

34T 光害の可視化 ~高輝度ランプによる影響を探る~

東京都立立川高校 天文気象部 3年 袴田采海 石田寛和 川端大平 2年 森田幸香 中村桃子 古都紗妃

はじめに

東京の郊外に位置する本校の屋上は、約30km先の都心ビル群や約70km先の富士山まで見通しがきくが、街明かりに囲まれて明るく、見える星が少ない。天の川銀河もほとんど認識できない。夏の合宿先である入笠山（長野県富士見町）と比べると大変明るく、街明かりが夜空の明るさに大きく影響することを実感している。そこで天文気象部では、2021年から本校屋上の夜空の自動撮影を開始し、雲による街明かりの反射が夜空の明るさに大きく影響を与えることを明らかにしてきた。本研究は、その結果が、街明かりで夜空の明るさが増し天体観測を妨げる「光害(ひかりがい)」に結びつくと考え、光害を可視化した天文学における街明かりの問題点を明らかにすることを目的として分析を行った。先行研究では、クラスタリングを用いて夜空の明るさの独自の5段階の階級を作成し、それによって街明かりや雲による影響の分析を行った。本研究では街明かりの大きさや電灯の種類と夜空の明るさの関係に特に着目し分析を行った。

光害とは

照明の設置方法や配光が不適切で、景観や周辺環境への配慮が不十分なおこる周囲の住民や動植物への悪影響、星がみえにくくなるなどの影響(環境省)

先行研究

2019, 2020年
本部が開発した視程観測装置により2020年12月~翌4月の夜間1時間ごとに都心方面と郊外方面の定時撮影をし、夜空の明るさの程度をグラフ化した(図1)。ここから、都心方面、地表付近が明るいこと、雲の増加に伴い夜空の明るさが増大することが分かった。

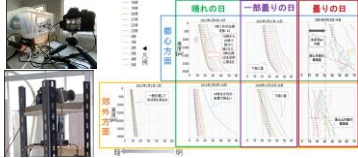


図1: 観測機器と先行研究で作成したグラフ

2021年
グレースケール化した撮影画像を時刻ごとに一年分並べグラフ化した。グラフでは青から黄にかけて明るく表される。これにより、雲が多い天候では夜空の明るさが増大し、冬季が暗いのは快晴の日が多いためだと考えられた。(図2)

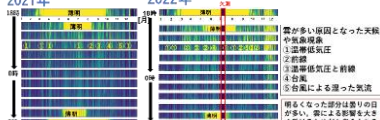


図2: 先行研究で作成した二年分のグラフ

2022年
クラスタリングにより客観的な明るさの階級を作成し、それに基き郊外方面の画像を分類した(図3)。ここから、時刻ごとでは2~3時、月ごとでは冬季に夜空が最も暗いことが分かった。

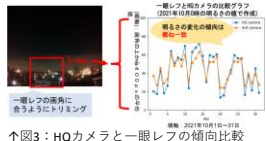
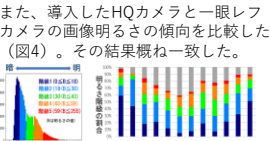


図4: クラスタリングを用いた階級分け

研究方法

I. デジタル一眼レフを用いた観測

Raspberry Piで制御した一眼レフカメラ2台を富士山・都心方面に向けて設置し(図5)、毎日18時~5時の1時間おきに自動撮影した。

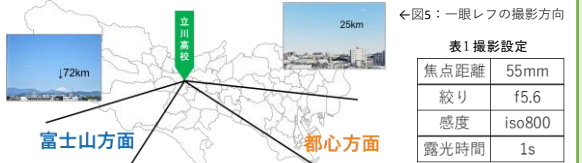


図5: 一眼レフの撮影方向

表1 撮影設定

焦点距離	55mm
絞り	f5.6
感度	iso800
露光時間	1s

II. SQM-Lを用いた観測

SQM-L(Sky Quality Meter)とは夜空の暗度を平方秒角あたりの等級で測定する機械である。18時から朝6時までで仰角0~90度の10度ずつ、8方位を測定することで全天の明るさを調査した。先行研究の本校屋上からの2夜に加え、同地点から2夜、山岳部である長野県入笠山で1夜計測した。



