

# 身体性に基づく方向付け概念獲得の実験的考察

An Experiment of Orientational Concept Acquisition Based on Embodiment

花形 理

Osamu Hanagata

金沢工業大学 ものづくり研究所

Research Laboratory for Integrated Technological Systems, Kanazawa Institute of Technology

The concepts are constructed by experience which means physical interactions between body and environments. The symbol grounding problem is inevitable for natural communications between humans and robots. In this paper, we discuss that how to acquire orientational concept from physical experience.

Almost metaphors are generated by physical interactions. The physical interactions involve restrictions. A virtual agent moves around in computer virtual space. The agent gets a food or a poison while walking in the virtual space. We simulate the agent and evolve the agent by genetic algorithm. Finally, we discuss the construction of the concept based on agent action.

## 1. はじめに

記号と実世界をどのように結びつけるかという困難な問題は、記号接地問題 [1] として知られ、様々な試みがなされている [2, 3, 4]。筆者は身体による経験に基づく概念の獲得に関して、メタファー論 [5] に基づく概念に注目しシミュレーション実験によって仮想空間上のエージェントの振る舞いについて考察をおこなっている [6, 7, 8]。仮想空間上におかれたエージェントは、始めはでたらめな動きをするが、進化するにつれて適切な行動をとるようになってゆく。本稿では、エージェントとオブジェクトとセンサの関係について仮想空間上でシミュレーションを行い、'GOOD-BAD'、'BIG-SMALL' といった方向付けメタファーに基づいた概念の獲得に関して考察をおこなう。

## 2. シミュレーション

仮想空間上におかれたエージェントを図 1 に示す。エージェントは複数のセンサ、二個の車輪からなり、それぞれの車輪はアクチュエータにつながれている。複数のセンサは仮想空間上にあるオブジェクトを検出しその出力は三層のフェードフォワード型のニューラルネットワーク (NN) の入力となっている。センサ出力は NN の重み行列によって計算され、アクチュエータにつながれトルクを発生し車輪を動かす。センサは仮想空間上に置かれたオブジェクトのエージェントからみた方向、距離に従った値を出力する。エージェントが仮想空間上を自由に移動している間に、オブジェクトと接触するとオブジェクトを摂取し、オブジェクトの種類によりエージェントの内部エネルギーを増減させる。オブジェクトには二種類あり、内部エネルギーを増加させるオブジェクトを餌、減少させるものを毒と呼ぶ。センサも同様に二種類あり、餌を検出する餌センサと毒を検出する毒センサであり、適当な方向に指向性をもった検出を行う。

仮想空間上におかれたエージェントは餌センサと毒センサの検出結果を用いて行動を決定し自由に動き回るが、初期のエー

連絡先: 花形 理, 金沢工業大学大学院高信頼ものづくり専攻, 〒105-0002 東京都港区愛宕 1-3-4 愛宕東洋ビル 12F, TEL: 03-5777-2227, E-Mail: hana@neptune.kanazawa-it.ac.jp

ジェントの NN の重み値はランダムであり、センサの値を適切に行動に反映されていない。

それぞれのセンサはスカラー値を出力し単独では距離と方向が検出できるものではない。複数のセンサの出力値をニューラルネットワークによって計算し出力ニューロンがエージェントのアクチュエータにつながっている。したがって、ニューラルネットワークの重みづけにより、センサに対する行動が変わってくる事となっている。エージェントは餌と毒のある仮想空間上を自由に動き回る間、餌を得るとエージェントの内部エネルギーが増加し、毒を取るとエージェントの内部エネルギーが減少する。内部エネルギーがゼロになるとエージェントは消滅する。生き残ったエージェントを進化させ、長生きするエージェントが生き残っていく。

### 2.1 センサ

センサはオブジェクトを検出し、そのセンサからの距離と方向で出力値が変化する。センサ  $i$  番めの出力  $x_i$  は、オブジェクトまでの距離を  $r$ 、オブジェクトの方向を  $\theta$  としたとき、以下のガウス分布

$$x_i = \frac{1}{r} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i} \exp\left(-\frac{(\theta - \phi_i)^2}{2\sigma_i^2}\right) \quad (1)$$

で表される。ここで、 $\sigma_i$  は分散でありセンサの指向性の高さを表したものであり、 $\phi_i$  はセンサの向いている方向である。

ニューラルネットワークの初期値はランダムに設定するため、エージェントはセンサの信号を活かせずに勝手な動作をする。遺伝的アルゴリズムによって NN の重みを進化させ、餌と毒センサに従った動作をするようになる。

### 2.2 遺伝的アルゴリズム

エージェントは適当な値の内部エネルギーを初期値として仮想空間上を動き回る、その間に餌を得ればエネルギーは一定量増加し、毒にあたれば一定量のエネルギーが減少する。さらにエージェントは車輪に加えるトルクに比例したエネルギーを消費していき、エネルギーがなくなるとエージェントは動けなくなり消滅させる。エージェントが一定時間後の内部エネルギーの値を適応度とし、NN の重み行列とセンサの向き  $\phi_i$ 、指向性  $\sigma_i$  を遺伝子として遺伝的アルゴリズムにしがって進化させる。次世代のエージェントの選択方法は、適応値に比例した確

