

平成 29 年 8 月 25 日現在

機関番号：32689

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12054

研究課題名(和文)ファシリテーションとしての環境に生きる生物の認知様式

研究課題名(英文)Cognitive system of organisms living in the environments as facilitation

研究代表者

郡司 幸夫(Gunji, Yukio)

早稲田大学・理工学術院・教授

研究者番号：40192570

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,600,000円

研究成果の概要(和文)：ミナミコメツキガニの群行動に関しては、非同期予期モデルによってその行動がよく説明できることが示されたが、このモデルは、逆ベイズ推定・ベイズ推定によって実装可能であることが示され、その定式化に成功した。またミナミコメツキガニやアリが、逆ベイズ推定・ベイズ推定を通して群行動の意思決定をしていることが明らかとなった。ベイズと逆ベイズ推定の各々は、条件が与えられた中での高効率計算、条件の変化に抗する頑健な計算に寄与するため、このような対が、生物計算にとって本質的であることが明らかとなったと言える。

研究成果の概要(英文)：Behaviors in swarms of soldier crabs could be explained by the model equipped with asynchronous updating and anticipation. It is shown that such a model could be replaced by an agent model of which each agent makes a decision based on Bayesian and inverse Bayesian inference. We formalized general form of a pair of inference consisting of Bayesian and inverse Bayesian inference. The model could also be found in the behavior of soldier crabs and ants. Since Bayesian and inverse Bayesian inference could contribute to highly efficient and robust computation respectively, it is found that such a pair is an essential property of living systems which could adapt to dynamically changing environments.

研究分野：理論生命科学

キーワード：ファシリテーション 意思決定 生物計算 群

### 1. 研究開始当初の背景

生物学では、環境は生物を淘汰し、適応的に導くものである。この意味で、環境は能動的、生物は受動的といった区別が厳格に行われ、両者間の相互作用を緩和するものは、揺らぎしか認められなかった。しかし能動・受動の区別はそこまで厳格ではなく、受動的能動、能動的受動といった様々な階層が出現することこそ、現実の関係を表している。この受動・能動区別の不定さを、どのように解釈し、生命の持つ、高効率と頑健性の両義性を理解するかが、生物学と自然計算の境界領域で求められていた。

### 2. 研究の目的

生物は、環境を**大域的かつ受動的なエージェント (= ファシリテーション)**と知覚するとき、**環境の不完全性を補充**するべく自ら能動的に活動し、結果的に、臨界的な振る舞いをするようになる。ここでは、ファシリテーションとしての環境を群中での他個体に見出し、群の解析を通して、ファシリテーションとしての環境との相互作用が、どのように群の実現する計算の、高効率と頑健性に関与するか、解明した。

### 3. 研究の方法

既存の単純な受動・能動の区別を、大域的受動・局所的能動に置き換え、各々、周囲他個体の有する大域的頻度分布の需要と、局所的主観的計算による意思決定によって構想し、さらに各々、逆ベイズ推定・ベイズ推定によって実装した。また、両者間の相互作用を、非同期予期モデルなどでも実装した。こうしてミナミコメツキガニの群行動、アリの行動などを解析し、高効率と頑健性との関係を調べた。

### 4. 研究成果

ミナミコメツキガニの群行動に関しては、非同期予期モデルによってその行動がよく説明できることが示されたが、このモデルは、逆ベイズ推定・ベイズ推定によって実装可能であることが示され、その定式化に成功した。またミナミコメツキガニが、逆ベイズ推定・ベイズ推定を通して群行動の意思決定をしていることが明らかとなった。さらに同様の、効率的意思決定(ベイズに対応)と仮説の変更(逆ベイズに対応)を実装したモデルは、アリの行動など、広く生物の意思決定を説明できることが明らかとなった。ベイズと逆ベイズ推定の各々は、条件が与えられた中での高効率計算、条件の変化に抗する頑健な計算に寄与するため、このような対が、生物計算にとって本質的であることが明らかになったと言える。

