

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 31 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25245063

研究課題名(和文) 集合知の認知・生態学的基盤

研究課題名(英文) Cognitive and ecological basis of collective intelligence

研究代表者

亀田 達也 (Kameda, Tatsuya)

東京大学・人文社会系研究科・教授

研究者番号：20214554

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 19,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は、近年、生物学領域と情報科学で大きな注目を集めている社会性昆虫の「群知能」に関する知見を参考にしながら、人間の集合行動における「集合知」の発生可能性について検討した。社会性昆虫であるアリの研究者と連携し、不確実性状況における資源探索行動について、アリのコロニー40程度(1コロニーの個体数は平均200個体くらい)と、ヒト集団40程度(1集団あたり200人くらい)における集合的な情報探索パターンの違いを実験的に検討した。検討の結果、アリ集団に比べて、ヒト集団は頻度依存的な同調バイアスを強く示しやすく、そのことが環境変化に対する可塑性を低くしていることなどが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：This study examined how "collective intelligence" emerges in human groups, by conceptually linking it to "swarm intelligence" by social insects -- the macro phenomenon that has attracted considerable attention in biology and informatics. By collaborating researchers of ants, we experimentally examined information search behavior by 40 colonies of ants (each with about 200 individuals) as well as 40 human groups ((each with about 200 individuals). Results showed that, compared to ant colonies, human groups exhibited greater frequency-dependent conformity bias, which decreased their plasticity in response to changes in adaptive environment.

研究分野：社会心理学、意思決定科学、行動生態学

キーワード：集合知 ヒト集団 アリコロニー 計算論的アルゴリズム 行動実験 インターネット実験 数理モデル 比較

1. 研究開始当初の背景

「個人のもつさまざまな情報をよりよい社会的決定のためにどのように集約できるのか」という問いは、21世紀の科学の直面する重要課題の1つである(*Nature*誌2011年470号: <http://bit.ly/hR3hcS>)。この問いは、心理学・認知科学を含む人間科学領域、経済学をはじめとする社会科学領域、および情報科学や工学領域など、広範囲な学問分野にまたがる「集合知」(collective wisdom)の問題として、大きな注目を集めている (Surowiecki, 2004; Page, 2007)。

集合知とは、「さまざまな個人が分散して持つ情報が、社会的相互作用を通じて集約され、全体として、単独の個人よりも優れた解が生み出されること」と定義される (Krause et al., 2010)。この定義は、たとえば社会心理学の集団意思決定・問題解決研究が中心的に扱ってきた「対面的・直接的な相互作用場面」(Kerr & Tindale, 2004; 亀田, 1997) を超えて、インターネット場面における政治的な意見形成や消費行動、金融市場の動向、クラウドソーシングなどの「間接的な相互作用を含む幅広い社会的場面における集合知の発生」という広義の社会的文脈に置かれている。この意味で今日のインターネット社会における集合知の重要性は益々増大している。集合知の関わる場面をこのように広義に捉えるとき、生物学領域で近年急速に展開している「群知能」(swarm intelligence)に関する研究が、人間社会における集合知の発生条件を考える上で参考になる。ハチやアリなどの社会性昆虫は個体として限定された認知能力しかもたないものの、ローカルな相互作用を通じ、巣の選択や集団での採餌場面で、群れ全体として見事な集合解を出すことが知られている。こうした群知能がどのようなアルゴリズムによって可能となるのかについては、現在、生物学領域で実証的・理論的検討が急速に進みつつある (Sumpter, 2010; Couzin et al., 2011)。しかし、生物学領域での群知能に関する研究知見を、人の集合知をめぐる社会科学的問題と結びつける研究はまだ行われていない。

2. 研究の目的

本研究の目的は、直接的な集団相互作用場面、および、インターネットなどの間接的な集団相互作用場面における人間の集合行動のアルゴリズムと「集合知」の成立条件を、社会性昆虫について生物学が明らかにしてきた認知・行動アルゴリズムを参照しながら、実

