

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：32682

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2010～2014

課題番号：22101004

研究課題名（和文）ヒトの学習能力の進化モデルの研究

研究課題名（英文）Research on Evolutionary Models of Human Learning Abilities

研究代表者

青木 健一（Aoki, Kenichi）

明治大学・公私立大学の部局等・客員教授

研究者番号：30150056

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 81,400,000円

研究成果の概要（和文）：新学術領域研究「交替劇」は、ネアンデルタールの絶滅およびヒトによる置換（交替劇）を両者の文化水準の違いによって説明する（学習仮説）ことを目的とした。社会が到達する文化水準は、文化進化のあり方に依存する。このため、領域傘下の我が計画研究班では、文化進化の決定要因およびこれを支える学習戦略の進化に関する理論研究を行った。得られた多くの成果は、査読付の国際学術雑誌や著書に発表済みであり、国際的にも文化進化および学習戦略進化の研究に大きく貢献している。また、ネアンデルタールとヒトの学習戦略の違いがあるならば、両者の認知に関わる遺伝子にも違いが認められるはずとの立場から、分子人類学的な研究も少し行った。

研究成果の概要（英文）：Scientific Research on Innovative Areas “RNMH” had as its goal the explication of the extinction of Neanderthals and their replacement by modern humans in terms of a difference in the cultural levels of the two species (learning hypothesis). The cultural level attained by a society depends on cultural evolutionary processes. With this in mind, our research group conducted theoretical research on the determinants of cultural evolution and on the genetic evolution of learning strategies supportive of cultural evolution. The many fruits of our research have been published in referred international journals and in books, and have contributed significantly to advancing this rapidly growing field. In addition, we conducted exploratory studies in molecular anthropology with the aim of identifying genes that may have contributed to cognitive differences between the two species.

研究分野：集団生物学

キーワード：学習仮説 学習戦略進化 文化進化 ゲノム多様性データ

1. 研究開始当初の背景

ネアンデルタールの絶滅とヒトによる置換(交替劇)を説明しようとする仮説が乱立していた。両者の文化水準の違いにその原因を求める仮説も勿論存在したが、明確かつ厳密な理論によって裏付けられていなかった。社会が到達する文化水準は文化進化のあり方に依存し、文化進化のあり方はこれを支える学習戦略によって左右される。従って、文化進化の決定要因および学習戦略の遺伝進化条件を理論的に明らかにすることが急務であった。また、学習戦略は認知の一側面であることから、ネアンデルタールとヒトで違いが見られる認知関連遺伝子を同定することも望ましかった。

2. 研究の目的

文化進化および学習戦略進化の理論体系を整備・発展させることが主目的であった。具体的には、(1)文化進化速度と文化多様性及ばす集団サイズ、文化伝達様式、イノベーション率の効果、(2)集団サイズと文化水準の間のマルサスやボースラップ的なフィードバック、(3)分布拡大が引き金となるイノベーション能力の向上、(4)累積的文化を支える学習スケジュールなどを明らかにすることを目指した。また、ネアンデルタールとヒトの学習戦略の違いがあったとの観点から、(5)両者の認知関連遺伝子の比較を副目的に設けた。

3. 研究の方法

上記理論研究では、理論集団遺伝学および数理生態学で確立された数学的手法を用いた。ただし、文化水準、文化進化速度、文化多様性、文化伝達様式、イノベーション、累積的文化、学習スケジュールなどこの分野固有の概念については、厳密に定義する必要があった。一方、認知関連遺伝子の同定に当たっては、分子進化学でやはり確立されたゲノムワイド関連解析(GWAS)や候補遺伝子法などを用いた。

4. 研究成果

(1)文化進化速度は集団サイズよりもイノベーション率に依存する(雑誌論文、)。【解説】文化進化速度を数学的に予測するために文化モランモデルを記述した。文化進化速度が高いほど、集団の文化水準が早く向上すると考えられるので、交替劇において重要な概念である。このモデルは、個体ベースシミュレーションにも適しているため、数学的扱いが困難なケースにも拡張できる。様々な文化伝達様式について文化進化速度を予測したが、特筆に価するのがフランス国 Etiolles 遺跡の考古学調査で浮上した一対多(一人の熟練者から複数の初心者への)伝達の意義である。我々は、一対多伝達が、ランダムな模範者からの伝達に比べ、文化進化を加速させ

る効果が全くないことを示した。さらに一対多伝達の場合、文化進化速度がイノベーション率に比例するが、集団サイズの効果は僅少であることも示した。図1参照。【含み】欧米の研究者は、ボースラップ的視点を先史人類に適用し、文化(技術)水準の違いを集団サイズ(人口)の違いによって説明しようとしている。一方、本新学術領域研究では学習能力の一部であるイノベーション能力の重要性を指摘しているが、本理論解析によってこのスタンスの妥当性が示された。

