

生体のカオスと情報

新技術開発事業団 津田 一郎

§ 1. はじめに

カオスの本格的な研究が始まって10年近くになるが、近年さまざまな分野への応用が始まろうとしている。物理系、化学系ではカオスはよく研究されてきたが、生物系での研究は生態系での人口問題を除いて非常に少ない。その理由の一つとして、生体系は非平衡環境のもとで構造的にはかなりガッチリした組織を構成していることがあげられる。

最近、九大の林らはイソアワモチの神経を強制振動させてカオスの応答をみいだしている¹⁾。また松本と合原は、ヤリイカの神経の強制振動解として、カオス解をみいだしている²⁾。しかしながら生体系は非線形系であるから、外部から強制外力を加えれば、カオス解が出現するのは当然といえる。むしろ彼らの仕事の重要性は、生体系は必要とあらば、いつでもカオスを生みだせる状態にあることを実例をもって示した点にあるといつてよい。

それでは、生体系は、普段の状態（生理的条件下）でカオスを生みだしそれを利用しているのか、いないのか？ 生体系は、さまざまな外界からの刺激に対して、十分適当な応答をしなければならぬから、潜在的には、カオスのような情報量の多い振動状態を内在させる方が、都合がよいと考えられる。

こういった考えで、我々は、脳の情報処理系においてカオスが重要な役割を果している可能性を示唆しようと思う。

§ 2. 脳の動力学としての解釈学³⁾

解釈学は、ディルタイ、ハイデッガーらによって始められる。一般に文献学では、個々の文章は文献全体に対する要素であるが、個々の文章理解に際し文献全体に対するまずもっての理解（先行的理解）がなければ、個々の文章理解は成り立たない。ところが、文献全体に対する理解は、個々の文章の理解を通じてなされるわけだから、ここに解釈学的循環がおこる。重要なことは、解釈学的循環は結論とすべきことを前提に含ませる論理的悪循環とは異なるということである。

このような解釈学的過程は、脳の情報処理系の考察にとって本質的であるように思われる。脳はハードウェアとしては神経ネットワークによって構成されている。もちろん、それに付随

する化学物質や、それらを取りまくグリア細胞のようなものもあるが、さしあたり上のように考えてもよいだろう。ハードウェアといっても、いわゆる金物ではなく、可塑性がある。このレベルでは、論理的には明確に定義されうる。脳はソフトウェアとしては、いわゆる mind というものを持つといわれる。もし現在のコンピュータのデータバスから得られる電気信号を解析してみても、その上で走っているプログラムが何かを決定することは、ほとんど不可能に近いと思われる。mind つまり脳のプログラムを追求する場合も、神経ネットワークの個々の神経細胞の発火のレベルから研究していくことは、同様の意味で困難である。問題は、神経ネットワークが発する電気信号の時空間のパターンが、どのように符号化されているのかを知ることにある。このようなレベルではおそらく上記の解釈学的循環がおこっているだろう。そのような意味でも解釈学的ダイナミックスの示す挙動を解析しておくことは重要であると思われる。

解釈学的ダイナミックスを考える上で、注目に値する脳の部位は、おそらく皮質-視床間の相互作用系であろう。図の大きな丸は視床の各部位であり、三角は皮質の各部位を示す。この視床は、コンピュータで言えば、コンパイラのような働きをしていると思われる。

