

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：10106

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K04039

研究課題名(和文) ビヘイビアコンポーズドによるカンブリア紀古代魚の複合・複雑行動の獲得

研究課題名(英文) Acquisition of composite and complex behavior on Cambrian ancient fish by behavior composed neural network

研究代表者

渡辺 美知子 (Watanabe, Michiko)

北見工業大学・工学部・准教授

研究者番号：50509289

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：約5億4200万年前から4億8830万年のカンブリア紀に化石として発見された古代魚は、現存する魚類とは異なる異形の独自の形態へと進化した生物であり、その運動の行動様式は推測の域にとどまり、解明されていない。本研究では、カンブリア紀の古代魚を統合型エージェント(Synthetic Agent)の人工生物(人工生命)とみなし、水中環境内において独自に進化した古代魚の遊泳や捕食の運動行動を物理的に復元する。具体的には、人工生命として物理モデル化された古代魚に複合・複雑化された自律行動獲得を可能とするビヘイビアコンポーズドとニューロイポリューションを適用して、古代魚の運動行動の復元を実現する。

研究成果の学術的意義や社会的意義

行動獲得に関する研究の多くは、プログラミングベース、規則ベース、ニューロイポリューション(NE)に基づいて行われている。特に、GAとANNを組み合わせたNEは単一行動の獲得には頻繁に使用されるが、複合・複雑行動の獲得を行うことはできない。本研究では、NEの行動獲得の利点を生かしたまま、複合・複雑化された行動を復元可能にする方法論として提案してきたビヘイビアコンポーズド(BC)を発展させ、現状では地球上に見られない形態の古代魚の行動獲得を実現することである。また、古代魚の形態は現存する魚類とは異なる形態のため、新しいロボットの形態及び運動行動様式を得られる可能性もあり社会的意義がある。

研究成果の概要(英文)：Ancient fish in the Cambrian period from about 542 million years ago to 488.3 million years ago are discovered as fossils. They are organisms that evolved into unique and different forms comparing to existing fish in our century. Because of their unique forms, their movement behavior patterns are unknown and only guessed. In this study, the ancient Cambrian fish are regarded as artificial organisms (artificial life) of the synthetic agent, and their behavior such as swimming and predation, evolved independently in the aquatic environment, are unraveled in simulation. For this purpose, physical modeling, neuro-evolution and "behavior-composed" are employed. The behavior composed are hierarchical neuro-structure that realize behavior acquisition by evolutionary computation. As a result, their unique movement of the ancient fish behavior different from modern fish behavior are realized in simulation.

研究分野：機械学習

キーワード：人工生命 物理エンジン 人工ニューラルネットワーク(ANN) 遺伝的アルゴリズム(GA) 自律行動 協調行動 機械学習 ビヘイビアコンポーズド(BC)

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

1990年代に現れたBrooks, Sims, Reynolds, Terzopoulos, 等の初期の人工生命研究以後, 人工生命技術はロボティクス, エージェント, アニメーション, あり得る生命(Life as it could be)の分野において大きく進展している. 国外の研究では, Alife 国際会議, ECAL (ヨーロッパ人工生命会議), GECCO (進化計算国際会議), SIGGRAPH (コンピュータグラフィックス国際会議) 等を中心として, より複雑なモデリング, より複雑な行動獲得法の研究, 仮想現実(virtual reality, VR) や拡張現実(augmented reality, AR) への展開が行われている. 国内においても, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス部門の「学習と進化部門」や計測自動制御学会 SI 部門「エージェント・シンセシス・エンジニアリングの設計・応用」では, 毎年, それぞれにおいて, 約 20~40 件の研究成果の発表が活発に行われている分野である.

