

筑大広報第 05-9 号

平成 17 年 4 月 18 日

筑波研究学園都市記者会 御中

筑 波 大 学

国際共同研究の実験成果について

このことについて、本学数理物質科学研究科物理学専攻(専攻長 三明康郎教授)の研究グループは、文部科学省日米科学技術協力事業(高エネルギー物理学分野)の一環として、高エネルギー加速器等の研究機関と共に、米国ブルックヘブン国立研究所の大型国際共同実験 PHENIX に参加しておりますが、このたび、同研究所は、米国東部時間 4 月 18 日午前 9 時(日本時間 同日午後 10 時)にアメリカ物理学会において、別紙のとおり研究成果の発表を行いますので、お知らせします。

連絡先：筑波大学数理物質科学研究科物理学専攻

三明康郎 教授

電話 029 - 853 - 4254

江角晋一 講師(18日は16:30以降)

電話 029 - 853 - 4249

筑波大学総務・企画部広報課

電話 029 - 853 - 2040

FAX 029 - 853 - 2014

「RHIC における「完全な」液体の発見 - 予想以上に特徴的だった新しい物質状態」

巨大な「原子破砕機」である RHIC（相対論的重イオン衝突型加速器、米国ブルックヘブン国立研究所）では 4 つの実験グループが研究を推進している。日本からは大型国際共同実験 PHENIX に、文部科学省日米科学技術協力事業（高エネルギー物理学分野）の一環として筑波大学、東京大学、広島大学を中心に高エネルギー加速器研究機構、筑波技術短期大学、早稲田大学、長崎総合科学大学を含めた 7 機関が、また、理化学研究所とブルックヘブン国立研究所の共同研究の一環として、東京工業大学、京都大学を含めた 3 機関が参加している。

ブルックヘブン国立研究所は、2005 年 4 月 18 日午前 9 時（米国東部時間）フロリダ州タンパで開催中のアメリカ物理学会において、RHIC を用いた実験成果に関して「RHIC における「完全な」液体の発見 - 予想以上に特徴的だった新しい物質状態」と題する報道発表を行った。

今回の実験成果は、原子核を構成する基本粒子であるクォークとグルーオンから作り出された高温高密度の新たな物質状態が、従来の予想を大きく越えて特徴的なものであったことを示している。RHIC における最初の 3 年間の発見をまとめた論文によれば、RHIC の重イオン衝突により作られた物質は、クォークとグルーオンの自由な気体のように振舞うという予想に反して、むしろ「液体」のように見える。

RHIC における 4 実験（BRAHMS, PHENIX, PHOBOS, STAR）が各々 1 年近くを掛けて取り組んでいるこの論文は、学術誌 Nuclear Physics A に同時掲載される予定である。RHIC における観測結果のいくつかは、ビッグバンの百万分の数秒後に存在したとされる物質状態クォーク・グルーオン・プラズマ（以下 QGP）に関する理論的予想に合致しており、実際、多くの理論家は、既に RHIC で QGP の生成が示されたと結論している。しかし 4 つの実験グループは、実験データと QGP 生成の簡単な模型に基づく初期の理論予想との間には食い違いがあると指摘している。ブルックヘブン国立研究所のサム・アロンソン高エネルギー・原子核物理学担当副所長は、RHIC の科学者たちは QGP の生成に必要と予想される太陽の中心の 15 万倍にも及ぶ温度とエネルギー密度（単位体積あたりのエネルギー）に到達した、と信じている。一方で、2000 年 6 月の RHIC 運転開始から 2003 年までの物理実験データ解析によって、RHIC における金原子核同士の正面衝突により作られる物質は気体よりもむしろ液体のようであることが明らかになった。

その証拠とされるのは、1 回 1 回の衝突で作られる数千個もの粒子の飛跡に予想されなかったパターンが観測されたことである。これは、原子核衝突反応が起こる体積中の圧力が一様でないために、衝突により作られた粒子が集団として運動することを示唆している。この現象は、流体運動の性質に準えて、「流れ」と名付けられた。しかし、各分子が乱雑に運動する通常の液体とは異なり、RHIC で作られた高温物質は粒子同士が高度に統率されて動くように見える - 環境の変化に対して一体と

