情報統合研究室 輪講

H. Haken: Synergetics as a Tool for the Conceptualization and Mathematization of Cognition and Behaviour — How Far Can We Go?, Springer Series in Synergetics, Vol. 45, pp. 2–31

金田　泰

1. Cognition and brain

◆ なぜおおくの認知のプロセスは一見単純で努力なしにできるのに、脳 (たとえば視覚のシステム) がこんなに複雑である必要があるのか ?

◆ もともと holistic (全体的) だった組織が外界やわれわれの身体に適応して分化し複雑化した。

◆ 複雑なものをみるのに個々の特徴に分解して (還元的に) とらえているとかんがえがちだが、視覚系がいまでもものを全体的にとらえているというかんがえにいきつく。

◆ ミクロ世界とマクロ世界のギャップ

= 神経細胞の世界と認知の世界のギャップ

言語のボトルネック : 言語情報は 50 bits/sec, 音声をつくりだす神経系は 10^6–10^9 bits/sec。

数理的な認知と脳の理論によってのみこのディレンマからぬけすことができる。

2. Some approaches to cope with the complexity of the brain and cognition

◆ 行動主義 : 個体を刺激に反応する black box とみた。内部状態を無視している。

◆ 人工知能

・記号主義 : 認知を記号処理とみた。

・Connectionism : ニューロ・コンピュータを発展させた (McCulloch & Pitts, Rosenblatt)。

◆ James Anderson の “brain-state-in-a-box” model

◆ Koehler's gestalt theory

◆ Synergetics (近代的な自己組織化の理論)

3. Synergetics

◆ Synertetics は、マクロなスケールのパタンや協同的なうごきを生成しうる多数の部分からなるシステムをあつかう学際的な学問。

◆ 物理からの例題 (認知プロセスの隠喩) : 原論文参照。

・レーザ : 励起のつよさによってふるまいがかわる。よわいときはバラバラだが、臨界値をこえるとそろう (coherent になる)。さらにつよくなると、パルス列になり、最後はカオスにおちいる。

・流体力学 : 対流。円形の容器のばあい (ロールの方向により対称性のやぶれが生じる — 多安定 (multistable) なシステム)。初期状態で特定方向へのうごきをくわえると、その方向にロールができる。

◆ 認知レベルで連想記憶におこっているのは、まさにこのようなこと。多安定なら各安定状態にパタンを記憶することができる。

4. Self-organization

◆ マクロなパタンや協同現象をつくりだす (発展方程式によって記述される) システムは、もともと多数の

自由度をもつが、少数の「秩序パラメタ」によって支配されている (隷属原理 slaving principle — Synergetics の中心原理)。

◆ 秩序パラメタは競争したり協調したりする。
ロールの方向の決定：競争による。レーザのパルス、カオス：協調による。

◆ 制御パラメタの変化による安定点の変化：Fig. 6 a → b。安定点が不安定になる。対称性がやぶれる。
勾配がゆるくなり (critical slowing down)、ゆらぎがおおきくなる (critical fluctuations)。

◆ 自己組織化の指標：対称性のやぶれ、Critical slowing down, critical fluctuations。
自己組織化 = 非平衡の相転移。

5. Some applications of the basic concepts to behaviour and cognition

◆ ゆびを平行にうごかす — その相転移。Synergetics によりモデル化した。
モデルと実験の一致：ブレークスルー。
あるきかたのモードの変化 (猫、馬) の説明。

◆ 秩序パラメタがミクロなふるまいを規定し、それが秩序パラメタをきめる。

◆ 秩序パラメタは gestalt theory でもとめられる特徴をもっている。... (?)

◆ なぜ多数の神経細胞が必要かという問へのこたえ：(?)

6. The operational approach of synergetics — The paradigm of pattern recognition

◆ パタン生成とパタン認識との類推を出発点とする。
部分的なパタンからの成長 — 連想による全体パタンの生成。

◆ 秩序パラメタの同定とその方程式の決定が重要。
周期的な動作：秩序パラメタはアトラクタ状態にある。
ゴールをめざす動作：秩序パラメタはアトラクタへの軌跡をたどっている。

◆ パタン認識 (過程) の数理表現
状態ベクトル q (その要素は特定の特徴をあらわす、または各神経細胞の activity をあらわす)。
状態ベクトルがみたす方程式 (論文 (6.1))。

◆ $\underline{v}_u$: prototype patterns, $\underline{q}(0)$: test pattern.
テスト・パタンから出発すると、(6.1) にしたがっていずれかのプロトタイプ・パタンにひきこまれる。

◆ 秩序パラメタの導入 (6.3), 秩序パラメタの方程式 (6.4)。

◆ 顔の認識の問題に適用
60x60 pixels。Fig. 8 を encode する。
最初の runでは attention parameter をすべて負にする。つぎの run ではすべて正の同一値にする。
文字 D だけ、あるいは文字をふくまない顔だけをあたえて、全体を想起させる。
ノイズのある図の認識 (Fig. 9)。

◆ 方程式 (6.5) (6.1 の変形) はさまざまなかたちで計算できる。
たとえば、1 層のニューラル・ネットとして実現される。
秩序パラメタ (6.3) を導入すると、3 層のニューラル・ネットとして実現される (第 2 層が秩序パラメタを表現)。

◆ パタン認識過程を変換、回転、スケーリングに同時に不変になるようにできる。
合成された scene もあつかえる (1 つの顔が他の 1 つをかくしているようなばあい)。

low and high pass filter をとおした画像の認識もこころみた。

7. Ambivalent patterns (不安定なパタン)

7.1 Oscillations

◆ あいまいなパタン：それぞれの解釈がことなる秩序パラメタによって記述される。

7.2 Hysterisis

◆ Fig. 19 の認識におけるヒステリシスも説明できる。

7.3 Some further effects

8. Learning of a synergetic computer for pattern recognition

◆

9. How far can we go?

◆ マクロなスケールでシステムがふるまいの質を変化させるような状況をあつかってきた。
ミクロとマクロ・レベルのギャップはまだおおきい。それらの中間レベルを同定するのが重要であろう。

◆ 連想記憶を基礎としてパタン認識にアプローチしたが、この概念をこえることが重要であろう。

◆ コネクショニズムとの比較
ニューラル・ネットはプロトタイプ・パタンに対応しないよけいな安定状態を多数もつが、シナジェティック・コンピュータはプロトタイプ・パタンだけをアトラクタとしてもつ。
よけいな安定状態が有効かどうか？ ニューロ・コンピュータの性能の一般理論がない。

◆ 脳という理解できないシステムをニューロ・コンピュータという理解できないものでおきかえられるか (ニューロ・コンピュータはつかえるか) ?
Haken のこたえは No.

◆ シナジェティック・コンピュータの処理のスケールをどこまであげられるか (トイでない問題がとけるか)。
連想記憶の概念だけでは解決できないだろう。

◆ 有名な数学者が、脳の機能はみなコンピュータによってまねることができるだろうといった。
しかし、脳はコンピュータがまねできない機能をつぎつぎと発明できるだろう。
コンピュータと脳のおわりなき競争。

◆ 心理学には、満足できる解が想像できないような問題 (たとえば感情、意識) がある。
どんなに複雑なコンピュータをつくっても、人間と等価なものにはなりえない。
しかし、どこまでいけるか (人間にちかづけるか) という thrilling task がのこっている。
いまの「機械」とはますますことなる生物的な特徴 (self-xx) をもつ機械ができる。