

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, 池田義雅, Seidl Ralf, \*岡田謙介, 山口頼人, 荒巻陽紀  
中村克朗, 橋本公瑛, 辻智也

所属 : 和光研究所 仁科加速器研究センター 素粒子物性研究部門 延與放射線研究室  
\* 仁科加速器研究センター 理研 BNL 研究センター実験研究グループ

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内外の高エネルギー粒子加速器を用いた原子核の実験的研究を行っている。

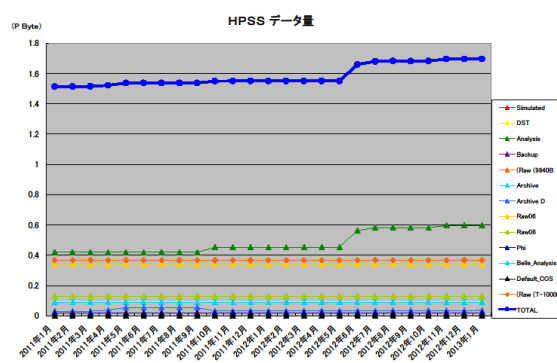
研究の主目的として、RHIC/PHENIX 実験では超高温高密度状態化でのクォーク・グルーオンの振る舞いを明らかにするとともに、陽子スピンの担い手としてのグルーオンの分担を明らかにすることである。

高エネルギー粒子加速器を用いた実験と計算機の関わりは多岐にわたるが、実験で生成するデータが大量であることが大きな特徴である。特に一昨年度末に理研が主導して導入したシリコンバーテックス検出器は 400 万チャンネルと、導入以前に比べ 20 倍のチャンネル数を持ち、生成データ量も大幅に増えている。もちろんリアルタイムでデータの取捨選択を行うが、それでもデータ収集速度は年を追うごとに増大し、今や 200MB/s 以上でデータが出力され、それを記録している。またそのデータ量だけでなく、400 万チャンネルにも及ぶ大規模で複雑な検出器の性能を評価するためのシミュレーションなど計算機を大量に利用することが不可欠である。そこで我々は 14 年前より計算機センターである RIKEN-CCJ を独自に運営していたが、増大するデータ量、要求計算能力などに対応するため、2004 年度から RSCC の一部を占有利用させて頂き、RICC においても同様に利用させて頂いている。必要とする大量のディスクについては、約 100TB のディスクを我々が独自に用意し RICC と接続している。

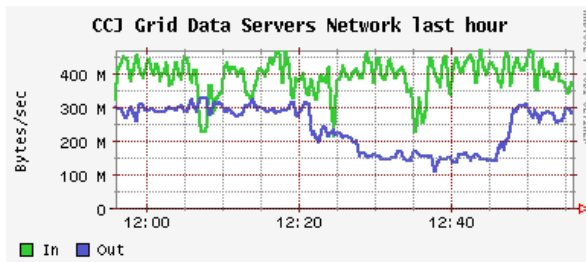
2. 具体的な利用内容、計算方法

近年、BNL 側の計算機能力が上がったため、生データ転送に伴う大量データ転送は行われなくな

っているが、それでも今年度も 200TB 程度のデータを BNL から運んだためテープアーカイブ装置 (HPSS) のデータ貯蔵量は 1.7PB 程度となっている。



またデータ転送は順調で、BNL-理研間で 400MByte/s 程度までの速度が出ている。



緑色の線が BNL から和光へのデータ転送レート  
テープアーカイブ装置内に貯蔵されたデータは適宜引き出され、計算ノードのローカルハードディスクにコピーされた上で解析される。一度に解析するファイル数は 1 万ファイル以上に達し、それらすべての解析結果を一つの統計情報としてまとめることにより物理現象を明らかにする。昨年度に引き続き、RIKEN-CCJ が独自に開発した大量データ処理専用クラスターを増強し、その大量ローカルディスク (380TB) にデータを常駐させたため、データの出し入れは必ずしも多くはない。しかしローカルディスクを大量に利用しているだけに度々故障し、バックアップであるテープ

アーカイブ装置の重要性はより高くなっている。

シミュレーションについて：陽子、又は原子核同士  
の衝突によって発生する多数の粒子を PYTHIA など  
イベントジェネレーターと呼ばれるプログラムを用い  
計算機内で大量に発生させ、実験データと同様の統  
計処理を加えたうえで実験結果と比較する。比較す  
る際には検出器の効率なども勘案する必要があり、  
GEANT と呼ばれるシミュレーションツールに検出器  
の構造、材質などを予め設定した上で用いる。GEANT  
は結果の導出ばかりでなく、検出器を設計する際  
にも用いられる。

### 3. 結果

別添の利用研究成果リストに記したように、原著  
論文 10 報、口頭発表 6 報という成果が出ている。  
なお、これらには研究の性格上、以前の実験デー  
タや解析に基づいた結果も含まれる。

### 4. まとめ

R I C C を利用することによって、我々放射線研  
究室が特に押し進めている”陽子スピン研究”の  
ための大量データ解析及び大量シミュレーション  
を迅速に行うことが可能となっている。特に 1.7PB  
ものデータを安定して保持し、随時出し入れ出来  
るテープアーカイブ装置の存在は大きい。

