

システム科学としての不規則系の統計力学

樺島 祥介

東京工業大学 大学院総合理工学研究科 知能システム科学専攻

機械工学のバネ・ダンパ系と電気工学の RLC 回路は、用途も見た目も異なるが、どちらもその動作は 2 階の線形微分方程式で記述される。数理的なモデル化を行った際にあられるこうした仕組みや法則の類似性に着目し、対象によって規定される個別の研究分野の枠を超えて共通に使うことのできる分析手法や設計手法を開発したり、また、ある分野で得られたアイデアや方法論を他の分野に橋渡ししたりする研究態度や志向性をここでは「システム科学」と呼ぶことにする。冒頭に述べたバネ・ダンパ系と RLC 回路との類似性は 2 階の線形微分方程式で記述される「数理的なモデル (= システム)」の扱い方さえ身につけておけば機械も電気回路も (ある程度の範囲では) 自在に操ることができることを意味している。制御工学はこうした考え方が成功した代表例であり、現在我々は自動車、ロボットをはじめ日常の様々な場面においてその恩恵に浴している。

制御工学に並ぶほど実社会に貢献することは難しいが、システム科学的な発想が画期的な学術上の進歩や新しい研究分野の創出に結びついた例は枚挙に暇がない。素粒子論の自発的対称性の破れのメカニズムは超伝導研究の知見にもとづいて提案された。ホタルの集団発光とレーザーの発振はともに非線形振動子の引き込み現象として理解される。物質の伝導特性と伝染病の伝播はどちらもパーコレーション理論で分析できる。オーストラリア・アボリジニの特殊な婚姻体系が群論を使って説明される。このような話をはじめて聞けば多くの人やはり「へーっ、そうなんだ」、「そいつは気がつかなかったな」、「その手があったか」と感心するのであり、こうした意外性は学術的な価値としても上位にランクされるべきものであろう。

さて、不規則系の統計力学は 1980 年代半ばの連想記憶モデルへの適用により、伝統的な物理の枠外にある異分野の問題にも使えることが示された。対象の個別性にとらわれないシステム科学の一例といえよう。とはいえ、こうした分野の越境は得てしてどちらの側からも注目されず、また、注目されても一過性のものであってすぐに廃れてしまうことがほとんどである。ところが、不規則系の統計力学の場合は存外にしぶとい。連想記憶モデルの後、機械学習、制約充足問題の解析、誤り訂正符号、無線通信などへと次々と適用範囲を拡げ、最近では先端的な信号処理技術である圧縮センシングでも注目されるなど 30 年近くにわたりアクティブな研究分野であり続けている。また、最近ではこうした研究の蓄積にもとづき、過去の個別問題への適用で得られた知見を他の問題へと応用する自律したサイクルも回りはじめている。

本講演では、1990 年代の初頭～半ばに掛けて盛んに研究されたパーセプトロンの統計力学の知見がその後の研究にどのように活かされているか、具体例を挙げながら議論したい。