

# 愛媛県内における夜空の明るさ調査2021

Report on night sky brightness measured in Ehime Prefecture in 2021

鈴木 裕司

SUZUKI Yuji

愛媛県総合科学博物館研究報告 第27号 別刷

Reprinted from the  
BULLETIN OF EHIME PREFECTURAL SCIENCE MUSEUM No.27  
2022



資 料

## 愛媛県内における夜空の明るさ調査 2021

鈴木 裕司 \*

Report on night sky brightness measured in Ehime Prefecture in 2021

SUZUKI Yuji

**Abstract** : In 2021 we measured night sky brightness was measured at 11 locations in Ehime Prefecture. Comparing the data with the survey lead by the Ministry of the Environment, although our data are  $0.1 \text{ mag/arcsec}^2$  brighter than the other, we got adequate value of sky brightness. Our measurements shows that some areas have darker skies than  $21 \text{ mag/arcsec}^2$  which is appropriate skies to see stars. Relations between the sky brightness and the colors of night sky look like following the relation found so far. It was reconfirmed that V-band magnitude of Johnson-Cousins system and g-band magnitude of the digital camera used in this measurements had almost linear correlation.

**キーワード** : 夜空の明るさ, 愛媛県, 等級の変換

**Key words** : Night Sky Brightness, Ehime Prefecture, conversion of magnitude

### はじめに

天文に興味を持つに当たって、「星を見る」ということは最も基本的な活動の一つである。しかし、一般的に住宅地では街明かりがあることで、星が見えづらい環境になってしまっている。星が見やすい場所を把握しておくことは、住民が星を見たいと思った時の質問への回答を持つことにつながる。また、全国的に見ても夜空が暗い場所があれば、その土地の観光資源ととらえることも可能である。

「星が見やすい場所がどこか」を探す手段として、夜空の明るさを地図上に表した「Light Pollution Map」(Fabio et al., 2016) がある。おおまかな傾向をつかむには非常に便利であるが、夜空の明るさは変化するものであり、状況の記録という点においては測定データを蓄積していくことが望ましい。

測定データの蓄積という点では、環境省が星空公団と共同で夏と冬の年2回実施している「デジタルカメラによる夜空の明るさ調査」(以下、環境省調査)がよい機会になっている。この調査は、月の影響がない時期に調査期間が定められており、一定の条件の下、全国で夜空の明るさを測定するものである。画像データを提出することで、後日全国の結果がまとめられて発表される(環境省, 2021, 2022)。定期的なデータ取得に適している

環境省調査であるが、愛媛県内は測定地点が少ないのが現状である。そこで、愛媛県内の広い範囲での状況を把握するため、県内の複数地点でデジタルカメラを用いて夜空の明るさ測定を行った。ここでは、その測定の結果について報告する。

### 測定方法・場所

夜空の明るさ測定は、月が出ていないもしくは出ていても影響が少ない下弦の月～三日月ごろの期間に実施した。環境省調査では、調査時刻は「日没1時間半後～3時間半後の2時間」とされている。条件をそろえるためこれを意識したが、測定地点を増やすため、この時間以外にも測定を行っている。

測定は図1に示した①～⑪の11か所で、計16回の測定を行った。1つの場所で2回の測定を行った場所もあり、同一地点での測定はa, bをつけて区別する。総合科学博物館が東予地域の新居浜市に所在するため、東予地域での測定が多くなっている。

測定時のカメラの設定は表1の通りで、環境省調査と同じとした。その他、測定精度を高めるため、ダーク画像も表1の設定で撮影し、観測画像に対してフラットとダーク処理を行った(この設定でのダーク画像の挙動については補足を参照のこと)。

\* 愛媛県総合科学博物館 学芸課 自然研究グループ  
Curatorial Division, Ehime Prefectural Science Museum

## 等級の求め方

デジタルカメラの RAW 画像は、画像変換ソフト raw2fits (星空公団, 2019) を使用して、RGB の 3 色に分解し FITS 形式への変換を行った。観測画像へのフラットとダーク処理および、恒星・Sky の測光はマカリイ (Horaguchi et al., 2006) を使用し、開口測光で行った (図 2)。測光する際に、株式会社アストロアーツの天文シミュレーションソフト、ステラナビゲータ 11 を使用し、恒星の HIP 番号と高度を参照した。