本研究は, このような活発な研究背景を下に, カンブリア紀の複合・複雑化された古代魚の行動復元の研究を実施する. 行動獲得の研究は, Sims の研究の延長として, Chaumont の Catapults の研究があるが, Brooks の研究を超えるような方法論は, プログラミングベース, あるいは, 規則ベース以外では実現されていない. 特に, 遺伝的アルゴリズム(Genetic Algorithm, GA)と人工ニューラルネットワーク(Artificial Neural Network, ANN)を組み合わせたニューロイボリューションは単一行動の獲得には頻繁に使用されるが, 複合・複雑行動の方法論を規則ベース以外では開発できずにいる. 本研究の位置付けは, ニューロイボリューションの行動獲得の利点を生かしたまま, 複合・複雑化された行動を復元可能にする方法論の開発を実現する点にある. この成果は, 人工生命の新しい行動獲得方法の開発や, 実ロボットの新しい制御方式を与えると共に, 古代魚の生体に新たな知見を与えることができる.

2. 研究の目的

申請者は, 現在ニューロイボリューションと物理モデリングに基づいた人工生命の単一行動獲得を仮想空間内で実施している. このニューロイボリューションをカンブリア紀の古代魚に適用して得られた単一行動をプリミティブ行動として様々な行動を獲得し, 更に, それらのニューラルネットワークの上位にスイッチングニューラルネットワークを設定し, ニューロイボリューションを再度適用する方法を着想した. 申請者は, このような複合・複雑行動をビヘイビアコンポーズドと名付けて現在その研究を進めている.

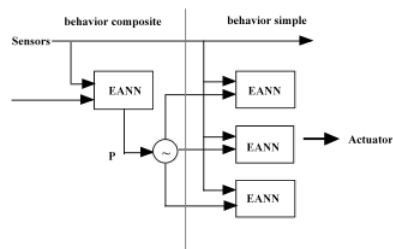


図1 ビヘイビアコンポーズドを実現する ANN

3. 研究の方法

本研究では, 統合型エージェントとしての人工生命の行動獲得の新規な方法論を開発するために以下を明らかにした. ここで, 統合型エージェントとは, 仮想物理環境空間でセンサー, コントローラ, アクチュエータを持ち, 自律的に複合的かつ複雑な行動を実現する人工生命モデルである.

(1) ビヘイビアコンポーズドの概念に基づく陸環境内での自律行動獲得法の有利性を実証

Brooks の包摂アーキテクチャ (SSA) は, 一対のコントローラがセンサー情報により歩く, 徘徊する, 等の単一行動を実現し, それを並列化したものである. ここでは, 単一行動には当初から行動を想定したプログラムが用意され, また, 行動を切り替えるスイッチ機能もプログラムでなされている. これに対し, ビヘイビアコンポーズドは単一行動およびこれらを組み合わせた複合行動もニューロイボリューションによる自律行動獲得の概念であり, 本研究では実験により陸環境内における人工生命の有利性を検証した.

(2) ビヘイビアコンポーズドの概念に基づく水環境内での自律行動獲得法の有利性を実証

ビヘイビアコンポーズドの自律行動獲得の概念に基づいて, 水環境内における人工生命の有利性を実験により検証する. 水中の環境モデルには, 古川等が用いた格子ボルツマン法も利用できるので, 流れの生じた水中での古代魚の行動復元も実証した.

(3) ビヘイビアコンポーズドを実現する階層型ニューラルネットワークによる自律行動の実現

ビヘイビアコンポーズドを実現する階層型ニューラルネットワークは図1に示すように実現

される。ここで各 EANN は、独自にプリミティブ行動をニューロイボリューションで学習済みニューラルネットワーク(ANN)であり、上位の EANN はビヘイビアコンポーザドを実現するスイッチング ANN である。このような構成により、複合的な安定化制御と自律行動が実現可能であることを検証する。また、ビヘイビアコンポーザドは深層学習(deep learning)とも類似した構造をもっていると考えられる。