図6: SQM-L

III. HQカメラを用いた観測

一眼レフカメラより安価に購入できるRaspberry Pi専用のカメラであるHQカメラ(High Quality Camera)を用いて、天頂方向の自動撮影を行った。

図7: 天頂へ向けたHQカメラ

I. 一眼レフによる分析

①雲やエアロゾルによる影響

雲による影響を調べるため、画像処理ソフト「image J」を用いて1画素ごとの明るさに基づき着色したところ(図8)、曇りの日は遠景の低い雲の部分が明るくなっていた。ここから、雲による街明かりの散乱の影響が考えられる。また、図8では色の認識に差異が生れるため、3次元で表すことにより解決した(図9)。

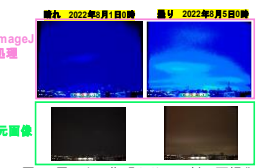


図8: 雲による街明かりの反射の可視化

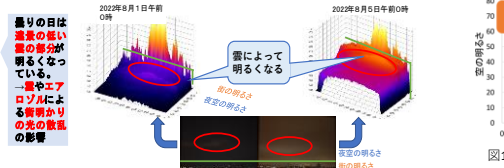


図9: 高度ごとの街明かりと夜空の相関

③夜空と地上の明るさの関係

画像を夜空と地上でトリミングし、それぞれ遠景の明るさの平均値を求め、諸条件との相関をグラフ化した。まず、天候との関係は、晴れの日より曇りの日が明るくなること分かった(図13)。ナイターとの関係は、ナイター無、水銀灯、メタハラの順で地上部の明るさが増大していくことが分かった(図14)。

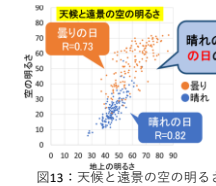


図13: 天候と遠景の空の明るさ

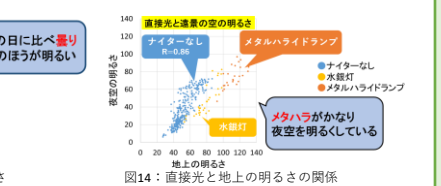


図14: 直接光と地上の明るさの関係

②直接光による影響

昨年9月、本校校庭の夜間照明(ナイター)が水銀灯から、その約2倍明るいメタルハイドロランプに変更されたこと、"image J"を用いて各照明による影響の比較を行ったところ(図11)、メタハラ交換後の方が夜更が明るく、建物の反射光も増大していた。明るさの階級でも比較をすると(図12)、メタハラの方が二段階明るいことが分かった。



図10: 水銀灯とメタルハイドロランプ

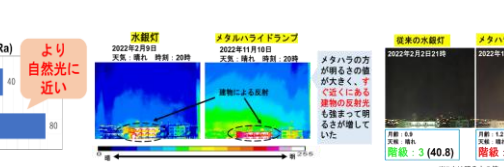


図11: ImageJによる可視化

④郊外方面と都心方面の比較

明るさ階級を用いて、郊外方面と都心方面の画像を分類し、その割合をグラフ化した(図15)。その結果、ともに2~3時が最も暗いが、都心方面の方が明るいことが分かった。



図12: 階級による比較

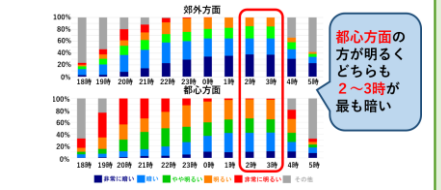


図15: 郊外方面と都心方面の階級の割合

II. SQM-Lによる分析

①全天の明るさ

2021年12月、2022年8月、12月の18~翌6時に毎1時間ごとに本校屋上から8方位仰角10度ごとの夜空の明るさの値をSQM-Lを用いて計測し、Pythonでグラフ化した。グラフは色が濃いほど夜空が暗いことを表している(図16)。各データと各日の周囲の建造物の位置や月の動きと対応させた。ここから、月や建物のある方向は明るくなること分かった(図17)。

