

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 31 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21300093

研究課題名（和文） 二重視点モデル：潜在性の数理的表現

研究課題名（英文） Double-perspective model: mathematical expression for virtuality

研究代表者

郡司 幸夫（GUNJI YUKIO）

神戸大学・理学研究科・教授

研究者番号：40192570

研究成果の概要（和文）：

実現領域と潜在領域を有する生命システムは、二重の視点を持ちながら一元論でも二元論でも表せない個が社会性を帯びたシステムである。このようなシステムを、概念的に整備すると共に、相互予期を担い非同期で起動する広義のスウォームモデルで実装した。二重視点モデルが、現実の粘菌やミナミコメツキガニの群れ、ヤドカリの身体イメージ変質の理解に、極めて有効であることが示された。またその意味がラフ集合によって解析可能となることも示された。

研究成果の概要（英文）：

Living system featuring actualized and virtual domain cannot be described as a model based on neither monism nor dualism, and it has to be described as double-perspective model. We here elaborated conceptual model of double-perspective model, and implemented it by a swarm model in which each agent can mutually anticipate with each other and is updated asynchronously. We showed that double-perspective model contribute to understand the behavior of slime mold, soldier crab, modification of body image of hermit crab. In addition, we showed that characteristic behavior of a double perspective system can be analyzed by a rough set lattice.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	5,000,000	1,500,000	6,500,000
2010年度	4,200,000	1,260,000	5,460,000
2011年度	4,700,000	1,410,000	6,110,000
総計	13,900,000	4,170,000	18,070,000

研究分野：理論生命科学

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：群れ、真性粘菌、束、ラフ集合、ネットワーク、共創

1. 研究開始当初の背景

交付申請時の「研究の目的」であったミクロとマクロの二重視点モデルの深化と推進は、粘菌の原形質を、運動する粒子と見るモデルとして構想し、運動する粒子の部分

性と、粒子が連続して成す全体性との二重性を基礎として構想された。

そのモデルの発展と実装こそが中心課題であり、振動現象や、真性粘菌の探索行動に二重視点モデルの有効性を見出し、また、

二重視点の有効性を身体性知覚現象にも展開すること、ラフセットを用いた束をその解析方法として進めること、などが研究実施計画にあげられていた。

2. 研究の目的

極めて複雑で構成単位が内部構造を有していると考えられるシステム、生命システムなどでは、実現される振る舞い・パターン領域と、実現されずに潜在している領域とが分離されるとか考えられてきた。最も簡単な解釈は、前者を可能性、後者を実現値として確率変数を導入し、確率分布関数によるモデルを構想することである。さらに決定論的振る舞いが顕著な場合は、決定項と揺動項を結合した力学モデルを与えることが通常構想される。これらの方法は、顕在領域と潜在領域を一元論的に理解するか、二元論的に理解するかといういずれにせよ極論を示すもので、現実の複雑システムや生命システムにとって、或る種の極限でると考えられる。生命システムは、顕在領域と潜在領域がゆるく結びついた、いわば1.5元論的システムであり、それを満足するには、個の運動と外部との関係を分断せず、何らかの社会性によって接続する必要があるだろう。本研究の目的は、この広義の社会性を、システム構成要素の非同期な時間、幅のある現在などによって形式化することであり、そのような広義の社会性を様々な生物現象に明確に見出し、1.5元的モデルの意味を深化させる点にある。

3. 研究の方法

(1) 本研究の第一の方法は、真性粘菌の探索行動について、実験とモデルによるシミュレーション結果を比較検討することである。粘菌を寒天培地に培養し、進展するネットワークパターンの時間発展を、表面積、閉包面積、ループ数などで評価した。またエージェントが非同期的に接続を壊さないよう運動する、広義のスウォームモデルによって、粘菌のモデルを構築し、粘菌と同じ設定でシミュレートし、その形態変化を解析した。

(2) 粘菌モデルの本質が予期するスウォームモデルとして構想できることから、研究の題材を西表島の干潟に生息するミナミコメツキガニにも見出し、そのための二重視点モデルの構築がすすめられた。ここでは8台のビデオカメラを並列的に配置し、高解像度でカニの動画を撮影し、その挙動を解析すると共に、2種類のモデルを構築し、実際の挙動と比較した。

