

論文審査の結果の要旨および担当者

報告番号	※ 甲 第 号
------	---------

氏 名 松山 裕典

論 文 題 目 Between Determinism and Stochasticity: Chaos and Nonthermal
Relaxation in Classical Hamiltonian System with Many Degrees of Freedom

(決定論と統計性のはざま：大自由度ハミルトン系のカオスと非熱的緩和過程)

論文審査担当者

主 査	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	博士(理学)	宮 崎 州 正
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	教 授	Ph.D.	岡 本 祐 幸
委 員	名古屋大学大学院理学研究科	准教授	博士(理学)	三 野 広 幸
委 員	中部大学工学部	教 授	博士(理学)	小 西 哲 郎

論文審査の結果の要旨

自由度の大きな孤立系を長時間放置すると、その初期状態にかかわらず熱平衡状態と呼ばれる巨視的に不変な終局状態に到達する。これは熱力学を支える原理・経験則であるが、この「熱平衡状態への緩和」に対応する力学過程がいかなるものかは未だ十分に理解されていない。

平衡統計力学の基礎付けに関わるこの問題は大自由度ハミルトン系（エネルギー保存力学系）の研究対象となる。通常、熱平衡化を力学原理から説明する際には、「カオス」と呼ばれる乱雑で予測不能な運動の存在が想定され、カオスは平衡状態へのスムーズな緩和を導くと考えられている。しかしながら、大自由度系におけるカオスの発生と緩和ダイナミクスについては未だに解明されていない点が多い。Fermi, Pasta, Ulam は 1 次元非線形格子振動系がエネルギー等分配状態に向けてどのように緩和するかを考察した (Fermi et al., 1955)。それ以降この模型に対する多くの研究がなされ、非自明な遅い緩和の存在が報告されている。しかしながら、その遅い緩和の特性と起源を、相空間軌道の遍歴過程の文脈の中で理解する試みは十分とは言えなかった。本論文では、数値計算により、上記の Fermi-Pasta-Ulam 模型における緩和過程を相空間内の軌道の挙動と結びつけて理解することを目的とする。

申請者は、Fermi-Pasta-Ulam 模型にて非線形性のパラメタを $\alpha = \beta = 0.125$ 、質量を $m=1$ 、システムサイズを $N=32$ とした場合に対し、詳細な数値計算によりこの問題を研究した。まず、モードエネルギーの分散により定義した、粗視化した緩和指標を導入し、その時間発展と緩和時間の全エネルギー密度依存性を観察することで「遅い多段階緩和」を検出した。さらに Lyapunov 解析によって系の軌道不安定性を捉えるとともに、それを種々の粗視化量と対応させることで4つの動力学相、すなわち、準周期運動・淀み運動・ローカルなカオス・より強いカオスの存在を見出した。また、カオスが発生している時間領域においても、系に非熱的ゆらぎが伴うことが示唆された。

次に申請者は「緩和の停滞」の一般性に着目した。緩和が停滞している状況で微視的状态（運動量と座標）に変更を加えることで、停滞状態（プラトー）の摂動に対する安定性を議論した。結果として、微視的状态の操作のもとでも緩和の遅さは解消されることがなく、したがってこの緩和の停滞は相空間において決して稀な現象ではないことが推測された。さらに、熱力学極限に対する興味から、システムサイズが大きい場合の挙動について考察した結果、熱力学極限においても依然として遅い緩和が残存する可能性が示された。

以上の結果は、多自由度保存力学系における熱平衡状態への非単調な緩和の様子の詳細を多様な先行研究を踏まえて初めて明らかにした研究であり、高く評価される。よって申請者は博士（理学）の学位を与えられるに相応しいと認められる。