率で選ばれるルーレット選択 [10] を用いる。すなわち個体  $i$  が選ばれる確率、 $p_i$  は適応度を  $f_i$  としたときの式 2 となる。

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^n f_j}, \quad (2)$$

### 3. 実験結果

実験は二つの環境で行われ、仮想空間上に餌のみの環境と餌と毒の環境のそれぞれの環境でエージェントを進化させた。初めは、NN の重み係数がランダムであるためエージェントの動きはオブジェクトにも反応しない無秩序なものであるが、次第にオブジェクトに反応するものも現れ、200 世代を越えたあたりではほぼオブジェクトに適切な行動をとることができるようになった。

図 2 は、進化した後の典型的なエージェントが餌を摂りながら動く軌跡を明示したものである。エージェントは初期位置 (四角) からターゲット (丸印) を 1 から順番に摂りながら移動している。

餌のみで進化させた餌の角度とエージェントの速度を図 3 に示す。餌に対する速度は指向性があり角度 0 付近で最大になっており他の角度においては小さく 0 に近い。しかし、静止しているのではなく位置を変えずに回転をしていることが図 4 の左右の車輪の符号が逆で絶対値が同じような値になっていることからわかる。すなわち、餌を検出できない場合その場で回転し、特定の角度でセンサが餌を検出すると前方への移動が始まり餌と補足する行動をとる。

餌と毒の環境で進化させたエージェントのオブジェクト対速度を図 5 に示す。餌に対する反応は指向性があるが、毒に対する反応には指向性がなくほぼ全方向に対して負の値、すなわち逆方向への移動、言いかえると毒から回避する行動が発現する。

### 4. 獲得した概念

図 6 はエージェントが獲得した概念の模式図である。一段目は内部的な価値を示し、右が 'GOOD'、左が 'BAD' である。ここでは、餌を摂ることを 'GOOD'、毒を摂ることを 'BAD' と呼ぶ。なぜなら、餌を摂るとエネルギーが増加するため、生き延びる可能性が高くなる行為であり、毒を摂ることはその逆であるためであり、内部的価値 (IDEA) は 'GOOD' の方が大きくなっている。二段目は、形状を示し、右が 'BIG' 左が 'SMALL'

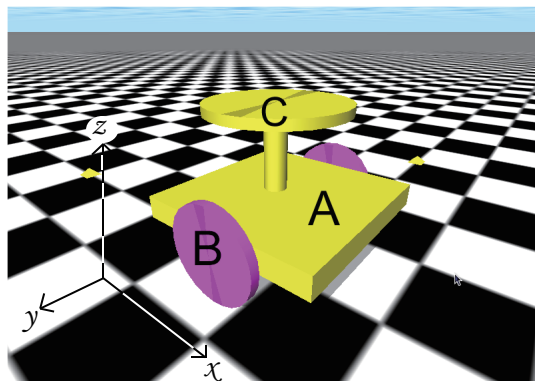


図 1: 仮想空間上のエージェント (胴体 A, 2 つの車輪 B, センサ C)

