

# 身体性に基づく概念獲得に関する実験的考察

## An Experiment of 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. In this paper, we discuss conceptual metaphors and the symbol grounding problem. Almost metaphors are generated by physical interactions. The physical interactions involve restrictions. While real agents get around in three dimensional world, their actions are constrained by the gravity, response from the ground, obstacles and so on. First, we introduce some approaches to solve the symbol grounding problem. We simulate an agent in virtual space for constructing the concept. Finally, we discuss the construction of the concept based on agent action.

### 1. はじめに

本稿では、一貫性を持った概念の獲得を身体性の観点から考察する。身体を持ったエージェントは、身体と環境との相互作用を通して世界を認識しているが、特に、我々人間の思考を支配している概念体系のなかでも、その基盤となっている方向付けメタファーに関して論じる。マルチモーダルな知覚と物理的制約から、一貫性を持った概念の獲得する過程をシミュレーションによって示す。

言語などの記号と外部世界を如何に結びつけばよいかという困難な問題は、記号接地問題 [1] として知られている。Lakoff ら [2] はメタファー（陰喩）研究から、人間の思考を支配している概念体系は、メタファーによって構造をあたえられているという考え方を示した。本稿では、方向付けメタファーに注目し、エージェントが備えている物理的な身体と環境内の制約を具体的な例を用いてシミュレーションすることにより、概念の成立の手がかりを求めようとするものである。具体的には、方向付けメタファーである「前後」、「上下」、「遠近」といった概念が、エージェントが物理世界で行う行為及びその影響とによって生じ、エージェントの行為によって獲得されることを示す。コンピュータ上の仮想空間に仮想的ではあるが物理的大きさをもったエージェントを放ち、物理的制約を受けながら行動する。そのエージェントが進化を遂げる過程で概念構造が構築される事を示す。

### 2. 方向付けメタファーと身体性

古典的な考え方では、我々は3次元空間内に存在しており、上下、左右、前後といった3つの次元はそれぞれ独立なものと考えられている。この場合、「前後」などの概念は、単なる数値の大小であり何の意味付けもなされていない。Lakoff[2] らはこれらの概念が、身体と行動の結果であると主張しているが、様々な例をあげているにとどまり、定量的な考察や構成方法についての考察はされていない。本稿では、身体性が一貫性のある概念構造となり得るのかについて実験を通して考察する。

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

上下、左右、前後などといった概念は、エージェントの行為なしには成り立たない。エージェントが行為を行いその影響をセンサを通して外界の変化を知覚することで、行為と外界の変化との関連性を獲得できるのである。「前」とはエージェントが脚を適当なパターンで動かすこと、つまり地面を蹴って歩くという行為の結果、網膜に写っている外界の風景のうち、周辺部が消えてゆき、中央部の画像がだんだん大きくなっていくという変化を伴っている。歩行を続けることで、遠くにあった物が手に届くようになり、物を掴んで操作したり、食べることが出来るようになる。また、「上」という概念は、客観的には重力に逆らう方向のことであるがそれだけでは不十分で、「上」へ向かうには重力に逆う動き、坂の上の登るような移動は、水平方向へ移動に比べ必要なエネルギーが大きいことを意味する。その一方、網膜上に写る画像を顔を動かしたり眼球を動かして視線を変えようといった行為によって網膜に写る画像の位置が変わる。「上」に存在する物体の画像を網膜上の中央に動かし注視する事、つまり首の関節角を変えようとする行為が「上」という概念の基となっている。一貫性のある構造とは、「上」は「強」、「明」、「良」に対応し、「下」は「弱」、「暗」、「悪い」に対応する使われ方よく起こり、矛盾が生じないということである。

次章では、これらの概念が身体と環境の相互作用によるものであることをシミュレーションを用いて考察する。

### 3. シミュレーション

仮想空間上にエージェントを放ち、仮想空間上を自由に動き回れるようにする。エージェントの脚は、関節角と地面との接触信号を入力とするニューラルネットにより制御される。生物の進化を模した、遺伝的アルゴリズム (GA) によってニューラルネットの重みを更新する。最終的に、エージェントの脚の特定な運動パターンが、エージェント自身を移動させる行為すなわち歩行が獲得される。

エージェントは胴体と二本の脚をもち、それぞれの脚の運動はニューラルネットにより制御される。エージェントは視覚センサと触覚センサを持ち、センサ情報により外界を知覚する。エージェントはコンピュータ上に構築された仮想世界内を自由に動き回ることができるが、重力と摩擦力の制約によって行動が制限される。シミュレーション環境におかれたエージェントはニューラルネットに従って脚を動かすが、初めはニューラル

ネットの重み係数がランダムなため脚の運動パターンはでたらめな動きをする。したがって、エージェントは動くことも出来ず、ほとんどの個体が初期の場所から留まるか転倒する。網膜に写る物体の像を大きくするように進化させると、エージェントの脚の特定な運動パターンがエージェント自身を移動させる行為、すなわち歩行パターンが獲得される。

