

## 誤認の進化に関するエージェントベースモデル

赤石 仁<sup>†a)</sup>(学生員) 有田 隆也<sup>††</sup>(正員)

Agent Based Modeling for Investigating the Evolution of Misperception

Jin AKAISHI<sup>†a)</sup>, Student Member  
and Takaya ARITA<sup>††</sup>, Member

<sup>†</sup>名古屋大学大学院人間情報科学研究科, 名古屋市

Graduate School of Human Informatics, Nagoya University,  
Nagoya-shi, 464-8601 Japan

<sup>††</sup>名古屋大学大学院情報科学研究科, 名古屋市

Graduate School of Information Science, Nagoya University,  
Nagoya-shi, 464-8601 Japan

a) E-mail: jin@create.human.nagoya-u.ac.jp

あらまし 認知における不正確性の進化的基盤を理解するため、資源探索問題でエージェントが情報を獲得する際の誤りやすさを進化させる計算機実験を行った。その結果、基本的に集団としての最適点の近くに進化するが、資源の偏りが集団レベルの適応性と個体レベルの適応性の差を生み、誤認度の低い方向へ進化する傾向が示された。

キーワード 誤認, 進化, 多様性, 適応性, 進化心理学

### 1. ま え が き

多様性は生物学をはじめとして広い分野で中心的なテーマであり、多くの研究がなされてきた。多様性を生み出すメカニズムの一つとして、ある形質が集団中で一般的になるほど、その形質をもつ個体の適応度が減少するような頻度依存の適応度関数をもつ選択があり、それを負の頻度依存選択という。多様性の起源と進化を解明しようとするために、負の頻度依存と多様性に関して、行動生態学と集団遺伝学の分野で研究がなされてきた。特に、負の頻度依存選択が集団における遺伝的な多様性の増加を促すことが、ゲーム理論の分野において示された[1]。負の頻度依存特性は人間などの生物集団の行動にも存在する。そのため、推論システム[2]やコミュニケーション・システム[3]など、異なるレベルにおいて多様性が自律的に進化し得ると考えられる。

多様性が自律的に進化するシステムとして、認知システムの基礎としての認識システムを対象とし、誤って情報を認識する「誤認」には、単なる物理的限界に起因する誤りではなく、適応的であるために進化によって獲得された機能という側面もあるのではないかという考えを検討する第一歩として、構成論的手法に

基づいてエージェントベースモデル(前モデルと呼ぶ)によるシミュレーション実験が行われた[4],[5]。このモデルでは、資源探索問題を対象として、エージェントが資源の位置を誤認することによる集団レベルの適応性に与える影響が検討された。その結果、1) 誤認はエージェントが特定の資源に集中するのを妨げ、集団行動の多様性を調節することにより、集団全体として適応的となり得る、2) コミュニケーションは情報共有により認識の多様性を減じ誤認の効果を減少させる、3) コミュニケーション自体における誤認も認識の多様性を保ち適応的となり得る、4) 1) から 3) の効果は、情報のもつ、特定行動を促進する度合いが高いほどより大きい、ことが明らかとなった。

研究の次の段階として、本論文では、適応進化のダイナミクスが誤認を進化し得るかという点に関する検討を行う。進化に対するオーソドックスな見解は、進化は個体、あるいは遺伝子レベルを単位として起こるというものであるが、問題となるのは、集団レベルと個体レベルにおける適応性が必ずしも一致しないという点である。特に、本論文で扱うような、他個体の形質の頻度に応じて自分の適応度が決まるような頻度依存の問題では、個体群の適応度が時間とともに増加することは保証されない。

本論文では、前モデルによる実験の結果を受けた、このような問題意識から、エージェントベースモデルにおける適応進化のメカニズムとしてシンプルな遺伝的アルゴリズムを採用し、誤認の度合を個体レベルで進化させる実験を行う。これにより、集団レベルでは適応的となり得ることが示された誤認を、適応進化の産物としてみなすことの妥当性、つまり、誤認の進化的基盤の理解を目指す。

