セールスマン問題 (n-Traveling Salesman Problem; 以後, nTSP) [4] へ適用し，免疫アルゴリズムの性能，特徴について検討する．

2　分業巡回セールスマン問題:nTSP

TSP におけるエージェント数を n 人に拡張した nTSP 問題を設定し，マルチエージェント型アルゴリズムの性能評価の基準問題として位置付ける．nTSP は以下のような 2 面性を持つ．

- ･各セールスマンに対する都市配分
- ･最短経路探索

それらは相互に関連しているため個別に逐次的に解くことが困難であるという特徴を持つ．

目的関数と制約条件は以下のようになる．

$$\text{[目的関数]}\quad min\quad \left(cost_k = \sum_{i}^{n} f_d(P_{S_i}) \right) \tag{1}$$

式 (1) で，P_{S_i} はセールスマン S_i のパスで，出発都市と最終都市を除いたパスである．f_d は S_i の距離の総和を求める関数である．

$$\text{[制約条件]}\quad P_{S_i} \cap P_{S_j} = \emptyset \ , i \neq j \ (\forall i \ , j) \tag{2}$$

3　免疫アルゴリズム

工学的応用の一例に森らによってモデル化された免疫アルゴリズム [1,2] がある．

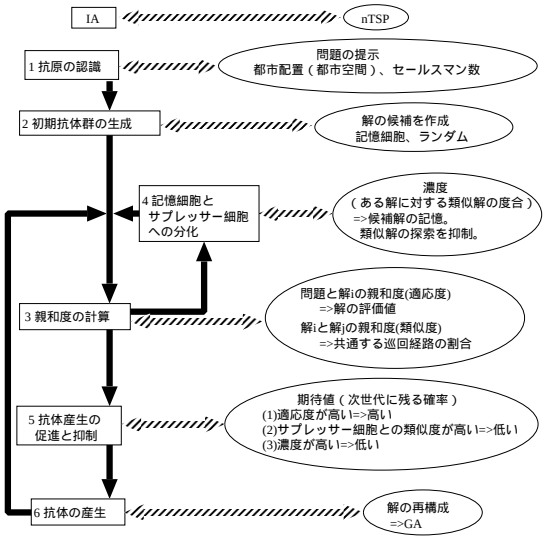

図 1: 免疫アルゴリズムからみた nTSP

免疫アルゴリズムの基本構成を以下に示す．

1. 遺伝的アルゴリズムに基づく解の再構成
2. 記憶細胞による有効解の記憶
3. サプレッサー細胞による記憶解の再探索の抑制

この構成により GA の持つ強力な広域な探索能力に加え，有効解の再利用及び再探索の抑制による探索効率の上昇が期待される．図 1に免疫アルゴリズムと nTSP の関係を示す．

4　nTSP に対する IA の設計

IA では類似度の概念が重要である．そのため，類似度を効率的に計算できるコーディング，またそのコーディングに適した遺伝子操作オペレータを設定することが必須である．

本研究では，nTSP における類似度を巡回経路の共通性として捉える．そこで，コーディングにはその共通性を計算しやすいパス表現を用いる．交叉操作には，解の形質の保全を重視したサブツアー交換交叉 [5] を用いる．また，任意の 2 都市を交換する突然変異操作を用いる．

4.1　各評価尺度の計算

IA においては，4 つの計算尺度を求める必要がある (図 1)．以下に nTSP における評価尺度の計算式を定義する．

適応度 $fitness_i = 1/(work * work_{wait} + penalty * penalty_{wait})$ (3)

$work$: 巡回プラン i の巡回に要するコスト
$work_{wait}$: $work$の重み
$penalty$: 分業を平等にするためのペナルティ
$penalty_{wait}$: $penalty$の重み

類似度 $ay_{v,w} = (2 \text{ つの抗体に共通する順路の都市数})/m$ (4)

濃度 $c_v = (\text{類似度が閾値 } Tac1 \text{ を越えた数})/pop_size$ (5)

期待値 $e_v = fitness_i \times (1 - ay_{v,s}) \times (1 - c_v)$ (6)

