

2020年2月20日

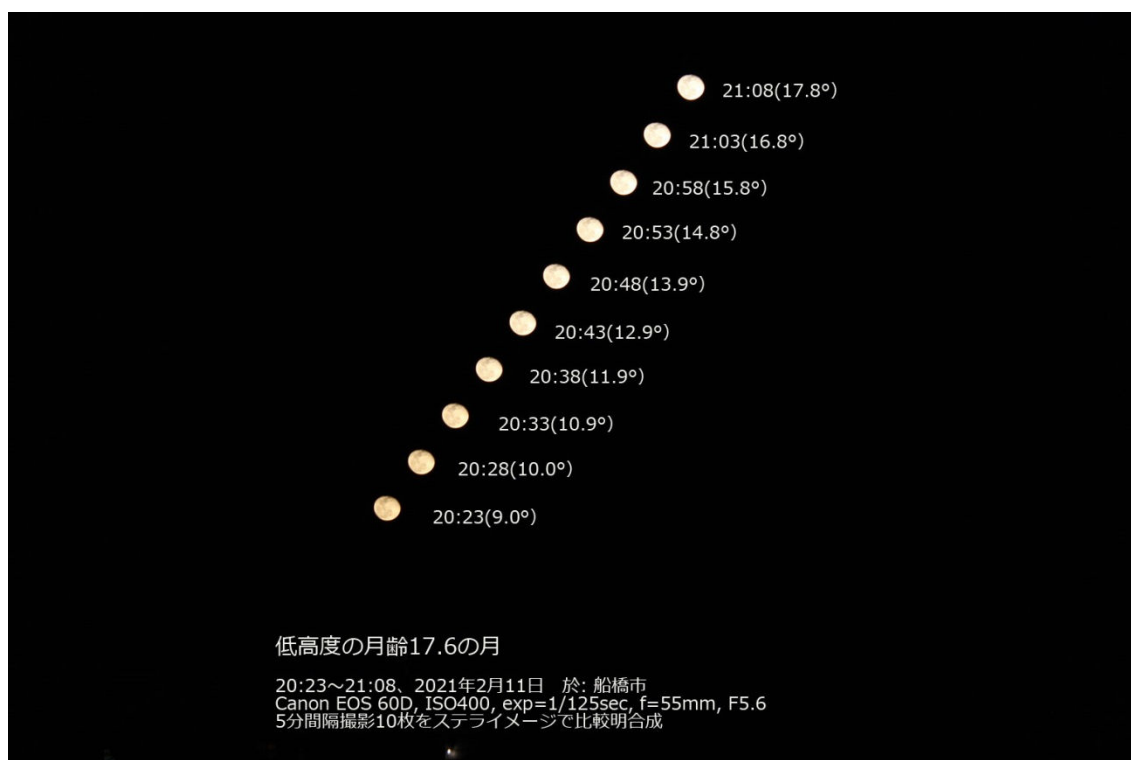
低高度の月の明るさの変化について

一星会 高 19 回 浅井秀幸

先日、低高度の月の明るさの変化について調べてみました。以下に、測定結果、大気の厚さと高度の関係、考察、と結論を述べます。

1. 測定結果

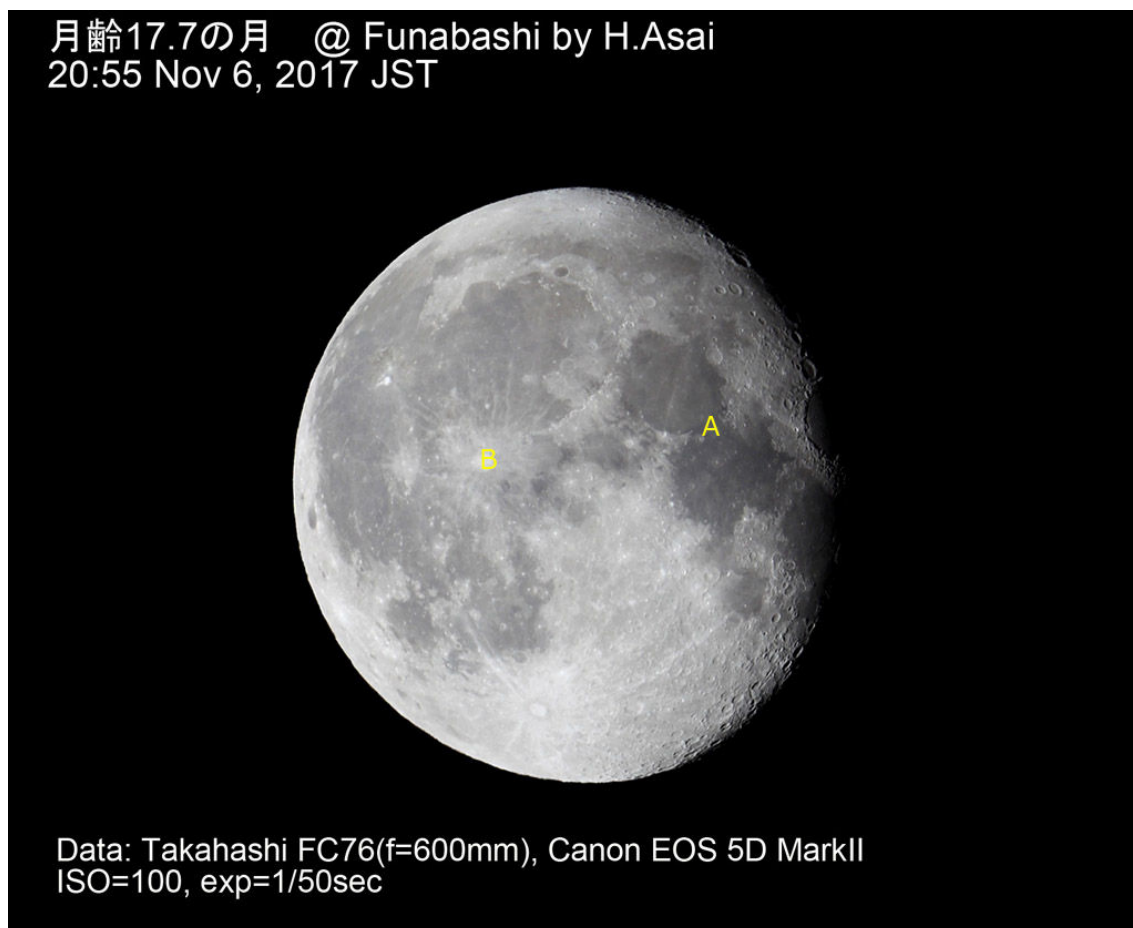
月齢 17.6 の月の出から約 1 時間後の 20:23~21:08 に撮影を行いました。デジカメで 5 分おきに撮影し、その画像をステライメージで比較明で合成し、1 枚の画像にしました（画像 1 参照）。



画像 1 : 低高度の月齢 17.6 の月

明るさの測定は、月の 2 地点、晴れの海と静かの海の境 (A) とコペルニクス (B) について、簡易的に、ステライメージで、R、B、G、L の輝度レベル値 (0~255) を調べ、そして高度との関係をグラフにしました (グラフ 1 およびグラフ 2 参照)。A と B の 2 地点の場所については、以前筆者が撮影した月齢 17.7 の月の画像にその場所を示してあります

ので参照下さい（画像2）。高度については、ステラナビゲータの値を採用しました。本来であれば、月の出からの変化を調べたかったのですが、自宅からは、月の出は見え、月の出から約1時間後の高度9度からになりました。



