

福井県勝山市周辺の夜空の明るさ測定

武田 樹・山本博文（福井大学教育学部地学教室）

1. はじめに

小・中学校では天体の観察により時間概念や空間概念を形成し、天体の位置関係や運動について相対的にとらえる見方・考え方を養うことが求められている。しかし星空を観察しようとしても夜間照明等の人工的な光があふれ、近年では都市部以外でも星空が見えにくくなっている（環境庁, 1998; 環境省, 2013 など）。一方、福井市の東約 30km に位置する大野市の六呂師高原は、環境省による全国星空継続観察において、2004 年と 2005 年に「日本一星をきれいに見ることができる場所」として認定されており、実際に天の川まではっきりと観察することができる。このことから推測すると、福井県下には、広く星空観察に適した地域が広がっていると推測される。しかし福井県における星空の見え方や星空を見えにくくしている街灯等の人工的な光の影響、すなわち光害についてはほとんど調べられていない。

そこで本研究では、福井市から勝山市にかけての地域を中心に、星空の見やすさの分布を“夜空の明るさ”という指標で測定することとした。測定にあたっては、スカイクオリティメーター（以下、SQM と略す）を用い、終夜連続して測定を行うこととした。また得られた測定値を基に、気象条件等が異なる日の値の補正方法、測定点の夜空の明るさ（星空の見易さ）レベルの表示方法、さらには時間帯別明るさの推定方法等の検討を行ってきた。なお本報告では勝山市を中心とした地域で行ってきた測定結果を中心に紹介する。

2. 測定方法

夜空の明るさの測定方法としては、肉眼により星を確認する方法と測定器具を用いて測定する方法がある。測定器具としてはカメラ、照度計、SQM 等がある。近年、デジタルカメラを用いる手法が提唱され（梶井, 2006, 2010 ; 小野間ほか, 2009 など）、広く用いられている。しかしデジタルカメラによる夜空の明るさ測定では、撮影した画像からパソコンを用いて画像中の恒星（基準星）を同定し、その明るさと周辺の星の写っていない空の明るさの比から夜空の明るさを平方秒角あたりの等級（ $\text{mag}/\text{arcsec}^2$ ）として求めるため、手軽にその場ですぐに測定値を得るという事は難しい。一方、SQM を用いた夜空の明るさの測定では、測定したい方向にセンサーを向けスイッチを押すだけであり、わずか数秒で同様の測定値を得ることができる。このように SQM を用いた測定方法はデジタルカメラを用いる方法よりはるかに手軽であるため、2005 年以降、SQM を用いた測定が多数報告されるようになってきた（例えば越智, 2010a,b）。また Unihedron 社製 SQM-LU-DL というデータロガーを内蔵した SQM では、指定した時間間隔で終夜、自動的にデータを測定することが可能となっており、今回の研究ではこの機種を用いることとした。SQM-LU-DL の測定精度は $\pm 0.1 \text{mag}/\text{arcsec}^2$ 、光感知角度は 20 度である。また終夜、連続して測定を行うための SQM 設置方法として、山本ほか（2017）の測定ボックス（図 1）を用いた。

用いた測定ボックスの数は、全部で 11 台である。

測定値と実際に見える夜空を比べると、 18.0mag/arcsec^2 の明るさの夜空では星はぼつぼつとしか見えず、 19.0 mag/arcsec^2 になると多くの星が輝いて見えるようになった。また 20.0mag/arcsec^2 になると天の川が見えることがあり、 21.0mag/arcsec^2 になるとはっきりと天の川を見ることができ、まさに満天の星空となった。

3. 測定点の選定

測定では夜空の明るさ（光害の程度）の分布及び時間変化を調べるために、終夜、天頂方向を 5 分間隔で測定した。測定点の選定においては、人工的な光の影響が強い市街地以外では数 100m 離れても測定値はあまり変わらないことから、 $2\text{km}\sim 5\text{km}$ 程度の間隔とした（図 2）。測定点の選定にあたっては、1) 天頂方向が大きく開けていること、2) 街灯等の人工的な光源が近くにない



