

# 脳の構造と発生過程に関する進化論的考察

\* 関野 正志, 片上 大輔, 新田 克己

東京工業大学大学院総合理工学研究科

〒 226-0026 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259

sekino@ntt.dis.titech.ac.jp

<http://www.ntt.dis.titech.ac.jp/~sekino>

Abstract: 脳は、関数近似やクラスタリングの他にも、優れた情報処理を行っている。そして、脳が進化的に獲得してきた情報処理機能には、進化論的な必然性が与えられるであろう。ここで、これらの情報処理機能は、系統発生的に獲得された初期トポロジーから個体発生的にトポロジーを再構成することにより、所望の機能を実現し得る構造を獲得し実現されるものと考えられる。そこで、本稿では、脳が育まれた進化過程に基づいて脳の構造と発生過程について考察し、モデルにより実現されるべきタスクについて言及する。

## 1. はじめに

既存のニューラルネットワークモデルは、関数近似やクラスタリングといった情報処理機能を指向して構成され、これらの能力を評価してきた。タスクを定式化すれば、脳との類似性といった観点からではなくタスクの達成度によりモデルを評価することができる。工学的には、モデルが脳の構造を模倣している必要はなく、脳が実現している優れた情報処理機能を実現することが目的となる。また、進化により構成された実際の脳の構造が、特定の目的を遂行するための最適性を有している保証はない。モデルにとって、工学の上で重要なことは実際の脳の構造ではなく、脳が実現している情報処理機能であろう。

脳は、関数近似やクラスタリングの他にも、優れた情報処理を行っている。そして、脳が進化的に獲得してきた情報処理機能には、進化論的な必然性が与えられるであろう。ここで、これらの情報処理機能は、系統発生的に獲得された初期トポロジーから個体発生的にトポロジーを再構成することにより、所望の機能を実現し得る構造を獲得し実現されるものと考えられる。そこで、本稿では、脳が育まれた進化過程に基づいて脳の構造と発生過程について考察し、モデルにより実現されるべきタスクについて言及する。

## 2. 状態表現の圧縮問題

脳の構成基本素子はニューロンと考えられている。各ニューロンは、受容体に接続している他のニューロンからの入力に反応する。脳がこのニューロンによって情報を処理しているとするならば、脳は既にモデル化されてきた人工ニューラルネットワークモデルと基本は同じであると言って良いであろう。ここでは仮に、脳をボルツマンマシンであるとして議論を進める。

ここで、環境・身体・脳の三体の相互作用と進化について考える。簡単のために身体を固定して考察すれば、身体は環境からの情報を脳に渡し、脳からの指令に基づいて環境に作用を与えるインタフェースと捉えられる。端的には、脳は環境において最善方策を採るものが生き残るであろう。しかし、ボルツマンマシンは、サイズが大きければ大きいほど容量を増すが、可塑性があり結合重みなどを修正可能であれば、サイズの大きさは結合重みの修正による適応にかかるコストにも成り得る。この場合、マシンのサイズは容量とコストの間で相対的に決まることになり、脳は、環境を完璧にモデル化するというよりも、生存に必要な情報に敏感に、不要な情報に不感になり、環境を圧縮した形でモデル化するようになると考えられる。たとえば、赤・青・緑の3色と、 $\cdot$   $\cdot$   $\cdot$  の3形状があるときに、赤  $\cdot$  赤  $\cdot$  赤  $\cdot$  ... と記憶する場合の数は9になるが、色と形状を独立した状態空間に記憶すればこれら9つの概念を表現するために必要な記憶容量は6で済む。このように、情報に共通の構造を反映し、状態空間の構成によって状態表現を圧縮することが必要と考えられる。

状態表現は、脳が意志決定する際の始点であり、脳が有する情報処理機能を関数と見れば、関数への入力

に対応する．脳の情報処理機能は，系統発生的に獲得された初期トポロジーから個体発生的にトポロジーを再構成することにより，所望の機能を実現し得る構造を獲得し実現されるものと考えられる．では，この情報処理機能の状態空間はいつ構成されるのだろうか？

### 3. ネットワークトポロジーの先天性と後天性

環境が，個体のアクションに対して状態遷移確率が固定であるならば，脳が可塑性を有している必然性はなく，遺伝子には最善方策を採るような脳の最終形をコーディングしてしまえば良いように思われる．しかし，状態遷移確率が固定でも，環境が脳のサイズに対して莫大に大きい場合，可塑性を持たない脳は現状に対してのみ進化的に適応するため，世界に対して拡がりをもった繁栄を実現し得ないであろう．進化的に獲得した初期構造から，現状に対して適応する可塑性と，強化学習のように方策を適切に改善する仕組みが必要と考えられる．

ここで可塑性には，ボルツマンマシンで言う結合重みの修正とトポロジーの再構成が考えられる．可塑性にトポロジーの再構成原理が含まれているならば，環境との相互作用をトポロジー構成に利用できる．実際，人間を含め，脳が完成形を迎える前に環境との相互作用を開始する生物は多い．脳の最終的なトポロジーをコーディングするよりも，大まかな初期トポロジーとトポロジーの再構成原理をコーディングするほうが遺伝子の探索空間は拘束されるであろうし，最終的なトポロジーとして産み落とされてから結合重みを修正するよりも，トポロジーを構成しながら結合重みを修正したほうが高速な適応や頑健性が実現される可能性もある．

トポロジーを再構成する適応とは，脳の意志決定過程を方策関数と見たとき，方策関数を修正するだけでなく，方策関数の入力空間である状態空間も再構成するということである．既存の強化学習の研究で言えば，Q テーブルや CMAC を関数近似器に用いる強化学習のように状態空間を事前に設計した上で方策関数のみを修正するのではなく，ニューラルネットや正規化ガウス関数ネットワークのような関数近似器を用いて入力空間を構成しながら方策関数を修正する手法 [1] に近いと言える．

### 4. 状態空間構成の後天性を裏付ける知見

有名な例として，生まれてからずっと縦縞の部屋で育てた猫は，横縞を認識できず，横縞の部屋に入れると壁にぶつかってばかりいるという話がある．生後，横縞を経験することがなかったために，横縞を認識する状態表現を構築できなかったためと考えられる．また，乳幼児に視覚刺激を与えたときの脳波を調べると，五感に対応する全ての感覚野が反応するという知見もある．そのため，視覚・聴覚などの五感の区別は，後天的に発達するものと考えられている．このように，状態空間を後天的に構成する原理はどのようなものであろうか？

脳は最初，全て雌型であるが，雄は男性ホルモンの作用によって脳が男性化していく．思春期にも性ホルモンの働きによって，脳の性差が顕著になっていくことが知られている．つまり，後天的なトポロジーの再構成にはホルモンが関与していることが示唆される．

### 5. まとめ

脳の発生過程において実現されているタスクは，情報処理機能を実現する関数を，入力空間と共に構成していくことと言える．

今後，このタスクを定式化し，数理的に研究していきたいと考えている．また，ホルモンによりトポロジーを再構成させるボルツマンマシンモデルを構築し，状態空間を発生過程において構成する原理について，進化シミュレーションを用いてさらに考察していく予定である．

### 参考文献

- [1] 近藤敏之, 伊藤宏司: “進化的 recruitment 戦略を用いた強化学習による自律移動ロボットの制御器設計”, 計測自動制御学会論文集, 39, 9, pp. 857-864 (2003).