

# 論文審査の結果の要旨

氏名 柳井孝介

本論文は「プログラムのインタラクションによる情報構造の創発に関する研究」と題し、10章からなり、プログラムインタラクションとエントロピー駆動性を主題として、創発システムにおけるランダム性の役割と散逸的な構造を明らかにしている。

第1章は序論であり、主題と目的が述べられ、創発、プログラムインタラクション、エントロピー駆動性の概念が説明されている。また本論文に関連する基礎的なことがらが簡潔に説明されている。

第2章においては、遺伝的アルゴリズムにおけるランダム性について議論される。遺伝的アルゴリズムにおいては、乱数発生アルゴリズムの違いによってシステム性能が変化するという報告がなされている。まずこれらの研究を概観し、ランダムさの計量について議論している。次にランダム性を用いない遺伝的アルゴリズムを構成し、標準的な遺伝的アルゴリズムとの比較がなされている。また10の異なる乱数を用いて遺伝的アルゴリズムの性能比較を行い、ランダム性が小さい場合に性能が劣化するという結果を得ている。2つの実験結果を基に、遺伝的アルゴリズムにおけるランダム性の役割について考察している。

第3章においては、確率分布を用いたプログラム生成システム、EDP (Estimation-of-Distribution Programming) を提案している。従来手法である遺伝的プログラミングは数々の驚異的な成果を挙げている一方で、遺伝的プログラミングによる探索が困難な問題もこれまでにいくつか報告されている。従って遺伝的プログラミングとは異なるメカニズムでプログラム生成を行う新しい手法の提案が期待されている。提案手法は、突然変異や交叉は用いず、確率モデルを用いて個体の遺伝子分布を推定することにより、プログラムを進化させる。提案手法を遺伝的プログラミングと比較し、提案手法が本質的に遺伝的プログラミングとは異なることを実験により示している。また提案手法の欠点である position-dependence に関して議論している。

第4章においては、EDPを改良する試みがなされる。まずEDPと遺伝的プログラミングのハイブリッドシステムを構成し、ハイブリッド比を変えながらシステムの性能を調べている。実験結果からハイブリッド比を0.5とすると最も良い性能が得られることを示している。またXEDP (Extended Estimation-of-Distribution Programming) を提案し、高い探索性能が得られることを示している。実験結果から、確率モデルにおける木構造の依存関係が重要であること、部分構造の抽出が有効に働いていることを結論付けている。

第5章においては、遺伝的プログラミングによるロボット行動の共進化について考察している。マルチエージェント環境における協調行動プログラムの自動生成を

目的とし、実機での動作を想定してシステムを構成している。論文では脱出問題と捕球問題における協調行動の共進化実験を行い、構成したシステムにより協調行動が獲得されることを示している。実験結果から、ロバスト性の発生メカニズムと共進化による役割分担の創発について考察がなされる。

第6章においては、 $\lambda$ 関数モデルを用いて抽象的な化学反応系をシミュレーションしている。様々な条件で実験を行った結果、非平衡性を導入することによりシステムが複雑な構造を維持できると結論付けている。

第7章においては、ランクに基づくスケールフリー・ネットワークモデルを提案している。提案するモデルでは、ランク選択におりノードを2つ選択し、選択されたノード間にリンクを生成する。この手続きを繰り返して生成されるネットワークがスケールフリー性を持つことを、シミュレーションと理論計算を用いて示している。

第8章においては、進化システムにおける情報伝播機構が議論される。まず遺伝的アルゴリズムの交叉によりできる個体のネットワークがスケールフリー性を持つことから、スケールフリー性が情報拡散に対する耐性を生み出すという仮説を提案している。次に進化システム遺伝子の圧縮率の進化について議論している。遺伝的アルゴリズムにおいては、交叉や突然変異は破壊的作用があるため、エクソンはイントロンに比べて相対的に短くなっていくと考えられる。遺伝的アルゴリズムにおける情報圧縮メカニズムを調べるため、遺伝子の情報圧縮率が可変であるモデルを2つ提案し進化実験を行い、短い期間では冗長性のみが消去されるが、長い期間では情報内容そのものが圧縮されるという結論を得ている。

第9章においては、2章から8章までに得た実験結果と考察を基に、これらの創発システムに共通して見られた性質について議論し、主題であるプログラムインタラクションとエントロピー駆動性について考察している。これにより、ランダム性、散逸構造、情報伝達構造の3つの点から創発システムを捉え直すことを試みている。

第10章においては、本論文の結論と今後の展望が述べられ、それと平行して本論文のアプローチに関する考察が述べられている。

なお、本論文の一部は共同研究によって行われたものであるが、論文提出者が主体となって提案及び実験・分析・検証を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

以上これを要するに本論文は、プログラムインタラクションとエントロピー駆動性を主題として、5つの創発システムを解析している。またEDP、XEDPなどのプログラム進化のための新しい手法を提案しており、その有用性を実験により実証している。さらにロボット協調行動の学習のための共進化システムやスケールフリー・ネットワークモデルも提案しており、その性質を詳しく調べている。多くの実験結果を基に、創発システムにおけるランダム性、散逸構造、情報伝播構造について議論がなされており、情報科学の発展に貢献するところが少なくない。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。