

## 学位論文

### 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

理学研究科素粒子宇宙物理学専攻 岡本和久

#### 要約

通常、クォークとグルーオンは原子核を構成する陽子と中性子の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きた。そして 2005 年、ブルックヘブン国立研究所(BNL)の Relativistic Heavy Ion Collider (RHIC) で QGP の生成に成功した。2010 年からは欧州原子核研究機構(CERN)の Large Hadron Collider (LHC)においても高エネルギー原子核衝突実験が行われている。これまでの現象論的モデルの解析により、RHIC、LHC で生成された QGP は粘性の小さな流体として振る舞うことが分かった。さらに近年、高統計の新たな観測量が報告されており、粘性係数の温度依存性を含めた、QGP の物性の詳細な解明が目指されている。本研究は、QGP 物性の定量的理解を目指し、原子核衝突後の時空発展を記述する現実的な現象論的モデルの構築、開発したモデルによる LHC 実験の解析を行った。

まず申請者は 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。ここでは、空間 3 次元の計算を行うため、高エネルギー原子核衝突実験に適した座標系を利用した。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小さな数値粘性の下でも安定であり、空間 3 次元の相対論的粘性流体方程式の解析解を高い精度で再現することに成功した。また、この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ケルビン・ヘルムホルツ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元に、実験解析にふさわしい現象論的モデルを構築した。このモデルを 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、理論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 の体積粘性係数の値に依存すること、方位角異方性の中心度依存性と衝突軸方向の分布は、ずり粘性係数と体積粘性係数の両方の温度依存性に依存することが分かった。