

星空環境の評価のための測定方法の比較

星空公団

柴山万優子 (mayuko@kodan.jp)

2017年8月16日

夜空の明るさ測定方法として、「デジタルカメラ」に加えて、「Sky Quality Meter」および「Dark Sky Meter」が一般的に用いられている。これらの特徴および関係を整理する。

1 デジタルカメラ

デジタル一眼カメラを用いて天頂付近の夜空を撮影し、得られた画像から背景の明るさを測定する。デジタルカメラを用いる場合、カメラのモデルごとに素子が異なり、また素子単体の製造ばらつきや温度変化による影響があるためこれらの補正が必要である。またレンズについても、その透過率や絞りの精度、ビネッティングによる周辺減光を考慮する必要がある。よって、夜空のバックグラウンドと同時にあらかじめ明るさの分かっている標準星を撮影し、この標準星を基準としてカウント値を比較することでバックグラウンドの明るさを求める。得られる値は、単位立体角あたりの等級である。この単位立体角あたりの等級は、明るさの基準として人間の比視感度に近い Johnson V バンドフィルタを用いて測定した星の等級を用いており、またカメラの感度も図 1 に示すように Johnson V バンドフィルタと比較的良好一致を示している。このため人間の感覚に近い明るさが測定できる。

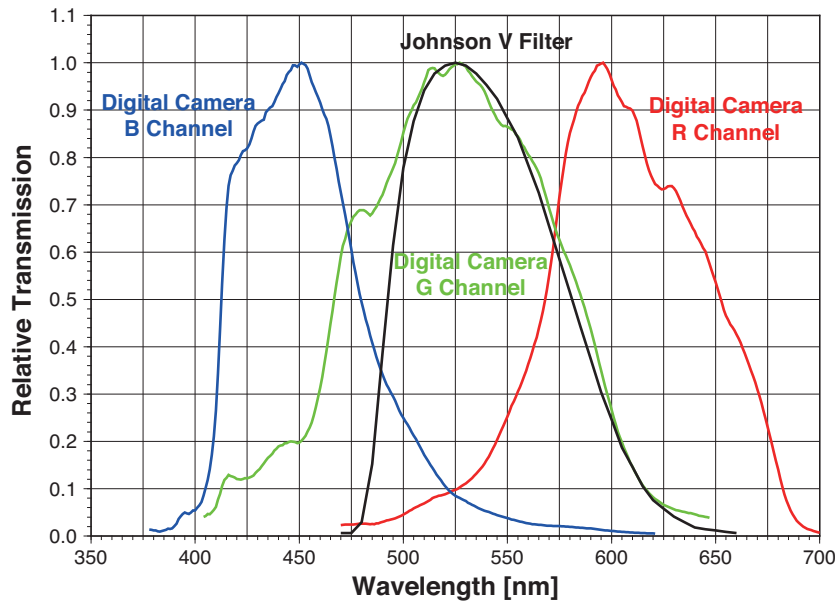


図1 デジタル一眼カメラの分光感度特性と Johnson UBV システムの V バンドフィルタとの比較

デジタルカメラは、天文学で一般的な冷却 CCD と比べてコストが安価であり、近年の技術進歩や全国的な普及により比較的導入しやすい。さらに、画像から天候の確認を行うことで測定後に結果を検証できる、という特長をもつ。環境省による全国星空継続観察で、2011 年度から「星空の写真撮影」の測定方法として採用されていた。事業休止後、2013 年度以降の星空公園による「デジカメ星空診断」でも同様の方法が用いられている。

2 Sky Quality Meter

Sky Quality Meter は、センサとして単素子のフォトダイオード (ams AG TSL237) を、赤外カットフィルタとして色補正フィルター (HOYA CM-500) を使用した測定機器である。フォトダイオードの感度を出荷時に校正し、内部回路でフォトダイオードの出力値を明るさに換算している。出力される値は単位立体角あたりの等級と温度のみである。この単位立体角あたりの等級は、デジタルカメラでの測定結果と同じ単位であるが、以下に述べるように、分光特性の点から同等に扱うのは困難である。測光範囲の半値幅はメーカー公表値より、初期モデルの SQM で 42° 程度、レンズ付きのモデル SQM-L で 10° 程度とされている。ボタンを押すだけで測定値が簡単に得られることから、全国の高校生を中心に普及し、調査結果が多く報告されている。

図 2 に、Sky Quality Meter の分光感度特性と Johnson UBV システムの V バンドフィルタとの比較結果を示す。Sky Quality Meter の分光感度特性は Johnson V フィルタに比べ、広い波長範囲に感度を持つことがわかる。このため、CCD やデジタル一眼カメラを用いた測定結果と単純に比較することは難しいといえる。また、照明として用いられている光源は、波長特性が平坦ではないことがあり、光源の種類によって測定される明るさが人間の感覚とずれる可能性がある。

