3T-07

免疫ネットワークを用いた分業巡回セールスマン問題の解法に関する考察[*]

當間 愛晃　遠藤 聡志　山田 孝治[†]

琉球大学工学部[‡]

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指摘されている．免疫アルゴリズム（Immune Algorithm ;IA）は人間の免疫機構を模倣した適応アルゴリズムの一種であり，その有効性及び工学的応用に関する研究が進められている [1 ~ 3]．特に，生体内に侵入する外敵である抗原とそれを排除する抗体の間に存在する相互作用が抗体-抗体間でも生じているという免疫ネットワークの概念を応用した研究が多く成されている．

石黒により提案された免疫ネットワークは自律移動ロボットの行動調停機構としてモデル化されているが，ネットワークを構成する要素は設計者により記述されているため，改善の余地がある [1, 2]．本稿では，自律的に適切な免疫ネットワークを獲得する手法について考察する．また，分業巡回セールスマン問題（n-Traveling Salesman Problem ;nTSP）への適用によりその有効性を検証する．

2　免疫ネットワークの概要と応用

2.1　免疫ネットワーク

抗原を排除するには，抗体上の抗原結合部位（パラトープ ;paratope）が抗原上の抗原決定基（エピトープ ;epitope）を認識し，刺激・抑制が相互作用的に行われることで可能となる．この抗原-抗体間の相互作用が，抗体-抗体間にも存在するというのが免疫ネットワーク説の核となっている（図 1）．

その原理は，抗体上には抗原を認識するパラトープと，抗原と同じ役割を持つ抗原決定基（イディオトープ ;idiotope）が存在することに基づいている．免疫ネットワークの特徴は，抗体産生の調節やその多様性維持，さらに抗体間の刺激・抑制がネットワークを形成する抗体群に影響を及ぼし合うことで動的なネットワークを構成しているである．

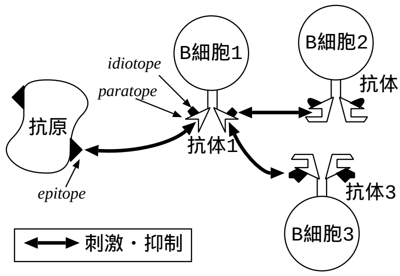

図 1: 免疫ネットワークの概念図

マルチエージェントシステムへのアプローチとして免疫ネットワークを用いる．例えば，与えられた問題を抗原，抗体群によりエージェントを構成し，エージェント間の情報伝達手段として免疫ネットワークを利用することにより以下のような特徴が期待できる．

- 動的に変化する環境の認識
- 自律的かつ相互作用（協調・役割分担等）により決定される行動選択

2.2　免疫アルゴリズム:IA

提案するアルゴリズムは，抗原及び抗体からの相互作用により抗体が進化するというものである．その概念を以下に示す．

Step1.　抗原の提示

動的な環境を作り出すパラメータをエピトープとして設定する．

Step2.　初期抗体群の生成

エージェントを抗体群としてランダム，もしくは記憶を用いて生成する．抗体は，エピトープを認識し，行動を起こすパラトープと，抗体間の相互作用を起こすイディオトープで構成する．

Step3.　新和度の計算

抗原-抗体（エピトープとパラトープ）間の新和度，抗体-抗体（パラトープとイディオトープ）間の新和度を計算する．新和度は相互作用の一要素であり，刺激・抑制の強さを表す．

Step4.　濃度の計算

抗原に対するエージェントを構成する抗体群の評価尺度として濃度を計算する．

Step5.　抗体の産生と抑制

新和度と濃度を抗体の適応に用いることで相互作

---

[*] Application of Immune Networks to n-Traveling Salesman Problem

[†] Naruaki Toma, Satoshi Endo, Koji Yamada

[‡] Faculty of Engineering, University of the Ryukyus

用を起こし，適切なネットワークを形成するため抗体を進化させる．濃度及び抗原に対する新和度が低く，抗体に対する新和度が低い抗体は抑制（変異，消滅）により不具合を修正する．逆の場合には刺激（増殖，維持）により，エージェント全体としての適応度を上昇させる．以下，Step3～5 を繰り返すことで適切なネットワークの獲得を行う．

