

論文の内容の要旨

論文題目 行動ルールの進化・適応を考慮した社会システムのモデル化と分析

氏名 小松 秀徳

これまでの科学技術では、偏微分方程式をはじめとする数学モデルにより、系全体の挙動に着目してトップダウンで現象をモデル化するアプローチが用いられてきた。偏微分方程式に基づくモデルは、時空間構造を抽象化し、系全体を比較的少数の方程式に還元して、これを数学的に解く。

しかし、現代の社会システムの種々の問題は高度に複雑化しており、非連続性、多様性がより顕著となっている。このような問題に対して、偏微分方程式のように連続性、一様性を仮定するアプローチは適しておらず、問題を定式化することさえ困難な場合も多い。現代の複雑な社会システムの問題を解くためには、偏微分方程式のようなトップダウン式のものとは異なる、新たなアプローチを確立する必要がある。

一方、社会システムは、多様な要素がそれぞれ行動ルールに基づいて並列に相互作用することにより、個々の要素の特性からは予測できない新たな全体特性を発現し、かつ全体が何らかの外部環境に適した構造へと適応する機能を持った、複雑適応系としての性格を有する。このことを踏まえ、本論文では、多数の要素を用意し、それらが局所的な相互作用を繰り返す、ボトムアップで系全体の新たな挙動を発現する構成的モデルに、進化と適応の発展的な機構を導入することにより、社会システムを複雑適応系として捉える新たなモデルを提案し、その有効性を示すことを目的とする。本論文では一貫して、要素同士がある行動ルールに従って相互作用をした結果として全体特性を発現する系を、進化・適応を考慮したアルゴリズムによって調節するモデルを構築し、これに基づき社会システムを構成する様々な要素を設計・分析する。

第2章では、実際の生物が、遺伝子情報を基に細胞同士が相互作用を繰り返して生体を形成し、それらが環境に対して進化・適応することを踏まえ、構造物同士が行動ルールに基づいて相互作用を繰り返すことで全体構造を生成する、新たな **Artificial Embryogeny** モデルを考案した。そしてネットワーク構造で記述されるロボットの生成問題を通じて、より複雑・大規模な問題に対応可能なスケラビリティが認められることを示した。具体的には、従来の進化的アルゴリズムでは考慮されてこなかった個体発生概念を取り入れ、質点・ばね・筋肉から成るネットワーク構造を持つロボットを生成するルールを進化させた。その結果、落とし穴を素早く飛び越えるロボットが得られた。図1はロボットの進化の様子を、図2は最終的に得られたロボットの成長過程を示すものである。

第3章では、リアルタイムに問題構造が変化する動的な組み合わせ最適化問題として、動的巡回セールスマン問題(Dynamic Travelling Salesman Problem: DTSP)を取り上げた。巡回セールスマン問題(Travelling Salesman Problem: TSP)は、与えられた都市の集合と各2都市間の移動距離に対して、全都市を一度ずつ巡り出発地に戻る巡回路のうち、総移動距

