

令和 2 年 5 月 15 日現在

機関番号：26402

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2019

課題番号：16K07524

研究課題名(和文) 学習と資源獲得への時間配分の進化に関する理論・実験研究

研究課題名(英文) Evolution of time allocation to learning and resource acquisition: theoretical and empirical studies

研究代表者

小林 豊 (Kobayashi, Yutaka)

高知工科大学・経済・マネジメント学群・准教授

研究者番号：70517169

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：ヒトの技術や知識は、世代を超えて伝承されるだけでなく、その過程において蓄積的に改良されてゆき、ついには個人の創造力を凌駕する高機能な人工物を生み出す。このような現象はヒト以外の動物には見られない。本研究では、学習と資源獲得への時間配分の進化を数理モデルで記述し、その分析を通して、著しい技術・知識の蓄積を可能にするヒト集団に特有の進化的メカニズムの探索を行った。集団構造、ニッチ構築(技術・知識を用いて環境改変を行うこと)、多対一伝承(1個体が多く個体から学ぶこと)の三つの要素を検討した結果、多対一伝承のみがヒトの高度な技術・知識の蓄積の進化を説明できることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヒトが地球規模での生態学的成功を収めることが出来たのは、文化的に蓄積された技術・知識のためであると考えられている。従って、なぜヒトだけが、進化の過程でそのような性質を獲得し得たのかという問いは、人類の進化理論において最も重要な問題の一つである。本研究の学術的意義は、ヒトにおける高度な技術・知識の蓄積を実現する学習パターンが進化的に獲得される条件を明らかにするだけでなく、その条件が観察と整合性があることを示すことによって、上記の問題の解決に貢献した点である。

研究成果の概要(英文)：Technology and knowledge in humans are transmitted from generation to generation and improved in a cumulative fashion over time, finally producing extremely sophisticated artifacts which are far beyond the creative ability of individuals. In this research, mathematical models of the evolution of time allocation to learning and resource acquisition have been described to specify the evolutionary mechanisms which enable the accumulation of highly sophisticated technology and knowledge in humans. Three factors, i.e. population structure, niche construction (modification of environments using technology and knowledge), and many-to-one transmission (learning from multiple exemplars) have been examined. It has been revealed that, among the three factors, only many-to-one transmission can explain the observed level of technology and knowledge in humans.

研究分野：数理生物学

キーワード：文化・遺伝子共進化 社会学習 個体学習 蓄積的文化進化

1. 研究開始当初の背景

ヒトが地球規模での生態学的成功を収めることが出来たのは、世代を超えて蓄積された高度な技術・知識のためであると考えられている(Richerson and Boyd, 2005)。現存する動物の中で、なぜヒトだけがこのような能力を獲得し得たのだろうか。この問題に取り組むにあたり鍵となる概念は、**個体学習**(試行錯誤や洞察に基づく、他者に依存しない学習の様式)と**社会学習**(模倣や教示に基づく、他者に依存する学習の様式)という二種類の学習様式である。なぜなら、技術・知識は社会学習によって世代から世代へ伝達されながら、個体学習によって改善を重ねることで発展していくからである(Tomasello, 1999)。しかしながら、学習への時間的な投資が過剰になると、資源獲得に割く時間が犠牲になり、結果として個体の繁殖成功率を減少させる可能性がある。つまり、学習と資源獲得の間にはトレードオフがあり、個体の繁殖の観点からは、バランスのとれた時間配分が重要となる。