(3) 実際のカニの運動から過去の他個体の運動を考慮して予期しているか否かに関して解析した。

4. 研究成果

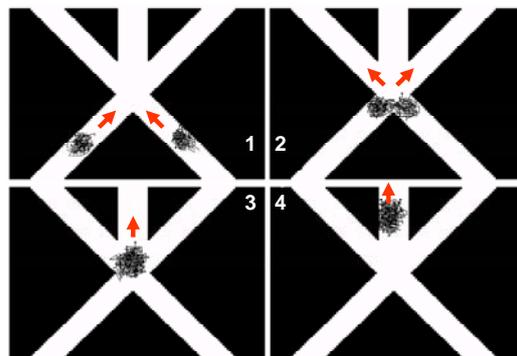
(1) 真性粘菌の探索行動パターンおよび、真性粘菌による両義図形の計算に関する研究。粘菌の探索行動について、実験とモデルを対比した。また両義図形に対する空間分割パターンを後述(4)のラフ集合から誘導される束によって解析し、粘菌モデルのシミュレーション結果と人間の知覚を比較した。その結果、人間の両義図形知覚、ならびに粘菌モデルによる両義図形知覚パターンが、共に分配束で特徴付けられるという結果が得られた。

(2) ミナミコメツキガニの群れ行動に関する研究。西表島の干潟に生息するミナミコメツキガニは、多いときで数万〜数十万個体からなる群れを形成する。この群れにおいて、相隣距離の群れの大きさに対して常に同じ比率で認められるというスケールフリー相関を示す結果が得られ、相互予期を実装した我々のモデルで説明できるほか、密度効果による忌避領域への侵入なども説明可能となることがわかった。

(3) ミナミコメツキガニの群れを用いた論理ゲートの構築

ミナミコメツキガニの群れを互いに予期しあうスウォームモデルによって実装したとき、きわめてゆらぎに頑健な、内部構造を有した衝突計算の論理ゲートが得られることが予想された。これはシミュレーションの後、現実のミナミコメツキガニで実装され、AND、NOT、ORなどの論理ゲートが実装可能であると確かめられた。この結果は、国際誌Complexityで公表されたが、公表の直後からこの結果は、海外の多数のメディアから取材を受けた。

下図は、論理ゲートシミュレーション結果。



<http://www.wired.com/wiredenterprise/2012/04/soldier-crabs/>
<http://www.gizmag.com/crab-computer-kobe/2145/>

(4) ラフ集合を用いた文脈や物語論析の研究
位相空間で定義される内点集合や閉包は、近傍系から誘導される。近傍系を、二項関係から誘導される同値類に置き換えるとき、内点集合や閉包は一般化され、集合を近似する演算操作となる。ここでは複数の異なる二項関係を用意することで、多様な近似のベースを用い、多義的な解釈のもとで頑健な構造を抜き出す操作を提案し、これを用いて小説の展開における図地関係の変化を解析した。

(5) ネットワークの代数構造による解析
ネットワークの科学は、様々な分野に応用されるが、局所的構造の総和や分布に関して評価するだけで、一個の全体としての構造を評価する解析方法は見当たらない。ここでは、有向グラフとしてしてのネットワークにおいて、ソース、ターゲットに関する同値関係を定義し、そこから誘導される演算の合成に関する不動点で、束を構成し、ネットワークの一個の船体としての構造が、いかになるものか代数的に評価する方法を考案した。この方法を現実の文献引用のネットワークに適用するとき、分配性のような束の性格が、ネットワーク次数のべき分布に関係していることが認められた。

(6) オカヤドカリのボディーイメージに関する研究
ヤドカリの身体イメージが殻の交換によって一瞬のうちに変化するだろう傾向を推察するため、オカヤドカリの背負う巻貝の殻にプラスチックのプレートを接着し、それによって歩行パターンがどのように変化するかを調べた。特に交互に現れる曲がり角の曲がり方を解析することで、プレートが附着したことによって身体が延長されたことを自覚し、歩行パターンが変化するという結果が認められた。この結果は *Biology Letters* 誌に公表され、オーストラリア放送局 (ABC) などの海外メディアからの取材を多数受けた。
<http://www.abc.net.au/science/articles/2012/02/29/3442564.htm>

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 31 件)

① 論文名 : An adaptive and robust biological network based on the vacant-particle transportation model.
著者名 : Yo-P Gunji, T Shirakawa, T Niizato, M Yamachiyo and I Tani
掲載誌 : Journal of theoretical Biology 272, 187-200, 2011

② 論文名 : Embodied swarming based on back

propagation through time shows water-crossing, hour glass and logic-gate behavior.

