

論文の内容の要旨

論文題目 ゆらぐ世界における異なる記述の階層と エントロピー生成

(Different Scales of Description and Entropy Production
in Stochastic World)

氏名 中山洋平

本論文で扱うのは、ゆらぐ世界の熱力学において生じる隠れたエントロピー生成である。ゆらぐ世界の熱力学の枠組みは、熱やエントロピーといった熱力学的な量を確率過程で記述されるゆらぎの顕著な系で議論することを可能にするが、系のダイナミクスが複数のスケールにおいて異なる確率過程で記述される場合には、記述のスケール/階層に応じて熱力学量の値に食い違いが生じうる。その中でも、全系のエントロピー生成に生じる差は、熱力学第二法則に対応する不等式の物理的意味を不確かにする、実験的にこれまで測定されてきた熱力学効率の妥当性の再考を要求するといった重要性があることを鑑みて、われわれはこの差 — 隠れたエントロピー生成 — に着目した。

隠れたエントロピー生成は様々な系において現れる。われわれは、非一様な温度の下での Brown 運動、異なるエネルギー準位の間を遷移する電子、2 自由度からなる Brown 運動のモデルを例に、詳細な自由度まで含む記述の階層における確率過程から粗視化された自由度のみで記述される階層の確率過程を導いて、これらのモデルで生じる隠れたエントロピー生成の具体的な表式を求めると同時に、その発生するメカニズムについて調べた。

また、隠れたエントロピー生成の符号に特に関心を持って、その符号を決める重要な要因についても明らかにした。隠れたエントロピー生成の符号の正負それぞれに対応する典型的な状況は、粗視化された自由度の記述では系の不可逆性を過小評価してしまう場合と、可逆な系が粗視化によって不可逆な振る舞いを見せる場合であるが、われわれはゆらぎの定理と呼ばれる関係式をもちいて隠れたエントロピー生成が正になる一般的な条件として、確率分布の時間反転対称性があることを明らかにした。すなわち、後者のような状況が実現されるときにはそれらの条件は破られている必要があることも同時に分かった。

さらに、われわれは隠れたエントロピー生成が存在している場合でも、記述の階層に依存せずに系の不可逆性が特徴付けられる可能性を検討した。このとき核心をなしたのが、定常状態熱力学の

アイデアである。われわれは、定常状態熱力学において中心的な役割を果たす物理量である過剰エントロピー生成に着目することで、隠れたエントロピー生成の影響を受けない系の不可逆性を特徴づける量を構成できることを示した。具体的には、系のエントロピー変化と熱浴の過剰エントロピー生成の和という、定常状態熱力学における熱力学第二法則を拡張した関係式に現れる物理量が、記述の階層によらず不変に保たれることを導いた。この結果は、定常状態熱力学によって記述される系の不可逆性は記述の階層に依存せず、隠れたエントロピー生成の有無に影響を受けないことを意味している。