

「センサーと心」

池上高志

東京大学大学院総合文化系 広域システム科学系

ikeg@sacral.c.u-tokyo.ac.jp

要約 人工的にしつらえたセンサーと、生命の持つセンサーとの違いについて、B.Libetの脳神経生理／認知実験を紹介しつつ議論し、コンピュータの中でのシミュレーションモデルによる構成論的アプローチによる、生命的センサーの理論の可能性について議論する。

0 ランダムネスの捉えかた

生命と人工のセンサーの違いは、ランダムネスの使い方にある。人工のセンサーは、自律性はなく受動的な外部データの転送インターフェイスに過ぎない。一方で生命のセンサーは自律的であり、自発的な運動と不可分に結びついている。この自発性というところにランダムネスが介在する。ランダムネスというのは、機能的なこととは無関係に独立に進行するパターン、行為の上での試行錯誤のことをいう。例えば、視覚におけるランダムなサッケード運動、触覚でモノの形を当てる場合のランダムな触り方、など十分に意識的ではないランダムな手の運動のことである。

このランダムな運動が、たとえば知覚において重要なのは、意識的でないにしろそれが自分で起こす行為だからである。J.J.Gibsonはさまざまな形のクッキーカッター手にランダムに押し付けられてその形を推定する場合と、自分でランダムに手の中で転がす場合では、72パーセントと95パーセントの正答率の差があると報告している(1962)。この差は自分で能動的に手を動かすことで分かることに焦点が当てられる。これをアクティブタッチという。以下ではコンピュータ・シミュレーションをベースに、このアクティブタッチを理解するための新しいフレームワークを紹介し、特に認知現象のベースをなすある種のランダムさを、決定論的に状態が時間発展する力学系の言葉を使ってとらえ直す。そのうえで、B.Libetの自由意志に対する懐疑の問題を論じ、アクティブタッチのシミュレーションを別な角度から論じていく。

1 Dynamical Category

自発運動により、三角形と四角形の識別を行うシミュレーションを行なう(図1)。この識別にはより長い時間尺度での感覚運動統合を必要とする。四角形の上はなるべく多く移動し、三角形の上はあまり移動しないほうがよいという適応度のもとでエージェントを進化させた結果、三角形をみつけた場合にはすぐその物体を離れ、四角形をみつけた場合にはその内部に留まる運動をするエージェントが進化してきた。このエージェントの運動決定には可塑的リカレントニューラルネットワークを用いており、外部から与えられる入出力関係を内部で予測するようにネットワークのウェイトが変化する。この可塑性が運動を時折不規則にする。可塑性を持たせずに進化させた場合の

エージェントの運動は単調で適応度も低く、学習結果そのものは適応度に直接影響しないが、学習のダイナミクスを持つことが、行動の多様性を生み、間接的に適応度を上げることが示された。

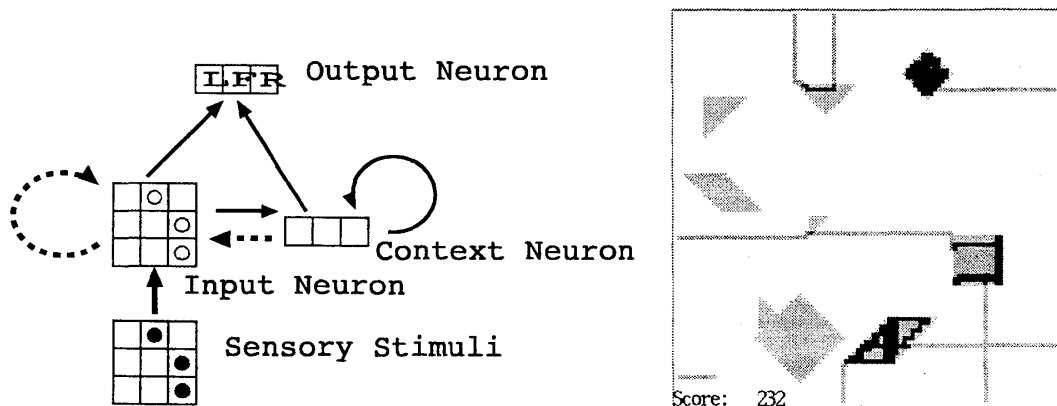


図1 左はエージェントの簡単な構成。平面上の形はビットで構成され、 3×3 のビットをセンサー入力とし、内部状態を介して3つのモーター出力ビットにつなげる。そのときの運動の様子をみたのが右の図である。エージェントは三角形には留まらず、四角形に長く留まって動き回り、次の四角形を捜しに行く。詳しくは (Morimoto & Ikegami, 2004) を参照。

