

理論センター主催 研究会「J-PARC における重イオン衝突実験が拓く新しい物理」

11 月 26 日 (水)、27 日 (木) 4 号館 1 階セミナーホール

世話人 板倉数記 (理論センター)

<http://kds.kek.jp/conferenceDisplay.py?confId=16757>

米国 Brookhaven 国立研究所における RHIC やスイスの CERN における LHC で行われている「高エネルギー重イオン衝突実験」の主目的は、宇宙誕生初期に存在したと考えられる「クォーク・グルオンプラズマ(QGP)」を生成し、その性質を探るといえるものです。RHIC の実験が始まってから現在までの 15 年もの間に、私たちの QGP に対する知見は飛躍的に増えるとともに深まり、QGP のダイナミクスに対する一定の理解を得ることができたと言えるでしょう。しかし、これらの実験によって理解されたのは、「高温・低密度」状態における物質のあり方であり、温度・密度平面で表される「QCD 相図」(図 1) におけるごく一部分にすぎません。相図の大半を占める密度の大きな領域に関しては殆ど分かっていません。低温で高密度の極限では(閉じ込めから解放された)クォークが顕わな自由度となる「クォーク物質」が出現すると考えられますが、中性子星やマグネターの内部に存在するような「低温・高密度」物質は相転移近傍であるために結合定数が大きく、その理解には非摂動的な解析が必須です。しかし、非摂動計算の頼りであるはずの格子 QCD 計算は符号問題のために「低温・高密度」領域を扱うことができず、有効模型に基づいた解析しかされていないのが現状です。実は、この理論的な解析が困難な領域は、比較的低エネルギー(高々核子あたり 10GeV)の重イオン衝突によって探索できるのです。低エネルギーの重イオン衝突では二つのイオンがぶつかり、丁度重なり合うことで超高密度状態を過渡的に作ることができるのです。今現在、多くの研究者たちの興味はこの未踏の「低温・高密度」領域を実験的に生成し、その性質を調べることに向かっています。