して反応する魚の群れのように。これは流体力学の方程式で説明される、ほぼ「完全な」流体運動である。流体力学の方程式は、非常に低粘度で粒子間の相互作用により急速に熱平衡状態に達し得る理論的に「完全な」流体を記述するために編み出された。RHIC では粘度は直接には測定できないが、「流れ」の様子から推定される粘度は非常に低く量子力学で許される極限に近いようである。これらの事実を総合すると、RHIC で生成されている物質は、高度に集団的な相互作用、急速な熱平衡化、非常に低粘度を示す、これまでに観測された最も完全に近い液体と考えられる。

以前に報告された RHIC における他の観測により、高エネルギーのクォークやグルーオンから作られる「ジェット」が衝突により作られた高温の火の玉を横切る間に大きく減速されることが示されている。この「ジェット抑制」は、この新しい物質状態のエネルギー密度が通常の原子核物質から成る媒質では説明できないほど高いことを示している。

多くの科学者は、今回発見された新しい物質状態は、これまで理論的に考えられてきたものとは異なっているが、QGP の一つの形態であると考えており、この点を明らかにするための詳細な測定が RHIC で進められている。この予測されなかった発見は、これまで実験室で実現不可能であった極限温度や密度における物質の性質に関する新たな科学的発見の機会を大きく広げるものでもある。RHIC の 4 実験は、さらに大量の新しいデータの収集と解析を進めている。より興味深く重要な発見が遠からず続くと期待される。

