

## 工学博士甘利俊一氏の「神経情報処理の基礎理論の研究」 に対する授賞審査要旨

脳は多数の神経細胞の集合であり、脳の機能はその複雑な神経回路網に担われている。

甘利俊一氏は神経回路網の法則を理論化することが脳の働きを解明するために本質的な意義のある有効なアプローチであるとの立場に立って長年にわたり研究を行ってきた。

一九六五年から一九八〇年に至る十五年間には、神経回路網における計算論原理について考察し、一九六〇年頃盛んに研究された単純パーセプトロンとは異なる原理の学習理論を提案した。この理論では三層の神経細胞層の中間層に学習機能を持たせ、確率降下法と呼ばれる方式により学習が行われる。これにより単純パーセプトロンよりずっと高度な識別能力が発揮される。この理論は実は一九八〇年代になってルンメルハルトらにより発展させられた逆伝播原理による所謂ニューロコンピュータの理論の基礎を既に十五年も前に確立していたものである。

甘利氏はさらに統計神経力学と呼ばれる、神経細胞集団の振る舞いを扱うための基本理論を開拓し、幾つかの目覚ましい成果をあげた。第一に神経細胞を一層に並べ、層内に結合のある場合について考察し、内部結合と外部刺激の大小により層状回路に安定、不安定、発振状態の三つの状態が生まれ、このような層状回路を複数組み合わせることにより多安定性が現れることを示した。この系について甘利氏は神経回路網の巨視的状态方程式を用いて回路場のダ

イナミクスの理論を構築した。

内部結合のある回路では入力ボタンが次々と変換を受けて変化していくが、変換を受けても不変に留まるボタンは回路に記憶されたものと見なすことが出来る。種々の類似の初期ボタンから出発したときの想起過程を解析した甘利氏の理論は神経回路網の記憶に関する標準理論となっている。回路に幾つかの情報記憶させようかという記憶容量の問題についても、多数の神経細胞中の少数のものが各情報を表現するのが効率的であるというスパースコーディングの理論を展開し、最近実際の脳の研究からもその有効性が指摘されている。

また、甘利氏は側部抑制構造を持つ自己組織化神経場における認知地図の形成について考察し、不連続なブロック構造が認知地図上に形成される様子を理論的に示した。これは大脳皮質に見られるコラム構造の生成をよく説明するものである。

一九八〇年以降、甘利氏は情報幾何学とよばれる全く新しい研究分野の開拓に努め、神経回路網のみならず、数理統計学やシステム理論など情報科学の多くの分野にわたり適用できる幾何学的基礎理論を構築した。これは種々の形の確率分布を示す系について、確率分布の集まりが作る空間の性質を幾何学的に取り扱う理論である。例えば、正規分布についてはその平均値と分散の二つのパラメータにより二次元空間ができるが、この空間では平均値の違いは同じでも、分散の大きいもの同士は距離が近く、小さいもの同士は遠くに投影される。これは分散が大きいほど、二つの分布が区別しにくくなることと直観的によく一致し、このように複雑で見通しの悪い系について直観的な見通しを可能にする利点がある。現在、甘利氏の情報幾何学理論はシャノンの情報理論、統計的推論、システム理論、神経回

路網理論、時系列、統計物理学など、多くの確率分布を扱う理論において有効な基礎理論として認知されてきている。上記の様に、甘利氏は脳の情報処理の背後にある基本原理を数理情報学的手法により体系化するというユニークな方法を用いて先駆的な研究を行い、神経回路網理論の分野で数多くの新しい理論モデルを提唱し、またその数理的解析法を開拓した。このように、脳の実験的手法と対比出来るレベルにまで理論的な体系を引き上げ、その後の計算論的神経科学興隆の基礎を築いた功績は大である。

特に、神経学習理論の確率降下法による体系化と、統計神経力学はこの分野の基礎理論として重視されている。また、甘利氏の提案した情報幾何学は、神経科学に限らず、数学、統計科学、情報科学の基礎に深い影響を与えており、この点特筆すべき業績である。

#### 主な著書・論文

- S. Amari Theory of adaptive pattern classifiers. IEEE Trans. EC-16, 299-307, 1967.
- 甘利俊一 情報理論Ⅱ—情報の幾何学的理論、共立出版 一九六八。
- S. Amari Characteristics of random nets of analog neuron-like elements. IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics, SMC-2, 643-657, 1972.
- S. Amari Learning patterns and pattern sequences by self-organizing nets of threshold elements. IEEE Trans. Computers, C-21, 1197-1206, 1972.
- S. Amari A method of statistical neurodynamics. Kybernetik, 14, 201-215, 1974.

- S. Amari Dynamics of pattern formation in lateral-inhibition type neural fields. *Biol. Cybernetics*, 27, 77-87, 1977.
- S. Amari and A. Takeuchi Mathematical theory on formation of category detecting nerve cells. *Biol. Cybern.* 29, 127-136, 1978.
- 甘利俊一 神経回路網の数理' 産業図書 一九七八.
- S. Amari Topographic organization of nerve fields. *Bull. Math. Biology*, 42, 339-364, 1980.
- S. Amari Field theory of self-organizing neural nets. *IEEE Trans. Systems, Man and Cybernetics*, SMC-13, NO. 9 & 10, 741-748, 1983.
- S. Amari Differential Geometrical Methods in Statistics. Springer Lecture Notes in Statistics, 28, 1985.
- S. Amari Differential geometrical theory of statistics. In: *Differential Geometry in Statistical Inference*. IMS Monograph Series. Vol. 10, Chap. 2, IMS, Hayward Cal. 1987.
- S. Amari Differential geometry in statistical inference: (Mahalanobis lecture) Invited paper 6, 1, *Bull. Int. Statist. Inst.*, Proc. 46th Session, Book 2, 321-338, Japan, 1987.
- S. Amari and K. Maginu Statistical neurodynamics of associative memory. *Neural Networks*, 1, 63-73, 1988.
- S. Amari Characteristics of sparsely encoded associative memory. *Neural Networks*, 2, 451-473, 1989.
- S. Amari Dualistic geometry of the manifold of higher-order neurons. *Neural Networks*, 4, 443-451, 1991.
- S. Amari, K. Kurata and H. Nagaoka Information geometry of Boltzmann Machines. *IEEE Trans. on Neural Networks*, 3, 260-271, 1992.
- S. Amari Back propagation and stochastic gradient descent method. *Neurocomputing*, 5, 185-196, Elsevier 1993.