図 2 と図 3 は、これ迄に行った単一タスク単一行動の獲得実験の例である。図 2 は、アメーバが群れとなって前方の目的地の光源へ向かう自律行動を示し、図 3 は犬モデルが次々に変更される目的地に追従する自律歩行の軌跡を示している。これらは、単一行動に対する EANN の有効性を示している。本研究では、例えば、単に遊泳という一つの行動獲得を行うのではなく、遊泳であっても身体の泳動、推進力を利用した単なる慣性による前進、ヒレによる遊泳、等の複数の行動を自身と環境の状況に合わせて選択しながら行動する複雑な行動獲得を目指している。一つ一つの単一のプリミティブな行動をビヘイビアシンプル(BS)と名付ける。

BC は、BS を複雑に組み合わせた複合行動といえる。BC を実現するには、BS を NE で個別に獲得する必要がある。その上で、図 1 に示したスイッチングニューロンを NE で学習・進化させる。スイッチングニューロンは、各 EANN への選択プライオリティを出力するように学習が行われる。

このような学習法は計算時間が増大すると考えられがちであるが、最近の実験では、BS の行動獲得が不完全な学習でも、BC が実現可能なことが分かりかけており、逆に、BC の構成を行った方が、単一行動獲得を行うよりも早く学習が終えることも判明してきた。これはローカルミニマム(評価関数の極小値)の組合せでも行動獲得ができる新しい成果でもある。

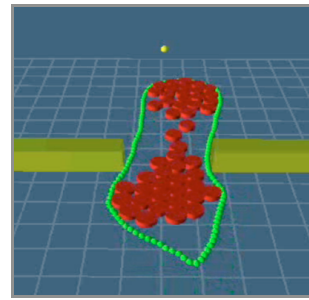


図 2 アメーバの群の自律行動

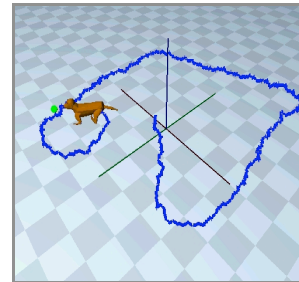


図 3 犬モデルの自律歩行の軌跡

4. 研究成果

図 4 から図 6 は、カンブリア紀の古代魚である。図 4 は、カンブリア紀を代表するアノマロカリスであり、体長が最大で 1 メートルに成長する大きな古代魚である。この体は、胴体の両側に突きでた泳ぐための多数のヒレ、頭から突き出た左右の眼、獲物を捕らえるための二本の腕をもっている。図 5 は、体長が 5 ミリ~3 センチでカンブリア紀の奇妙きてれつ古代魚である。この体は、細長いソーセージのような胴体、胴体から下側に細長い足が 7 対、上側に外的から身を守ると多数のトゲが生えている。図 6 は、体長が数センチで鼻緒のつれた草履のような古代魚である。この体は、節構造になっていて扁平な体の下前方にハート形の口があり、ヒゲが取り囲んでいる。

カンブリア紀の古代魚は、これらの生物のように、現在の生物とはまったく異なる形態をもつため、その行動は推測の域をでない。しかしながら、地球上の環境と生命体を物理モデリングすることにより、人工生命技術でこれらの行動を復元できる可能性がある。

ビヘイビアコンポーザドを実現する階層型ニューラルネットワークによる自律行動の獲得には、図 4 のアノマロカリスと図 5 のハルキゲニアの古代魚を採用する。具体的には、図 4 の古代魚アノマロカリスに物理エンジンを用いてモデリングし、格子状の陸上と上空左上の目的地(赤線)を設定したシミュレーション環境である。このアノマロカリスは、陸上に設定した初期位置から飛翔し、ビヘイビアコンポーザド(BC)による複合行動を行いながら上空の目的地に到達する行動を図 7 に示している。ここで、(a)左旋回行動、(b)上昇行動、(c)直進行動 (d)目的地到達行動である。



