

資 料

## 四国中央市の翠波高原における夜空の明るさと街明かりの直接比較

鈴木 裕司\*

Report on Direct Comparisons of Brightness of Night Skies and City Lights in Suiha Kogen,  
Shikokuchuo City, Ehime Prefecture  
SUZUKI Yuji

**Abstract** : The brightness of the city lights and the night sky were simultaneously measured at Suiha Kogen which is located in Shikokuchuo City, Ehime Prefecture, and their temporal changes were compared. The results showed that the brightness of the city lights and the night sky were almost proportional to each other, and that the night sky became darker when the city lights became darker. The relationship between the brightness of the night sky and the color of the sky was similar to that observed in previous studies. The color of illuminations was determined from the amount of change in city lights, and it was found that the night sky became bluer as the amount of artificial illumination, which was bluer than the night sky without artificial light, increased. However, the effect of saturated pixels on the calculation of illumination color should be eliminated in future studies.

**キーワード** : 夜空の明るさ, 街明かり, 直接比較

**Key words** : night sky brightness, city lights, direct comparison

### はじめに

「星を見る」ということは、星や宇宙に興味を持つ入り口となる行動となりうる。しかしながら、現代は街明かりがあるため、例えば夜空の明るさを地図上に表した「Light Pollution Map」(Falchi et al., 2016)を見ると、多くの人が住む場所ほど夜空が明るい状態になっている。星に興味を持ち始めた後、よりたくさんの星や暗い天体を見ようと思った場合には、夜空が暗い場所で星を見ることが次のステップへとつながる。そのため、夜空が暗く、星が見えやすい場所の情報を持つておくことは、天文を普及する活動へとつながる。

夜空の明るさの調査は、衣笠・長野県星空継続観察ワーキンググループ(2019)、阿南市科学センター(2023)などで地域内のチームや拠点施設が主導して行われている。それに対し全国規模のものとしては、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」がある(環境省, 2022, 2023)。この調査は、決められた期間内で、かつ日没1時間半後から3時間半後までの2時間が調査の時間帯となる。カメラの設定方法もそろえることで、全国の様々な場所で比較するためのデータを取得することができて

いる。その他、伊藤ほか(2018)、加藤・金剛(2018, 2020)、鈴木(2022)などの調査では、複数の地点の街の明るさを比べると、明るい地点の方が空の色が青いという結果が出ている。

一方、同じ場所であっても、夜遅くなるほど街明かりは少なくなり、それに伴い夜空が暗くなるということは、特に真夜中に星を見たことがある人にとっては感覚的に正しいと言える。数値としても田村・安藤(2018)によって確かめられている。しかしながら、街明かりと夜空の明るさが数値としてどのような関係にあるかを調べた例は少ない。野村ほか(2010)では、街明かりと夜空の明るさは比例する結果が出ており、複数晩の結果を比べた結果、街明かりは日によって0.3等級程度の変動を示すのに対し、夜空の明るさは0.5等級程度の変動を示している。夜空の明るさの変動の大きさは、大気の状態の変動によると考えられている。

また、街灯からの光の出方を工夫することで、夜空に漏れる光を少なくし、より暗い夜空を実現しようと試みる場合にも、「街明かりをどの程度暗くしたら、夜空がどの程度暗くなるのか」という関係がわからなければ、達成目標を立てづらい。

そこで本調査では、数時間にわたって街明かりと夜空

\* 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

の明るさを同時に測定・比較することで、両者が数値的にどのような関係にあるのかを調べた。また、街明かりの写真を測光することで、どのような光源の影響が大きいのかを分析した。ここでは、これらの結果について報告する。

### 測定方法

夜空の明るさと街明かりの直接比較は、できるだけ広い範囲の街を見下ろすことのできる高い場所から行うことが望ましい。それに適した場所として、愛媛県東部に位置する四国中央市の翠波峰展望台を選択した。翠波峰は、菜の花とコスモスの名所である翠波高原が知られている。一番高い場所まで上がった標高約 900m の場所に翠波峰展望台があり、そこからは北に向かって四国中央市の土居、伊予三島、川之江の街を見下ろすことができる。また、反対の南には法皇山脈が続いており、低空まで暗い空となっている。この地形的な特徴から、翠波峰上空に影響を与える街明かりの範囲を絞り込むことができることも利点である。

街と夜空を同じ機種のカメラで撮影し、途中で雲の影響が出ていないデータを取得できた 2023 年 5 月 16 日に撮影した画像を用いた。2023 年 3 月 19 日にも行ったが、この時の画像は明るい恒星の周囲ににじみが確認できた他、図 1 のように夜空の明るさが散発的に明るくなっているため、雲の影響があったと判断した。撮影の設定は表 1 の通りで、リモートコントローラを用いて撮影間隔 1 分毎に、21:08 ~ 25:15 の間撮影を行った。街を撮影するカメラは伊予三島と川之江の市街地がおおよそ入る方向（図 2）を、夜空を撮影するカメラは天頂方向を向け、撮影の間は位置を変えなかった。ブラケット撮影を行ったうちで露出時間が一番短い 1.3 秒露出の画像を使用した。

撮影した画像は、raw2fits（星空公団, 2020）を用いて RAW 形式から fits 形式へ変換するとともに RGB の 3 色に分解した。その後、ダーク及びフラット補正を行った。

街明かりは、撮影した地点に届く全ての光の量ととらえるため、撮影した画像全体の平均を採用した。画像の中で街灯そのものを撮影したピクセルなどに飽和している部分がある。飽和したピクセルがあると値を過小評価してしまうが、補正に記した通り、その減少量は真の値に対して一定の割合であると考えられる。そのため、比例関係や増減のタイミングなどの議論は成立すると仮定をする。

夜空を撮影した画像のヒストグラムを作成すると、恒星が写っていない夜空の明るさがガウス分布に近い分布となる（図 3）。画像のピクセル値の中央値を取ることで、

分布のピークの値を取得することができるため、これを各画像の夜空の明るさの代表値とした。

夜空の明るさを機器等級  $b, g, r$  から Johnson-Cousins 標準測光系の等級に変換する方法は鈴木（2022）と同様の変換式を用いた。ただし、観測場所が 1 つであるため、大気状態は大きく変化しないと仮定し、各バンド当たり 2 パラメーターを用いて以下の様に変換した。

