

夜空の明るさの測定

加藤 英行*

Consideration of method for measurement of night sky brightness

Hideyuki KATO*

(要旨) 夜空の明るさをSQM (SKY QUALITY METER) とデジカメ (デジタルカメラ) を用いて測定し、測定値の違いについて考察した。また、福井市自然史博物館屋上でSQMを用いて半年間にわたり夜空の明るさを測定したところ、薄明が始まる時刻に向けて徐々に暗くなり、特に20時から23時まで約1時間おきに0.1 [mag/arcsec²] 程度の減光が見られることを示した。

キーワード：夜空の明るさ、SKY QUALITY METER、デジタルカメラ

1. はじめに

福井市自然史博物館では、開館当初から屋上の天文台で、市民向けの天体観望会を半世紀以上にわたり継続して実施している。このように、長期にわたり天体観望会を継続できているのは、これまで天体観望会運営に尽力された方々の努力もさることながら、市民の星空に対する関心の高さも一つの要因だろう。ところが、地域によっては年々夜空が明るくなっていることが報告され (環境省, 2013)、星が見えにくくなっている。今後も市民の期待に応え、天体観望会を継続していくためには、天体観望しやすく、星が見やすい環境を整備、保全していくことが大切である。

しかし、星が見やすい環境の整備、保全をしていくためには、星の見やすさを定量的に評価する必要がある。そこで、本稿では星の見やすさの評価方法の確立を目的として、星は夜空が明るい見えにくくなることに注目し、夜空の明るさの測定器SQM (カナダのユニヘドロン社製) とデジカメを使用した測定方法の比較と共に、SQMを使って半年間にわたり測定した夜空の明るさについて報告する。

2. 測定と解析

2-1 SQMとデジカメによる夜空の明るさ測定の比較

2015年10月7日18時50分から23時20分までの間、福井市自然史博物館屋上から、SQMとデジカメを使って夜空の明るさを5分間隔で55回測定した。福井地方気象台による10月7日の夜間 (18:00-翌日6:00) の天気概況は晴であった。(夜空の明るさは、雲の影響を受けやすいため、天気概況が晴や快晴のときに測定する

ことが望ましい。そのため、観測地 (福井市自然史博物館) と天気概況が近い福井地方気象台 (観測地から直線距離で約1kmに位置する) のデータを参考にした。

2-1(1) SQMによる夜空の明るさ測定

SQM (SQM-LU-DL型) の視野は円形で約20°、1平方秒角あたりの等級に換算して夜空の明るさが記録される。制御には、専用のソフトウェアが用意され、パソコンと繋げることで測定間隔などを設定することができる。測定の精度は±0.1 [mag/arcsec²] である (Unihedron, 2014)。

また、屋外に設置するため、ユニヘドロン社が開発した専用のハウジングに入れ、天頂を向けた状態でカメラ三脚へ固定し、夜露を防ぐためにヒーターをハウジング内側の窓の周りに取り付けた。ハウジングによる減光は、SQMをハウジングへ入れたときと入れないときの測定差から補正した。

2-1(2) デジカメによる夜空の明るさ測定

デジカメによる測定には、カメラボディ：Canon EOS 6D、レンズ：Canon EF50mm F1.8 IIを使用した。このシステムによる視野角は約40°×27°である。デジカメは表1の設定にし、三脚へ固定した状態で天頂へ向けて撮影した。また、夜空の明るさは、撮影した画像の中で恒星 (基準星) の明るさとその周辺の夜空 (天体が写っていない領域) との比から、次式を用いて夜空の1平方秒角あたりの等級 M_{bk} を算出した (小野間ほか, 2009)。

$$M_{bk} = M_{rel} + 2.5 \log \left(\frac{S - \theta^2}{bk} \right)$$

ここで M_{rel} は基準星の等級、 S は基準星のカウント

*〒918-8006 福井県福井市足羽上町147 福井市自然史博物館

*Fukui City Museum of Natural History, 147 Asuwakami-cho, Fukui-shi, Fukui 918-8006, Japan

