

岡山大学天文台スカイモニターを用いた
夜空の明るさに関する研究

岡山大学 理学部 地球科学科
05430518 福本佑典

2022/02/10

要旨

岡山大学天文台スカイモニターで撮影された夜空の画像を用いて、2019年7月6日から2021年12月31日の夜空の明るさを評価した。

夜空の明るさは月や雲の影響を強く受ける。月や雲の影響がない夜空の明るさを評価するため、スカイモニターの画像を目で見て月や雲の影響が無いことを確認し、910夜から月や雲の影響のない29夜を抽出した。

一夜のうち、夜空の明るさは、18時から24時で徐々に暗くなり、24時から30時ではほとんど変わらなかった。また、20時から24時の各正時頃に減光率が大きくなる時間帯があった。夜空の明るさは3-5月の春季に明るく、11-1月の冬季に暗くなる、という季節変化の傾向が見えた。

目次

第1章 序論	2
1.1 夜空の明るさ	2
第2章 岡山大学天文台スカイモニター	3
2.1 観測機材	3
2.2 データ処理	5
第3章 解析	6
3.1 夜空の明るさ	6
3.2 月と雲の影響	6
3.3 月と雲の影響のない夜の抽出	9
3.4 夜空の明るさの日変化	11
3.4.1 減光の原因	12
3.4.2 21時頃の減光	12
3.5 夜空の明るさの季節変化	15
第4章 まとめ	17
謝辞	18
参考文献	19

第1章 序論

1.1 夜空の明るさ

大阪や岡山などの市街地で見える夜空と、周囲に街の灯かりがない場所で見える夜空は明るさが全く違う。夜空の明るさが人工光の影響を受けているということは誰でも知っているが、人工光が夜空に与える影響の大きさを定量的に評価してみたいと思い、岡山大学天文台スカイモニターで撮影している空の写真を使って、夜空の明るさを調べることにした。

第2章 岡山大学天文台スカイモニター

岡山大学天文台スカイモニターは岡山大学津島キャンパスにある7階建ての自然科学研究科棟の屋上に設置されている。スカイモニターは2016年10月から定常運用されており、年中無休で、1分毎に24時間空を撮影している。

2.1 観測機材

撮影には市販の広角屋外用防犯カメラ(図2.1)が使われている。このカメラの特徴は、視野の広い広角のカメラであることと、低照度の撮影が可能なことである。使われているセンサーが超高感度であることに加えて、低照度の撮影を可能にする機能が組み込まれている。ひとつは、ゲインの調整である。ゲインとは、センサーが出力する信号を増幅することで、暗いときは自動的にゲインを大きくして撮影がおこなわれる。次はカラー・白黒の自動切替である。暗くなると自動的に白黒に切り替わることで、感度を上げる。また、デジタルスローシャッターという、暗くなるとフレームの積算をおこなって、感度を上げる機能がある。これらの機能によって、スカイモニターは、夜空のように暗いものも撮影することができる。図2.2はスカイモニターで撮影された2020年12月16日0時15分の夜空の画像である。画面の中央やや左下より冬の六角形、中央下部あたりにはオリオン座が写っている。

表 2.1: 広角屋外用防犯カメラ (型番: SJC21B)

イメージセンサー	248万画素 1/2.8 インチ SONY Exmor CMOS イメージセンサー
画角	115度 x 65度
出力解像度	FHD(1920x1080)
最低被写体照度	白黒: 0.0008lux

出典: <https://www.ykmusen.co.jp/cctv/okugaicamera/sjc21bcvbs.html>



図 2.1: 岡山大学天文台スカイモニターのカメラ.



図 2.2: 2020 年 12 月 16 日 0 時 15 分の夜空.

2.2 データ処理

カメラの出力は、ビデオキャプチャアダプタによって 640x480 の解像度で取り込まれる. 明るいときはカラーの 24bit, 暗いときは白黒の 8bit, 640x480 の画像が 1 分毎に保存される.

第3章 解析

解析期間は同一の機材，同一の設定で観測が行われた2019年7月6日から2021年12月31日について，18時から29時59分(翌日5時59分)に撮影された各夜720枚ずつの画像について解析を行った。

3.1 夜空の明るさ

夜空の明るさを定量的に評価するため，本研究はスカイモニターの画像の全画素値の平均を夜空の明るさと定義した。画素というのはデジタル画像を構成する最小の単位で，スカイモニターの画像は640x480個の画素で構成されている。画素値とは各画素に割り当てられた値で，色や濃淡の情報である。スカイモニターの画像の場合，夜間は白黒の8bit，256階調で記録される。画素値の0と255はそれぞれ黒と白を表し，中間の値は黒と白の間の明るさに対応する。したがって，画素値が小さければ暗く，画素値が大きければ明るい，ということになる。

3.2 月と雲の影響

夜空は雲や月が出ると明るくなる。図3.1は2020年12月5日の平均画素値(夜空の明るさ)の時間変化をプロットしたものである。この日は雲がほとんど出ていなかったが，24時頃に月が昇り始め，26時頃からカメラの視野内に月が映り込んだ(図3.2)。月が昇るのに合わせて空が明るくなる様子を確認できる。一方，図3.3は2020年12月11日の夜空の明るさの変化を示した図である。この日は一晩中，雲が風に流されていく様子が撮影されていた(図3.4)。雲が出ると，雲の量が変わるのに合わせて，夜空の明るさは短時間で大きく変動する。

