

## 解説



## 様々な角度から見たニューラルネットワークの将来像

 2. バイオサイバネティクスから  
 みたニューラルネットの将来†

伊藤 崇之†

## 1. 生理学の最近の話題

最近生理学の分野で特に注目を集めているのは、脳の活動を広い範囲に渡って同時に多点でとらえる手法が開発されたことであろう。

## 1.1 従来の生理学

従来神経生理学は、Hubel と Wiesel の研究に代表されるように、細胞に微小電極を刺入し、様々な刺激を提示したときの細胞の活動を記録する微小電極法が主であった。網膜に提示する刺激を次々に変えては個々の細胞が大きな反応を示す刺激を発見し、その刺激のパラメータを少しずつ変えながら細胞の反応特性を求めるという手法である。このような手法を用いて、視覚一次野には特定の方位の線分に反応する細胞が集中しているとか、V4野では色に反応する細胞が多いというような脳の各領野の特徴が少しずつ明らかになってきたわけである。しかしながらこのような測定をする際、顕著な反応を示さない細胞は注目されず見過ごされていたかも知れないし、また反応したとしても、刺激のパラメータによらずに反応するような細胞は無視されるという傾向があったとしてもやむをえないことであったであろう。

このような記録法は以下の2点で問題となる。

一つには、たまたま電極を刺して見つかった細胞の機能がその領野を特徴づける機能と呼べるのかという疑問である。できるだけ多くの細胞記録をとるといってもせいぜい数百の細胞であり、また、提示している刺激に反応しない細胞は見落とされがちであるから、刺激のもつ特定の属性(たとえば色情報)に反応する細胞が特定の領野に集中しているといっても、どの程度の割合でそ

のような細胞が存在するのかという点については、ただただ数多く電極を刺して調べるという方法しかなかった。

さらに重要なことは、脳内での情報表現の問題である。脳の中で情報がどのように表現されているかという問題は昔から論争の種であった。個々の細胞の活動がそれぞれ別々の情報表現を担っているといういわゆる「おばあさん細胞説」<sup>1)</sup>と、情報は個々の細胞の活動に表現されているのではなく、細胞グループの活動として分散表現されているというポピュレーションコーディング説<sup>1)</sup>である。近年「おばあさん細胞説」は次第に影が薄くなりつつあるが、単一細胞記録では、その測定のプロセスにおいて、「ある特定の刺激に最もよく反応する細胞」という形で機能が定義されがちであるので、それ自体「おばあさん細胞説」を内包していると言える。その意味で単一細胞記録の手法では、現在測定している細胞の反応がポピュレーションコーディングにおいてどういう役割を担っているのかを知ることは困難である。

 1.2 オプティカルレコーディング<sup>2),3)</sup>

そのような中で近年発展の著しいのが、神経細胞群の活動を光学的に2次元で記録しようとするオプティカルレコーディング<sup>2),3)</sup>と呼ばれる測定法である。これは電圧感受性染料を脳表面に散布し、細胞の活動電位によって変化する染料の光反射率を2次元光電変換素子でとらえる手法である。あるいは染料を使わず、ヘモグロビンが脱酸化すると青みがかかるとを利用して、酸素消費量の多い領域すなわち神経活動の活発な領域を光の反射率変化から直接検出する方法もある。このような2次元的な神経活動の記録を知ることにより、一つの刺激に対して応答する神経細胞が脳表面上にどのように分布しているかということ、すなわち応答地図を知ることができる。従来も放射

† Future of Neural Network Models Viewed from the Field of Bio-cybernetics by Takayuki ITO (NHK Science and Technical Research Laboratories).

†† NHK 放送技術研究所

性同位元素を使えば神経活動を2次的に検出することはできたが、高々2種類の刺激に対する応答しか得られないこと、また動物の死後でないことのような応答の分布は得られないことなどの制約があった。それと比較すると、

1. 様々な刺激に対する応答を同一の個体で調べることができることから、それらの応答を比較することにより、脳の各部位の機能の違いを明らかにすることができる。

2. 脳の応答地図を調べた上で、微小電極法で個々の細胞の応答を調べる、というようなことも可能なので、地図上の各部位と単一細胞記録との対応関係を明らかにすることができる。

3. 時間分解能の高い計測手法を用いることにより、3次元の時空間応答パターンすなわち細胞の反応がどのように伝播していくかを知ることができる。

などの特徴をもっている。

## 2. バイオサイバネティクス研究のあり方

このように、脳表面における応答地図やその応答の時空間特性が得られるようになると、バイオサイバネティクスの立場で神経回路モデルを構成してきたその方法論も当然変わってくるであろう。

これまでは単一細胞記録で得られた神経細胞の機能を実現するモデルを構成し、それを積み上げてネットワークを構成し、その領野の機能を説明する神経回路モデルを提案するという考え方で進められてきた。しかしながら断片的な単一細胞の応答特性からその領野全体の機能をモデル化する上では、個々の細胞モデルの構成、あるいはそれらを組み合わせたネットワークの構成、いずれにおいても推測の部分が大きく、多様な可能性の中から plausible なモデルを提案するのは困難がともなう。大胆な提案により生理学のフィールドを刺激するという意味はあるが、必ずしも多くの成功をみているわけではない。その点、情報量の豊かな応答地図が複数の領野で調べられるようになれば、それらの入出力関係を元により現実に近いモデルの構成が可能になるであろうし、また、領野全体の機能を計算論的に記述することも説得力をもつことになるであろう。

さらに重要なことは、光学的記録のデータによってポピュレーションコーディングのモデルの検証が可能になるという点である。生理学の分野でポピュレーションコーディング説が有力になってきているとはいえ、では「その計算論は?」「情報の表現法は?」といえ、ば、「おばあさん細胞説」を細分化した情報表現から先にはなかなか進んでいない。例えば「りんご」とは「赤い」という概念を表す細胞と「丸い」という概念を表す細胞の組合せであるというぐあいである。

ポピュレーションコーディングが脳の中での普遍的な情報表現法であるならば、「概念」そのものもなんらかの分散表現がなされているはずで、その情報表現や計算論を明らかにするためには、真の意味でのポピュレーションコーディングのモデルが理論の分野から積極的に提案される必要がある。そのような新しい枠組のモデルを構成する上で、現在の生理学は情報量の豊かなデータを提供してくれている。そして、そのようなモデルが生理学によって検証され、さらに理論にフィードバックされるというような研究サイクルの過程を経て脳機能の解明が進んでいくことを期待している。

## 参 考 文 献

- 1) 例えば乾 敏郎: 視覚情報処理の基礎, サイエンス社 (1990).
- 2) Blasdel, G. G.: Differential Imaging of Ocular Dominance and Orientation Selectivity in Monkey Cortex, *J. Neuroscience*, Vol. 12, No. 8, pp. 1389-1413 (1992).
- 3) Bonhoffer, T. and Grinvald, A.: Iso-Orientation Domains in Cat Visual Cortex Are Arranged in Pinwheel-Like Patterns", *Nature*, Vol. 343, pp. 579-585.

(平成6年2月8日受付)



伊藤 崇之

1977年京都大学工学部電気工学科卒業。1979年同博士課程修了。工学博士。1979年日本放送協会入局。

現在同放送技術研究所ヒューマンサイエンス研究部主任研究員。視覚のバイオサイバネティクス、画像認識などの研究に従事。電子情報通信学会、テレビジョン学会、日本神経回路学会、INNS 各会員。