

星の瞬きの定量的観測

Quantitative Observation of Stars Twinkling

千葉県立船橋高等学校理数科 3 年

余世良 吉田拓暉

はじめに

本校卒業生の 2014 年度の研究”Quantification of Stars Twinkling”において、低い星ほど激しく瞬くが、その原因については不明であると結論付けられていた。私たちは身近な現象である瞬きが周囲の状況にどのように関係しているのかに興味を持ち、瞬きの激しさの再定義を行い、より定量的に現象を解析しようと試みた。

目的

先行研究にあった、星の高度と瞬きの激しさの関係性について確認をするとともに、データを定量的に取り扱って、高度以外の条件との相関を明らかにすること。

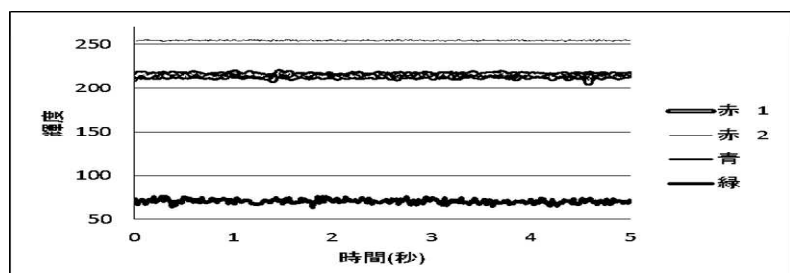
予備実験 観測機器に起因する誤差の測定

方法

- ① 暗室においてカメラ (Canon EOS kiss X5) を用いて、直流電源装置につないだ 3 つの単色 LED (赤, 青, 緑) のビデオ (1280×720 ピクセル, 60 枚/秒, 絞り値 5.0, ISO 感度 6400) を撮影した (赤については明るさを変えて 2 回)。なお、カメラの自動色調調整機能などはすべてオートを切り、以下すべての撮影について設定変更をしていない。
- ② 撮影したビデオのうち、無作為に抽出した 5 秒間を Quick Time Player でコマ送りにしつつ、画面上のカーソル先端の RGB 値 (赤, 緑, 青の各色を数値に変換したもの。各 255 を最大とする) を表示するフリーソフト「スポイト君」を使用し、RGB 値を記録した。
- ③ RGB 値を YUV 色空間の Y 値 (輝度, つまり観測点における光の量) に変換するための方程式
$$\text{輝度} = 0.299 \times \text{R 値} + 0.587 \times \text{G 値} + 0.114 \times \text{B 値}$$
によって輝度を求めた。
- ④ 直流電源につないだ LED が発光段階で大きく揺らぐとは考えにくいいため、求めた輝度の平均値を真の値であると仮定し、データの標準偏差を誤差の大きさとして評価した。

結果

	平均輝度	標準偏差
赤 1	215	1.32
赤 2	254	0.444
青	214	1.65
緑	70.9	2.35



誤差は標準偏差にして 2 程度であった。また、輝度が著しく高く飽和点に近い場合は誤差が抑えられ、逆に輝度が低くなると誤差は大きくなると分かった。

考察

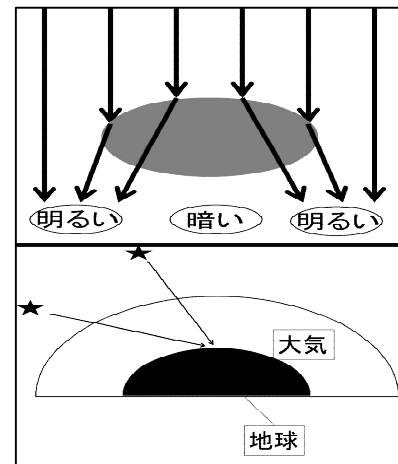
狭い暗室内で、入室から時間が経って空気の流れが落ち着いてから撮影を行ったため、誤差の原因は空気による擾乱ではないと考える。ゆえに、観測機器とこの撮影方法における不可避の誤差は 2 程度であり、瞬きによる輝度の変動がこれよりもはるかに大きければ誤差は無視できると考える。また、暗い対象ほど誤差は大きくなるため、より明るい星を観測することによって誤差を抑えることが可能であると考えられる。

観測 実際の星の観測

仮説

一般に星の瞬きは、風による密度の変化や水蒸気量の偏りなどによって屈折率が局所的に周囲と異なる部分に光線が進入することによって屈折され、観測地点によって光の量に差ができることに起因しているといわれている。特定の地点からの観測では光の量が多い領域、少ない領域が次々に変化するため、星の輝度が変化して見える。

したがって、高度が低く、光線が通過する大気層が厚い星の方が屈折される機会が多くなり、高度が高い星に比べてより激しく瞬くのではないかと考えた。



方法

- ① 予備実験と同様の道具、方法によって以下の日時、場所で星を撮影した。

2016 年 8 月 31 日 20:00~21:00 に 30 分おき 船橋高校屋上(140° 0' N, 35° 41' E)

