

心の理論の進化に関する *NKC* 適応度地形に基づく検討

加藤 正浩 † 有田 隆也 ‡

名古屋大学 情報文化学部 † 名古屋大学 大学院情報科学研究科 ‡

1 はじめに

ある生物が他個体の意図や推測などの内容を理解できる場合、その生物は「心の理論」を持つと言われる。人間のような社会的生物では、心の理論によって他個体のモデルを持ち、その行動を予測できるように進化してきたと考えられる。本研究は、そのような他者モデルの中の他者モデルという意味における階層性、再帰性に関する適応性に焦点を合わせ、シンプルな計算論的モデルに基づいた進化実験を行う。

2 心の理論と心の階層的表現

Premack と Woodruff らによれば、ある生物個体が心の理論を持つということは、その個体が他個体の意図・推測などの内容が理解できるということである^[1]。心の理論を持つことは、他個体の行動予測が正確になる点や、他個体が獲得した有益な情報を獲得しやすくなる点で適応的と考えられる。一方、Dennett は（生物とは限らず）他者の行動を解釈する方法論としての「志向的構え」に基づく他者の内的状態の階層的表現を提案している^[2]。このような階層的表現を使って心の理論に関するレベル、ここでは、他個体の行動についての予測の深さに関する表現を考えると、レベル 0 の生物は単に外界の物理的世界について理解しているだけ、レベル 1 の生物は外界の中に存在する（レベル 0 の）相手の行動を予測可能、レベル 2 の生物は行動を予測している（レベル 1 の）相

手の行動を予測可能、というように低次のレベルの定義を再帰的に使って高次のレベルを定義することにより予測のレベルを考えることができる。

3 モデル

ある個体の行動の良し悪し（適応度）が他個体の行動に影響されるという一般的な社会的状況を考えるために、ここでは次のような 2 者による山登りを想定する。それぞれは別の山を登っているが、一方の山を登っている個体の位置に依存して、自分の山の形状が変化するものとする。なお、両者は相手がどこにいれば、自分のいる場所の高さ（適応度）がどうなるかを知っているものとする。この設定により、相手が次にどちらに一步を踏み出すと考えるかという心の読み合いの状況が生まれる。

本研究では、山のモデルとして *NKC* 適応度地形を採用している。*NKC* 適応度地形とは、適応度地形が互いにリンクした競合的な生物 2 種間の共進化のモデルである。ここで N は個体の総遺伝子数、 K は自身の各遺伝子が自身の遺伝子に関連する数、 C は自身の各遺伝子が他種の遺伝子に関連する数を表す。各遺伝子は 2 種類の対立因子である 1, 0 で構成され、各遺伝子と関連する $K + C$ 個の各遺伝子の全組み合わせ各々に 0.0 から 1.0 までの小数をランダムに割り当てる。また遺伝子 i の適応度 w_i は、 i 自体及びそれに関連する $K + C$ 個の対立因子の組合せに割り当てられた値とし、個体の総合的な適応度 W は各遺伝子の適応度の平均とする。

本モデルでは、各個体の行動の世代における行動は自分の N 個ある遺伝子を 1 つ反転することである。反転させる遺伝子は、 N 個の各遺伝子を独立に反転させた場合の適応度の増加を計算

An Investigation on the Evolution of a Theory of Mind by using a *NKC* Fitness Landscape

†Masahiro Kato School of Informatics and Sciences, Nagoya University

‡Takaya Arita Graduate School of Information Science, Nagoya University

し、この量のもっとも大きいものとする。適応度が增加する遺伝子がない場合は何も行わない。この操作を両個体で独立に一回ずつ行うことにより次世代をつくり、各個体に対して適応度を計算して、それを次世代の適応度とする。

予測の深さに関しては、レベル0を相手の行動を予測せずに自分の反転する遺伝子を決める状態、レベル1を相手がレベル0の行動をすると仮定して自分の反転する遺伝子を決める状態、レベル2を相手がレベル1の行動をすると仮定して自分の反転する遺伝子を決める状態、…とする。

4 実験

まず、 NKC 適応度地形のパラメータとして、 N は、20, 50, 100, K は 0, C は 1 とし、予測レベルは 0 から 9 で 2 個体で同一とした。2 個体の初期遺伝子列をランダムに設定した後、20 個の適応度の割り当てに対して実験を 100 世代行う。その後、初期遺伝子列を変更し、同様に行う。この一連の流れを 20 回繰り返す、各レベルにおける 100 世代分の適応度の平均をとった (図 1)。縦軸は個体の適応度を、横軸は個体のレベルを表す。同図より、予測レベルが偶数の場合の個体の方が、奇数の場合よりも適応度が高くなるという興味深い結果が得られた。奇数レベルでは、相手が何も予測しないレベル 0 と仮定することから予測を始め、偶数レベルでは、自分が何も予測しないレベル 0 と仮定することから予測を始める。この出だしの違いが奇数レベルと偶数レベルの差を生んでいると思われる。さらに、レベル 1 とレベル 0 は他のレベル $L+1$ とレベル L に比べて、予測する・しないという質的な差がある。この差が偶数レベルの優位性につながっている可能性がある。なお、各レベルの適応度は、世代が進むにつれて偶数レベルの個体の適応度が奇数のものより高くなる傾向があることも観察された。

次に一方の個体の予測レベルを 0~5 において固定し、他方のレベルを 0~6 まで変化させた実験を行った (図 2)。 NKC 適応度地形のパラメータの N は 100 とし、10 個の適応度の割り当ての各々に対し 10 個の初期ビット列を用意し、他の設定は上記と同様である。同図より、予測レベル

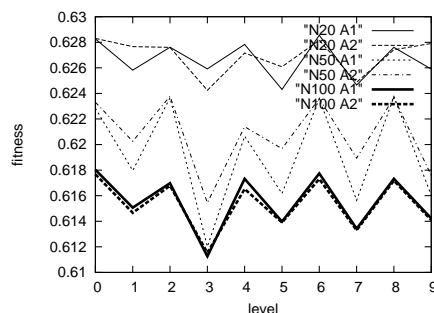


図 1 $N = 20, 50, 100$ での 2 個体の各レベルにおける平均適応度

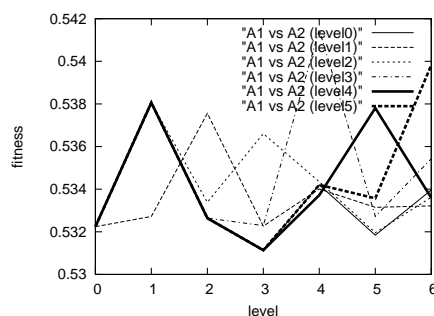


図 2 他個体のレベルが 0~5 における個体の各レベルの平均適応度

が相手より一段深い個体の適応度が他のレベルとの組み合わせより高くなる傾向が示された。これは、相手の行動を正確に予測できるためである。

5 おわりに

心の理論の起源や進化に関して検討するために、 NKC 適応度地形上の 2 者の山登りに関する行動予測のモデルを提案し、予測の深さに関する適応性を検討した。その結果、予測レベルが同じ時は、予測レベルが偶数の場合の方が奇数の場合よりも個体の適応度が高くなることがわかった。また、2 個体の予測レベル差に関しては、1 深いレベルの場合の適応度が高いことが示された。現在、予測レベルを進化させる実験を行っている。

参考文献

- [1] Premack, D. and Woodruff, G.: Does the chimpanzee have a theory of mind?, *The behavioral and Brain Sciences*, Vol. 1, pp. 515-526 (1978).
- [2] Dennett, D.: *The Intentional Stance*, MIT Press (1987).