

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 7 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2017

課題番号：15K13111

研究課題名(和文) 知の歴史的発展を支える認知的基盤の解明

研究課題名(英文) Exploring cognitive foundations of historical development of science

研究代表者

竹澤 正哲 (Takezawa, Masanori)

北海道大学・文学研究科・准教授

研究者番号：10583742

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：科学や技術という高度な知識体系は、世代から世代へと伝達されながら蓄積され、個人では到達可能なレベルへと漸進的に進化していく。本研究では、認知科学における科学的発見(scientific discovery)や協調的学習(collaborative learning)の研究で用いられてきた課題に着目した。これらは単独個人が正解を見出すことが困難な課題であり、科学者や技術者が現実世界で直面する問題に近い。本研究では、こうした課題を用いた累積的文化進化実験を通して、科学という高度な知の体系が伝達を経て発展していくプロセスを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：Science is a highly organized system of knowledge and information which gradually develops through the processes of cumulative cultural evolution. In this study, we focused on the experimental tasks employed in the studies on scientific discovery and collaborative learning in cognitive science. These tasks mimic the real world problems scientists face in their work, and it is challenging for a single individual to find a correct answer. Using these tasks, we clarified micro-level processes how information and knowledge are transmitted across generations, are transformed within a generation and progressively change to sophisticated levels.

研究分野：社会心理学、文化進化論

キーワード：科学的発見 累積的文化進化 多峰型適応度地形

1. 研究開始当初の背景

人間が持つ文化の最大の特徴は、人間だけが文化を累積的に進化させていくことにある。この現象を説明するために2つのラインで研究が進められてきた。ひとつは数理生物学者による理論研究であり、抽象度の高いモデルが分析されてきた。もうひとつが人間の参加者によって累積的文化進化を再現する実験研究である。実験参加者は様々な課題の解法を試行錯誤で見出し、それを別の参加者に教授する。次の参加者は、試行錯誤によって教授された解法を改善し、それをさらに次の参加者に教授する。こうして、世代から世代へと知識が伝達される過程を実験室内に再現し、技術が漸進的に進化していく条件が探られてきた。単純な技術課題を用いた実験が数多く実施されていたが (e.g., ズグソーパーズル、飛距離の長い紙飛行機の作成)、科学のような高度な体系を対象とした実験はみられなかった。

2. 研究の目的

科学や技術という高度な知識体系は、世代から世代へと伝達されながら蓄積され、個人では到達可能なレベルへと漸進的に進化していく。本研究では、認知科学における科学的発見 (scientific discovery) や協調的学習 (collaborative learning) の研究で用いられてきた課題に着目した。たとえばノーベル生理学・医学賞受賞者 (1965) である Jacob と Monod が発見した遺伝子発現の機序を、パソコン上で参加者が実験を行いながら発見する課題 (Dunber, 1993; Okada & Simon, 1999) などである。これらは単独個人が正解を見出すことが困難な課題であり、科学者や技術者が現実世界で直面する問題に近い。本研究では、こうした課題を用いた累積的文化進化実験を通して、科学という高度な知の体系が伝達を経て発展していくプロセスを明らかにすることにある。

3. 研究の方法

本研究では、世代間伝達パラダイムを用いた実験を実施する。実験課題は2種類であり、第1にすでに紹介した科学的発見課題を用いた実験であり、科学の累積的な進化が実験室内で生起する条件を直接的に検討するものである。この実験パラダイムは、累積的文化進化や言語進化の実験研究でしばしば用いられている。本研究においては、まず1人の参加者が課題を解決し (第1世代)、見出した解法やノウハウを別の参加者に対して教授する (第2世代)。この参加者は同様に課題を解決し、見出した解法を更に次の参加者 (第3世代) に対して教授する。この過程を繰り返すことにより世代間で知識や技術が伝達されながら変容する状況を実験室内に再現した。参加者が自らが見出した知識を次世代の参加者に伝達する際には、レポートを書き残した。このレポートを分析することにより、

参加者の科学的な知識を定量的に評価することが可能となる。

第2に、分子生物学実験を模した科学的知識の発見課題とは異なり、より抽象的な多峰型適応度地形における探索課題を用いた累積的文化進化実験である。この実験では、参加者は4つのパラメータを自由に選択する。そしてそのパラメータの組み合わせによって参加者が得られる利得が変化するが、利得関数が複数のピークを持つスムーズな多峰型適応度地形となっている。参加者は、適応度地形に関する事前知識を持たないまま、自由に繰り返しパラメータを設定し、利得についてフィードバックを得る。これを数十ラウンド繰り返すことで、参加者はより高い利得を得られるように学習が進んでいく。そしてこうして得られた知識を、科学の累積的文化進化実験と同様に、次世代の参加者に伝達することを繰り返す。