$ay_{v,s} =$ 抗体 vとサプレッサー細胞との類似度

4.2　記憶の利用方法

記憶の利用方法として，一次免疫応答と二次免疫応答 (図 2) を提案する．また，記憶細胞に記憶するデータとして，集団中の抗体の特徴を表すと考えられるテンプレートを用いる．各々の免疫応答の狙いは以下の通りである．

一次免疫応答: GA の弱点である局所探索をカバー
二次免疫応答: 類似性の高い問題に対する探索の効率化

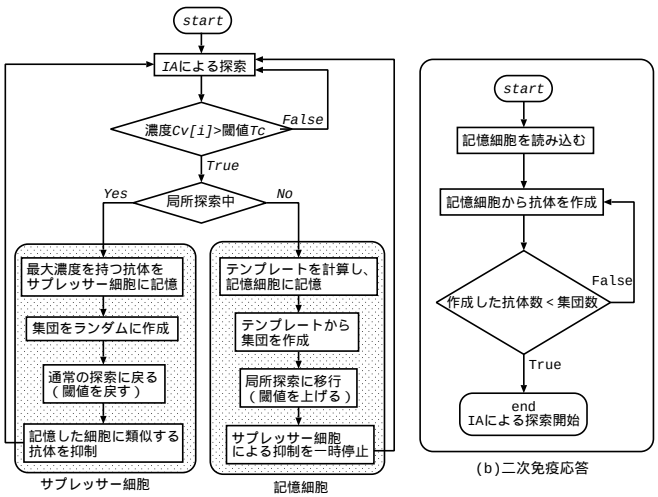

図 2: 一次免疫応答と二次免疫応答

5　計算機シミュレーション

5.1　実験 1 (動作確認実験)

都市数 13，セールスマン数 4 という問題設定で実験を行なった．実験結果は図 3のように，nTSP の最適解を IA により得られることが確認できた．

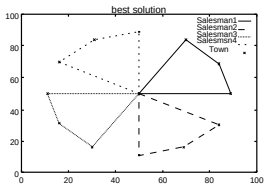

図 3: 確認実験の結果

5.2　実験 2 (探索効率の比較実験)

実験 2 では，IA の探索効率を評価するために simpleGA との比較を行なう．比較に用いた問題はセールスマン数 2，都市数 10 とし，ランダムな都市配置を 30 題用意した．

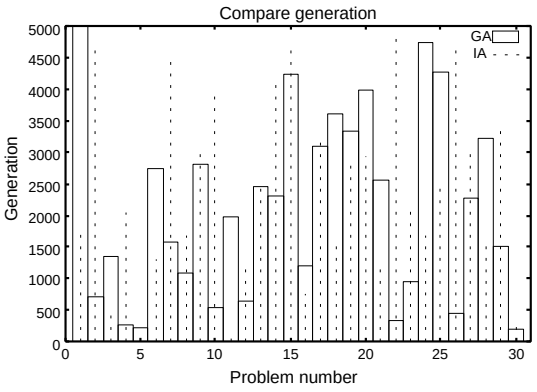

図 4: **GA** と **IA** の効率比較

実験結果を図 4に示す．同図において，30 題に対する準最適解探索までの世代数比較では，GA:IA=13:17 でありほぼ同等であった．しかしながら，問題 11 では，IA が GA と比較して極めて早い世代で準最適解を獲得している．これは IA が過去に探索した候補解を記憶し，利用することで，類似性の高い問題に対して，効果的に準最適解を求めることができることによると考えられる．

5.3　実験 3 (記憶を利用した実験)

実験 3 では，4.2節で提案した一次免疫応答と二次免疫応答の有効性を確認することを目的とする．ここでは，二重の同心円上に同数の都市が均等に並んだ都市配置であるだまし問題を扱う．だまし問題は，同心円の半径比により c-type または o-type のどちらか一方を最適解，他方を局所解に持つ類似問題である．c-type とはだまし問題における一方の円を巡回してから他方を巡回するプランである．o-type とは外円と内円の弧を交互に巡回するプランである．