図 4 アノマロカリス

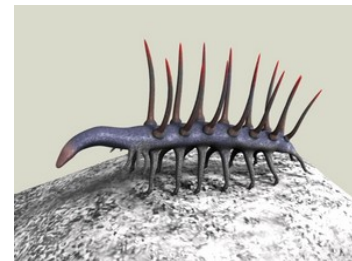


図 5 ハルキゲニア



図 6 オドントグリフス

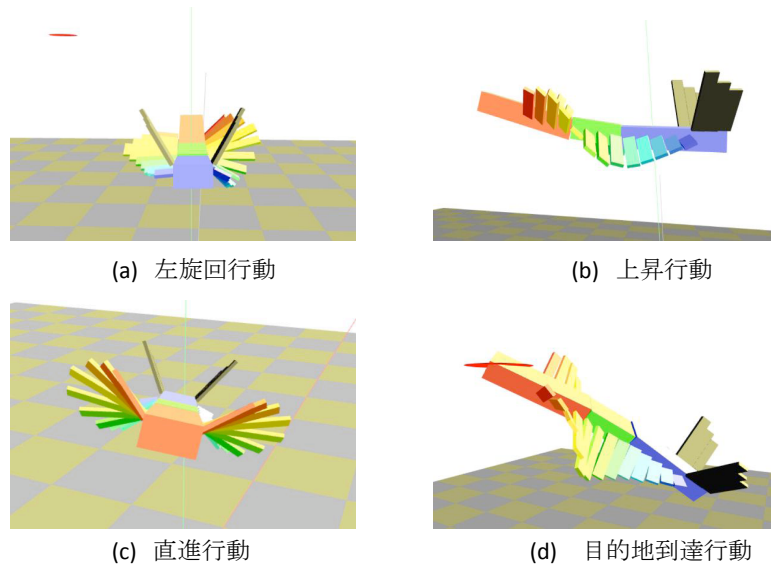


図7 ビヘイビアコンポーゾド(BC)によるアノマノカリスの行動獲得

図8は、カンブリア紀の奇妙きてれつ古代魚のハルキゲニアの7対による歩行行動を示している。シミュレーション環境は、図7と同様に格子状の陸上と目的地(青丸)を設定し、(e)7対による歩行行動と(f)目的地到達行動を示している。このハルキゲニアは、陸上に設定した初期位置から歩行し、ビヘイビアコンポーゾド(BC)による複合行動を行いながら陸上の目的地に到達する行動を示している。