(注) なお、この報道発表は、PHENIX 実験に参加している国内の各研究機関から同時に行うものです。

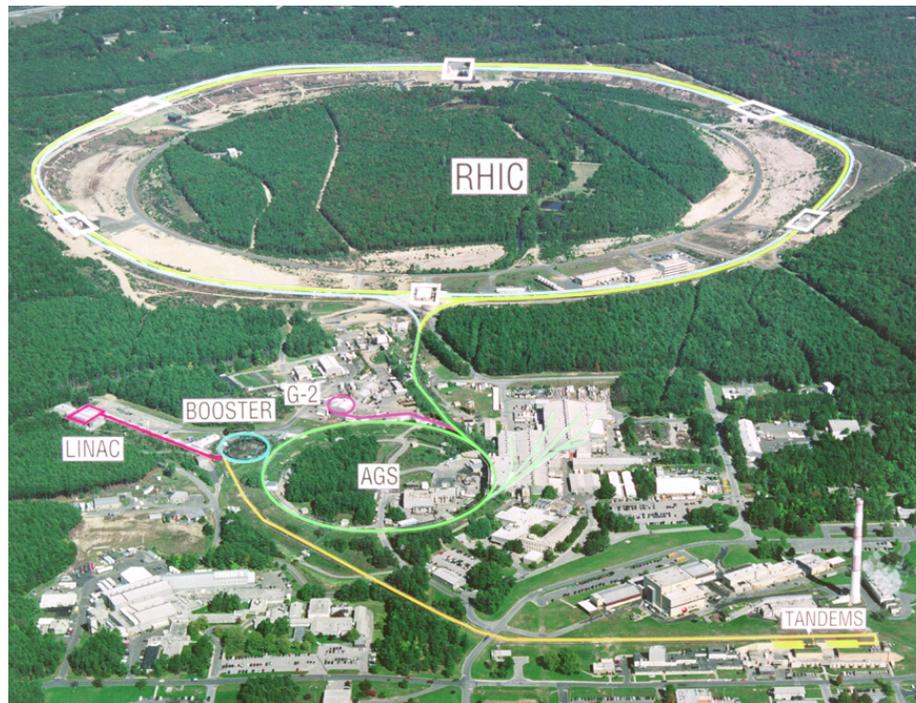
付属資料1: 米国ブルックヘブン国立研究所

- ・ブルックヘブン国立研究所は、エネルギー技術を始め、物理、生医学、環境科学の研究を進める米国エネルギー省が管轄する国立研究所 (<http://www.bnl.gov/>) で、1947年に創設された。同研究所は、ストーンブルック大学と非営利応用科学技術機関であるバテレにより創設された Brookhaven Science Associates という有限会社により運営されている。
- ・場所はニューヨーク市郊外約100キロ、ロングアイランド島の位置する。所員は研究者、エンジニア、テクニシャン、事務員を合わせて3000名。年に4000名以上の外部研究者が訪れる。
- ・ブルックヘブン国立研究所で行なわれた研究に対して、これまでに五つのノーベル賞が授与されている。
- ・ブルックヘブン研究所は、また、大学、産業界、政府関係の科学者が利用できる大きな施設を建設し、運営している。その例として、NSLS（国立シンクロトロン放射光源）や RHIC（相対論的重イオン衝突型加速器）がある。
- ・ブルックヘブン研究所の electronic newsroom: <http://www.bnl.gov/newsroom/>

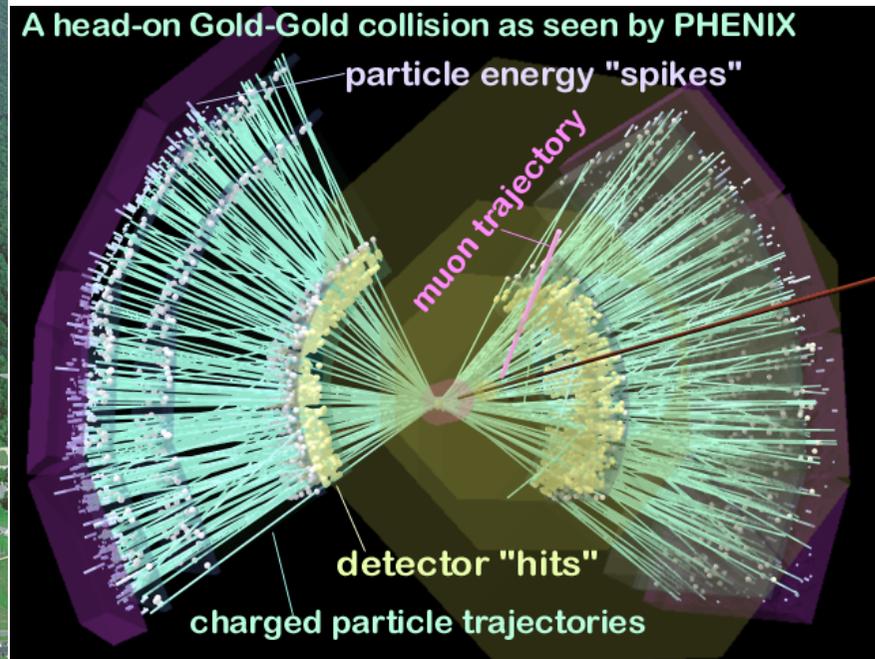


付属資料2: RHIC の概要

- RHIC (Relativistic Heavy Ion Collider) は、世界初の重イオン衝突型加速器で、金原子核同士を核子対あたり200 GeVで正面衝突させる事が可能である。
- RHICの周長は3.83 km、超伝導電磁石を用いた二つのリングからなり、質量数の異なる原子核同士の衝突が可能である。実際に2003年1月からのランでは、重陽子と金の衝突を用いた実験が行なわれた。
- RHICは、1991年に建設を開始し、1999年に完成した。
- 2000年6月12日に、金ビーム同士の衝突に成功し、実験が開始された。以降、毎年一度、数ヶ月の実験が行なわれている。
- RHICでは、四つの実験が行なわれている。それらは、PHENIX、STAR、PHOBOS、BRAHMS。
- RHICでは重イオン実験とともに、偏極陽子ビームを用いた核子のスピンの研究も行なわれている。