測光で得られた恒星のカウント値  $n_B$ ,  $n_G$ ,  $n_R$  を次の式に従って、機器等級  $b$ ,  $g$ ,  $r$  に変換する。

$$b = -2.5 \times \log_{10}(n_B)$$

$$g = -2.5 \times \log_{10}(n_G)$$

$$r = -2.5 \times \log_{10}(n_R)$$

デジタルカメラのカラーフィルターの波長特性は、一般的に天文で用いられる Johnson-Cousins 標準測光系の  $B$ ,  $V$ ,  $R_C$  バンドとは異なっている。そのため、次の式に従って等級の変換を行う (伊藤ほか, 2018)。

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

$$V = g + k_{gr} \times (g - r) + \kappa_V \times \sec(z) + C_V$$

$$R_C = r + k'_{gr} \times (g - r) + \kappa_R \times \sec(z) + C_R$$

ここで  $k_{bg}$ ,  $k_{gr}$ ,  $k'_{gr}$  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),  $\kappa_B$ ,  $\kappa_V$ ,  $\kappa_R$  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),  $z$  は天頂から恒星までの角度,  $C_B$ ,  $C_V$ ,  $C_R$  は等級のゼロ点である。  $B$ ,  $V$  は Tycho-2 カタログ (Hog et al., 2000) を参照した。  $R_C$  は Tycho-2 カタログに含まれないため、Natali et al. (1994) にある関係を用いて  $B$ ,  $V$  から求めた。

図 3 は、観測地点① a で撮影した画像から求めた機器等級  $g$  と Tycho-2 カタログの  $V$  等級のグラフである。デジタルカメラでの機器等級  $g$  は Johnson-Cousins 標準測光系の  $V$  等級と同様の分光特性を持つ (小野間ほか, 2009) ことから、ほぼ直線状の関係になっている。しかし、 $V$  で 4 等級より明るい側では、 $g$  が頭打ちの様な関係になっている。これは、画像でピクセル値が飽和している影響と考えられる。また、 $V = 7$  付近に直線から大きく外れた位置に 1 つ恒星がプロットされている。この恒星は  $B - V = 2.05$  という非常に赤い色をしている。これらのことから、明るい恒星や極端に赤い色をした恒星では正しく測光が行えない可能性がある。そのため、測光する恒星の条件として①  $V > 4$ , ②  $B - V < 1.5$  の 2 つを設定した。この条件を満たす恒星を 50 個以上測光し、最小二乗法を用いて各パラメータを求めた。地点① a において、求めたパラメータを使用して推定した  $V$  等級と Tycho-2 カタログの値との差と、 $V$  等級の関係を示したのが図 4 である。これを見ると、ほとんどの恒星にお

いて 0.1 等級以内の誤差で  $V$  等級を求めることができていることがわかる。

恒星の測光を行う際に、Sky の測光も行われているため、全 Sky の測光値を平均して pixel 当たりの Sky の測光値を求めた。これを上記で求めたパラメータを用いて  $B$ ,  $V$ ,  $R_C$  等級へと変換した。更に、レンズの画角と pixel 数から、1 pixel 当たりの立体角を計算し、1 平方秒角当たりの等級を求めた。

## 結果と考察

### 夜空の明るさ

これらの等級と、その差をとった色指数をまとめたのが表 2 である。撮影画像の一部は環境省調査に提出しており、環境省調査で発表された夜空の明るさも表 2 に記載している。環境省調査の値と  $V$  等級を比較すると、 $V$  等級の方が約 0.1 等級系統的に明るい結果が出ているが、ほぼ同じ値となっており、妥当な測光結果が得られていると考えられる。

調査地点は街中を選んでいないものの、比較的街に近いところでは 19 等級台の結果が出ている。街から離れると夜空は暗くなり、環境省調査 (2021) によると一般的に天の川が見えやすいと考えられる 20 等級以上の地点も、調査を行った各市町村で確認できた。更に、久万高原町と伊方町については、天の川の複雑な構造が確認できるとされる 21 等級の半ばの結果が出ており、星を見るのに適した暗い空であることがわかる。

### 夜空の明るさと色

伊藤ほか (2018), 加藤・金剛 (2018, 2020) などの研究では、夜空が明るくなるほど、夜空の色が青くなる傾向があることが報告されている。これらの研究の結果に今回の結果を追加したものが図 5 である。20 等級以上の地点では同様の傾向が見える。しかし 19-20 等級の地点では、予測される関係よりは夜空の色が赤いという結果が出ている。ただし、測定地点③では撮影場所近くに高圧ナトリウムランプのオレンジ色のライトを確認しており、直接光が当たらない場所で撮影をしたものの、夜空の色を赤くした可能性が考えられる。18.5-19.5 等級の地点のデータが不足しているため、今回よりも街に近い場所でのデータを補い、どのような結果が出るかに注目したい。