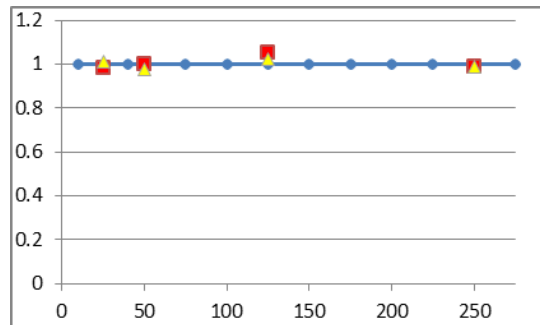


図1. 一対多伝達の下での文化進化速度(縦軸)と集団サイズ(横軸)の関係。青い実線は、解析的に求めた予測値である。この場合は、イノベーション率に等しく、集団サイズに全く依存しない。赤い正方形と黄色い三角形は、二通りのイノベーション(それぞれ無限座位と再起)の起こり方を仮定して行った個体ベースシミュレーションの結果である。解析的な値と良く一致することが分かる。

(2)イノベーション能力の僅かな違いが、文化水準の大きな違いをもたらす(雑誌論文)【解説】マルサスとボースラップの視点を癒合して、集団のサイズと文化(技術)水準の間にフィードバックを仮定したモデルを記述した。イノベーション率のある範囲内では、文化水準が高い大きな集団と文化水準が低い小さな集団がともに安定的に存在しうる(双安定)ことを示した。また、この範囲を逸脱するとき、イノベーション率の僅かな変化が、文化水準の飛躍的な変化(折れ目分岐)を引き起こすことも示した。図2参照。【含み】ネアンデルタールとヒトの認知の違いがあったとしても僅かなものであった(認知同等性)とする考え方が本新学術領域研究開始後に支配的となっている。もとより、両者は近縁種であるから、イノベーション能力の大きな違いは予想されない。しかし、イノベーション能力の僅かな変化が、文化水準の飛躍的な変化の引き金となりうるので、両者の種間競争が文化水準の違いによって決定された可能性が支持される。

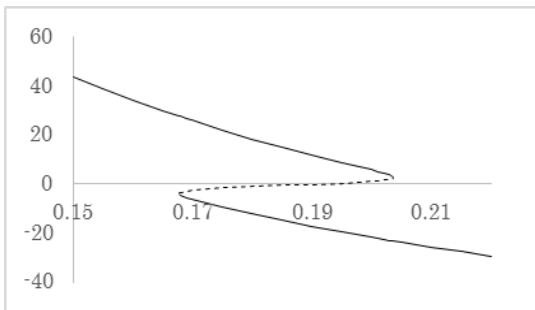


図2 . 文化水準 (縦軸) とイノベーション率 (横軸) の関係を示す分岐図。左に行くほど、イノベーション率が高い。実線は文化水準の安定平衡を、破線はその不安定平衡を示す。左の折れ目分岐 (~0.1677) では、イノベーション率の僅かな上昇が文化水準の飛躍的な上昇をもたらす。

(3) 分布拡大が引き金となるイノベーション能力の向上 (雑誌論文 、 Aoki & Nakahashi 2008 参照) 【解説】分布拡大によって異質な環境へ進出したとき、また分布拡大の前線で人口密度が低いため、イノベーション能力の遺伝進化が起きる。イノベーション能力の向上は、過渡的なものであって分布拡大終了後に退化する場合もある。図3参照。【含み】Kadowaki et al. (2015) は、Protoaurignacian がレヴァント南部の Early Ahmarian に先行する可能性を示した。ヨーロッパに進出したヒトがイノベートした石器製作伝統が、後にレヴァントへ伝播したとも解釈できる。

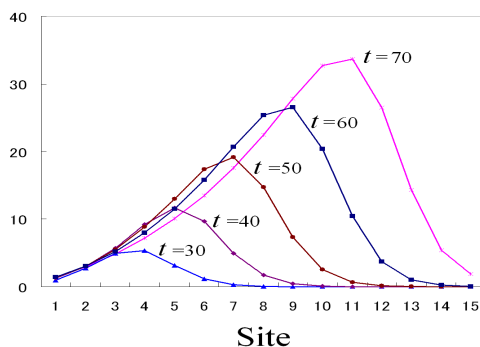


図3 . イノベーション能力を有する個体数 (縦軸) の分布拡大に伴う時間 (t) 変化。サイトは直線上に並び (横軸) サイト 1 から分布拡大が始まる。

(4) 累積的文化を支える学習スケジュール (雑誌論文 、 、 、 Aoki 2010、Borenstein et al. 2008 参照) 【解説】資源獲得を含む生活史戦略の一部として学習を捉えた (学習スケジュールと命名) 全く新しい遺伝子・文化の共進化モデルを記述した。社会学習によって先ず既存文化を習得し、イノベーションによってこれに改良を加えるという学習順序 (SE 戦略と命名) が文化の累積性を

可能にしているとの前提で、SE 戦略が遺伝進化する条件を求めた。本テーマは研究途中であるが、垂直伝達 (親から子への文化の伝達) が SE 戦略の維持に重要であるとの示唆が得られている。【含み】文化の累積性は、ヒトの特徴であり、ネアンデルタールよりヒトで顕著であると考えられる。文化伝達様式は様々であるが、その違いが文化に与える影響に関する理論および実証研究はまだ少ない。さらなる検討が必要である。