著者名 : Y-P Gunji, H Murakami, T Niizato, A Adamatzky, Y Nishiyama, K Enomoto, M Toda, T Moriyama, T Matsui and K Iizuka
掲載誌 : Advances in Artificial Life (Lenaerts, T. et al. eds.) pp.294-301, 2011

③ 論文名 : 頑健な兵隊ガニの群れをもたらす内的ゆらぎ

著者名 : 郡司ペギオ幸夫, 村上久, 新里高行, 榎本洗一郎, 戸田真志, 西山雄大, 森山徹, 松井哲也, 飯塚浩二郎
掲載誌 : Viva Origino 39, 25-29, 2011.

④ 論文名 : An Embodied swarm in co-creation.

著者名 : Y-P Gunji, H Murakami, T Niizato, A Adamatzky, Y Nishiyama, K Enomoto, M Toda, T Moriyama, T Matsui and K Iizuka
掲載誌 : Proceeding of SICE, 2587-2589, 2011

⑤ 論文名 : An associative learning experiment using the plasmodium of *Physarum polycephalum*.

著者名 : T Shirakawa, Y-P Gunji and Y Miyake
掲載誌 : Nano Communication Network 2, 99-105, 2011

⑥ 論文名 : An adaptive and robust biological network based on the vacant-particle transportation model.

著者名 : Y-P Gunji, T Shirakawa, T N M Yamachiyo and I Tani
掲載誌 : Journal of theoretical Biology 272, 187-200, 2011

⑦ 論文名 : Embodied swarming based on back propagation through time shows water-crossing, hour glass and logic-gate behavior.

著者名 : Y-P Gunji, H Murakami, T Niizato, A Adamatzky, Y Nishiyama, K Enomoto, M Toda, T Moriyama, T Matsui and K Iizuka
掲載誌 : Advances in Artificial Life (Lenaerts, T. et al. eds.) pp.294-301, 2011

⑧ 論文名 : 頑健な兵隊ガニの群れをもたらす内的ゆらぎ

著者名 : 郡司ペギオ幸夫, 村上久, 新里高行,

榎本洗一郎, 戸田真志, 西山雄大, 森山徹,
松井哲也, 飯塚浩二郎
掲載誌: Viva Origino 39, 25-29, 2011.

⑨論文名: An Embodied swarm in co-creation.
著者名: Y-P Gunji, H Murakami, T Niizato,
A Adamatzky, Y Nishiyama, K Enomoto, M Toda,
T Moriyama, T Matsui and K Iizuka
掲載誌: Proceeding of SICE, 2587-2589.
2011

⑩論文名: An associative learning
experiment using the plasmodium of
Physarum polycepharum.
著者名: T Shirakawa, Y-P Gunji, and Y
Miyake
掲載誌: Nano Communication Network 2,
99-105, 2011

⑪論文名: Robust soldier crab ball gate
著者名: Y-P Gunji, Y Nishiyama and A
Adamatzky
掲載誌: Complex Systems 20, 94-104, 2011.

⑫論文名: Symmetrizing object and meta
levels organizes thinking.
著者名: T Takahashi and Y-P Gunji,
掲載誌: BioSystems 107, 95-105, 2011.

