

振動子集団ダイナミクスの制御： 理論と化学反応系による実験

郡 宏

お茶の水女子大学 先端融合系 お茶大アカデミック・プロダクション
JST さきがけ兼任

Synchronization Engineering: theory and experiments with a chemical reaction system

Hiroshi Kori

Division of Advanced Sciences, O Chadai Academic Production, Ochanomizu University

1. はじめに

複数のリズムカルな活動をもつもの同士が影響を与えあうと、それぞれのリズムの周期やタイミングを合わせあう現象、いわゆる同期現象が起こすことがよくある。東南アジアでみられるホタルの集団発光がよく知られた同期現象であるが、振り子時計やメトロノームといった機械同士、ろうそくの炎と炎、振動性の化学反応系など同期現象を示す様々な例がある。特に、同期現象は我々の生命機能形成を担っている場合がある。体内時計を組織する脳内の時計細胞集団の同期現象その好例であろう。また、歩行といった動物のロコモーションも、振動体の結合系とみなすことができる。多数の足をもつ動物が、どのように安定した歩行を実現しているのか、同期現象という側面からも非常に興味深い話題である。

しかし、同期現象は有害な作用を及ぼす場合もある。パーキンソン病に現れる震えの症状は脳の神経細胞細胞の異常同期によって作られる強いリズムが引き起こしていると考えられている。また、ロンドン・ミレニアム橋の開通イベントで起こった激しい横揺れは、人間の歩調が同期してしまったことにより起きた。そういった有害な同期現象は、防ぐか、あるいは、何らかの方法で破壊するという対策が考えられる。パーキンソン病に対しては深部脳刺激療法 (deep brain stimulation, DBS) という外科的手法が一般的に用いられている。この手法は、脳深部に電極を埋め込み、同期している神経細胞集団に直接電気刺激を与えることによって同期をこわし、振戦をとめる。

2. 研究の概略

本発表では、我々が設定する様々な「望みの振動子集団ダイナミクス」を実現する制御理論と、その実験検証について報告する[1][2]。制御にはフィードバック入力を使用する。つまり、各振動子の出力を計測し、そのデータを適切に変換して構築したフィードバック入力を与える。この変換は、位相振動子モデルと呼ばれる数理モデルによって作られる理論に従って決定される。位相振動子モデルは、実験から得られるデータから構築できる数理モデルであり、化学反応など、振動現象の詳細を知る必要はない。そのため、広範な応用が期待できる。

フィードバックは全ての振動子に同様な入力を入れる、つまり、大域的フィードバックのみを考える。

理論自体は、個々の振動子に異なる入力を入れる状況も取り扱えるのだが、実験は手間がかかる。大域的フィードバックに限定しても、実は多様なダイナミクスに導くことができる。

3. 実験検証について

実験について簡単に説明する。実験系は、希硫酸に64本のニッケル電極を入れ、そこに電圧をかけるというものである。電流が流れると同時に、電極表面でも化学反応も起きるため、流れる電流の量が2秒程度の一定周期で増減する「リズム」が出現する。各電極に流れる電流が出力である。フィードバック入力は印可電圧にいれる。

まず、各電極がほぼ独立な振動を示しているような状況に設定する。本理論に基づいて電極の電圧にフィードバックをかけると、全ての電極のリズムを一緒にしたり、再びバラバラにしたりなど自由に制御できることが示される。また、複数の小集団ごとにリズムを刻ませることもできる。

さらに、全ての電極に相互作用を持たせ、ほぼ完全にリズムが一致しているような状況に設定する。本理論では、リズムをばらばらにするようなフィードバック入力も構築でき、実際、このような設定の実験系で、振動をばらばらにすることに成功した。

[1] Istvan Z. Kiss, Craig G. Rusin, Hiroshi Kori, John L. Hudson, "Engineering Complex Dynamical Structures: Sequential Patterns and Desynchronization", *Science* 316, 1886-1889 (2007)

[2] Hiroshi Kori, Craig G. Rusin, Istvan Z. Kiss, and John L. Hudson: "Synchronization Engineering: Theoretical Framework and Application to Dynamical Clustering", in the focus issue on "Design and Control of Self-Organization in Distributed Active Systems", *Chaos* 18, 026111 (2008)