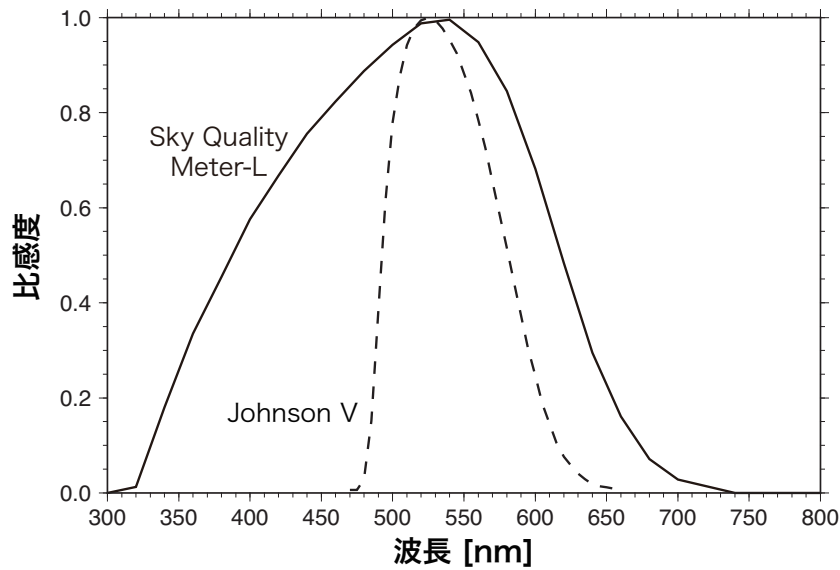


図2 Sky Quality Meter の分光感度特性と Johnson UBV システムの V バンドフィルタとの比較

図3に、SQM-Lの感度の視野角依存性の評価結果を示す。一般的な照明は、夜空と比較して100倍以上の明るさを持つため、照明の影響を避けるためには周辺の感度が中心と比較して1000分の1程度であればよいことになる。図3から、感度が1000分の1、すなわち-7.5等級/”□以下となるのは80°以上であり、それより内側の角度では照明の影響を受ける。このように、SQMが斜め上方からの光に弱いことが明らかになっている。よって、周囲に照明のある市街地で使用するのは困難である。

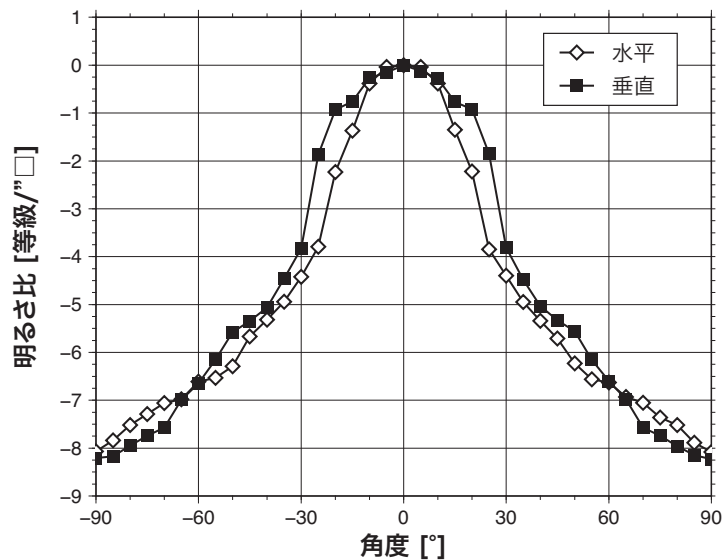


図3 SQM-Lの感度の視野角依存性の評価結果

図4に、照明近傍におけるデジタル一眼カメラ、SQM-Lの測定値の比較例を示す。照明から十分に離れた場所で測定される本来の明るさの値に比べて、照明の近くではSQMの測定値が大きな値を示しており、影響を受けやすいことがわかる。また、単素子の測定器であり雲や恒星の分離ができないことから、測定後に天候の確認ができなく、天の川などの明るさが影響するような暗い夜空で使用できない点にも注意すべきである。

