

福井市における星の見え方と街灯、夜空の明るさ・色・スペクトルの調査

加藤 英行*・金剛 晴彦*

Research of visibility of stars and street lamp, night sky brightness, color, spectrum in Fukui City, Fukui Prefecture

Hideyuki KATO* and Haruhiko KONGOU*

（要旨） 2019年7月と2020年4月，8月において，市民参加型の星の見え方調査を実施した．調査の協力者から寄せられた報告から，福井市を中心とした星の見え方の分布を示し，福井市の中心市街地から遠ざかるほど星が見えやすくなる傾向を確認した．また，星の見え方に関する基礎知見として，簡易分光器を用いた街灯調査を行い報告地点における街灯の種類と数，デジタルカメラを用いた夜空の明るさと色の調査から夜空が明るくなるほど青くなる傾向と福井市近隣でもV等級で21[mag/arcsec²]よりも暗く星空を観察しやすい環境があること，分光器を用いた夜空のスペクトル調査から測定地点において水銀の輝線を同定できたことを示した．

キーワード：夜空の明るさ，夜空の色，星の見え方，市民調査，夜空のスペクトル

1. はじめに

福井市自然史博物館（以下，当館）では，1952年の開館当初から当館（3階建）屋上に整備した天文台で市民向けの天体観望会を継続して開催している．しかし，足羽山の上にある立地やエレベーター設備がないことにより，天体観望会への参加を困難にしている状況がある．この状況を解決する1つの方法として，移動可能な小望遠鏡を使用して各地域で開催する天体観望会（以下，移動天体観望会）を2019年から福井市内の公民館向けに希望館を募り実施している．この移動天体観望会の依頼は2019年に5件，2020年に8件寄せられ，市民の天体観望会，星空への関心の高さを伺うことができる．

そこで，本稿では移動天体観望会の依頼件数が増え，星空への関心が高まる福井市を中心に，福井市の夜空の現状を知るための基礎知見として，加藤（2017）の調査方法を参考に実施することにより星空への興味関心の喚起に繋がる眼視による市民参加型星の見え方調査と簡易分光器を用いた街灯調査，デジタルカメラを用いた夜空の明るさと色の調査，分光器を使用した夜空のスペクトル調査の結果を報告する．

2. 調査方法

2-1 市民参加型星の見え方調査

本調査は調査への参加のしやすさの点から特別な道

表1. 市民参加型星の見え方調査の調査期間

調査期間1	
年 月 日	2019年7月24日から8月2日まで（10日間）
時 刻	20時30分から21時30分まで
観察領域	はくちょう座付近
調査期間2	
年 月 日	2020年4月14日から4月27日まで（14日間）
時 刻	20時00分から21時30分まで
観察領域	しし座付近
調査期間3	
年 月 日	2020年8月10日から8月23日まで（14日間）
時 刻	20時00分から21時30分まで
観察領域	はくちょう座付近

具を必要としない，星図と実際の星の見え方を比較し，見えている星の等級を推定する方法（金剛・加藤，2018）を採用した．さらに，調査協力者には調査に参加した感想，星空を見上げる頻度等についてアンケートを実施した．調査期間は月明りの影響を避けるため，観察しやすい20時頃に月が昇っていないこと，薄明がおおよそ終了していることを考慮して3期間を計画し，各期間に観察しやすくなる夜空の領域を設定した．各期間と時刻，観察領域を表1に示す．

星空と比較するための星図は，アストロアーツ社の天体シミュレートソフトウェア（ステラナビゲータ10）を使用して作成した．観察する星空の位置を探すための星図（図1，2，3）と見えている星の等級を調べるための星図（図4，5）を作成し，調査協力者に配

*〒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

布した。観察場所は指定せず、参加者の任意とした。協力者からは、実際の星空と星図を比較して一番近い星図の番号（見えている星の等級）と観察場所を記入した調査シートの提出を依頼した。また、紙媒体による調査シートを用いた報告の他にGoogle社のフォーム作成ツール（グーグルフォーム）を使用し、インターネットによる報告も可能とした。特に調査期間2、3は、新型コロナウイルス感染症（COVID-19）感染拡大の状況を考慮し、インターネットによる報告を中心に協力を呼びかけた。

●調査実施の際に伝えた注意事項

- ・中学生以下の参加者が外に出て観察をするときには、家の人と一緒に観察をしてください。
- ・街灯などの明かりが直接目に入らないようにしてください。
- ・建物の中やベランダなどから空を見るときは、部屋の明かりを消してください。
- ・暗い場所で5分ほど、目を慣らしてから観察をしてください。
- ・安全に気をつけて観察してください。

●調査協力者の募集方法

- ・当館イベント告知スペース
- ・当館Webページ
- ・当館Twitter 2回 2020年4月15日、8月8日
- ・新聞への寄稿 1回
日刊県民福井(中日新聞社発行)2020年7月19日4面
「夏の星空観察しよう -星の見え方調査参加募る-」
- ・調査の説明会 2回 2020年8月2日、9日

●アンケート内容

項目1 いつもは星を見るために、どれぐらい夜空を見上げますか？

- 選択肢 ①毎日 ②週2～3回 ③月1回
④年2～3回 ⑤見上げない

項目2 天の川を見たことがありますか？

- 選択肢 ①ある（場所： ） ②ない

項目3 観察をした感想や星空について不思議に思うことなどをご記入ください。

項目3の自由記述は、計量テキスト分析ソフトKH Coder（樋口，2004）を用いて出現頻度の高い形容詞と出現回数が3回以上の語を抽出した。HK Codeerでは、活用のある語は基本形に直して抽出される。

