

## 第二種自己組織化:脳の機能分化とアプリアリな時間空間概念

津田一郎

Ichiro Tsuda

北海道大学電子科学研究所

Hokkaido University

### 1. はじめに

自己組織化理論はサイバネティクス研究とともに問題意識が鮮明になり理論を整備する機運が高まったと考えられる。その流れを受けて、1960年代から1980年代にかけて、特にプリゴジンらの散逸構造論、ハーケンらの隷属原理によって非平衡系における秩序形成の理論が定式化された。そこでは、非線形非平衡系の多くの巨視的協働現象はこの自己組織化原理によって説明可能であるとされ、自己組織化理論は爆発的に進展した。すなわち、巨視的秩序状態としての時空パターンが秩序変数と捉えられ、秩序変数の出現が非平衡開放系の中でいかにして起こるかが定式化された。このように、自己組織化理論は系を構成する要素としての原子、分子の微視的レベルでの協働的な相互作用によって巨視的レベルでの秩序状態が出現し、その秩序状態がまた微視的レベルの要素の運動を規定するという形で定式化されている。非平衡開放系は系にエネルギー散逸を課すので、環境変数は陽には現れず、それは境界条件、ノイズ項、あるいは分岐パラメーターとして秩序変数の運動を規定する力学系に隠に現れる。他方で、環境変数を陽に取り扱うことが必要になる自己組織化現象が存在する。例えば、脳の機能分化などの分化の問題は、従来の自己組織化理論では必ずしも十分に説明しきれない側面を持つ。それは、機能分化の問題は、系全体にかかる拘束条件を満たすように系を構成する成分要素(あるいは部品)が組織化されていく現象であるからである。別の例としては、神経細胞が密に集合すると、細胞間にephaptic couplingが生じ、それによって拡散的に広がった電場が支配的になり、むしろ個々の神経細胞の活動はこの場によって再定式化されなくてはならない。こういった機能分化や機能単位の再定式化に関する自己組織化をここでは第二種自己組織化と呼ぼう。我々は、結合写像系に伝搬情報量最大化などの変分的な拘束条件を通して環境変数を導入することで、ニューロンの分化や大脳皮質における機能モジュールの分化に関する数理モデルを構築し、詳細に解析した。解析結果は第二種自己組織化の存在を示唆している。他方、ラット脳の海馬では場所を特定する場所ニューロンや時間経過を特定する時間ニューロンが発見されている。海馬はこれらの細胞によってGPS機能だけでなく、ワーブ機能も獲得し、想像力の源になっている可能性がある。これらのニューロンがいかにして構築されたかを第二種自己組織化の観点から考察することは、カントのアプリアリな時間、空間概念が人の脳において実現されるか否かの問題に神経科学からの回答を与えることになるだろう。

### 参考文献

- [Cybernetic 03] von Claus Pias, H. ed.: Cybernetics Kybernetik The Macy-Conferences 1946 - 1953, diaphanes, Zurich-Berlin (2003).
- [SOC 77] Nicolis, G., Prigogine, I.: Self-organization in Nonequilibrium Systems. Wiley, New York (1977).
- [SOC 77] Haken, H.: Synergetics. Springer-Verlag, Berlin (1977).
- [Brain 05] Freeman, W. J.: A field-theoretic to understanding scale-free neocortical dynamics. Biol. Cybern. 92, 350 - 359 (2005).
- [Tsuda 01] Tsuda, I.: Toward an interpretation of dynamic neural activity in terms of chaotic dynamical systems. Behav. Brain Sci. 24, 793 - 810; discussions 811 - 847 (2001).
- [Tsuda 02] Tsuda, I.: A hermeneutic process of the brain. Prog. Theor. Phys. Suppl. 79, 241 - 259 (1985).
- [Rosen 91] Rosen, R.: Life Itself: A Comprehensive Inquiry into the Nature, Origin, and Fabrication of Life. Columbia University Press, New York (1991).
- [Watanabe 11] Watanabe, H., Ito, T., Tsuda, I.: Making a neuron model: A mathematical approach. In: 11th meeting of Mechanisms of Brain and Mind, Niseko, Hokkaido, Japan, Jan. 11 - 13 (2011).
- [Tsuda 15] Tsuda, I., Yamaguti, Y., Watanabe, H.: Modeling the Genesis of Components in the Networks of Interacting Units. In: Proc. of ICCN 2013 (in press; to appear in 2015).
- [Yamaguti 15] Yamaguti, Y., Tsuda, I.: Mathematical Modeling for Evolution of Heterogeneous Modules in the Brain. Neural Networks. 62, 3-10 (2015).