科学の累積的文化進化実験と異なり、多峰型適応度地形における探索課題を用いた累積的文化進化実験では、達成すべき目標が利得 (数値) として一次元で表現できるため、定量的に結果を評価しやすい。

本研究では主に、上記2つの課題を用いて様々な異なる条件下で複数の実験を実施した。

4. 研究成果

科学的発見課題を用いた課題は、単独個人では遺伝子発現の機序について正しい理解に至ることが困難であることが知られている。本研究ではまず、各世代の参加者が実験の後に書き残したレポートの内容を複数の評定者によって評定し、その機序についてどれだけ正しい理解が得られたのかを分析した。その結果、世代が進むにつれて全体的に正しく機序を理解していけるようになることが見出された。続いて、レポートの内容から個別の論点を抽出することで、科学的知識の定量化をした。そして様々な論点がそれぞれのレポートの中に含まれている / いらないというデータを作成することで、各レポートをベクトルによって表現した。これにより、レポートとして書き残された科学的知識の類似性を定量的に検討することが可能となる。任意の2つのレポートの類似性をベクトルのユークリッド距離として算出したところ、同一チェーン内において近接した世代間のレポートの距離は類似性が高く、世代間隔が広がるほど類似性が減少することが見出された。これは、前世代の参加者のレポートとして書き残した科学的知識が、そのレポートを読んだ次世代の参加者に影響を与え、レポートの類似性として現れたことを意味する。本実験パラダイムにおいては、各世代の参加者はパソコン上に構築された仮想実験室で自由に実験を行うことができたため、全世代の参加者の書き残したレポートを読んでも、その知識を無視して独自に科学的発見

課題に臨むことが可能である。この実験結果は、インセンティブがない状況においても、他者から教示された科学的知識が一種の伝統として影響することを示唆する。また異なるチェーン間でレポートの類似性を分析したところ、世代が進むに連れて類似性が低下すること、すなわち科学的知識は伝達される中で、多様に進化していくことが見出された。

この実験では、参加者が自由記述したレポートの文章を複数の評定者が読み、ある論点が含まれているか否かを合議で判断した。だがこの方法では、評定者による恣意性が入り込む可能性がある。そこで続いて行った実験では、自由記述のレポートを書いた後に、数十問の2択問題に回答してもらうことで、評定者の主観的判断に依らずして参加者が獲得した知識の定量化、そして知識の類似性を分析できるように改良した。さらに、最初に行った実験においては各世代において1人しか参加者がいなかったが、新しい実験では各世代に1人あるいは3人の参加者がいる条件を設けた。後者の条件では、第2世代以降の参加者は、前世代の3人の参加者が書き残したレポート3編を読んだ上で、コンピュータ上で独自に分子遺伝学実験を行った。

科学的知識の正確さに関しては、3人条件において世代とともに正確な機序の理解が進んでいる傾向が見られた。一方、二択型問題で測定された知識の正確さに関しては、条件にかかわらず世代が進むと共に、問題に対する正答数が増加している傾向が見られた。これは、個別の知識としては、条件にかかわらず正しい知識が蓄積されていくが、1人条件では機序に対する全体的な理解が進まないことを意味する。

現在も分析は進行中であり、各世代において蓄積された個別の情報や知識が、機序に対する理解へと変換されるプロセス、また前世代から得た知識が個人の探索過程に対する影響について分析している。

多峰型適応度地形課題を用いた実験は、2つ実施した。いずれにおいても、各世代が得た知識を次世代に伝達する際の、情報伝達モードが異なる条件を設けた。いずれの実験においても、累積的文化進化によって達成される成績は、単独個人が1世代に相当する時間内で達成されるよりは高いものの、個人が長時間に渡って同じ課題を繰り返した時に達成される成績より低いことが見出された。これらの実験においても、前世代の参加者から得られた情報が、個人の探索過程にどのように影響し、またその結果として累積的な進化を生み出すのか、現在も分析中である。