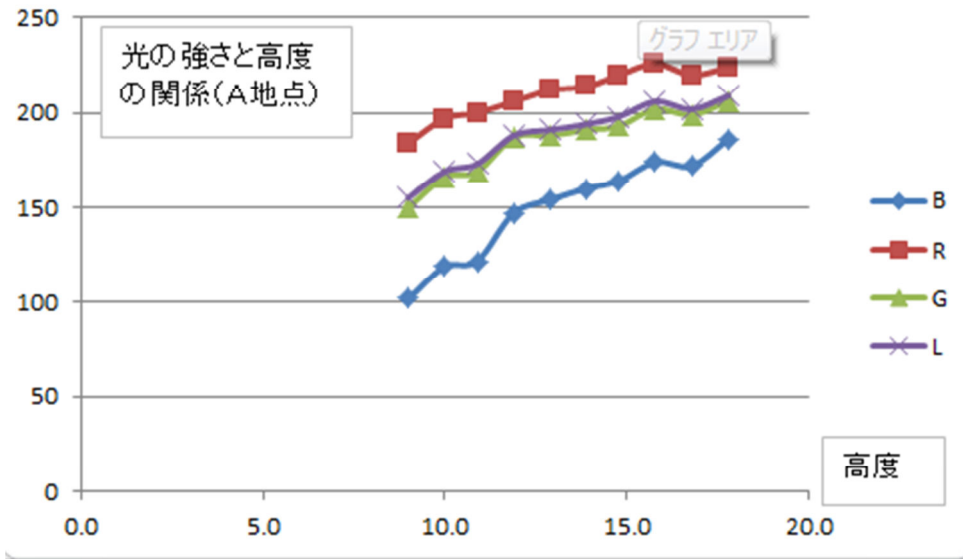
画像2：明るさ計測地点 A と B

結果については、想定された通り、高度が上がるにつれて、RGBの各値が大きくなっていくのがわかります。また、月の全体的な色も、測定開始時点では、やや赤みを帯びていたのが、測定終了時点では、黄色となっています。

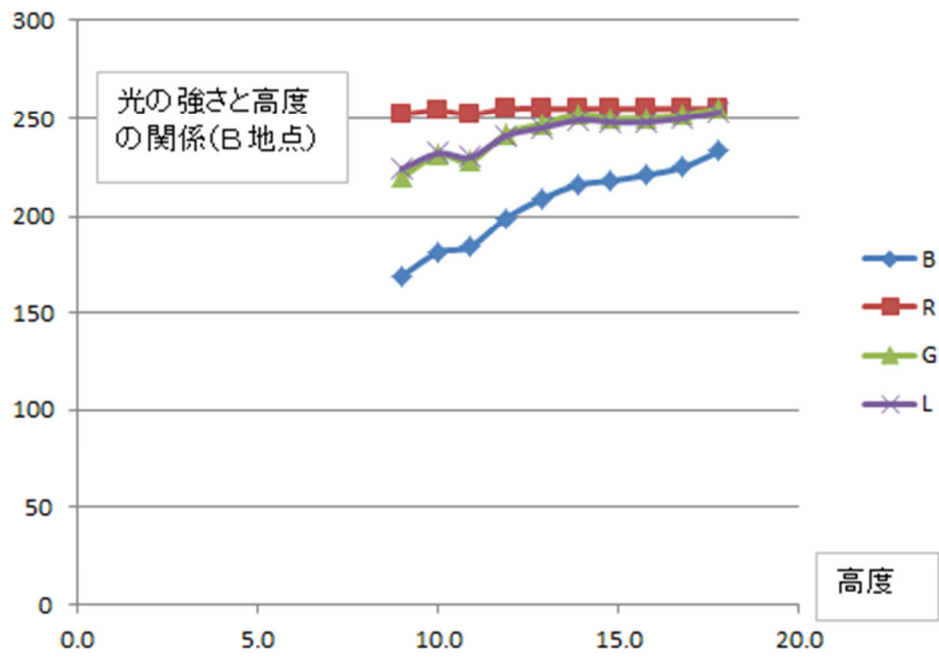
A地点では、測定開始と終了時点で、Rは1.2倍、Gは1.4倍、Bは1.8倍と明るくなっており、一方、B地点では、Rは変わらず、Gは1.2倍、Bは1.4倍と明るくなっており、測定地点によって明るさの変化量が異なっております。

撮影開始と終了時間で45分経過しており、厳密には、輝面比が0.93から0.01小さくなっており、しかし、両地点とも月面の欠けている境界付近ではないので、明るさの測定