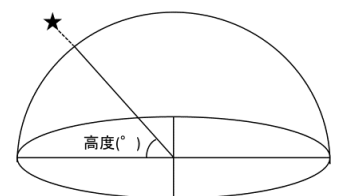
アルクトゥールス・アンタレス・アルタイル・ベガ・火星・土星

2016 年 12 月 11 日 19:00~翌 1:00 に 1 時間おき 路上(139° 58' N, 35° 43' E)

カペラ・リゲル・シリウス・金星

- ② 撮影したビデオから RGB 値を測り、実験と同様に輝度に変換した。
- ③ 得られたデータの平均を瞬きが一切ないときの星の見かけの明るさであると仮定し、標準偏差(データのばらつき)を計算することでそれを星の瞬きの激しさの指標とした。
- ④ データの標準偏差と、撮影時の星の高度、輝度、撮影時間との相関を見た。

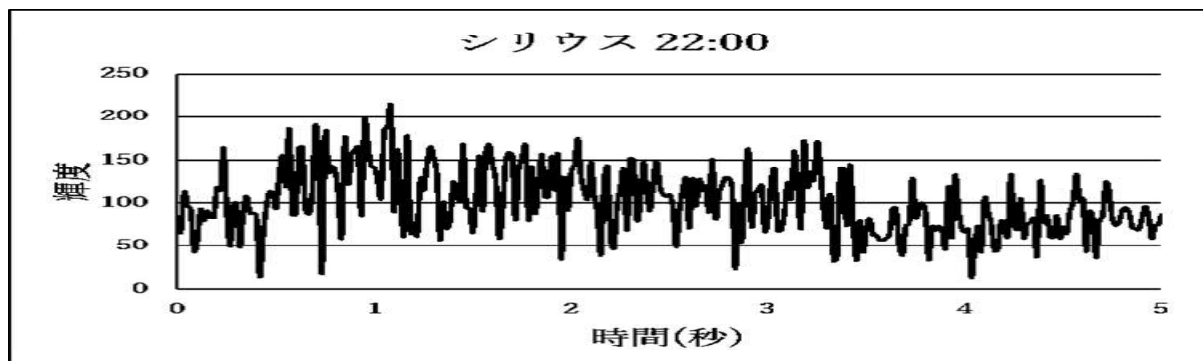
(高度についてはステラナビゲータ 9、輝度については観測に準拠)



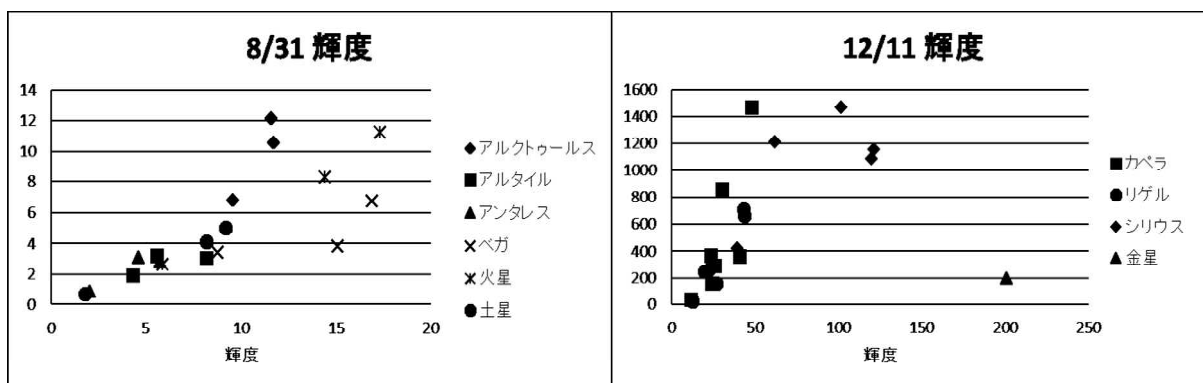
(ここで、星の瞬きの激しさを標準偏差によって評価することとしたのは、以下に示す観測結果からも分かるように輝度の変動が不規則であり、瞬きの回数の測定が難しい上、変化の大きさも考慮した指標が必要だったからである。)

