

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 21 日現在

機関番号：92712
 研究種目：挑戦的萌芽研究
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23656169
 研究課題名（和文） 社会性昆虫の行動原理の数理モデルによる理解と計算行動生態学の創生に関する研究
 研究課題名（英文） Understanding of Behavioral Principle of Social Insects based on Mathematical Model and A New Approach of Computational Behavioral Ecology
 研究代表者
 松野 文俊（MATSUNO FUMITOSHI）
 特定非営利活動法人 国際レスキューシステム研究機構・教授
 研究者番号：00190489

研究成果の概要（和文）：

本研究の目的は、真社会性を持つ昆虫である蟻を対象に研究を進め、コロニー形成メカニズムをシミュレーションによって理解することである。採餌効率を指標として、最適化という観点で蟻の利他的行動や分業の有効性についてシミュレーションによる解析を行った。

研究成果の概要（英文）：

In this study we consider understanding of behavioral principle of social insects based on mathematical models and a new approach of computational behavioral ecology. We focus of ants and analyze construction mechanism of colony of ants. A cost function that means performance of foraging is defined and optimal behavioral of ants (altruistic behavior and task allocation strategy) is discussed by computer simulation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,000,000	900,000	3,900,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・機械力学・制御

キーワード：運動制御・群行動

1. 研究開始当初の背景

研究代表者は制御対象が非線形で無限次元のような複雑なシステムであってもその物理的本質を突いた制御系設計を行えば、ロボastsで簡便な制御則が導出できること示し、その概念をダイナミクスベース制御として提唱してきた。また、ダイナミクスベース制御を前提とした生物の運動知能獲得手法として、物理法則にかなった生物の運動知能である「ダイナミックスペース・インテリジ

ェンス」について考察を行ってきた。これらの研究を通して、社会性昆虫である蟻の行動を理解し、群ロボットに応用することができないかと考えるに至った。従来の行動生態学で行われている観察実験的な方法から得られた知見をベースに、数理的なモデル化を行おうとする試みもなされている。その行動を理解し応用するためには、観察実験によるアプローチのみでは効率が良いとは言えない。

さらに、行動を単にモデル化するだけでなく、何らかの意味で行動を最適化するような行動規範の理解が重要であると考え、研究課題に取り組んだ。

2. 研究の目的

本研究では社会性昆虫がもつコロニー形成や分業メカニズムをシミュレーションによってかいめいしようとするものである。特に社会性を持つ昆虫として蟻に着目し、生物実験から得られているデータを基にミクロな社会性昆虫の行動モデルを構築し、その積み重ねとしてコロニー形成のメカニズムの理解を試みる。また、巨視的なモデルとして社会性昆虫の行動モデルを偏微分方程式系でモデル化し、シミュレーションにより定性的な性質と規模性について検討する。事件生物学の研究者と議論することにより、実験では説明が困難な複雑で規模性を有するような現象を考察することを可能にするシミュレータを開発する。これにより、計算行動生態学の礎を構築し、工学分野から生物分野へのインパクトを与えることが本研究の目的である。

3. 研究の方法

(1) モデル化とシミュレータの構築：

真社会性を持つ昆虫である蟻を対象に研究を進め、コロニー形成メカニズムをシミュレーションによって理解する。まず、行動生態学で観察実験的に得られている蟻の行動に関する知見をモデル化し、有限オートマトンを用いたマイクロモデルと確率を導入した偏微分方程式をベースにしたマクロモデルを導出し、シミュレータを構築する。

(2) 行動戦略の最適化と工学的応用の検討：

シミュレータを用いて採餌効率を指標として、最適化という観点で利他的行動や分業の有効性および種の特長について議論する。このアプローチで蜂など他の社会性昆虫の行動

規範の理解に繋げていける可能性と工学的応用に関して考察する。

4. 研究成果

真社会性を持つ昆虫である蟻を対象に研究を進め、コロニー形成メカニズムをシミュレーションによって理解するために、採餌効率を指標として、最適化という観点で蟻の利他的行動や分業の有効性についてシミュレーションによる解析を行った。以下に、研究成果の概要を述べる。