証的に検討することにある。

申請者らは最近、資源探索や集団移動場面など、選択肢の良し悪しについて分散(ばらつき)や不確実性が存在する状況における「人間の集団意思決定」と、「社会性昆虫の“集団意思決定”」におけるアルゴリズムの共通点と差異をレビューした [Kameda et al., 2012, “Is consensus-seeking unique to humans? A selective review of animal group decision-making and its implications for (human) social psychology” *Group Processes and Intergroup Relations*]。この比較の結果、ヒトと社会性昆虫は系統樹の上ではきわめて遠い位置関係にあるものの、集団での決定を生み出すアルゴリズムに重要な共通点(社会的な行動頻度への正の同調反応、類似の集団集約規則の存在など)が見られることが明らかになった。このことは、こうしたアルゴリズムが、共通の適応問題を解くために、異なる種の間で平行に進化した可能性を示している。しかし、ここで留意すべき重要なポイントは、社会性昆虫の集合行動とヒトの集合行動の間には、異なる進化的淘汰圧が働いたという点である (Hamilton, 1964)。血縁から成る社会性昆虫の群れにおいては、群れレベルでの淘汰が強く働く以上、個体はあくまでも群れ全体のパフォーマンスを上げるためのパーツに過ぎない。

この意味で、群知能を生み出す社会性昆虫の集合行動は集団全体としての遂行を最適化するように、個体同士の振舞いが互いによく調整(coordinate)できるように進化的に設計されている。同時に、血縁個体同士は、相互に協力(cooperate)するように設計されている。これに対して、非血縁個体から構成される人間の集団においては、個体間の相互調整(coordination)、相互協力(cooperation)のいずれの面からも、集団遂行の効率は保証されていない。こうした進化・生態学的な差異が存在するのにもかかわらず、なぜ、人間と社会性昆虫の集合行動のアルゴリズムに共通性が見られるのか。また、こうした共通の基礎的なアルゴリズムは、人間の集団においてどのような場合に「集合知」を生み出し、どのような場合に「集合愚」を生み出すのか。さらに、人間に特有の「個体としての高度の認知・感情能力」(他者の心や意図の推論、共感などの社会的な知性)は、集合行動をどのように増幅あるいは補正し、社会的な合意形成や問題解決に寄与するのか。

本研究はこれらの問題群を検討する。

3. 研究の方法

こうした問いを検討するために、本研究は、(1)個体としての個人学習方略、(2)他者の行動からの社会的影響の受け方(たとえば他者に同調する強度)、(3)集団におけるメンバーの学習方略の分布と多様性、(4)他個体と利益が競合する程度(フリーライディングの発生の程度)など、集合行動の鍵となるパラメータを組み込んだモデルを構築し、どのような条件の下で集合知が成立するのかについて理論的に検討する(e.g., List et al., 2009; Rendell et al., 2011)。次に、そこから得られる予測を、(1)構造的に全く同一の実験課題(不確実性のある状況での資源探索課題)に対する集団問題解決能力を人間とアリで比較する種間比較実験、(2)インターネットの口コミサイトを模した間接的相互作用場面での大型集団実験(e.g., Salganik et al., 2006; Toyokawa & Kameda, 2012)、などの一連の行動実験により検証する。モデルと実証を往復することで、本研究は、集合知の認知・生態学的な基盤について基礎的な理解を得ると同時に、その社会科学的な含意を明らかにする。

4. 研究成果

本研究からは多様な研究成果が生み出されているが、その中でも特筆すべき成果として、まず、アリの研究者(ムネボソアリを扱うアリゾナ州立大学 Pratt 教授)との国際共同研究を挙げる。この共同研究では、ヒトとアリという、系統樹上は遠いが極めて高い社会性をもつ2つの生物種を取り上げ、2種に共通して重要な適応場面(集団での資源・情報探索)における個体レベルでの行動アルゴリズムを、それぞれの種について、まず理論的にモデル化した。その上で、それぞれ200人程度からなる24個の人間集団(N=約4800)、200個体程度の25個のアリコロニー(N=約5000)を対象に、種間比較による大規模なモデル検証実験を行った。人間集団に関する実験では、インターネット上で200人程度の人々がリアルタイムで相互作用を行うシステムを構築した。この検討から、集団での資源・情報探索に関するヒト・アリの個体レベルの行動アルゴリズムには驚くほど高い共通性が見られるが、行動パラメータの微細な違いが集団レベルのパフォーマンスに大きく影響し、アリのコロニーのほうがヒト集団よりも、不確実状況のもとではむしろ高い「集合知」を生み出す場合があることを理論的・経験的に明らかにした(論文準備中)。

