

Title	Dynamics of fluctuations in relativistic heavy ion collisions for search of QCD phase structure
Author(s)	坂井田, 美樹
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/61516
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

論文内容の要旨

氏名 (坂井田 美樹)

論文題名

Dynamics of fluctuations in relativistic heavy ion collisions for search of QCD phase structure
(重イオン衝突実験におけるQCD相構造の探索に向けたゆらぎの動的性質の研究)

論文内容の要旨

有限温度・密度QCD相図は様々な構造を持っており、臨界点の存在などが予言されている。QCD臨界点の実験的探索は、重イオン衝突実験の究極の目的の一つであり、RHICやLHC加速器などにおいて活発に実験が行われている。

本研究では、重イオン衝突実験において生成された媒質がQCD臨界点近傍を通過した場合の、保存電荷ゆらぎの時間発展を議論した。観測時のゆらぎに対する臨界点の影響を評価することにより、臨界点の実験的探索における観測量としての有用性を考察した。本研究では特に、ゆらぎのラピディティ幅(保存電荷量を教え上げる部分領域)依存性に着目した。この観測量は、重イオン衝突実験で生成される系の時間発展の様相を反映しやすい物理量であることが、近年のLHCにおける実験結果によって示唆されている。

初めに、LHCの実験結果による示唆を明らかにするために、時間発展する保存電荷高次ゆらぎのラピディティ幅依存性に対する有限体積効果の影響を評価した。有限体積効果とは、仮にゆらぎが時間発展の様相を反映していなくても、LHCで観測されたゆらぎの振る舞いを説明可能な機構である。

本研究では、有限系における一次元ブラウン粒子モデルを用いてラピディティ空間におけるゆらぎの時間発展を記述することにより、ゆらぎに対する有限体積効果の影響を評価した。

この結果、有限体積効果はゆらぎの観測結果に影響しないこと、ゆらぎのラピディティ幅依存性が実験で生成された系の時間発展の情報を反映する物理量であることを示した。

次に、実験の時間発展の様相を反映するというゆらぎのラピディティ幅依存性の特性を活かして、系がQCD臨界点近傍を通過した場合における、ゆらぎの時間発展を議論した。

本研究では、QCD臨界点近傍における保存電荷と秩序変数場の結合を考慮し、確率論的拡散方程式を用いて保存電荷ゆらぎの時間発展を議論した。この結果、先行研究では無視されていた結合の効果が重要であること、また、臨界ゆらぎの効果が、観測時の保存電荷ゆらぎのラピディティ幅依存性に特徴的な非単調な振る舞いをもたらすことを示した。ラピディティ幅依存性が示す非単調な振る舞いは、QCD臨界点の実験的探索において、強いシグナルになると期待できる。

最後に、保存電荷ゆらぎに対する記憶時間効果(因果律の影響)を議論した。保存電荷の時間発展を記述するために用いられる確率論的拡散方程式は、因果律を破るという問題を持つことが知られている。本研究では、記憶時間を持つ方程式をミクロスコピックな枠組みから導出し、ゆらぎに対する因果律の影響を評価した。この結果、記憶時間効果は、ゆらぎが平衡化するのを遅延させるが、この効果が与える影響は小さいことを示した。

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (坂井田 美樹)			
	(職)	氏 名	
論文審査担当者	主 査	教授	浅川 正之
	副 査	教授	保坂 淳
	副 査	准教授	浅野 建一
	副 査	准教授	阪口 篤志
	副 査	助教	北澤 正清

論文審査の結果の要旨

有限温度・密度量子色力学 (QCD) 相図は様々な構造を持っていると考えられており、その一例として臨界点の存在が予言されている。QCD 臨界点の実験的探索は、重イオン衝突実験の究極の目的の一つであり、アメリカの Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) やスイスの Large Hadron Collider (LHC) などで活発に研究が行われている。本論文では、特に重イオン衝突実験において生成された媒質が QCD 臨界点近傍を通過した場合の、保存電荷ゆらぎの時間発展を議論した。観測時のゆらぎに対する臨界点の影響を評価することにより、臨界点の実験的探索における観測量としての有用性を考察した。本研究では観測方法の新機軸として、ゆらぎのラピディティ幅(保存電荷量を数え上げるラピディティ部分領域)依存性に着目した。

本論文では、まず、時間発展する保存電荷高次ゆらぎに対する有限体積効果の影響を評価した。この結果、RHIC や LHC エネルギー領域では有限体積効果は現在行われているラピディティ幅に依存したゆらぎの観測結果に影響しないこと、ゆらぎのラピディティ幅依存性が実験で生成された系の時間発展の情報を反映する物理量であることを示した。さらに、LHC における電磁電荷の揺らぎの擬ラピディティ幅依存性に関するデータから、クォーク・グルーオンプラズマ中のクォークの拡散係数に関する制限も与えた。

次に、QCD 臨界点近傍における保存電荷と秩序変数場の結合を考慮し、確率論的な拡散方程式を用いて保存電荷ゆらぎの時間発展を議論した。この結果、先行研究では無視されていた結合の効果が重要であること、また、臨界ゆらぎの効果が、観測時の保存電荷ゆらぎのラピディティ幅依存性に特徴的な非単調な振る舞いをもたらすことを示した。

さらに、揺らぎの時間発展におけるメモリー効果 (遅延効果) を考慮して、その観測量に対する影響も評価した。

これらの研究は、現在注目されている保存量揺らぎに関する他の理論を遥かに超えるものと言え、今後のこの分野の研究において常に参照される代表的な結果となるものであると考えられる。よって、本論文は博士 (理学) の学位論文として十分価値あるものと認める。