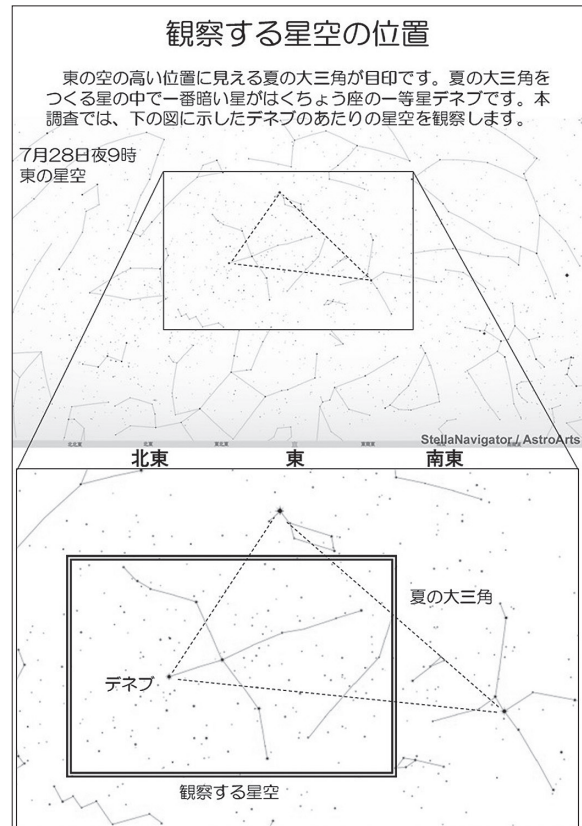


図1. 観察する星空の位置を探すための星図（調査期間1）

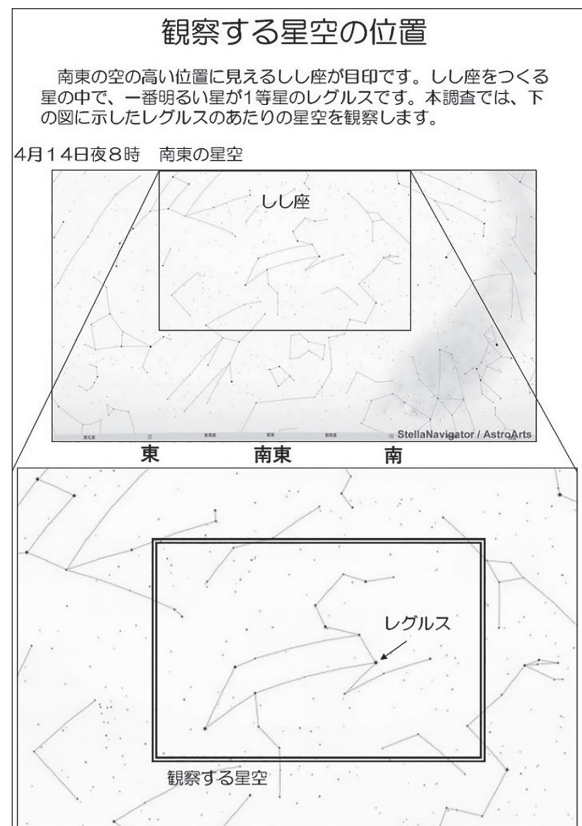


図2. 観察する星空の位置を探すための星図（調査期間2）

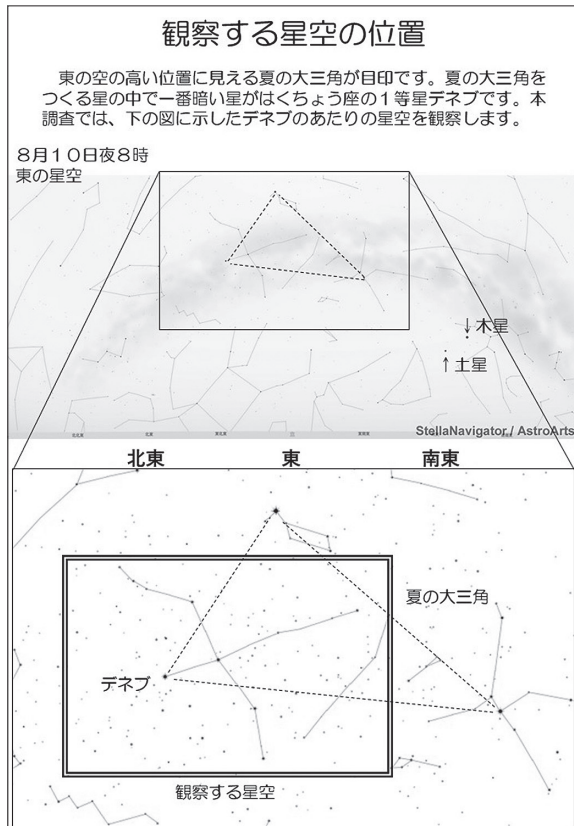


図3. 観察する星空の位置を探すための星図（調査期間3）

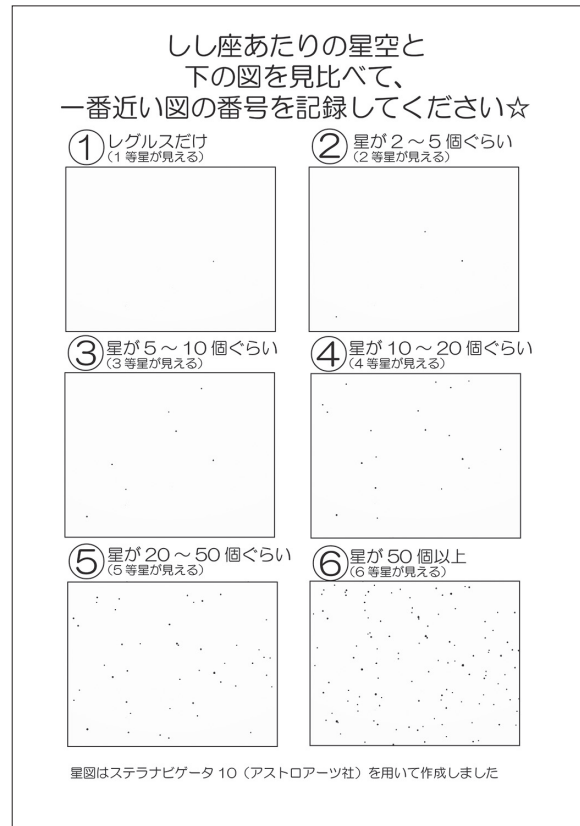


図5. 見えている星の等級を調べるための星図（調査期間2）

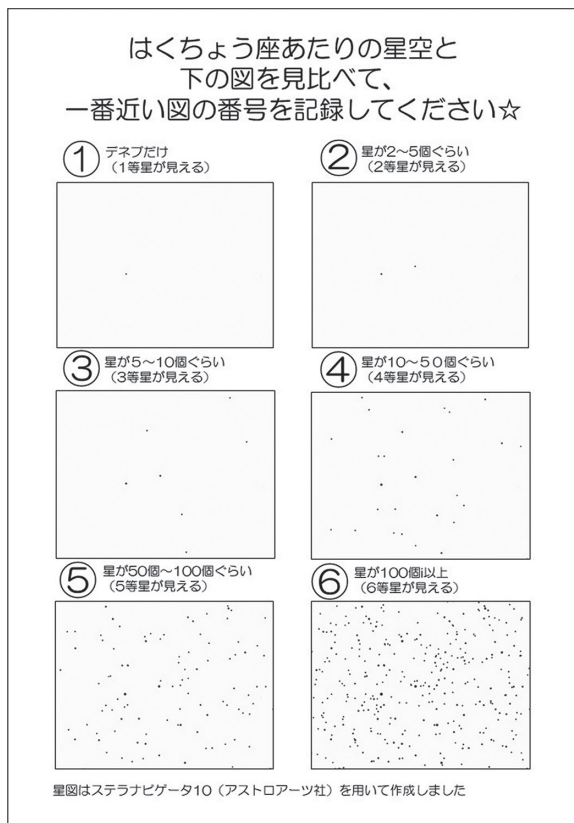


図4. 見えている星の等級を調べるための星図（調査期間1,3）

2-2 市民参加型の簡易分光器を用いた街灯調査

JAXA宇宙教育センターが提供する宇宙教育教材「簡易分光器」（JAXA宇宙教育センター，2016）の工作教室と星の見え方調査説明会の参加者へ分光の仕組みや街灯の種類、光害について解説した後、調査シート（図6）を配布し、簡易分光器を用いて任意の場所から見える街灯の種類（水銀灯系、LED、白熱灯、その他）と数の報告を依頼した。

●調査協力者の募集方法

- ・簡易分光器の工作教室1回 2019年5月18日
- ・調査の説明会 2回 2020年8月2日、9日

2-3 デジタルカメラを用いた夜空の明るさと色の測定

(1) 夜空の画像データの取得

夜空の画像データの取得は、月明りの影響が少なく、眼視で天頂付近に雲がないことが確認できた任意の日時において実施した。測定地点は福井市全体を覆うように、10km×10km四方の網目状に区切ったアクセスが可能な8カ所を任意に設定した。図7に測定地点の位置を示す。使用したカメラボディとレンズおよびカメラの設定を表2に示す。カメラの設定は2018年に環境省が実施した「平成30年度 夏の星空観察 デジタルカメラによる夜空の明るさ調査」（環境省，2018）で採用された設定に準じた。

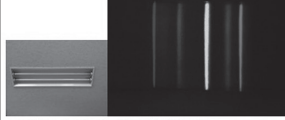
どんな照明が使われている？ 街灯の種類を確かめよう！

簡易分光器で街灯のスペクトルと各照明のスペクトル写真を比べて、その数を口に記録してください。

観察場所(町域名までご記入ください)：

水銀灯系

例：蛍光灯



明るく輝く光（輝線）があります。
※ 色々な種類があり、輝線の色や数が異なる照明もあります。

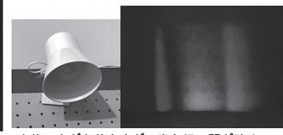
その他



水銀灯系、LED、白熱灯以外のスペクトルのときは、こちらにスケッチをお願いします。