### 2. モ デ ル

#### 2.1 タ ス ク

正方形の非トーラスな二次元平面であるフィールド上の資源をエージェントが探索する問題を対象とする。エージェントはある一定範囲の視界範囲をもち、フィールド上の資源の位置を認識し、認識した資源の中で、最も近いものに向かって移動する。前モデルではグリッド平面上をセル単位で移動していたが、本モデルでは資源へのベクトルに沿って移動する。そして、エージェントの下に資源があれば獲得する。認識、移動、資源獲得のこのサイクルを1ターンと呼ぶ。1個所当りの資源量は1であり、フィールド上に一樣乱数によって配置される。エージェントに獲得されると資

源はなくなり、1 ターン後に同じ場所に復活する。

誤認は以下のように設定した。誤認度  $m$  は、0.0 から 1.0 の間の実数であり、各エージェントが情報を獲得する際に情報を誤る程度を表す。初期状態では、各エージェントに一樣乱数で上記範囲内に生成された誤認度が割り当てられる。前モデルでは、誤認が生じると、フィールド上の任意の点に一樣な乱数で誤認位置が決定されていたが、本モデルでの誤認は、より自然なモデルとするために、資源の位置を中心とした正規分布に従う乱数によって決定した位置に認識されるものとした。具体的には、認識の際、資源への方向に、

$$a = \frac{\pi}{4} \text{rnd}_{\text{gauss}}(0, m)$$

を加えた角度に資源が存在すると認識する。 $\text{rnd}_{\text{gauss}}(x, y)$  は平均  $x$ 、標準偏差  $y$  のガウス分布乱数を表す。また、距離についても実際の資源までの距離  $d$  とすると、 $\text{rnd}_{\text{gauss}}(d, \tan(a)d)$  の距離に存在すると認識する。

## 2.2 進化

本研究では、誤認の進化的基盤を理解する研究の第一歩として、エージェントベースモデルにおいて適応進化のダイナミクスを与えるシンプルな遺伝的アルゴリズムを採用し、各エージェントのもつ誤認度を進化させた。進化操作として、ルーレット選択、グローバル突然変異、ローカル突然変異が順に適用される。決められたターン数だけ資源探索が行われた後、ルーレット選択で、各エージェントが集めた資源量を適応度として、次世代に残るエージェントが規定個体数分だけ選択される。選択されたエージェントは、次世代もその誤認度を継続して保持し、また同じ初期位置に置かれる。2 回以上選ばれたエージェントの誤認度は、選択されなかったエージェントに割り当てられる。グローバル突然変異とは、グローバル突然変異率に基づいて選択された個体の誤認度を範囲内の一樣乱数で生成された値に変更する操作であり、ローカル突然変異とは、ローカル突然変異率に基づいて選択された個体の誤認度  $m$  を、 $\text{rnd}_{\text{gauss}}(m, \text{ローカル突然変異幅})$  に変更する操作である。

## 3. 実験

パラメータは、フィールドサイズ 100、エージェント数 20、資源数 40、ターン数 400、世代数 1000、グローバル突然変異率 0.01、ローカル突然変異率 0.04、ローカル突然変異幅 0.001、視界範囲 40、移動距離 5 とした。フィールドサイズ、視界範囲、移動距離は口

ポットによる実現を想定し、実際のロボットや実験環境を想定して設定した。世代数、エージェント数、資源数は計算量の制限などを考慮して決定した。ローカル突然変異幅に関しては、これまでの研究から誤認度の最適点が適応度地形の幅からみて比較的狭い範囲にあることを考慮し、十分な探索精度をもたせるため、全探索範囲の  $1/1000$  とした。採用した遺伝的操作やパラメータ値の影響に関する詳細な解析は今後の検討課題である。