世界初のヒト-アリ比較実験は米国におけ

る複数のクローズド・セミナーで反響を呼び、研究代表者の亀田は、人間社会における集合知の理解に関して、2015年11月のErnst Strüngmann Forum: Evolutionary and economic strategies for benefitting from other agents' investments (Frankfurt: 欧米の生物学者・経済学者を中心とする15名ほどの1週間のクローズドの会議で、アジア人は亀田のみ)に招聘された。また、*International encyclopedia of the social and behavioral sciences* (Elsevier), *Emerging trends in the social and behavioral sciences* (Wiley)などの国際標準の辞典に「集合知」に関する項目の執筆を求められた。

これ以外の代表的な研究例として、「非静止多腕バンディット(restless multi-armed bandit: MAB)課題」と呼ばれる不確実性下の意思決定状況で、2者の相互作用を通じて集合知が生まれる条件を、厳密に検討した実験を挙げる。この実験では、実験参加者の行動を、機械学習分野で用いられる学習アルゴリズムに基づき分析し、他者の行動情報をどのように用いると集合知が生まれやすいのかを経験的に明らかにした。行動データのみならず、視線計測装置(eye-tracker)による注意パターンの変化を時間的に追跡することで、これまで明確に区別されてこなかった個人学習における「探索(exploration)」戦略と、社会学習における「模倣(imitation)」戦略との関係を厳密な私たちで検討することができた(論文投稿中)。

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11件)

以下11件、すべて査読あり

Duttler, K. & Inukai, K. (2016). Implications from biased probability judgments for international disparities in momentum returns. *Journal of Behavioral Finance* (印刷中)

Bryant, G.A., Fessler, D.M., ... Kameda, T., et al. [著者33名中18番目] (2016). Detecting affiliation in co-laughter across 24 societies. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(17):4682-7. DOI:10.1073/pnas.1524993113.

Murata, A., Saito, H., Schug, J., Ogawa, K., & Kameda, T. (2016). Spontaneous facial

mimicry is enhanced by the goal of inferring emotional states: Evidence for moderation of "automatic" mimicry by higher cognitive processes. *PLoS ONE*. DOI:10.1371/journal.pone.0153128

Nakamaru, M. (2016). Evolution of costly explicit memory and cumulative culture. *Journal of Theoretical Biology*. DOI 10.1016/j.jtbi.2016.03.014

Duttle, K. & Inukai, K. (2015). Complexity Aversion: Influences of Cognitive Abilities, Culture and System of Thought, *Economics Bulletin*, 35(2), 846-855. <https://ideas.repec.org/a/ebl/ecbull/eb-15-00065.html>

村田藍子・齋藤美松・樋口さとみ・亀田達也 (2015). ヒト社会における大規模協力の礎としての共感性の役割：向社会的配慮と共感性. *心理学評論*, 58(3), 392-403. DOI なし

Nakamaru, M., Takada, T., Ohtsuki, A., Suzuki, S. U., Miura, K. & Tsuji, K. (2014) Ecological conditions favoring budding in colonial organisms under environmental disturbance. *PLoS ONE* 9(3), e91210. DOI:10.1371/journal.pone.0091210

Nakamaru, M. & Yokoyama, A. The effect of ostracism and optional participation on the evolution of cooperation in the voluntary public goods game. *PLoS ONE* 9(9), e108423. doi:10.1371/journal.pone.0108423

Sekiguchi, T. & Nakamaru, M. (2014) How intergenerational interaction affects attitude-behavior inconsistency. *Journal of Theoretical Biology* 346, 54-66. DOI: 10.1016/j.jtbi.2013.12.022.