LED

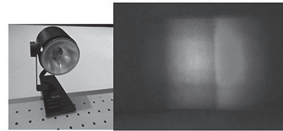
例：LEDスポット照明



全体に光がありますが、青と緑の間が暗くなっています。
※ 色々な種類があり、青と赤の間の暗さが目立つLEDもあります。

白熱灯

例：ハロゲンランプ



全ての色が連続して変わっています。

図6. 簡易分光器を用いた街灯調査シート

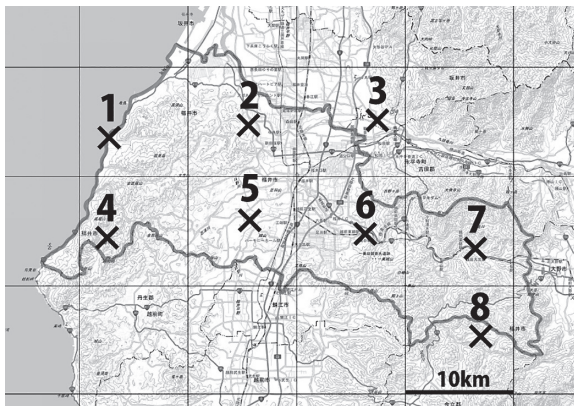


図7. デジタルカメラを用いて夜空の明るさと色を測定した地点。測定地点は×、×の上付近の番号は測定地点番号である。福井市を太線で囲っている。

表2. 使用したカメラボディとレンズおよびカメラの設定

カメラボディ	Canon EOS 6D
カメラレンズ	CanonEF 50mm F1.8 II または CanonEF 24-70mm F4L IS USM
カメラ設定	
ISO感度	800
出力形式	RAW
露出時間	30秒
長時間ノイズ低減	ON
高感度ノイズ低減	OFF
絞り値	5.6

(2) 画像解析

デジタルカメラを用いて取得したRAW形式の画像は画像変換ソフトのraw2fits（星空公団, 2020）を使用し、R・G・Bそれぞれの画像へ分解及びFITS形式に変換した。得られたFITS形式の画像から星表Tycho-2 Catalog（Hog, *et al.*, 2000）に記載のある恒星を任意に3つ同定し、同定した恒星のカウント値 C_{star} とその周辺の夜空（天体が写っていない領域）の1平方秒角あたりのカウント値 I_{bk} をすばる画像解析ソフトのマカリイ（Horaguchi, *et al.*, 2006）の開口測光機能を用いて測光した。

測光から得られたカウント値 M_{bk} を用いて、次式から夜空の1平方秒角あたりの等級を算出した（小野間, 2017）。

$$M_{bk} = -2.5 \cdot \log_{10} \left(\frac{C_{star}}{I_{bk}} \right) + M_{std}$$

ここで、 M_{std} は星表から得られた等級である。画像から同定する恒星は、本稿では可視領域での夜空の明るさの算出を目的としているため、極端に青い、または赤い恒星を避け、B～K型の恒星を選択した。

夜空の明るさのV等級について、デジタルカメラのG画像は、Johnson-Cousins標準測光系（Bessell, 2005）のVバンドと分光特性が半値幅の範囲ではほぼ同様の特性を持つ（小野間ほか, 2009）ことから、デジタルカメラのG画像と星表のV等級を用いて算出し、地球大気吸収による減光量の補正（鈴木ほか, 2013）を行った。