大量データ解析については、R I K E N - C C J  
が独自に開発した大量データ処理専用クラスター  
の導入により、多くのジョブがそちらに移ってい  
るが、大量シミュレーションは精力的に R I C C  
で行われており要求度は高い。実験データ解析と  
シミュレーション、それら双方の結果があって初  
めて、物理現象の探求を目指した解析に進むこと  
が出来るため、是非とも R I C C は引き続き利用  
させてもらいたい。

### 5. 今後の計画・展望

R H I C 実験は少なくとも今後 3 年間は継続す  
ることになっており、データの貯蔵及び解析、シミ  
ュレーションなどあらゆる点において R I C C の  
利用は不可欠である。

現在でも約 1.7 ペタバイトという大量なデータを  
貯蔵し、その処理を行っているが、年々より多く  
のデータを処理する必要に迫られることは確実で  
ある。

平成 24 年度 RICC 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): "Ground and excited charmonium state production in p+p collisions at  $\sqrt{s}=200$  GeV", Phys. Rev. D 85, 092004 (2012), 2012-05-09

<http://prd.aps.org/abstract/PRD/v85/i9/e092004>

A. Adare et al. (PHENIX Collaboration): "Deviation from quark-number scaling of the anisotropy parameter  $v_2$  of pions, kaons, and protons in Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV", Phys. Rev. C 85, 064914 (2012), 2012-06-27

<http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevC.85.064914>

A. Adare et al. (PHENIX Collaboration): "Nuclear-Modification Factor for Open-Heavy-Flavor Production at Forward Rapidity in Cu+Cu Collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV", Phys. Rev. C 86, 024909 (2012), 2012-08-20

<http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevC.86.024909>

A. Adare et al. (PHENIX Collaboration): "Observation of direct-photon collective flow in Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV", Phys. Rev. Lett. 109, 122302 (2012), 2012-09-19

<http://prl.aps.org/abstract/PRL/v109/i12/e122302>

A. Adare et al. (PHENIX Collaboration): "Evolution of  $\pi^0$  suppression in Au+Au collisions from  $\sqrt{s_{NN}} = 39$  to 200 GeV", Phys. Rev. Lett. 109, 152301 (2012), 2012-10-12

<http://prl.aps.org/abstract/PRL/v109/i15/e152301>

S. Afanasiev et al. (PHENIX Collaboration): "Measurement of Direct Photons in Au+Au Collisions at  $\sqrt{s_{NN}} = 200$  GeV", Phys. Rev. Lett. 109, 152302 (2012), 2012-10-12

<http://prl.aps.org/abstract/PRL/v109/i15/e152302>

A. Adare et al. (PHENIX Collaboration): "Cross Sections and Double Helicity Asymmetries of Mid-Rapidity Inclusive Charged Hadrons in p+p at  $\sqrt{s} = 62.4$  GeV", Phys. Rev. D 86, 092006 (2012), 2012-11-08

<http://prd.aps.org/abstract/PRD/v86/i9/e092006>

A. Adare et al. (PHENIX Collaboration): "J/psi suppression at forward rapidity in Au+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=39$  and 62.4 GeV", Phys. Rev. C 86, 064901 (2012), 2012-12-06

<http://link.aps.org/doi/10.1103/PhysRevC.86.064901>

A. Adare et al. (PHENIX Collaboration): "Cold-nuclear-matter effects on heavy-quark production in d+Au collisions at  $\sqrt{s_{NN}}=200$  GeV", Phys. Rev. Lett. 109, 242301 (2012), 2012-12-12

<http://prl.aps.org/abstract/PRL/v109/i24/e242301>

A. Adare et al. (PHENIX Collaboration): "Double Spin Asymmetry of Electrons from Heavy Flavor Decays in p+p Collisions at  $\sqrt{s}=200$  GeV", Phys. Rev. D 87, 012011 (2012), 2013-01-29

<http://prd.aps.org/abstract/PRD/v87/i1/e012011>

**【国際会議、学会などでの口頭発表】**

Kensuke Okada: "Direct Photons at RHIC-PHENIX", Rencontres de Moriond, La Thuile, Aosta Valley, Italy, March 10-17, 2012

Kimiaki Hashimoto: "W Measurements at PHENIX", Annual RHIC and AGS Users Meeting, BNL, Upton, NY, June 12-15, 2012

Kensuke Okada: "Direct Photons and their Flow measured by PHENIX", Annual RHIC and AGS Users Meeting, BNL, Upton, NY, June 12-15, 2012

Maki Kurosawa: "Higher harmonics flow measurement of charged hadrons and electrons in wide kinematic range with PHENIX VTX tracker", Quark Matter, Int. Conf. Ultra-Rel. Nucl.-Nucl. Coll., Washington, D.C., August 13-18, 2012

Katsuro Nakamura: "The measurement of double spin asymmetry of single electron production in polarized proton-proton collision on RHIC PHENIX experiment", Japanese Physical Society, Fall (Autumn), Kyoto Sangyo University, Kyoto, Japan, September 11-14, 2012

Yuji Goto: "Inclusive cross section and single transverse-spin asymmetry of very forward neutron production at PHENIX", International Spin Physics Symposium, JINR, Dubna, Russia, September 17-22, 2012