

社会的インタラクションの進化に関する構成論的アプローチ

Constructive approach to the origin and evolution of social interactions

有田 隆也*¹

Takaya Arita

*¹ 名古屋大学 大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nagoya University

We report on the current state of our constructive approach to the origin and evolution of social interactions. Our basic hypothesis is that human social intelligence has evolved through coevolution between three uniquely human traits: those related with language, cooperation and mind, with the focus of the selection shifting between them. One of the features of our approach is the use of an experimental paradigm for studying cultural evolution using human subjects in parallel with the evolutionary simulations based on the computational models.

1. はじめに

様々な生命系や社会系に関して計算論的モデルを構成した上で、そこに創発する現象に着目する構成論的研究が近年、人工生命等の分野において盛んになされてきた[有田 07, 09a]. 本研究は、その一環として、ヒト独自の社会的知能の起源や進化にアプローチしている. 特徴は次の2点である. 第一に、個別の形質の創発プロセスに注目するだけでなく、ヒト独自の社会的知能を、言語、協力、心の理論のそれぞれに関わる形質の共進化によって創発したものとみなす仮説に基づく点、第二に、モデルベースの計算機実験と同時に、言語や規範の創発における文化的進化のダイナミクスを調べる目的で人間を用いた被験者実験を行う点である. 本稿では、本アプローチの基本的構想やスタンスを述べるとともに、現状を報告する.

2. 研究の構想

ヒトを他の生物種とは異なる存在たらしめている振舞いや脳機能として、典型的には、1) 協力、2) 心の理論、3) 言語、4) 道具作り、5) 模倣、があげられる. これらのそれぞれに関わるヒトにユニークな形質(以降、便宜的にこれら5つを形質と呼ぶ)をいかに獲得してきたかという問題は、ヒトのアイデンティティに関わる大きな謎である. 一方、近年、複雑なシステムの本質を抽出して計算論的モデルを構成し、計算機実験によるダイナミクスの分析により、そのプロセスを普遍的に理解することを目指す構成論的研究が盛んである. そのようなアプローチの中でも、この5形質をターゲットとして、ヒトのアイデンティティの起源を探る研究も少なくない. ただし、そのような普遍的知見を目指す研究においても、従来のほとんどの研究は、その5形質のいずれかを個別に対象としてきた.

本研究では、それらを包括的に理解することを目指す. なぜならば、それらの間に双方向の密接な依存関係が存在するため、個別的理解には本質的な困難があるためである. 双方向の依存関係の具体例を、協力、心の理論、言語の3形質間に関して以下に示す(言語-(i)→協力-(ii)→心の理論-(iii)→言語、及び、言語-(iv)→心の理論-(v)→協力-(vi)→言語).

(i) 第三者の印象形成による間接的互恵性、共同狩猟等の協力行為、あるいは協力集団を生み出すマルチレベル選択のためには、綿密な情報伝達を可能とする言語が重要.

- (ii) 利他的行為に基づく協力関係の持続が心の理論の構築につながる.
- (iii) 他者の意図推定がコミュニケーションの根幹. また、言語の再帰構造の使用には心の理論が重要.
- (iv) 思考の道具として何らかの言語的システムが必要. また、相手の心の推測には言語による意思表示が重要.
- (v) 相手の意図の推測が協力関係の構築やフリーライダー除去につながる.
- (vi) 会話における発話行為は基本的に利他行為なので、それが進化するためには協力関係の存在が重要.

そこで、本研究では「共進化型社会的知能創発仮説」を立てる(図1). これは、先の5形質のうちの最初の3つに焦点を絞り、それらが相互作用しながら共進化し、ヒト独自の社会的知能が創発したとみなす考え方である. これによれば、たとえば、あるフェイズでは、言語に関するある処理に選択圧の焦点が絞られその形質を獲得し、次のフェイズでは、その獲得した形質が踏み台になって、心の理論に関わるある形質が適応的となって進化するというように、ヒト祖先が棲息していた生態学的環境に特異的に、3形質が相互作用しつつ選択圧の焦点が移り変わることで、社会性が螺旋状に進化するシナリオが提示される.

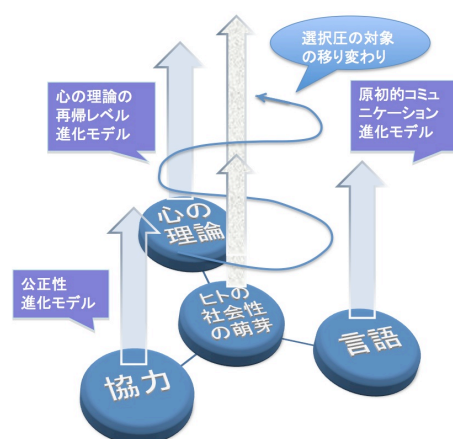


図1 共進化型社会的知能創発仮説

本研究のもう一つの特長は、モデルベースの進化シミュレーション実験だけでなく、人間(あるいは人間とエージェント)を用い、言語や規範を進化させることを狙う被験者実験を行うことである(図2). このようにして実現した文化進化のダイナミクスに関する知見を計算機実験によって得られた知見と比較検討するこ