夜空の明るさのB等級については、デジタルカメラのB画像は、標準測光系のBバンドの分光特性よりも長波長側にずれていることが示されているため、次の機器等級からJohnson-Cousins標準測光系への変換式を用いて算出した（伊藤ほか, 2018）。

$$B = b + k_{bg} \cdot (b - g) + \kappa_B \cdot \sec z + C_B$$

ここで、 k_{bg} はカメラの観測波長と星表の観測波長の相違を補正するための係数（カラー補正係数）、 κ_B は地球大気による光の減光を補正する係数（大気補正係数）、 z は天頂から星までの角度、 C_B は等級の等級のゼロ点、 b は機器等級で、B、G画像の測光から得られた単位時間あたりのカウント値を n_B 、 n_G としたとき、次式で表される。

$$b = -2.5 \cdot \log_{10} n_B$$

$$g = -2.5 \cdot \log_{10} n_G$$

これらの係数は、取得した画像から b 、 g および z 、星表からBの値が得られるので、決定することができる。

2-4 夜空のスペクトル測定

(1) 分光データの取得

月が昇っていない時間帯に、分光装置を天頂へ向け、図7に示した測定地点番号3, 6, 7において分光データを取得した。データ取得は街灯から20m以上離れた場所で行った。使用した分光装置（図8）の構成と設定を表3に示す。

(2) 分光データの解析

分光装置を用いて取得したライトフレームをすばる画像解析ソフトのマカリイ(Horaguchi, *et al.*, 2006)を使用してダーク減算した後、得られた3フレームを加算平均処理し、Field Tested Systems社の分光解析ソフト（五藤テレスコープ社日本語版RSpec）を用いてスペクトルを抽出、バックグラウンド減算し、波長を較正した。



図8. 使用した分光装置を三脚へ固定した様子

表3. 使用した分光装置の構成とカメラ設定

分光装置の構成	
モノクロ冷却CMOSカメラ	QHYCCD QHY178M 画素数 3072×2048 ピクセルサイズ2.4μm
コリメーター	50mm F2.8 CCTVレンズ
カメラレンズ	CanonEF 50mm F1.8 STM
分光器	昭和機械製作所 直視分光器 VEGA 分光方式 グリズム 1次光直進波長 570nm
スリット	10μm
カメラ設定	
ゲイン	40
出力形式	FITS
露光時間	300秒×3フレーム
ビニング	2×2

3. 結果

3-1 市民参加型星の見え方調査の結果

報告数合計 108件

- ・調査期間1 28件（福井市16, 永平寺町10, 鯖江市1, あわら市1）
- ・調査期間2 28件（福井市22, 永平寺町2, 坂井市2, 大野市1, 池田町1）
- ・調査期間3 52件（福井市39, 永平寺町4, 勝山市3, 大野市2, 池田町2, 敦賀市1, 越前町1）

星の見え方の報告結果を図9に示す。アンケート項目1, 2の集計結果を図10, 11に示す。アンケート項目3の自由回答欄「観察をした感想や星空について不思議に思うことなど」には、45件の回答があった。以下にその一部を抜粋する。

- ・息子が星に興味を持ちはじめ嬉しいです。
- ・妻と観察できて、幸せな時間過ごすことができました。
- ・星空を意識して見上げるのが新鮮で楽しかった。
- ・一人でじっくり星を観るのも楽しいですが、大勢でワイワイ観るのもとても楽しいなと思いました!!
- ・たとえ雨が降っていても曇っていても、毎日空を見上げるのは楽しい!
- ・明日はペルセウス座流星群の極大日! 晴れてほしいです☆
- ・星空を見ていると、星は小さいのかなって思うけど実際はとても大きいものもあって、あの星から地球はどんな風に見えるのかなって変なかんじがしました。ありがとうございました。家族みんなで楽しかったです!
- ・観察期間中はよく見えなかった星が、終了後はたくさん見ることができました。
- ・家の明りや街灯で案外星が見えにくいことが分かりました。
- ・じっくり観察してみると、街中で意外と星が見えてビックリした。

出現頻度が高い形容詞は、楽しい6回、明るい3回、嬉しい2回であった。出現回数が3回以上の語を表4に示す。

天の川を見た場所の回答

福井県内

福井市内 美山, 越廼海岸, 一乗谷, 真木町, 経田, 江守中

福井市外 大野市（奥越高原青年自然の家, 六呂師高原, 和泉スキー場, 黒谷）, 池田町（水海, 部子山山頂, 能楽の里牧場）, 勝山市（奥越高原牧場, 北谷町小原）, 永平寺町（松岡春日, 松岡総合運動公園）, 越前市（宮

