4J-03

免疫ネットワークに基づく適応的最適化アルゴリズムの構築*

當間 愛晃　遠藤 聡志　山田 孝治[†]

琉球大学理工学研究科[‡]

1　はじめに

ニューラルネットワーク，遺伝的アルゴリズム (Genetic Algorithms :GA) 等の適応アルゴリズムは，従来の工学的最適化手法にはない，生物の優れた情報処理機能に基づいており，その有効性は様々な研究により示されている [1]．

近年，脳神経系，遺伝適応系と並ぶ第三の生体システムとして免疫システムが取り上げられている [3]．免疫システムは，多様性のある抗体の産生及びその自己調節機構，抗体の特異性や免疫学的記憶に基づいた一次免疫応答及び二次免疫応答等の様々な高次情報処理機構により構成されている．

本稿では，免疫ネットワークと主要組織適合遺伝子複合体（Major Histocompatibility Complex :MHC）に基づいた適応的最適化アルゴリズムを提案する．生体の免疫系において，免疫ネットワークはそれ自身の構造を変化させることにより免疫応答を調節する．MHC は，自己と非自己を区別するために用いられる．我々のモデルでは，免疫ネットワークは，問題解決の計算主体であるエージェント群が有する行動を生成するために用いられる．MHC は，エージェント群のとる行動に競合を導入するために用いられる．提案するアルゴリズムの基本性能を調査するため，分業巡回セールスマン問題（N-th agent's Travelling Salesman Problem : n-TSP）へ適用し，考察する．

2　免疫アルゴリズム

我々は，マルチエージェントシステムの構成要素である，エージェント群の行動制御を行なう学習アルゴリズム（Immune Algorithm : IA）を提案する．このアルゴリズムは，免疫ネットワークと MHC の概念を導入しており，免疫モデルの各種細胞間による相互作用を用いることで最適解を探索することが可能である．アルゴリズムと n-TSP へ適用時の動作を図 1 に示す．

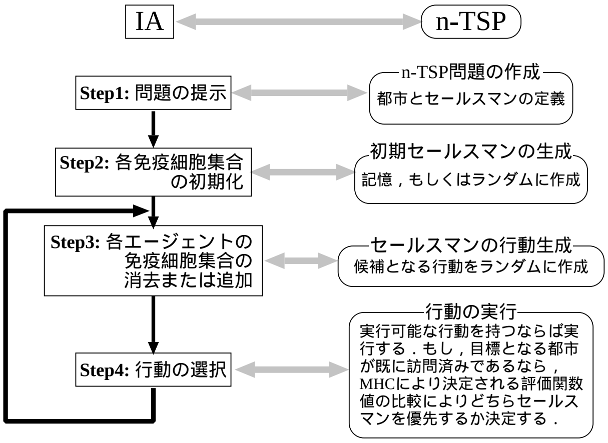

図 1: アルゴリズムと n-TSP

3　計算機実験

3.1　問題設定

問題設定及び IA のパラメータを図 2 に示す．また，性能評価の指針として，1）n-TSP 解としての制約条件を満足するか，2）訪問に要するコストに減少が見られるか，の二点を検証する．

(a) Parameters of nTSP

number of cities	*13*
radius of circle	*0.4*
number of salesmen	*3*
time steps	*1000*

(b) Parameters of IA

Macrophages	*1*
T cells	*5*
B cells	*40*
initial energy	*1.0*
threshold	*2.0*
decrease of energy	*0.1*

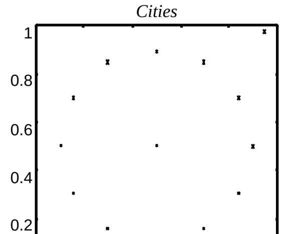

図 2: 問題設定及び IA のパラメータ

3.2　性能評価実験

タイムステップ毎のコスト $Cost$ 推移と，n-TSP 解の制約条件満足度 $Complete$ を図 3 に示す．同図より，本アルゴリズムの候補解の作成はランダムに行なっているが，MHC を用いた相互作用によりコストの減少が見られる．しかしながら，最終世代における巡回経路（図 4）は未だ最適解に到達していない．その理由として，セールスマンの行動が記憶された結果，その後に取るべき

---

*Immune algorithm with Immune Network and MHC for adaptive problem solving

[†] Naruaki Toma, Satoshi Endo, Koji Yamada

[‡] Graduate School of Science and Engineering, University of the Ryukyus

行動が最良であるか否かに関わらず固定されやすくなることが考えられる．また，約 500 ステップ目以降は $Cost$ の減少が見られないことからも探索点が収束していることが見て取れるため，収束点から抜け出すための機構が必要である．