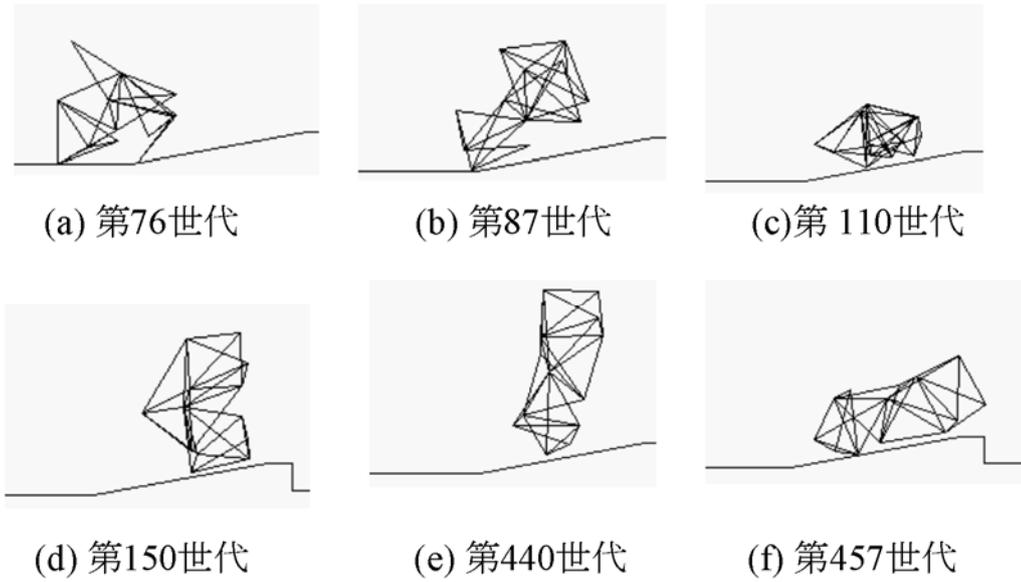


図 1 ネットワーク構造を持ったロボットの進化の様子

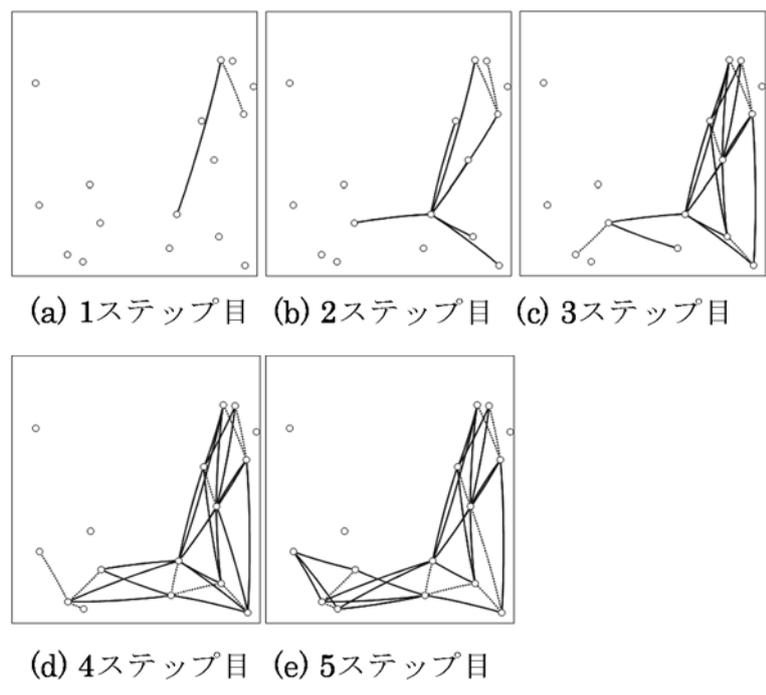


図 2 第 457 世代目のロボットの成長過程

離が最小となるものを求める問題であるが、DTSP は、これに都市の追加・削除・移動等の要素を取り入れたものである。ノードを細胞と見立て、ノード同士が仮想的なたんぱく質を授受することでリンクを張る対象を決定する、生物の細胞接着の過程を模擬した Artificial

