

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 洋道

論 文 題 目

非平衡系における Hyperuniformity の理論的研究

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 理学博士 河野 浩
委 員 名古屋大学大学院理学研究科 教授 博士(工学) 谷山 智康
委 員 名古屋大学大学院理学研究科 教授 博士(理学) 犬塚 修一郎

論文審査の結果の要旨

別紙 1-2

一般に熱平衡系では物理量の揺らぎは極めて小さいが、臨界点近傍は例外で、揺らぎは発散する。分子運動が協同的となり、相関長が増大するためである。最近、この常識を破り、相関長は増大するにも関わらず、揺らぎが小さく抑えられる現象が非平衡系で発見された。これは **Hyperuniformity**(以下 **HU**)と呼ばれている。

HU は初期宇宙構造から生命現象に至るまで様々な非平衡系で発見され、新しいタイプの長距離揺らぎとして大きな関心を集めているが、その本質は解明されていない。申請者は、異なる三種の非平衡系を題材に選び、大規模な数値実験により、それぞれの系の **HU** の性質を明らかにした。

第一の系は、生物集団を模した多粒子系の非平衡モデルであるアクティブマターである。申請者は最も単純なアクティブマターのモデルである、**Generalized Active Ornstein-Uhlenbeck Particles**(**GAOUP**)の数値実験を行った。そして幅広いパラメータ領域を探索することにより、従来型の長距離相関と大きな揺らぎで特徴づけられる凝集相や、**HU** 相の存在を示し、**GAOUP** の動的相図を完成させた。また **HU** 相における密度揺らぎの相関関数がスケール則に従うこと、その指数(**HU** 指数)が非自明な値を持つこと、密度だけでなく速度場にも非自明な長距離相関が存在することなどを明らかにした。第二に申請者は、ジャミング系の数値実験を行った。ランダムに箱詰めされた球が高密度で動けなくなった状態であるジャミング系は典型的な **HU** 系である。その **HU** 指数は空間次元に依存しないと考えられていた。申請者は数値実験や過去のデータの再解析により、**HU** 指数が次元依存性を持つことを示し、それがジャミング転移の上部臨界次元が 2 であると仮定することで自然に理解できることを示した。さらにこの系に準静的な力学的摂動を加えることにより、**HU** 指数が増加することを示した。第三に、申請者はジャミング系の有限温度版であるガラス系に注目した。ガラス系でも熱揺らぎの背後に **HU** が隠れている。申請者はこの **HU** の特性長が、低温領域で急成長することを確認した。さらに、緩和ダイナミクスとエネルギー地形の解析を行い、系のエネルギー地形が定性的に変化し始める動的ガラス転移点を同定した。そしてその転移点が、**HU** の特性長が定性的に変化し始める温度に非常に近いことを示した。この結果はランダムに見えるガラス系の粒子配置の中に、**HU** を特徴づける秩序が存在し、それが緩和ダイナミクスと関係していることを示唆している。

HU が、系を支配するダイナミクスの詳細や、エネルギー地形などに強く依存することを示した本研究は、様々な非平衡系で **HU** の多様性を明らかにしたもので、高く評価できる。また、参考論文は非平衡熱力学の基礎論に関わるモデルの解析的・数値的計算を行ったものであり、いずれも価値あるものである。よって申請者は、博士(理学)を授与されるに相応しいと認められる。