確認方法は，一つの問題に対し，以下の 5 種類の記憶の利用方法における適応度の上昇率等の比較により行なう．

- 記憶なし
- c-type の問題を解いた記憶を利用
- o-type の問題を解いた記憶を利用
- c-type，o-type の順に両方の問題を解いた記憶を利用
- o-type，c-type の順に両方の問題を解いた記憶を利用

ここで，記憶を作るために用いる問題 (c-type と o-type と書く) とその後に解く問題 (c'-type と o'-type と書く) を表 1に示す．同表における c-type とは c-type が最適解となる問題を意味する．

表 1: 問題設定

パラメータ	$c-type$	$o-type$	$c'-type$	$o'-type$
都市数	13	13	13	13
セールスマン数	1	1	1	1
外円の半径	40	40	40	40
内円の半径	10	35	11	36

5.4　実験 3 の結果

実験結果を図 5に示す．同図において，empty=記憶なし，c=c-type の問題を解いた時の記憶，o=o-type の問題を解いた時の記憶，co=o-type の次に c-type を解いた時の記憶のそれぞれを利用した探索を意味する．図 5より，記憶を利用することで，最適解を得るのに要する世代数を減少できる場合があることがわかった．また，適応度の上昇率を見ると，記憶なしで探索を行なうよりも同種の類似問題を過去に探索した記憶を用いた方がより上昇度が高いことがわかる．

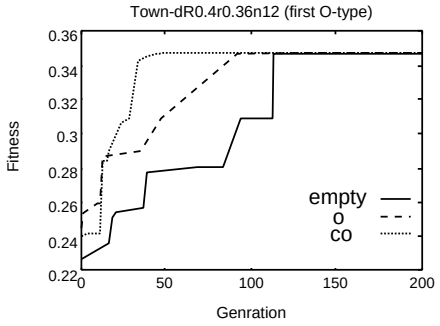

図 5: 比較結果

最適解を得た世代数は表 2のようになっており，単に同種の問題を解いた記憶 o だけよりも，異種の問題を解いた記憶 co の方がより早い世代で最適解が得られた． 以上の結果から，c-type を後に解きたい場合には予め c-type を解くことで記憶を作成しておく．o-type の場合にはその逆をすることが有効であると考えられる．また，ここで用いた記憶の解析を行なったところ，最適解を得ることができた記憶 o 及び記憶 co に関しては，$o-type$ の問題に対して有効に働くテンプレートが記憶されていたことが確認できた．

表 2: 最適解を得た世代数

問題	記憶なし	記憶 o	記憶 co
世代	580	132	48

6　おわりに

適応アルゴリズムの一手法である免疫アルゴリズムを TSP へ適用し，その工学的応用に対する可能性について検討を行なった．また，記憶の利用方法として一次免疫反応と二次免疫反応の導入を提案し，計算機実験を行なった．その結果から，記憶機構を活用することで動的環境における類似問題の繰り返し解決を必要とする課題に対して有効に機能する可能性があることがわかった．一方，記憶機構を有効に活用する方法にはまだ改善の余地があると考えられる．

参考文献

[1] 森 一之, 築山 誠, 福田 豊生, 多様性を持つ免疫的アルゴリズムの提案と負荷割り当て問題への応用, T.IEE Japan, Vol.133-C, No.10, 1993.

[2] 森 一之, 築山 誠, 福田 豊生, 免疫アルゴリズムによる多峰性関数最適化, T.IEE Japan, Vol.117-C, No.5, 1997.

[3] 和田 健之介, 和田 佳子, 山登り飛び虫の進化と免疫システム論について, 数理科学, NO.353, NOVEMBER, 1992

[4] 中村 友洋, 角田 達彦, 田中 英彦, 分業セールスマン問題のニューラルネットワークによる解法, 人工知能 94-2, (1994, 6, 20)

[5] 山村 雅幸，小野 貴久，小林 重信， 形質の遺伝を重視した遺伝的アルゴリズムに基づく巡回セールスマン問題の解法，人工知能学会誌，Vol . 7， No . 6， Nov . 1992