

先天的な脳機能局在性を考慮した認知機構のモデル化

島一将† 武藤敦子† 加藤昇平† 伊藤英則†

†名古屋工業大学

1 はじめに

人間の脳には視覚刺激と活性する神経細胞群の間に 1 対 1 の対応関係が存在する可能性が Quian[1] により報告された。これによると、ある特定個人の写真を提示した場合にのみ活性する小規模な神経細胞群が被験者の脳から観察された。これらの神経細胞群は特定個人を認識する機能に係わると考えられる。この報告は脳機能局在論における機能の局在性の粒度が細胞単位であるという仮説を支持するものである。一方、人間の例と同様に特定刺激にのみ活性する神経細胞を持つと考えられる動物が存在する。アフリカ中部以南のサバンナ地帯に生息するベルベットモンキーは接近物を発見し、外敵と認識した際に警戒音を発声する。外敵であるワシ・ヒョウ・ヘビに対して異なる警戒音を用いる。ベルベットモンキーはこの能力を先天的に獲得していることがわかっている。我々はこのサルが特定外敵種に活性する神経細胞を先天的に獲得していると仮説を立てた。本稿では認識機能と行動決定機能で構成される認知機構の進化モデルを提案する。提案モデルを用いてマルチエージェントシミュレーションを行い、エージェント脳内に特定の刺激にのみ反応する神経細胞が発現するか考察する。

2 先天性認知機構モデル

図 1 に提案モデルの概要を示す。2次元に配置されたセルはエージェント脳内の神経細胞を表す。エージェントが接近物 $object$ に遭遇すると脳内の認識関数によって活性する神経細胞 $Cell_{x,y}$ が決定される。そして活性した神経細胞をとする行動関数を用いて行動 act が決定される。認識関数及び行動関数はエージェントが持つ遺伝子により定義する。ここで接近物と活性する神経細胞の対応を脳内マップと呼び、 $Cell_{x,y}$ は脳内マップ上の座標 (x, y) 上に位置する神経細胞を意味する。

2.1 エージェント

エージェントは遺伝子 $Gene_P$ と $Gene_A$ と評価値 $eval$ で構成される。

$$agent(Gene_P, Gene_A, eval) \quad (1)$$

$Gene_P$ は認識関数の働きを持つ遺伝要素であり以下の式で表現される。

$$Gene_P = (gc, \begin{pmatrix} gp_1 \\ gp_2 \end{pmatrix}) \quad (2)$$

ここで gc , gp_1 , gp_2 は M 次元の bit ベクトルを表す。 $Gene_A$ は行動関数の働きをする遺伝要素であり行動 $act \in Act = \{act_1, act_2, \dots, act_V\}$ を各要素を持つ N 行 N 列の正方行列で表現される。

*Model of the cognitive mechanism considering congenital localization of brain function, Kazumasa SHIMA†, Atsuko MUTOH†, Shohei KATO† and Hidenori ITOH†
†Nagoya Institute of Technology
Gokiso-cho, Showa-ku, Nagoya 466-8555, Japan
{shima, shohey, atsuko, itoh}@juno.ics.nitech.ac.jp

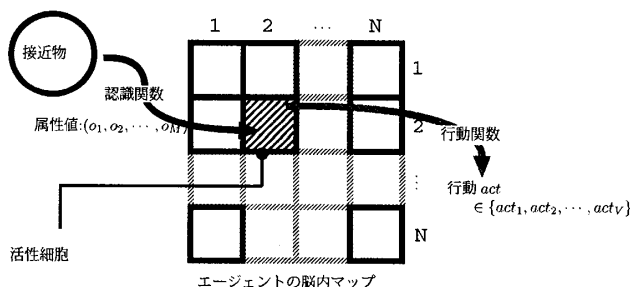


図 1: モデル概要

2.2 接近物

エージェントが遭遇する接近物を以下の式で表現する。

$$object = (o_1, o_2, \dots, o_M) \quad (3)$$

o_1, o_2, \dots, o_M は接近物の属性値である。本稿では K 種の接近物を考える。

2.3 認識関数

認識関数は接近物 obj に対して活性する神経細胞 $Cell_{x,y}$ を決定する。認識関数は $Gene_P$ の要素と obj の要素を用いて以下の式で定義される。

$$(x, y) = P(obj) = \left(\sum_{e=1}^M (gc_e(\overline{gp_{1e}} \oplus o_e)), \sum_{e=1}^M (gc_e(\overline{gp_{2e}} \oplus o_e)) \right) \quad (4)$$