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

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

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

ただし、

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

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

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

である。各パラメーターは、撮影した画像から 1 時間ごとに計 5 枚の画像を選び、それぞれで 10 個の恒星を測光し、Tycho-2 カタログ（Hog et al., 2000）と Natali et al.（1994）の関係を用いて算出した  $B, V, R$  の等級と比較し決定した。各画像の値の分布が大きく異ならないため（図 4）、5 枚の画像の 50 個の恒星サンプルをまとめて扱い、それによって求められた以下のパラメーターを全ての画像において使用した。

$$k_{bg} = 1.208, C_B = 16.148$$

$$k_{gr} = -0.0345, C_V = 16.270$$

$$k'_{gr} = -0.758, C_R = 14.407$$

## 結果

### 街明かりの時間変化

図 5 は RGB の各色について街明かりの時間変化を表したものである。撮影時間の中で、どの色についても街明かりの量がおおよそ半分に減少している。基本的に夜遅くなるにつれて街明かりは徐々に減少していくが、23:45 や 24:30 などに大きな時間変化が見られる。

### 夜空の明るさの時間変化

図 6 は  $B, V, R$  の各バンドにおける夜空の明るさの時間変化を表したものである。街明かりと同様に、夜遅くなるにしたがって、夜空も暗くなっている。測定期間中に、 $R$  バンドでは約 0.5 等、 $V$  バンドでは約 0.6 等、 $B$  バンドでは約 0.7 等夜空が暗くなっている。

### 街明かりと夜空の明るさの関係

図 7 は RGB の各色での街明かりと夜空の明るさの関係を示したものである。どの色においても、ほぼ比例の関係にあることが読み取れる。しかしながら、比例係数は色によって異なり、 $R$  画像では街明かりに対しての変化が緩く、 $B$  画像では変化が急となっている。

## 考 察

### 夜空の明るさへの街明かりの影響

街明かりと夜空の明るさを直接比較した例は、甲府盆地において調べた野村ほか(2010)の研究があるが、両者に比例関係が見られ、同様の結果となっている。野村ほか(2010)では、測定が15分毎であったのに対し、本研究では1分毎の測定であるため、時間分解能を上げた挙動が見える。図5と図6を比較すると、街明かりの時間変化と夜空の明るさの時間変化の様子が似ていることがわかる。特に、21:50、23:45、24:30付近の街明かりが急激に変化している特徴は、夜空の明るさにも表れている。この結果と、街明かりと夜空の明るさが比例関係にある結果から、夜空の明るさは街明かりが直接的に影響を与えていると考えられる。

一点注意点として、0:30の街明かりの変動については、 $R$ バンドではほぼ夜空の明るさに変化が見られないことが挙げられる。明かりが変化する前後の写真(図8)を比較すると、この明かりの変化は1つの施設の照明が消えたことが原因となっている。写真からは照明の形が見えることから、施設からカメラに向かって直射光が入ってきており、それにより街明かりの変化が大きく見積もられてしまったと考えられる。これに対して、23:45 - 0:15にかけての大きな変化は、複数の施設で照明が消えたことが原因(図9)であり、街明かりが減少した分に依って夜空の明るさが暗くなったとみられる。

### 夜空の明るさと色

伊藤ほか(2018)、加藤・金剛(2018, 2020)、鈴木(2022)の研究によると、夜空が明るいほど夜空が青い、という結果が出ている。今回測定した夜空の色をプロットすると、同じく夜空が明るいほど夜空が青い結果になっており、過去の研究と同様の分布になっている(図10)。観測時間内で、 $B-V$ が約0.2等級変化している。また、時系列で夜空の色がどのように変化したかを表したのが図11である。変化の様子が図6の夜空の明るさの変化のグラフに似ており、図10の関係もあることから、夜空が暗くなるとともに、夜空の色が赤色側へ戻っていったと考えられる。

夜空の色が変わる要因としては街明かりの影響が考えられる。街明かりがもっとも少なくなったのは25:15であり、この時刻とある時刻の $B$ 画像と $G$ 画像の街明かりのカウンットの差を $\Delta N_B(t)$ 、 $\Delta N_G(t)$ とし、 $\Delta N_B(t) / \Delta N_G(t)$ が時刻とともにどのように変化するかを表したのが図12である。このグラフから、時刻によって街明かりが変化しても、比率はほぼ変わらない、つまり街明かりを変化させた照明の色はほとんど変化しないことがわかる。なお、00:30以降の値が乱れているが、 $\Delta$

$N_B(t)$ 、 $\Delta N_G(t)$ の値の時刻変化を示した図13を見ると、値そのものが小さくなったことにより、ノイズにより測定値が変動を受けている様子が見えていると考えられる。以上のことから、この場所の照明の $B$ 画像と $G$ 画像のカウンット比を約0.588と仮定できる。また、図7から街明かりと夜空の明るさのカウンットには比例関係があることから、飽和したピクセルは色に影響を与えないと仮定した場合に、このカウンット比の照明が卓越した時の夜空の色を $B-V=0.37$ と計算することができる。反対に、図10にある結果のうちで最も夜空が暗い場所のものとして、加藤・金剛(2020)の $V=21.67 \text{ mag/arcsec}^2$ 、 $B-V=1.18$ の測定値がある。環境省(2022)の参考資料では、夜空の明るさが $21.75 \text{ mag/arcsec}^2$ より暗ければ、人工照明の影響はほとんどないと考えられるとしているため、人工照明が全くない場所では夜空はこの程度に赤い色となると考えられる。

これらのことから、夜空は人工照明がない状態で最も赤く、それよりも青い色の光で照らされることによって、夜空が明るくなるとともに青く変わっていくと考えられる。しかしながら、この考えでは夜空の色は照明の色である $B-V=0.37$ までしか青くならない。加藤・金剛(2018)では $V=18 \text{ mag/arcsec}^2$ 付近で $B-V=0.00$ 程度まで夜空が青くなっている結果が出ているため、今回得られた照明の色では、ここまで夜空が青くなることを説明できない。これと同様の議論を露出時間5秒の画像で行うと、照明の色が卓越した夜空の色は $B-V=0.55$ 、露出時間20秒の画像では $B-V=0.63$ となる。そのため、飽和したピクセルの影響が出ていると考えられ、ピクセルが飽和しない様に広いダイナミックレンジの明るさを記録しての調査が望まれる。

