

複雑系研究会講演のメモ

金子邦彦
東京大 教養

1 はじめに

僕自身は複雑系の研究について以下の2点に注目している。

A. 動的な多対多論理の必要性：

カオスの特徴として小さな誤差が大きく増幅されることが挙げられる。そこで多くの要素が互いに関係しているようなダイナミクスを考えてみよう。もしカオスがあれば一つの要素が小さな変動を受けるとその差は拡大して他の要素に伝わっていくであろう。かくして個々の要素を切り離して考えることは困難になる。このことは従来の物理の手法の中心である、1体問題の重ね合わせとそのまわりの確率的な揺らぎという考え方を不可能にしてしまう。かくて多くの要素が強く関係を持ちさらにその関係が動的に変動している状況をとらえる必要性が生じてくる。

このような視点の転換は広い分野で起こりつつある。自由度の大きい非線型系を含むような物理系ではこのような問題は固体物理、光学、流体から地球物理などで広くみられる。また複雑な生命現象や社会科学を考えていく上ではより重要となっていく。脳の問題においてはこういった見方は津田一郎により「動的脳観」として主張され、一方ドイツを中心に生理実験からも強調されている。その他、免疫系、細胞集団の分化、増殖、生態系などの各分野でほぼ同時期にこのような転換の必要性が認識され始めつつある。(これが今年度の研究会での最初のセッションを僕が提案した理由です)。

僕自身はカオス結合系の研究はこの点に関して幾つか重要な視点を提供してくれると思う。クラスター化、そのダイナミクス、カオスの遍歴、隠れた相関の発生など [1]。そしてそれらは脳のダイナミクス、生態系ノダイナミクスなどを考える上で重要だと考えている [2]。

B. 構成的なモデル化：

非線形系は必ずしも定量的には安定ではない。つまりモデルを少し変えたことにより結果は大きく変わりうる。これはモデルのパラメタの値を変えた場合でもそうだし、モデルの表現のしかた(変数の選び方)に対しても成り立つ。このような性質は津田により記述不安定性とよばれている。さてこの記述不安定性は自然現象のモデル化のありかたに変革をせまる。もっとも信頼しうるミクロの方程式から出発し、それを適度に粗視化したマクロな方程式を導きベストと思われる近似を行なってモデルを導出するという従来の(物理学の)立場はもしモデルが定量的に記述不安定であればその立脚点を失ってしまう。むしろその場合でもモデルは定性的には正しい結果を与えうるかもしれない。しかし定性的レベルの議論においては必ずしも上のようなミクロから出発したやりかたよりもっと有力なモデル化がありうる。それが構成論的に人工世界をつくりあげる手法である。特に生物学や社会科学のモデル化においてはミクロから出発するなどとても無理なのでこの方法論はより重要である。

こういった人工世界をコンピュータの中に構築するアプローチの一つで最近注目されているものに人工生命 (Artificial Life) がある。ここでは、コンピュータの中に生命もどきをつくり、進化をとおしてそこでの新しい性質の創発をみていくことにより、今まででは答えられなかった“起源” (生命、真核生物、多細胞生物、性、社会性、協力、などなど) へのシナリオを呈示しようというものである。不幸なことに、いままでのところ、こういった人工生命のアプローチとカオスに基づく複雑系の研究は必ずしもかみあっていない。ところが、B の問題は必然的に A と関係して来るので、両者をふまえた複雑系研究に興味を持っている [3]。

以下ではその観点をふまえて、最近の研究を1つだけ紹介する。

2 開放カオスと細胞の分化

生命系の問題では、そういった変数自身が増えていくことが多く見られる。進化によって新しい種が生成されたり、ゲームにおいては新しい戦略をもった集団がうまれたり、などなどである。

細胞の増殖と分化も実はこの例に属している。個々の細胞は代謝反応を行っており、一般にはこれは非線型であり、また細胞同士は栄養源をとりあって相互作用をしている。そこで多くの非線型要素がカップルした大域結合カオス系と共通の問題となってくる。では細胞の多様な分化をクラスター化がもたらすことができるであろうか。この多様性の発生に関して、四方と筆者は細胞の数の増殖を考慮した結合系のモデルを考えた [4]。モデルは (1) 各細胞での代謝反応 (酵素をふくむので非線形) (2) 培養スープからの各細胞の栄養のとりこみ (取り込み方は細胞の状態により、非線形。また栄養は全細胞のとりあいになるので、大域結合がうまれる) (3) 反応が進むと各細胞が2つに (等しく) 分裂 (4) あまりに細胞内の化学成分が少ないと死滅 (これはいれなくてもよい) から成っている。(3) によりは系の自由度は増殖にともなって増大していく。

詳細は省略するが、このモデルのシミュレーションの結果、細胞が分裂するに従い、その代謝反応はシンクロ振動を失い、クラスター化を示すことが見出された。全細胞の振動が引き込んでしまうと一斉に栄養源をとりあうことになり増殖ができないのに対し、クラスター化により時間的な棲みわけ (time sharing system) を実現する。さらに細胞数が増すと、細胞は活発に代謝反応を行ない速く分裂する集団とあまり反応を起こさずに休眠している集団に分化する。これは有限な資源 (栄養) の取り合いに応じて貧富の差が生成されたことを意味する。このことは生殖/体細胞の分離の起源を考える上でも細胞分化と多細胞生物の起源を考える上でも興味がある。また、上の結果は成長や資源の有効利用という点では経済、コンピューターシステム (例えば time sharing system) にも意義があるかもしれない。また細胞系譜の安定性、分裂性細胞から非分裂性細胞の分化、非分裂細胞のさらなる分化、大量細胞死など実際の細胞分化プロセスを (遺伝子のコントロールなどを一切考えずに) 実現してしまうのは興味深い。

この細胞増殖のように自由度がどんどん増えていく系においては、カオス的な不安定性がひきがねとなって、新しい変数を生成していくという、従来のカオスとは少し違う、開放型のカオスとでもいふべき機構が存在する。ここで見たように開放型のカオスは多様性の起源として重要である。

参考文献

- [1] K. Kaneko, Phys. Rev. Lett. 63 (1989) 219; 65 (1990) 1391 Physica 41 D (1990) 137; Physica 54 D (1991) 5; Physica 55D (1992) 368 J. Phys. A, 24 (1991) 2107
- [2] K. Kaneko, “Relevance of Clustering to Biological Networks”, submitted to Physica D (1993)

- [3] K. Kaneko, "Chaos as a Source of Complexity and Diversity in Evolution", Artificial Life 1, 1994, in press
- [4] K. Kaneko and T. Yomo, "Cell Division, Differentiation, and Dynamic Clustering", submitted to Physica D (1993)。また 対応する実験は E. Ko, T.Yomo, I. Urabe, submitted to Physica D (1993)