図 1. SQM 設置に用いた測定ボックス（山本ほか，2017）。円筒状の筒の中に SQM-LU-DL がバッテリーとともに納められ、短起毛フットが取り付けられている。筒の先端には光学ガラスフィルターが取り付けられており、夜露防止のためのウォーマがまかされている。ウォーマの電源として USB モバイルバッテリーを用いている。

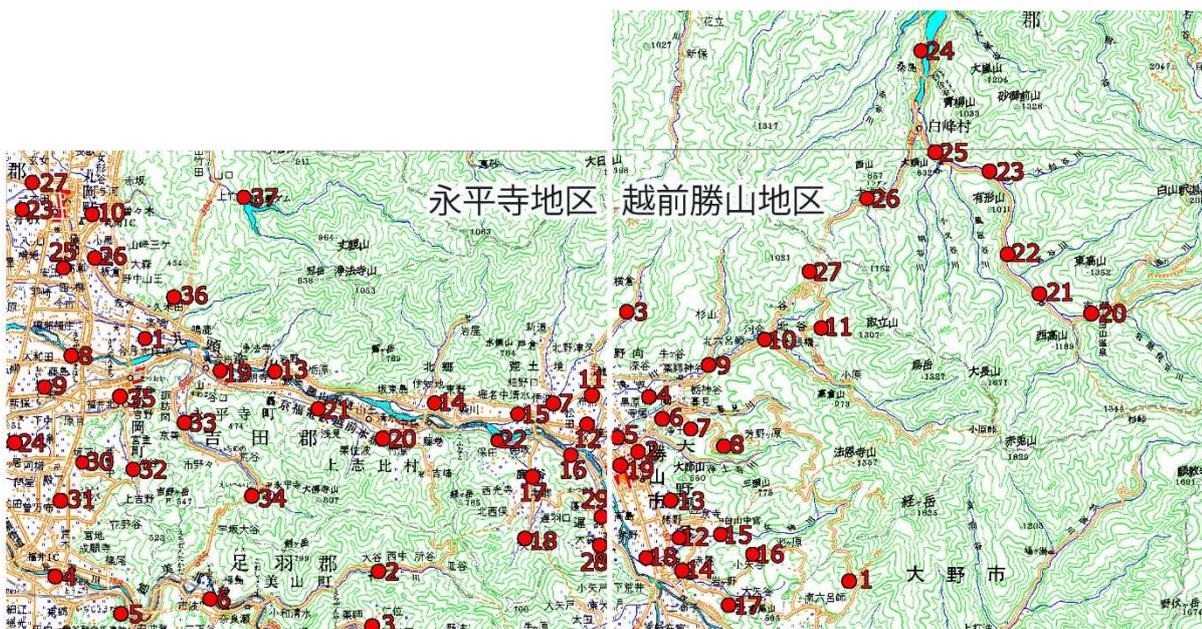


図 2. 永平寺地区および越前勝山地区の測定点分布および各地区別の測定点番号。

こと、3) 車の前照灯等の影響に常時さらされる場所でないこと、4) 車や人の通行等の迷惑にならない場所であることを条件とした。1) については天頂から 45° の範囲に樹木や建物等の障害物が無いことを確認した。2) については、山本ほか (2017) は今回用いた短起毛付フード付きの測定ボックスを用いた場合、街灯の影響を $0.05 \text{ mag/arcsec}^2$ 未満とするためには街灯から 15m 以上離す必要があるとしており、今回の測定ではその影響を十分小さくするため、街灯から 30m 以上離れた地点を選定した。

測定を行った地点数は 5 万分の 1 地形図「永平寺」の範囲内 (以下、永平寺地区と呼ぶ) で 37 点、「越前勝山」の範囲内 (以下、越前勝山地区と呼ぶ) で 27 点である。なお 5 万分の 1 地形図「白峰」に含まれる 1 地点については、ここでは便宜上、越前勝山地区に含めた (図 2)。