### 変化の大きな照明が街明かりに占める割合

高い場所から街を眺めて見ると、街の中に照明が非常に明るい部分があるのに気づく。時刻が遅くなると街明かりは少なくなっていくが、まんべんなく暗くなっていくわけではない。図14は測定開始時と終了時の街の様子と、その2つの明るさの比をとったものを示している。比の画像の中で青い部分は変化が1倍以下の場所、赤い部分は変化が50倍以上の場所となっている。これを見ると、一部の照明が街明かりに対して非常に大きな影響を与えているように感じる。そこで、赤い部分を中心に図15で示される場所の街明かりを測定したところ、その合計は街明かり全体の20.3%となった。空からも光がやってくるので、それを除いて市街地に限ると23.0%に上昇する。変化した分の街明かりの量と比べるとその37.3%である。実際にはピクセルが飽和している影響がある他、街明かりが大気で散乱して、大気自体の明るさも変化していることが確認できたことから、影



響はこの数値以上になると思われる。これらの明かりは消して支配的な割合ではないが、照明を改良して夜空の明るさと生活の便利さを両立させようとする場合には、こうした特に明るい照明から工夫すると効果的であると考えられる。

### まとめ

翠波高原にて街明かりと夜空の明るさを同時に撮影し、それらの時間変化を比較した。その結果、街明かりと夜空の明るさはほぼ比例関係にあり、街明かりが暗くなると夜空も暗くなる様子が確認された。夜空の明るさと色の関係は、これまでの研究と同様の傾向を示した。街明かりの変化量から照明の色を求め、自然の状態よりも青い色の人工照明が増えるにしたがって、夜空は青くなっていたことを示した。しかし照明の色の計算に飽和したピクセルの影響が出ているため、その影響をなくした研究が望まれる。

### 補 足

#### 高感度ノイズ低減について

ここでは高感度ノイズ低減の影響について述べる。今回使用したカメラである EOS Kiss X6i の使用説明書 (Canon, 2012) を見ると、再生状況によってノイズ低減効果に変化する場合があることが記載されており、ノイズ低減前の情報が保存されていることが示唆されている。また、Canon 製の画像処理ソフト Digital Photo Professional ver.4 を使用して、高感度ノイズ低減を「標準」で撮影した画像を開くと、ノイズリダクションの項目で輝度ノイズ緩和と色ノイズ緩和が 0 ではない設定となっていることが確認できる。それぞれの設定値を 0 とすることで、ノイズ除去前の画像に戻すことができる。さらに、図 16 に高感度ノイズ低減「標準」で撮影した画像と「OFF」で撮影した RAW 画像をそれぞれ Photoshop で開き、+5.0 段の明るさ補正をしてノイズを見やすくし、同じ設定で書き出しをしたものを示す。これらの画像を比較すると、同様のノイズが載っていることが確認できる。これらのことから、少なくとも今回使用したカメラにおいては、高感度ノイズ低減は RAW 画像には設定値として記録されるもので、画像データには変更が加わっていないものと判断した。

#### 飽和したピクセルの影響について

ここでは飽和したピクセルの影響について述べる。表 1 に記載したように、街明かりは ± 2 段でブラケット撮影を行った。より明るい設定で撮影すると飽和するピクセルが増えるため、露出設定の異なる画像の平均値を比

べることで、飽和したピクセルの影響を推定することができる。

図 17 は、露出時間 1.3 秒と 5 秒及び 5 秒と 20 秒のそれぞれの画像の組、RGB の各色について、画像の平均値の関係をプロットしたものである。これを見ると、それぞれ画像の平均値が比例の関係にあることがわかる。その比例係数は 4 を下回っている。露出設定が 2 段異なっていると、飽和の影響がなければピクセル値は 4 倍異なるはずである。それが 4 倍より小さいということは、その分が飽和したピクセルによる過小評価の影響ということになる。この倍率が同じ設定の組では変化がないことから、測定値の絶対値は過小評価しているものの、その減少量は真の値に対して一定の割合であると推定できる。そのため、測定値そのものではなく、比例関係や増減のタイミングについての議論は行うことができると考えられる。ただし、飽和による値の減少率は色によって異なるため、色についての議論は注意が必要である。

### 参考文献

- 阿南市科学センター, 2023: あなん夜空の明るさ調査. <https://sites.google.com/view/an-an-yozora> (2023.06.05 参照).
- Canon, 2012: EOS Kiss X6i 使用説明書. <https://gd1p01c-wss.com/gds/4/0300007694/01/eoskissx6i-im-c-ja.pdf> (2023.06.05 参照).
- FALCHI, F., CINZANO, P., DURISCOE, D., KYBA, 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> (2023.06.05 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.
- 環境省, 2022: 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. [https://www.env.go.jp/press/press\\_00796.html](https://www.env.go.jp/press/press_00796.html) (2023.06.05 参



照).  
 環境省, 2023: 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/press\\_01333.html](https://www.env.go.jp/press/press_01333.html) (2023.06.05 参照).  
 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.  
 衣笠健三, 長野県星空継続観察ワーキンググループ, 2019: 長野県内の系統的な夜空の明るさ測定. 天文教育, vol.31, No.4, p.11-13.

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.  
 野村詩穂, 小野間史樹, 跡部浩一, 高橋真理子, 2010: 甲府盆地における市街光と夜空の明るさの同時観測. 日本天文学会 2010 年春季年会, Y20b.  
 鈴木裕司, 2022: 愛媛県内における夜空の明るさ調査 2021. 愛媛県総合科学博物館研究報告, 第 27 号, p.95-102.  
 田村和之, 安藤徹, 2018: 徳島の星空: 定点観測による光害の時間的变化. 鳴門教育大学研究紀要, 第 33 巻, p.344-357.

表 1

撮影の設定	夜空の撮影	街の撮影
カメラ	EOS Kiss X6i (Canon)	EOS Kiss X6i (Canon)
レンズ	EF40mm F2.8 STM (Canon)	EF-S18-135mm F3.5-5.6 IS STM (Canon)
焦点距離	40mm (換算 64mm)	18mm (換算 28.8mm)
ISO 設定	800	100
F 値	5.6	3.5
露出時間	30 秒	1.3 秒, 5 秒, 20 秒
保存形式	RAW	RAW
長秒時ノイズ	OFF	OFF
高感度ノイズ低減	標準 (※)	標準 (※)
備考	1 分毎に撮影	1 分毎に撮影 ± 2 段でブラケット撮影し - 2 段を使用

(※) 高感度ノイズ低減は通常の撮影時の設定のままであったが, RAW 画像にはノイズ低減前のデータが保存されていると判断した. 補足を参照のこと.