これらのエージェントは能動的な運動によってみつけた物体を知覚していると言えるが、その知覚のパターンは静的で二値的な識別にはなっておらず、対象と相互作用した場合の運動のパターンとしていくつかのグループに分類される。このような動的なカテゴリー化は、識別自体を目的として与えて強化されたのではなく、与えられた複雑な環境下での適応的行動の結果として獲得されたものである。こうしたエージェントは形に関する明示的でシンボリックな表象を持たないが、相互作用によって形に関する情報を内部にとりいれることで、離散的で非古典的なカテゴリー化の能力を身につけたと考えることができる。

3 B.Libetの逆行性遡及(Subjective Referral)

B.Libetは、自由意志の存在を証明しようとして、逆にそれを否定するような結果を出している。ひとつは、意識に先行する準備電位(readiness potential) の話(1982)である。人間が自由意志で腕を動かそうとした時のERPを計測する。すると動かそうと主観的に思ったその時に先行すること0.5秒前に、すでにその腕を動かすための準備電位 (Readiness Potential) が立ち上がっている、という実験結果が報告されている。反射的に手を引っ込めるなどした時にはこのRPは発生しない。したがって、我々が動かそうという意識は、RPの事後的な報告に過ぎないといえる。通常は、動かそうという意識がRPに先行していると思いたくなるが、この結果はその逆を示唆している。Libetは、この結果に対し、「行為をやめる」という判断はRPを伴わないので、この場合にこそ自由意志が介在するのだという議論をしている。

もうひとつのLibetの実験は、逆行性遡及(subjective referral) である。簡単にいうと、知覚される「今」は、物理的な時間で生起する刺激の時間に対し遅れがあるはずだが、未来からの「今」の編集によって補償されているということだ。Libetは皮質(SI) に直接パルス刺激を加える実験(1979)をする。500msecの間60回/secの刺激が続かないと、その感覚は意識上には登ってこない一方で、200msecあたりで今度は皮膚に一発パルス刺激を加える。当然皮膚刺激を与えてから500msecよりは長くかかって(皮膚からSIに到達してそこで活動電位がつくられるまで)、その刺激が意識されると予想される。しかし、実際には皮膚刺激をうけた時間をほぼ正確に(500msecの遅れを伴わず) いうことができる。皮膚刺激とSIに直接与える刺激を同時に感じるには、500msecあたりで皮膚に刺激を与えないといけないのだ。Libetによると皮膚刺激によって皮質に生じる電位パルスの形が大事で、それによってタイムウィンドウを設定し、さかのぼって「その時点の今の」刺激として知覚するという。これをsubjective referral という。このタイムウィンドウの設定が、環境と主体との間の時間遅れを解消してつじつまをあわせるには必要なことである。

この例は、1) 物理的時間の順序と心的時間順序はパラレルである。2) 意思判断の時間に先行して、決定されるべき神経活動が立ち上がっている。という事実を示唆している。つまり、心的時間発展のユニットをつくるタイムウィンドウは、有限幅を持ち、それがオーバーラップしながら、今をノリつけて時間進行を作り出しているように考えることもできる。