### 機器等級 $g$ から $V$ 等級への変換

今回の調査では、機器等級  $b$ ,  $g$ ,  $r$  から  $B$ ,  $V$ ,  $R_C$  等級それぞれでの夜空の明るさを求めた。複数のバンドでの等級を測定することで、色情報が得られる反面、測光を行う回数が増えてしまう面がある。夜空の明るさと

いった時には、通常  $V$  等級が用いられるが、その場合でも  $B$ ,  $V$  バンドの 2 色の測光が必要になる。デジタルカメラでの機器等級  $g$  は Johnson-Cousins 標準測光系の  $V$  等級と同様の分光特性を持つ (小野間ほか, 2009) ことから、機器等級  $g$  のみから  $V$  等級を求めることができれば、夜空の明るさのみを調べる時には効率的である。図 6 に示した各調査地点における機器等級  $g$  と  $V$  等級の関係を見ると、測定地点ごとのデータはほぼ直線状になっている。そこで、

$$V = k \times g + C$$

の式で変換を行えると仮定し、最小二乗法により各調査地点での  $k$  と  $C$  の値を求めた。地点① a の場合は、

$$k = 0.993$$

$$C = 16.314$$

となった。この値を用いて推定した  $V$  等級と Tycho-2 カタログの値との差と、 $V$  等級の関係を図 7 に示す。図 4 と比べると、同程度の誤差で  $V$  等級を推定できていることがわかる。また、 $C$  はゼロ点に当たるため、測定地点により異なるが、 $k$  はフィルターの特性であるため、地点によらず共通だと考えられる。各地点の値から求めた結果は、

$$k = 0.987 \pm 0.013$$

となり、測定地点に依らずほぼ比例の関係にあることが確かめられた。簡易的に夜空の明るさを調べるのであれば、機器等級  $g$  を  $V$  等級の代わりとして採用しても誤差は小さいと言える。

## ま と め

2021 年度に、愛媛県内の 11 か所で夜空の明るさを計 16 回測定した。環境省調査で発表された値と比較することで、0.1 等級の系統的な誤差はあるものの、妥当な測光結果が出ていることを確認できた。測定した地点では、市街地から車で 1 時間もかからない地点で 20 等級以上の暗さを確認できたほか、条件のよい地点では夜空の明るさが 21 等級半ばとなる地点を複数確認できた。夜空の明るさと色の関係を調べたところ、緩やかな関係が見られるが、夜空の明るさが 19 等級前後のデータを補って確認する必要がある。また、機器等級  $g$  のみからでも、同程度の誤差で  $V$  等級を推定できることが確かめられた。

## 謝 辞

本稿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きました福井市自然史博物館の加藤英行氏に厚く御礼を申し上げます。

## 補 足

ここでは長秒時ノイズ低減の挙動について述べる。長秒時ノイズ低減を ON にすると、ライト画像を撮影した後に同じ秒数だけ処理時間がかかる。このことから、カメラ内部でダーク画像を撮影し、ライト画像から差し引いたものを保存していると思ってしまう。しかし、使用したカメラの説明書には「露光時間 1 秒以上で撮影した画像に対し、長秒時露光特有のノイズが検出された時に自動低減処理が行われる」という旨が記載されており、具体的な挙動については書かれていない。

そこで、長秒時ノイズ低減 ON / OFF の状態で撮影したダーク画像のノイズ値を比較した。図 8 は、上がノイズ低減 OFF、下が ON で撮影したダーク画像のグラフである。どちらも 4 枚の画像を平均し、短辺方向で 200pixel を平均したものである。これを見ると長秒時ノイズ低減によって、外れ値がなくなっていることがわかる。しかし平均値を見ると ON にした方が、値が大きくなっている。もしダーク画像の差し引きを行っているのであれば、ON にすると値は 0 に近い値を示すはずなので、そのような処理ではないことはわかる。ライト画像、ダーク画像それぞれで長秒時ノイズ低減を ON にして撮影しダーク処理を行ったのは、正確な挙動はわからないものの、互いに差し引くことで長秒時ノイズ低減の挙動をキャンセルすることを狙いとしている。