4. 測定結果および考察

勝山市周辺地域において行った夜空の明るさ測定データより、この地域の光害の実態や、その原因、および星座や天の川などの星空観察に適した地点分布について考察を行った。

図 3 に 2018 年 10 月 7 日夜～8 日朝にかけて行った測定結果の一例を示す。この日は月齢 27.4 で月の影響はほとんどなかったが、一時的に雲が天頂付近を通過し、測定値が大きく乱れた時間帯があった。雲の影響を除いた値を見ると、夜空の明るさは太陽の影響がなくなった天文薄明終了後も時間とともに緩やかに上昇している。これは主に人工的な光が深夜になるに従って減少することによると考えられている (加藤, 2015 など)。一方、深夜～未明では計測値は比較的一定の値を示している。しかし同一地点・同一時間帯 (例えば 3:00～4:00) の測定値であっても、異なる日の測定した値を比較すると、誤差を上回るばらつきが認められた。ばらつきの原因としては、空がややかすんだ透明感のあまりない晴れた日の測定値は低く、空気が澄んでよく晴れわたった日の測定値は高い傾向にあることから、空気中に含まれているエアロゾルの量と関係すると推定される。即ちエアロゾルの量が多いと街明かりの散乱量が多いため夜空が明るくなり、少ないと散乱量が少いため夜空が暗くなると推測される。そこで福井大学屋上で行っている測定値を基に、一定の散乱割合になるよう、補正を行った。補正では散乱の割合を「空気が澄んでよく晴れわたった基準日」(福井大学屋上での深夜～未明の値が $19.60 \text{ mag/arcsec}^2$ まで上昇する日) と同程度になるように、測定した深夜～未明の値を補正し、この値を測定点の「代表値」とし、測定点間の比較に用いることとした (補正方法の詳細については、稿を改めて紹介する)。

4-1. 勝山市周辺の夜空の明るさ分布とその特徴

各測定点の代表値、すなわち空が澄みわたった日の深夜 - 未明にかけての夜空の明るさ分布を図 4 に示す。この図をみると福井市中心部から 5km 離れると $20.00 \text{ mag/arcsec}^2$ を、10km 離れると $20.50 \text{ mag/arcsec}^2$ を、20km 離れると $21.00 \text{ mag/arcsec}^2$ を超える地点が多く認められ、福井市街地から離れるほど代表値が高くなる、すなわち夜空が暗くなる傾向が明瞭であった。また勝山市街地付近は、福井市中心部からの距離からすると $21.3 \text{ mag/arcsec}^2$ 前後の値を示すと推測されるが、周囲の人工的な明かりの影響で、例えば勝山市役所屋上 (越前勝山 - 19) では代表値は $20.8 \text{ mag/arcsec}^2$ にとどまっているように、局所的にやや明るい夜空となっている地点

