

報告番号	※甲	第	号
------	----	---	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 社会的相互作用の進化ダイナミクスに関する構成論的アプローチ
氏 名 高野 雅典

論 文 内 容 の 要 旨

我々は社会を構成して生活しており、その社会における様々な場面で、同盟を組む、交渉する、出し抜くなどの複雑な社会的相互作用をしている。そのような社会的場面で発揮される知能（社会的知能）は、複雑な社会環境への適応として進化してきたと考えられる。例えば、ある種が集団を構成すると、構成メンバーは互いに協力者であると同時に、食料などに関する資源獲得に関しては競合相手でもあるため、それは複雑な社会集団になりうる。そのような社会環境では、駆け引き・欺き・同盟など集団内でうまく立ち回ることが重要になり、社会的知能の進化要因になるであろう（社会脳仮説）。また、社会的知能の進化は、社会的相互作用の進化と相互に影響を与え合うことが考えられる。社会的知能が高度になれば、欺き合いやコミュニケーション、協力行動などはより複雑なものになりうる。

このような複雑な社会的相互作用において、他個体の心・行動を推測する心の機能（心の理論）が重要な役割を果たすと考えられ注目されている。心の理論とは、ある個体が自己または他個体の心の状態などを推測する心の機能のことである。そして、他個体も心の理論を持つと考えるとき、他個体が自分についてどのように推測しているかを推測でき、そのため、自分が他個体にどのような影響を与えるのかを推測することができる。このような心の機能によって、欺き、教示などの巧妙で適応的な社会的振る舞いが可能になると考えられる。そのため、心の理論は社会的知能や社会的相互作用の進化を考える際に重要な機能であると言える。社会脳仮説より、心の理論が進化によって得られたとすると、それは適応的な形質であったと考えることができる。

本研究は構成論的手法に基づき、心の推測に基づいた社会的相互作用の進化ダイナミクスについて知見を得ることが目的である。特に、次の理由から、社会的環境が社会的相互作用の進化に与える影響に着目する。社会的知能・相互作用の進化

は、個体間の相互作用における適応性に基いた巨視的な現象である。そのため、その系は複雑系であると言える。一般に、複雑系は何らかの条件の変化によってシステムの巨視的な振る舞いが質的に変化するという特徴を持つ（それは生物の進化においても広く見られる）。社会脳仮説に基づくならば、本研究において脳を進化させた環境条件とは（集団サイズや個体間の関係性のような）社会的環境に関するものであろう。このように進化における系の巨視的な振る舞いをそれが質的に変化する部分で区切ることで、進化のありうる状態に関して分類でき、進化ダイナミクスに関して定性的な知見が得られると思われる。

このようにアプローチする際に、構成論的手法が有効であると考えられる。構成論的手法とは、理解したい対象を計算機上などで構成し、それを実際に動かすことによって知見を得ようとする手法である。この手法によって、様々なパラメータによる試行によって、その対象のありうる状態を作り出すことができる。

本研究では、社会的相互作用が生じる社会的環境として、各個体が互いの行動を調整しなければ各個体は高い利得を得られないが、相互作用の結果として得られる利得に個体間で差が存在するといった状況を考える。このような状況では、どのように他個体の心・行動を推測するかが、うまく立ち回るために大きく影響するからである。例えば、人がすれ違うときの衝突回避行動もそのような状況と言え、その場合では、相互に進行方向を調整しなければ衝突してしまうが、大きく回避する方は相手より効率の悪い行動をすることになる。そこでは、他個体が自分を回避しようとしなければ、自分がその他個体を回避しなければ衝突を避けることができず、他個体が自分を回避しようとするならば、自分は回避しない方が効率よく移動できたため、他個体の心・行動の推測が重要である。このような状況は、例えば、資源が競合する場合の駆け引きなどのように、様々な社会場面に存在している。

以上のようにして、他個体の心の推測をすることはどのような社会的な環境の条件によって進化できるか、あるいは、それが進化した集団ではどのような社会的相互作用になりうるか、という未解明な問題に焦点を当てる。そのために、本研究では心・行動の推測に関して次のふたつの側面から研究した。