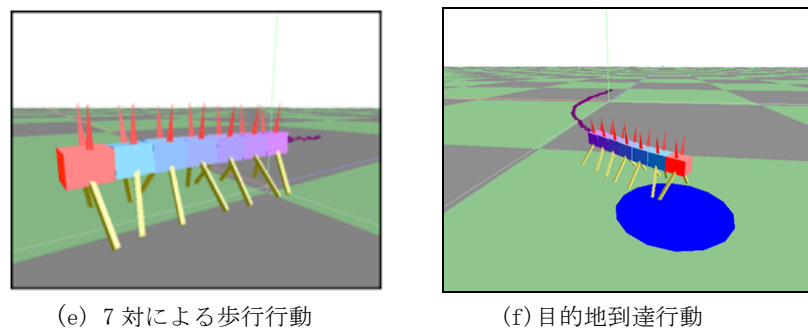


図8 ビヘイビアコンポーゾド(BC)によるハルキゲニアの行動獲得

古代魚の運動行動に関する研究は殆ど見つけることができず、教養番組に見られるようなアニメーションは、なんら物理的な根拠のない現存する生物の行動を模倣しているのが現状である。この運動行動の方法論として、申請者は複合・複雑行動を獲得できるビヘイビアコンポーゾドと呼ぶEANNを組み合わせた新しい行動獲得法を提案し、カンブリア紀の古代魚の運動行動の獲得法の有効性をシミュレーション実験により検証した。更に、古代魚の形態は現存する魚類とは異なる形態のため、本研究から新しいロボットの形態及び運動行動様式が得られる可能性を確信することができたことが大きな成果である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Abhijeet Ravankar, Ankit Ravankar, Yohei Hoshino, Michiko Watanabe, Yukinori Kobayashi	4. 巻 25
2. 論文標題 Safe mobile robot navigation in human-centered environments using a heat map-based path planner	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics, Springer	6. 最初と最後の頁 1-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/s10015-020-00591-w	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Abhijeet Ravankar, Ankit A. Ravankar, Michiko Watanabe, Yohei Hoshino, Arpit Rawankar	4. 巻 10,5
2. 論文標題 Development of a Low-Cost Semantic Monitoring System for Vineyards Using Autonomous Robots	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 MDPI, Agriculture	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/agriculture10050182	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Abhijeet Ravankar, Ankit A. Ravankar, Michiko Watanabe, Yohei Hoshino, Arpit Rawankar	4. 巻 26
2. 論文標題 Multi-robot path planning for smart access of distributed charging points in map	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Artificial Life and Robotics	6. 最初と最後の頁 52-60
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/2Fs10015-020-00612-8	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 富田健斗, 渡辺美知子, 鈴木育男, 岩館健司, 古川正志
2. 発表標題 室内環境における誘導ロボットの自律行動の獲得
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 岩館健司, 鈴木育男, 渡辺美知子, 古川正志
2. 発表標題 Spiking Neural Networkの自己組織化学習に関する基礎研究-神経節細胞による静的・動的情報の統一処理モデルの提案-
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 工藤章久, 渡辺美知子ラワンカルアビジート, 鈴木育男, 岩館健司, 古川正志
2. 発表標題 カンブリア紀のオパビニアの遊泳行動の獲得
3. 学会等名 2019年度精密工学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 渡辺裕貴, 渡辺美知子, ラワンカルアビジート, 鈴木育男, 岩館健司, 古川正志
2. 発表標題 追従型搬送ロボットの自律行動の獲得
3. 学会等名 2019年度精密工学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 菊光美樹男, 渡辺美知子, ラワンカルアビジート, 鈴木育男, 岩館健司, 古川正志
2. 発表標題 進化学習による二輪車両型ロボットの自律走行の獲得
3. 学会等名 精密工学会秋季大会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中山裕貴, 渡辺美知子, 鈴木育男, 岩館健司, 古川正志
2. 発表標題 カンブリア紀のハルキゲニア生物の行動再現に関する研究
3. 学会等名 2018年度精密工学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 菊光美樹男, 渡辺美知子, 鈴木育男, 岩館健司, 古川正志
2. 発表標題 多輪車両による災害探索ロボットの自律的な行動獲得
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 倉本航佑, 渡辺美知子, 鈴木育男, 岩館健司, 古川正志
2. 発表標題 任意環境における無人搬送車(AGV)の協調行動の獲得
3. 学会等名 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講演論文集(SI2018)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小野木香苗, 渡辺美知子, 鈴木育男, 岩館健司
2. 発表標題 マルチコプターの自律飛翔行動の獲得
3. 学会等名 情報処理北海道シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 望月翔太, 渡辺美知子, 鈴木育男, 岩館健司, 古川正志
2. 発表標題 自律型無人潜水機の自律行動の獲得
3. 学会等名 2018年度精密工学会北海道支部学術講演会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 富田健斗, 渡辺美知子, 鈴木育男, 岩館健司, 古川正志
2. 発表標題 室内環境における案内ロボットの自律走行の獲得
3. 学会等名 情報処理北海道シンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 相澤太郎, 岩館健司, 鈴木育男, 渡辺美知子
2. 発表標題 再帰型ニューラルネットワークを用いた音声からの感度推定
3. 学会等名 第20回複雑系マイクロシンポジウム(CSMS2021)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小澤承可, 岩館健司, 鈴木育男, 渡辺美知子
2. 発表標題 自動追い越し動作の自動化に関する基礎研究
3. 学会等名 第20回複雑系マイクロシンポジウム(CSMS2021)
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------