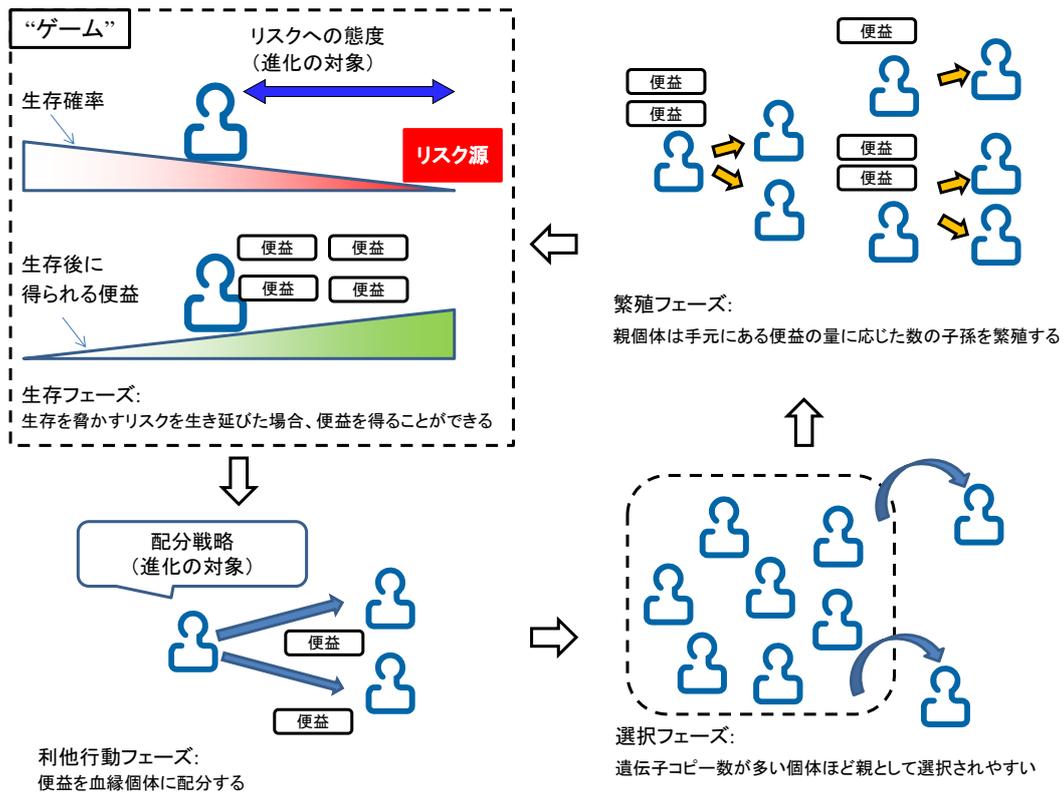


図 3 リスクへの態度と利他行動（便益配分）の戦略を行動ルールとして持つ個体を進化させるマルチエージェントモデル

Embryogeny モデルを作成し、DTSP への適用を通じて、リアルタイムで問題構造が変化する環境に対して追従可能なロバスト性が備えられていることを示した。

第 4 章では、エネルギー貯蓄量など世帯毎のエネルギー使用状況と相互作用をしながらエネルギー供給量を制御する、家電機器の制御問題を取り上げ、行動ルールとして機器の運転ルールを進化させた。使用状況が大きく異なる複数世帯に対しても、同一の運転ルールによって、エネルギー供給不足を生じることなく低コストに需要を満たすことができることを示した。

第 5 章では、一見不合理な人間の意思決定や行動が、社会性の進化・適応の観点に立って捉えることにより分析可能となり、またこの分析を踏まえることで、普遍性が高く効率的な行動変容方策の設計が可能となることを示した。まず、マルチエージェントモデルの行動ルールに対して、血縁者の利益を含めた進化・適応である血縁選択の考え方と実数遺伝的アルゴリズムを適用した（図 3）。個人の意思決定・行動が相互作用を繰り返し、全体として意思決定が形成される過程の検討を通じ、各人の個別的な属性に依存せず多様な対象へスケールアップに適用可能な介入方策に資する基礎的な分析を行った。次に、全体特性の変化を狙い、公共目的のために個人の行動変容を促進する介入方策として、人間の社会性等を踏まえ

て直感に訴えかける行動変容方策の考え方を整理した。一方で、従来この考え方において、進化・適応の観点に基づく分析・設計が十分にはなされてこなかったことを示した。そこで、社会的な行動変容の例として省エネルギー行動を取り上げ、規範的なメッセージを用いることで、社会性の進化・適応と関りが深いパーソナリティ特性に訴えかけ、実際に省エネルギーへの意欲を向上させることが可能であることを明らかにした。さらに、分析をより具体化し、我が国における省エネルギー行動促進に適した介入方策として、規範的なメッセージを埋め込んだ省エネルギー情報を自動的に生成するツールの具体的な実装例を評価した。

以上の結果より、提案手法は社会システムのモデル化に有用であること、そして複雑で大規模な問題に対してスケールラブルであり、多様な環境と条件に対してロバストであるので、幅広い複雑適応系のモデルとして期待できることと結論できる。