



## 高次ゆらぎと粒子相関による高密度クォーク核物質の1次相転移と臨界点観測への挑戦

素粒子、原子核、宇宙物理学  
およびその関連分野



研究者所属・職名： 数理物質系・教授

ふりがな えすみ しんいち

氏名： 江角 晋一

主な採択課題：

- [基盤研究\(S\) 「高次ゆらぎと粒子相関による高密度クォーク核物質の1次相転移と臨界点観測への挑戦」\(2019-2023\)](#)
- [新学術領域研究\(研究領域提案型\) 「高温高密度クォーク物質のQCD臨界点探索」\(2013-2014\)](#)

分野：原子核物理実験

キーワード：臨界点、1次相転移、QCD相図、クォーク・グルーオン・プラズマ、重イオン衝突

### 課題

#### ● 研究の背景・目的

CERN・BNL研究所のLHC・RHIC加速器を用いた高エネルギー原子核衝突実験により、衝突領域の高温・高密度物がクォーク・ハドロン相転移を起こしている事が分かりつつある。そのQCD相図(図1)は、高温領域の滑らかなクロスオーバー相転移と質的に異なり、高密度領域に予測される1次相転移・臨界点などの豊富な相構造に注目が集まっている。原子核の衝突ビーム・エネルギーを走査することにより、QCD相図の高温領域から高密度領域への変化を調べることを目的とし、1次相転移と臨界点の実験的な直接観測に挑む。

#### ● 研究の手法

RHIC加速器を用いるビームエネルギー走査実験を行い、原子核衝突の反応平面や、生成粒子の多粒子相関の測定に基づいた1次相転移の探索と、バリオン数や電荷などの保存量の高次ゆらぎを用いたQCD臨界点の探索を行い、高温領域から高密度領域へのQCD相図の構造を調べる。



図1 クォーク・ハドロンQCD相図



# 高次ゆらぎと粒子相関による高密度クォーク核物質の1次相転移と臨界点観測への挑戦

素粒子、原子核、宇宙物理学  
およびその関連分野

## 研究成果

### ●QCD臨界点からの信号か？

原子核の衝突エネルギーが100GeV～数TeVの領域はQCD相図上の高温領域のクロスオーバー相転移であり、数GeV～10GeVの領域は同相図上の高密度領域の1次相転移であり、さらにその終点として臨界点があると期待されるが、実験的には未確認である。BNL研究所のRHIC加速器を用いるSTAR国際共同実験研究グループにおいて、衝突ビームエネルギー走査実験を行い、これら1次相転移とQCD臨界点の探索を行っている。本研究計画の実験+理論グループの研究体制により、これまで困難であった高次ゆらぎに対する多重度に依存する検出効果の補正に関する問題を解決し [NIM A906 (2018) 10-17, NIM A987 (2020) 164802]、第1期ビーム・エネルギー走査実験データを用いた高次ゆらぎの解析を推進した。これにより、図2のように「陽子-反陽子数分布の4次ゆらぎに見える非単調な変化の兆候」を公表した [PRL 126 (2021) 092301]。しかし、この統計的な実験精度では、臨界点の決定的な証拠とは言えないため、現在第2期のビーム・エネルギー走査実験を推進中である。

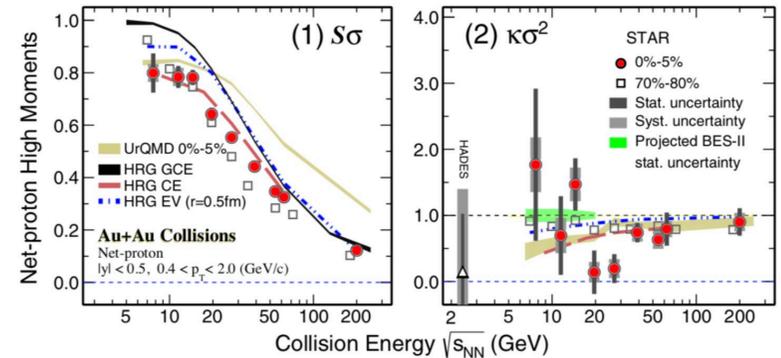


図2 正味陽子数分布の高次ゆらぎのビーム・エネルギー依存性

## 今後の展望

### ●今後の展望・期待される効果

STAR国際実験グループではBNL-RHIC加速器を用いて、特に図2右で非単調な兆候を示す数GeV～30GeVの領域を精査するために、高統計の第2期ビーム・エネルギー走査実験(BES-II)を遂行している。さらに低い重心系衝突ビーム・エネルギー領域を探索するために、図3のように、片側のビームのみを用いる固定標的衝突実験による、衝突型加速器実験としては稀な手法を用いた測定を行う。これは高密度クォーク核物質相研究における臨界点の向こう側を目指して、ドイツ、ロシア、中国、日本をはじめ、世界各国で始まっている次世代重イオン実験計画への準備となる。

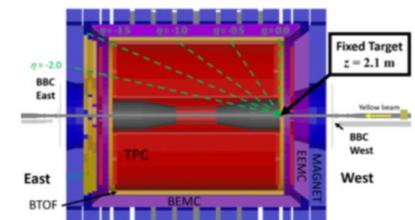


図3 固定標的実験モード