4 アクティブ・パッシブの違いをシミュレーションにみる

これらのアクティブとパッシブが意識の問題と関わるのは、第三者的に同じだと思われる運動の構造も、第一人称的には異なるからである。J.J.Gibsonのクッキーカッターの形を当てるゲームのところで書いたように、誰かにランダムに動かされた指と、自分で作り出すランダムな指の運動の構造は違っているようである。このとき知覚されるものは、外から受ける刺激なのか、自分の作り出す時間系列であるのかが分別不可分となっている。そこで次のようなモデルを考える(Iizuka & Ikegami,2005)。やはりニューラルネットを搭載したエージェントを用意するが、今度は腕が2つについている。2つの腕を使って風車の羽の枚数を当てようというのがここでの課題である。そのときにアクティブとパッシブの違いがどのように見られるかを議論した。そのネットワークの概要は以下のようなもので、左右についた2つの腕を3層のニューロンでコントロールし、中間層のネットワークでつながれている。

アクティブな実験では、上下の腕を動かして、図2の右にあるような「風車」を回す。パッシブな場合には風車が勝手に動いて、その羽に腕があたってそれをもとに判定する。判定基準は、中間層の2つのニューロン(A,B)を使って区別する。もしAの値がBの値より大きければ、5枚、そうでな

ければ7枚と判断する。ネットワークを遺伝的アルゴリズムを使って進化させると、風車の羽の枚数

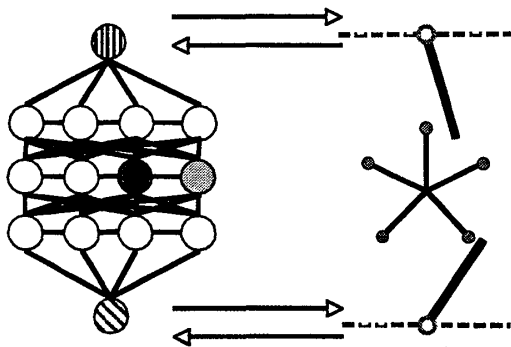


図2 真ん中のニューロンのどちらが状態が大きくなるかに応じて、羽の数を判定するようにネットワークの構造を鍛える。このニューロン群からのインプットを受けて上下2つのニューロンがそれぞれ対応する腕を動かす。腕が風車の羽に当たると、風車はその力の向きに力を受け、腕は羽の位置を知覚できる。

(5枚か7枚か)を当てれるようになるが、それとともに、右の腕はよく動く腕(モーター的)、左の腕はあまり動かない腕(センサー的)に分化することがわかる。アクティブに自分で風車を回す場合と、パッシブに風車が自分で回って、それに腕があたって判定する場合では内部に形成される判定の際のアトラクターが異なることがわかる。つまり同じカテゴリーの形成に際しても、自分で動かして判別した場合と結果的に判別できた場合ではその仕方が異なるということである。詳細は省くが(Iizuka & Ikegami, 2005)、これらのアトラクターのセンサーからの時間遅延を入れた場合の安定性の違いから、アクティブとパッシブの違いが議論される。

5 まとめ

Libetの実験は、自由な主観的時間構造が力学系の上に作られる可能性を示唆するものであり、Iizuka&Ikegamiのアクティブとパッシブの実験は、第3者的に同じことを内的には違うように処理し、その違いが自己運動がもとになっていることを示している。これらをつないでいくことで、生命におけるセンサーの後ろにある「こころ」の形について考えていきたい。

参考文献

- Gibson J.J., Observations on active touch. Psychol Rev, 69:477-491, November 1962.
- Libet, B. MIND TIME (Harvard University Press, 2004) 日本語訳 by 下條信輔(岩波書店)。Libetの2つの実験はこの本の中で紹介されている。
- Morimoto, G., Ikegami, T. Evolution of Plastic Sensory-motor Coupling and Dynamic Categorization. Artificial Life IX: Proceedings of the Ninth International Conference on the Simulation and Synthesis of Living Systems. pp188-193. MIT Press. 2004.
- Iizuka, H., Ikegami, T. Emergence of Body Image and the Dichotomy of Sensory and Motor Activity. Proceedings of the Symposium on Next Generation Approaches to Machine Consciousness. pp104-109. University of Hertfordshire. 2005.
- Ikegami, T., Zlatev, J. From pre-representational cognition to language. Zlatev, J., Ziemke, T., Frank, R., Dirven, R. Body, Language and Mind, Vol.2. Mouton de Gruyter. 2007 (in press).