値、 θ は基準星の天頂角、 bk は夜空のカウント値である。基準星にはヒッパルコスカタログ (E. Hog et al, 2000) の中から変光星ではない、V6等級以上、色指数 $B-V0.5$ 等級以下の恒星を採用し、大気による減光量 $X(z)A(h)$ は次式を用いて求め、補正した (鈴木ほか, 2013)。

$$X(z) = \{\cos z + 0.025 \exp(-11 \cos z)\}$$

$$A(h) = A_{ray} + A_{aer} + A_{oz} \text{ [等級/大気量]}$$

$$A_{ray} = 0.1451 \exp(-h/7.996)$$

$$A_{aer} = 0.120 \exp(-h/1.5)$$

$$A_{oz} = 0.016$$

ここで $X(z)$ は大気量で、天頂距離 z の変数である。 $A(h)$ は大気による吸収量で、標高 h の変数である。 A_{ray} は空気分子のレイリー散乱、 A_{aer} はエアロゾルの散乱、 A_{oz} はオゾン成分による吸収の減光量を等級で表している。

基準星の等級と画像は、ジョンソンフィルタV透過特性とデジカメGチャンネルの分光特性が半値幅の範囲でほぼ同様の特性を持つ (小野間ほか, 2009) ことから、基準星の等級にジョンソンV等級、測定画像にGチャンネルを採用した。

また、本稿では1枚の画像の中から3つの基準星を用いてそれぞれ測定し、平均値を求めた。

表1: カメラ設定

ISO感度	絞り値	露光時間
400	1.8	30秒
長時間露出ノイズ軽減 オン	高感度ノイズ軽減 オフ	データ保存形式 RAW

2-2 半年間にわたるSQMによる夜空の明るさの測定

2-1(1)の方法で、2015年6月1日から2015年11月30日の夜間、福井市自然史博物館屋上で夜空の明るさ測定を行った。ただし、月明かりと雲の影響をさけるため、解析には新月の前後3日間の内、福井地方気象台の天気概況が快晴または晴の日に絞り、条件を満たす表2に示す5日間について結果をまとめた。

表2: 解析した日における気象状況 (福井地方気象台)

月日	天気概況 (18:00-翌日6:00)	気温(℃)			湿度(%)	
		平均	最高	最低	平均	最小
7月14日	晴	30.3	35.3	25.4	54	37
8月14日	晴	25.9	29.9	23.4	81	59
8月15日	晴	25.9	31.9	21.7	77	52
10月14日	快晴	16.2	22.5	11.8	66	30
11月10日	晴	15.1	16.9	11.9	79	64

3. 結果

(1) SQMとデジカメの測定値の比較

SQMとデジカメによる夜空の明るさの測定値の時間変化を示した図1から、デジカメでは時間変化が激しく、SQMの方が滑らかに変化する傾向が見られた。

また、同じ時刻に測定したSQMとデジカメによる測定値をプロットした図2から、SQMとデジカメによる測定値の差は、 ± 0.08 [mag/arcsec²] の範囲であり、暗くなるにつれて、SQMは明るく、デジカメは、暗く測定する傾向が見られた。

デジカメの測定で、それぞれの時刻の画像において、3つの基準星の測定から求めた標準偏差は0.071~0.001 [mag/arcsec²] の範囲であり、標準偏差の平均は0.012 [mag/arcsec²] であった。