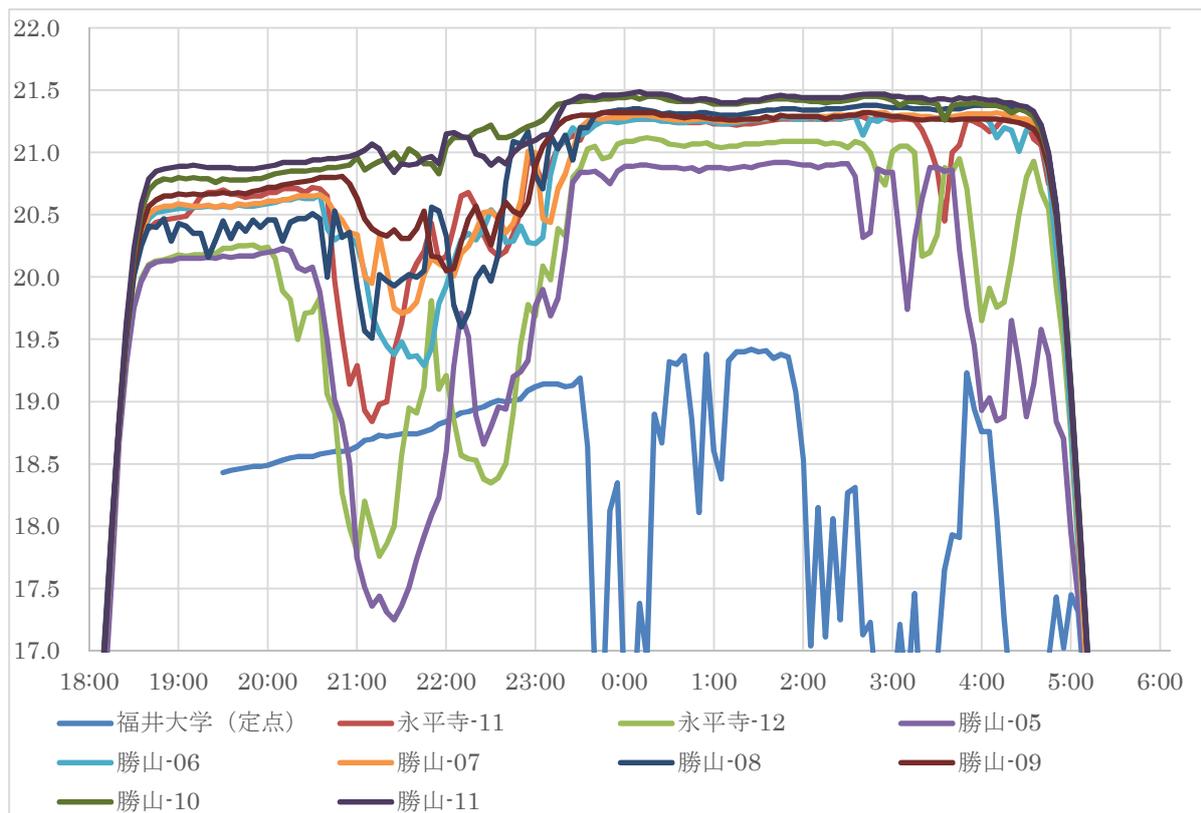


図 3. 2018 年 10 月 7 日夜～8 日朝にかけて行った測定結果。縦軸は SQM の測定値 (未補正: mag/arcsec²), 横軸は測定時刻。天文薄明の終わりは 18:56, 始まりは 4:30 であり, その間は太陽の影響ない時間帯である。雲の影響が特に 20:30~23:00 にかけて広範囲で認められ, 測定値が乱れている。0:00~3:00 の時間帯は雲の影響もなく, 多くの地点で良い測定値が得られた。