このコンパイラにカオスを利用しようというのが我々の考えである。

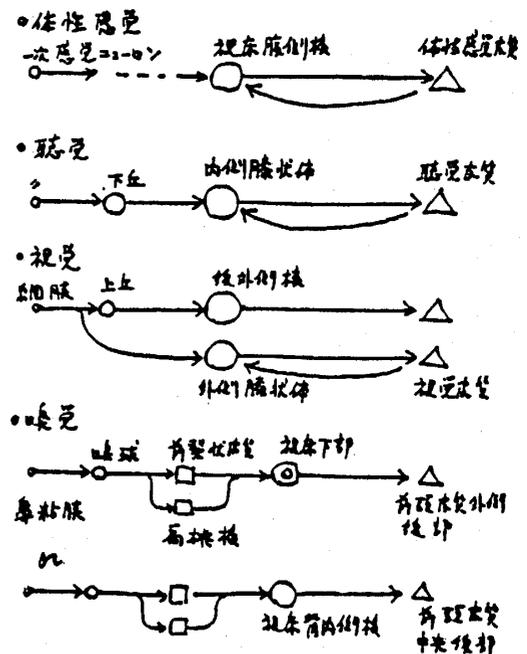
現在、我々が知っている力学系のアトラクタは、
 1) 固定点, 2) リミットサイクル, 3) トーラス, 4) カオス, である。生物進化において、生物は、外界の一つの刺激のみから正確に情報を得るよりも一つの刺激に対しては、多少精度をおととしても同時に多数の刺激に反応できる方を選んできた。つまり信頼性と大きな容量の両方をみたとすように生物は進化してきたといえる。この両方をみたとすものは、上記アトラクタのうちでカオスのみである。

また何故アトラクタを考えるかという理由は次の

ように言うことができる： 生物の情報処理にとって外界からの情報を圧縮し特別な意味を賦与するという簡潔な形での多くの情報の貯蔵ということが、特別な意味をもっている。このような情報圧縮のために力学系に要求される条件は散逸性である。

§ 3. 脳の情報処理系としてのカオス

ニコリスと筆者は、カオスの（一様なカオス）情報圧縮度を定量的に与えた。そして、それ



にもとづいて、一様カオスのもつ動的な容量と、カオスへの情報うめこみの際の精度に限界があることを示し、短期記憶のモデルとして一様カオスが働いていることを示唆した⁴⁾

また、松本と筆者によって示された hidden dynamics をもつ非一様なカオスの情報構造は、ホログラフィックな記憶 (content-addressable memory) 構造であることが最近分ってきた⁵⁾。一般に脳内の長期記憶の構造は、連想記憶にみられるように上記のような情報が拡散するタイプである。つまり一つのシナプス結合に、同時に種々の事象が記憶され、従って一つの事象に対する記憶はさまざまなシナプス結合に分散しているのである。

このようにカオスのアトラクタが一様であれ、非一様であれ、脳の記憶構造と情動的側面が大変類似している点は興味深い。

参考文献

- 1) H. Hayashi, S. Ishizuka and K. Hirakawa, Phys. Letters **98A** (1983) 474, J. Phys. Soc. JAPAN **52** (1983) 344.
- 2) G. Matsumoto, K. Aihara, M. Ichikawa and A. Tasaki, J. Theor. Neurobiology **3** (1984) 1.
- 3) I. Tsuda, Prog. Theor. Phys. Supplement (to appear).
- 4) J. S. Nicolis and I. Tsuda, Bull. Math. Biology (to appear).
- 5) K. Matsumoto and I. Tsuda (preprint).

神経膜レベルにおけるカオスとその分岐

東京電大・工 合 原 一 幸
電 総 研 松 本 元

本研究は、強制神経発振子の挙動を、ヤリイカ (*Doryteuthis bleekeri*) 巨大軸索膜を用いた実験解析、及びホジキン-ハクスレー方程式¹⁾を用いた数値解析によって調べたものである。

外液中のイオン組成変化により軟発振を生じた神経興奮膜²⁾に、外部から正弦波電流を印加し、正弦波電流の振幅と周波数を分岐パラメータとして解析を行なった。

はじめに、ポアンカレ写像、ローレンツプロット、パワースペクトラム、リャプノフ数などの解析により、強制振動を同期振動、概周期振動及びカオス振動に分類した³⁻⁴⁾。次に、分岐パラメータの変化に伴うカオス振動への3つのルート⁴⁻⁵⁾ (同期振動の周期倍分岐、同期振動