こうしたトレードオフが技術・知識の蓄積において果たす役割は、先行研究では断片的にしか議論されていない。この状況を打開したのが、「トレードオフのもとでは、高度な技術・知識の蓄積が起き得ない」という逆説的な結論を導いた近年の理論研究である(Wakano and Miura, 2014; Kobayashi et al., 2015)。このパラドックスは、技術や知識といった情報が公共財であることに起因する。個体は、個体学習で新たな情報を生み出すよりも、社会学習によって他者の情報を搾取したほうが、小さな投資で大きなリターンを得ることができる。従って、個体学習への投資は進化の過程で減じられ、それに伴い集団にもたらされる新たな技術・知識は衰退していく。すると、社会学習で他者の情報を搾取することの便益も失われ、個体は専ら資源獲得にのみ投資するように進化する、というのが理論の予測である(Wakano and Miura, 2014; Kobayashi et al., 2015)。恐らくヒト以外の動物では、これが原因で技術・知識の蓄積が妨げられているのだが、なぜヒトのみがこのパラドックスを克服できているのかは分かっていない。

2. 研究の目的

ヒトだけが高度な技術・知識の蓄積を進化させた要因は、ヒトを特徴づける性質の一つもしくは幾つかの組み合わせであるに違いない。そこで、本研究では、過去の理論研究に、ヒト特有の性質を組み込んだ複数の数理モデルを構築し、その分析を通して技術・知識の高度な蓄積を実現する時間配分パターンが進化する条件を特定する。ヒト特有の性質の候補として、本研究では(1)集団のグループ構造、(2)ニッチ構築(技術・知識を用いて生活環境の改変を行うこと)、(3)多対一伝承(多数の個体から社会学習を行うこと)の3要因を検討する。これらの要因は、単にヒトを特徴づけるだけでなく、重要であると考えられる根拠がある。まず、グループ内でのみ社会学習が起きるならば、技術・知識の公共財的な性質が弱まる。なぜなら、ある個体により発明された技術・知識は、高い確率で発明者自身の子孫に伝達され、利用されることで、発明者自身の繁殖成功率を選択的に高めるからである。また、ニッチ構築は、技術・知識といった情報を、耕作地や各種インフラなど、子孫に継承可能な物理的実体に変換する。これらの実体は移動や複製ができないので搾取されにくく、情報に比べて公共財的な性質が弱い。多対一伝承は、情報伝達ネットワークの結合度(つながりの多さ)を高めることで、情報蓄積を促進することが理論的に確認されており、有力な候補である(Kobayashi and Aoki, 2012)。しかしながら、時間配分の進化やトレードオフのもとでは、結合度が高まると技術・知識が漏洩する経路の数も増加するので、公共財問題が助長される可能性がある。最後に、(4)実験室実験を実施し、数理モデルの前提である公共財問題を再現すると共に、理論的な結果の妥当性を可能な限り検証する。

3. 研究の方法

(1) 集団のグループ構造を考慮した数理モデル

本研究で用いる数理モデルは、全て Kobayashi et al. (2015)の数理モデルを基礎とする。このモデルでは、各個体の技術・知識水準は1次元の正変数 Z で与えられる(図1参照)。個体の戦略は、二つの変数からなる。一つは、学習と資源獲得への時間配分比であり、もう一つは、学習ステージ内での社会学習(技術・知識の伝承)と個体学習(発明)への時間配分比である。学習ステージでの Z の成長方程式は数理心理学の学習曲線理論で使われているものを援用する(Estes, 1950)。個体の適応度(繁殖成功率)は、生涯獲得資源量 = (Z の成熟値) × (資源獲得に割り当てた時間) に比例すると仮定する。なお、一個人が個体学習のみで達成できる技術・知識水準の上限値はちょうど1であり、これが技術・知識水準の単位を与える。

本研究では、Kobayashi et al. (2015)のモデルに、集団のグループ構造を導入する。具体的には、集団が n 個の部分集団から成り、それぞれの部分集団は N 個体の成熟個体から成ると仮定する。部分集団間では世代あたりの移住率 m で移住が生じる。社会学習ステージでは、部分集団の内部で成熟個体から次世代の若齢個体に技術・知識が伝承される。包括適応度理論(Hamilton, 1964)を活用し、進化的に安定な(時間配分)戦略(Evolutionarily Stable Strategy = ESS;