⑬論文名: A model of a scale-free
proportion based on mutual anticipation
著者名: H Murakami, T Niizato, and Y-P
Gunji,
掲載誌: International Journal of
Artificial Life Research, 3(1), 34-44,
2012

⑭論文名: Robust swarm model based on
mutual anticipation: swarm as a mobile
network analyzed by rough set lattice.
著者名: Y-P Gunji, H Murakami, T Niizato,
Y Nishiyama, T Tomaru, A Adamatzky
掲載雑誌: International Journal of
Artificial Life Research, 3(1), 45-58,
2012

⑮論文名: Hermit crabs perceive the extent
of their virtual bodies.
著者名: K Sonoda, A Asakura, M Minoura, RW.
Elwood, Y-P Gunji
掲載誌: Biology Letters. doi:
10.1098/rsbl.2012.0085

⑯論文名: Passively active - actively
passive: Mutual anticipation in a
communicative swarm.

著者名: Y-P Gunji, H Murakami, T Niizato,
K Sonoda, and A Adamatzky
掲載誌: Lecture Notes in Mathematical
Sciences, in "Integral Biomathics:
Tracing the Road to Reality (eds. Plamen
L. Simeonov, Leslie S. Smith, Andree C.
Ehresmann), Springer, Verlag, 169-180.

⑰論文名: Applying weak equivalence of
categories between partial map and pointed
set against changing the condition of
2-arms bandit problem
著者名: T Niizato. Y-P Gunji
掲載誌: Complexity, 14, 10-21, 2011

⑱論文名: Metric-Topological Interaction
Model of Collective Behavior
著者名: T Niizato. Y-P Gunji,
掲載誌: Ecological Modelling, 222,
3041-2049, 2011

⑲論文名: Self-similar boundary in an
embodied swarm
著者名: Y-P Gunji, H Murakami, T Niizato
and A Adamatzky
掲載誌: Proceedings of 2nd International
Conference Morphological Computation,
33-36, 2011

⑳論文名: Using Criticality in Flocking
Model
著者名: T Niizato. Y-P Gunji
掲載紙: Proceedings of 2nd International
Conference Morphological Computation,
36-38, 2011

21. 論文名: Keeping and Using Criticality
in Flocking Model
著者名: T Niizato. Y-P Gunji,
掲載誌: International Journal
of Computing Anticipatory Systems, In
Press.

22. 論文名: Fluctuation-Driven Flocking
Movement in Three Dimensions and
Scale-Free Correlation
著者名: T Niizato. Y-P Gunji,
掲載誌: PLoS ONE Vol. 7, No.
5, e35615, doi:10.1371/journal.pone.0035
615

23. 論文名 : Sociality of an agent during morphogenetic canalization: asynchronous updating with potential resonance
著者名 : Y-P Gunji, Ryo Ono
掲載誌 : BioSystems, In Press

24. 論文名 : ラフ集合から誘導される束を用いた日常系四コマ漫画作品の図地関係変化解析
著者名 : 松井哲也、北村有人、郡司幸夫
掲載誌, 巻, ページ : マンガ研究、18、2012

25. 論文名 : Double Approximation and Complete Lattices
著者名 : T Haruna, Y-P Gunji
掲載誌 : In P. Wen et al. (Eds.) Rough Sets and Knowledge Technology, 4th International Conference, RSKT 2009, Gold Coast, Australia, July 2009, Proceedings, pp. 52-59, 2009

26. 論文名 : Investigating the Gap between Discrete and Continuous Models of Chemically Reacting Systems
著者名 : T Haruna
掲載誌 : Journal of Computer Chemistry, Japan 9, 135-142, 2010

27. 論文名 : An Application of Category Theory to the Study of Complex Networks
著者名 : T Haruna
掲載誌 : International Journal of Computing Anticipatory Systems 23, 146-157, 2010.

28. 論文名 : Global Structure of Directed Networks Emerging from a Category Theoretical Formulation of the Idea "Objects as Processes, Interactions as Interfaces"
著者名 : T Haruna
掲載誌 : In T. Lenaerts et al. (Eds.) Advances in Artificial Life, ECAL 2011, Proceedings of the Eleventh European Conference on the Synthesis and Simulation of Living Systems, pp. 310-317, 2011

29. 論文名 : Double Approximation and Complete Lattices
著者名 : T Haruna, Y-P Gunji
掲載誌 : Fundamenta Informaticae 111, 1-14, 2011

30. 論文名 : Permutation Complexity via Duality between Values and Orderings
著者名 : T Haruna, K Nakajima

掲載誌 : Physica D 240, 1370-1377, 2011.

