

論文内容の要旨

論文題目:

Direct photon measurement with virtual photon method in $d+Au$ collisions at $\sqrt{s_{NN}} = 200$ GeV
(核子あたり 200 GeV の重陽子+金衝突における仮想光子法による直接光子測定)

氏名: 山口 頼人

本論文は米国ブルックヘブン国立研究所の衝突型重イオン加速器 (RHIC) を用いた、核子あたりの重心系エネルギー 200GeV の重陽子+金衝突 ($d+Au$) における直接光子生成に関する研究を記述したものである。

量子色力学 (QCD) はグルーオンをゲージ粒子とした強い相互作用を記述する基礎理論である。QCD に基づく理論計算によるとエネルギー密度 $1 \text{ GeV}/\text{fm}^3$ 以上、温度 $150 \sim 200 \text{ MeV}$ 以上の高温高密度下で通常の原子核物質からクォークが閉じ込めから解放された物質相であるクォーク・グルーオン・プラズマ (QGP) 相への相転移が起こると予想される。

QGP 相を実験室で実現し、その性質を調べるのに高エネルギー重イオン衝突は有用な手段である。高エネルギー重イオン衝突で生成される高温高密度物質は時空発展を行い、時空発展の各段階で生成された粒子はその後で通過する媒質の影響を受ける。故に、QGP を含めた各段階の特徴を捉えるのに敵した様々なプローブの測定によって、各段階の媒質の特性を理解することが重要である。

直接光子は生成後強い相互作用をせずに高エネルギー重イオン衝突で生成された媒質中を通過するので、生成媒質の性質を直接的に外に持ち出す。直接光子は初期衝突から化学平衡に至るまでの各段階で生成され、実験で測定される直接光子はそれらの総和であるが、その横運動量から生成

起源を推定することが可能である。特に、中心 rapidity 領域 ($|y| < 0.35$) において $1 < p_T < 3 - 5 \text{ GeV}/c$ の低横運動量領域では QGP 相からの熱光子が支配的であると考えられている。QGP 相からの熱光子は QGP 相生成の直接証拠であるだけでなく、その横運動量分布からは QGP 相の温度を決定できるので、非常に重要なプローブである。

直接光子測定において、ハドロン崩壊から来る光子 (主に $\pi^0 \rightarrow 2\gamma$) が大量にあるため、これらの光子を正確に取り除くことが重要なポイントである。RHIC 加速器で行われている大型実験の一つである PHENIX 実験では、 $1 < p_T < 3 - 5 \text{ GeV}/c$ の低横運動量直接光子収量を決定するために、電磁力カリメータを使用した実光子測定が行われたが、低エネルギー領域での電磁力カリメータのエネルギー分解能が不十分であるために直接光子とハドロン崩壊からの光子を区別できず、低横運動量直接光子の測定が困難であった。この困難を克服するために $\gamma^* \rightarrow e^+e^-$ を利用した測定 (仮想光子法) が行われた。 e^+e^- 質量分布においてハドロン崩壊からの e^+e^- ($\pi^0 \rightarrow \gamma e^+e^-$ など) は親ハドロンの質量を越えることが出来ないが、仮想直接光子からの e^+e^- はそのような制限を受けない。仮想光子法では、この性質を利用して、直接光子シグナルの優位性が大幅に改善される π^0 質量 (135 MeV) 以上の e^+e^- 質量領域で仮想直接光子 $\gamma^* \rightarrow e^+e^-$ による増加分を評価し、直接光子収量を決定する。仮想光子法により、衝突エネルギー $\sqrt{s_{NN}} = 200 \text{ GeV}$ での金・金衝突実験と陽子・陽子衝突実験において、 $1 < p_T < 5 \text{ GeV}/c$ の低横運動量直接光子の測定に成功した。金・金衝突実験結果では、陽子・陽子衝突実験結果から予想される収量よりも明らかな超過収量が観測され、この観測された超過収量は QGP 相からの熱光子の存在を示唆するものである。

しかし、原子核効果が金・金衝突時には含まれるが陽子・陽子衝突時にはなく、金・金衝突時に観測された超過収量に原子核効果がどの程度寄与しているかを評価しなくてはならない。従って、重陽子・金衝突実験を通じて重イオン衝突時の原子核効果の寄与を決定することが重要であり、本研究では重陽子・金衝突実験での e^+e^- 電子対を利用した直接光子測定を行い、横運動量領域 $1 \sim 6 \text{ GeV}/c$ における直接光子収量を決定した。

図 1 に見られるように、得られた重陽子・金衝突実験結果は衝突核子数でスケールした陽子・陽子衝突実験結果と一致し、この事実は直接光子生成における原子核効果の寄与は非常に小さいことを示唆している。また、衝突核子数でスケールした後に重陽子・金衝突実験結果と金・金衝突実験結果を比較すると、 $p_T < 2.0 \text{ GeV}/c$ において金・金衝突時に明らかな超過収量が見られた。従って、金・金衝突時に観測された超過収量は non-initial effects によることがわかった。この超過収量の起源が生成媒質からの熱放射であると仮定すると、生成媒質の初期温度は $220 \pm 15 \pm 18 \text{ MeV}$ より