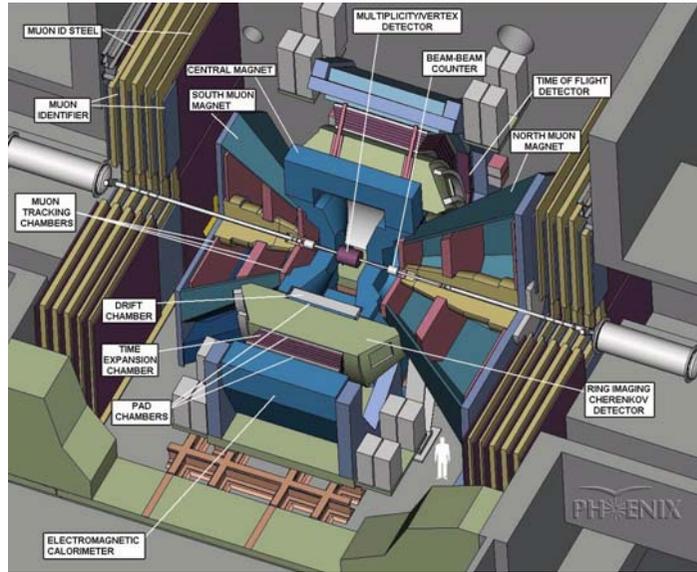
RHIC加速器複合システムの全景



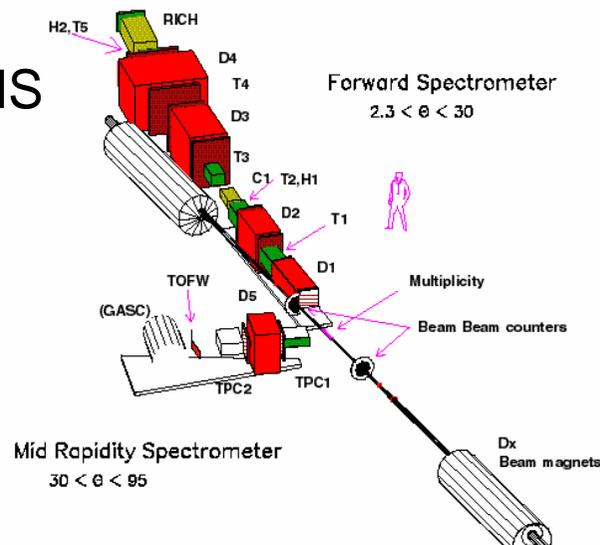
PHENIX実験が捕らえた金+金衝突の様子

付属资料3: RHICにおける実験

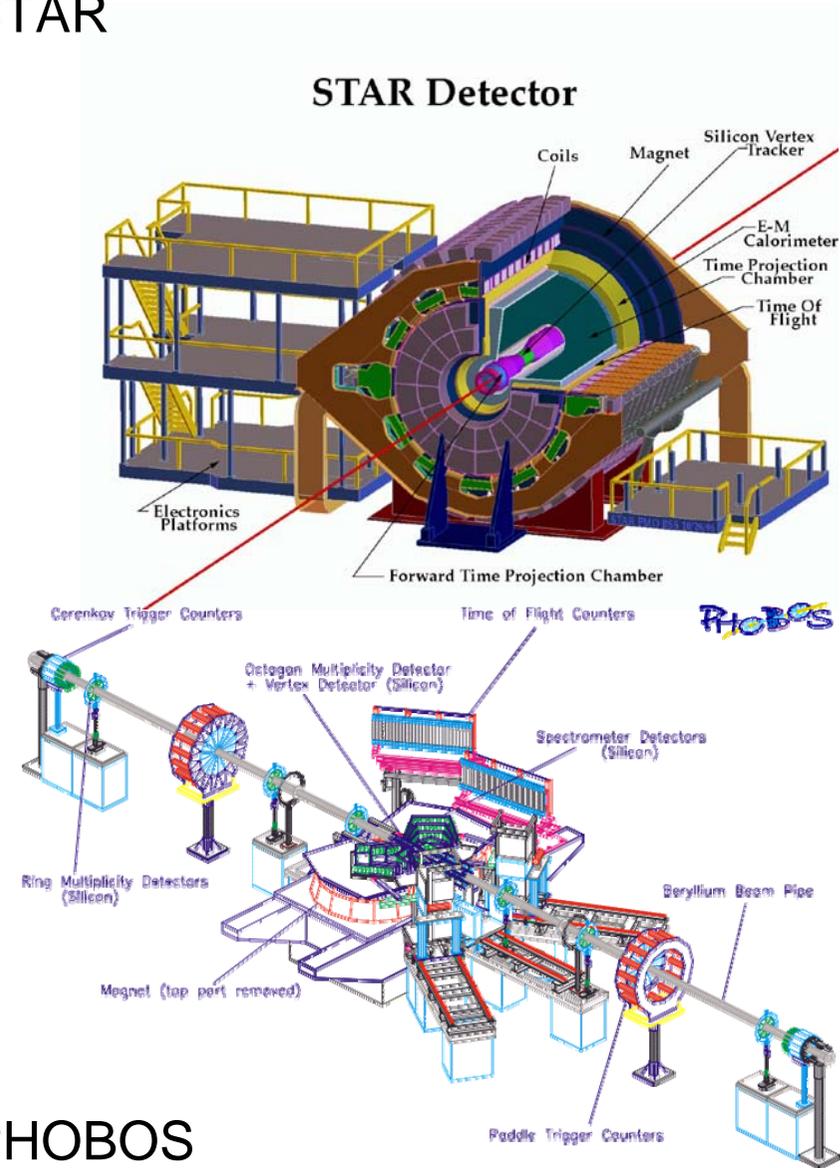
PHENIX



BRAHMS



STAR



PHOBOS

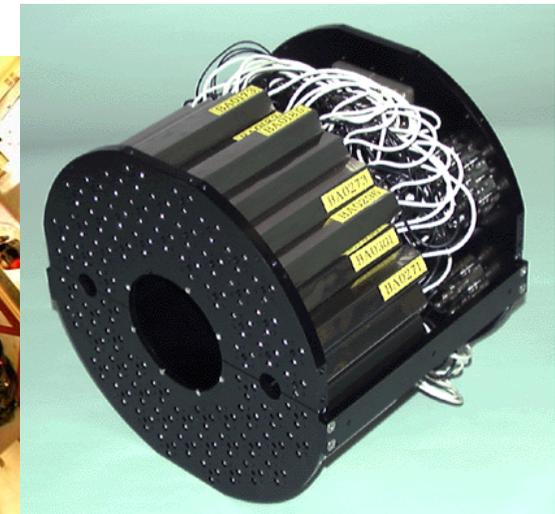
付属資料4: PHENIX実験

- PHENIX 実験は、RHIC における 4 つの実験の一つで、STAR 実験とともに大型実験。
- 13 ヶ国、62 研究機関から約 550 名の研究者、技術者、学生が参加。
- 日本グループは、文科省日米科学技術協力事業（高エネルギー物理学）のプロジェクトとして、1994 年、PHENIX 実験の概念設計段階から参加し、主導的な役割を果たして来た。
- 参加研究機関は、高エネルギー加速器研究機構、筑波大学物理学系、筑波技術短期大学、東京大学大学院理学系研究科、早稲田大学理工総合研究センター、広島大学大学院理学研究科、長崎総合科学大学工学部。
- 特徴：ハドロン、レプトン、フォトン測定することで、クォーク-グルーオン プラズマ実現の証拠の候補を出来るだけ網羅的に捉えることを念頭にデザインされた。レプトン、フォトン測定できる装置は、RHIC 実験の中では PHENIX 実験のみ。

