

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 5 月 14 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2010 ～ 2011

課題番号：22650044

研究課題名（和文） 拡張した人工生命を研究するための革新的な実験システムの開発と実験

研究課題名（英文） Development and Experiment of a Revolutionary Experimental System for a study of Extended Artificial Life systems

研究代表者 池上高志（IKEGAMI TAKASHI）

東京大学・大学院情報学環・教授

研究者番号：10211715

研究成果の概要（和文）：人工生命の応用技術は、日常生活の人の経験を拡大することを目的とする。すなわちそれは新しいアフォーダンスのためのデザイン技術でもある。環境は人々にどうやって相互作用するかを要請するものであり、これをアフォーダンスという。なにか新しい経験をした時には、それとどう相互作用し知覚したか、ということで記憶する。最近の神経科学の研究では、デフォルトモードネットワーク(DMN)という考えが明らかになった、がこれは脳システムのベースラインの活動状態に対応する。人工生命の自律性というものも、この DMN という観点で理解されるべきで、これがベースラインの活動を自律的に作り出し、外部からの入力に備え、人との相互作用を可能とする。したがって、人工生命の技術への応用は、適切な DMN を作ってアフォーダンスを構築し、それを応用技術のデザイン原理とすることにある。本研究では、Mind Time Machine “MTM”と呼ぶ、マシンを構成し、1日10時間休みなく動いて、環境から15台のカメラで視覚情報を受け取り、それを記憶し、システムの時間を自己組織化する。システム内部では、カオスをつくれる神経回路網が装填され、メタダイナミクスとして、ビデオフィードバックがつくられる。このシステムをハードウェアとして用い、DMNを概念装置として用いることで、MTMの自律的な振る舞いを調べる。本課題ではMTMを試験台として、人工生命応用技術のデザイン原理を提案するものである。

研究成果の概要（英文）：Artificial Life technology aims to help people expand their experiences in everyday life; that is, it is a design for new affordances. The environment offers people ways to interact with it, which we call affordances. When we experience something new, we remember it by the way we perceive and interact with it. Recent studies in neuroscience have revealed the idea of a default mode network, which is a baseline activity of a brain system. The autonomy of artificial life must be understood as a sort of default mode that self-organizes its baseline activity, preparing for the external inputs and interacting with humans. We thus propose a method for creating a suitable default mode as a design principle for living technology. We built a machine called the “MTM,” the Mind Time Machine, which runs continuously for ten hours per day and receives visual data from its environment using 15 video cameras. The MTM receives and edits the video inputs while it self-organizes the momentary *now*. Its base program is a neural network that includes chaotic dynamics inside the system and a meta-network that consists of video feedback systems. Using this system as the hardware and a “default mode network” as a conceptual framework, we would like to describe the system’s autonomous behavior. Using the MTM as a testing ground, we propose a design principle for living technology as an application of artificial life studies.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	2,500,000	0	2,500,000
2011年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,000,000	150,000	3,150,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学／感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：主観的時間、カオスニューラルネット、ビデオフィードバック、アート、自律性、人工生命

1. 研究開始当初の背景

このプロジェクトの狙いは、実際の生命現象を超える「概念的に大きな人工生命」を構築することにある。これまでの人工生命の研究は個性を仮定し、その個体の示す、自己複製、進化、自律運動といった生命の特徴を、コンピュータのシミュレーションやロボット研究を用いて探求してきた。その結果進化アルゴリズムや、進化と複製の相補性などが明らかになってきた。一方システムバイオロジーでは、一分子の振る舞いから生命現象をとらえることが盛んになっている。本プロジェクトは、人工生命の分野で培われたアイデアと技術を発展させて、コンピュータから現実世界に移植することで、今までになかった生命の新しい概念をつくりだす新しい実験システムを提案するものである。生命を素朴に物質的境界を持つ個体というイメージから、空間・時間的に広がりをもった場としての人工生命体を作り出す。具体的には、立体聴覚空間また立体視覚空間を用いて不可視な境界をデザインし、自律性をもった信号のネットワークを構成する。生命の本質は自律的な時間の生成にあり、それに基づいてシステムを構築ことが、ここでのメインな発想である。その結果、従来のユビキタス系のセンサールームが人間のためのシステムの構築であり、人に対して迎合的なものに対し、本提案は自律的なシステムとなる。

