

星虹の研究

金光研究室 近藤 利江

1. 序論

宇宙を飛び周りたい、“宇宙から青く輝く地球”を眺めてみたい、と多くの人が夢を持ってきた。この夢を叶えた人がいる。2001年4月28日、アメリカの大富豪デニス・チトー氏が史上初の宇宙旅行を、2002年4月には南アフリカのマーク・シャトルワース氏が国際宇宙ステーションへの1週間の宇宙旅行を果たした。今世紀には誰もが宇宙旅行に行ける時代がくると言われている。

宇宙船で宇宙を自由に移動できるようになったら、私たちはどのような景色を見ることができるようになるのだろうか。SF映画のような、不思議で幻想的な相対論的眺望を目の当たりにすることになるだろう。宇宙船からの眺望としては、無限に広がる星界、そしてすれ違うかもしれない他の宇宙船があげられる。

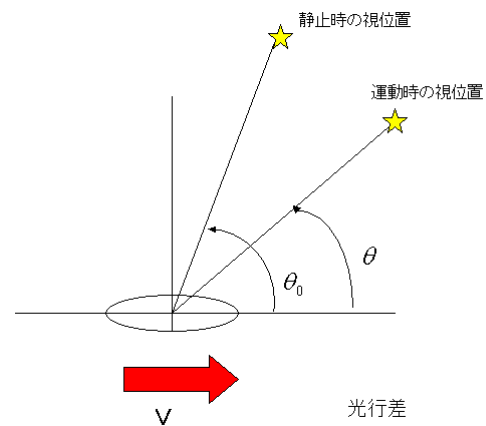
その中で星界では“星虹”という現象が見られる。

本研究では、準光速で航行する宇宙船から見た星空の眺めを、星のデータを用いてシミュレーションし、考察する。

2. 星虹

2.1 光行差現象

光行差現象とは、準光速で航行している宇宙船から見た天体の視位置が、静止しているときの視位置に比べ、宇宙船の進行方向前方に移動して見えるという現象である。これは、天体から発した光のベクトル（静止系）と宇宙船で受け取る光のベクトル（運動系）が、宇宙船の速度のベクトルの分だけ異なるためである。日常生活の中で言えば、雨の中を走るときに経験する現象に似ている。風がないとき、雨は真上から降ってくるが、雨の中を走りだすと雨は斜めに降っているように見える。



光行差は基本的には相対論的なベクトルの合成で表される。宇宙船の速度を v 、宇宙船が静止しているときの宇宙船の前方方向から測った星の視位置の角度を θ_0 、宇宙船が運動しているときの視位置を θ とする。光行差による星の見かけの位置は、

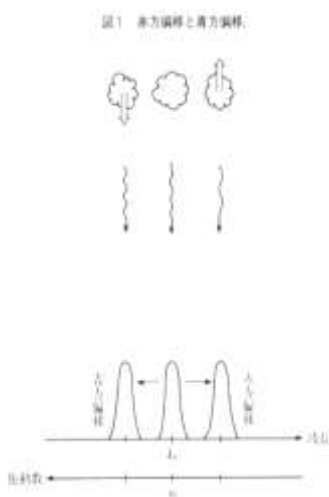
$$\cos \theta = \frac{\cos \theta_0 + \beta}{1 + \beta \cos \theta_0} \quad (1)$$

ただしこれらの式で、 $\beta = v/c$ は無次元化した速度、 $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$ はローレンツ因子である。

(1) 式から実際の地球の光行差を求めてみる。地球の公転運動の平均速度は $v=29.8\text{km/s}$ なので、地球の公転面に対して極方向の星の位置は、地球の運動方向に角度にして20.49秒ずれて見える。

2.2 ドップラー効果

天体から送られてくる光の波長は、天体が地球から遠ざかるように運動しているときには、観測される波長がもとの波長より長くなり、逆に、地球に近づくように運動しているときには、もとの波長より短くなる。このように観測される波長（振動数）がもとの波長（振動数）と異なることを一般的に、「スペクトル線のずれ」という。



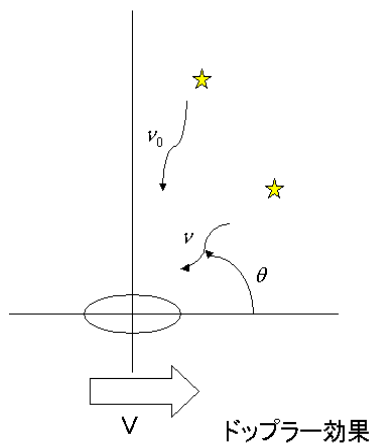
ドップラー効果とは、観測者に音を出しながら高速で近づいていくと、音の波長が縮まり高い音に聞こえ、逆に遠ざかると低い音に聞こえるという現象である。音だけではなく、光の場合でも同じであり、近づくものの波長は縮まり、遠ざかるものの波長は伸びる。相対論的なドップラー効果もローレンツ変換の式から求めることができる。