Maynard Smith, 1982)を求め、ESSが高度な技術・知識の蓄積を実現する条件を求める。十分に移住率 m が小さければ、公共財問題が緩和され、高度な蓄積が起きると予想される。

(2) ニッチ構築を考慮した数理モデル

本モデルでは、ニッチ構築とグループ構造を同時に組み込む。ニッチ構築には、個体がもつ技術・知識が活用される。農耕やインフラ建設には技術・知識が必要なので、これは妥当な仮定である。部分集団ごとに個別の環境が存在し、環境の質は1次元の正変数で与えられる。各個体は社会学習 → 個体学習 → ニッチ構築 → 資源獲得の4種類の活動に対して時間配分を行う。個体がニッチ構築に時間を投資すると、 Z の成熟値) × (ニッチ構築に割り当てた時間) だけ、その個体が属する環境の質が上昇する。また、個体の繁殖成功度は生涯資源獲得量 = (環境の質) × (資源獲得に割り当てた時間) で与えられる。環境の質は、世代の経過とともに劣化する。そのため、環境の質を一定に保つためには、部分集団のメンバーが毎世代ニッチ構築に一定の投資をしなくてはならない。

(3) 多対一伝承を考慮した数理モデル

Kobayashi et al. (2015)のモデルに多対一伝承を組み込む。各個体は、垂直伝達(親からの社会学習) → 斜行伝達(前世代の親以外の個体からの社会学習) → 個体学習 → 資源獲得の4種類の活動に対して時間配分を行う。上述のグループ構造やニッチ構築のモデルでは、各個体が一人の大人からしか社会学習できない。従って、集団に技術・知識の多様性があっても、個人はそれを活用できない。一方、多対一伝承モデルの斜行伝達においては、個人は集団全体から多様な技術・知識を学ぶことができる。

(4) 仮想矢尻を用いた実験

Mesoudi and O'Brien (2008)は、被験者にコンピュータ上で仮想的な矢尻をデザインさせることで、実験室内で石器製作技術の蓄積的改善を再現した。本研究では、Mesoudi and O'Brienの実験に学習と資源獲得のトレードオフを組み込み、トレードオフの下では公共財問題が生じることを確認するとともに、上記の数理モデルの結果を検証する。

4. 研究成果

(1) 要約

グループ構造の数理モデルとニッチ構築の数理モデルを分析した結果、現実的な条件では技術・知識の高度な蓄積はほとんど起こり得ないことが分かった(Ohtsuki et al., 2017; Kobayashi et al., 2019)。一方で、多対一伝承の数理モデルでは、垂直伝達の効率が非常に高く、斜行伝達の効率が低いとき、高度な蓄積が進化し得る。実際にヒトでは、親と子が緊密な関係を長期間維持するので、子にとって、他の大人と比べると親への接近は極めて容易である。従って、垂直伝達と斜行伝達に同じ時間を投資したとき、前者の方がはるかに効率的に技術・知識を吸収できるであろう。以下では成果をさらに詳細に述べる。

(2) グループ構造とニッチ構築

グループ構造のモデル (Ohtsuki et al., 2017) とニッチ構築のモデル (Kobayashi et al., 2019) の結果には多くの定性的共通点がある。これらのモデルでは、まず調整された最適戦略 (Coordinated Optimal Strategy = COS) を求めた。COSは、集団の全個体が同一の時間配分戦略を採用するという仮定のもとで、集団の繁殖成功度を最大化するような時間配分戦略であり、一種の社会的な最適解である (Kobayashi et al., 2015)。図2(a)は、ニッチ構築モデルにおいて、社会学習の伝達効率(横軸)が増加するとき、COS時間配分において社会学習への投資が増加していくこ

