

## プロジェクト名(タイトル): 高エネルギー原子核物理学

利用者氏名: ○四日市 悟 (1)、渡辺 康 (1)、秋葉 康之(1)

理研における所属研究室名:(1) 仁科加速器科学研究センター RHIC 物理研究室

## 1. 本プロジェクトの研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

当研究室では国内外の高エネルギー粒子加速器を用いて、原子核物理学の実験的研究を行っている。研究の主目的は、強い相互作用をする素粒子であるクォークやグルーオン、およびそれらが構成するハドロン of の性質を理解し、強い相互作用の法則である量子色力学(QCD)を実験的に解明することである。具体的には、RHIC/PHENIX 実験での原子核衝突実験により生成される高温状態におけるクォーク・グルーオンプラズマの性質の研究、同じく PHENIX 実験での偏極陽子衝突実験による、陽子スピンの担い手としてのグルーオンやクォークの性質の研究、J-PARC での陽子原子核反応実験による高密度状態での中間子の性質の研究などを遂行している。

このような高エネルギー原子核実験では、たとえば毎秒 100 万回におよぶ原子核反応から、400 万チャンネルの大型検出器を使用して毎秒 500 MB におよぶ大量のデータが記録される。年間での典型的データ量は、生データで 1PB、荒い解析後で 200 TB 程度となる。

このデータを取り扱うため、大規模ストレージおよび大量の CPU パワーは必須であるが、当研究室では 2000 年度より計算機センターである RIKEN-CCJ を運用し、国際共同実験 PHENIX の遂行に大きな役割を果たしてきた。増大するデータ量に対応するため、2004 年度からは情報基盤センターの運用する RSCC、その後 RICC で CPU を占有利用し、また大規模ストレージ HPSS を利用してきた。

## 2. 具体的な利用内容、計算方法

実験固有のデータ解析およびシミュレーションソフトウェアを使用している。また、業界共通の toolkit である GEANT、ROOT などのライブラリを使用している。国際共同実験のため、世界各地で同じデータをもとに解析を進めている。その際解析場所によって結果が変わることを防ぐことが重要な課題になっており、共同実験全

体で、OSなどのソフトウェア環境を統一することにした。その環境構築は、2017 年度までは CPU ノードの占有利用により行っていた。HOKUSAI の IA サーバ運用開始ののち、占有利用ができなくなったため、コンテナテクノロジーを用いた上記環境の実現をめざしている。また、HOKUSAI 移行により HPSS は廃止されたが、そこに保管されていた実験データ 1.7 PB のうち生データを除く 0.9 PB の実験データを HOKUSAI のストレージに移行して使用している。2020-23 年度には 120 TB 程度の J-PARC 新規実験データのストレージとしても利用している。

## 3. 結果

研究成果リストに示すように、5 報の査読つき論文、4 本の会議報告、1 件のプレスリリースが出ている。研究の性格上、2023 年度以前の実験データおよび解析結果に基づく論文も含まれる。

## 4. まとめ

高エネルギー原子核実験の大規模データの解析のためには、HOKUSAI のストレージを使用することが必須である。2023 年度はストレージ利用が主であった。加速器故障のため、新規実験データ・解析データは予定 100TB 程度のところ実際には 3TB 程度であった。2024 年度には 100-200TB の新規データが入る予定である。現在合計で 1070 TB ほどテープストレージを利用している。

## 5. 今後の計画・展望

HOKUSAI BW2 のテスト運用で、singularity による運用可能性を実証した上で必要に応じて CPU 資源追加を申し込む予定である。いずれにせよインテルアーキテクチャの CPU が前提であり、2-3 年以内に GPU を利用することはないと考えている。ペタバイト級ストレージについては PHENIX 実験、その後

## 2023年度 利用報告書

継の sPHENIX 実験、J-PARC 実験とも必須であるので、引き続き利用させていただかないと実験が成立しない。J-PARC での実験は 2020 年より開始して最低 2025 年までは、また、sPHENIX 実験は 2023 年より 2025 年までデータ取得が行われる。取得完了後 5 年程度は利用したいという計画である。なお、理研の規程により、論文投稿より 5 年間のデータ保存義務があることに鑑みても、データ取得終了後最低 5 年のストレージ利用は必須となる。システム更新によるテープストレージからディスクストレージへの移行についてはいずれ相談したい。2024 年度には 100-200TB 程度の実験データの格納予定がある。現在までは CPU とディスクストレージは基本的に当研究室のものをつかっているため、基本的にはテープストレージでも問題はないが、今後 Hokusai-SS/BW2 の CPU を使う場合の、解析におけるテープとディスクの間のやりとりの最適化も検討課題である。

### 6. 利用がなかった場合の理由

コンテナ技術利用計画が未完のため、一般の計算ノードは使用していない。次期 HOKUSAI BW2 は singularity 使用可ということなので、計算を始めたいと考えている。

2023年度 利用研究成果リスト

【雑誌に受理された論文】

1) Transverse single-spin asymmetry of charged hadrons at forward and backward rapidity in polarized p+p, p+Al, and p+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200\text{GeV}$

PHENIX Collaboration N.J. Abdulameer(Debreceen U.) et al. (Mar 13, 2023), Phys.Rev.D 107 (2023) 11, 112004

2) Improving constraints on gluon spin-momentum correlations in transversely polarized protons via midrapidity open-heavy-flavor electrons in p↑+p collisions at  $\sqrt{s}=200\text{GeV}$

PHENIX Collaboration N.J. Abdulameer(Debreceen U.) et al. (Apr 27, 2022), Phys.Rev.D 107 (2023) 5, 052012

3) Low-pT direct-photon production in Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=39$  and  $62.4\text{ GeV}$

PHENIX Collaboration N.J. Abdulameer(Debreceen U.) et al. (Mar 23, 2022), Phys.Rev.C 107 (2023) 2, 024914

4) Measurement of Direct-Photon Cross Section and Double-Helicity Asymmetry at  $\sqrt{s}=510\text{GeV}$  in p→+p→ Collisions

PHENIX Collaboration U. Acharya(Georgia State U., Atlanta) et al. (Feb 16, 2022), Phys.Rev.Lett. 130 (2023) 25, 251901

5) Construction of gas electron multiplier tracker for the J-PARC E16 experiment

T. N. Murakami et al., Nucl. Instrum. and Meth. A 1058 (2024) 168817

【会議の予稿集】

1) L. Seunghwan [RHICf Collaboration], "Correlation study using RHICf and STAR detectors to understand the finite transverse single spin

asymmetry for very forward neutral pion production," PoS ICRC2023, 517 (2023)

2) M. Kim [RHICf Collaboration], "Transverse single spin asymmetry for very forward neutron production in polarized p+p collisions at  $\sqrt{s}=510\text{ GeV}$ ,"

[arXiv:2307.07673 [nucl-ex]].

3) Experimental Study of In-medium Spectral Change of Vector Mesons at J-PARC

K. Aoki et al, Few-Body Systems 64 (2023) 63

4) Commissioning of a hadron blind detector for dielectron measurement in pA reactions at J-PARC

K. Kanno et al, JINST 18 (2023) C06021

【その他(著書、プレスリリースなど)】

陽子内のグルーオンのスピンの向きを決定

2023年6月22日 理化学研究所

[https://www.riken.jp/press/2023/20230622\\_1/index.html](https://www.riken.jp/press/2023/20230622_1/index.html)