

課題名 (タイトル) :

高エネルギー原子核物理学

利用者氏名 : 延與 秀人、渡邊 康、○四日市 悟、中井恒、菅野光樹
理研での所属研究室名 : 仁科加速器研究センター 延與放射線研究室

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

延與放射線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 1 PB、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。その環境を構築するため、CPU ノードの占有利用が必要であった。

また、データファイルの分割により、数時間程度の job を同時並行で走らせる形で CPU を使用するが、並列計算はおこなわない。近年おこなわれているデータ解析は I/O bound であるため、RIKEN-CCJ のローカルディスク (ノードあたり 10-20 TB, 合計 400 TB) に常駐させたデータに対して解析を行い、占有利用している CPU はシミュレーションに使うという分業を行っている。ローカルディスクは冗長性のない disk であり、故障も少なくないので、バックアップとしての HPSS など大規模ストレージはなくてはならない。

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 の実験データが HOKUSAI のストレージに移された。もちろん新規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、8 報の論文が出ている。研究の性格上、2017 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。2016 年に PHENIX 実験のビームタイムが終了し、解析需要は落ち着いてきており、後継実験である sPHENIX 実験や、J-PARC での新しい実験のためのシミュレーションおよびテスト実験データの解析・ストレージ需要が過半を占める。

5. 今後の計画・展望

PHENIX 実験のソフトウェアについては LINUX OS のバージョン固定、NFS によるライブラリ共有、放射線研で運用する校正 DB サーバーとの通信、などが必要なため、CPU は占有利用させていただいてきた。今後は占有利用ではなく、コンテナ技術などを用いて一般利用カテゴリで CPU を利用できるようにしていく予定であり、新年度には、まずは簡易利用でそのようなテストを行っていきたい。いずれにせよインテルアーキテクチャの CPU が前提である。素粒子原子核物理業界でも GPU の

使用ははじまりつつあるが、われわれとしては 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、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。今後最低 5 年は利用したいという計画である。

平成 29 年度 利用研究成果リスト

【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), "Measurement of the relative yields of $\phi(2S)$ to $\phi(1S)$ mesons produced at forward and backward rapidity in p+p, p+Al, p+Au, and 3He+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV", Phys. Rev. C 95, 034904, 2017-3-9,

<https://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.95.034904>

C. Aidala et al. (PHENIX Collaboration), "Measurement of long-range angular correlations and azimuthal anisotropies in high-multiplicity p+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV", Phys. Rev. C 95, 034910,

2017-3-24, <https://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.95.034910>

A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), "Nonperturbative-transverse-momentum effects and evolution in dihadron and direct photon-hadron angular correlations in p+p collisions at $\sqrt{s} = 510$ GeV", Phys. Rev. D 95, 072002, 2017-4-4, <https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.95.072002>

C. Aidala et al. (PHENIX Collaboration), "Measurements of $B \rightarrow J/\psi$ at forward rapidity in p+p collisions at $\sqrt{s} = 510$ GeV", Phys. Rev. D 95, 092002, 2017-5-2,

<https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.95.092002>

A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), "Angular decay coefficients of J/ψ mesons at forward rapidity from p+p collisions at $\sqrt{s} = 510$ GeV", Phys. Rev. D 95, 092003, 2017-5-8,

<https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.95.092003>

C. Aidala et al. (PHENIX Collaboration), "Cross section and transverse single-spin asymmetry of muons from open heavy-flavor decays in polarized p+p collisions at $\sqrt{s} = 200$ GeV", Phys. Rev. D 95, 112001,

2017-6-12, <https://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.95.112001>

A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), "Measurements of $e+e'$ pairs from open heavy flavor in p+p and d+A collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV", Phys. Rev. C 96, 024907, 2017-8-18,

<https://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.96.024907>

C. Aidala et al. (PHENIX Collaboration), "B-meson production at forward and backward rapidity in p+p and Cu + Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV", Phys. Rev. C 96, 064901, 2017-12-4,

<https://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.96.064901>

C. Aidala et al. (PHENIX Collaboration), "Measurements of azimuthal anisotropy and charged-particle multiplicity in d + Au collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200, 62.4, 39,$ and 19.6 GeV", Phys. Rev. C 96, 064905,

2017-12-26, <https://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.96.064905>

【国際会議などの予稿集、proceeding】

Yuji Goto (RHICf collaboration).

, "Cross Section and Asymmetry Measurement of Very Forward Neutral Particle Production at RHIC",
International Journal of Modern Physics, Conference Series 40, 1660110 (2016)

【国際会議、学会などでの口頭発表】

- 1) S. Yokkaichi, "The J-PARC E16 experiment: Measurements of spectral change of vector mesons in nuclear matter", [HDNM 2017](#), 2017/3/28-31, Weizmann Inst., Rehovot, Israel
- 2) K. N. Suzuki, "Dilepton Measurement to Study Spectral Modification of Vector Mesons (J-PARC E16 Experiment)", 2017/12/15, SNP School 2017, IQBRC, Tokai, JAPAN

【その他（プレスリリース、学術会議以外の一般向けの講演など）】

プレスリリース 理研 2018年1月9日 極小世界のビリヤード実験

http://www.riken.jp/pr/press/2018/20180109_2/digest/