まず、モデルの基本的性質の把握と前モデルの性質との比較のため、前モデルと同様に誤認度を進化させずすべてのエージェントが同じ誤認度をもつ条件で実験を行った。結果を図 1 に示す。50 試行の平均をグラフ化した。誤認度が 0.15 までの範囲で、誤認しない場合（誤認度 0）より、平均して約 2% 適応度が高く、ピーク（4933）では約 3% 高い。この結果より、誤認の設定を変更した本モデルでも、前モデルと同様な誤認の有効性が確認された。

次に、誤認度を進化させる実験を行った。結果を図 2、図 3、図 4 に示す。図 2 は各個体のもつ誤認度の分布、図 3 は適応度と誤認度のそれぞれの各世代における平均の推移、図 4 は図 3 の 100 世代までを拡大したものを表している。各グラフは 5 試行の平均である。図 3 と図 4 の水平方向の直線は、図 1 で示されたピークを示している。図 3、図 4 において、適応度は約 10 世代で約 4800 になるまで上昇し、その後、ほぼ横ばいの傾向ながら、特に 400 世代以降、若干の減少傾向を見せている。実際、600 世代以降では、200 世代から 550 世代の間と比較して約 2% 減少している。一方、誤認度はゆっくりではあるがほぼ減少の傾向を保ち、0.15 未満に至っている。図 2 より、600 世代以前は誤認度 0.1 未満は全体の 40% であるのに比較し

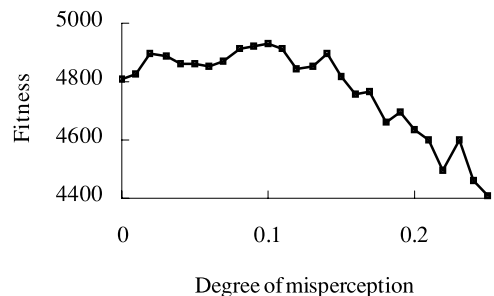


図 1 全エージェントの誤認度が等しい場合の平均適応度  
Fig. 1 Average fitness when all agents have even degree of misperception.

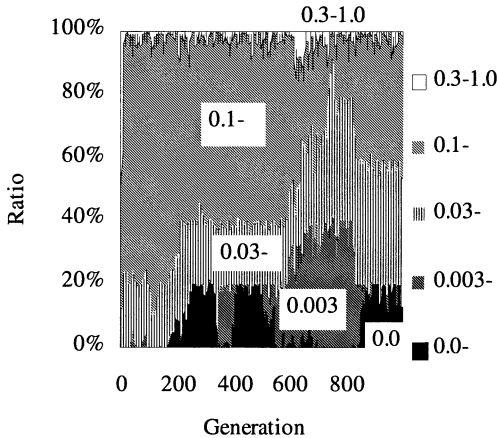


図 2 進化的手法を適用した場合の誤認度の比率  
Fig.2 Ratio of degrees of misperception with GA.

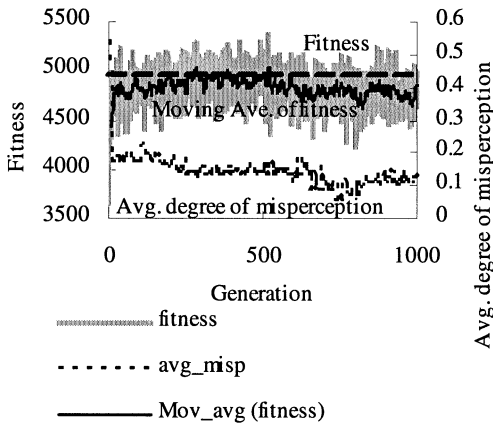


図 3 進化的手法を適用した場合の適応度と平均誤認度の推移  
Fig.3 Transition of fitness and average degree of misperception with GA.

