

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、橋本 公瑛、Seidl Ralf、小松雄哉、中井恒、菅野光樹

所属 : 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、解析場所によって結果が変わることを防ぐために独自にソースを書き換えることには

限界があり、実験中央の OS 環境等にあわせるため、CPU ノードの占有利用が必要である。

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生 disk であり、故障もすくなくないので、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 のストレージに移行された。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、19 報の論文が出ている。研究の性格上、2015 年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。

PHENIX 実験の解析需要は落ち着きつつあるが、後継実験である sPHENIX 実験や、J-PARC 実験の設計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需要がのびつつあり、論文も出はじめている。

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

平成 27 年度 利用報告書

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いる。旧 RICC の CPU の運用期限まではこの体制で利用したい。J-PARC 実験のソフトウェアについてはこの限りではないので一般利用への移行は比較的容易だが、いずれにせよインテルアーキテクチャが前提である。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。

【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

- 1) A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), "Scaling properties of fractional momentum loss of high-pT hadrons in nucleus-nucleus collisions at $\sqrt{s_{NN}}$ from 62.4 GeV to 2.76 TeV", Phys. Rev. C 93, 024911, 2016-2-22, <http://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.93.024911>
- 2) A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), " ϕ meson production in the forward/backward rapidity region in Cu + Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV", Phys. Rev. C 93, 024904, 2016-2-4, <http://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.93.024904>
- 3) A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), "Transverse energy production and charged-particle multiplicity at midrapidity in various systems from $\sqrt{s_{NN}}=7.7$ to 200 GeV", Phys. Rev. C 93, 024901, 2016-2-3, <http://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.93.024901>
- 4) A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), "Measurement of higher cumulants of net-charge multiplicity distributions in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=7.7-200$ GeV", Phys. Rev. C 93, 011901(R), 2016-1-19, <http://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.93.011901>
- 5) A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), "Dielectron production in Au + Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV", Phys. Rev. C 93, 014904, 2016-1-11, <http://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.93.014904>
- 6) A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), "Inclusive cross section and double-helicity asymmetry for π^0 production at midrapidity in p+p collisions at $\sqrt{s}=510$ GeV", Phys. Rev. D 93, 011501(R), 2016-1-7, <http://journals.aps.org/prd/abstract/10.1103/PhysRevD.93.011501>
- 7) A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), " ϕ meson production in d+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV", Phys. Rev. C 92, 044909, 2015-10-19, <http://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.92.044909>
- 8) A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), "Measurements of Elliptic and Triangular Flow in High-Multiplicity He³+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV", Phys. Rev. Lett. 115, 142301, 2015-9-28, <http://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.115.142301>
- 9) A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), "Systematic study of charged-pion and kaon femtoscopy in Au + Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV", Phys. Rev. C 92, 034914, 2015-9-23, <http://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.92.034914>
- 10) A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), "Systematic study of azimuthal anisotropy in Cu + Cu and Au + Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=62.4$ and 200 GeV", Phys. Rev. C 92, 034913, 2015-9-23, <http://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.92.034913>
- 11) A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), "Centrality dependence of low-momentum direct-photon production in Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV", Phys. Rev. C 91, 064904, 2015-6-5, <http://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.91.064904>
- 12) A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), "Measurement of Long-Range Angular Correlation and Quadrupole Anisotropy of Pions and (Anti)Protons in Central d+Au Collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV", Phys. Rev. Lett. 114, 192301, 2015-6-5, <http://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.114.192301>
- 13) A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), "Heavy-quark production and elliptic flow in Au + Au

collisions at $\sqrt{s_{NN}}=62.4$ GeV", Phys. Rev. C 91, 044907, 2015-4-28,
<http://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.91.044907>

- 14) A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), "Search for dark photons from neutral meson decays in p+p and d+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV", Phys. Rev. C 91, 031901(R), 2015-3-10,
<http://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.91.031901>
- 15) A. Adare et al. (PHENIX Collaboration), "Measurement of $Y(1S+2S+3S)$ production in p+p and Au+Au collisions at $\sqrt{s_{NN}}=200$ GeV", Phys. Rev. C 91, 024913, 2015-2-24,
<http://journals.aps.org/prc/abstract/10.1103/PhysRevC.91.024913>
- 16) Y. Morino, et al, (J-PARC E16 Collaboration) "Measurement of Vector Meson Decays in Nuclei at J-PARC", JPS Conf. Proc. 8, 022009 (2015)
<http://dx.doi.org/10.7566/JPSCP.8.022009>
- 17) T. N. Takahashi, et al, "The electronics, online trigger system and data acquisition system of the J-PARC E16 experiment", J. Phys.: Conf. Ser. (JPCS), 664, 082053 (2015)
<http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/664/8/082053>
- 18) Y. Obara, et.al, "Development of GEM trigger electronics for the J-PARC E16 experiment", J. Phys.: Conf. Ser. (JPCS), 664, 082043 (2015)
<http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/664/8/082043>
- 19) K.Kanno et.al, "Development of a hadron blind detector using a finely segmented pad readout", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, A(2016) , in press,
<http://dx.doi.org/10.1016/j.nima.2016.02.063>