

Violation of the Fluctuation–Response Relation for the Langevin model in the Non-equilibrium Steady State

山田, 一雄

<https://doi.org/10.15017/1670395>

出版情報：九州大学, 2016, 博士（理学）, 課程博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

氏 名	山田 一雄			
論 文 名	Violation of the Fluctuation-Response Relation for the Langevin model in the Non-equilibrium Steady State (非平衡定常状態におけるランジュバンモデルの揺動応答関係の破れ)			
論文調査委員	主 査	九州大学	教授	中西 秀
	副 査	新潟大学	教授	吉森 明
	副 査	九州大学	助教	坂上 貴洋

論 文 審 査 の 結 果 の 要 旨

統計物理学において、巨視的な流れのない平衡状態やそれからのずれが小さな状態の系の記述については、一般的理論体系が確立している。特に、電場などの外場による線形応答係数が平衡状態における揺らぎの相関関数で与えられるという揺動応答関係式や、複数の外部摂動に対する線形応答係数の間の対称性を与えるオンサガーの相反定理は重要で、これらは平衡統計力学の基礎的な枠組みを与える。ところが、平衡状態から離れた非平衡状態においてはこれらの関係式は成り立たず、それらに代わる一般的理論を確立する試みが、現在でも精力的に続けられている。特に、非平衡状態のなかでも粒子や熱の流れが時間的に変化しない、いわゆる非平衡定常状態に於いて、最近、原田と佐々が、系の定常散逸が、揺動応答関係式の破れ、即ち、線形応答係数と相関関数の差によって与えられることを示して、非平衡系で成り立つ一般の関係式として注目された。

山田一雄氏は、上で述べた平衡系での 2 つの関係式、即ち、揺動応答関係式と相反定理が、非平衡系でどのように拡張されるかについて、ランジュバンモデルを用いて研究し、非平衡定常状態で一般的に成り立つ関係式を導いた。

ランジュバンモデルは、熱揺らぎの下での系のダイナミクスを記述する標準的なモデルで、ニュートンの運動方程式に速度に比例した抵抗力と熱揺らぎを表す揺動力を加えた **under-damped** モデルと、抵抗力が支配的な場合に用いられる慣性力を無視した **over-damped** モデルの 2 つがある。原田・佐々関係式は、それぞれの場合について独立に導出されていて、同じ物理的内容を表しているにもかかわらず、これら 2 つの導出の関係は明らかではなかった。山田氏は、ランジュバン方程式の記述する系の確率分布関数に対するフォッカー・プランク方程式を解析し、特異摂動法を用いることによって、**under-damped** と **over-damped** の 2 つの場合の原田・佐々関係式を統一的に導出した。すなわち、それぞれの場合の関係式が、新しく得られた統一的表式の 2 つの別の極限として与えられることを示した。

もう一つの関係式、即ち相反定理についても、非平衡定常状態での力学摂動と熱摂動に対する応答係数の表式をフォッカー・プランク方程式の摂動項から求め、その応答係数と対応する相関関数との差の間に、平衡系で成り立っている相反定理と類似の対称性が成り立っていることを示した。

これら山田氏が新しく導出した 2 つの関係式は、非平衡統計物理学における重要な研究成果である。よって、本研究者は博士（理学）の学位を受ける資格があるものと認める。