## 参考文献

- FALCHI, F., CINZANO, P., DURISCOE, D., KYBA, C. C. M., ELVIDGE, C. D., BAUGH, K., PORTNOV, B., RYBNIKOVA, N. A. and FURGONI, R., 2016: Supplement to: The New World Atlas of Artificial Night Sky Brightness. *GFZ Data Services*. <https://doi.org/10.5880/GFZ.1.4.2016.001> (2022.06.17 参照).
- HOG, E., FABRICIUS, C., MAKAROV, V., URBAN, S., CORBIN, T., WYCOFF, G., BASTIAN, U., SCHWEKENDIEK, P. and WICENEC, A., 2000 : The Tycho-2 Catalogue of the 2.5 million brightest stars. *Astronomy and Astrophysics*, 355, p.27-30.
- HORAGUCHI, T., FURUSHO, R., AGATA, H. and Paofits WG, 2006 : FITS Image Analysis Software for Education : Makali'i. *ASP Conference Series*, 351, p.544-547.
- 星空公団, 2020 : 開発製品 (ソフトウェア) raw2fits. <http://www.kodan.jp/?p=products> (2022.06.17 参照).
- 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, p.31-37.
- 加藤英行, 金剛晴彦, 2018 : 足羽山の夜空の明るさと色

の測定. 福井市自然史博物館研究報告, 65, p.1-6.  
 加藤英行, 金剛晴彦, 2020: 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. 福  
 井市自然史博物館研究報告, 67, p.11-20.  
 環境省, 2021: 令和4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. [http://  
 www.env.go.jp/press/110173.html](http://www.env.go.jp/press/110173.html) (2022.06.17 参照).  
 環境省, 2022: 令和4年度 冬の星空観察 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/110717.html](http://www.env.go.jp/press/110717.html) (2022.06.17 参照).  
 NATALI, F., NATALI, G., POMPEI, E. and PEDICHINI, F.,  
 1994: The use of the (B-I) color index and applications  
 of the (B-I) versus (B-V) relationship. *Astronomy and  
 Astrophysics*, 289, p.756-762.  
 小野間史樹, 伊藤絢子, 原田泰典, 福島英雄, 香西洋樹,  
 200: 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, p.93-102.

表1 撮影の設定

カメラ	EOS Kiss X6i (Canon)
レンズ	EF40mm F2.8 STM (Canon)
ISO 感度	800
F 値	5.6
露出時間	30 秒
保存形式	RAW
長秒時ノイズ低減	ON
高感度ノイズ低減	OFF

表2 測定地点と測定結果

測定 地点 No	撮影日	撮影 時刻	撮影場所 (市町村)	環境省 調査 時間内 (*)	夜空の明るさ (mag/arcsec <sup>2</sup> )				色指数 (mag/arcsec <sup>2</sup> )	
					環境省 調査値	B 等級	V 等級	R 等級	B-V	V-R
① a	2021/09/06	21:53	西条市	○	20.70	21.21	20.67	20.11	0.54	0.56
② a	2021/09/07	21:49	新居浜市	○	19.50	19.90	19.36	19.03	0.54	0.32
③ a	2021/09/09	21:00	新居浜市	○	19.79	20.35	19.62	19.09	0.73	0.53
④ a	2021/10/02	20:25	久万高原町	○	-	22.19	21.33	20.44	0.86	0.89
④ b	2021/10/02	21:24	久万高原町	×	-	22.37	21.41	20.46	0.95	0.95
⑤	2021/10/03	20:16	新居浜市	○	-	21.73	21.07	20.36	0.66	0.71
⑥	2021/10/03	20:51	四国中央市	○	-	21.79	21.12	20.36	0.67	0.76
⑦	2021/10/03	21:37	四国中央市	×	-	21.42	20.56	20.12	0.86	0.44
⑧ a	2021/10/03	22:19	四国中央市	×	-	21.39	20.83	20.42	0.56	0.41
⑨	2021/10/05	20:28	久万高原町	○	-	22.34	21.59	20.58	0.75	1.01
⑩	2021/11/28	22:45	伊方町	×	-	22.45	21.67	20.74	0.78	0.93
② b	2022/01/25	19:57	新居浜市	○	19.61	19.99	19.47	19.13	0.51	0.34
⑧ b	2022/02/02	19:35	四国中央市	○	19.92	20.51	19.84	19.49	0.67	0.36
③ b	2022/02/02	20:50	新居浜市	○	19.09	19.79	18.95	18.45	0.84	0.50
① b	2022/02/04	19:43	西条市	○	20.39	20.92	20.27	19.83	0.64	0.45
⑪	2022/02/04	21:00	今治市	○	20.14	20.79	20.13	19.82	0.67	0.31

