

宇宙マイクロ波背景放射の散乱光を用いた 3 次元固有速度の測定方法

佐久間 遥己（宇宙物理学教室）

宇宙に存在する天体は様々な方向に固有運動しているが、我々が 3 次元固有速度を直接的に得るのは難しい。視線成分に関しては、赤方偏移と距離が測定できれば導けるが、天球面上における横向き速度成分を赤方偏移から得ることは実質的に不可能である。横向き速度成分を得ることができれば、銀河系外天体の 3 次元固有速度がわかる。この 3 次元固有速度を生み出すのは大域的な物質密度場であり、これは直接的にはダークマター分布、間接的にはダークエネルギーの性質にも結びついている。

そこで本研究では、固有運動する天体中の電子が宇宙マイクロ波背景放射（CMB）を逆コンプトン散乱した際に生じる散乱光の放射強度スペクトル（ストークスパラメータの I ）、および偏光（ストークスパラメータの Q, U ）に着目し、これらを用いた天体の 3 次元固有速度の測定方法を二段階で考察した。まず散乱光の放射強度には、相対論的な横ドップラー効果に類似した高次の効果として、速度の向きに依存したスペクトル形状の変化が生じる。その周波数依存性から、天体の速度の向きについての情報が得られると考えた。次に、散乱前の CMB に温度四重極子モーメントが存在する場合、散乱光に直線偏光が生じる。天体中の電子が等方的な CMB に対して運動している場合、電子の静止系においては四重極子モーメントが生じるため、それによる偏光から天体の視線方向に対する横向き速度の測定ができると考えられる。

放射強度スペクトルに関しては、相対論的な効果を考慮しつつ放射強度スペクトルの定式化を行った。この結果、散乱光のスペクトルの振幅と形を組み合わせることによって速さと方向余弦をそれぞれ測定できることが、原理的には可能になるとわかった。

さらに、方向を特定するために偏光が利用できる。CMB そのものには、もともと微小な四重極子モーメントが存在するので、観測する偏光は (a) 天体の位置での本来の CMB 四重極子モーメント、(b) 固有運動する天体中の電子静止系において生じる見かけ上の CMB 四重極子モーメントによる偏光、の重ね合わせである。速度の情報は (b) から得られるため、(a)(b) を分離する必要がある。そこで (a)(b) に対する両者のジョーンズベクトルの天球面上における方向依存性、および偏光度の周波数依存性を調べ、分離の方法を考察した。分離の結果、(a) がわかればコズミックバリエーションの課題が克服され、四重極子モーメントの測定の精度が向上することが期待される。それに加えて、様々な赤方偏移での四重極子モーメントが観測できれば、その時間進化の情報を得られる可能性がある。また、(b) からは視線方向に対する横向き速度が得られる。このようにして、放射強度スペクトルから速度の方向余弦とその大きさ、偏光から横向き速度が得られ、これらを組み合わせることで 3 次元固有速度の測定が可能になると期待される。

Kerr ブラックホール周りにおけるペンローズ過程の数値的解析

千秋 郁人（宇宙物理学教室）

ブラックホールは非常に強い重力を持つ天体であり、ブラックホール周りの重力場では一般相対性理論による記述が必要になる。ブラックホールを特徴づける要素に、質量、角運動量、電荷があり、質量と角運動量を持つものを Kerr ブラックホールと呼ぶ。Kerr ブラックホールは回転の影響により、周囲の慣性系を回転方向に引きずる効果があり、特に引きずりが強い領域をエルゴ領域と呼ぶ。エルゴ領域で起こる現象の一つにペンローズ過程がある。ペンローズ過程とは、エルゴ領域に突入した物体-0 を物体-1、物体-2 の 2 つに分裂させ、物体-2 をブラックホールに落下、物体-1 を回収すると、物体-1 が持つエネルギーが物体-0 のエネルギーよりも大きくなるという一連の過程である。

ペンローズ過程によるエネルギーの取り出しは、エルゴ領域において常に実現できるわけではなく、ブラックホールの回転パラメータ a 、物体-0、物体-1、物体-2 の軌道角運動量 L_0 、 L_1 、 L_2 、分裂させる半径 r 等に依存する。本研究では、これらのパラメータを変化させて物体-0 のエネルギー E_0 と物体-1 のエネルギー E_1 との関係を調べ、ペンローズ過程が実現する $E_1 > E_0$ となる条件を数値計算により定量的に調べた。

例えば、 $L_0 = 0$ とし、分裂時の物体-1 の動径方向の速度 v を固定した場合、ブラックホールの回転パラメータ a 、分裂させる物体-1 の軌道角運動量 L_1 はそれぞれ大きいほどペンローズ過程が実現されやすいことが分かった。また、 L_1 を固定した場合、ペンローズ過程を実現させる a には下限値が存在することを定量的に明らかにした。一方、 a を固定した場合には、ペンローズ過程を実現させる L_1 には下限値が存在することも分かった。

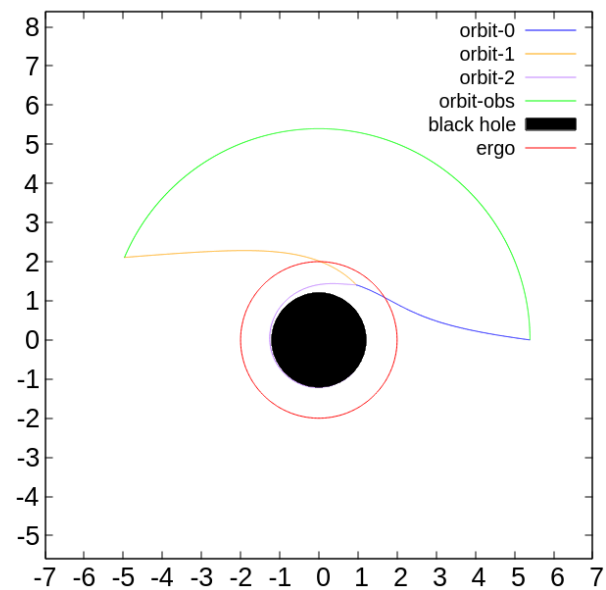


図 1 : ペンローズ過程の粒子の軌道
 $a = 0.98, L_0 = 0, L_1 = 1, L_2 = -1$