3　分業巡回セールスマン問題:nTSP

巡回セールスマン問題 TSP は NP-hard に分類される問題の複雑さとその応用範囲の広さからさまざまな解法による検討がなされてきた．しかし今日の大規模複雑な工学的諸問題への対応には各エージェント間の協力による効率良く問題を解決を行なうマルチエージェントシステムなどのより強力な問題解決法が求められている（図 2）．そこで TSP におけるエージェント数を n 人に拡張した問題 nTSP[4] 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．

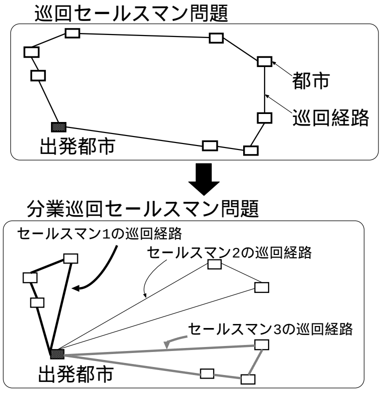

図 2: nTSP の概念図

nTSP は本質的に各セールスマンに対する都市配分とその最短経路探索という 2 面性を持つ．これらの 2 面性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．

4　nTSP に対する IA の設計

免疫ネットワークを nTSP に適用する際，抗原，抗体及び刺激・抑制を設定する必要がある．

抗原：nTSP を決定する要素として都市数，都市配置，セールスマン数，評価尺度の 4 つが挙げられる．ここでエピトープは都市数と都市配置とし，それらのパラメータの変化により動的な環境を設定する．

抗体：都市数と都市配置から構成される抗原を認識するパラトープと，エピトープの役割として働くイディオトープを持った抗体が必要である．エージェント構成において必要な環境情報の認識，行動選択の決定を nTSP に当てはめると以下のような設計が考えられる．（1）現在訪問中の都市とそれ以外の都市配置の関係と（2）自己を含めた各エージェントの巡回経路を認識し（3）次に訪問すべき都市を決定する処理要素をセールスマンとして設計する．そこで（1）を「都市配置を現在訪問中の都市からの距離として認識」し，その環境情報から（3）を決定することで，都市番号に依存しない行動を可能とするよう行動ルールの一般化を計る．これをエピトープとして設定する．また，（2）は抗体間の認識であることから，これをイディオトープとして設定する．

刺激：刺激とは，抗体が巡回区域（巡回路により都市空間をカバーする領域）を広げる処理を意味する．結果としてセールスマンの巡回区域を広げることにつながる．刺激が起きる要因は（1）未訪問の都市が存在（2）セールスマンの分業度合が平均以下（3）巡回経路に重複が存在しないが考えられる．

抑制：抑制とは，抗体がある抗体の巡回路を含んでいる場合にその要素を取り除く処理を意味する．すなわち巡回路から重複部分を削る処理である．抑制が起きる要因は（1）全ての都市が訪問済み（2）セールスマンの分業度合が平均以上（3）巡回経路に重複が存在が考えられる．

5　おわりに

適応アルゴリズムの一手法として，免疫ネットワークを情報伝達手段として用いた免疫アルゴリズムを提案し，nTSP に対する設計を行った．免疫アルゴリズムは，環境の認識能力，エージェント間の相互作用を伴った適応，を特徴に持つことから，動的な環境へのアプローチであるマルチエージェントモデルとしての有効性が期待される．

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] 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

[2] 白井 靖浩，渡邊 祐司，石黒 章夫，内川 嘉樹：免疫ネットワークを用いた自律移動ロボットの行動調停～GA を用いたメタダイナミクス機能の実現～，第 7 回 FAN シンポジウム (1997.11)

[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)