(\*) 環境省調査の時間は「日没1時間半後～3時間半後の2時間」である

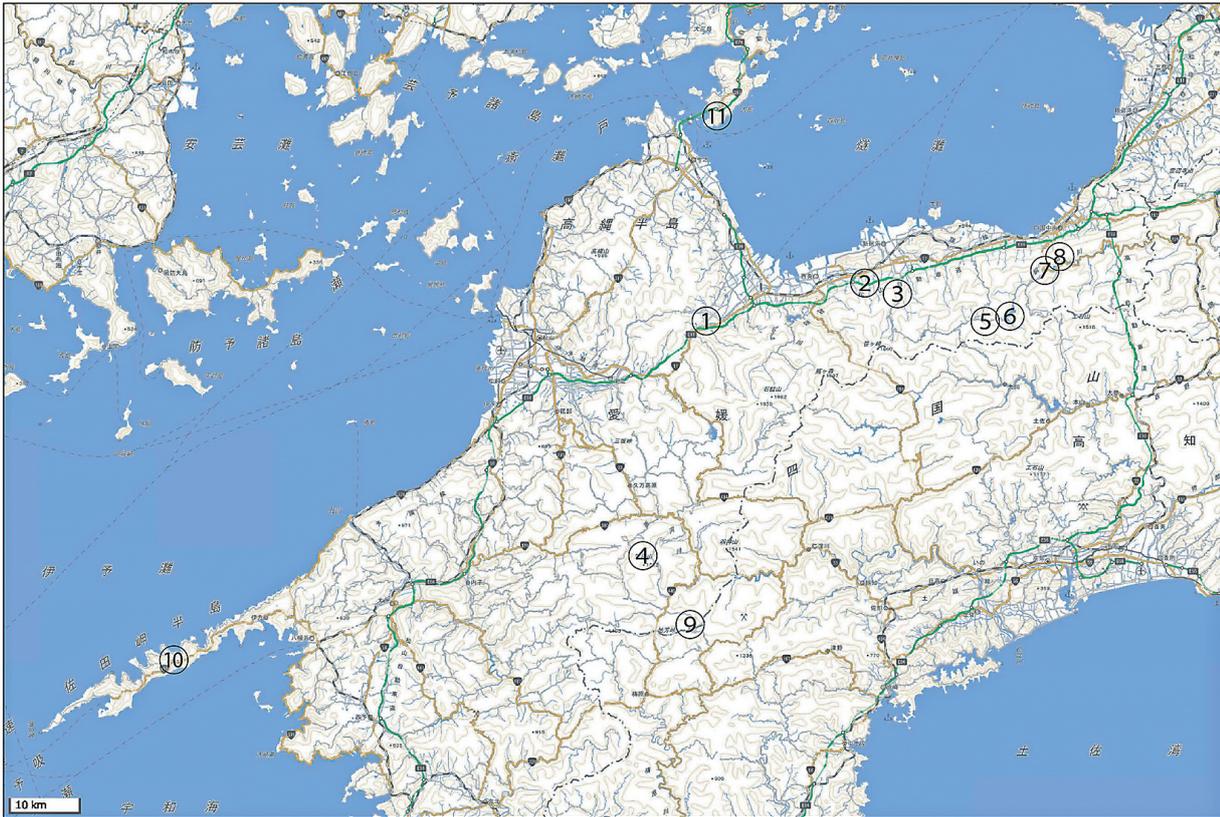


図1 測定地点 (国土地理院ウェブサイトで取得した地図データに測定地点Noを追加)