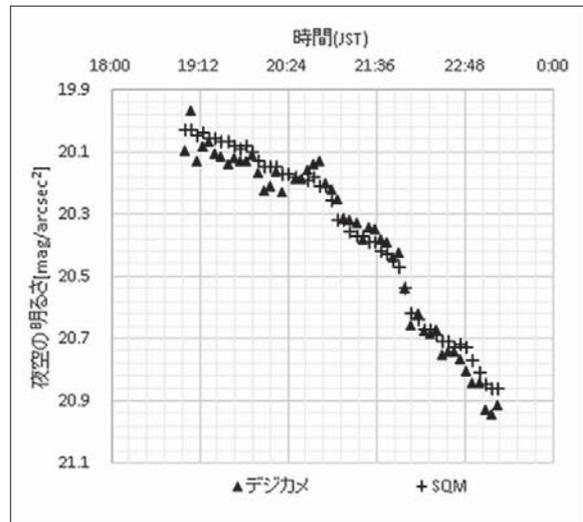


図1: SQMとデジカメによる夜空の明るさの時間変化

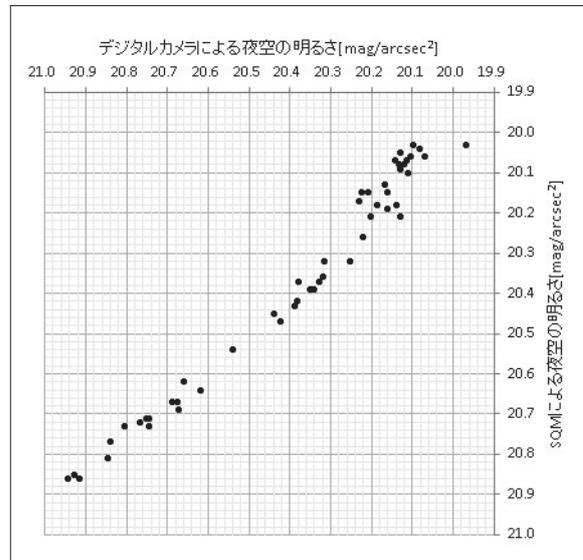


図2: SQMとデジカメによる測定値の比較

(2) SQMによる夜空の明るさの変化

図3に5日間の夜空の明るさの時間変化を示した。夜空の明るさは、薄明が終わるまでは急激に暗くなり、その後は薄明が始まる時刻まで徐々に暗くなっている。一日の内、最も空が暗くなるのは翌日の薄明が始まる直前の時刻である。

図3では薄明が終わった後の変化が見えにくいため、薄明が終わる時間と翌日の始まる時間を拡大して図4に示した。

図4から次の変化が見える。

- ①すべての日において、薄明終了から薄明が始まる時刻へむけて、暗くなっていく傾向がある
- ②7月14日と8月14日は薄明開始前から、明るくなっている。
- ③丸でマークした部分で0.1 [mag/arcsec²] 程度の減光が見られる。

