

先端研究拠点事業—国際戦略型—
「ソフトマターと情報に関する非平衡ダイナミクス」

共同研究プログラム 派遣報告書

2014年 2月 6日

氏名(ふりがな)	小林 未知数 (こばやし みちかず)
所属機関・部局・専攻内の所属分野	京都大学大学院理学研究科
職名	助教
メールアドレス	michikaz@scphys.kyoto-u.ac.jp
電話番号、FAX	075-753-3763

派遣先

受け入れ研究者氏名	Leticia F. Cugliandolo
所属機関(国)	パリ第6大学 (フランス)
身分	教授
メールアドレス	leticia@lpthe.jussieu.fr
研究室 URL	http://www.lpthe.jussieu.fr/~leticia/
電話番号、FAX	03-1-44-27-73-99

共同研究

研究課題名	和文	相対論および非相対論的な系における相秩序化ダイナミクス
	英文	Phase ordering process for relativistic and non-relativistic systems
派遣期間	2014年1月12日 - 2014年2月4日	

実際に行った研究活動、成果などを1-2ページ程度で記述してください。

本研究で対象となる系は3+1次元時空上のU(1)対称性を持つ古典場である。この系の熱平衡状態から出発して、温度クエンチを行ったときの相秩序化ダイナミクスをCugliandolo教授とともに解明することが本研究の大きな目標である。この系の熱平衡状態および時間発展を記述する方程式として、本研究ではローレンツ対称性を持つ相対論的なGoldstoneモデルおよびローレンツ対称性を持たない非相対論的なGross-Pitaevskiiモデルに対するランジュバン方程式を考えた。以下、Cugliandolo教授との共同研究を通して明らかになったことを示す。

(i)Goldstoneモデル、Gross-Pitaevskiiモデルともに、ある臨界温度においてU(1)対称性の自発的破れを伴う相転移を起こす。相転移の臨界温度は両モデルにおいて異なるが、臨界温度で規格化された温度に対する物理量の依存性は臨界温度付近において臨界指数を含めて一致する。

(ii)両モデルの相秩序化ダイナミクスにおいて、無数のトポロジカル欠陥が自発的に生成される。トポロジカル欠陥のダイナミクスは両モデルにおいて全く異なり、特に非散逸極限において両モデルは時間反転に対して対称であるにもかかわらず、Gross-Pitaevskiiモデルではトポロジカル欠陥の存在が時間反転対称性を破る。その結果、2本のトポロジカル欠陥が自発的につなぎ変わったりトポロジカル欠陥上に励起されるケルビン波が2次の分散を持って螺旋的に伝播したりするようになる。

(iii)Goldstoneモデルでは、相秩序化ダイナミクスにおいて、トポロジカル欠陥の自発的生成による臨界状態が形成され、トポロジカル欠陥の種類によらないユニバーサルな振る舞いを示す。それに伴って、相関関数から定義される動的相関長は時間、システムサイズ、クエンチ速度に対するスケーリング関数として記述できる。一方でGross-Pitaevskiiモデルでは、スケーリング則からlogのオーダーで補正がかかり、物理量をスケーリング関数として記述できない。また、特

にクエンチ速度が速いときに、トポロジカル欠陥の空間構造も両模型において大きく異なり、Goldstone 模型ではクエンチ速度の増加にともなってトポロジカル欠陥の大規模構造が現れるのに対して、Gross-Pitaevskii モデルではトポロジカル欠陥の小規模構造が現れるという、全く正反対のクエンチ速度依存性を持つようになる。

Goldstone 模型におけるトポロジカル欠陥は、宇宙論における宇宙ひもを記述するためのモデルであり、Gross-Pitaevskii 模型におけるトポロジカル欠陥はボース凝縮や超流動ヘリウムにおける量子渦を記述するモデルである。両模型におけるクエンチダイナミクスの違いは、初期宇宙における宇宙ひもの振る舞いを超流動ヘリウムやボース凝縮を用いて理解しようとする試みに対して、大きな理論的補正が必要であることを示している。また、Kosterlitz-Thouless 転移のような、トポロジカル欠陥が関与する他のダイナミクスにおいても両模型において定性的な違いが現れる可能性を示唆している。