2.4 行動関数

エージェントは活性細胞 $Cell_{x,y}$ に応じた行動 act を取る。行動 act は $Gene_A$ を用いて以下の式で決定される。

$$act = Gene_A(x, y) \quad (5)$$

これは $Gene_A$ の (x, y) 要素を参照する関数であり、割り当てられた行動を返す。

2.5 CC 細胞

本稿では先天的に特定外敵種にのみ活性する神経細胞に着目する。 U を全ての接近物の集合、 S をある特定の接近物種の集合とすると、以下の条件を満足する満足する神経細胞 $Cell_{x,y}$ を S の CC 細胞と定義する。

$$\begin{aligned} \sum_{obj \in S} fire((x, y), object) &> B \\ \text{and} \\ \sum_{obj \in U-S} fire((x, y), object) &= 0 \end{aligned} \quad (6)$$

ここで $fire$ 関数は $Cell_{x,y}$ が $object$ に対して活性する場合に 1 を返す関数であり、 B は閾値を表す定数である。

$$fire((x, y), obj) = \begin{cases} 1 & \text{if } (x, y) = P(object) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

2.6 行動評価

エージェントの適応度は遭遇する接近物に対して適切な行動が取れるか否かで評価する。評価値 $eval$ は以下の式で更新される。

$$eval \leftarrow eval + est(act, object) \quad (7)$$

est 関数は後述する行動評価テーブルに従い評価値の増加量を返す関数である。

表 1: 条件設定

	K	接近物種 S	行動種類 Act
実験 1	2	$E = o_1 o_1 *** o_6$ $Safe_1 = U - E$	$act1$ $act3$
実験 2	3	$E = o_1 o_2 *** o_6$ $H = \bar{o}_1 o_2 *** o$ $Safe_2 = U - (E \cup H)$	$act1$ $act3$
実験 3	3	$E = o_1 o_2 *** o_6$ $P = o_1 o_2 *** \bar{o}_6$ $Safe_3 = U - (E \cup P)$	$act1$ $act2$ $act3$

E : Eagle (ワシ), H : Hawk (タカ),
 P : Panther (ヒョウ), $Safe$ (無害接近物)
 $Safe_1 = U - E$, $Safe_2 = U - (E \cup H)$, $Safe_3 = U - (E \cup P)$
 $act1$: 茂みに逃げる, $act2$: 木に登る, $act3$: 無視する

表 2: 行動評価テーブル

	実験 1		実験 2			実験 3		
	E	$Safe_1$	E	H	$Safe_2$	E	P	$Safe_3$
$act1$	90	0	90	90	90	100	50	90
$act2$	-	-	-	-	-	50	100	90
$act3$	0	100	0	0	100	0	0	90

E : Eagle (ワシ), H : Hawk (タカ),
 P : Panther (ヒョウ), $Safe$ (無害接近物)
 $Safe_1 = U - E$, $Safe_2 = U - (E \cup H)$, $Safe_3 = U - (E \cup P)$
 $act1$: 茂みに逃げる, $act2$: 木に登る, $act3$: 無視する

3 実験

接近物種数 K 及びエージェントが取り得る行動の数 $|Act|$ を変化させて進化シミュレーションを行った。本稿では表 1 に示す条件設定で行った実験について報告する。ただし、全実験に共通する条件設定としてエージェント数:100, 世代交代数:2000 とし、エージェントは 1 世代あたりに 100 回接近物に遭遇するものとした。また、CC 細胞の条件となる閾値を $B = 8$ とした。各実験においてエージェントの評価に用いた行動評価テーブルを表 2 に示す。各実験でエージェントの脳内マップの変遷を観察する。

3.1 実験結果

図 2 に各実験の初期世代と最終世代における、あるエージェントの脳内マップを示す。初期個体のランダム性により初期世代については全実験で大差が無いため実験 1 ののみを表示した。図 2(a) を見ると初期世代においてはワシ接近物と無害接近物の両方に活性する神経細胞が多く存在することがわかる。実験 1 の結果から最終世代ではワシ接近物に対してのみ活性するワシの CC 細胞 $Cell_{2,2}$ が発現することが確認できる (図 2(b))。実験 2 の環境下では最終世代でも CC 細胞は発現しないことが確認された (図 2(c))。一方で実験 3 の環境下では最終世代においてワシ CC 細胞 ($Cell_{2,0}$), ヒョウ CC 細胞 $Cell_{3,1}$ が発現することが確認できる (図 2(d))。

