

「統計力学系解析」の大まかな趣意

花崎逸雄

機械工学一般において、システムの力学を扱う科目の存在が望ましい。理工学系の分野で「システム」は一般に「多数の要素から成る対象」を意味することが多く、日本語では主に「系」が対応してきた。四力をはじめ力学 (Mechanics/Dynamics) を扱う工学である機械工学 (Mechanical Engineering) では、そのようなシステムの力学として基礎に力学系 (Dynamical systems theory) と統計力学 (Statistical Mechanics) を踏まえるのが妥当である。力学系は時々刻々変化する現象の仕組みを扱う力学であり、統計力学は多数の要素が相互作用して全体の挙動が現れる仕組みを扱う力学である。

力学系は、機械工学でも制御理論の前提となる概念であると共に、制御以前にカオスなどの現象を扱うためにも必要である。機械工学分野において、統計力学は、昔から分子論に基づいて熱力学を導くと共に、流体力学における希薄気体力学に欠かせないものとして認識されてきた。ただし、力学系が扱う対象がハードウェア上の特徴には限定されないのと同様に、統計力学が対象とする要素も決して原子・分子に限定されない。例えば、機械学習等のデータサイエンスやネットワークサイエンスの方法論にも統計力学の一部が含まれている。しかし、依然として機械工学では現代版の統計力学に対する認知度が十分ではない。それゆえ、モノの力学を縦糸とする場合にコトの力学として横糸となる、統計力学と力学系を導入する入門的な科目が必要である。

歴史的にも、従来の機械工学で扱う力学の基礎数理の多くが 200~300 年前に確立したのに対して、例えば確率論の基礎が Kolmogorov により数学的に確立されたのが 100 年ほど前とされる。また、機械学習で重要な Bayes 統計の前提となる確率の概念が手段として正統に認められるようになったのは、さらに近年のこととされている。機械工学が力学のプロとして、そして最先端の学問として不断の斬新さを保つためには、そのような長期的視座からも、新たな切り口で統計力学と力学系を編集した、機械システム工学にふさわしい科目が必要ながうかがえる。つまり、科学と技術をつなぐ最先端の横断的な応用力学としての科目である。また、従来型の学部向け授業科目群の範囲では、決定論的方程式から容易にカオスが現れることを知る機会に乏しい。その

結果として、現象の統計性を一概にノイズ (外乱) や誤差と拡大解釈して忌避する人が多い状況にある。また、基礎式がわかり計算機を駆使すれば現象の演繹的予測が完全にできる余地のある現象と、現象の特性に関する予測のために統計的な視点も必要となるカオス的な現象との間には、取り扱い方法の違いもある。しかし、前者だけに注目していると、これらを使い分けるセンスを培う機会は足りない。演繹だけに頼る視点は、かつて Lorenz によりカオスの力学が明確化されるより以前の時代の、いわゆる Laplace の自然観に対応している。

さらに、多様な要素から成る系の非線形性を要素還元主義的な視点が見落とすことへ (1977 年にノーベル賞を受賞することになる) Anderson が Science 誌上で “More is different” と警鐘を鳴らしたのが 1972 年である。それに対し、現在の機械工学においてデータサイエンスで扱う対象やナノ・マイクロ系で顕著な統計性のある現象の力学的な扱いが十分に更新されているか、という問題もある。例えば後者では、中心極限定理から明らかのように、構成要素である分子の個数が有限個で少ないほど熱揺らぎが現象に大きな影響を与えることへのリテラシーが必要である。そして、ICT 側から近いとされるロボティクスやセンサネットワーク等の分野の事象を扱う場合にも、bit の世界で閉じない atom の世界の技術であれば、しなやかな機能を実現する設計コンセプトにシステムの力学が必要である。なお、計算機で原子・分子に関する解析力学の運動方程式を解けば連続体力学で扱う力学特性を獲得できることへのリテラシーがあれば、ICT に注目する分野とモノの力学に注目する分野の概念がつながることにもなる。この点では、従来型の統計力学を概観しておくこと自体にも意義がある。

このような多角的背景から、多数の離散的な要素で構成される系を中心として、現象それ自体の統計性を扱える帰納・データ集約的な力学の科目の必要性が浮き彫りとなる。そこで、最先端の機械工学およびその関連分野における研究開発において、個々の場面で必要となるはずの視点や方法に関して、それらを横断しつつも基礎を踏まえた視点から、統計力学と力学系を編集した入門的な科目である「統計力学系解析」を立ち上げる。これは、洗練に伴う過度の細分化や隔たりを克服した、多様かつ横断的視点を共有した機械工学の持続可能な発展にもつながる先駆的な試みでもある。