31. 論文名 : Self-organized perturbations enhance class IV behavior and 1/f power spectrum in elementary cellular automata
著者名 : K Nakajima, T Haruna
掲載誌 : BioSystems 105, 216-224, 2011.

[学会発表] (計 13 件)

①発表者 : 郡司ペギオ幸夫

学会名 : 2nd International Conference Morphological Computation

開催日・開催場所 : 2011.9.12-14/ヴェネチア

講演題目 : Self-similar boundary in an embodied swarm (口頭)

②発表者 : 郡司ペギオ幸夫

学術集会名 : 第 23 回 SICE-SI 共創システム部会研究会および第 6 回内部観測研究会 (6th WIM)

開催日・開催場所 : 2011.3.17-18/神戸大学百年記念会館

題目 : 内部観測の深化

主な発表者 : SICE-SI 共創システム部会メンバー, 灘研究連絡会メンバー

③発表者 : 郡司ペギオ幸夫 (招待講演)

学会名 : SICE-SI 共創システム部会

開催日・開催場所 : 2011.4.29/早稲田大学

講演題目 : 集団の身体性

④発表者 : 郡司ペギオ幸夫 (招待講演)

学会名 : 灘研究連絡会

開催日・開催場所 : 2011.6.29/東京電機大学

講演題目 : 非対称性を飼いならす

⑤発表者 : 郡司ペギオ幸夫 (招待講演)

学会名 : Interdisciplinary Symposium on Complex Systems

開催日・開催場所 : 2011.9.18-23/テッサロニキ・ギリ

リシヤ

講演題目：Robust Swarm Based on Mutual Anticipation Featuring Robust Ball Gate

⑥発表者：郡司ヘギオ幸夫 (招待講演)

学会名：SICE-SI 共創システム部会

開催日・開催場所：2011. 10. 21/東京工業大学

講演題目：相互予期と共創のいま・ここ

⑦発表者：郡司ヘギオ幸夫 (招待講演)

学会名：The 15th International Symposium on Intelligent and Evolutionary Systems

開催日・開催場所：2011. 12. 8-9/防衛大学

講演題目：Robust Swarm Model Based on Mutual Anticipation: Swarm as a mobile network analyzed by rough set lattice

⑧発表者：郡司ヘギオ幸夫 (招待講演)

学会名：日本生態学会

開催日・開催場所：2011. 3. 17-18/龍谷大学・京都

講演題目：大量絶滅のいかにして可能か

⑨発表者：郡司ヘギオ幸夫 (招待講演)

学会名：国立民族博物館・シンポジウム「ミュージアムと共創

開催日・開催場所：2011. 3. 19-20/早稲田大学

講演題目：無意味な単位が生成され、システムが生まれる

⑩発表者：春名太一 (招待講演)

学会名：第 35 回生命の起原および進化学会
学術講演会

開催日・開催場所：2010. 3. 15/公立ほこだて未来大学

講演題目：機能から構造へ：複雑系と化学進化の模擬実験

⑪発表者：Taichi Haruna

学会名：The Twelfth International Conference on the Simulation and Synthesis of Living Systems

開催日・開催場所：2010. 8. 20/ University of Southern

Denmark, Odense, Denmark

講演題目：A Theoretical Study on Molecular Discreteness(oral presentation)

⑫発表者：Taichi Haruna (invited talk)

学会名：International Workshop “Emerging Topics in Nonlinear Science”

開催日・開催場所：2010. 9. 15/ Schloss Goldrain, Italy

講演題目：Interaction as Interface: Category Theory Applied to Complex Networks

⑬発表者：Taichi Haruna (invited talk)

学会名：Adventures of Categories: RIMS Workshop Edition

開催日・開催場所：2011. 6. 2/RIMS, Kyoto University

講演題目：Objects as Processes, Interactions as Interfaces: Analysis of Biological Networks from Category Theoretical Point of View

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

郡司 幸夫 (GUNJI YUKIO)

神戸大学・大学院理学研究科・教授

研究者番号：40192570

(2) 研究分担者

春名 太一 (HARUNA TAICHI)

神戸大学・大学院理学研究科・助教

研究者番号：20518659