

別紙 4

報告番 -	※ -	第
----------	--------	---

主 論 文 の 要 旨

論文題目 相対論的流体模型を用いた高エネルギー原子核衝突実験の解析
によるクォーク・グルーオンプラズマ物性の研究

氏 名 岡本 和久

論 文 内 容 の 要 旨

通常、クォークとグルーオンは陽子や中性子などのハドロン内部に閉じ込められている。一方、宇宙初期のような超高温の極限条件下では、クォークとグルーオンが陽子と中性子の内部から解放され単独で動けるようになる。この状態をクォーク・グルーオンプラズマ (QGP) と呼ぶ。地球上での QGP 生成を目指し一連の高エネルギー原子核衝突実験が遂行されている。そして 2005 年、ブルックヘブン国立研究所の Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) が QGP の生成に成功した。しかし、この QGP は従来予想されていた弱結合 QGP ガスではなく、ほぼ完全流体のように振る舞う強結合 QGP であることが分かった。これは、完全流体計算を用いた相対論的流体模型によって RHIC における実験結果を説明できたからである。さらに、2010 年には欧州原子核研究機構の Large Hadron Collider (LHC) において RHIC より約 10 倍高いエネルギーで原子核衝突実験が開始した。今や QGP の物性の定量的解明が高エネルギー原子核衝突実験における目標となっている。さらに高統計、高精度の多粒子相関に関する新たな観測量が複数報告されている。これらの実験結果から QGP の物性に関する詳細な情報を理解する可能性が広がった。特に、QGP の輸送係数の値や温度依存性の解明に注目が集まっている。

本研究では、QGP の物性の定量的理解を目指し、衝突後の時空発展を記述する現実的な現象論的模型を構築した。まず、QGP の時空発展を精度良く記述するため、新しい相対論的粘性流体アルゴリズムを開発した。このアルゴリズムでは、保存方程式を完全流体計算と粘性の補正の計算の 2 段階に分けて解く。完全流体計算では、小さな数値粘性でも安定な Riemann 解法を利用する。粘性テンソルの運動方程式

では数値コストの問題を回避するため、**Piecewise Exact Solution (PES)** 法を利用する。高エネルギー原子核衝突実験における時空発展の記述に適した **Milne** 座標系においてアルゴリズムを構築した。そして、完全流体、粘性流体、多次元の場合についてテスト計算を行った。開発した相対論的流体コードは解析解を正しく再現すること、小さな数値粘性の下でも安定であること、高エネルギー原子核衝突実験における空間 3 次元膨張の記述に適していることを確認した。また、新しい相対論的流体コードを用いて、高エネルギー原子核衝突実験において **Kelvin-Helmholtz** 不安定性が生じる可能性を議論した。

次に、開発した相対論的流体コードを組み込んだ相対論的流体模型を構築した。我々の模型では、まず、近年開発された初期条件モデル **TRENTO** を用いて初期条件を計算する。**TRENTO** は空間 3 次元における初期状態ゆらぎを計算することができる。その後、我々の数値アルゴリズムを用いた空間 3 次元の相対論的流体計算を行う。流体計算では、**QGP** とハドロンガスのずり粘性と体積粘性、その温度依存性を考慮する。また、格子 **QCD** 計算により得られた状態方程式を利用する。さらに、希薄になった終状態を **UrQMD** による分子動力学計算で記述し、最終的な粒子分布を計算する。この模型を **LHC** の鉛鉛衝突実験に適用し、**LHC** における荷電粒子生成数の衝突軸方向の分布、パイ中間子、**K** 中間子、陽子の横運動量分布、荷電粒子生成数の方位角異方性の横運動量分布と衝突軸方向の分布を計算した。そして、模型計算と実験結果との比較から **QGP** の粘性係数の値を評価した。この結果、粒子生成数の横運動量分布は **QGP** の体積粘性の値に敏感であること、方位角異方性の中心度依存性と衝突軸方向の分布は、ずり粘性と体積粘性の温度依存性に敏感であることが分かった。