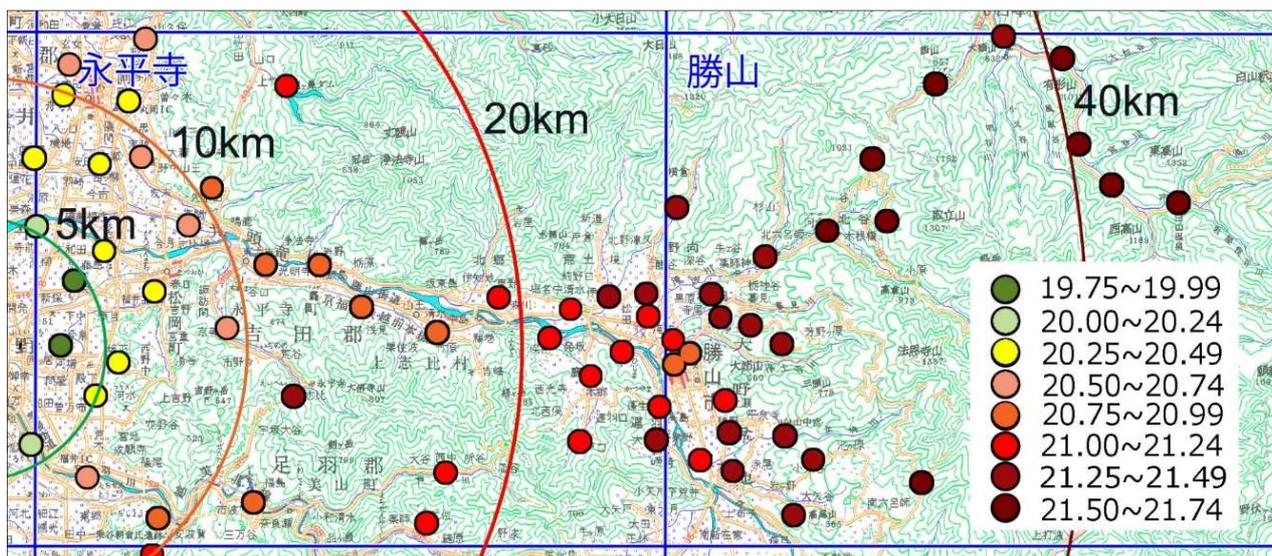


図 4. 各測定点における明るさ (代表値) の分布および福井市中心部からの距離。

がみられたが、その範囲は市街地周辺に限られていた。福井市街地からさらに離れた勝山市東部から白山市にかけては、例えば代表値が $21.65 \text{ mag/arcsec}^2$ となった東山いこいの森（越前勝山 - 27）のように $21.50 \text{ mag/arcsec}^2$ を超える地点がいくつも見られた。この $21.50 \text{ mag/arcsec}^2$ を超える夜空の暗さは、測定手法等が異なるため直接比べることは難しいが、全国星空継続観察結果と比較しても全国トップクラス夜空の暗さといえることができる。

4-2. 福井市街地の明るさの影響について

本地域では図 4 に示されるように福井市中心部から離れるにしたがって夜空が暗くなる傾向が明瞭であり、福井市街地の光害の影響が夜空を明るくしている主な要因であると推測される。そこで福井市中心部（福井城址）から勝山市、さらには白山市にかけての代表値の変化を図 5 に示す。この図に示されるように、勝山市街地などの局所的な光の影響を除けば、福井市中心部からの距離と夜空の明るさの関係は明瞭である。そこで福井市街地の光は中心部の 1 点から発せられ、上空 3.5 km で散乱し、夜空を明るくしている等の仮定をした場合の夜空の明るさ変化曲線を図中に示した。この曲線と代表値の変化はよく一致しており、勝山市周辺においても、福井市街地の光害の影響が及んでいると考えられる。

以上のように、勝山市周辺地域では福井市街地の光害の影響はあるが、人工的な光が多い場所を除き、天の川がはっきり見える $21.0 \text{ mag/arcsec}^2$ を超える暗い夜空が広がっていると考えられる。特に勝山市東部においては $21.5 \text{ mag/arcsec}^2$ を超える夜空、すなわち全国でも有数の暗い夜空が広がっており、まさに満天の星空が広がっている地域であると言える。