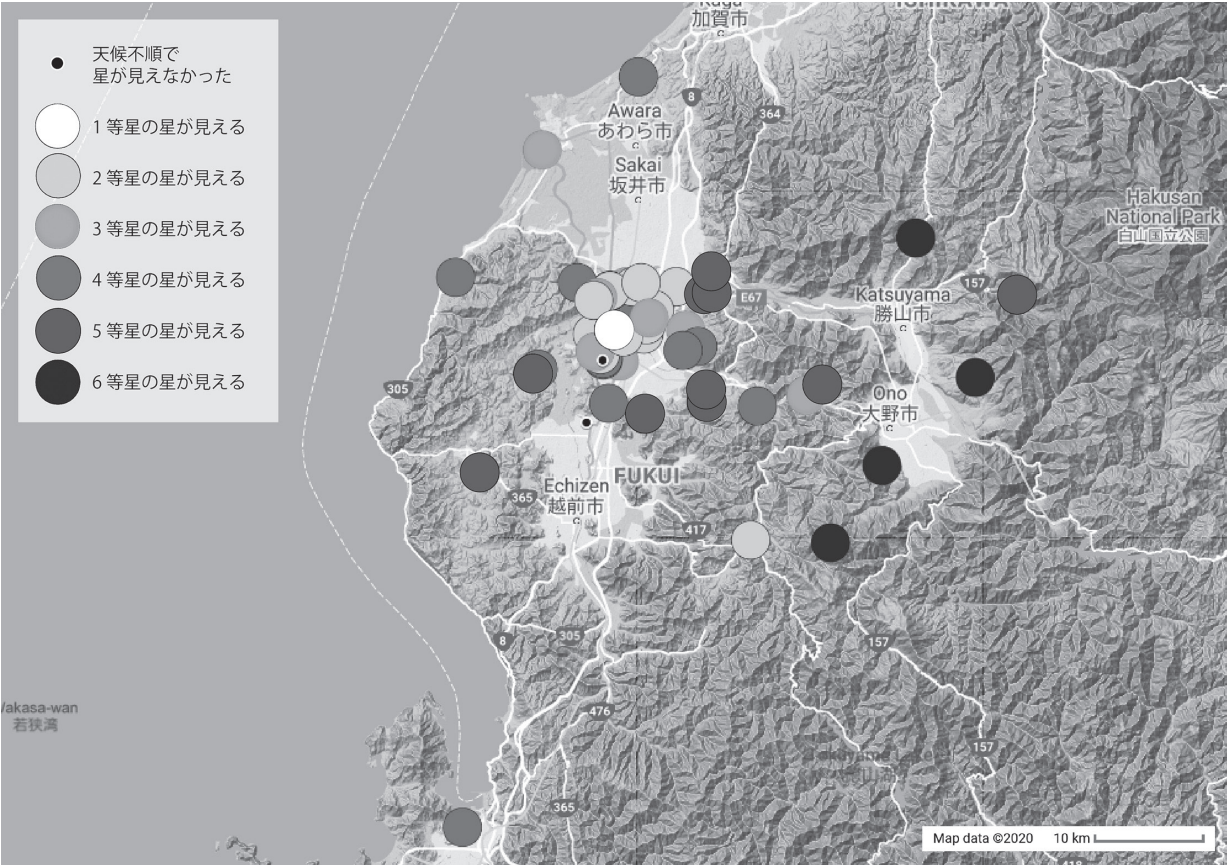


図9. 星の見え方の報告結果

谷町), 越前町 (越前岬水仙ランド), 鯖江市 (JR鯖江駅の東)

福井県外 長野県阿智村, 瀬波温泉, 太平洋上, 白山室堂, 四国カルスト

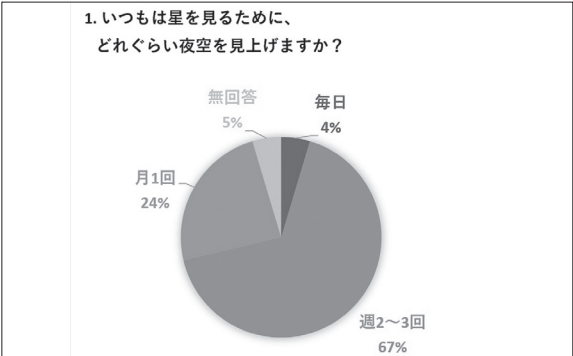


図10. アンケート項目1【星空を観察する頻度】

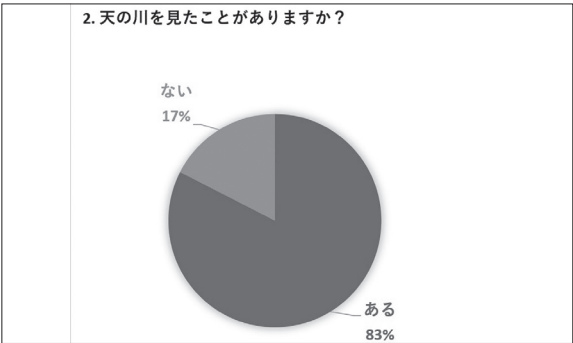


図11. アンケート項目2【天の川の観察経験の有無】

表4. 出現回数が3回以上の語

抽出語	出現回数	抽出語	出現回数
星	20	雲	3
見える	14	街灯	3
観察	12	感動	3
見る	9	金星	3
天の川	7	見上げる	3
楽しい	6	今回	3
座	6	思う	3
流星	5	少し	3
晴れる	4	星空	3
ペルセウス	3	明るい	3

3-2 市民参加型の簡易分光器を用いた街灯調査結果

報告数 10件 (福井市8, 永平寺町1, 池田町1)

表5に報告のあった各街灯数を示す。また、図12に報告のあった地点上に表5の結果を円グラフで示す。報告地点8のみ、水銀灯系の照明数がLED照明の数を上回っていることがわかる。

表5. 街灯調査の報告結果

街灯報告 地点番号	水銀灯系	LED	白熱灯	その他	街灯数 合計 (地点毎)
1	0	0	0	1	1
2	0	0	1	0	1
3	0	2	0	0	2
4	2	5	0	0	7
5	0	0	0	0	0
6	1	1	0	0	2
7	1	2	0	0	3
8	8	4	0	0	12
9	1	2	0	0	3
10	0	0	0	0	0
街灯数 合計 (種類毎)	13	16	1	1	計31

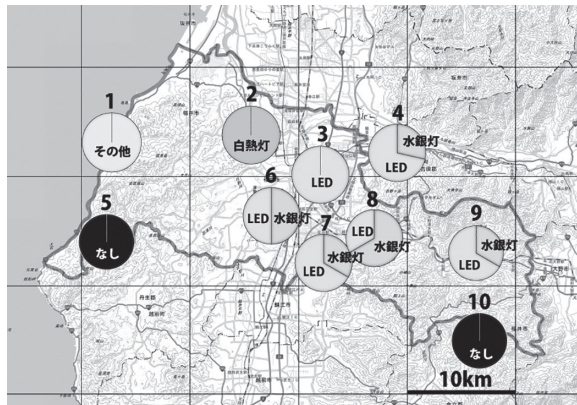


図12. 街灯の種類分布. 地図中の太線で囲った範囲は福井市である. 街灯調査の報告があった地点上に表5の結果を円グラフで示し, 各円グラフの上付近に報告地点番号を示している.

3-3 デジタルカメラを用いた夜空の明るさと色の測定の結果

取得した夜空の画像を拡大した例を図13に示した. 各測定地点の結果と比較の参考に福井市から近く環境省が2005年に実施した全国星空継続観察において最も夜空が暗いとされた福井県大野市六呂師高原(大野市役所, 2018)でも測定した結果を表6に示した. 表6において, 福井市を中心に設定した測定地点1~8の夜空の明るさはB等級で20.85~22.85[mag/arcsec²]の幅があり, 最大で2.00[mag/arcsec²]. V等級では20.28~21.65[mag/arcsec²]の幅があり, 最大で1.37[mag/arcsec²]の差があることがわかる. また, 測定地点1~8と福井県大野市六呂師高原の夜空の明るさを比較すると, 測定地点1~8の方が, B等級で1.74~ -0.26[mag/arcsec²], V等級で1.49~0.12[mag/arcsec²]明るいことがわかる. B等級とV等級の夜空の明るさの測定結果を, それぞれ図14, 15に示した. 図14, 15から福井市の山沿いにあたる南東と海沿いにあたる北西側が暗い傾向にあることがわかる.

