

研究種目： 若手研究(B)  
研究期間： 2007年度～2010年度  
課題番号： 19760052  
研究課題名(和文) 準定常状態の統計力学とダイナミクス

研究課題名(英文) Statistical mechanics and dynamics in quasi-stationary states

#### 研究代表者

山口 義幸 (YAMAGUCHI Y. YOSHIYUKI)  
京都大学・大学院情報学研究科・助教  
研究者番号：40314257

研究分野：ハミルトン力学系理論

科研費の分科・細目：応用物理学・工学基礎

キーワード：ハミルトン力学系・長距離相互作用・準定常状態・非平衡統計力学・運動論

#### 1. 研究計画の概要

多自由度ハミルトン系は長時間経過の後に熱平衡状態へと緩和する。しかし長距離相互作用を持つ系の場合は、準定常状態と呼ばれる状態に長時間トラップされるため、観測にかかる時間スケールでは熱平衡状態ではなく準定常状態であることがしばしばある。準定常状態は初期状態の取り方に依存するため、与えられた初期状態に対してどのような準定常状態が実現するか、また準定常状態の安定性や準定常状態からの摂動の時間発展が問題となる。本研究では、非平衡統計力学や運動論を用いてこれらの問題の解決を目指す。

#### 2. 研究の進捗状況

研究内容は、非平衡統計力学およびダイナミクスに分類することができる。(1)非平衡統計力学としては、ハミルトン系の保存則を取り込んだ統計力学を用いた。この統計力学は Lynden-Bell が自己重力系の記述のために提唱したことに端を発するが、自己重力系では有用性に限界があることが知られていた。これは、力学的な起源によってコアとハロという構造が形成されることが原因である。しかし、Hamiltonian mean-field (HMF)モデルと呼ばれる系ではこのような構造が形成されないため、精度よく非平衡相転移を記述することができる。興味深いことに、HMF系は熱平衡状態では2次相転移しか起こさないが、非平衡状態では1次相転移および2次相転移を起こし、パラメータ空間内に tricritical 点という特殊な点が発生する。われわれは、これら非平衡状態特有の現象をも非平衡統計力学で記述できることを示した。

また、自己重力系に対しても、Lynden-Bell 統計に現象論的な修正を施すことによって1体分布関数を予測しうることを示した。(2)ダイナミクスの研究としては、準定常状態の安定性およびそのまわりの摂動の時間発展を調べた。HMF系を Vlasov 方程式、つまり1体分布関数方程式で近似的に記述し、分散関係とその根を求めることで定常解に与えられた摂動のダイナミクスを記述することができる。われわれは、非線形 Landau 減衰と現象論を用いることによって、空間一様な背景場の上に移動型クラスターが発生する条件を得た。また、前述の Lynden-Bell 統計は waterbag と呼ばれる初期状態に対して有用であるという制約があるため、この制約を越えた理論の開発も試みた。Vlasov 方程式を Lie-Poisson 括弧を用いてハミルトン形式に書き直し、摂動論を用いることによってオーダーパラメータの短時間発展を解析的に予測することができた。

#### 3. 現在までの達成度

②おおむね順調に進展している。  
当初の研究目標は、準定常状態を非平衡統計力学によって記述・予測し、緩和ダイナミクスを調べることであった。進捗状況の欄で示した通り、どちらに対しても一定の成果を挙げることができている。

#### 4. 今後の研究の推進方策

主にダイナミクスのより深い理解に向けて、2つの目標を挙げる。まず一つ目は、与えられた摂動のダイナミクスを調べることであるが、背景場を空間一様から空間非一様へと拡張することである。このためには、複素関

数の複雑な解析接続を実行するなど技術的な困難があるが、数値計算も援用することにより実行可能であると思われる。二つ目には、大きいクラスターの発生機構を理解することである。分散関係など、定常解まわりでの線形化方程式を用いた摂動論的方法では小さなクラスターしか構成できない。そこで、現象論をも取り入れた理論を構築し、大きいクラスターを構成する。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計4件)

(1) R. Bachelard, C. Chandre, A. Ciani, D. Fanelli and Y. Y. Yamaguchi, "Analytical results on the magnetization of the Hamiltonian mean-field model", Phys. Lett. A, **373** (2009) 4239-4245. 査読有.

(2) J. Barre and Y. Y. Yamaguchi, "Small traveling clusters in attractive and repulsive Hamiltonian mean-field models", Phys. Rev. E, **79** (2009) 036208. 査読有.

(3) Y. Y. Yamaguchi, "One-dimensional self-gravitating sheet model and Lynden-Bell statistics", Phys. Rev. E, **78** (2008) 041114. 査読有.

(4) A. Antoniazzi, D. Fanelli, S. Ruffo and Y. Y. Yamaguchi, "Nonequilibrium tricritical point in a system with long-range interactions", Phys. Rev. Lett. **99** (2007) 040601. 査読有.

[学会発表] (計4件)

(1) Y. Y. Yamaguchi, "Out-of-equilibrium statistical mechanics in a Hamiltonian system with long-range interactions", UN/ESA/NASA Workshop on Basic Space and the International Heliophysical Year 2007, 2007年6月21日. 国立天文台(東京三鷹).

[図書] (計0件)

[産業財産権]

○出願状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

○取得状況 (計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年月日：  
国内外の別：

[その他]