ここで、音のドップラー効果を考えると、基本となるのは、空気に対する音の速さ V が、空気（媒質）の性質だけによって決まり、音源が動いているとか観測者が動いているとかには無関係であるということである。すなわち、

$$\lambda v = V (\text{一定})$$

という式が成り立つ。

光速に近い速度 v で宇宙間を航行する宇宙船から観測したときの光の波長、あるいは振動数のずれを考えてみる。天体から光が発したときの振動数、つまり宇宙船が静止しているときに観測される振動数を ν_0 とすると、宇宙で観測される振動数 ν は、

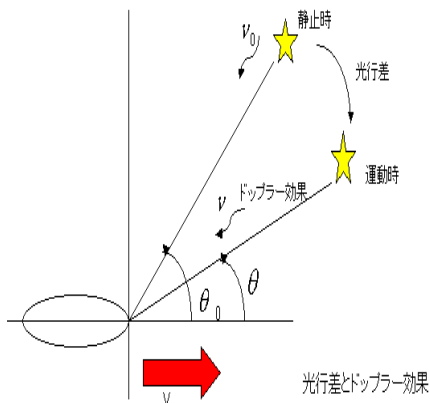


観測される振動数 ν は、

$$\nu = \frac{\nu_0}{\gamma(1 - \beta \cos \theta)}$$

となる。ただし $\beta = v/c$ は無次元化した宇宙船の速度、 $\gamma = 1/\sqrt{1-\beta^2}$ はローレンツ因子、 θ は宇宙船が運動しているときの天体の見かけの方向である。

2. 3 星虹

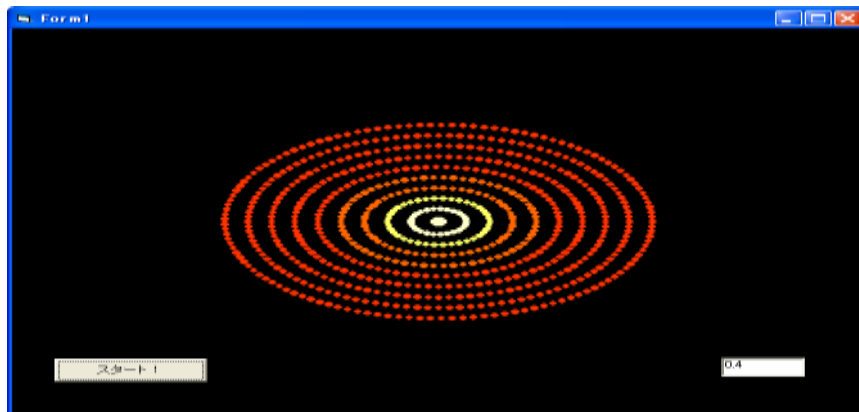


星虹とは、準光速で宇宙を航行するときに、ひとつは光行差のため星の見かけの位置が宇宙船の進行方向前方へ移動集中し、またひとつにはドップラー偏移のため星のスペクトルがずれて星の“色”が変化し、それらの効果が合わさった結果、宇宙船からは進行方向を中心としたリング状の星の虹が見えるという現象である。