### 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28件)

#### 2016

1. Murakami, H., Niizato, T., Gunji, YP. 2017. Emergence of a coherent and cohesive swarm based on mutual anticipation. Scientific Reports 7:46447(査読有).
2. Gunji YP, Shinohara S, Haruna T, Basios V. 2017. Inverse Bayesian inference as a key of consciousness featuring a macroscopic quantum logic structure. BioSystems 152, 44-63(査読有).
3. Sakiyama T, Gunji YP. 2017. Modulation effect with global ambiguity in 2-dimensional random walk. International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems. 32(2): 159-165(査読有).
4. Minoura, M., Sonoda, K., Sakiyama, T., and Gunji YP., 2016, Rotating panoramic view: interaction between visual and olfactory cues in ants. Royal society open science, 3, 150426, DOI: 10.1098/rsos.150426(査読有).
5. Tomaru, T., Murakami, H., Niizato, T., Nishiyama, Y., Sonoda, K., Moriyama, T., and Yukio-Gunji, YP., 2016, Information transfer in a swarm of soldier crabs, Artif Life Robotics, 21(2), 177-180(査読有).
6. Sonoda, K., Murakami H., Niizato, T., Gunji, YP., 2016. Field of safe travel in swarm. Artificial Life and Robotics. 21(4), 379-383(査読有).
7. Sakiyama, T., Gunji, YP., 2016, Lévy-like movements in Japanese carpenter ants: Experimental and theoretical approaches, Ecological Complexity 26, 21-28(査読有).
8. Sakiyama, T., Gunji, YP., 2016, The Kanizsa Triangle Illusion in Foraging Ants. BioSystems 142, 9-14(査読有).
9. Sakiyama, T., Gunji, YP., 2016, Moderated Pattern Formations on Trail-Laying Foraging, Proceedings of the First International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics (SWARM2015), accepted (Kyoto, Japan) (査読有).
10. Gunji, YP., Sonoda, K., Basios, V., 2016, Quantum cognition based on an ambiguous representation derived from a rough set

- approximation. *Biosystems*, 141, 55-66(査読有).
11. Sakiyama, T., Gunji, YP., 2016, Emergent weak home-range behavior without spatial memory. *Royal society open science*, 3, 150426, DOI: 10.1098/rsos.160214 (査読有).
  12. Sasai, K., Gunji, YP. & Kinoshita, T., 2016, Extremely localized interaction in a market model. *Artif Life Robotics*, 21, 1-5. doi:10.1007/s10015-016-0334-1(査読有).
  13. Moriyama T., Mashiko, J., Matsui, T., Enomoto, K., Matsui, T., Iizuka, K., Toda, M., Gunji, YP. 2016. Visual image of enighbors to elicit wandering behavior in the soldier crab. *Artificial life and Robotics* 21(3): 247-252(査読有).
  14. Sakiyama T, Gunji YP. 2016. Directional ambiguity in trail-laying algorithms. *Ecological Modeling* 340, 37-44(査読有).
- 2015**
15. Yamachiyo M, Aamatzy A and Gunji YP (2015) *Physarum* plasmodium perceives ambiguous stimulus as either attractant or repellent, *AIP Conf. Proc.* **1648**, 580013 (2015); <http://dx.doi.org/10.1063/1.4912821>(査読有).