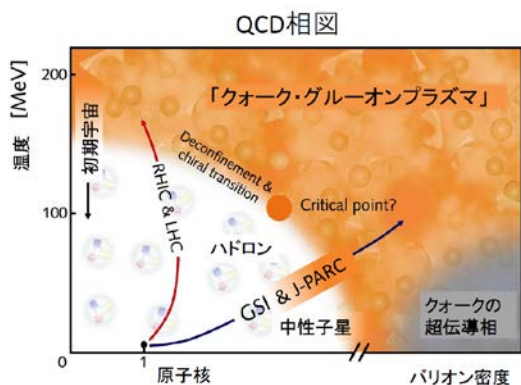


図 1 QCD 物質の温度・密度相図

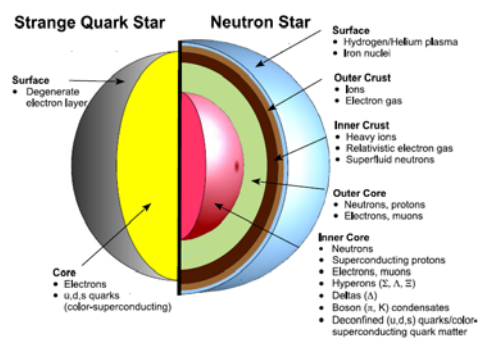


図 2 中性子星内部の構造

そのような低エネルギーの重イオン衝突実験はかつて Brookhaven 国立研究所では AGS という加速器で調べられましたが、その時の動機は QGP の生成であり、「低温・高密度」状態の物理を探索することはあまり興味を持たれませんでした。そのため、AGS では期待された QGP のシグナルは見られず、より高エネルギー化する方向に進み、RHIC が作られたのです。しかし、現在は「低温・高密度」領域において QGP とは異なる豊富な物理が存在することが認識され、今また低エネルギーの重イオン衝突を行うことに十分な動機がそろいました。そして、まさにこの実験を、J-PARC で実現しようという機運が高まってきたのです。もともと、J-PARC の前身である JHF やさらにその前の段階での計画では、重イオン衝突を行うことが検討されていましたが、諸事情により、陽子加速のみが推進され、重イオン計画は先延ばしにされていたという経緯があります。しかし、低エネルギー重イオン衝突に対する世界的な興味を反映して、J-PARC における重イオン衝突実験の可能性が具体的に検討され始めました。現在検討されているのは、核子あたり 5 から 6GeV 程度の低エネルギー重イオン衝突です。このエネルギーでウラン・ウラン衝突を行えば、標準核密度（重い原子核の中心密度）のおよそ 8~9 倍もの高密度状態を生成することが可能と考えられます。この密度は、中性子星内部の密度と近く、また非閉じ込め相転移が起こっていてもおかしくない高密度です（図 2）。今年に入り、同じく低エネルギー重イオン衝突実験を計画しているドイツの GSI における FAIR との協力関係も結び、来年春の white paper 完成へ向けて、重イオンの加速方法の検討や検出器のシミュレーションとデザインの設計などが始まっています。一方で、低エネルギーの重イオン衝突実験において如何なる物理が探索可能であるのか、理論側で十分な議論が行われているとは言い難い状況でした。RHIC や LHC の高エネルギー重イオン衝突実験を経験した今、J-PARC 建設当初に検討された重イオンの物理を振り返りつつ、もう一度低エネルギーの重イオン衝突で何が可能で、重要なものであるのかを、批判的・建設的に議論する場を持つことが非常に重要であると考えました。また、GSI-FAIR との差別化を図るため、どのような物理に力点を置くべきなのかも検討すべき重要な課題です。そこで、これから white paper の作成に取り掛かる直前の 11 月末というタイミングに、2 日間の研究会を開きました。研究会を開催する必要性があると考えたとき、既に white paper 作成の準備が始まっており、一刻も早い開催が必要だったために、理論センターで板倉が研究会を取り仕切ることにしました。

アナウンス期間は短かったにも関わらず、J-PARC での重イオン衝突実験で何ができるのか、何をすべきかを議論したい、という呼びかけが多くの人たちを惹きつけたのでしよう、本研究会には理論・実験から 70 名弱の参加があり、非常に活発な議論がされました。実験側からの講演としては、永宮氏による過去の重イオン衝突計画の紹介、原研の佐甲氏による J-PARC における重イオン計画の現状、さらには BNL の坂口氏によって RHIC における低エネルギーランの試みなども紹介されました。重イオンの加速器設計を行っている原研の原田氏からは「世界最高強度の重イオンビームを作るつもりだ」という力強い宣言がありましたが、J-PARC における重イオン衝突実験の最も顕著な性質は、その高いルミ

ノシティーであり、それを生かす物理を探るのが最重要課題だという認識を、実験・理論とで共有することができました。具体的には、電磁的プローブであるレプトン対生成の高精度測定が可能になり、それによって高密度物質中でのハドロンの様相が詳細に理解できる可能性があります。理論側からの講演では、高エネルギー重イオン衝突で有効だった流体描写が低エネルギーで何処まで有効かという議論（名古屋大 野中氏）や、逆にハドロンカスケードモデルの改善点なども議論（国際教養大 奈良氏）されました。また、QCD 相図に「臨界点」が存在した場合、それが様々な揺らぎに反映する可能性があります。そのような実験で測定される揺らぎから有意義な情報を如何にして抽出するかの議論もされました（阪大 北沢氏、坂井田氏）。世話人の板倉からは、重イオン衝突で生成する磁場が強いことを指摘し、一方で中性子星の高密度物質も強磁場中にあることを考え合わせれば、低エネルギー重イオン衝突で生成する高密度物質は中性子星の物理とより強い関係があるというコメントをしました。なお、重イオン衝突では温度が高くなるので「低温高密度」の中性子星とは異なるのではないかという懸念がありますが、実は連星中性子星が融合する際にできる超高密度物質は比較的高温であることから、重イオン衝突で生成する高密度物質は連星中性子星融合で生成する物質と直接的な関係があるかもしれない、という指摘もしました。このような議論を誘導し、進むべき方向を見出すことができたのは大きな成功であったと考えています。

研究会終了後、多くの方から大変有意義で興味深い研究会だったという声をもらいました。J-PARC における重イオン衝突実験は今後の重要な計画の一つになると大きな手ごたえを感じています。それにより、今まで J-PARC の物理には積極的に関係してこなかった多くの高エネルギー重イオン衝突の物理の研究者たちが J-PARC に興味を持ち、より新しい発展性をもたらすことと期待されます。今現在、実験家らが中心になって作成している white paper に対しても本研究会は大きな影響を与えたとのことでした。

最後に、今回の会議を開催する予算の一部は、素核研の予算を利用させていただきましたことを、ここに感謝いたします。このような活動が存在することを認識し、今後もサポートして下さることを希望します。

（報告者：理論センター 板倉数記 2015年2月6日）