では無視しております。



グラフ 1 : A 地点での光の強さの変化と高度との関係



グラフ 2 : B 地点での光の強さの変化と高度との関係

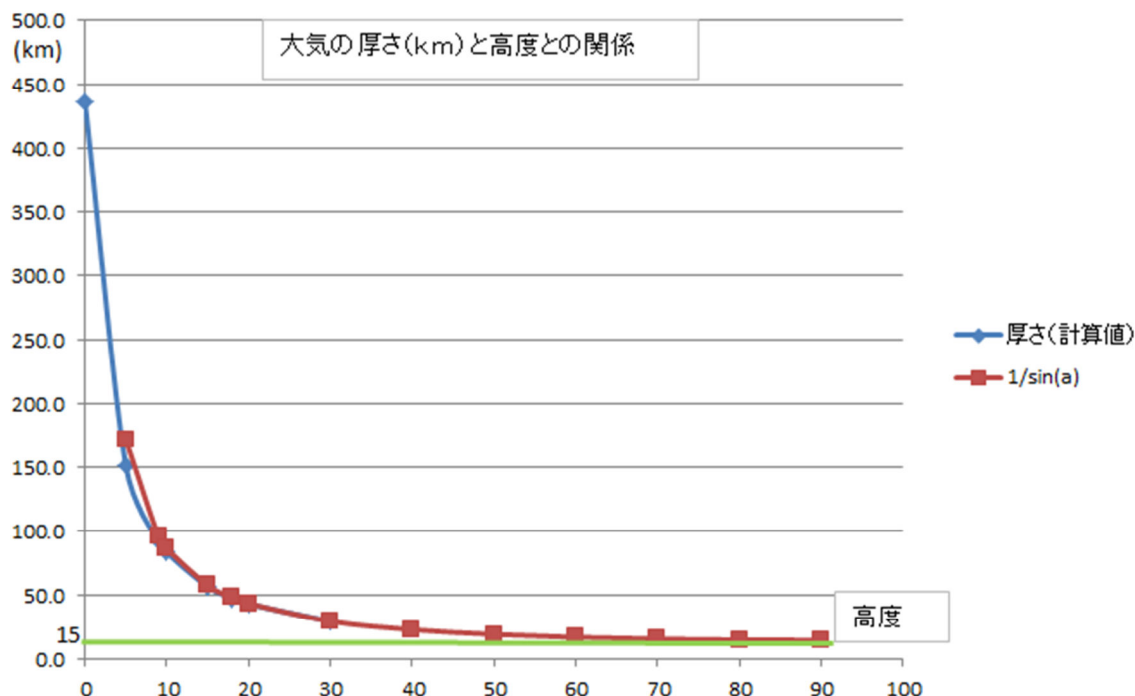
2. 大気の厚さと高度の関係

一般的に、太陽や月などの地球の外からの光は、大気の影響、特に大気中に含まれる微粒子や空気分子による散乱の影響が大きくなります。晴天の昼間に空が青いのは、主に青い光が大気と散乱を起こすことによって起こります。また、日の出（月の出）や日の入りに太陽や月が赤くなるのは、通過する大気が厚くなり、赤色のみの散乱光が地表に届き、青色や緑色の光は多重散乱を起こして、地表には届かないことによります。

大気の厚さは、天気に影響を与える対流圏が赤道付近で 17km、高緯度では 9km、その上に薄い空気があり、宇宙との境は 100km と言われています。散乱に大きく影響をする大気の厚さを 15km として、屈折を考慮しないで光度 30 度までの大気の厚さを求めてみました。その結果は、グラフ 3 を参照してください。なお、参考のために、高度が 30 度以上になると、その厚さは、高度を a と、天頂での厚さを h とすると、下記の式(1)から求まります。