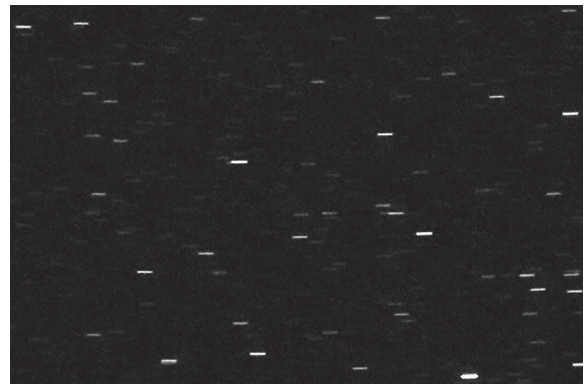


図13. 取得した夜空の画像を拡大した例 (図7に示した測定地点7で取得した画像). 上が北, 左が東. 30秒の露光をしているため, 日周運動により星像が線として写る.

表6. デジカメを用いた夜空の明るさの測定結果

デジカメ 測定 地点番号	測定日 (2020年 に測定)	時刻	夜空の明るさ V[mag/arcsec ²]		
			B等級	V等級	B-V
1	4月16日	21:02	21.94	21.24	0.70
2	4月16日	20:10	21.15	20.87	0.28
3	10月15日	23:17	21.12	20.73	0.39
4	10月27日	00:57	20.85	20.65	0.20
5	10月27日	01:56	21.50	20.83	0.67
6	4月16日	21:21	21.09	20.28	0.81
7	10月20日	23:25	21.96	21.25	0.71
8	4月25日	02:28	22.85	21.67	1.18
福井県 大野市 六呂師高原 (円山公園)	3月25日	00:54	22.59	21.77	0.82

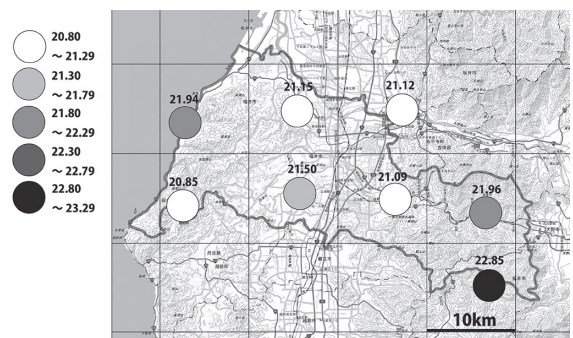


図14. 夜空の明るさの分布 (B等級)

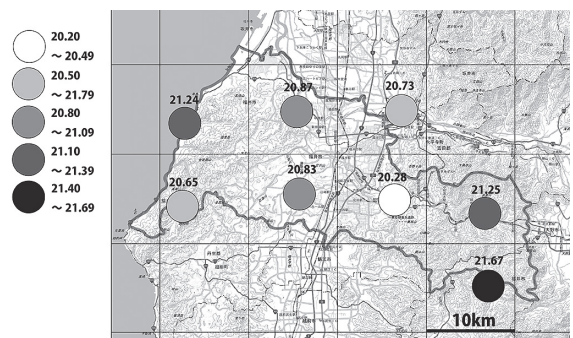


図15. 夜空の明るさの分布 (V等級)

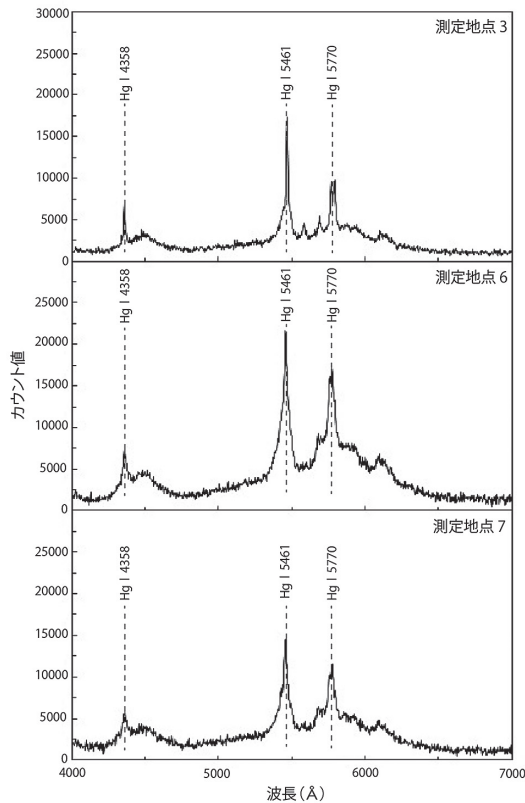


図16. 測定地点3, 6, 7の夜空のスペクトル

3-4 分光器を使用した夜空のスペクトル測定の結果

得られたスペクトルを図16に示す。すべての測定地点で水銀の輝線を確認することができる。

4 考察

4-1 市民参加型星の見え方調査

(1) 星の見え方の傾向

図9から福井平野から離れるほど星が見やすくなることがわかる。ここで、福井市の中心市街地に位置するJR福井駅から報告地点までの距離と星の見え方の関係を図17に示す。図17から駅から離れるほど星が見えやすくなる傾向がわかる。さらに、等級ごと算出したJR福井駅から報告地点までの距離の中央値を表6に示す。表6からJR福井駅から約5[km]離れると3等級、約10[km]離れると4等級、約21[km]離れると5等級、約27[km]離れると6等級の星が見られたことがわかる。この結果は、夜空が暗くなるにつれて暗い星まで見えるようになると考えると、武田・山本（2018）によって福井市の中心部から離れると夜空が暗くなるとした結果と矛盾しない。

表6. 等級ごとに算出したJR福井駅から報告地点までの距離の中央値

等級[mag]	1	2	3	4	5	6
距離[km]	1.3	3.8	4.5	9.5	20.9	26.8

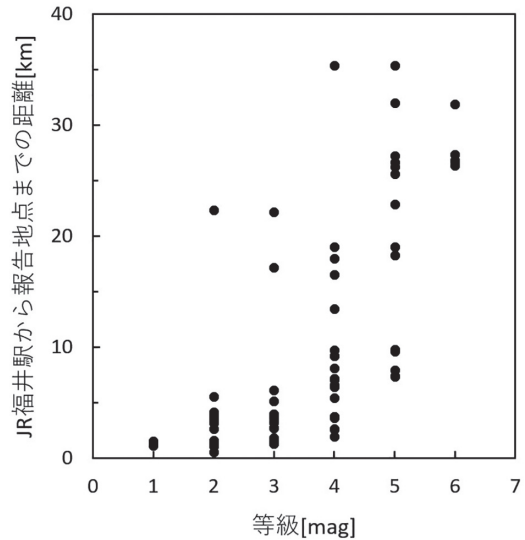


図17. JR福井駅から報告地点までの距離と星の見え方の関係

(2) アンケート調査

アンケート項目1 星空を観察する頻度

本調査のアンケート結果と過去に実施された同様の調査結果を比較する。加藤（2017）では「毎日0%、週2～3回45%、月1回27%、年2～3回18%」、金剛・加藤(2018)では「毎日0%、週2～3回62%、月1回38%、年2～3回0%」であり、本調査の結果「毎日4%、週2-3回67%、月1回24%、年2～3回0%」と比べると本調査の協力者の方が星空を観察する頻度の割合が多かったことが伺える。