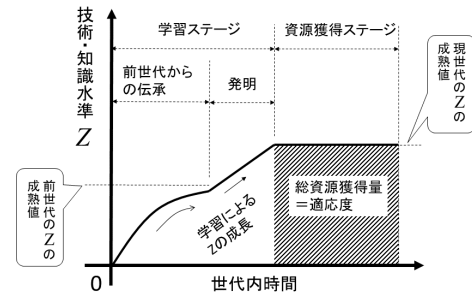


図1: Kobayashi et al. (2015)のモデルにおける個体の技術・知識水準の動態。適応度は、総資源獲得量(網掛け部分の面積)で与えられる。

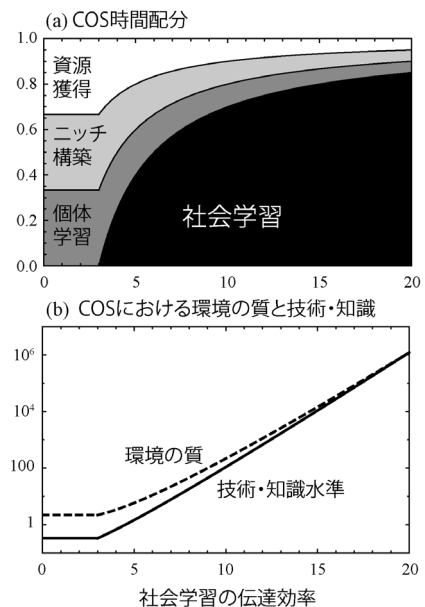


図2: ニッチ構築モデルのCOS

とを示している。このとき図2 (b)より、技術・知識は高度に蓄積し、環境の質も指数的に増加していく（縦軸が対数スケールであることに注意）。この結果より、社会学習の伝達効率が高く、かつ集団が協調すれば、技術・知識が高度に蓄積され、環境の質も非常に高くなる事が分かる。しかしながら、COSは社会的最適解であり、自然選択が好む解（ESS）とは異なるものである。

図3はニッチ構築モデルにおけるESS時間配分を示したものである。最上段の2パネルから分かるように、社会学習の効率が増加しても、社会学習への投資は増加せず、そのため技術・知識の蓄積は起きない（縦軸が線形スケールであることに注意）。これは公共財の問題が働くためである。

また、図3の中段と最下段を見ると、部分集団のサイズが小さいとき、もしくは移住率が小さい時には、社会学習への投資が増加し、技術・知識が多少は蓄積する。しかし、その水準が個人の限界点である1を超えるのは、部分集団や移住率が非現実的に小さな値を取るときだけである。グループ構造のモデルについても、上記とほぼ同じ否定的結果が得られた(Ohtsuki et al., 2017)。

しかしながら、文字の発明などによって伝達効率が急激に変化すると、一時的に技術・知識の水準が飛躍的に高くなることも分かった。とはいえ、これは一過性の変化であり、公共財の問題は解決しないため、長期的には技術・知識が再び衰退する。現実のヒト集団が、このような過渡的な状態にあるという可能性も否定できない(Kobayashi et al., 2019)。

(3) 多対一伝承モデル

まず、準備段階としてトレードオフを仮定しない多対一伝承モデルを分析したところ、教示者の数が増加すると、技術・知識の蓄積が著しく促進されることが明らかになった(Kobayashi et al., 2016; Kobayashi et al., 2018; Kobayashi et al., submitted)。トレードオフも組み込んだモデルにおいては、単型集団（全ての個体が同じ戦略をとっている状態）はESSにならないことが分かった。そこで、収束安定戦略(Convergence Stable Strategy = CSS)を計算により求めた。進化的に安定でないCSSは、進化動態の吸引点（進化はCSSに向かって進む）であるが、集団がCSSに到達した後に、2つ以上の戦略を有する多型状態に進化する（進化的分岐）可能性がある(Geritz et al., 1998)。