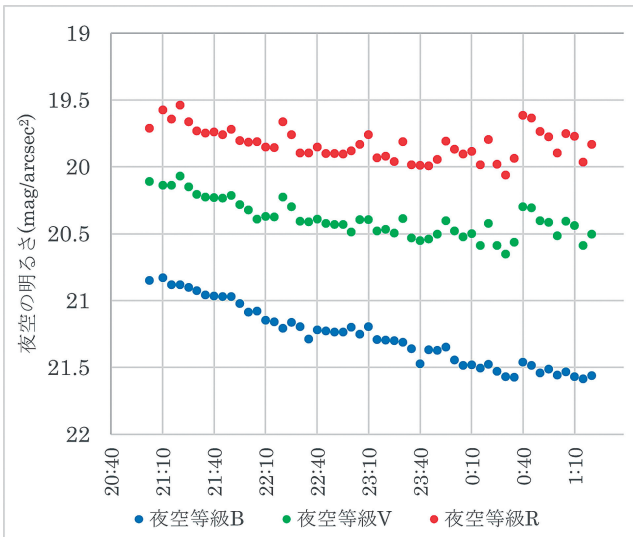


図1 雲の影響がある場合の夜空の明るさの変化

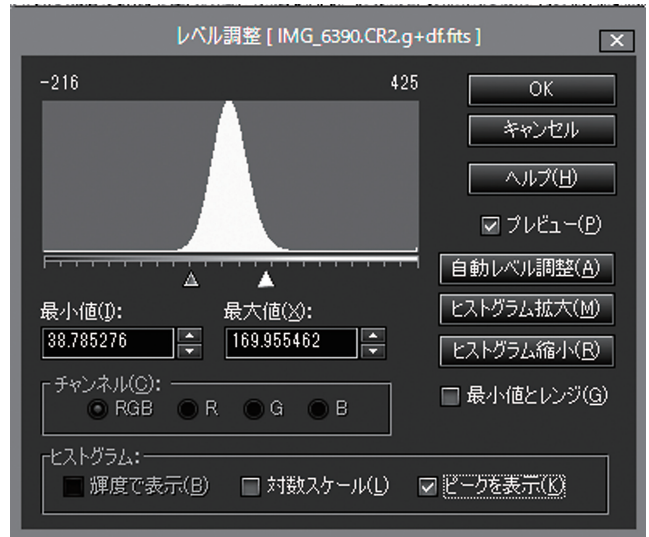


図3 夜空の明るさのヒストグラムの一例



図2 翠波峰展望台から見た伊予三島・川之江の街. この範囲内で街明かりを測定した.

