

卒業研究課題 特殊相対性理論を考慮した光のドップラー効果

学生番号 B02-095

氏名 江本 賢泰

概要（1000字程度）

指導教員

真貝 寿明

印

本研究では、私たちの日常扱うスケールでの有効な理論であるニュートン力学と、光の速さに近い運動を正しく記述する特殊相対性理論を、ドップラー効果で比較する。

ニュートン力学では、速度の遅い物理現象を扱う場合には十分に役に立つが、素粒子のように光速に近い速度で動く現象を計算できなかった。しかし、アインシュタインの特殊相対性理論によって光速に近い運動を表すことが可能となった。

ドップラー効果とは、音波や電磁波などの波の周波数が、発生源や観測者との相対的な速度によって、周波数が異なって観測される現象である。光の場合、遠ざかる光源からの光は赤く変化し、近づく光源からの光は青く変化する。これを一般に赤方偏移、青方偏移という。しかし、光の伝播は特殊相対性理論に従うため、ニュートン力学におけるドップラー効果とは違った現象を見せると考えられる。ドップラー効果は、ニュートン力学では発生源の周波数を f_0 とし、 v 、 u を、発生源、観測者の速度として、観測者の観測する周波数 f_N は $f_N = \frac{c-v}{c-u} f_0$ となる。ここで c は光速である。

一方、特殊相対性理論では、同様に周波数 f_{SR} は $f_{SR} = \left(\frac{1-\beta}{1+\beta}\right)^{\frac{1}{2}} f_0$ となる。ここで、 $\beta = \frac{v}{c}$ である。

さらに、観測者の視線に対して光源が角度 θ の位置にあるときのドップラー効果は横ドップラー効果と呼ばれ、 $f_s = f_0 \frac{(1-\beta^2)^{\frac{1}{2}}}{1-\beta \cos \theta}$ となる。

Java 言語を用いたアプレットで、発光体の周波数、発光体の移動速度、観測者の移動速度の3つの値を入力して実際にどのように見えるのか表示するプログラムを作成した。ニュートン力学と特殊相対論におけるドップラー効果のアプレット実行結果を示す。その結果、図1より光速の40%まではニュートン力学は特殊相対論とほとんど同じであるが、運動体速度が光速に近づくにつれて、特殊相対論を用いた場合の方がドップラー偏移は大きくなることが示された。また、光速の50%で可視光領域は見えなくなり、赤外線領域だった不可視光線が可視光となる事が考えられる。

横ドップラー効果については、視線速度が大きい中心ほど青方偏移が起こる。また、図2では光速の50%で飛ぶロケットからみた景色であるが、視線の90°方向（真横）で赤方偏移が起こり光速の60%付近から赤方偏移により可視領域外へ偏移する。中心は青方偏移により紫外線領域へと偏移する。このように、見えている景色が虹色に変化する「StarBow」現象が結果として得られた。

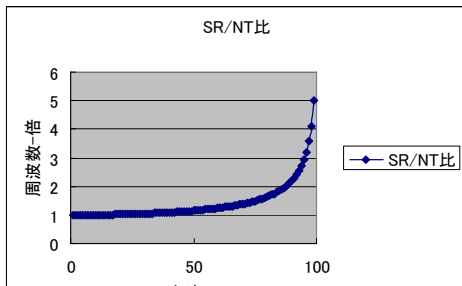


図1:周波数変化の比

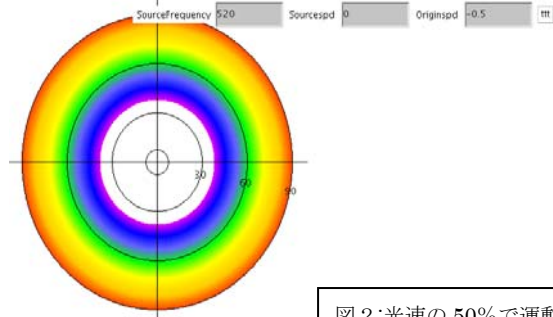


図2:光速の50%で運動するとき