分析の結果、4種類のCSSが発見された。図4が示すように、垂直伝達と斜行伝達が共に非効率である場合、社会学習は進化せず、技術・知識の蓄積は一切起こらない（図4左下の「蓄積なし」）。図のその他の領域では社会学習が進化するが、垂直伝達の効率と斜行伝達の効率に応じて、垂直伝達のみの場合、斜行伝達のみの場合、垂直伝達と斜行伝達が共に進化する場合の3通りが存在する。このうち、垂直伝達の効率が大きく、斜行伝達の効率が小さいとき蓄積が生じる。

上の結果は、次のように説明することができる。垂直伝達の効率が大きく、斜行伝達の効率が小さいとき、個体にとって、自身の親からは効率的に学習できる一方、他の大人から学習することが容易でない。従って、個体は斜行伝達への投資を控えるので、技術・知識は選択的に親から子へ伝えられるようになり、公共財の問題が緩和される。すると学習全体への投資が増加するため、技術・知識が蓄積し始める。それに伴い、集団全体での技術・知識の多様性が増加するので、個体は再び斜行伝達にも投資し集団の多様性を活用するように進化する。これがさらなる蓄積を加速するのである。

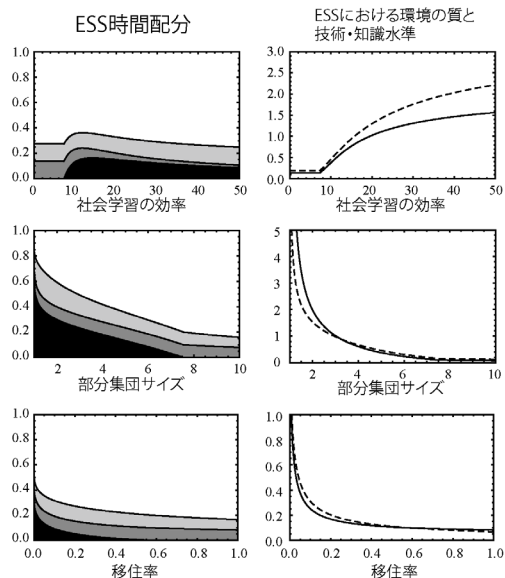


図3: ニッチ構築モデルのESS時間配分(左)とESSにおける環境の質および技術・知識水準(右)。図の色分けや線種の意味は図2と同じである。

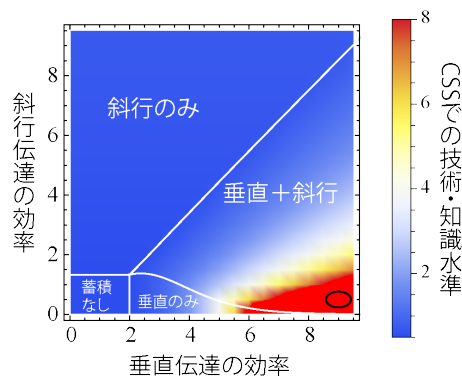


図4: 多対一伝承モデルにおいて4種類のCSSが生じるパラメータ領域とCSSにおける技術・知識水準。垂直伝達の効率が良く、斜行伝達の効率が悪いときに非常に高度な蓄積が起きる(楕円で示した箇所)。

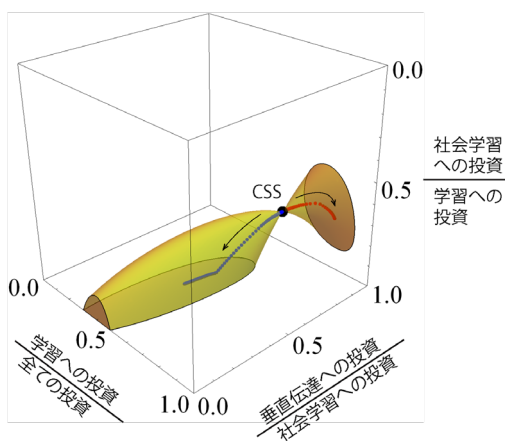


図5: 多対一伝承における進化的分岐。黒い点が収束安定な戦略であり、着色した部分は、突然変異戦略がCSSよりも高い繁殖成功率をもつ領域。矢印の方向に分岐が生じる。