このように、本研究では複数の実験課題を通して、世代間の情報伝達、個人の探索過程、そして知識の世代を超えた進化の動態について数多くのデータを収集することに成功した。これらのデータは、今後、科学的な知識が文化的に進化していく動態を明らかにするための手がかりを提供することが期待

される。

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3件)

1. Horita, Y., Takezawa, M., Inukai, K., Kita, T., & Masuda, N. (2017). Reinforcement learning accounts for moody conditional cooperation behavior: Experimental results. *Scientific Reports*, 7, 39275. <http://doi.org/10.1038/srep39275>. (査読あり)
2. Horita, Y., Takezawa, M., Kinjo, T., Nakawake, Y., & Masuda, N. (2016). Transient nature of cooperation by pay-it-forward reciprocity. *Scientific Reports*, 6, 19471. <http://doi.org/10.1038/srep19471> (査読あり)
3. Ezaki, T., Horita, Y., Takezawa, M., & Masuda, N. (2016). Reinforcement Learning Explains Conditional Cooperation and Its Moody Cousin. *PLoS Computational Biology*, 12, e1005034. (査読あり)

[学会発表](計27件)

1. Takezawa, M. & Suyama, M. (2018). Cultural evolution of artistic traditions in a laboratory: Entropy and aesthetic preferences, The 18th Conference of European Human Behavior and Evolution Association, 2018/04/08, University of Pécs (Pécs, Hungary)
2. 須山巨基・竹澤正哲 (2017). 美しさの文化進化: 実験室実験を用いた探索的検討, 日本社会心理学会第58回大会, 2017/10/28, 広島大学(広島県西条市)
3. 竹澤正哲・須山巨基 (2017). 科学的知識の累積的進化: 行動実験による検討, 日本数理生物学会大会27回大会, 2017/09/27, 北海道大学(北海道札幌市)
4. Takezawa, M., Horita, Y., Ezaki, T., & Masuda, N. (2017). What governs behavior in a public goods game: Social preferences or reinforcement learning? Cultural Evolution Society Conference, 2017/09/13, Max Planck Institute for the Science of Human History (Jena, Germany)
5. Nakawake, Y. & Takezawa, M. (2017). Informational loss during transmission may