実験 2 と実験 3 では接近物種数 $K = 3$ と等しいものの、何故このような違いが現れたのだろうか。そこで、両実験において各世代毎に CC 細胞を持つエージェント数を調べた。図 3 に結果を示す。同図から実験 2 では全世代を通じて CC 細胞の発現は見られないが、実験 3 では約 1100 世代にほぼ全てのエージェントに CC 細胞が発現していることがわかる。

活性細胞は認識関数によって決定する。2 つの接近物の属性値が類似する場合は活性する神経細胞も接近する。実験 1 ではワシ接近物と無害接近物を区別する属性 o_1, o_2, o_6 にのみ反応する神経細胞がワシ CC 細胞として発現した。しかし、ワシ接近物とタカ接近物種

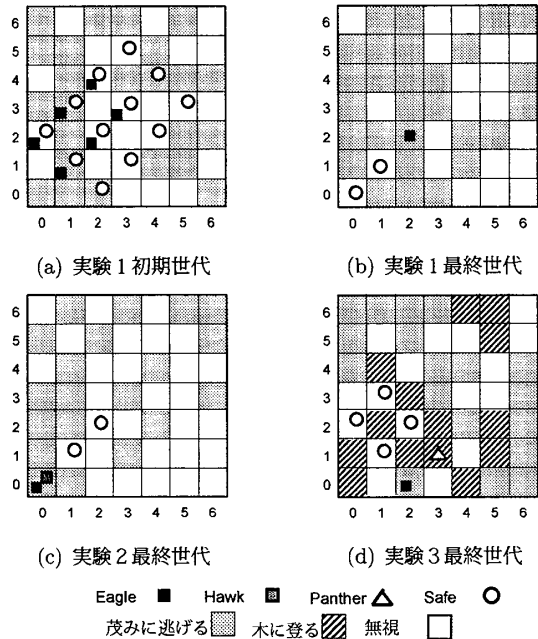
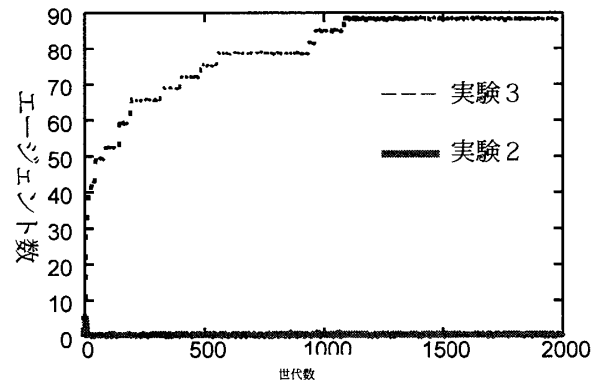


図 2: 脳内マップ



を想定した実験 2 では CC 細胞は発現していない。実験 2 ではエージェントはワシ・タカどちらの接近物に遭遇しても茂みに逃げれば正しい行動となり、ワシとタカを区別して行動する必要が無い。一方で、実験 3 ではワシ接近物種とヒョウ接近物種を想定した。実験 3 ではエージェントはワシ接近物に遭遇した場合は茂みに逃げるの必要があり、ヒョウ接近物に遭遇した場合は木に登る必要がある。従って、実験 3 ではワシ・ヒョウともに CC 細胞が発現したと考えられる。実験 2、実験 3 の結果から接近物と行動に 1 対 1 の対応が要求される環境が CC 細胞の発現を促すと言える。

4 おわりに

本研究では細胞単位での脳機能局在性を表現した認知機構の進化モデルを提案した。そして先天的に特定の外敵種に反応する細胞を CC 細胞として定義し、提案モデルを用いてマルチエージェントシミュレーションを行った。実験により外敵と行動に 1 対 1 の対応関係が要求される環境下では進化によりエージェント脳内に CC 細胞が発現することを明らかにした。

参考文献

[1] R. Quijan Quiroga Invariant visual representation by single neurons in the human brain. Nature Vol 435 2005