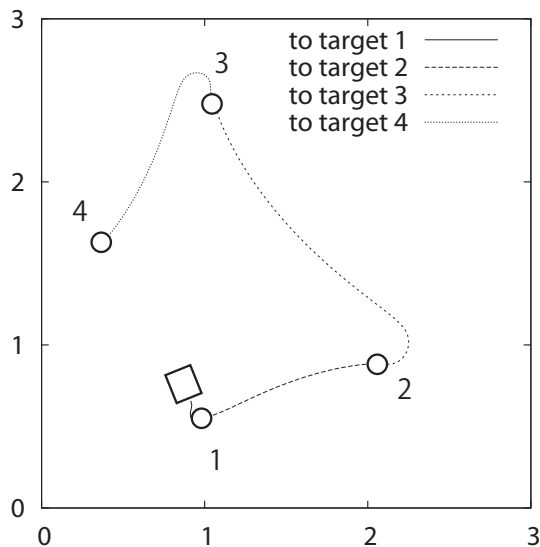


図 2: エージェントがターゲットを順に獲得しながらとった軌跡

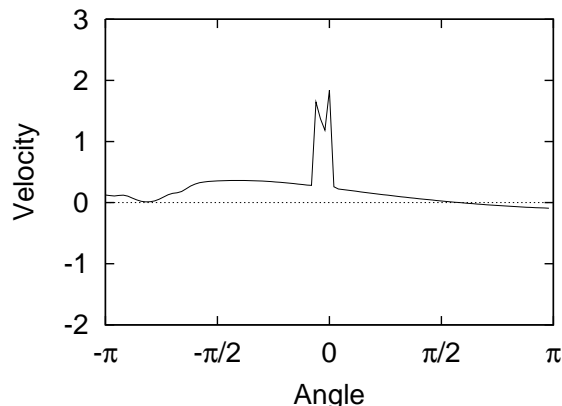


図 3: 餌のみの環境で進化させた、餌の方向に対するエージェントの速度

である。これは近くのは大きく遠くのは小さく検出されるということで、センサ値 (VALUE) は 'BIG' の方が大きい。一段目の BAD が小さい値、GOOD が大きい値を持ち、二段目において SMALL が小さい値 BIG が大きい値をもつことにより、GOOD と BIG が対応し、BAD と SMALL が対応することとなる。三段目のセンサ領域では、右は指向性を持ち、左は一樣な感度を示している。これは、餌を摂る行為は GOOD であり特定の方向であることに対応し、毒である BAD から逃げる行為は全方向であることに対応する。これらはお互い矛盾せずに一貫性 [5] を持つこととなる。

### 5. まとめ

仮想空間上で内部エネルギーを増減させる餌と毒を検出できるセンサをもつエージェントが進化を通して獲得する概念について考察を行った。

今後の課題は社会性から発生する概念の成立過程や、高次の概念への拡張などへの展開である。

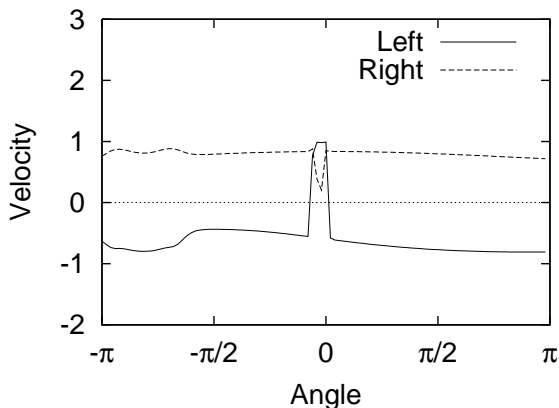


図 4: 餌に対する左右の車輪の速度

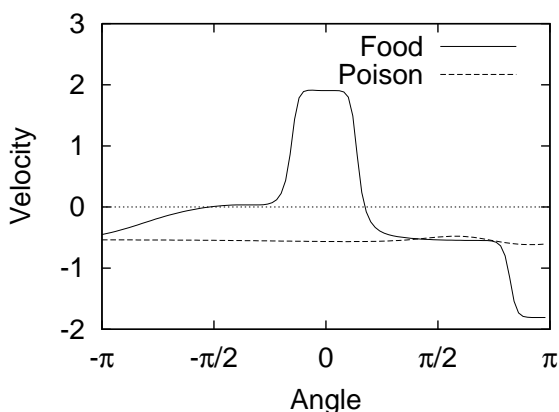


図 5: 餌と毒の環境で進化させた、餌と毒に対するエージェントの速度

参考文献

[1] Harnad, Stevan: The symbol grounding problem. *Physica D*, 42, 335-346, 1990.

[2] T. R. Gruber. A translation approach to portable ontologies. *Knowledge Acquisition*, 5(2):199-220, 1993.

[3] Rodney Brooks, *Intelligence without Representation*, *Artificial Intelligence*, Vol.47, pp.139-159, 1991

[4] Rolf Pfeifer, Christian Scheier *Understanding Intelligence*, MIT Press, 1999

[5] George Lakoff, Mark Johnson: *Metaphors We Live by*, University of Chicago Press, 1986 (「レトリックと人生」, 大修館書店, 1986年)

[6] Osamu Hanagata, *Metaphor and Embodiment in Robotics*, *Proceedings of the 2009 International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing*, pp. 384-387, 2009.

[7] 花形 理, 身体性に基づく概念獲得に関する実験的考察, 人工知能学会全国大会 2009.

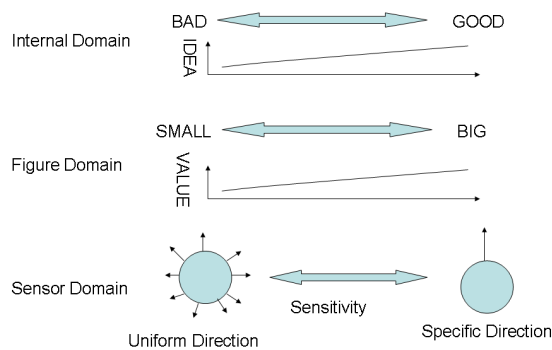


図 6: 概念の模式図

[8] Osamu Hanagata, *An Experimental Study of Concept Acquisition Based on Causal Relationship and Embodiment*, *Proceedings of the 2010 International Workshop on Nonlinear Circuits and Signal Processing*, 2010.

[9] Hornby, G.S., Takamura, S., Yokono, J., Hanagata, O., Yamamoto, T. and Fujita, M.: *Evolving Robust Gaits with AIBO*. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. pp. 3040-3045. 2000.

[10] Darrell Whitley, *A Genetic Algorithm Tutorial*, *Statistics and Computing* (4):65-85, 1994.