- drive cumulative cultural evolution, Cultural Evolution Society Conference, 2017/09/13, Max Planck Institute for the Science of Human History (Jena, Germany)
6. Takezawa, M. (2017). Cumulative cultural evolution and the multimodal fitness landscape. Symposium: Perspectives on Prehistoric Cultural Evolution: From Archaeology to Behavioral Experiment(招待講演). 2017/08/07. 品川 AP (東京都品川区)
 7. 喜多敏正・竹澤正哲 (2016). 統計的構造に適應した社会的規範の学習方略統計的構造に適應した社会的規範の学習方略—モデルフィッティングの手法を用いて—. 日本人間行動進化学会第9回年次大会, 2016/12/10, 金沢市文化ホール(石川県金沢市)
 8. 土田修平・竹澤正哲 (2016). 金銭罰から象徴罰へ:文化的集団淘汰に依らない罰の進化, 日本人間行動進化学会第9回年次大会, 2016/12/10, 金沢市文化ホール(石川県金沢市)
 9. 堀田結孝・竹澤正哲・金城卓司・中分遥・増田直紀 (2016). 集団における協力の伝染:恩送り型と評判型交換の比較, 日本社会心理学会第57回大会, 2016/09/17, 関西学院大学(兵庫県西宮市)
 10. 竹澤正哲・菊地大星・海野蓉子 (2016). 対応バイアスの合理性:ベイズ推定モデルを用いた実証的検討, 日本社会心理学会第57回大会, 2016/09/17, 関西学院大学(兵庫県西宮市)
 11. 喜多敏正・竹澤正哲 (2016). 「証拠の欠如」と社会的規範の帰納的学習:実験的検討, 日本社会心理学会第57回大会, 2016/09/17, 関西学院大学(兵庫県西宮市)
 12. 土田修平・竹澤正哲 (2016). 物質罰から象徴罰へ:文化的集団淘汰に依らない罰の進化, 日本社会心理学会第57回大会, 2016/09/17, 関西学院大学(兵庫県西宮市)
 13. 中分遥・竹澤正哲 (2016). 選抜されたメンバーによる多数決:コンピュータ・シミュレーションによる概念的検討, 日本社会心理学会第57回大会, 2016/09/17, 関西学院大学(兵庫県西宮市)
 14. 須山巨基・竹澤正哲 (2016). 文化伝達による科学的発見の促進:実験的検討, 日本社会心理学会第57回大会, 2016/09/17, 関西学院大学(兵庫県西宮市)
 15. Horita, Y., Takezawa, M. (2016). Pathogen stress, institutions, and collectivistic / individualistic forms of cooperation. The 23rd Congress of the International Association for Cross-Cultural Psychology, 2016/07/30, ウィンク愛知(愛知県名古屋市)
 16. Takezawa, M. (2016). Cultural Evolution in Laboratory: Understanding the Micro-Foundations of Convergent and Divergent Cultural Evolution, The 23rd Congress of the International Association for Cross-Cultural Psychology, 2016/07/30, ウィンク愛知(愛知県名古屋市)
 17. Tsuchida, S., Yuki, M., Takezawa, M. (2016). Testing the logical validity of the concept of relational mobility through agent-based computer simulations. The 23rd Congress of the International Association for Cross-Cultural Psychology, 2016/07/30, ウィンク愛知(愛知県名古屋市)
 18. Kita, T., Takezawa, M. (2016). Do people learn social rules like children learn grammars? Experimental tests of learning algorithms in the domain of social norms, The 31st International Congress of Psychology, 2016/07/24, パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)
 19. Horita, Y., Takezawa, M., Kinjo, T., Nakawake, Y., Masuda, N. (2016). Transient nature of pay-it-forward reciprocity, The 31st International Congress of Psychology, 2016/07/24, パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)
 20. Takezawa, M. (2016). Thinking the roles of independence and interdependence of the wisdom of crowds, The 31st International Congress of Psychology, 2016/07/24, パシフィコ横浜(神奈川県横浜市)
 21. 土田修平・結城雅樹・竹澤正哲 (2015). エージェント・ベースモデルを用いた関係流動性の概念的検討, 日本社会心理学会第56回大会, 2015/10/31, 東京女子大学(東京都杉並区)
 22. 須山巨基・竹澤正哲 (2015). 行為主体検知と超越的存在の認識:想起法を用いた検討, 日本社会心理学会第56回大会, 2015/10/31, 東京女子大学(東京都杉並区)

23. Takezawa, M., Watanabe, T., Nakawake, Y., Kunimatsu, S., Yamasue, H., Nakamura, M., Miyashita, Y., Masuda, N. (2015). Neural Mechanisms Underlying Indirect Reciprocity: Empathy and Reward Calculation, The 16th International Conference on Social Dilemmas, 2015/06/23, Chinese University of Hong Kong (Hong Kong)
24. Tsuchida, S., Takezawa, M. (2015). Testing logical validity of the concept of relational mobility by agent-based computer simulations, The 16th International Conference on Social Dilemmas, 2015/06/23, Chinese University of Hong Kong (Hong Kong)
25. Horita, Y., Takezawa, M., Kinjo, T., Nakawake, Y., Masuda, N. (2016). Contagion of cooperation in a donation game played on chain networks, International School and Conference on Networks Science, 2016/05/30, K-Hotel Seoul (South Korea)
26. Takezawa, M., Watanabe, T., Nakawake, Y., Kunimatsu, S., Yamasue, H., Nakamura, M., Miyashita, Y., Masuda, N. (2015). Neural Mechanisms Underlying Indirect Reciprocity: Emotion and Reward Calculation, The 27th Annual Meeting of Human Behaviour and Evolution Society, 2015/05/27, University of Missouri (USA)
27. Tsuchida, S., Takezawa, M. (2015). Testing logical validity of the concept of relational mobility by agent-based computer simulations, The 27th Annual Meeting of Human Behaviour and Evolution Society, 2015/05/27, University of Missouri (USA)

〔図書〕(計2件)

1. 竹澤正哲(2016). 第14章進化的アプローチ 北村 英哉・内田 由紀子(編) 社会心理学概論 (pp. 269-289, 全 404 ページ) ナカニシヤ出版
2. 竹澤正哲(監訳)(2017), S.ボウルズ・H.ギンタス(著), 協力する種:制度と心の共進化. (全 453 ページ.) NTT 出版

6. 研究組織

(1)研究代表者

竹澤 正哲 (TAKEZAWA, Masanori)

北海道大学・大学院文学研究科・准教授

研究者番号：10583742