

Chaotic Cortical Processor

九州工業大学情報工学部 津田 一郎

大脳の neuron または neuron assembly の活動を情報のプロセッサとみなす。情報プロセッサがカオスの振舞いを示すとき、どのような計算プロセスが進行しうるのかを論じた。

まず、はじめに力学系と計算との対応づけを行なう。

位相空間の各点を入力情報に対応づける。力学系は計算プロセッサの遷移規則に対応する。アトラクターは計算結果に対応する。すると、個々のアトラクターへの収束過程はその過程の複雑さに応じてさまざまなレベルのオートマトンの計算過程に対応する。複雑な流域境界が存在する力学系は複雑な計算過程に対応し、ストレンジアトラクターは計算結果そのものの複雑さに対応する。

ヒトや動物が知覚、学習、認識を行なっているときの、脳内の細胞の活動状態はきわめて複雑な変化を示すことが知られている。ここでは、情報の時間コードが重要な概念である。時間コードに関して現在混乱がみられるので、概念を明確にするために、次のように定義する(1)。

第1種時間コーディング: 外部情報がニューロン、またはニューロンアセンブリーの活動の時間変化としてコードされる。

第2種時間コーディング: 外部情報はニューロン、またはニューロンアセンブリーの活動状態の空間パターンにコードされていても、その時間変化によって高次の計算過程が進行する。

われわれは、皮質ニューラルネットのスケルトンモデルにおいて、第2種時間コーディングがカオスの遍歴によって達成されることをみた(2)。それにより、新規フィルター、より高い学習能力(二重学習: 学習することを学習する)がモデルにおいて実現される(2)。ネットワークがカオスを出力しているときのほうが、そうでないときより学習能力が向上する。例えば、外部からノイズを加えて見掛け上同様なランダム現象をおこしてパフォーマンスを比較しても、カオスが出ているときのほうが能力は高い(3)。野沢氏がGCMによるTSP問題の圧倒的なパフォーマンスの向上を示している(4)ことに関連して、このことは大変興味深い。

最後に、カオスにひそむ決定不能問題を述べた(5)。カオスによる高い計算能力の実現は、カオスに内在する決定不能性に関係する。簡単な一次元写像や、馬蹄型写像において、マルコフ分割は内部的観測者を定義する。写像の内部にいるデーモンが与えられた初期値をダイナミックスから推定するという問題を考えることで、初期値に関する決定不能性を次のように階層的に分類できる。デーモンは結局、働かない(死ぬ)のだが、その死に方に階層性がある。最も基本的な死に方から列記すると、

- [1] 高い位相論的エントロピーによる死(決定不能性)。熱力学でのマックスウェルデーモンの熱死に対応する。

- [2] マルコフ分割に伴う二進木による符号化順序の複雑さによる死。これは、みのがされがちだが重要である。さらに高次のコーディングを行なうと、この二進木を、一つだけのルール、二つのルール、・・・という具合に高次ルールの個数によって分類でき、それによって力学系の複雑さを測り直すことができるからである。
- [3] マルコフ分割そのものの複雑性（非一様性）による死。この複雑性により、外部観測者とデーモンの間に観測の本質的な不一致が現れる。

実際に脳で観測されているカオスはその情報構造が[3] に分類される決定不能性をもつカオスのそれと定性的に一致する。このようにして、脳内のカオスは高い計算能力を持つにいたる（5）。

謝 辞

金子邦彦氏に、興味深い研究会で発表の機会を与えてくれたこと、および刺激を与えてくれたことに感謝する。また、ここでの問題意識は、故富田和久先生に導かれ続けているものである。おそらく、先生は[3]の決定不能性に遭遇されたのだと思っている。

参考文献

- (1) 津田一郎、Temporal Coding と力学系、重点領域研究ニュースレター「脳の高次機能の計算論的および実験的研究」No.10, 1992, pp 9-11.
- (2) I. Tsuda, Dynamic Link of Memory-Chaotic Memory Map in Nonequilibrium Neural Networks, Neural Networks, 5 (1992) pp 313-326.
- (3) I. Tsuda et al., in preparation.
- (4) H. Nozawa, A Neural Network Model as a Globally Coupled Map and Applications based on Chaos, to appear in Chaos, Vol.2, No.3 (special issue edited by K. Kaneko, 1992).
- (5) I. Tsuda, Chaotic Hermeneutics for Understanding the Brain, to appear in 'Endophysics' (eds. P. Weibel, G. Kamps and O. E. Roessler, 1992).