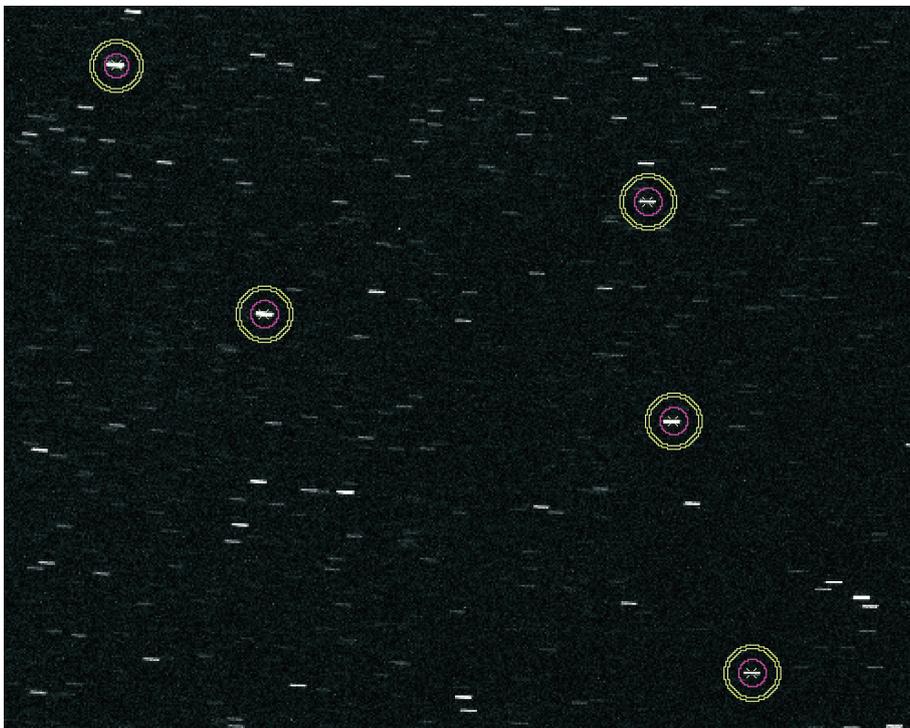


図2 マカリイを用いた恒星の開口測光

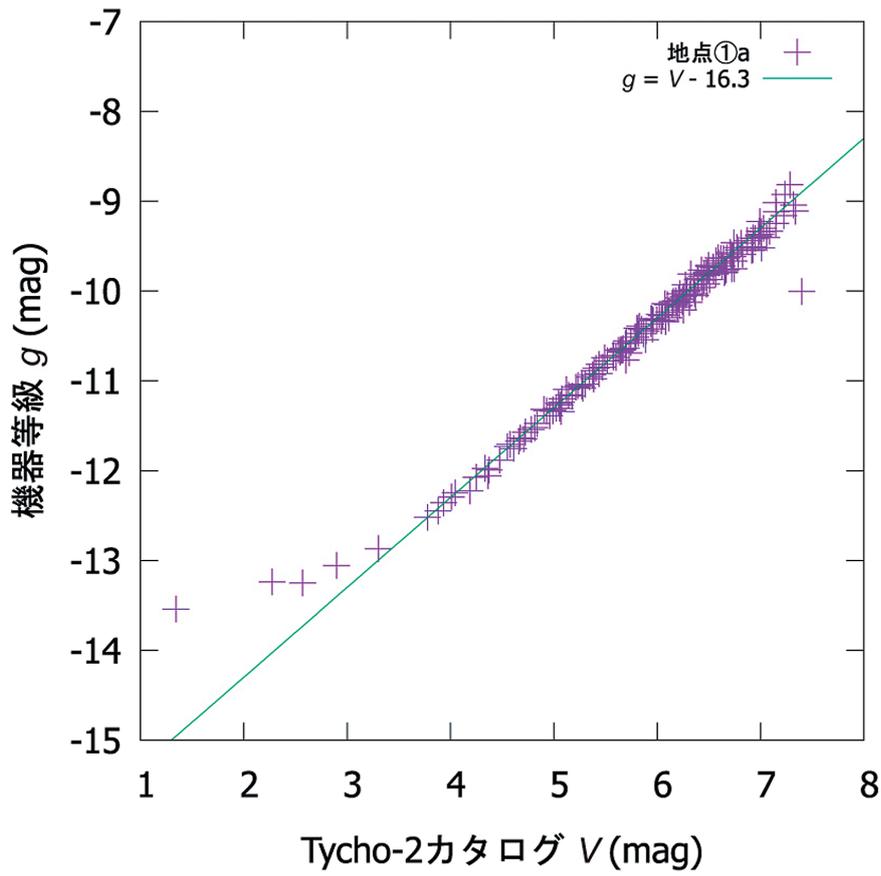


図3 Tycho-2 カタログの  $V$  等級と機器等級  $g$  の関係

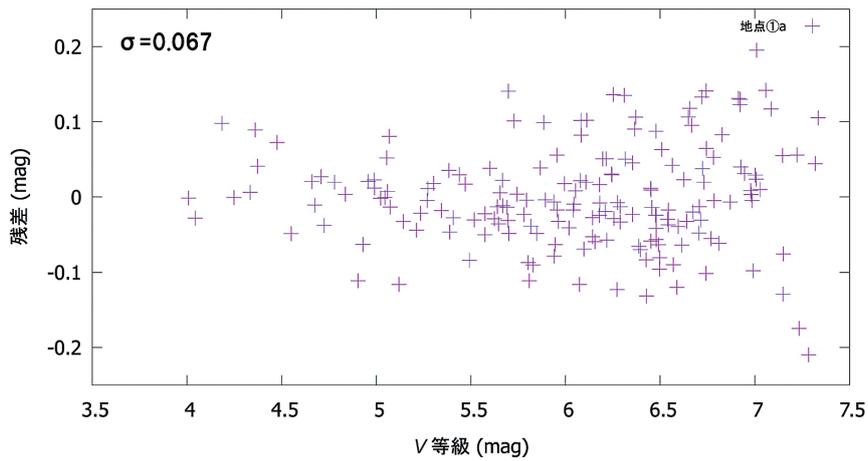