とにより、共進化型社会的知能創発仮説に基づくシナリオを多面的に検討する。

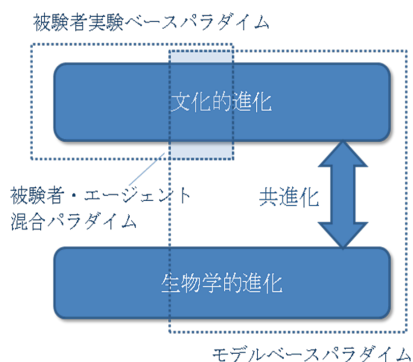


図2 研究手法

3. 研究の現状

3.1 公正性進化モデル

協力に関しては、「配分的正義」に関わる基本的問題として個体間の資源配分を題材とする。基本的な Nash 要求ゲームでは、総資源量1の分け前を2個体が同時に要求し、もし要求量の和が1以下ならば両者は要求量を獲得するが、超えれば両者とも獲得量が0となる。Skyrmsはこのゲームに進化ゲーム理論を適用して配分的正義の進化的基盤を検討し、対戦相手を類似戦略個体に限定すれば0.5を要求し合う公正の規範をもつ集団へ進化すると示した[Skyrms 96]。しかし、我々の社会は多様である。衝突が起こればコスト(訴訟費用)を払っても公正を守る社会もあれば、相手が弱気ならば多めに奪おうとする社会もある。多様な社会を表現するため、本研究では、要求量に加え、要求姿勢の強弱を表すパラメータ(図2)を追加し、二重のジレンマを埋め込んだD-Iゲームを提案した[小島 10]。基本的なゲーム論的分析と進化シミュレーションを行った結果、「独占・穏健」戦略が進化的安定戦略であるが、「均等」戦略による公正な集団の半分の利得しか得られないことが示された。

一方、被験者を用いてD-Iゲームを繰り返し実行させる文化進化実験を行い、戦略の推移を調べている。今後、進化シミュレーションと文化進化実験の結果を比較検討する予定である。



図2 D-Iゲームにおける戦略の表現

3.2 原初的コミュニケーション進化モデル

構成的手法による言語進化研究[有田 09a]が盛んだが、その多くは、離散的表現の記号を交換し、話し手聞き手が明確に分かれ、両者の適応度は会話成立により等しく増加するという前提を持つ。我々は、その前提を除き、二者間関係を利得行列で表す単純な関係に縮約する一方、ダイナミカルな信号交換をゲーム前交渉として行う枠組みを提案した[Takano 06]。進化シミュレーションの結果、譲る合図を示すタイミングで調停する「収束型」と両者のシグナルの共振で調停する「振動型」のように多様なコミュニケーションが創発することが示された。

一方、被験者実験では、被験者間に多様なコミュニケーションが文化進化で創発するか実験する。具体的には、被験者同

士が対面せず、ネットワークを介して画面上の「自分」を操作し、その振る舞いで相手にシグナルをリアルタイムに送信し合うものである。ゲームの繰り返しの中で調停プロトコルがいかにか確立されるかを調べ、その結果を計算機実験の結果と比較検討する。

3.3 心の理論の再帰レベル進化モデル

「心の理論」(他者の心の意図、信念を推測する心の機能)は、社会的知能の基盤であり、ヒトの発達過程の分析や動物との比較により、ヒト知能の特異性が明らかになってきた。心の理論の起源、特に、その再帰レベル(レベル1例:AがXを知っているとBが信じている)の進化に関する計算論的研究は極めて少ない。我々は、動物から人間への心の進化における再帰の構造の進化に関する計算論的モデルを構築し、衝突回避行動を対象とした進化シミュレーションを行った[Takano 06]。それにより、再帰レベルの奇数と偶数の適応度差がもたらされること、他者との関係性の強弱が再帰レベルの適応性の支配要因となりうること、その強弱がある一定の領域にある場合、再帰レベルが深ければ深いほど適応的である状況が出現することが示された。

一方、被験者実験として、計算機画面上で「自分」を動かして、他の被験者(場合によっては計算機プログラム)が操る他個体との衝突回避を行う実験を計画中である。この結果を、進化シミュレーションの結果、及び、実際の被験者による衝突回避実験の結果[Zanlungo in press]と比較検討する。実験結果の差異の分析に基づいて、人間がいかなる衝突回避行動を生物学的進化によって、あるいは文化的進化によって創発させるか、さらに、相手が人工物と人間ではいかなる行動の差をもたらすかという点等について考察する。

4. おわりに

社会的インタラクションの起源・進化へのアプローチの構想と現状を述べた。社会的知能の進化的基盤の理解を目指し、3形質に関する最小の計算論的モデルを構成し、それらの共進化から創発するという仮説を検討している。同時に、被験者を使った文化進化実験を行い、その共進化における生物学的進化と文化的進化の関わりを検討することにより、社会的知能の創発に関する知見を深めていく。

参考文献

- [有田 07] 有田隆也:心はプログラムできるか、ソフトバンククリエイティブ, 2007.
- [有田 09a] 有田隆也:人工生命モデルによる構成的研究の方法論, 人工知能学会誌, 24(2), 253-259, 2009.
- [有田 09b] 有田隆也:コミュニケーションの創発, 計測と制御, 48(1), 39-46, 2009.
- [Skyrms 96] B. Skyrms: *Evolution of the Social Contract*, Cambridge University Press, 1996.
- [小島 10] 小島和晃, 有田隆也:ナッシュ要求ゲームを拡張したD-Iゲームとその構造の分析, 第50回数理社会学会大会研究報告要旨集, 2010.
- [高野 05] 高野雅典, 加藤正浩, 有田隆也:心の理論における再帰のレベルの進化に関する構成的手法に基づく検討, 認知科学, 12(3), 221-233, 2005.
- [Takano 06] M. Takano and T. Arita: Asymmetry between Even and Odd Levels of Recursion in a Theory of Mind, *ALIFE X*, 405-411, 2006.
- [Zanlungo 11] F. Zanlungo, T. Ikeda and T. Kanda: Social Force Model with Explicit Collision Prediction, *Europhysics Letters* (in press).