Toyokawa, W., Kim, H., & Kameda, T. (2014). Human collective intelligence under dual exploration-exploitation dilemmas. *PLoS ONE* 9(4): e95789. DOI:10.1371/journal.pone.0095789

豊川航 & 亀田達也 (2013). 「ヒトと動物の『集団意思決定』をつなぐ」 *動物心理学研究*, 63(2), 107-122. DOI: 10.2502/janip.63.2.1

[学会発表](計 76 件)

亀田達也 (2015). 実験社会科学の構想：インタラクションの認知科学は社会の科学とリンケージ可能か。招待講演 日本認知科学会 2015 年度冬のシンポジウム

「インタラクションから革新へ」東京大学本郷キャンパス(東京都文京区) 2015 年 12 月 12 日

Kameda, T. (2014). Rawls in our minds: Exploring cognitive foundations of distributive justice. Invited talk, International Workshop "Environmental Economics and Trade" Kyungpook National University, Daegu (Korea), September 27, 2014.

Kameda, T. (2014). Are our minds fundamentally egalitarian? Invited talk, FRONTIERS IN NEUROECONOMICS: HOW SOCIAL AND INDIVIDUAL CONTEXT MATTERS FOR THE BIOLOGICAL MECHANISMS OF BEHAVIOUR University of Heidelberg, Heidelberg (Germany), April 7 - 17, 2014.

Kameda, T. (2014). Rawls in our minds: Exploring cognitive foundations of distributive justice. Invited talk, Cross-Cultural Perspectives on Moral Psychology. Korea University, Seoul (Korea), March 20 - 22, 2014.

[ほか 72 件]

[図書](計 9 件)

Kameda, T., & Hastie, R. (2016). Herd behavior: Its biological, neural, cognitive and social underpinnings. In R. Scott & S. Kosslyn (Eds.), *Emerging trends in the social and behavioral sciences*. Hoboken, NJ: John Wiley and Sons. (印刷中)

Kameda, T., Inukai, K., Wisdom, T., & Toyokawa, W. (2015). Herd behavior: Its psychological and neural underpinnings. In S. Grundmann, F. Moeslein & K. Riesenhuber (Eds.), *Contract governance*. (Pp. 61-71). Oxford, UK: Oxford University Press.

亀田達也 (編著) (2015). "社会の決まり" はどのように決まるか (フロンティア実験社会科学, 第6巻). 勁草書房 (197ページ)

亀田達也・金恵麟 (2015). 集団の生産性とただ乗り問題: 「生産と寄生のジレンマ」からの再考 (亀田達也 (編著)「社会の決まり」はどのように決まるか」フロンティア実験社会科学, 第6巻, 勁草書房).

村田藍子・亀田達也 (2015). 「集団行動と情動」, 渡邊正孝・船橋新太郎 編 『情動と意思決定』 (pp.132-163), 朝倉書店.

Kameda, T., Van Vugt, M., & Tindale, R. S. (2014). Evolutionary group dynamics. In J. D. Wright (Ed.), International Encyclopedia of the Social and Behavioral Sciences (2nd edition). Oxford, UK: Elsevier.

Kameda, T., Van Vugt, M., & Tindale, S. (2014). Groups. In V. Zeigler-Hill, L.L.M. Welling, & T.K. Shackelford (Eds.), Evolutionary perspectives on social psychology. New York: Springer.

亀田達也 (2014). 「分配の正義」の認知的・社会的基盤を探る (山岸俊男・亀田達也 (編著)「社会のなかの共存」岩波講座 コミュニケーションの認知科学, 第4巻, 岩波書店)

山岸俊男・亀田達也 (編著) (2014). 社会のなかの共存 (岩波講座 コミュニケーションの認知科学, 第4巻). 岩波書店(229 ページ).

6. 研究組織

(1)研究代表者

亀田 達也 (KAMEDA, Tatsuya)

東京大学・大学院人文社会系研究科・教授
研究者番号：20214554

(2)研究分担者

中丸 麻由子 (NAKAMARU, Mayuko)

東京工業大学・大学院社会理工学研究科・准教授

研究者番号：70324332

高橋 伸幸 (TAKAHASHI, Nobuyuki)

北海道大学・大学院文学研究科・准教授

研究者番号：80333582

犬飼 佳吾 (INUKAI, Keigo)

大阪大学・社会経済研究所・講師

研究者番号：80706945