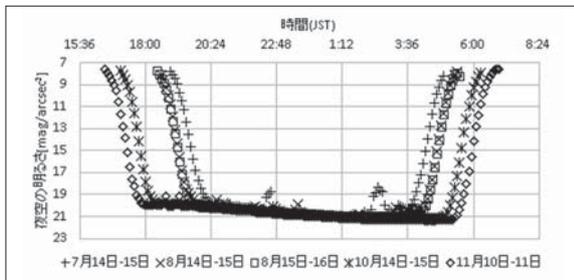


図3：夜空の明るさの時間変化

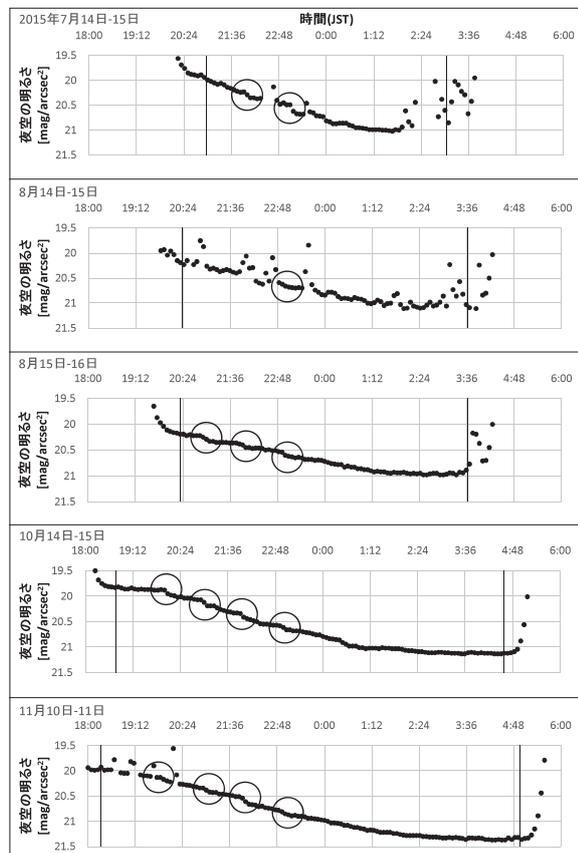


図4：日ごとの夜空の明るさの時間変化
図中の2本の縦線は、左が薄明終了時刻、右が薄明開始時刻である

4. 考察

(1) SQMとデジカメの測定値の比較

結果(1)の傾向は、以下の違いから生じたと考えている。

①視野角

SQMは円形の視野角20°の範囲を測定しているのに対して、デジカメは解析の過程で測定している範囲は基準星周辺の0.1°×0.1°程度であり、デジカメでは狭い範囲の変化を捉えている。

②測定に要する時間

SQMは1回の測定が、数秒程度であるのに対して、デジカメは30秒露光した画像から求めている。従って、測定している時間が異なっている。

③分光特性

SQMについて、波長ごとの感度の評価をしていないため、見ている波長の違いが考えられる。

また、デジカメ画像の解析時に選ぶ基準星の違いを考えたが、測定値の差が標準偏差の値を上回っており考えにくい。

測定値の差が大きな時刻については、デジカメの画像を確認したが、雲は映っていなかったため、雲の影響は考えにくい。

(2) SQMによる夜空の明るさの変化

(2)-①の変化は、生活照明が徐々に消されていった結果だと考えている。図6を見ると、1時ごろまでは、緩やかに減光していくが、それ以降は減光が鈍る傾向がある。従って、1時ごろまでに住宅や商店の照明が消され、それ以降には夜間常時点灯している照明が残されるのであろう。

(2)-②の変化は、明け方にかけて気温が低下したことで、霧が発生したのではないかと考えている。

(2)-③の変化は、20時から約1時間おきに減光が見られることから、周辺の商店の灯りや街灯が消されることで暗くなったのではないかと考えている。

5. まとめ

今回の比較ではSQMとデジカメによる夜空の明るさの測定値に±0.08 [mag/arcsec²] の範囲で違いが生じていた。これは、視野や測定に要する時間、分光特性の違いから生じていると考えられる。夜空の明るさを測定するにあたって、装置の特性を十分に理解する必要がある。

半年間にわたるSQMを使っての夜空の明るさ測定から、福井市自然史博物館屋上では、薄明が始まる前の時刻に向けて徐々に暗くなり、20時から23時まで約

1時間ごとに0.1 [mag/arcsec²]程度の減光がみられた。これらの変化は、周辺の照明による影響が考えられる。

また、雲や霧が発生した場合に、撮影画像から原因を予想することができるという点で、デジカメによる観測の方が明るさの変化の原因を考える上で有利であるが、SQM単体の測定であっても天気概況を参照することで、雲の影響を少なくした夜空の明るさの変化を捉えることができた。

謝 辞

本調査を行うにあたり、星空公団主催『デジカメ星空診断ワークショップ』へ参加させていただき、デジカメを用いた夜空の明るさの調査方法についてご教示いただいた。また、解析のために福井地方気象台の気象データを使わせていただいた。心より感謝申し上げます。

引用文献

- 環境省, 2013, スターウォッチング・ネットワーク平成24年度冬期全国星空継続観察の実施結果報告, 1p.
- Unihedron, 2014, SQM-LU-DL operator's manual. 68p.
- 小野間史樹, 2009, デジタル一眼レフカメラを用いた夜空の明るさ調査方法の提案, 国立天文台報, 12, 93-102.
- Høg, E., Fabricius, C., Makarov, V. V., Urban, S., Corbin, T., Wycoff, G., Bastian, U., Schwekendiek, P. and Wicenc, A., 2000, The Tycho-2 catalogue of the 2.5 million brightest stars. *Astronomy and Astrophysics*, 355, L27-L30.
- 鈴木文二・秋澤宏樹・菅原賢, 2013, 光度観測. ③地球大気吸収による減光量の補正. 彗星の科学, 95p.