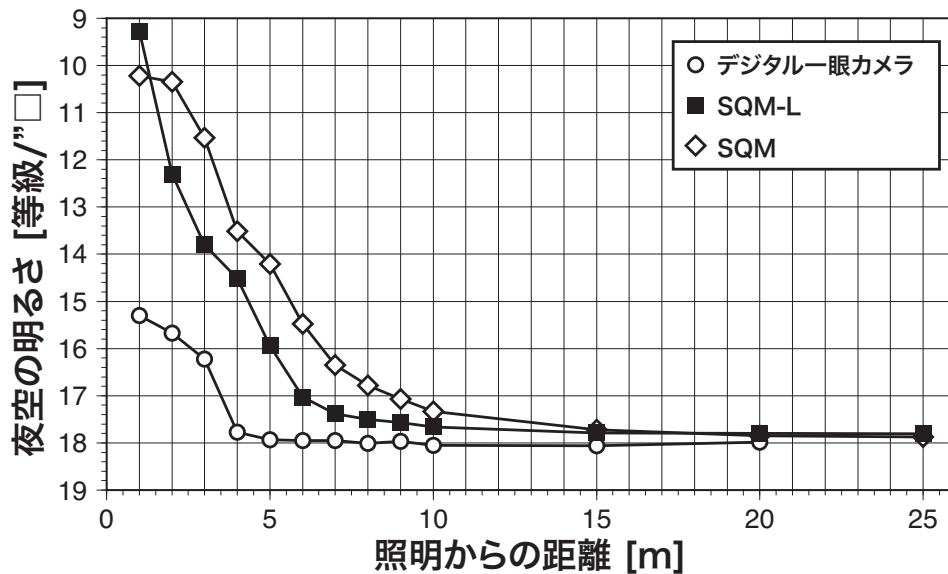


図4 照明近傍におけるデジタル一眼カメラ、SQM-Lの測定値の比較例

3 Dark Sky Meter

Dark Sky Meter は、スマートフォンで夜空の明るさを測定するアプリケーションである。Android 端末は実装されているカメラ素子の種類が多く、それぞれに対応させることが難しいため、iPhone 専用である。国際ダークスカイ協会 (International Dark Sky Association, IDA) のサポートで2013年にリリースされ、iPhone4S(iOS8.1)以降、iPhone7 Plusまでの機種に対応している。測定は、カメラで2回撮影して行う。1回目は、レンズを覆い光を除去した状態で撮影し、デバイスの校正をする。2回目は、天頂に向けて撮影し、夜空の明るさを求める。Dark Sky Meterには、有料(120円)版と無料版の2種類があり、それぞれ出力される値が異なる。有料版は、単位立体角あたりの等級と限界等級 (Naked-Eye Limited Magnitude, NELM)、無料版は、理想の空と比較して何倍明るいのみである。なお、有料版の出力値である単位立体角あたりの等級は、アプリケーション上の表記として「SQM(スカイ・クオリティ・メータの測定値)」となっている。また、限界等級の値については、単位立体角あたりの等級を用いて以下の式で算出している。

$$NELM = ((SQM - 8.89)/2) + 0.5 \quad (1)$$

ただし、この式の正確性は実際に測定した人々により疑問視されている [1]。有料版と無料版、どちらも測定結果を送信できるが、有料版では測定値に加え、GPS による位置や日時、月齢、端末の角度、追記した雲情報も送ることが可能である。送信された結果は全て地図にプロットされ、Web 上 (<http://www.darkskymeter.com/index.html>) で公開されている。iPhone 単体のみで測定できる手軽さから世界中で測定が実施されている。

図 5 に、Dark Sky Meter の感度の視野角依存性の評価結果を示す。視野角 $\pm 90^\circ$ でも感度は、 -2.0 等級/”□、すなわち 6 分の 1 程度までしか下がらないことがわかる。このため、Sky Quality Meter と同様に周囲に照明のある環境での測定は困難だといえる。