エージェントの胴体とそれぞれの脚とは点の関節で連結されており、それぞれ3自由度、全部で6自由度をもっている。エージェントの胴体と脚には接触センサが備えられ、床との接触を検出する。センサの情報はリカレントニューラルネットワーク (RNN) の入力となり、リカレントニューラルネットワークの出力は脚関節のアクチュエータにつながりロボットの関節を制御し脚を動かす。

RNNの重み係数は、生物の進化を模した遺伝的アルゴリズム (GA) を用いて学習させる。ニューラルネットの重みを遺伝子とし、優秀な個体を選択する。ニューラルネットの重み係数により脚の運動が制御されるが、始めはランダムであるため、でたらめな動作となり、全く移動できなかったり転倒したりしてしまうが、進化させることで、徐々に移動できるようになる。

RNNのそれぞれの重みを遺伝子とし、遺伝的アルゴリズムを適応し評価、選択、交叉を繰り返し、優秀な個体を選択することでRNNの学習が行われる。遺伝子によって生成された個体をターゲットと共に仮想空間上に置き、 $t=0$  から  $n$  まで適当なステップ数の動力学シミュレーションを行う。 $t=n$  において、エージェントの網膜上のターゲット像の大きさを適応度とする。また、エージェントの視覚の視野角を外れた場合は、ターゲットが見えないことになり適応度は0となる。選択戦略は適応度比例戦略 (ルーレット戦略) に従った選択を行う。

#### 4. 実験結果

個体数 100 に関し、それぞれの個体に対し時刻 600 まで物理シミュレーションを行い適応度を求める選択を 600 世代まで行った。初期のうち、ランダムな遺伝子から生成されるでたらめな脚の運動パターンであるため、脚は動くがまったく移動できないものや、脚の動きが大きすぎたり左右でまったく別のリズムであるため、転倒するものがほとんどである。100 世代を超えるころから、転倒するものがほとんどいなくなり、500 世代のころからほとんどの個体が安定して歩行するようになった。

#### 5. 考察

物理的制約の元で、網膜に写る像を大きくするという進化を起こすことで、「遠近」「大小」といった概念が一貫性をもち、脚を動かし歩行することが双方の概念を関連付けていることとなる。遠くにあるものは小さく、近くにあるものは大きいという経験が一貫性をもっていることになる。ここで注意すべき点は、歩行という行動なしには「遠近」「大小」といった概念は成立しないことである。図 2 に獲得された概念を図示する。エージェントが対象物から遠いという事象は、網膜に写る画像は小さくなるという事象と同時に持ち、対象物に近い事象と画像が大きいう事象も同時に持つ。この二つの事象は、歩行という動作によって関連付けられ、エージェントが行動を起こすことで、事象が変化することを示している。RNN が学習した重み係数は、特定の運動パターンを発現させる係数であり、その運動パターンが外部環境との相互作用を引き起こし、自分の位置を移動するという効果をもたらす。注意すべき

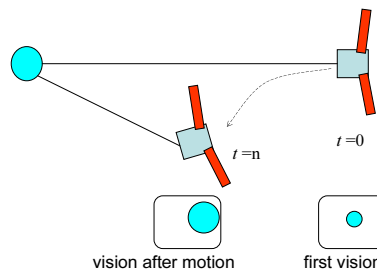


図 1: 仮想空間上のエージェントの動作と観測するターゲットの像

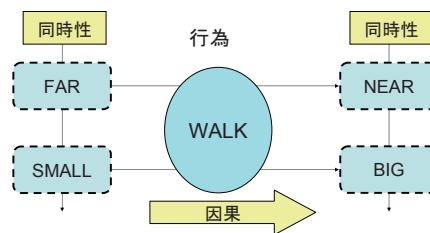


図 2: 行動による概念構造

点は、RNN の学習は、直接に最適解をパターンを覚え込ませるような学習方法ではなく、網膜に写る画像を大きくさせるというポリシーに基づくものである。画像を大きくなるという現象は、エージェントがアクチュエータとセンサを通して外界との相互作用を間接的に観測した結果であり、特定のニューラルネットワークの重みが引き起こす現象である。言い換えると、特定のニューラルネットワークの重みは「歩行」という行動と意味し、「歩行」によって遠くから近くに移動する。

#### 6. まとめ

身体の実験に基づいた方向付けメタファーの中で、「遠近」「大小」といった概念が、身体性すなわち身体の物理的制約の元で成立し、一貫性を持つ過程をシミュレーションによって示した。今後は、身体に基づいたその他の概念の成立過程や、高次の概念への拡張などが課題である。

#### 参考文献

- [1] Harnad, Stevan: The symbol grounding problem. *Physica D*, 42, 335-346, 1990.
- [2] 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)
- [3] 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.
- [4] 花形 理, ”身体性と方向付けメタファーに関する考察”, *信学技報*, vol. 108, no. 427, TL2008-50, pp. 1-4