て、600 世代以降では全体の 60%以上を占めている。

集団としての進化の方向性は集団の適応度を高める方向と基本的には一致するが、適応度をやや下げながらも、誤認度が低下していく原因は、資源分布の局地的な疎密に関係すると考えられる。誤認度が大きいエージェントは資源に向かう確率が小さくなるため資源の獲得の確実性は減るが、資源が離れて存在する環境では、行動範囲が大きくなり適応度が高くなることが考えられる。つまり、集団内の誤認度は均一であることがいつも最適とは限らず、資源密度の偏りに応じた分布が最適となるはずである。その際、資源が疎な環境に適応したエージェント、つまり誤認度の大きいエージェントは獲得できる資源量の小ささゆえに、淘

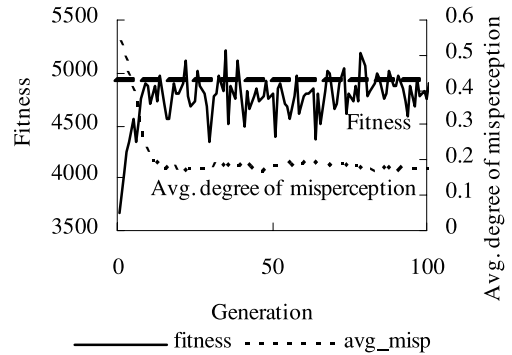


図 4 進化的手法を適用した場合の適応度と平均誤認度の推移 (一部拡大)  
Fig.4 Transition of fitness and average degree of misperception with GA (enlarged portion of the Fig.3).

汰されがちである。そのため、誤認度は初期分布から継続的に減少し、適応度が下がってもその傾向は継続したと解釈できる。

#### 4. む す び

人間の心的活動を進化という長い時間尺度でとらえることを試みる進化心理学の研究領域がある [6]。本論文では、進化心理学と同様の視点、及び、構成論的な研究手法に基づいて、誤認を進化的に理解することを目指し、資源探索問題でエージェントが情報を獲得する際の誤りに着目したエージェントベースモデルを作成した。まず、基礎実験として、全個体が等しい誤認度をもつ条件で実験を行い、前モデルと同様な誤認の適応性を確認した。次に、個体ごとに誤認度が進化する実験を行った。その結果、誤認度は集団として最適な値に向かうが、徐々に低い誤認度が優勢となり、全体の獲得資源量が若干減少していく傾向が見られた。これは、資源の疎な環境では誤認度の高い個体が適応的と考えられるが、集団全体の中では淘汰されやすいため、最適な誤認分布より低い誤認度の方向に選択圧が働き、集団の獲得資源量に影響したからであると考えられる。

これらの知見は、社会的生物における認知の誤りが進化的基盤をもつという仮説を基本的に支持するものであった。工学的応用の観点からは、センサ入力情報の精度を環境に応じて進化的に調整する適応的群口ポットシステムが考えられる。その際、本実験で明らかになったような多様性の抑制に基づく適応度の減少を避けるために、例えば、進化的操作を局所的に行う方式の検討などが重要となるであろう。

謝辞 本研究の一部は 21 世紀 COE プログラム「計算科学フロンティア」による助成のもとで行われた。

文 献

- [1] J.M. Smith, *Evolution and the theory of games*, Cambridge University Press, 1982.
- [2] W.B. Arthur, "Inductive reasoning and bounded rationality," *American Economic Review*, vol.84, pp.406-411, 1994.
- [3] T. Arita and Y. Koyama, "Evolution of linguistic diversity in a simple communication system," *Artificial Life*, vol.4, no.1, pp.109-124, 1998.
- [4] 赤石 仁, 有田隆也, "誤認の適応性に関するエージェントベースモデル," *信学論 (D-I)*, vol.J87-D-I, no.4, pp.482-491, April 2004.
- [5] J. Akaishi and T. Arita, "Misperception, communication and diversity," *Artificial Life VIII*, pp.350-357, 2002.
- [6] 渡辺 茂 (編), *心の比較認知科学*, pp.384-385, ミネルヴァ書房, 2000.  
(平成 16 年 12 月 15 日受付, 17 年 2 月 18 日再受付)