(右下の赤い領域)、非常に高度な技術・知識

さらに CSS において進化的分岐が起きた場合にどのような多型が生じるか数値計算を行ったところ、図5のように、個体学習と垂直伝達を専ら行う「イノベーター戦略」と垂直・斜行伝達を専ら行い、個体学習は行わない「フォロワー戦略」に分岐することが明らかになった。しかも、この分岐過程において、集団全体の技術・知識の量はほとんど変化しない。しかし、CSS が実際にこうした分岐を起こすには多くの条件をクリアする必要があるため、現実のヒト集団で分岐が起きているかは、今後の研究を俟たなくてはならない。

(4) 今後の展開

今後は、理論的な予測を実験により検証していく必要がある。まず、トレードオフの下では公共財問題が生じ、Mesoudi and O'Brien(2008)で観察されたような技術の蓄積が抑制されることを確認する。多対一伝承モデルでは、垂直伝達の効率が高く、斜行伝達の効率が低い時に蓄積が促進されるという結果が得られたが、実験でこの状況を再現するのは困難である。そこで、本実験では他者の技術を社会学習で学ぶ場合は一定の対価を教示者に支払う必要があるとし、対価の大きさを操作することで、社会学習の効率を操作する。予想では、社会学習の対価が大きくなると、情報が搾取しにくくなるため、公共財の問題が緩和すると思われる。しかしながら、あまりにも対価が大きいと、社会学習が行われなくなり、技術の蓄積は逆に妨げられるだろう。従って、技術の蓄積を最大化する社会学習の対価が存在すると考えられる。本研究では、多対一伝承メカニズムの理論的な分析に想定以上の時間を要し、期間内に上記の実験を実施するまでに至らなかった。多対一伝承モデルの結果を受け、令和2年春の実施に向けて準備を進めていたが、新型コロナウイルス拡散防止のため、延期を余儀なくされている状況である。実験室が使用可能になり次第、実施する予定であるが、ウイルス感染拡大・収束の状況によっては、実験設定を変更して被験者が自宅で取り組めるインターネット実験に切り替えることも検討している。