(1) 他個体の心・行動を推測することについて考える。ここで、他個体に関して推測するときに、他個体も自分の心や次の行動を推測すると考えると、「他個体の自分に対する推測」を推測する、「他個体の「自分の他個体に対する推測」に対する推測」を推測する」といったように、心の推測に再帰構造が発生する。このような再帰的な処理能力は言語（特に文法）や物事の認識、道具を作るための道具の使用などの観点からもヒトの知能に深く関わっていると思われる。社会脳仮説に基づくならば、心の再帰的な推測能力も社会環境に対する適応進化によって獲得されてきたと考えられる。本研究の目的は再帰的推測の深さ（再帰レベル）の進化ダイナミクスについて知見を得ることである。特に、再帰的推測に基づいた振る舞

いは再帰レベルによってどのように異なった性質を持ちうるか、再帰レベルの進化は社会的環境からどのような影響を受けるか、という点に焦点を当てる。そのために、各個体に他個体の行動の再帰的な予測という内部の処理とそれに基づいた行動を仮定し、衝突回避行動タスク（社会的集団における競合的な関係を物理的に状況付けして表し、かつ最小の抽象タスク）を対象として進化シミュレーションを行った。

その結果、再帰的な推測の進化は社会的環境（相互作用の強さ）に以下のように依存することが示された。相互作用が弱ければ再帰的な推測において他個体を起点とした推測をするように進化し、強ければ自分を起点とした推測をするように進化した。そして、相互作用の強さが中間的なとき、社会手相互作用の場面において深く推測し合うように進化した。これは、再帰的な推測における起点が奇数と偶数で異なり、それによって再帰レベルの適応度が非対称になることに起因すると考えられる。

(2) 心・行動の推測 (mindreading) と、それを前提とした他個体の操作 (manipulation) について考える。一方が、他個体が自分の心・行動について推測していると考えて、自分の行動や状態を象徴する振る舞いをしたときに、他方がそれを見て相手の行動や状態を予測 (mindreading) し自分の行動を変えるのならば、前者による後者の行動の操作 (manipulation) と言える。ここで、相手を推測すること・操作することが双方にとって有益である場合（例えば、行動調整が両者に利得をもたらす場合）を考えると、一方がなんらかの振る舞いによって意図を示し (manipulation)、他方がそれを理解する (mindreading) というコミュニケーションが進化することが想定できる。本研究の目的は、mindreading と manipulation の共進化による言語・コミュニケーションの進化的基盤を検討することである。特に、どのようなコミュニケーションが進化しうるか、コミュニケーションの進化は社会的環境にどのように影響を受けるか、また、上で想定したような振る舞いの記号化・その送信者・受信者という役割分担化が進化したとき、どのように実現されるか、という3点に焦点を当てる。そのために、2者の衝突回避行動を題材としてエージェントベースモデルを設計し、ゲームの利得に基づいた進化シミュレーションを行った。

その結果、譲る意図を意味す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」というふたつのコミュニケーションの型が進化した。収束型は、一方が自分の譲歩の意図を示し (manipulation)、他方がそれを理解する (mindreading) と解釈できるものである。また、収束型の進化は社会的環境（対立度）に次のように依存することが示された。対立度が低い場合にはこのコミュニケーションは進化し、進化する場合としない場合には対立度による明確な境界が存在した。この境界は、対立度がある値より大きくなると、コミュニ

ケーションをする個体同士の利得が低下し、コミュニケーションをしない（相手に関係なく独立に行動を決定する）個体に排除されてしまうからであると思われる。

これらの実験を通して、心の再帰的处理、あるいは、コミュニケーションの成立といったヒトの独自性を際立たせる特徴の創発について、心・行動の推測に基づく社会的相互作用の進化として検討した。その結果、心・行動の推測をすることの適応性は社会的環境に強く影響され、それに伴い社会的相互作用も変化することが示された。特に、心・行動の推測が適応的となるような特定の条件を満たすときに、心・行動の推測は進化・社会的相互作用は複雑化し、上記の特徴が創発することを明らかにした。本研究の実験はヒトや動物の進化を対象としたシミュレーションではないが、今後、ヒトや動物に直接的に関わる研究と密接に連携していくことにより、実験・観察が困難で未解明な点の多いヒトや霊長類の心の理論や社会的相互作用の起源や進化の解明が進むと考えられる。