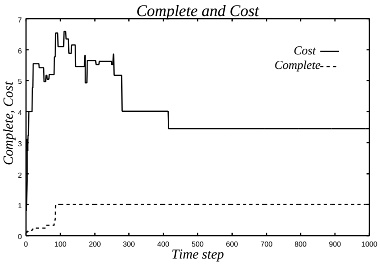

図 3: $Cost, Complete$ の推移

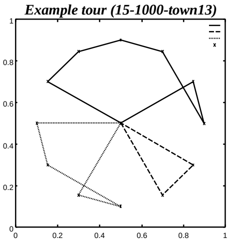

図 4: 最終世代の解

図 5 は，行動実行の調節を行なっている T 細胞の有無が $Cost$ に及ぼす影響を比較した結果である．T 細胞を用いない場合，T 細胞と B 細胞のマッチング処理が無くなるため，行動実行に要するステップ数が減少している．しかし，比較的早いステップ数でコスト減少が滞っていることから，実行した行動が適切でない．これは，T 細胞による行動調節が最適解探索への圧力として働いているためと考えられる．

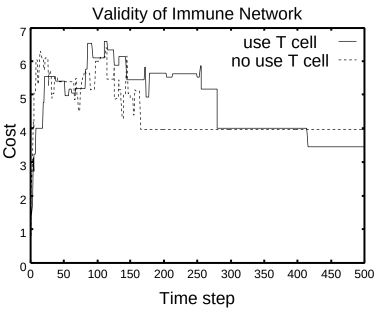

図 5: T 細胞の有無による $Cost$ 推移の比較

3.3 考察

自律分散システムの観点から，MAS を適切に動作させるためには，1）協調・競合，2）分業領域 (自分の役割) を決定することが重要である．提案モデルでは，1）の協調や競合相手を自己に侵入する非自己として扱う．また，2）の領域決定をその非自己との競合により思考錯誤的に構築することが可能である．また，その分業領域は内部の免疫ネットワークの構造を適切に変化させることで適応的な変更が可能である．

現在の実装では，次のような問題がある．マクロファージによる問題提示が一都市ずつであるため，問題全体の特徴が把握できない．得られた記憶からより良い行動を生み出すことができない．自己の定義が可変であるが，免疫システムでは固定と考えられる．この定義の妥当性に関する検討が必要．

生体の免疫システムでは，問題の特徴抽出が可能であり，その特徴に対応した解を産生することで問題解決を行なうと考えられる．その問題の特徴抽出は，自己と非自己を見分けるためにも重要である．このことから，問題の提示方法やその処理方法についてより検討することが今後の課題となる．

4 おわりに

マルチエージェントモデルのアプローチとして，免疫ネットワークと MHC のモデル化を行ない，それを応用した適応的最適化手法を提案した．各エージェントは問題空間における各々の行動領域を拡張することを目的とし，免疫ネットワークは各行動領域のバランスを調整することで効率の良い分業を達成する．そのバランス調整は，各エージェントの持つ MHC の違いによって引き起こされる競合により行なわれる．そして，提案アルゴリズムの性能評価を検証するため n-TSP へ適用した．今後の課題として，獲得した記憶と問題との関係を結びつけるため，その問題自身の提示方法を検討する．

謝辞

本論文を執筆するにあたり，Lymphocyte Biology Section, Laboratory of Immunology, National Institute of Allergy and Infectious Diseases, National Institutes of Health, Bethesda MD 20892 の伊藤靖氏から，免疫学における適切な御指摘を頂いた．また，人工免疫の設計・応用に関し，北海道大学大学院工学研究科システム情報工学専攻複雑系工学講座調和系工学分野の皆様から，貴重な御意見，御討論を頂いた．ここに謝意を表する．

本研究は，文部省科学研究費（課題番号 10780240）の補助を受けて行った．

参考文献

[1] Thomas Back (editor): “Proceedings of The Seventh International Conference on Genetic Algorithms, Morgan Kaufmann”, 1997.

[2] Charles A. Janeway, Jr / Paul Travers / Simon Hunt / Mark Walport : “Immunobiology : The Immune System in Health And Disease”,1997.

[3] 石田 好輝 :“免疫型システムとその応用 -免疫系に学んだ知能システム-”，コロナ社（1998）．

[4] 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, pp593-598（1997）．