本調査のように星図を比較して見えている星の等級を推定する方法を採用した場合、協力者の星空を観察する頻度、経験の差によって、報告される星の等級に違いが生じることが考えられる。したがって、このような調査を計画する際には、星空の観察経験の違いに注意すべきだろう。

アンケート項目2 天の川の観察経験の有無

本調査のアンケート結果では、天の川の観察経験の有無について「ある83%、ない17%」であった。セガトイズ（2017）によると、天の川を見たことがある小学生は1割未満であるとしていることから、本調査の協力者に占める天の川の観察経験の割合が高いことが伺える。即ち、本調査は天の川、星空の観察経験が豊富な方の協力で成り立っているといえるだろう。

天の川の観察経験の有無を知ることは、学校や博物館、科学館等で天の川の解説をする際の前情報として有用である。そこで、今後はアンケートを依頼する際に、回答者の年齢とどのような機会に天の川を観察したかを調査することで、天の川の観察機会を提供することにも繋げていけるだろう。

アンケート項目3 自由記述 観察をした感想など

出現頻度の高い形容詞の上位に、「楽しい」、「嬉しい」

があることから、調査を楽しみながら実施していただけたことが伺える。また、出現頻度の高い形容詞に「明るい」があることについては、アンケートを確認すると「木星、土星など明るい星ははっきり見られました」、「夏の大三角のデネブより明るい他の2つの星は、何等星になりますか?」、「家の近場でも街の明るさの度合いによって星の見え方が異なって感動した」との記述であり、星の見え方への興味が深まったことが伺える。

出現回数3回以上の語には、「天の川」、「流星」、「ペルセウス」、「金星」といった語があり、調査に参加することで天文分野への興味関心に繋がったことが伺える。

4-2 簡易分光器を用いた街灯調査について

本調査で得られた街灯の割合は、水銀灯系 42%、LED 52%、白熱灯3%、その他3%であった。この中で、街灯数が最も多く、かつ水銀灯系の照明数の割合が最も高かった地点は、街灯報告地点8であった。街灯報告地点8付近は、本稿3-3デジタルカメラを用いた夜空の明るさと色の測定の結果において、最も夜空が明るい場所であることから、街灯数が多いことと水銀灯系照明の割合が高いことが夜空を明るくする要因となっているのではないかと考えられる。

また、エネルギー基本計画（経済産業省、2018）では、「高効率照明（例：LED照明、有機EL照明）については、2020年までにフロー（新たに出荷される照明器具）で100%、2030年までにストック（設置されている照明器具）で100%の普及を目指す。」としているため、今後調査を実施した福井市を中心とする地域でもLED照明の占める割合が増えていくことが予想される。さらに、福井市の中心市街地では北陸新幹線の開業が2022年に予定される（福井県北陸新幹線建設促進同盟会、2015）ことで、駅周辺の照明環境が大きく変化することが予想される。今後、野外の照明環境、星の見え方、夜空の暗さの変化の調査を継続することで、光害による影響を知る手がかりとなるだろう。

4-3 夜空の色と明るさ

本調査の測定地点の中で最も夜空が暗い場所は、測定地点8であった。測定地点8は全国的にみても夜空が暗いとされる六呂師高原の夜空の明るさと比べても、V等級で0.1等級明るく、B等級で0.26等級暗い結果となり、夜空が暗く星が見やすい環境であることがわかる。本稿3-1眼視による星の見え方の結果においても、測定地点8から最も近くの報告で5等級とあり、星が多く見えたことがわかる。図12に示した街灯調査の結果によると、測定地点8付近に照明は設置されていないことから、夜空が暗く星が見やすい理由の1つに、近

くに照明が設置されていないことがあると考えている。

また、環境省が実施するデジタルカメラによる夜空の明るさ調査結果（環境省、2018）で紹介される「夜空の明るさ」の目安の中で「天の川の複雑な構造が確認でき、星団などの観測ができる」とされ、もっとも暗い領域である21[mag/arcsec²]以上の暗さの場所は、本調査では測定地点1、7、8が該当した。したがって、福井市近隣であっても、場所と時間を考慮すれば、全国的にみて星空観察に適した場所があることがわかる。

夜空の色と明るさの関係を伊藤ほか（2018）、加藤・金剛（2018）の結果と共に図18に示す。図18から夜空が明るくなるほど夜空の色が青くなるとした鈴木ほか（2018）、加藤・金剛（2018）と同様の傾向がみられる。要因として、夜空が明るい場所ではBバンド波長（有効波長436nm）の光を強く出す照明の影響が考えられる。広く普及している照明の例として、3波長領域発光形蛍光灯ランプと白色LED照明が挙げられる。これらの照明のピークはBバンド波長域に含まれ、夜空を青くする要因となるだろう。

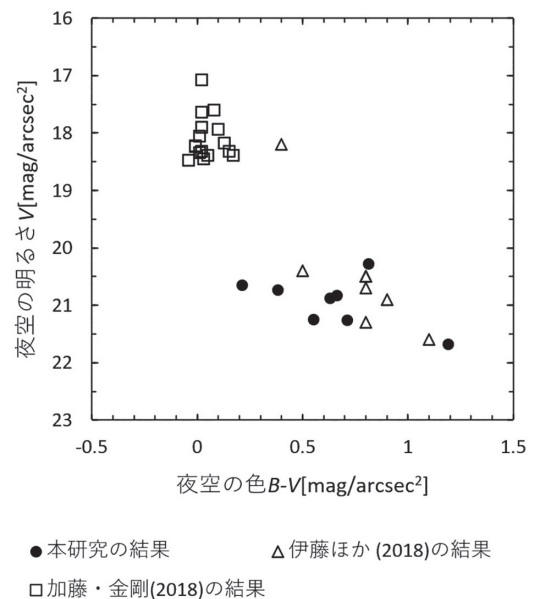


図18. 夜空の色と明るさの関係

4-4 夜空のスペクトル

夜空のスペクトル図16から水銀の輝線を確認できることから、測定地点において水銀灯、蛍光灯などの水銀を使用した照明により、夜空が明るくなっていると考えられる。一方で、LED照明推進協議会（2011）が示す白色LED照明の特徴である約470nmと575nmのピークは今回の夜空のスペクトル測定では明らかになかった。