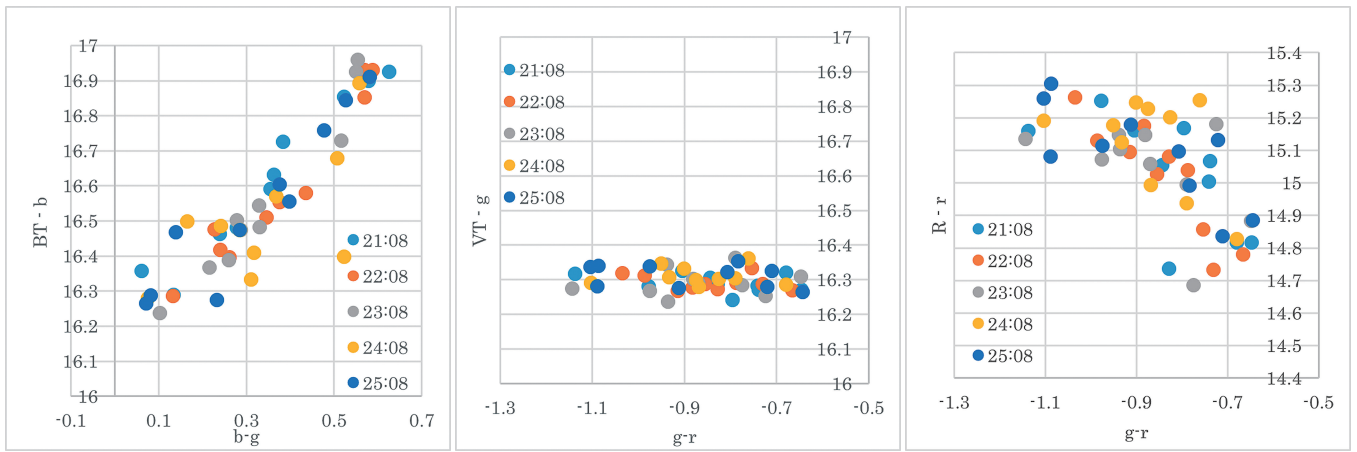


図4 機器等級を変換する際に用いたパラメーターの分布

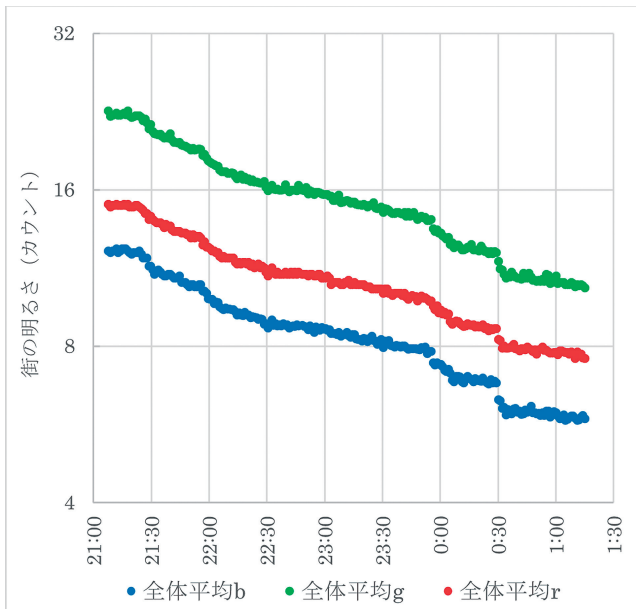


図5 時刻による街の明るさの時間変化

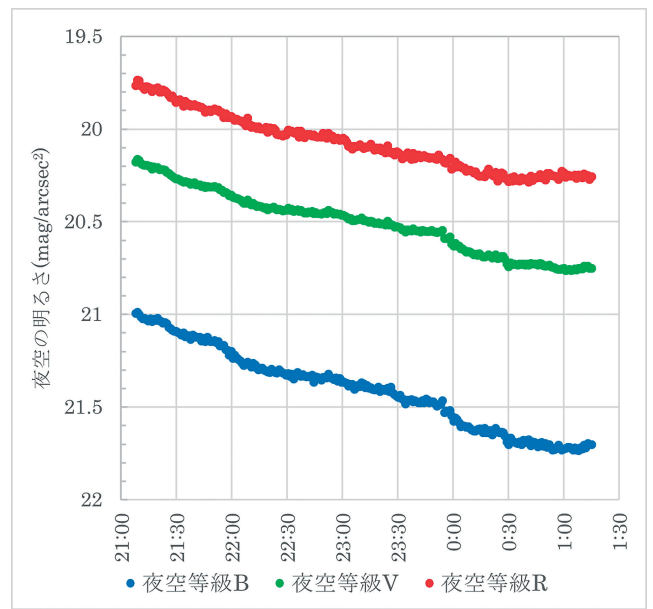


図6 時刻による夜空の明るさの変化

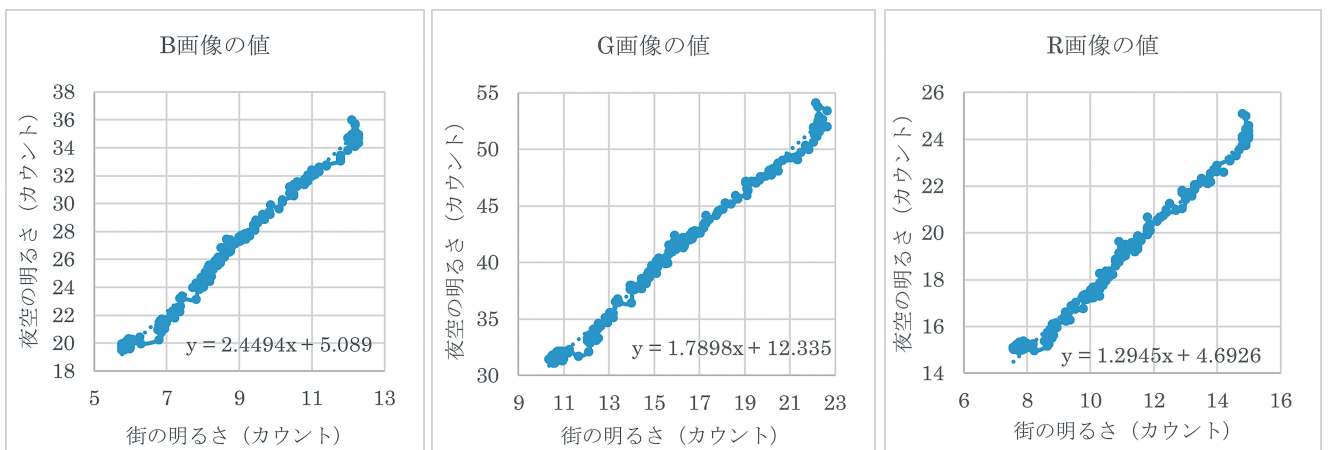


図7 街の明るさと夜空の明るさの関係



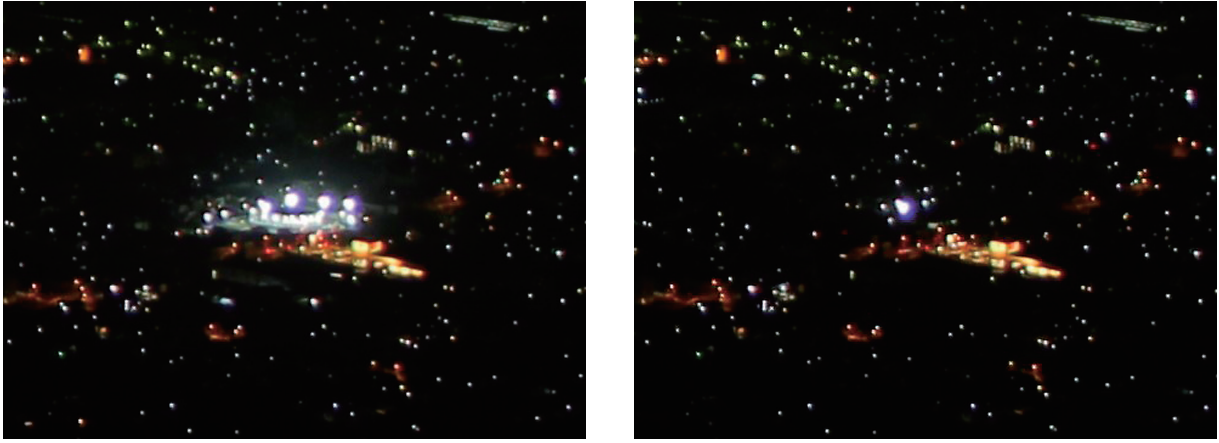


図8 24:30 ごろの街明かりの変化を起こした照明の変化



図9 23:15の街明かり（上）と24:15の街明かり（下）. 露出時間5秒.