日本グループが担当した主な検出器
RICH(リングイメージングチェレンコフ検出器)
東京大学、早稲田大学、長崎総合科学大学

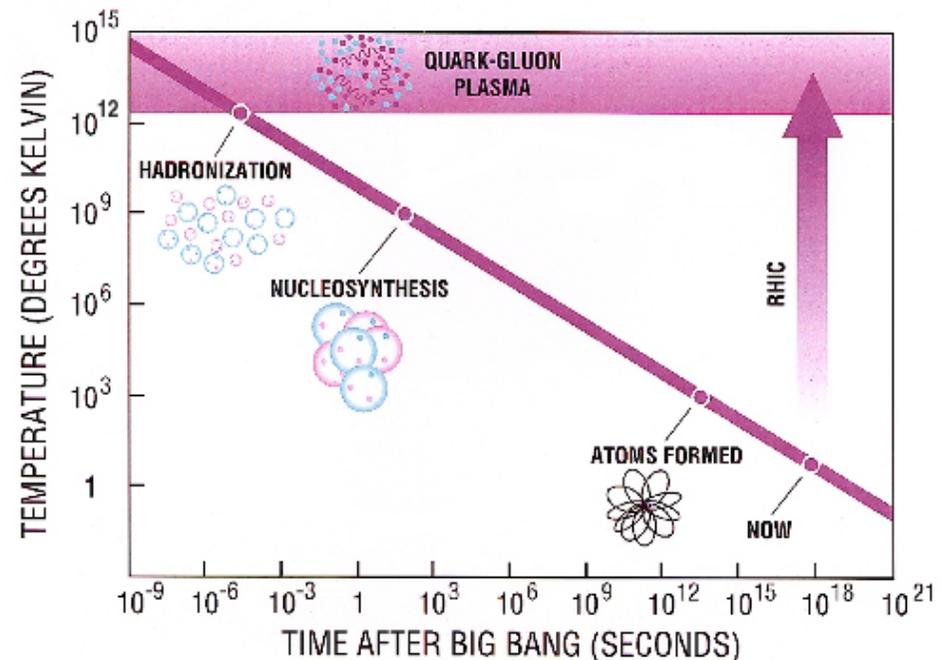
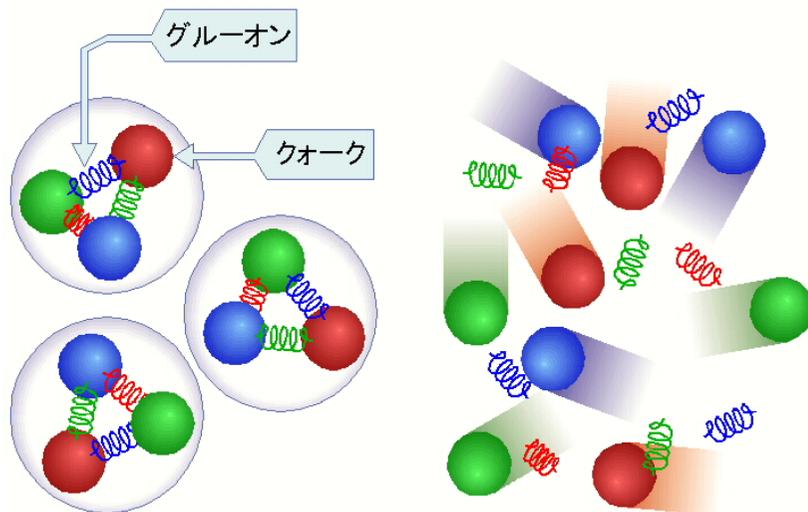
TOF(飛行時間測定装置)
筑波大学