(1) モデル化とシミュレータの構築：

行動生態学で観察実験により得られている蟻の行動に関する知見をモデル化し、有限オートマトンを用いたマイクロモデルと個体の時空間密度の期待値を導入した偏微分方程式をベースにしたマクロモデルを導出し、シミュレータを構築した。まず、フェロモンコミュニケーションと接触コミュニケーションのモデル化を行なった。フェロモンの拡散を差分方程式を用いてモデル化し、蟻の採餌におけるフェロモンを用いた他個体の誘引行動を有限オートマトンでモデル化した。また、接触することにより他個体のタスクの優先度を検知し、自己のタスクの優先度を変化させる行動を有限オートマトンを用いたマイクロモデルと状態遷移確率を導入した偏微分方程式を用いたマクロモデルで表現した。生物実験により得られている観察結果をマイクロモデルとマクロモデルを用いてシミュレートし、得られたシミュレーション結果を比較することでモデルの妥当性を検証した。

(2) 行動戦略の最適化と工学的応用の検討：

構築したシミュレータを用いて採餌効率を指標として、最適化という観点で利他的行動や分業の有効性について検討した。まず、蟻のフェロモンコミュニケーションによる他個体誘引行動や接触コミュニケーシ

ヨによる分業行動の採餌効率に対する影響のシミュレーションによる考察を行なった。また、行動生態学研究において実験的観察から得られている蟻の行動規範の仮説の妥当性を、特に穴埋め行動に着目し、シミュレータを用いた採餌効率の最適化といった観点で議論した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

(1) 松野文俊、花本惣平、アリの行動シミュレータ構築と生態の理解、計測と制御、査読有、Vol. 52、No. 3、pp. 227-233、2013

(2) 藤澤隆介、今村光、松野文俊、フェロモン・コミュニケーションによるロボット群の協調運搬、情報処理学会論文誌、数理モデル化と応用、査読有、Vol. 4、No. 4、pp. 10-18、2011

<http://ci.nii.ac.jp/naid/110008583462>

[学会発表] (計 8 件)

(1) 小川雄一、花本惣平、辻和希、松野文俊、アリの行動モデルの構築と餌の密度がコロニーサイズに与える影響の考察、第 13 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会、2012 年 12 月 17 日、福岡国際会議場 (福岡県)

(2) 花本惣平、松野文俊、マクロモデルによるグンタイアリの行動シミュレータ構築と利他行動の解析、第 13 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会、2012 年 12 月 17 日、福岡国際会議場 (福岡県)

(3) Yuichi Ogawa, Sohei Hanamoto, Kazuki Tsuji and Fumitoshi Matsuno, Influence of food density on colony size of *pogonomyrmex barbatus*, IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII2012), December 17, Fukuoka Convention Center, Fukuoka, Japan

(4) 三浦裕介、花本惣平、松野文俊、アリの行動モデル構築と分業における群の適応的振る舞いに関する考察、第 55 回自動制御連合講演会、2012 年 11 月 17 日、京都大学 (京

都府)

(5) 三浦裕介、花本惣平、松野文俊、アリの行動モデルの構築と群における分業の有効性の検証、第 12 回公益社団法人計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会、2011 年 12 月 23 日、京都大学 (京都府)

(6) Sohei Hanamoto and Fumitoshi Matsuno, Foraging Effectiveness of the Altruistic Plugging Behavior of the Army Ants, 2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, December 20, Kyoto University, Kyoto, Japan, 2011

(7) Ryusuke Fujisawa, Yusuke Shimizu and Fumitoshi Matsuno, Effectiveness of Tuning of Pheromone Trail Lifetime in Attraction of Robot Swarm, 2011 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, December 20, Kyoto University, Kyoto, Japan, 2011

(8) 花本惣平、松野文俊、グンタイアリの生態シミュレータ構築と利他行動が採餌効率に与える影響の考察、第 21 回日本数理生物学会年会、2011 年 9 月 14 日、明治大学 (東京都)

[図書] (計 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

○取得状況 (計 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松野 文俊 (MATSUNO FUMITOSHI)

特定非営利活動法人 国際レスキューシス
テム研究機構・教授

研究者番号：00190489

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：