

環境変動が人類の協力の進化を促進した可能性をシミュレーションで提示

進化ゲーム理論にもとづくシミュレーションによって、環境変動の激化が協力の進化を促進しうることを示しました。この結果は、中期旧石器時代アフリカの激しい環境変動が人類の認知能力の向上につながったとする変動選択仮説を、社会性の進化の説明にも広げて捉えなおす手がかりになります。

人類の高度な認知能力や社会性の萌芽は中期旧石器時代のアフリカにあるとされていますが、それらの進化の具体的なメカニズムやプロセスは十分に明らかになっていません。本研究は、この謎を説明する有力な仮説とされる変動選択仮説が、これまで主に個体の能力の進化を対象としていたことに對し、その説明の範囲を社会性の進化にも広げ、環境変動が人類の協力的行動の進化に与えた影響を、進化ゲーム理論に基づくマルチエージェント・シミュレーションによって検証しました。

本研究では、地域的変動モデルと汎地域的変動モデルという二つのシンプルな環境変動モデルを考案し、地理的に離れた集団間の協力が環境変動によってどのように促進されるかを分析しました。その結果として、地域的変動が貧しい地域の協力者に新たなチャンスを提供し、協力的行動の進化を促すメカニズムが明らかになりました。一方、汎地域的変動の効果は弱く、地域間の資源分布が変化しない限り協力の進化には大きく寄与しないことも示されました。

本研究の成果は、中期旧石器時代のアフリカにおける社会的行動の発生と発展に関する考古学的検証に新しい視点を提供するとともに、現代社会における環境変動や危機が協力的行動に及ぼす影響を理解するための手がかりとなることも期待されます。

研究代表者

筑波大学

稲葉 理晃 社会工学学位プログラム 博士後期課程2年

秋山 英三 システム情報系 教授

研究の背景

人類の高度な認知能力の萌芽は中期旧石器時代のアフリカにあるとされていますが、その進化のメカニズムは依然として明らかになっていません。考古学者のリチャード・ポッツが1996年に唱えた「変動選択仮説」は、この謎を説明する有力な仮説の一つで、中期旧石器時代アフリカでの環境変動^{注1)}の激化が、人類の脳の大型化や適応的な知性の向上を促したと主張しています。

また、「協力の進化」に関する研究は、1980年代から現在に至るまで、進化生物学、物理学、社会科学などの分野で盛んに行われてきました。これらの研究では、協力的な行動戦略を採る個体が集団内でどのように広がるのかを分析していますが、多くは外部環境が一定であることを前提としており、環境変動を考慮した研究はほとんど行われていませんでした。

研究内容と成果

本研究では、2つの単純化された環境変動モデルとして、地域的変動（Regional variability, RV）モデルと汎地域的変動（Universal variability, UV）モデルを考案し、環境変動と協力の進化の関係を分析しました。これらのモデルにおいて、環境は複数の地域で構成されており、各地域にリソース^{注2)}が割り当てられます。最もリソースが豊富な地域を「プライムノード」と呼び、そこから地理的に遠くなるに従ってリソースが乏しくなります。RVではこのプライムノードがランダムに移動することによって環境変動を表します。UVではプライムノードは固定されており、全体的な豊かさがランダムに変動します（参考図）。

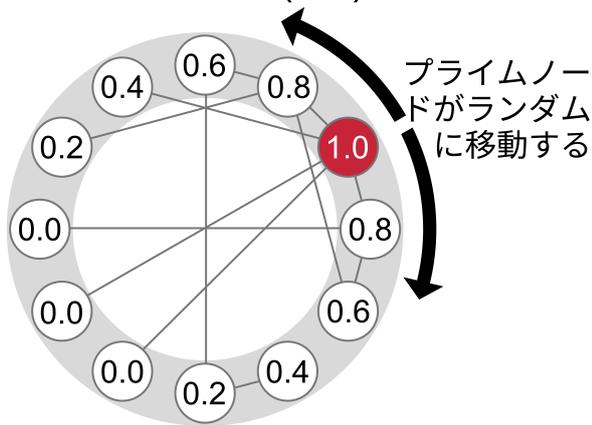
このようなモデルでマルチエージェント・シミュレーション^{注3)}を実行した結果、RVは明らかに協力行動を促進する一方で、UVの影響ははるかに小さいことが分かりました。RVが協力行動を促進する理由は、貧しい地域に生まれた協力者が環境変動によって偶然豊かになることがあり、その豊かになった協力者を中心に、集団全体へ協力者のネットワークが広がるためです。これに対して、UVは、全体のリソース量を変動させるだけであり、地域間のリソース分布を変えるわけではありません。そのため、貧しい地域の協力者が豊かになる機会が生まれず、集団に協力行動が広がりにくくなるのです。また、RVとUVの両方を組み合わせた場合でも、協力行動を促進するのはRVのみであり、UVの影響はほとんどありませんでした。

