

論文内容の要旨

博士論文題目 Intraspecific Learning and Interspecific Evolution
 by Genetic Algorithms
 (進化的計算による社会生物学のシミュレーション)

氏 名 吉田 亮

(論文内容の要旨)

本研究では、遺伝的プログラミング (GP) による社会的昆虫の挙動と遺伝的アルゴリズム (GA) を使う相互連想記憶について、学習と進化に関する 2 種類のシミュレーション実験とその結果を述べている。

社会的昆虫であるアリ、ハチなどは、役割分担に基づく社会生活を営むのが特徴である。Genetic Programming による Koza の蟻のシミュレーションでは、(1) 蟻が複雑な道 (Santafe Trail) を学習する、(2) 餌集め行動のプログラムが GP により進化した、(3) 単純な行動規則の組合せで秩序立った団体行動が創発した、などの知見が有名である。

この論文では、限られた世界で、蟻の密度を増加させることにより、Co-operation、Job separation、Territory などの協調行動が出現することを示している。広さと餌の数が限られた世界では、蟻密度の上限があり、それを越えると、協調作業の形態が変わり、仕事分担やテリトリが観察できる。また、相互作用をゼロから、徐々に増加させていくと餌集めの効率が向上する。これとは独立に、GP アルゴリズム自体の探索効率を上げる MDL 基準を使う汎化能力向上を試みている。これらの結果は、昆虫の感覚による反応行動、すなわち、記憶や知能以前のフェロモンなどの化学物質による通信だけでも、柔軟かつ適応的な分業作業を発展させる可能性をしめしている。

次に、ある対象を生物に示した時にどのような連想を行なうかをシミュレートする相互連想記憶 (Mutual Associative Memory) 実験について、連想の形態を、Auto-association、Hetero-association、学習、創造という 4 種類に分け、仮想の生物がその連想ルールを自分の生涯の間に変えることにより進化が加速できることを示した。1 個の Population を 1 つの生物集団とみなすことにより、その集団内に閉じた相互作用を観ることができ、複数の生物集団を競わせることにより、階層を有する生物集団間の挙動を観察することができる。このようなシミュレーションによって、生物集団のルールを 1 世代内で変えると進化が観察できるが、世代の交替期にルールを変えても進化がおこらないなどの、興味深い結果を示している。

上記 2 種類のシミュレーションの結果は、「個体間、および個体と環境間の相互作用が適度に大きいと、進化の速度が加速される」という点に集約できる。

氏 名	吉田 亮
-----	------

(論文審査結果の要旨)

平成13年10月2日に開催した公聴会の結果を参考に、平成13年10月30日に本博士論文の審査を行なった。本博士論文学位申請者は、独立した研究者として研究活動を続けて行くために十分な素養を備えていると認められる。

本博士論文の前半においては、進化的計算方法を使ったシミュレーション実験により、感覚による反応行動のみで、社会的昆虫の分業やテリトリなどの共同作業の進化が生ずることを、生物密度に注目することにより示している。また、博士論文後半においては、相互連想記憶(Mutual Associative Memory)と呼ぶ全結合ニューラルネットワークを提案し、記憶や連想などの知性を持つ生物が、連想ルールを変えることにより進化が加速できることを示している。さらに、進化的計算加速のための新しい技術的改良とその結果をいくつか示している。すなわち、Genetic Programmingにおける MDL 基準を使う新しい汎化能力向上策の有効性を示し、また、Genetic Algorithms ではカオス Hopfield ネットワークが非常に早い収束を示すこと、Population を可変にすることにより2倍近い収束速度を得られる、などのアルゴリズム改良の有効性を明らかにした。

進化的計算は、現在5種類ぐらいに分類できるが、これらのルーツを探ると、コンピュータの普及とともにヨーロッパとアメリカで30年ぐらい前から全く独立に発展してきた経緯がある。進化的計算が、生物自身の学習や進化のメカニズムを探る手段としてアメリカのサンタフェ研究所などの発表で注目されるようになったのは、比較的最近のことである。本研究では、人工生命分野を対象にしながら、従来のようにコンピュータグラフィック技術を利用するアニメーションの視覚効果には頼らず、生物が持つより基本的かつ重要なメカニズムである学習と進化という点に注目し、生物物理などの古典的研究との対比を行ないながら進めている点が評価できる。また、高度な知性と複雑なコミュニケーションが不可欠と考えられる分業や共同作業なども、より原始的な感覚反応のみで実現できることを簡単なシミュレーションで明らかにしている点、および、進化的計算の新しい技術的改良を提案している点でも、有意義な研究である。

よって、本論文は、情報科学の進化的計算に関する分野において、博士学位論文(工学)としての価値があるものとする。