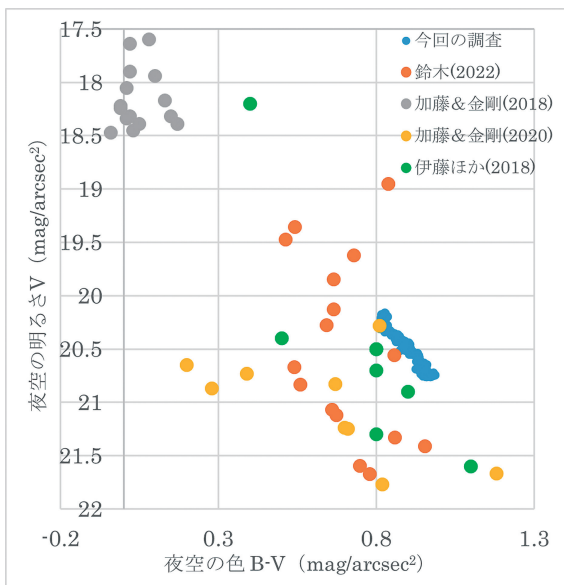


図10 夜空の明るさと色の関係

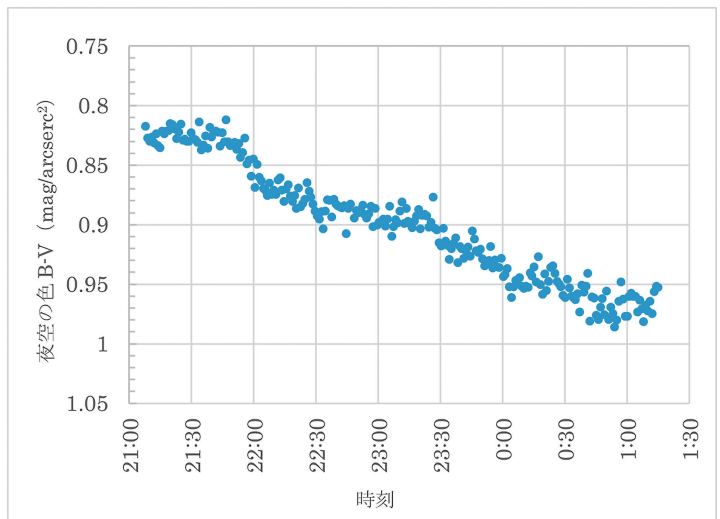


図11 時刻による夜空の色の变化

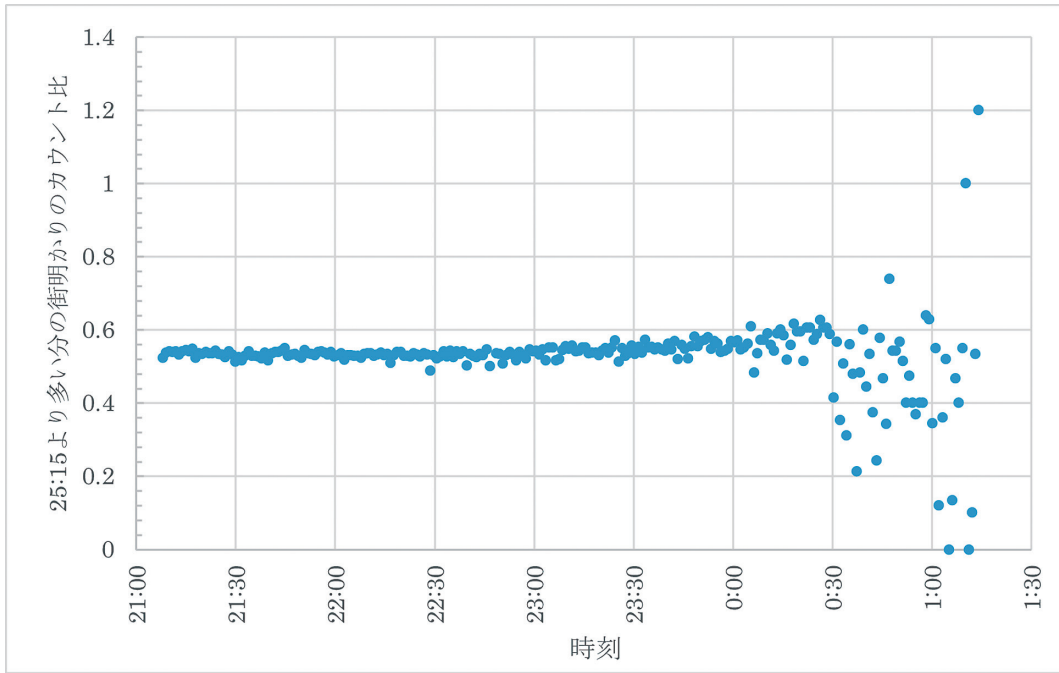


図12 最も街明かりが少ない25:15と比べて多い分のBとG画像の街明かりのカウンントの比

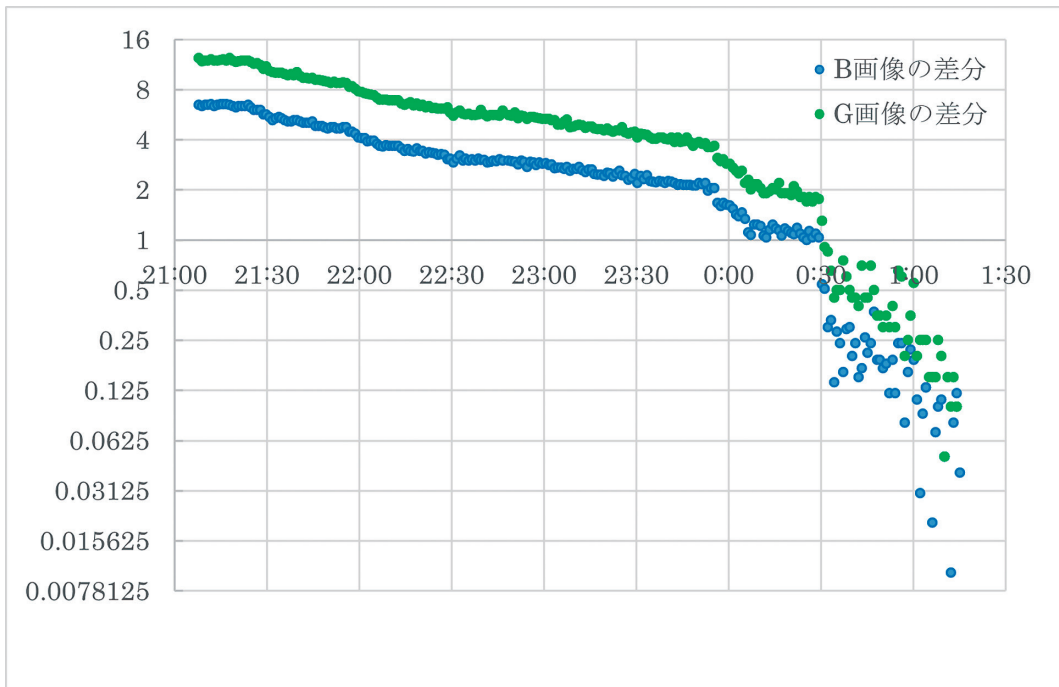


図13 最も街明かりが少ない25:15と比べてB画像とG画像のそれぞれの街明かりのカウンントの差分