今後の展開

本研究は、環境変動によって個体の能力の向上を説明する仮説であった変動選択仮説が説明できる範囲を社会性の進化にまで広げ、環境変動が社会性の発展、すなわち「協力の進化」の一因にもなりうることを示しています。本研究の成果は、中期旧石器時代のアフリカにおける社会的行動の発生と発展に関する考古学的検証に新しい視点を提供するとともに、現代社会における環境変動や危機が協力行動に及ぼす影響を理解するための手がかりとなることも期待されます。

参考図

1. 地域的変動 (RV) モデル



2. 汎地域的変動 (UV) モデル

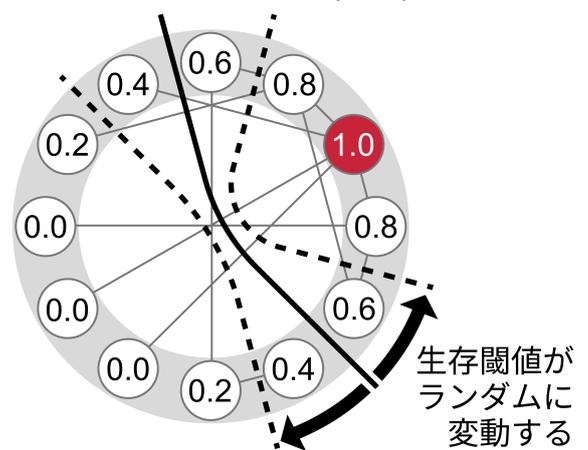


図 地理的変動 (Regional variability, RV) モデル (左図) と、汎地域的変動 (Universal variability, UV) モデル (右図) のイメージ図。グレーのリングは地域構造を表しており、その中の各丸が地域を (丸の中の数値はリソース量、赤い丸はプライムノード)、丸と丸をつなぐ線は地域間の関係の有無を表している。左図の RV モデルでは、プライムノードがランダムに各地域を移動することで環境変動を表現している。一方、右図の UV モデルでは、生存閾値 (各地域の生存に必要なリソース量、太線) が、ランダムに変動することによって環境変動を表す。例えば、生存閾値が 0.5 の場合は、太線より右側の地域だけが生き残り、生存閾値が 0.3 や 0.7 に変動した場合は、太線より右側の地域だけが生き残る。

用語解説

注 1) 環境変動

中期旧石器時代のアフリカでは、数十年単位という短い間隔で、乾燥した気候と湿った気候が繰り返されていた時期があったとされている。こうした気候変動の影響により、陸地と湖沼の境界の変動や動植物相の変化、リソース供給の不安定化といったことが起きたと考えられている。

注 2) リソース

個体の生存に不可欠で希少な財。具体的には、食料や道具の原材料などを指す。

注 3) マルチエージェント・シミュレーション

生物や人間などを比較的単純なルールに則って動く行動主体 (エージェント) とみなし、複数のエージェントが相互作用を繰り返すことによって生じる、複雑な現象を分析するための手法。数式を用いる解析的手法では分析が困難なシステムや社会現象を研究することができる。

研究資金

本研究は、科研費による研究プロジェクト (JP21H00694、JP21H01568) の一環として実施されました。

掲載論文

【題 名】 Environmental variability promotes the evolution of cooperation among geographically dispersed groups on dynamic networks

(環境変動は地理的に離れたグループ間の動的なネットワークにおける協力の進化を促進する)

【著者名】 Masaaki Inaba¹, Eizo Akiyama²

¹Graduate School of Science and Technology, Degree Programs in Systems and Information Engineering,
University of Tsukuba, Ibaraki, Japan

²Faculty of Engineering, Information and Systems, University of Tsukuba, Ibaraki, Japan

【掲載誌】 *PLoS Complex Systems*

【掲載日】 2025年4月9日

【DOI】 10.1371/journal.pcsy.0000038

問合わせ先

【研究に関すること】

秋山 英三（あきやま えいぞう）

筑波大学 システム情報系 教授

URL: <https://trios.tsukuba.ac.jp/researcher/0000000823>

【取材・報道に関すること】

筑波大学広報局

TEL: 029-853-2040

E-mail: kohositu@un.tsukuba.ac.jp