

審査の結果の要旨

氏 名 Olaf Khang Witkowski

本論文は、身体性を有するエージェントにおいて連携とコミュニケーションが進化によって創発する現象を、エージェントに基づくモデル(agent-based modeling---ABM)を用いて解明することを目的としている。すなわち、複雑性の異なる様々な相互作用の様式を持つエージェントを用いた枠組みのもとで、局所的なコミュニケーションおよび協調行動と、大域的な連携行動が並列して進化する様子を、コンピュータ上でのシミュレーションにより観察し、効果的なコミュニケーションと連携行動を可能とするモデルに必要とされる条件について論じている。

本論文は8章より成る。第1章では連携(coordination)、協調(cooperation)、コミュニケーション(communication)の間の関連性について議論しながら、本研究の目的と本論文の概要が述べられている。第2章では、人工生命分野を中心に、本研究の背景となる関連研究が体系的に説明されている。

第3章では、本研究の手法である、エージェントに基づくモデル(ABM)、人工ニューラルネットワーク (artificial neural network)、ニューラルネットワークの進化(neuroevolution)について詳述されている。特に本研究で扱うモデルは、エージェントの知能をElmanの再帰的ニューラルネットワークによって実現し、ニューラルネットワークにおけるシナプスの重みを遺伝子として進化させることを特徴としている。

第4章では、エージェント同士が通信し合う群のモデルが提示されている。このモデルでは、エージェントが情報をシグナルによって伝え合い、リーダーと追従者の関係を形成することによって、エージェントから成る群が形成される。3次元空間を一定の速度で移動するエージェントは、上下と左右の偏角を定めるアクチュエータ、シグナルを発生するアクチュエータ、他のエージェントが発するシグナルを6方向から感知するセンサーを持っており、アクチュエータへの出力はセンサーからの入力に対してElmanの再帰的ニューラルネットワークにより定められる。3次元空間にはエージェントには見えない食料源(food source)が一つ置かれており、エージェントの評価値(fitness)は食糧源への距離によって定まる。このモデルは、群の創発に必要と考えられる最小限(minimalistic)の機構のみを備えているにもかかわらず、シグナルが有効であるときに限って、食料源の周りに群を形成し、群の中ではエージェントが近接するエージェント

に影響を与える関係(リーダーと追従者の関係)を観測することができた。シミュレーションの初期段階では遺伝子の変異は大きく淘汰圧は高いが、群を形成するエージェントが進化した後は、変異は小さくなり多様性が維持されて進化は緩慢となった。

第5章では、第4章のモデルを拡張することにより、囚人のジレンマゲームを空間的に展開したモデルが作成され、その中で協調するエージェントの安定した群が創発する現象について調べられている。このモデルは多重安定であり、群の形成・解体が繰り返し観測された。協調するエージェントは、反対するエージェントよりも高速に移動することによって群を形成した。

第6章では、社会的な連携行動が創発する条件が調べられている。具体的には、季節によって食料の量が増える三つのモデルを用いて、群全体の移動から資源節約のための戦略(貯蔵や冬眠)まで、幅広い種類の連携行動が進化的に安定であることが示されている。資源節約のための戦略に関しては、エージェントの(身体の)大きさと関連が明らかとなった。

第7章では、遺伝子と文化の共進化モデル、特に言語的ニッチが形成されるようなモデルが作成され観察されている。このモデルでは、遺伝子に対する自然淘汰が文化進化によって抑制・促進される現象が繰り返し観察された。

以上を総じて、集団運動の進化によって、単純なエージェントでさえも高次の計算能力を獲得し得ることが実証された。自己組織的に群を形成することによって、エージェントは局所的なエラーやゆらぎを克服し、効率よく環境からの情報を利用し、高い適応度を示すことが可能である。

したがって、本論文は、最小限の機構を備えたエージェントに基づくモデル(ABM)において連携行動が創発する現象を観察することにより、連携行動とコミュニケーションの進化を論じた点において科学的に意義深いものである。一方、生物学的な基礎理論を理解することによって、マルチエージェントシステム、ユビキタスコンピューティング、スウォームコンピューテーションの諸分野に対し、技術的な面での応用も期待されるであろう。

よって本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。