も高い温度となる。

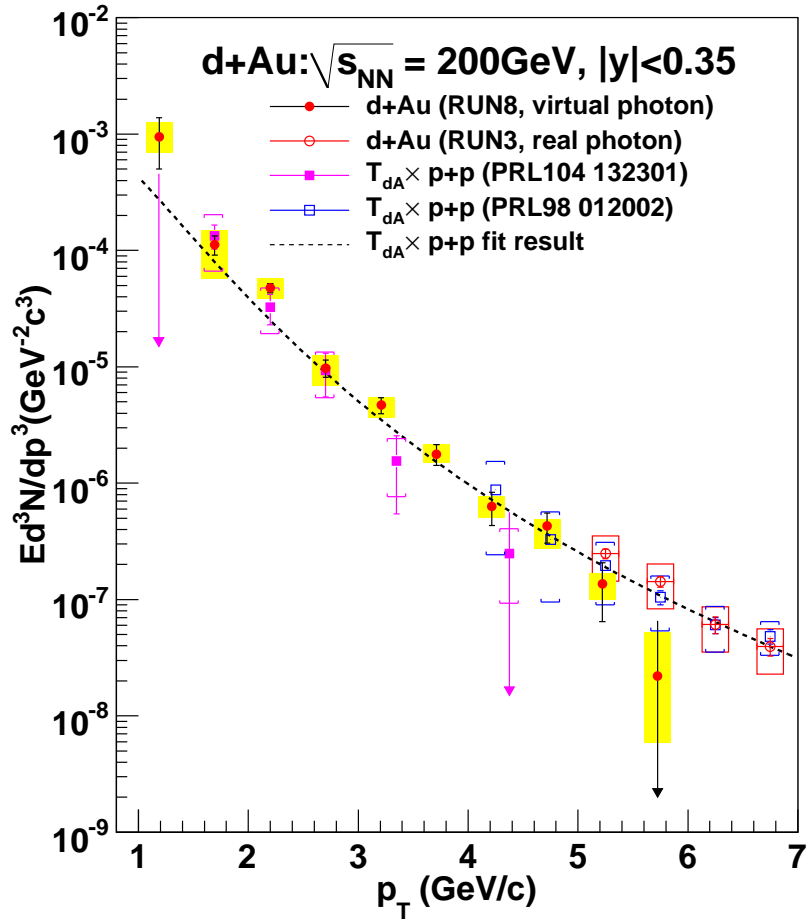


図 1: 重陽子・金衝突実験結果と衝突核子数でスケールした陽子・陽子衝突実験結果の比較

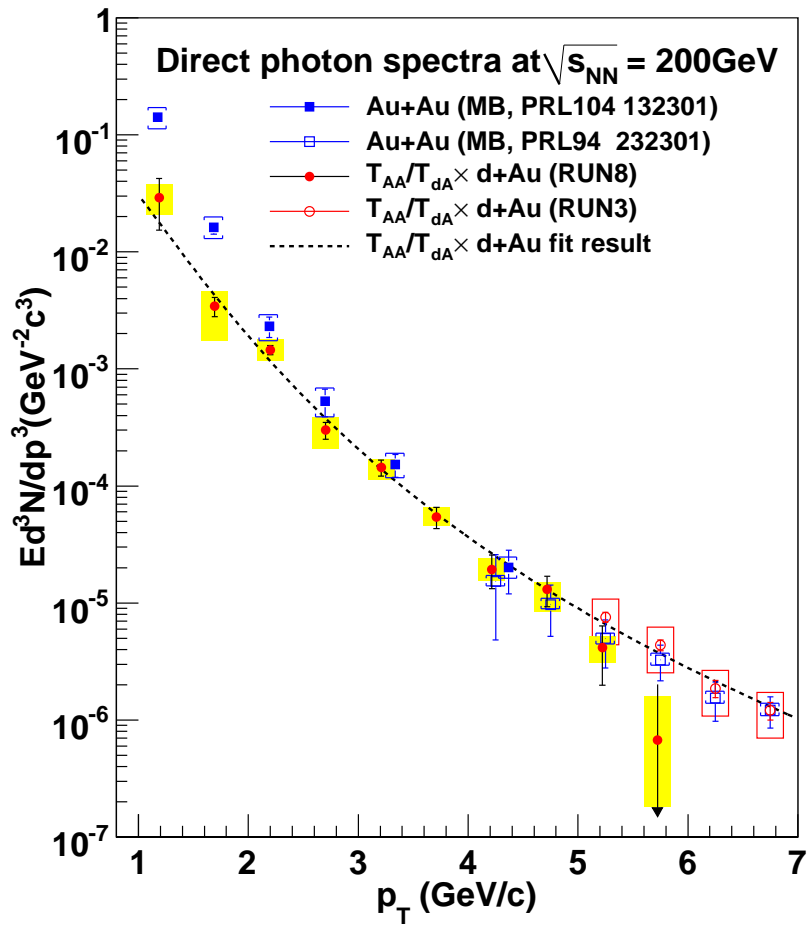


図 2: 重陽子・金衝突実験結果から予想される金・金衝突での直接光子収量と金・金衝突実験結果の比較