

研究成果報告書

(国立情報学研究所民間助成研究成果概要データベース・登録原稿)

研究テーマ (和文) AB		ジェットと重いクォークで探るクォーク・グルーオン・プラズマ			
研究テーマ (欧文) AZ		Study of the quark gluon plasma with jets and heavy quarks			
研究氏 代 表 名 者	カタカナ CC	姓)ヒラノ	名)テツフミ	研究期間 B	2008 ~ 2010 年
	漢字 CB	平野	哲文	報告年度 Y	2010年
	ローマ字 CZ	HIRANO	TETSUFUMI	研究機関名	東京大学
研究代表者 CD 所属機関・職名		大学院理学系研究科・講師			
<p>概要 EA (600 字~800 字程度にまとめてください)</p> <p>ビッグバン直後、数マイクロ秒後に我々の宇宙を満たしていたと考えられている超高温極限物質「クォークグルーオンプラズマ(quark gluon plasma, QGP)」の生成、及び、物理的性質の探求のために、ブルックヘブン米国立研究所の相対論的重イオン衝突型加速器(Relativistic Heavy Ion Collider, RHIC)で高エネルギー重イオン衝突実験が行われている。QGP は「カラーの閉じ込めが破れた物質」、「動的に破れているカイラル対称性が回復した物質」、「地球上で生成される最も熱い物質(約 2 兆 K)」といったフレーズで表現されるように、豊富な物理を含んでいる。第一原理である格子 QCD の数値計算によれば、温度を上げていくと $T \sim 160$ MeV 付近でカイラル対称性に対する秩序変数の感受率がピークを持ち、エネルギー密度やエントロピー密度といった熱力学量が急激に増加する。簡単のために質量の無視できる相対論的理想気体を考えると、エントロピー密度は系の自由度に比例するため、この急激な増加はハドロン内部に閉じ込められていたカラー自由度(クォークやグルーオン)の解放に拠るものと考えられる。</p> <p>重イオン衝突反応で作られた QGP を解析する手段としては、大きく分けて2つの方法が考えられる。一つは、QGP 自身がどのように振舞うかに注目したもので、相対論的流体力学による QGP 流体の時空発展の解析は代表的なものの一つである。もう一つは、作られた QGP 中を通過する高エネルギージェットや重いクォークといった「プローブ」を用いた解析である。本研究は後者の手法に着目し、QGP の特徴的な性質である阻止能を実験結果との比較から引き出すことを目的としている。</p> <p>まず、重いクォークに対して現象論的に相対論的ランジュバン方程式を定式化し、QGP 流体のバックグラウンドの下でその確率過程シミュレーションを行い、実験結果との比較した。まず、重いクォークが QGP 中で受ける摩擦係数を $\Gamma = \gamma T^2 / M$ をパラメライズした。ここで T は温度、M は重いクォークの質量で、γ は無次元のフィッティングパラメータである。このとき、実験結果を再現するためには $\gamma = 1 \sim 3$ 程度でなければならないことを示した。この γ の値は AdS/CFT 対応と呼ばれるゲージ重力対応を用いて計算することも可能で、$\gamma \sim 2$ と得られており、高エネルギー重イオン衝突反応によって作られた QGP が強く結合した系であることを強く示唆している。</p> <p>合わせて、このパラメータをより多面的に引き出すために、重いクォークが崩壊して出てくるレプトンの相関に注目した。通常、重いクォークは対になって生成されるため、その方位角方向に 180° の相関を持つ。しかし、重いクォークは QGP 中を通過する際の確率過程により、この相関が失われる傾向にある。この相関の消失を用いて、上記の γ をより精密に出す手法を提案した。</p> <p>次に、高エネルギージェット(パートン)のエネルギー損失に注目し、実験結果を大域的に統計的に解析することによって、QGP が高エネルギーパートンに対する阻止能の導出を行った。重いクォークに比べ、高エネルギーパートンのエネルギー損失のメカニズムについては、より理解が得られており、最新のモデル計算を QGP 流体のバックグラウンドの下で行った。弱結合 QGP を想定した際の阻止能 $\hat{q} = 2e^{3/4}$ に対して、実際の QGP に対してどの程度の乗法的補正が加えられるかを導出した。ここで e は高エネルギーパートンの軌跡上の QGP のエネルギー密度である。この研究では、広範に渡る実験結果の解析から、補正因子 $K = 4.1 \pm 0.6$ と得ることができた。この結果も、重イオン衝突によって作られた QGP が強く結合した系であることを示唆している。</p>					
キーワード FA	QGP	ジェット	重イオン衝突	相対論的流体力学	

(以下は記入しないでください)

助成財団コード TA					研究課題番号 AA							
研究機関番号 AC					シート番号							

発表文献（この研究を発表した雑誌・図書について記入して下さい）									
雑誌	論文標題 GB	Heavy quark diffusion with relativistic Langevin dynamics in the quark-gluon fluid							
	著者名 GA	Y. Akamatsu, T. Hatsuda, T. Hirano	雑誌名 GC	Physical Review					
	ページ GF	054907-1~054907-11	発行年 GE	2	0	0	9	巻号 GD	C 79
雑誌	論文標題 GB	Electron-muon correlation as a new probe of strongly interacting quark-gluon plasma							
	著者名 GA	Y. Akamatsu, T. Hatsuda, T. Hirano	雑誌名 GC	Physical Review					
	ページ GF	031901-1~031901-4	発行年 GE	2	0	0	9	巻号 GD	C 80
雑誌	論文標題 GB	Constraint fitting of experimental data with a jet quenching model embedded in a hydrodynamical bulk medium							
	著者名 GA	N. Armesto, M. Cacciari, T. Hirano, (他 2 名)	雑誌名 GC	Journal of Physics G: Nuclear and Particle Physics					
	ページ GF	025104-1~025104-17	発行年 GE	2	0	1	0	巻号 GD	37
図書	著者名 HA								
	書名 HC								
	出版者 HB		発行年 HD					総ページ HE	
図書	著者名 HA								
	書名 HC								
	出版者 HB		発行年 HD					総ページ HE	

欧文概要EZ

Relativistic heavy ion collisions experiments are performed in Brookhaven National Laboratory to investigate the novel form of matter called the “quark gluon plasma (QGP)”. The physics of the QGP contains various aspects including deconfined nuclear matter, restoration of chiral symmetry of QCD, the hottest matter on the Earth, and so on. First principle calculations base on lattice QCD indicates the QGP appears above ~ 160 MeV

There are major two approaches to investigate the properties of the QGP: One is how the QGP evolves during the reaction. The other one, on which the present study focuses, is to utilize hard and rare probes such as high energy partons and heavy quarks to “diagnose” the QGP. The main purpose of the present study is to extract information about the stopping power of the QGP through a comparison of model calculations with experimental data.

We first formulated diffusion processes of heavy quarks in the hot medium, performed Langevin simulation of these heavy particles in the QGP fluids, and compared the resulting spectra with experimental data. The drag coefficient turns out to be $\gamma = 1-3$ to obtain a reasonable agreement. This value is comparable with a prediction from a strong coupling gauge theory and thus indicates the QGP created in collisions is strongly interacting.

We also performed a global fitting of existing data by combining the most advanced energy loss model with the hydrodynamic simulations towards a reliable estimation of the stopping power in the QGP. We parameterized the stopping power as $\hat{q} = 2Ke^{3/4}$ and constrained a parameter K from the fitting. We found $K = 4.1 \pm 0.6$ which is significantly larger than a value expected in the weakly coupled system, $K = 1$. This also indicates the QGP is strongly interacting system.