3. 星虹のシミュレーションについて

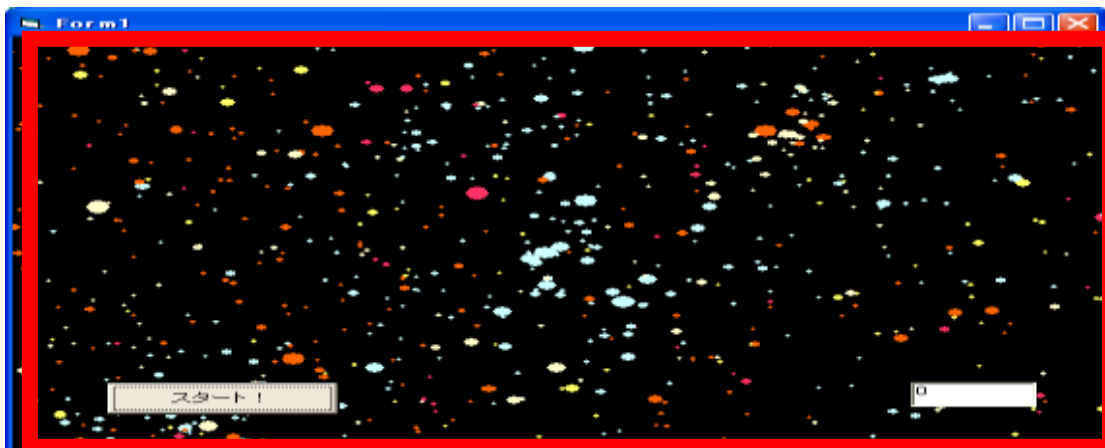
3. 1 プログラム

仮想の星を作る。観測地点から星までの距離を 100 とする。中心半径を 10 から 460 まで 50 間隔で円を 10 個作り、その各円周上に半径 5 の円を規則的に並べる。この半径 5 の円を 1 つの仮想の星とする。このとき、等級数、スペクトル型は考えないこととする。静止している場合、光速の 10% で航行している場合、40%、60%、90% というように速度を変化させ、星の見え方、色の変化を考察する。

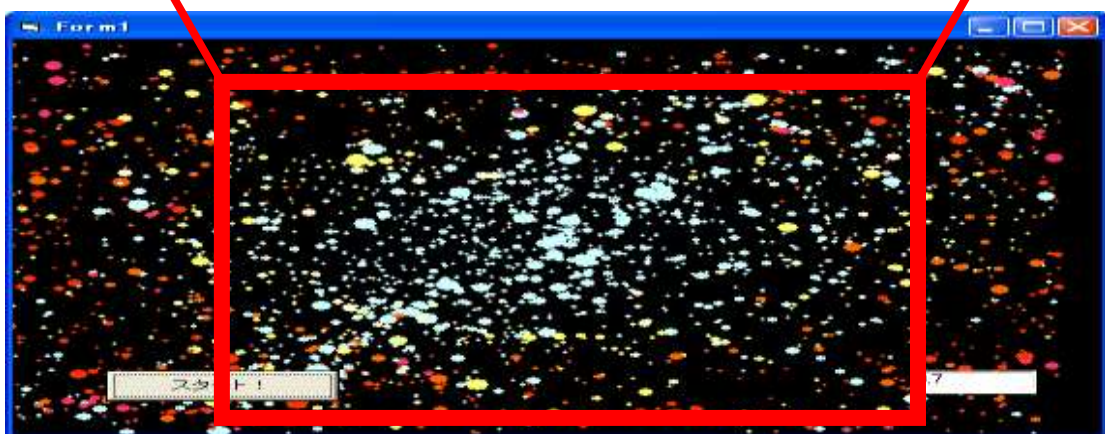
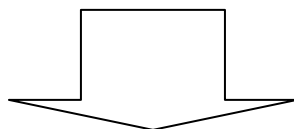


次に、実際の星ではどのように見えるのだろうか。SAO 星表からのデータを読みプログラムにする。オリオン座を中心とし、赤経 0 h ~ 12 h、赤緯 $\pm 70^\circ$ の範囲の 1 等星から 6 等星までの星を約 2500 個を選んだ。1 つの円を 1 つの星とし、1 等星の星の半径を 5、2 等星を 4、3 等星を 3、4 等星を 2、5 等星、6 等星を 1 とする。スペクトル型は、O 型から M 型までであるが、星の色の变化がわかりやすいように、実際の色とは異なる配色にした。O 型の星を青白色、B 型を薄い黄色、A 型を黄色、F 型を薄いオレンジ色に、G、K 型をオレンジ色に、M 型を赤色に設定した。仮想の星と同様に速度を変化させ、星の見え方、色の変化を考察する。

3. 2 静止時と航行時の星の変化



静止しているとき



光速の 70% で航行しているとき

4. 考察

仮想の星も実際のオリオン座周辺の星どちらも、光の速度に近づいていくと星の色は青方偏移となり、また星の視位置は静止時と運動時では異なった位置に見えた。

今回の研究では、変化がわかりやすいように星の色をスペクトル型とは異なった人工的な配色にしたが、実際の星の色は、黒体輻射、黒体温度などを考え厳密な計算をして求められる。しかしこれらの計算を考慮していない。これらのことを考慮していくと、星の出している波長に広がりがあるため、きれいな星虹が見られないかもしれない。このことを確認していくことが今後の課題である。