図4 推定した  $V$  等級と Tycho-2 カタログの値との差と、 $V$  等級の関係

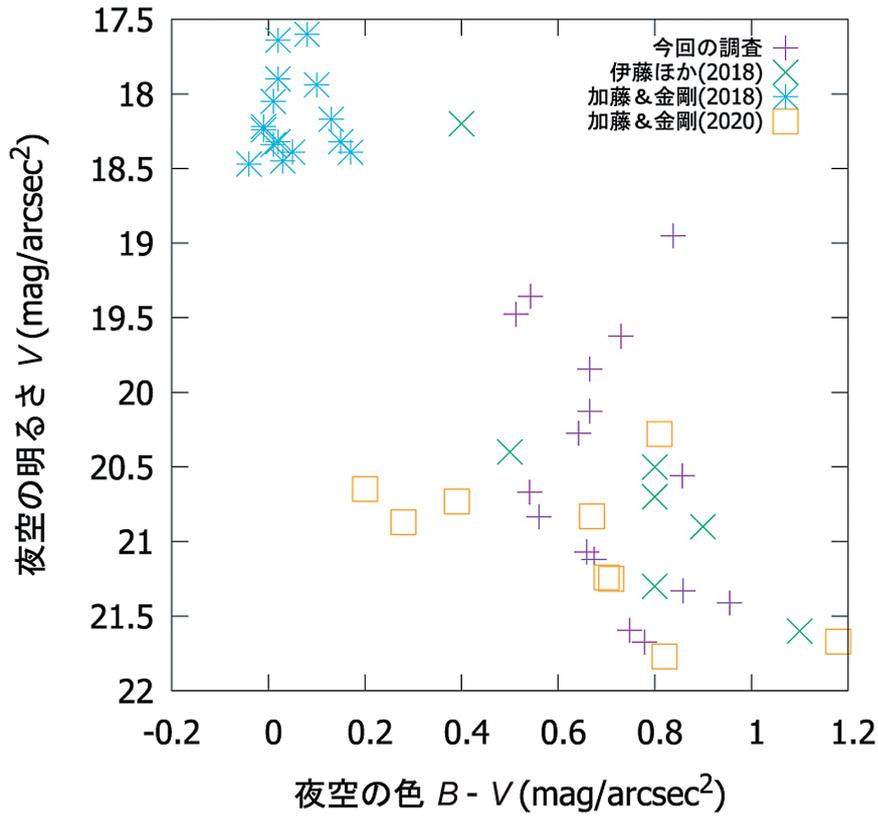


図5 夜空の明るさと夜空の色

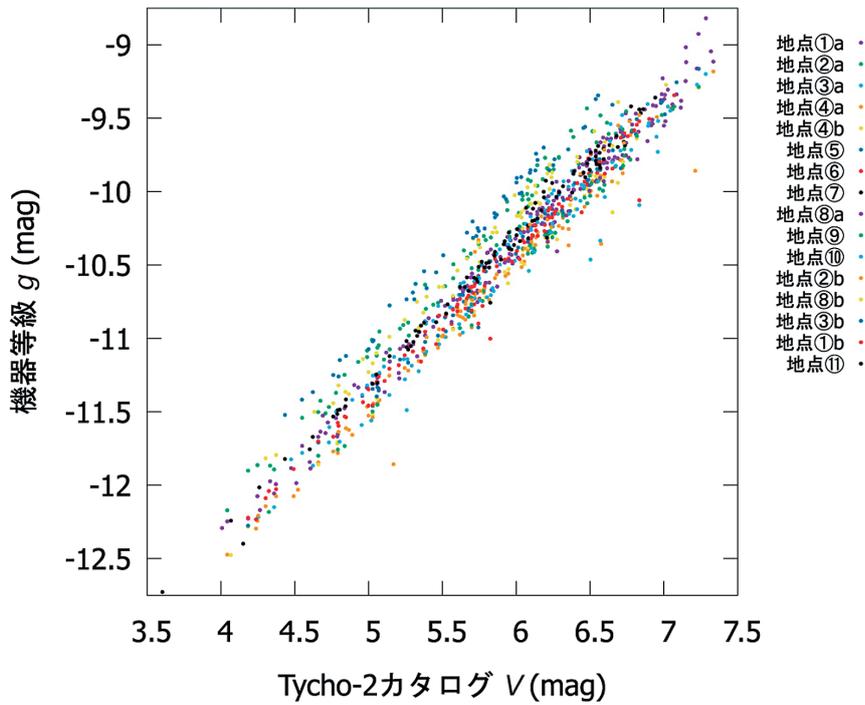


図6 全ての調査地点における Tycho-2 カタログの  $V$  等級と機器等級  $g$  の関係