結果

星の輝度の変動は下のグラフのようになった。代表例として代表例として 12/11 22:00 でのシリウスのデータを掲載する。

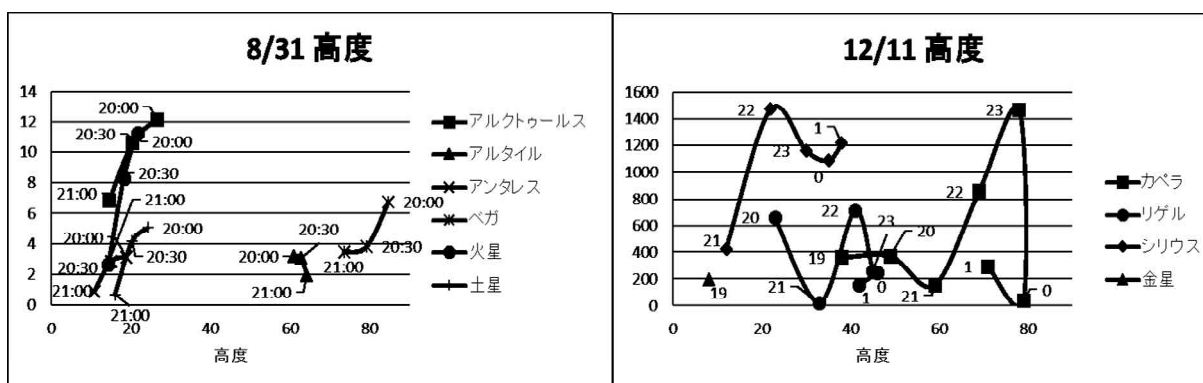


このようなデータ(計 38 個)についてそれぞれ標準偏差を計算し、日ごとに分けてグラフにしたものが下のものである。また、この 4 個のグラフの縦軸はどれも標準偏差で、数値が大きいほど瞬きが激しかったことを表している。



この 2 つのグラフは横軸に輝度(撮影における平均輝度)を取っている。

- ・ 8 月 31 日に観測した星については輝度が低く、観測誤差と同程度の標準偏差になってしまっているデータがあり、この部分に関しては信頼できない。しかし、それらを除いて全体的に見れば、輝度と瞬きの激しさの間には正の相関があるといえる。
- ・ 12 月 11 日のデータについても金星を除けば輝度と瞬きの激しさの間には正の相関が認められ、8 月 31 日のデータと共通している。



※データラベルは撮影時刻を示す。

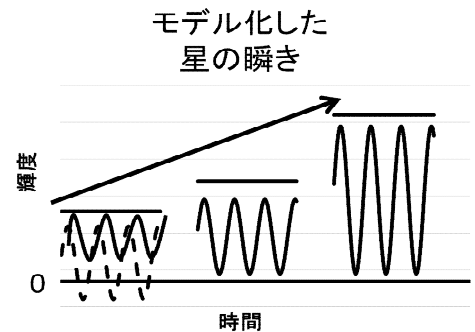
この 2 つのグラフは横軸に星の高度(上記定義参照,単位は度)を取っている。

- ・仮説に反して両日とも高度と瞬きの激しさの間には相関みられなかった。
- ・8月31日の観測データにおいては撮影を行うのが遅いほど瞬きが穏やかになる傾向があったが、12月11日のデータにはそのような傾向はみられず、撮影時刻と瞬きの激しさの関係は2日間に共通のものではなかった。しかし、同じ観測日の星については瞬きの激しさの変化は類似していた。

考察

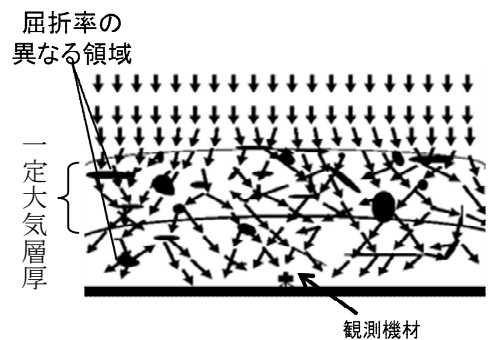
- ・撮影した2日について標準偏差の値が大きく異なっている原因については、夏よりも冬の方が大気中の水分量が少なく、空気が澄んでいるために星の輝度が12/11の観測の方が大きかったことに起因すると考える。

- ・輝度と瞬きの激しさの間の正の相関関係については、明るい星は輝度ゼロの下限から離れている分、幅広い値を取ることができ、激しく瞬くのではないかと考えられる。また、暗すぎて輝度がほとんどゼロの星に関しては右図のようにして瞬きが抑えられる傾向があるのではないかと考える。



- ・星の高度と瞬きの激しさの間には相関がみられなかったことから、瞬きの激しさと光線が通過する大気層の厚さの間にある関係は単純な比例関係ではないことが推測される。しかし、事実として宇宙空間において星を観測しても瞬かないことから、大気が瞬きの原因であることは間違いない。

以上のことから、星の瞬きの激しさはある一定大気層厚までは屈折により増え続けるが、それ以上になると屈折された光どうしが互いを補い合い、光線の方向の乱雑さが増えることはなくなるため、それ以上瞬きの激しさが増えることはなくなるのではないかと考える。つまり、一定大気層厚を通過するまでは瞬きの激しさは増え続けるが、それ以降は増えなくなるのではないかと考える。



- ・一般に惑星は地球との距離が近く、見かけの大きさが大きいため、その面内で曲げられた光どうしが打ち消しあって瞬かないとされている。にも関わらず今回の観測においては多少の瞬きが見られた。これは観測方法が点を測光するものだったためではないかと考える。

結論

標準偏差を用いて星の瞬きの激しさを定量的に評価することには成功したが、高度との間には想定していた相関は存在しなかった。一方で、星の輝度との間には正の相関があることが分かった。

今後の課題

測光を面測光にすることで肉眼の観測に近づけると共に、観測標高を高くすることで考察のモデルが正しいものかを検証する必要がある。