$$h \div \sin(a) \quad \text{式(1)}$$

グラフ 3 では、この値もプロットしております。高度 30 度では、天頂の 2 倍の大気層を通過することがわかります。



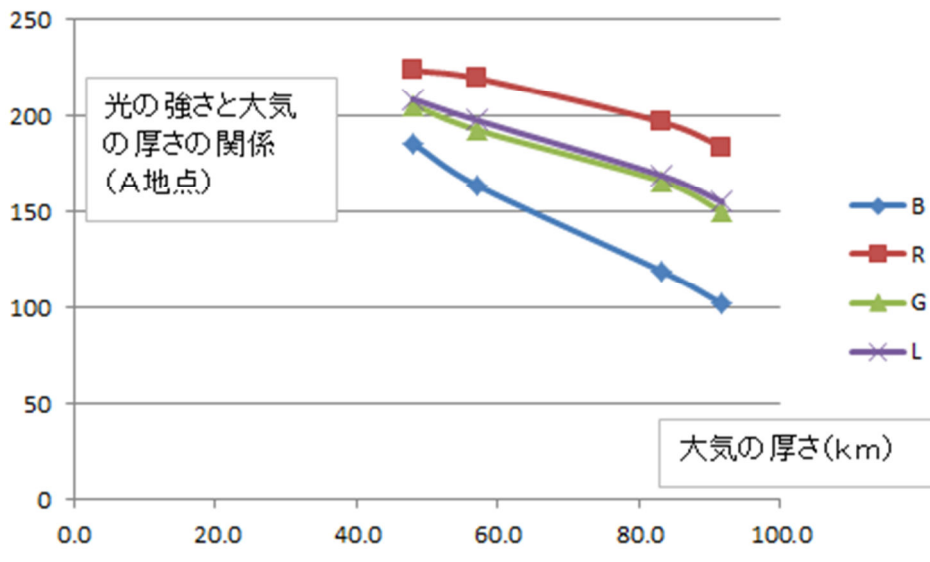
3. 考察

1の測定結果より、A地点では、高度が大きくなるにつれて、青色が一番大きく変化し、次に緑色で、赤色の変化は緩やかです。B地点でも、A地点と同様に、青色の変化が大きく、次に緑色の変化が著しく認められます。赤色は、測定開始時点でほぼ飽和状態なので、ほとんど変化はありません。両地点とも、青色と緑色の明るさは、高度にほぼ比例しております。当測定結果より、20度未満では大気が明るさに及ぼす影響が大きいことがわかります。

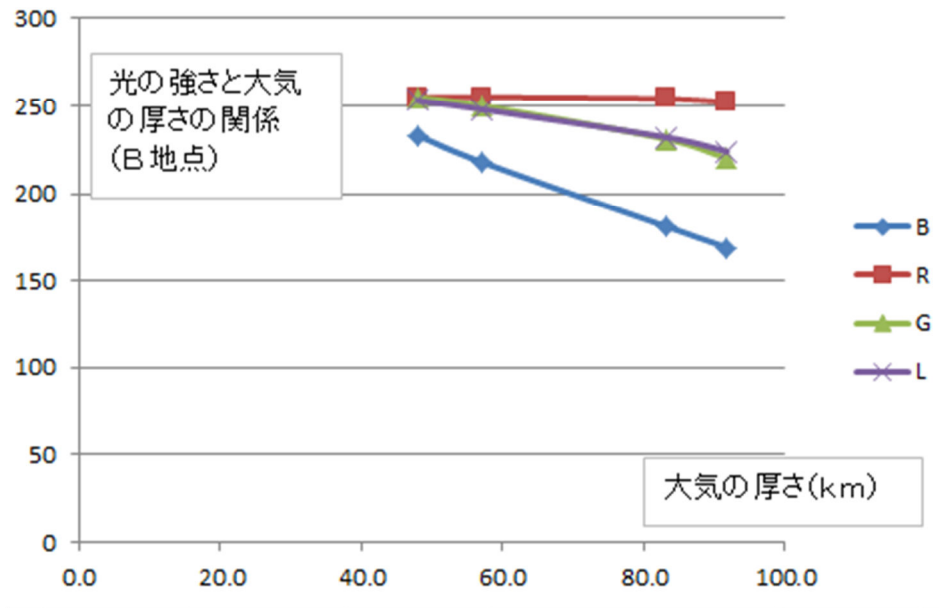
測定地点で変化量が異なるのは、B地点の方が明るく大気の影響を受けにくいことによると思われます。今回の測定では、JPG形式に変換した画像(8ビット)なので、RAW画像(12ビット)で測定すれば、もっと細かいデータが得られたと思われます。

青色や緑色の光が大きく影響を及ぼされるのは、グラフ3より通過する大気の厚さが地表で約29倍、10度で約5.5倍、20度でも約3倍、天頂の大気の厚さよりも大きくなることによりです。

天体の通過する大気の厚さと明るさの変化との関係はグラフ4とグラフ5にプロットしてみました。その関係はこの範囲では直線となりほぼ一次関数の関係にあると思われます。



グラフ4：光の強さと大気の厚さの関係 (A地点)



グラフ5：光の強さと大気の高さの関係 (B地点)

4. 結論

天体の明るさは、低高度の場合に大気の散乱の影響を大きく受け、天頂よりも暗くなります。特に青色や緑色の光は大きく影響を受け、赤みを帯びた色になります。測定した、高度が9度～18度の範囲では、緑色や青色の光の強さは、ほぼ高度に比例して大きくなります。

止むを得ず、低高度での恒星や惑星の天体撮影を行う場合は、通過する大気の高さによって、明るさと色が影響を受けるので、その補正が必要になってきます。なお、補正量については、今後の課題となります。

参照：

1. CCS 光と色の話 第一部 第21回 青空・夕焼け・白い雲
https://www.ccs-inc.co.jp/guide/column/light_color/vol21.html
2. 国立天文台、暦 Wiki、大気による散乱
<https://eco.mtk.nao.ac.jp/koyomi/wiki/C2E7B5A42FBBB6CDF0.html>
3. Wikipedia、地球の大気