  16. Mutoh A and Gunji YP (2015) Synchronization in asynchronous automata evaluated by local active information strage. *AIP Conf. Proc.* **1648**, 580013 doi.org/10.1063/1.4912822 (査読有)
  17. Nakamura, T and Gunji YP (2015) Crossmodal audio-visual effects in motion prediction. *Proceedings of the twentieth international symposium on artificial life and robotics* , pp. 840-843(査読有).
  18. Murakami H, Tomaru T, Niizato T, Nishiyama Y, Moriyama T and Gunji YP (2015) “Collective behavior of soldier crab swarm in both ring- and round-shaped arenas” *Proceeding of The Twentieth International Symposium on Artificial Life and Robotics*. pp. 831-835(査読有).
  19. Nishiyama, Y., Tatsumi, S., Nomura, S., Gunji, YP. (2015). My hand is not my own! Experimental elicitation of body disownership. *Psychology & Neuroscience*, Vol 8(4), Dec 2015, 425-434. <http://dx.doi.org/10.1037/pne0000031>(査読有)
  20. Sakiyama, T and Gunji YP (2015) Modulation effect with global ambiguity in 2-dimensional random walk, *International Journal of Parallel, Emergent and Distributed Systems*, DOI:10.1080/17445760.2015.1016518 (査読有)
  21. Niizato, T. and Gunji YP (2015) Ongoing Processes in a Fitness Network Model under Restricted Resources, *PLos One*, 10(5), e0127284, doi: 10.1371/journal.pone.0127284(査読有).
  22. Murakami H, Niizato T, Tomaru T, Nishiyama Y, Gunji YP (2015) Inherent noise appears as a Lavy walk in fish schools. *Scientific Report* 5,10605, doi:10.1038/srep10605(査読有)
  23. Sakiyama, T., Gunji, YP., 2015, Weber-Fechner relation and Lévy-like Searching Stemmed from Ambiguous Experiences, *Physica A*, 438, 161–168(査読有).
  24. Sakiyama, T., Gunji, YP., 2015, Modulation effect with global ambiguity in 2-dimensional random walk, *Int J.Par. Emer.Dist. Sys.* published online, DOI: 10.1080/ 17445760. 2015.1016518 (査読有).
  25. Murakami, H., Niizato, T., Tomaru, T., Nishiyama, Y., Gunji, YP., 2015, Inherent noise appears as a Lévy walk in fish schools, *Scientific Reports*, vol. 5, pp. 10605(査読有).
  26. Murakami, H., Niizato, T., Tomaru, T., Nishiyama, Y., Moriyama, T., Gunji, YP., 2015, Collective behavior of soldier crab swarm in both ring- and round-shaped arenas, *Artificial Life and Robotics*, 20, 315-319(査読有).
  27. Murakami, H., Niizato, T., Tomaru, T., Nishiyama, Y., Gunji, YP., 2015, Schooling fish change internal movement strategy due to their density, *Proceedings of SWARM 2015*(査読有).
  28. Gunji, YP., Tomaru, T., Murakami, H., Niizato, T., 2015, Pursuit and escape mechanism in the swarm of soldier crabs. *Proceedings of SWARM 2015*(査読有).