この要因はスペクトル測定を実施した場所周辺にLED照明がなかったのではなく、LED照明の特性である光の直進性の強さによって、夜空へ漏れ出る光量が少なかったのではないかと考えている。

LED照明の特性について、佐野(2016)では「LEDランプの配光は直進性が強く、ハロゲンスポットライトに比べて光の広がり方が狭くなる傾向があり、天井や壁で反射する光が少なくなり空間を暗く感じることがある。」としている。したがって、LED照明は、その特性である直進性の強さによって光の広がり方が狭くなり、周辺の建物等で反射する光が少なく、夜空を照らす割合が少ないのかもしれない。

また、夜空のスペクトルを測定した図7の測定地点3, 6, 7から最も近い街灯調査の結果(図12, 表5)を参照すると、測定地点3は街灯報告2基(水銀灯系2基, LED5基)、測定地点6は街灯報告8基(水銀灯系8基, LED4基)、測定地点7は街灯報告9基(水銀灯系1基, LED2基)であり、スペクトルを測定した地点の周囲にもLED照明が設置されている状況がわかる。

謝 辞

本調査実施にあたり、しし座を探すための解説動画をご提供いただいた国立天文台の塩谷保久氏、本報告をまとめるにあたり、本稿をお読みいただき有益なご助言をいただいた平塚市博物館の塚田健氏、観測データの解析に使わせていただいたすばる画像解析ソフトマカリの開発者の皆様、画像変換処理ソフトraw2fits開発者である星空公団の小野間史樹氏、分光解析ソフトRSPECの開発者の皆様、本稿掲載に関してお世話になった福井市自然史博物館の出口翔大氏、そして、星の見え方と街灯の調査にご協力いただいた皆様に、ここに厚く感謝を申し上げます。本研究はJSPS奨励研究JP19H00043の助成を受けたものです。

引用文献

- Bessell, M. S. (2005), Standard Photometry System, Annual Review of Astronomy and Astrophysics, **43**, 293-336.
- 福井県北陸新幹線建設推進同盟会, 2020, 北陸新幹線パンフレット. https://www.pref.fukui.lg.jp/doc/shinkansen/panfu0203_d/fil/pan_fu0203.pdf, P6. (参照日2020/11/30).
- 樋口耕一, 2004, テキスト型データの計量的分析—2つのアプローチの峻別と統合—, 理論と方法, 数理社会学会, **19** (1), 101-115.
- Hog E., Fabricius C., Makarov V., Urban S., Corbin T., Wycoff G., Bastian U., Schwendicke P., Wicenc A., 2000, The Tycho-2 Catalogue of the 2.5 million brightest stars, Astronomy and Astrophysics, **355**, 27-30.
- Horaguchi, T., Furusho, R., Agata, H., & Paofits Wg, 2006, FITS Image Analysis Software for Education: Makali'i. ASP Conference Series, **351**, 544-547.
- 星空公団, 2020, 開発製品(ソフトウェア). Raw2fits. <http://www.kodan.jp/?p=products>. (参照日2020/11/30).
- 伊藤信成・越村真帆・萩原拓也・加藤明音, 2018, 熊野市の夜空の明るさ計測-夜空の明るさと色の関係-, 三重大学教育学部研究紀要, **69**, 33-37.
- JAXA 宇宙教育センター, 2016, 宇宙教育教材 簡易分光器. <https://edu.jaxa.jp/materialDB/contents/material/pdf/79044.pdf>. (参照日2020/11/30).
- 加藤英行, 2017, 市民参加型調査「みんなで星空マップを作ろう」, 福井市自然史博物館研究報告, (64), 83-86.
- 環境省 水・大気環境局, 2018, 平成30年度 夏の星空観察 デジタルカメラによる夜空の明るさ調査の結果について. <https://www.env.go.jp/press/106269.html>. (参照日2020/11/30).
- 経済産業省 資源エネルギー庁, 2018, 第5次エネルギー基本計画. https://www.enecho.meti.go.jp/category/others/basic_plan/pdf/180703.pdf, P34. (参照日2020/11/30).
- 金剛晴彦・加藤英行, 2018, 市民参加型調査「みんなで星空マップを作ろう」2018, 福井市自然史博物館研究報告, (65), 7-10.
- LED照明推進協議会, 2011, LED照明ハンドブック 第一章 基礎編. http://www.led.or.jp/publication/handbook/pdf/ledHandbook_01_Kiso.pdf, P13. (参照日2020/11/30).
- 小野間史樹, 2017, デジカメ星空診断ハンドブック. www.env.go.jp/air/life/light_poll/star_h29_2/04_ref3-1-handbook.pdf, P36. (参照日2020/11/30).
- 小野間史樹, 伊藤絢子, 原田泰典, 福島英雄, 香西洋樹, 2009, デジタル一眼レフカメラを用いた夜空の明るさ調査方法の提案. 国立天文台報, **12** (3・4), P97.
- 大野市役所, 2018, 六呂師高原. <https://www.city.ono.fukui.jp/kanko/kanko-joho/guide/rokuroshikogen.html>. (参照日2020/11/30).
- 佐野千絵, 2016, 博物館, 美術館における照明とLED照明の導入について. Insect & fungus damage to cultural properties, (72), P8.
- 鈴木文二・秋澤宏樹・菅原賢, 2013, 地球大気吸収による減光量の補正, 彗星の科学. 恒星社厚生閣, 95-96.
- セガトイズ, 2017, 2017年7月5日 プレスリリース 天の川をみたことがある小学生は9%. https://www.segatoys.co.jp/company/press_release/pdf/20170705.pdf. (参照日2020/11/30).
- 武田樹・山本博文, 2018, 福井県勝山市周辺の夜空の明るさ測定. 勝山市ジオパーク学術研究等報告書. <https://www.city.katsuyama.fukui.jp/geopark/about/pdf/2018takeda.pdf>, P5. (参照日2020/11/30).