BBC(ビーム・ビーム検出器)
広島大学



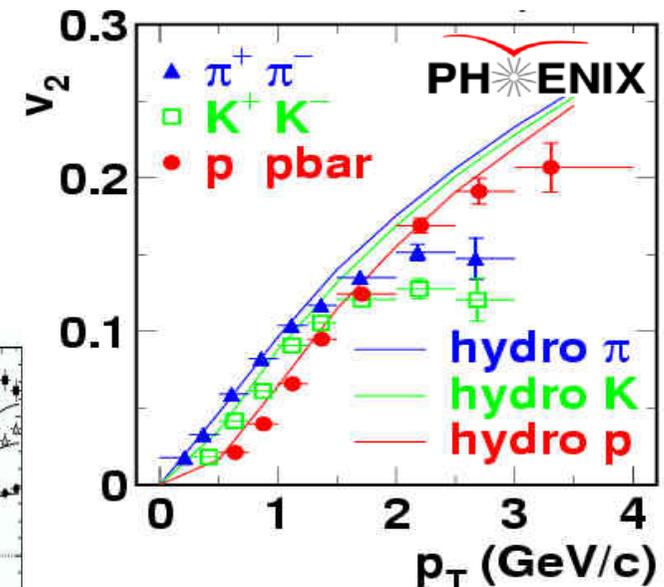
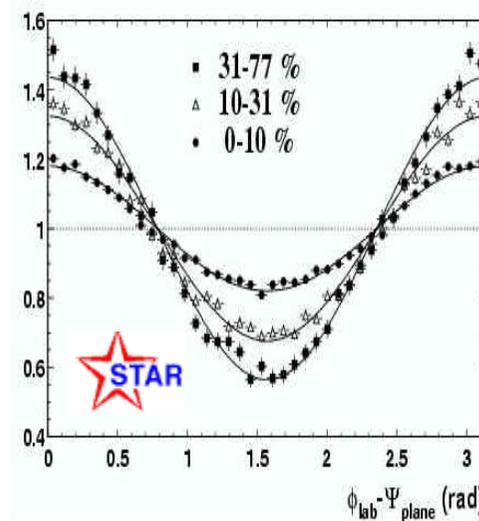
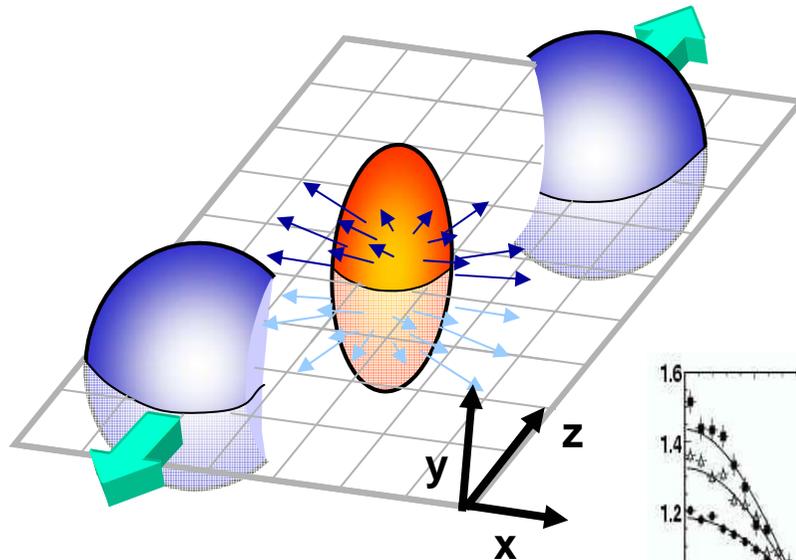
付属資料5: 高エネルギー原子核衝突実験研究の目的

- 普通の状態では、クォークやグルーオンはハドロン中に「閉じ込め」られており、個別に取り出すことは出来ない。「閉じ込め」は、強い相互作用（QCD：量子色力学）が持つ基本的な性質のひとつである。系を高温に熱すると、「閉じ込め」が破れ、クォークやグルーオンが自由に飛び交う状態、通称クォーク-グルーオンプラズマ状態（QGP）を実現すると予想されている。
- 高エネルギーの原子核同士を衝突させることで、高温、高エネルギー密度を持った状態を生成することができる。
- QGPは、Big Bang直後の宇宙初期に存在していたと考えられる。およそ1マイクロ秒から10マイクロ秒頃に、QGP状態から通常のハドロン物質（陽子や中性子の世界）に相転移したのと考えられている。
- 高エネルギー原子核衝突を用いた研究は、「閉じ込め」、QCD物質の研究であり、同時にその研究は、宇宙初期状態を実現し物質の起源を探ることである。



付属資料6: 今回の研究の説明

- 左図：高エネルギーでの金原子核と金原子核の衝突において、正面衝突でない場合には、衝突反応に関与する部分はアーモンド形の非等方な形状を持つ。
- 中図：衝突直後の空間的非等方性は、反応体積中の圧力の非一様性を通して、生成した粒子の集団運動に転化し、特定の方向（図の横軸）に向かう粒子数（図の縦軸）の増加／減少として観測される。この現象を流体力学に擬えて「流れ」と呼ぶ。
- 右図：観測された「流れ」の強さ（図の縦軸；各記号が測定点を示す）は「完全な」液体を記述する流体力学の方程式による計算（実線）とほぼ一致する。すなわち、金原子核同士の衝突で作られる物質状態はほぼ「完全な」液体であることを示している。



楕円的(流れ)粒子放出