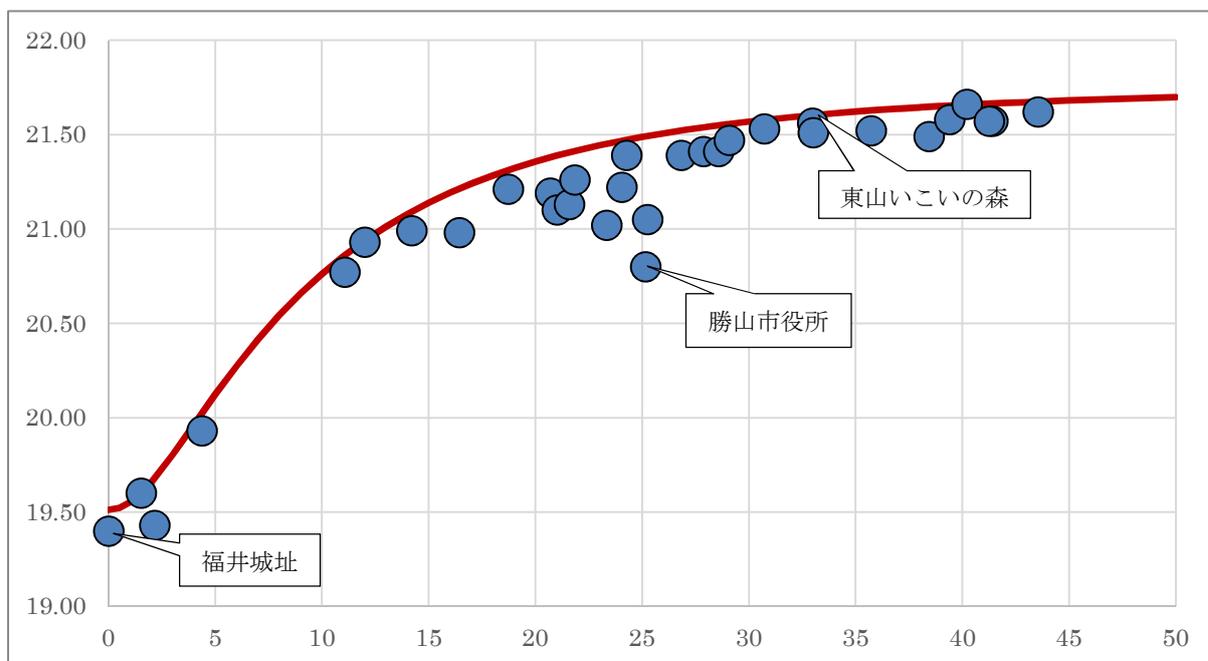


図 5. 福井市中心部からの距離（横軸：km）と夜空の明るさ（縦軸： mag/arcsec^2 ）。赤曲線は福井市街地の光が中心部の 1 点から発せられ、上空 3.5 km で散乱し、夜空を明るくしている等の仮定をした場合の夜空の明るさ変化曲線。

引用文献

- 環境庁, 1998, 光害対策ガイドライン～良好な照明環境のために～. 54p.
https://www.env.go.jp/air/life/hikari_g/full.pdf
- 環境省, 2013, スターウォッチング・ネットワーク 平成 24 年度冬季 全国星空継続観察の実施結果報告書. 26p.
http://www.env.go.jp/kids/star/attach/rep_h24-winter.pdf
- 加藤英行, 2015, 夜空の明るさの測定. 福井市自然史博物館研究報告, no.62, p13-16.
- 榊井俊彦, 2006, デジタル一眼レフカメラを使った簡単な光害調査方法. p153-158.
<https://tenkyo.net/kaiho/pdf/20th-meeting/20th-325masui.pdf>
- 榊井俊彦, 2010, デジタル一眼レフカメラによる光害調査. 大阪と科学教育, no.21, p11-18.
- 越智信彰, 2010a, スカイクオリティメーターによる夜空の明るさの長距離測定.
http://hikarigai.net/oldsite/rep/20100601SQML_biseiyonago.pdf
- 越智信彰, 2010b, 米子市周辺の夜空の明るさ調査—光害への意識向上のために— (その 1) .
http://www.hikarigai.net/oldsite/rep/20100826SQML_yonago.pdf
- 小野間史樹・伊藤絢子・原田泰典・福島英雄・西 洋樹, 2009, デジタル一眼レフカメラを用いた夜空の明るさ調査手法の提案. 国立天文台報, vol.12, p93-102.
- 山本博文・小林暉・藤井純子, 2017, SQM で福井の夜空の明るさを測る. 福井大学地域環境研究教育センター研究紀要, no.24, p15-26.