2. 研究の目的

これまで仮想世界に構築されてきた人工生命を、現実の世界に構築するための新しい技

術の開発を行い、実際の生命を概念的に超える、大きな人工生命現象を構成することを目的とする。このために、非線形科学から始まった複雑系の科学の思想と技術を基盤とし、新しい人工生命研究のための実験システム系のプロトタイプをデザインする。

具体的には、空間的に広がった視覚的および聴覚的な情報の流れの場を自己組織化することで、物質的な個体の境界ではなく、時間としての個体の境界を構成する。特に挑戦的な点は、このシステムを用いてサイエンスとアートのぎりぎりの境界をねらい、説明的ではなく体験できる生命の新しいシステムの構築を目指す。このシステムはプロトタイプであるが、将来的にスケールアップすることで、新しい生命の研究の視点と生命の概念を社会に伝えることを目的とする。

3. 研究の方法

客観的時間に対して、主観的時間を構成するメカニズムそのものを、生命システムと位置づける。具体的には、15個のCCDビデオカメラを合わせて、視点/立体的な位置で使って映像をひとつのPCに取り込む。その際に、CCDカメラのレーテンシーとフレームレートを相互に調整しながら画像情報を自律的に組み合わせ、空間全体を写しこむ視覚システムを構築する。

図にあるように、3つのスクリーンがちょうど立方体の一部を作るように組立、スケルトンの立方体の支柱部分にCCDカメラを、とりつけ、スクリーンの映像をとりこむようにレンズを向けて設定し、ビデオフィードバックが生じるようにする。

これだけでは、ただのデジタル画像の複合受信システムであるが、統合の仕方について最近の脳の知覚システムの研究から、逆行性遡及(**Backward Referral**: 時間さかのぼって知覚を構成する)のアイデアを用い、ある時間幅で主観的な「今」を構成し、その時間幅の中ではフレームの時間順序を入れ替え可能とする。4つの時間的な編集(スリットスキャン、フレームの重ねあわせ、逆向き投影、フィードバック)を用いて画像を変形し、それを競合させて、そのうちの一つをフレームとして投影する。投影されるスクリーンのうち、天井のものはこれまでに他の2面の画像イメージを記憶して再度写しているものだ。

これらの映像の制御は、カオス神経回路システムを用いる。ネットワークは2層からなり、最初の層のネットワークのウェイトを編集映像を足しあわせてつくり、ホップフィールド型の記憶を行う。1層から2層への結合はヘップ規則で変化させる。

リアルタイムで15個のビデオ入力を制御するために、アドサイエンス社のボード(PICOLO V16 H.264)を用い、それを1層目の神経回路網に、2次元画像イメージとして入力した。

システムの時間を自己組織的につくり出すこのシステムを**Mind Time Machine (MTM)**と呼ぶことにする。以下がその全景である。



4. 研究成果

MTM を山口の芸術情報センター(YCAM)のホワイエに置かせてもらい、3ヶ月近くに渡って、その振る舞いを観察した。その結果、

- 1) MTM は、元気のない日と元気のある日がある。これは内部の神経回路網の状態の再帰写像パターンを毎日記録し、そのパターンから判断した。そこで、気象庁のデータと比べてみると、天気の良い悪さと関係していることが判明した。
- 2) MTM は、毎日その時間発展が異なる。そ

のヴァリエーションを記録した。朝はゆっくり変化し、途中で何度か神経結合ウェイトの分散が大きくなったり小さくなったりする。

- 3) MTM は3つのスクリーンに対応した3つの神経システムモジュールを持つが、このモジュールはそれぞれ固有の状態更新スケジュールを持つ。この更新頻度は神経細胞のひとつの状態決められており、ネットワークがどのようなダイナミクスに組織化されるかで、決定される。これは当初の考えであった、システム固有の時間発展(バルクソンの時間発展に対応するもの)と期待される。

このように、長い時間をかけて外界とつねに相互作用しながらつねに自分のダイナミクスを組織化し、時間を組織化して動くシステムこそが、システムの自律性そのものであり、一般的な意味でのデフォルトモードネットワーク(DMN)となる。

われわれは、システムの時間生成のモデルを、具体的に作り得たことや、人も含めた環境の変化によってシステムのダイナミクスが変化するさまが、具体的に観察できたこと、それを可能にするシステムが構築できたことが、成果と考えている。これは今後の人工生命の応用としての技術と結びついていくだろう。またミュージアムへの展示により、当初の目的であったサイエンスとアートのはざまを狙い、広く社会にここでの新しい考えを還元するという目的は達成できたと考えている。