(5) 現代人頭囲と有意に関連する 1 塩基多型の同定 (学会発表) 【解説】沖縄在住の日本人で頭蓋形態のゲノムワイド関連解析を行った結果、21 番染色体長腕の LOC284825 上に存在する 1 塩基多型 (SNP) が有意に関連していた。【含み】C01 班・C02 班は、ネアンデルタールとヒトの脳形態に有意な違いを見出した。上記 SNP がこの違いに関与している可能性を追究する必要がある。

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 19 件)

Kobayashi Y, Wakano JY, Ohtsuki H, A paradox of cumulative culture, Journal of Theoretical Biology, 査読有, 印刷中, 2015

Aoki K, Modeling abrupt cultural regime shifts during the Palaeolithic and Stone Age, Theoretical Population Biology, 査読有, Vol.100, 2015, pp.6-12, DOI:10.1016/j.tpb.2014.11.006

Aoki K, Feldman MW, Evolution of learning strategies in temporally and spatially variable environments: a review of theory, Theoretical Population Biology, 査読有, Vol.91, 2014, pp.3-19, DOI:10.1016/j.tpb.2013.10.004

Wakano JY, Miura C, Trade-off between learning and exploitation: the Pareto-optimal versus evolutionarily stable learning schedule in cumulative cultural evolution, Theoretical Population Biology, 査読有, Vol.91, 2014, pp.37-43, DOI:10.1016/j.tpb.2013.09.004

Lehmann L, Wakano JY, Aoki K, On optimal learning schedules and the marginal value of cumulative cultural evolution, Evolution, 査読有, Vol.67, 2013, pp.1435-1445, DOI:10.1111/evo.12040

Aoki K, Wakano JY, Lehmann L,

Evolutionarily stable learning schedules and cumulative culture in discrete generation models, Theoretical Population Biology, 査読有, Vol.81, 2012, pp.300-309, DOI:10.1016/j.tpb.2012.01.006
Kobayashi Y, Aoki K, Innovativeness, population size and cumulative cultural evolution, Theoretical Population Biology, 査読有, Vol.82, 2012, pp.38-47, DOI:10.1016/j.tpb.2012.04.001
Nakahashi W, Wakano JY, Henrich J, Adaptive social learning strategies in temporally and spatially varying environments, Human Nature, 査読有, Vol.23, 2012, pp.386-418, DOI:10.1007/s12110-012-9151-y
Aoki K, Lehmann L, Feldman MW, Rates of cultural change and patterns of cultural accumulation in stochastic models of social transmission, Theoretical Population Biology, 査読有, Vol. 79, 2011, pp.192-202, DOI:10.1016/j.tpb.2011.02.001
Wakano JY, Kawasaki K, Shigesada N, Aoki K, Coexistence of individual and social learners during range expansion, Theoretical Population Biology, 査読有, Vol.80, 2011, 132-140 DOI:10.1016/j.tpb.2011.06.001

〔学会発表〕(計43件)

山口今日子、木村亮介ら、日本人の頭部形態に関する遺伝的要因のゲノムワイド探索、第68回日本人類学会大会、2014.11.1、アクトシティ浜松(静岡県・浜松市)
木村亮介、中橋渉、協力社会の形成は文化進化を加速させる、第67回日本人類学会大会、2013.11.3、国立科学博物館筑波研究施設(茨城県・筑波市)
Aoki K, The Moran model and cultural evolutionary rates, The Wenner-Gren Foundations International Symposium—Patterns of Cultural Change and Diversification, 2012.9.13, Stockholm (Sweden)
Kobayashi Y, Wakano JY, An evolutionary game of social versus individual learning in a spatially divided population, China-Japan-Korea International Conference on Mathematical Biology, 2012.5.23, Pusan (Korea)

〔図書〕(計2件)

Mesoudi A, Aoki K, Springer Japan, Learning Strategies and Cultural Evolution during the Palaeolithic, 2015, 190

Akazawa T, Nishiaki Y, Aoki K, Springer Japan, Dynamics of Learning in Neanderthals and Modern Humans Vol.1 Cultural Perspectives, 2013, 277

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕なし
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

青木 健一(AOKI, Kenichi)
明治大学・研究知財戦略機構・客員教授
研究者番号：30150056

(2) 研究分担者

木村 亮介(KIMURA, Ryosuke)
琉球大学・医学研究科・准教授
研究者番号：00453712

川崎 廣吉(KAWASAKI, Kohkichi)
同志社大学・文化情報学部・教授
研究者番号：10150799

若野 友一郎(WAKANO, Yuichiro)
明治大学・総合数理学部・准教授
研究者番号：10376551

小林 豊(KOBAYASHI, Yutaka)
高知工科大学・マネジメント学部・准教授
研究者番号：70517169

(3) 連携研究者 なし
()

研究者番号：