<引用文献>

- ①Estes, W. K., 1950. Toward a statistical theory of learning. *Psychol. Rev.* 57, 94-107.
- ②Geritz, S. A. H., Kisdi, E., Meszner, G., Metz, J. A. J., 1998. Evolutionarily singular strategies and the adaptive growth and branching of the evolutionary tree. *Evol. Ecol.* 12, 35-57.
- ③Hamilton, 1964. The genetical evolution of social behaviour I & II. *J. Theor. Biol.* 7, 1-52.
- ④Kobayashi, Y., Aoki, K., 2012. Innovativeness, population size and cumulative cultural evolution. *Theor. Popul. Biol.* 82, 38-47.
- ⑤Kobayashi, Y., Wakano, J. Y., Ohtsuki, H., 2015. A paradox of cumulative culture. *J. Theor. Biol.* 379, 79-88.
- ⑥Kobayashi, Y., Ohtsuki, H., Wakano, J. Y., 2016. Population size vs. social connectedness - A gene-culture coevolutionary approach to cumulative cultural evolution. *Theor. Popul. Biol.* 111, 87-95.
- ⑦Kobayashi, Y., Wakano, J. Y., Ohtsuki, H., 2018. Genealogies and ages of cultural traits: An application of the theory of duality to the research on cultural evolution. *Theor. Popul. Biol.* 123, 18-27.
- ⑧Kobayashi, Y., Wakano, J. Y., Ohtsuki, H., 2019. Evolution of cumulative culture for niche construction. *J. Theor. Biol.* 472, 67-76.
- ⑨Kobayashi, Y., Kurokawa, S., Ishii, T., Wakano, J. Y., submitted. Time to extinction of a cultural trait in an overlapping generation model.
- ⑩Maynard Smith, J., 1982. *Evolution of the theory of games*. Cambridge University Press, Cambridge.
- ⑪Mesoudi, A., O'Brien, M. J., 2008. The cultural transmission of Great Basin projectile-point technology I: An experimental simulation. *Am. Antiq.* 73, 3-28.
- ⑫Ohtsuki, H., Wakano, J. Y., Kobayashi, Y., 2017. Inclusive fitness analysis of cumulative cultural evolution in an island-structured population. *Theor. Popul. Biol.* 115, 13-23.
- ⑬Richerson, P. J., Boyd, R., 2005. *Not by Genes Alone*. The University of Chicago Press, Chicago.
- ⑭Tomasello, M., 1999. *The Cultural Origins of Human Cognition*. Harvard University Press, Cambridge.
- ⑮Wakano, J. Y., Miura, C. Trade-off between learning and exploitation: The Pareto-optimal versus evolutionarily stable learning schedule in cumulative cultural evolution. *Theor. Popul. Biol.* 91, 37-43.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Kobayashi Yutaka, Wakano Joe Yuichiro, Ohtsuki Hisashi	4. 巻 123
2. 論文標題 Genealogies and ages of cultural traits: An application of the theory of duality to the research on cultural evolution	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Theoretical Population Biology	6. 最初と最後の頁 18～27
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.tpb.2018.04.007	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi Yutaka, Wakano Joe Yuichiro, Ohtsuki Hisashi	4. 巻 472
2. 論文標題 Evolution of cumulative culture for niche construction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Theoretical Biology	6. 最初と最後の頁 67～76
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） https://doi.org/10.1016/j.jtbi.2019.04.013	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kobayashi, Y., Ohtsuki, H., Wakano, J. Y.	4. 巻 111
2. 論文標題 Population size vs. social connectednes - A gene-culture coevolutionary approach to cumulative cultural evolution	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Theoretical Population Biology	6. 最初と最後の頁 87-95
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.tpb.2016.07.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ohtsuki, H., Wakano, J. Y., Kobayashi, Y.	4. 巻 115
2. 論文標題 Inclusive fitness analysis of cumulative cultural evolution in an island-structured population	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Theoretical Population Biology	6. 最初と最後の頁 13-23
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.tpb.2017.03.001	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Nakamura, M., Wakano, J. Y., Aoki, K., Kobayashi, Y.	4. 巻 未定
2. 論文標題 The popularity spectrum applied to a cross-cultural question	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Theoretical Population Biology	6. 最初と最後の頁 未定
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tpb.2019.10.003	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Yutaka Kobayashi, Hisashi Ohtsuki, Joe Yuichiro Wakano
2. 発表標題 Effects of population size and social connectedness on cumulative cultural evolution: A gene-culture coevolutionary model
3. 学会等名 Annual meeting of the Society for Mathematical Biology and the Japanese Society for Mathematical Biology (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大槻久、小林豊、若野友一郎
2. 発表標題 血縁淘汰は学習への投資を増大させるか？
3. 学会等名 日本人間行動学会第11回大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ohtsuki, H., Wakano, J. Y., Kobayashi, Y.
2. 発表標題 Cumulative cultural evolution in an island-structured population
3. 学会等名 The 2017 Congress of the European Society for Evolutionary Biology (ESEB2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kobayashi Y., Wakano, J. Y., Ohtsuki, H.
2. 発表標題 Genealogies, frequencies, and ages of cultural traits: an application of the theory of duality
3. 学会等名 第27回日本数理生物学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 小林豊、Laurent Lehmann
2. 発表標題 累積的な文化と垂直伝達率の進化モデル
3. 学会等名 第9回日本人間行動進化学会年次大会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	若野 友一郎 (Wakano Yuichiro) (10376551)	明治大学・総合数理学部・専任教授 (32682)	
研究分担者	大槻 久 (Ohtsuki Hisashi) (50517802)	総合研究大学院大学・先導科学研究科・准教授 (12702)	