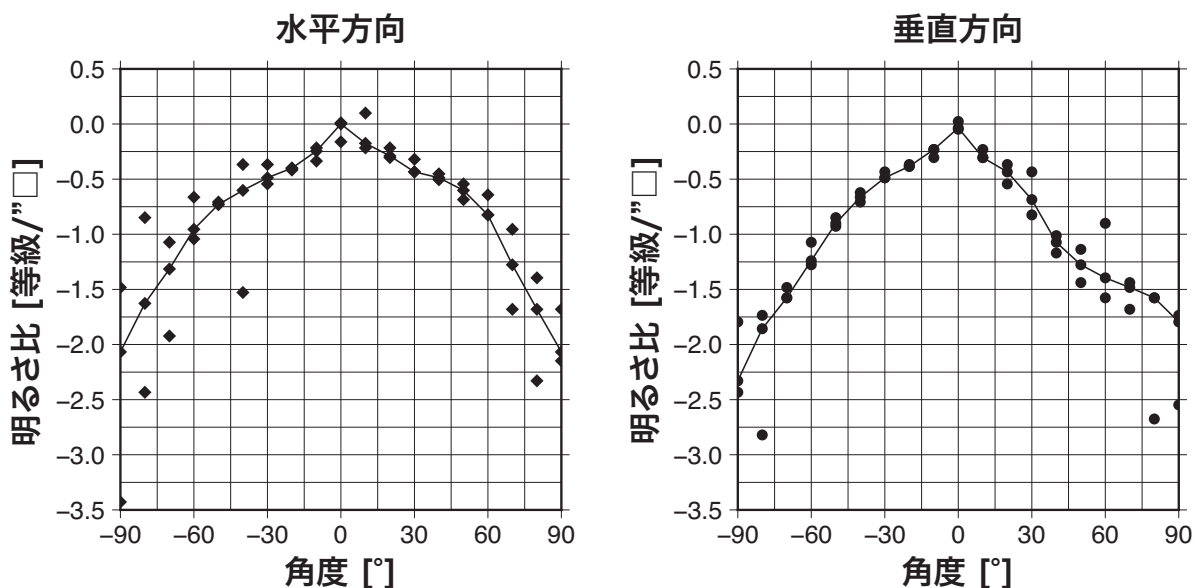


図 5 Dark Sky Meter の感度の視野角依存性の評価結果

また、図 6 に Sky Quality Meter と iPhone6, iPhone6 Plus を用いた Dark Sky Meter の測定値の比較をそれぞれ示す [2]。どちらも正の相関関係がみられるが、機種により測定値が 0.5 等級/”□ほど異なっているため、比較の際は注意が必要である。また、暗くなるほど測定値のばらつきが大きくなっていることがわかる。これは、iPhone のカメラは民生品であり、夜に多くの光を集めるための設計はされておらず、冷却 CCD やデジタル一眼カメラほどセンサーの感度が高くないためである。そのため、Dark Sky Meter を作成した DDQ より、暗い場所では 2,3 回測定し平均値をとることが推奨されている [3]。

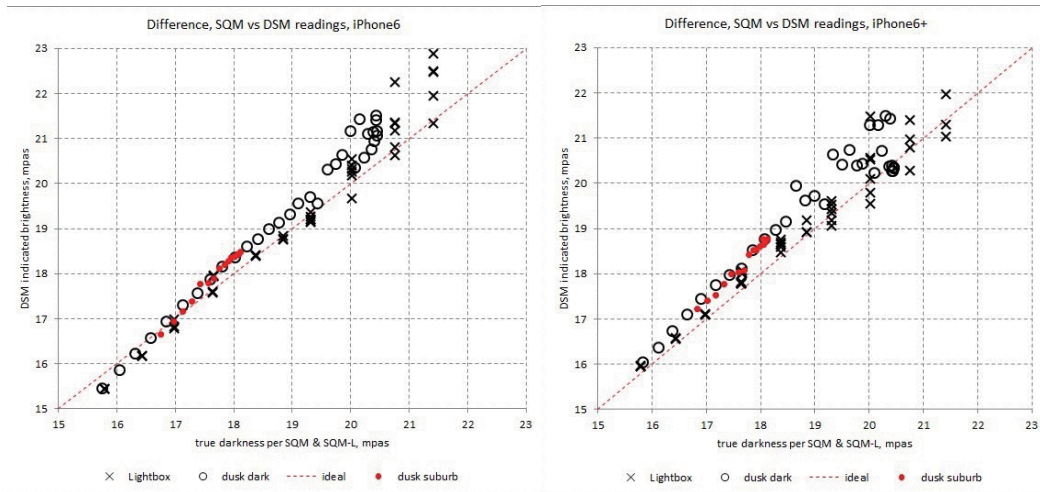


図6 Dark Sky Meter の感度の視野角依存性の評価結果

4 まとめ

一般的な夜空の明るさ測定方法である「デジタルカメラ」、「Sky Quality Meter」および「Dark Sky Meter」の特徴および関係を整理した。「Sky Quality Meter」は、波長、視野角の広い範囲に感度をもつため、CCD やデジタル一眼カメラを用いた測定結果との単純比較や周囲に照明がある環境での測定は困難である。「Dark Sky Meter」は、測定方法として最も手軽である一方、機種の違いや暗い場所で測定値にばらつきがみられる点に注意が必要である。さらに、「Sky Quality Meter」と同様、広い視野角に感度をもつため、周囲に照明がある環境での測定は困難である。一方で「デジタルカメラ」は、あらかじめ明るさの分かっている標準星で比測定を行うため、測定ごとのずれの影響を受けない。また、画像から天候が確認できるため、測定後に結果の検証が可能である。

参考文献

- [1] [http://www.nightskyimages.co.uk/Dark Sky Meter Review.pdf](http://www.nightskyimages.co.uk/Dark_Sky_Meter_Review.pdf)
- [2] https://www.noao.edu/education/files/DSM_app.pdf,p.12
- [3] <http://www.darksnymeter.com/app.html>