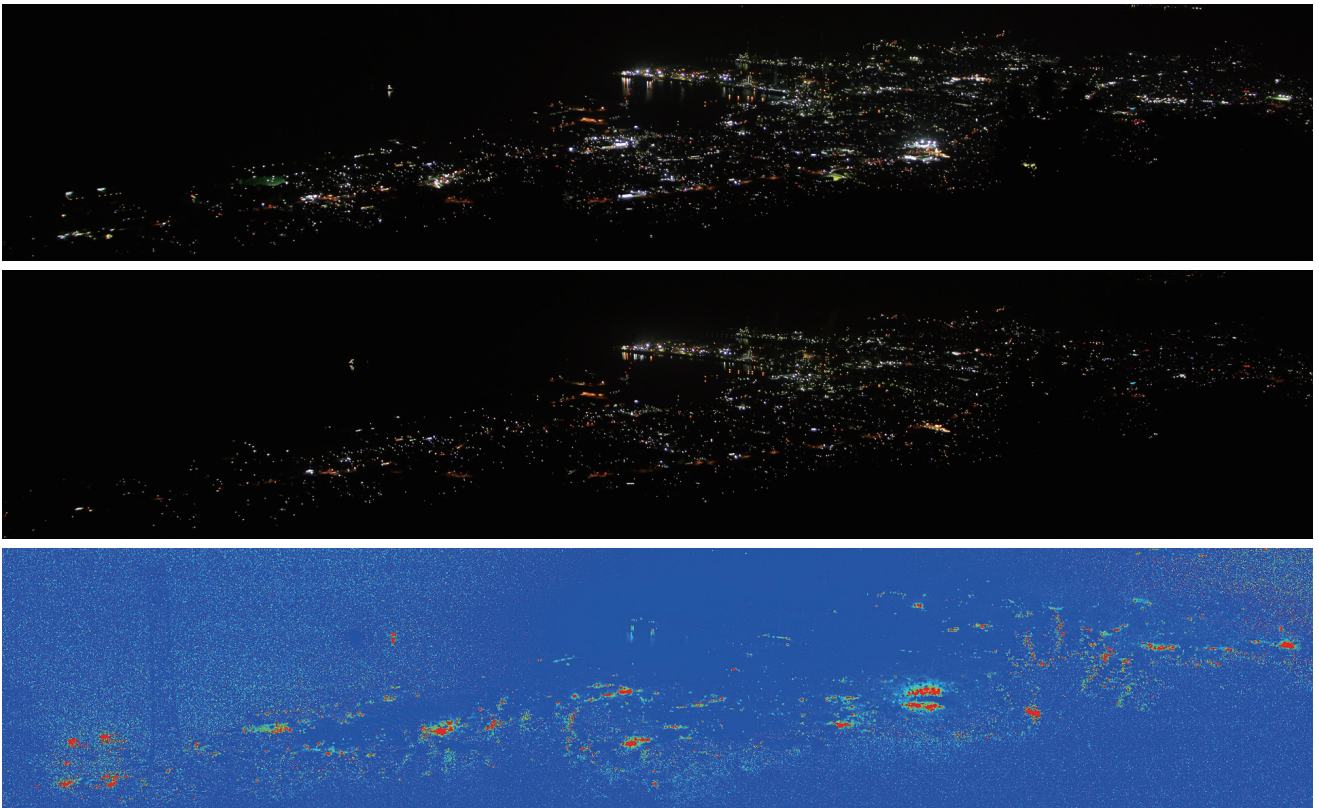


図 14 街明かりが変化した場合。上は測定開始時の街の様子，中央は測定終了時の街の様子，下はその2つの明るさの比をとったもので，青い部分は変化なし（1倍），赤い部分は50倍以上暗くなった場所を表す。



図 15 個別の明るさを測定した場所（四角で囲まれた部分）

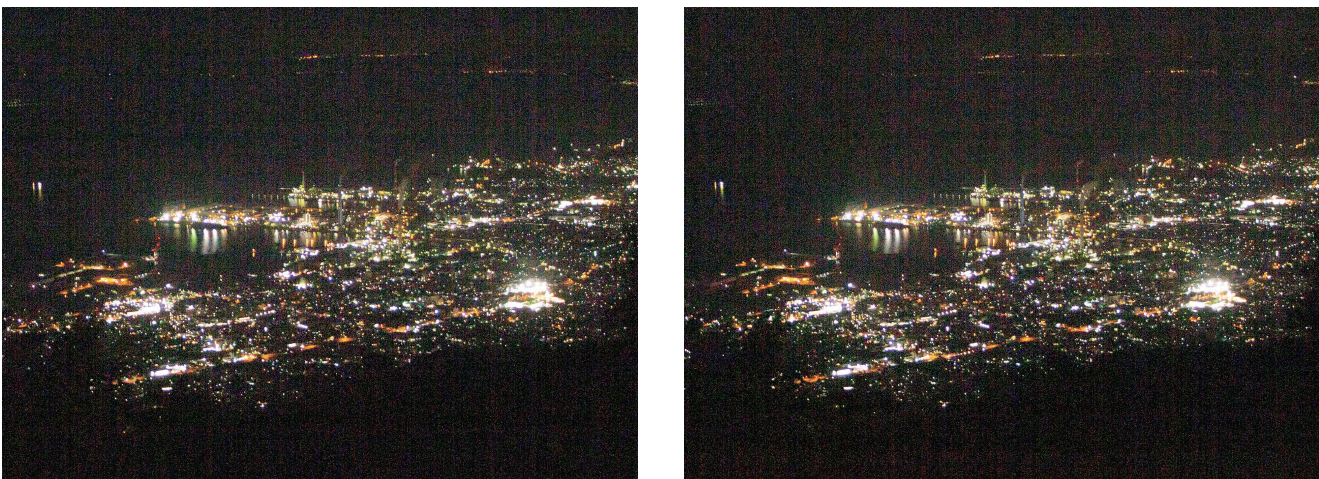


図 16 高感度ノイズ低減「標準」で撮影した画像（左）と「OFF」で撮影した画像（右）。それぞれ RAW ファイルを Photoshop で開き，同じ設定で書き出しをした。