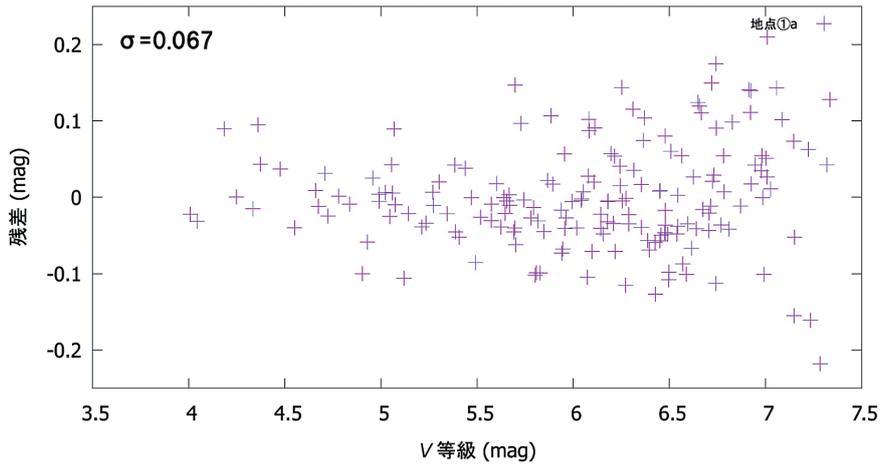


図7 機器等級  $g$  から推定した  $V$  等級と Tycho-2 カタログの値との差と、 $V$  等級の関係

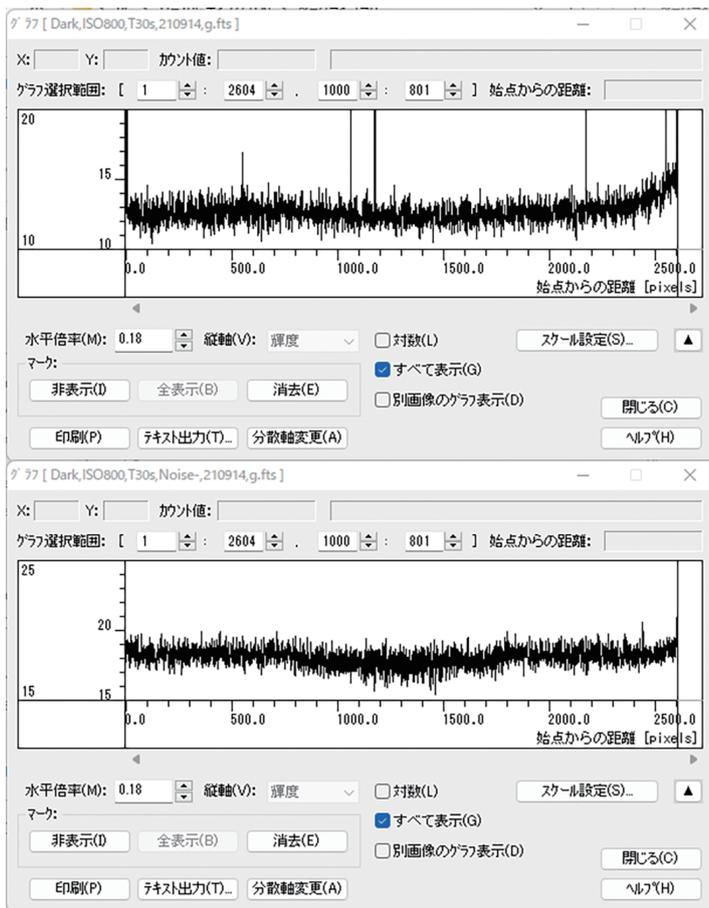


図8 長秒時ノイズ低減 ON と OFF でのダークノイズの比較