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6件)

- ① Ryoko Uno, Davide Marocco, Stefano Nolfi, Takashi Ikegami: Emergence of Proto-sentences in Artificial Communicating Systems. IEEE Autonomous Mental Development. 3(2): 146-153, 2011.
- ② Takashi Ikegami: Studying a self-sustainable system by making a mind time machine. ACM Digital Library. 2010.
- ③ Keisuke Suzuki and Takashi Ikegami: Adaptability and Homeostasis in the Game of Life interacting with the evolved Cellular Automata. J. Natural Computing Research. 1(3): 40-50, 2010.
- ④ Kohei Nakajima and Takashi Ikegami: Dynamical Systems

Interpretation of Reversal of Subjective Temporal Order Due to Arm Crossing. Adaptive Behavior. 18(3-4): 189-210, 2010.

- ⑤ Eric Silverman and Takashi Ikegami: Robustness in Artificial Life. Int. J. Bio-Inspired Computing. 197-203. Vol. 2, No. 3, 2010.
- ⑥ Martin M. Hanczyc and Takashi Ikegami: Chemical Basis for Minimal Cognition. Artificial Life. 16(3): 233-243, 2010.

[学会発表] (計 12 件)

- ① Ryoko Uno, Keisuke Suzuki and Takashi Ikegami: An interactive wall game as an evolution of proto language. Advances in Artificial Life: Proc. of ECAL11. MIT Press, 813-819, 2011.
- ② Ryoko Uno, Keisuke Suzuki, Takashi Ikegami: Exploring the texture of communication: The transparency of consciousness that links grammar and lexicon. ASSC. Handbook, 109, 2011.
- ③ Eiko Matsuda, Julien Hubert and Takashi Ikegami: A Robotic Approach to Understand the Role of Vicarious Trial-and-Error in a T-Maze Task, Proc. of ECAL 514-521, 2011.
- ④ Yuki Sato, Hiroyuki Iizuka and Takashi Ikegami: An Experimental and Computational Approach to the Dynamic Body Boundary Problem, Proc. of ECAL 721-728, 2011.
- ⑤ Eiko Matsuda, Julien Hubert and Takashi Ikegami: Examining the Role of Vicarious Trial-and-Error in a Robotic Experiment, ASSC 79, 2011.
- ⑥ Tom Froese, Keisuke Suzuki, Sohei Wakisaka, Yuta Ogai, and Takashi Ikegami: From Artificial Life to Artificial Embodiment: Using human-computer interfaces to investigate the embodied mind 'as-it-could-be' from the first-person perspective. In: Kazakov, D. & Tsoulas, G. (eds.), Proceedings of AISB'11: Computing & Philosophy. York, UK: Society for the Study of Artificial Intelligence and the Simulation of Behavior, 43-50, 2011.
- ⑦ Eiko Matsuda, Julien Hubert, Takashi Ikegami: The Role of Vicarious Trial-And-Error in a T-Maze Task Proceedings of

Morphological Computation 2011 2011.

- ⑧ Yuki Sato, Hiroyuki Iizuka and Takashi Ikegami: An Experimental and Computational Approach to the Dynamic Body Boundary Problem. Proc. of ECAL 2011. 721-728, 2011.
- ⑨ Takashi Ikegami, Mizuki Oka and Horitake Abe: Autonomy of the Internet: complexity of flow dynamics in a packet switching network, ECAL, 364-371, 2011.
- ⑩ Mizuki Oka and Takashi Ikegami: The Web as a New Framework for Understanding the Mind, ASSC, 2011
- ⑪ Keisuke Suzuki, Ryoko Uno, Takashi Ikegami: Language as autopoiesis: Experimental approach to agency in linguistic communication. Artificial Life XII: Proceedings of the 12th International Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systems. MIT Press, 860-861, 2010.
- ⑫ Takashi Ikegami and Yuta Ogai: Self-organization of Subjective Time and Sustainable Autonomy in Mind Time Machine. Artificial Life XII : Proceedings of the Twelfth International Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systems. 624-625, 2010.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 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 0 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
<http://sacral.c.u-tokyo.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池上 高志 (IKEGAMI TAKASHI)
東京大学・大学院情報学環・教授
研究者番号：10211715

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号：

(3) 連携研究者

なし ()

研究者番号：