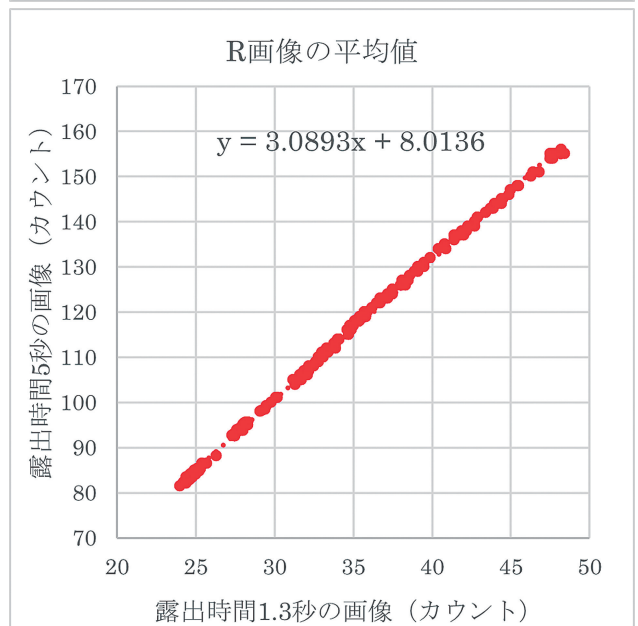
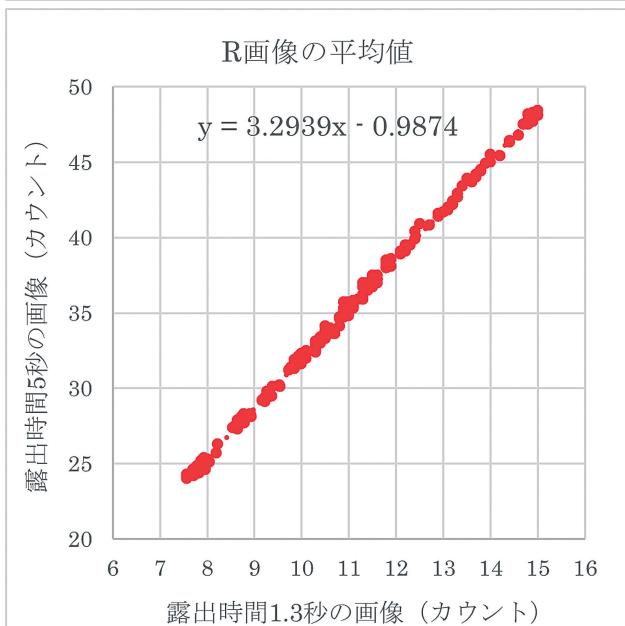
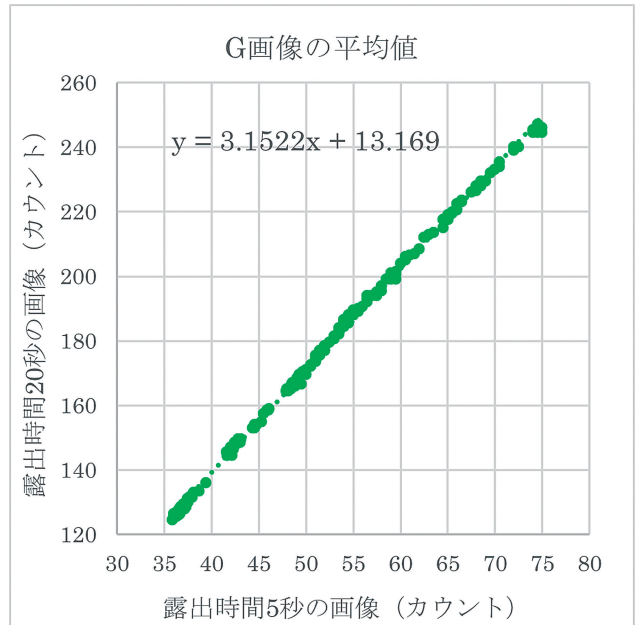
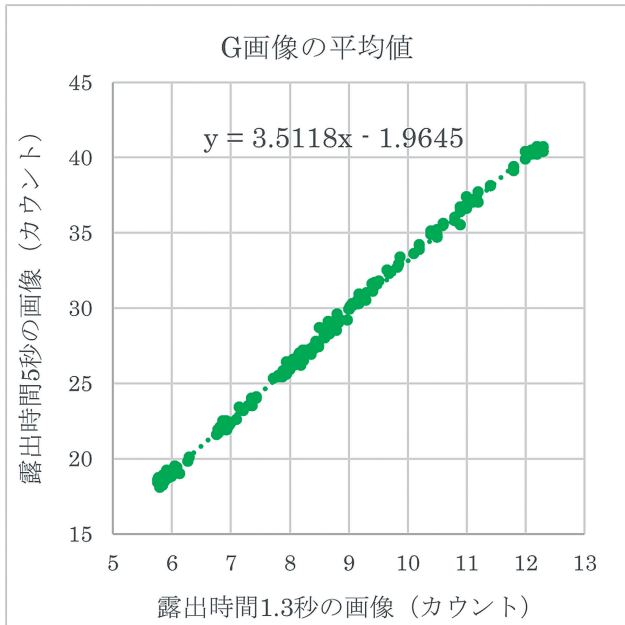
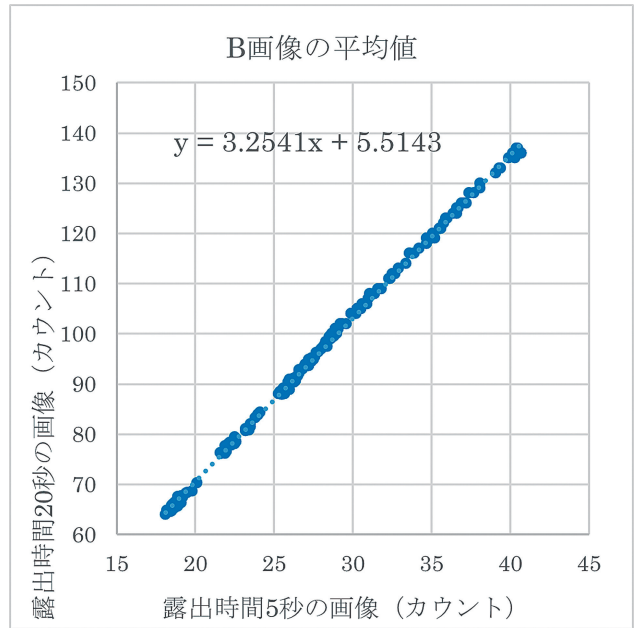
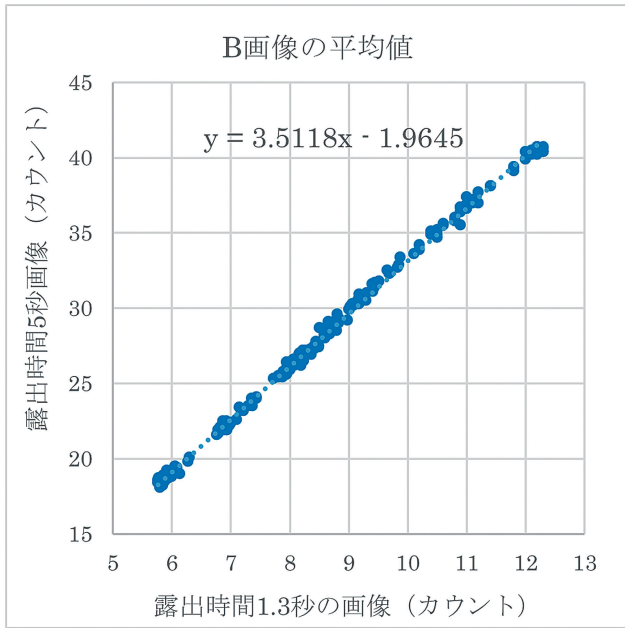


図 17 同じ時刻に撮影した露出設定が2段ずつ異なる3枚の画像のRGBそれぞれの平均値の比較