[学会発表](計36件)

**2016 14件(招待講演5件)**

1. Yukio-Pegio Gunji, Qualia lattice derived by inverse Bayesian inference. The Science of Consciousness (International conference)2016年4月25日～30日, Loews Ventana Canyon Resort, Tucson, Arizona, USA 他13件

## 2015 22件(招待講演4件)

2. 郡司ペギオ幸夫, 2016年2月27日-28日, 講演題目: 時間の空間化・全体の部分化, 第10回内部観測研究会・計測自動制御学会, 於・東北大学・電気通信研究所、仙台
3. Hisashi Murakami, Takenori Tomaru, Takayuki Niizato, Yuta Nishiyama, Kohei Sonoda, Toru Moriyama, Yukio-Pegio Gunji "Collective behavior of soldier crab swarm in both ring- and round-shaped arenas", The Twentieth International Symposium on Artificial Life and Robotics, B-Con PLAZA, Beppu, January 21-23, 2016
4. 郡司ペギオ幸夫・都丸武宜・村上久・新里高行, 2015年12月14日-16日, 第16回計測自動制御学会・共創部会, 講演題目: ミナミコメツキガニの群れに認められる逆ベイズ推論, 於・名古屋国際会議場、名古屋
5. 村上久, 新里高行, 都丸武宜, 西山雄大, 郡司ペギオ幸夫, "内的ゆらぎの群れ内情報伝達への貢献", SI2015, 名古屋国際会議場, 12月14-16日
6. 郡司ペギオ幸夫, 2015年12月10-13日 ベルグソン国際会議・招待講演 講演題目: Connection and disconnection of perception and memory; De ja vu, Inverse Bayes Inference. 於・京都大学、京都
7. 郡司ペギオ幸夫, 2015年11月21日, ポジティブ心理学研究会・招待講演, 講演題目: 世界に対して亀裂をいれる者, 於・青山学院大学、東京
8. 村上久, 新里高行, 都丸武宜, 西山雄大, 郡司ペギオ幸夫, 群れ内部における個体の臨臨界的振る舞い, 日本動物行動学会 第34回大会, 2015年11月20-22日, 東京海洋大学
9. 崎山朋子, 郡司幸夫, "環境と作用する個体の創発的レヴィ運動: 確率の変容が与える影響について", 日本動物行動学会第34回大会, 東京海洋大学, 東京, 2015年11月20-22日, ポスター
10. 村上久, 都丸武宜, 郡司ペギオ幸夫, 群れの凝集・離散過程における臨臨界的振る舞い. システム・情報部門学術講演会 2015 (SSI 2015)2015年11月18日(水)~20日(金)函館アリーナ
11. 崎山朋子, 郡司幸夫, "局所大域の食い違いに言及するエージェントの行動圏モデル", SSI2015, 函館アリーナ, 北海道, 2015年11月18-20日, ポスター
12. Gunji YP, Tomaru T, Murakami H and Niizato T, 2015年10月28日-30日. Swarm Intelligence International Conference, Title: Pursuit and escape mechanism in the swarm of soldier crabs. In Kyoto University, Kyoto
13. Tomoko Sakiyama, Yukio-Pegio Gunji, "Moderated Pattern Formations on Trail-Laying Foraging", SWARM2015, Kyoto, Japan, 28-30, Oct, 2015, oral
14. Hisashi Murakami, Takayuki Niizato, Takenori Tomaru, Yuta Nishiyama, Yukio-Pegio Gunji, Schooling fish change internal movement strategy due to their density. SWARM 2015: The First International Symposium on Swarm Behavior and Bio-Inspired Robotics, Kyoto University, October 28-30.
15. 郡司ペギオ幸夫, 2015年10月27日-28日, 講演題目: 群れにおける内部予期. CBI学会・分子ロボティクス分科会・招待講演於: タワーホール船堀、東京
16. 崎山朋子, 郡司幸夫, "秩序の蟻道形成の持つゆらぎ", 第31回個体群生態学会大会、滋賀県立大学、滋賀、2015年10月10-12日、ポスター
17. 崎山朋子, 郡司幸夫, "The Relationship between local and social information on trail laying foraging", 第25回日本数理生物学会年会および第5回日中韓数理生物学コロキウムの合同大会、同志社大学、京都、2015年8月26-29日、ポスター

18. Tomoko Sakiyama, Yukio-Pegio Gunji, "Deviated Trail-Laying Behavior Stemmed from Directional Interaction", Behaviour 2015, Cairns, Australia, 9-14, Aug, 2015, poster
19. 郡司ベギオ幸夫, 京都大学基礎物理学研究所研究会招待講演, 2015年8月6日 - 7日講演題目: 切り閉じとしての振る舞い. 於: 京都大学基礎物理学研究所、京都
20. 郡司ベギオ幸夫, 2015年6月13日, 比較思想学会第42回年会招待講演, 講演題目: 生命 = モノとコトの齟齬を反故にする表現体 於: 東洋大学、東京
21. 崎山朋子、郡司幸夫、“蟻道形成フェロモンが孕む不定な方向性”、ロボティクス・メカトロニクス講演会2015、みやこめっせ、京都、2015年5月17-19日、ポスター
22. 郡司ベギオ幸夫, 2015年4月26日, 複雑系研究会主催(早稲田大学西早稲田キャンパス基幹理工学部)および講演, 講演題目: 観測過程を内在した意識モデルに向けて. 於: 早稲田大学西早稲田キャンパス基幹理工学部、東京

〔図書〕(計2件)

郡司ベギオ幸夫(共著), 2016, アナロジーの位相: 利口なハンスの知性はどこにあるか, “科学と文化をつなぐ、アナロジーという思考様式(春日直樹編, 東京大学出版会)” pp.307-328.

郡司ベギオ幸夫(共著), 2016, 知覚と記憶の接続・脱接続: デジャビュ・逆ベイズ推論. “ベルグソン「物質と記憶」を解剖する(平井靖史他編, 書肆心水)” pp311-331.

〔産業財産権〕

○出願状況(計 0 件)

○取得状況(計 0 件)

〔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 早稲田大学・理工学術院 (教授)  
Yukio Gunji Waseda University  
研究者番号: 40192570