次に、長野県入笠山と本校屋上のデータをグラフ化した。その結果、日の出、日の入りの時間帯の明るさは差異が小さいが、夜間は立川が入笠山より圧倒的に明るいことが分かった(図18)。

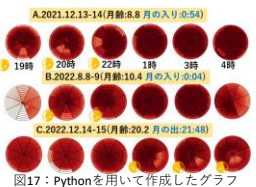


図16: SQMグラフの見方



図17: Pythonを用いて作成したグラフ



図18: 立川と入笠山の全天の明るさ

②天頂の明るさ

本校屋上と入笠山での計測データのうち19時から4時の天頂の明るさの推移をグラフ化した。ここから、20~3時は入笠山の方が急激に暗くなること、時刻による変化の傾向や、天文薄明前後の値はほぼ同じだったこと、そして立川における天頂の値は季節の影響を受けないということが分かった(図19)。

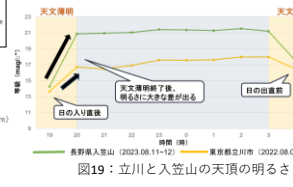


図19: 立川と入笠山の天頂の明るさ

III. HQカメラによる分析

1日の天頂の明るさの推移

Raspberry Piで制御したHQカメラを新たに設置し、今まで観測していなかった天頂方向へ向け、5分ごとに定時撮影を行った。撮影画像をpythonでグレースケールし、画像全体の平均輝度値を出して天頂の明るさとした。そのうち、晴れた4夜分の天頂の明るさの推移をグラフ化した(図20)。



図20: 天頂の明るさの推移

まとめと今後の展望

自作の一眼レフカメラ、HQカメラの撮影装置、SQMを用い、新たな光害の可視化を行った。立川は入笠山より明るく、都心方面は郊外方面より明るいこと、水平と天頂方向のどちらでも付近の照明による影響を与えることが可視化できた。本研究で開始した天頂の明るさの調査について、天気などの条件による違いを分析するために、SQMを用いた計測とHQカメラによる撮影を継続し、比較する。また、LED、HIDライトなどの街明かりのより詳細な分析を行い、都心と富士山方面の比較もデータを蓄積して分析していきたい。

参考文献: 1) 立川高校天文気象部、平岡七海 千葉愛理氏門馬大蔵。『デジタル一眼レフカメラとSQMを用いた夜空の明るさの変化を探る』。2022。天文学会。2) 立川高校天文気象部、大橋佳苗 鈴木美穂。『デジタル一眼レフカメラを用いた夜空の明るさの変化を探る』。2021。天文学会。3) 立川高校天文気象部、浜島悠哉ほか。『夜間観測機器「Clear Sky」』。2019。高校高専気象観測機器コンテスト4) 立川高校天文気象部、平岡七海 吉原達紀 袴田采海 門馬大蔵。『夜間撮影装置「マチノアカリ」で探る東京の光害~街明かりが夜空の及ぼす影響~』。2022。高校高専気象観測機器コンテスト5) 小野樹史郎、デジカメ星空診断ハンドブック、星空公園。6) 夜空の明るさを測ってみよう。環境省、7) 過去の気象データ、気象庁、8) 過去の天気、日本気象協会、9) 立川高校天文気象部、気象観測データ 他

謝辞: 本研究を行うにあたり、本校天文気象部の可長清美先生にご指導をいただきました。また、本校天文気象部OBの樋口陽光氏と浜島悠哉氏(大学3年)にはプログラムの製作や観測機器の製作をご指導いただき、先行研究に携わった本校卒業生の大橋佳苗氏、鈴木進賢氏(大学2年)には、観測機器の操作などについてご協力いただきました。御礼申し上げます。