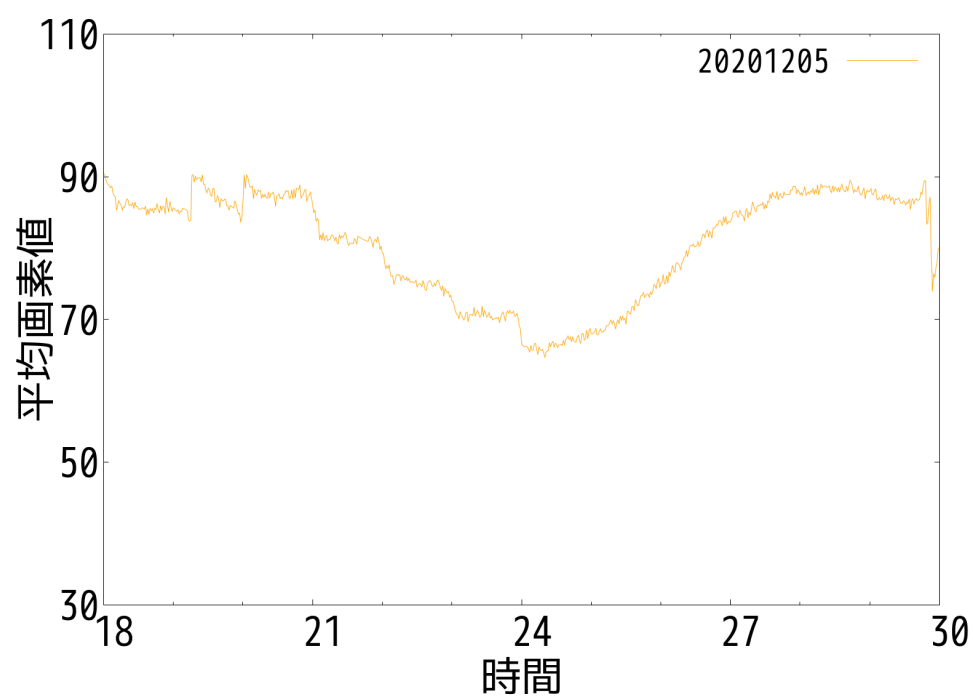


図 3.1: 2020 年 12 月 5 日の夜空の明るさの時間変化. 横軸は時刻で, 30 時は翌日の午前 6 時.



図 3.2: 2020 年 12 月 5 日 26 時の夜空.

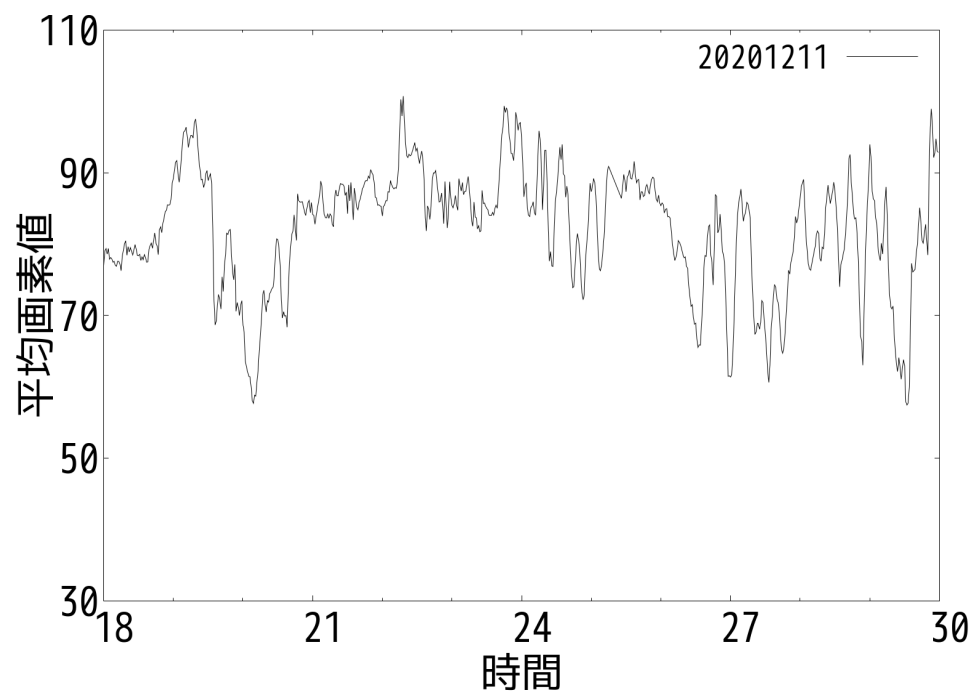


図 3.3: 2020 年 12 月 11 日の夜空の明るさの時間変化. 横軸は時刻で, 30 時は翌日の午前 6 時.



図 3.4: 2020 年 12 月 11 日 22 時 20 分の夜空.

3.3 月と雲の影響のない夜の抽出

月と雲の影響も含めて夜空の明るさとすることもできるが、月と雲の影響がない夜空の明るさを評価するために、月や雲の影響のない夜を抽出することにした。

月や雲は、先述したとおり夜空を明るくする。したがって、月や雲の影響がない夜を抽出するには、明るくない夜を探せば良い。図 3.5 は、典型的と考えられる 3 夜について夜空の明るさの時間変化を示している。図で青色で示している 2020 年 12 月 15 日は雲がほとんど出ていないよく晴れた夜で、黒とオレンジはそれぞれ雲と月が出ていた夜である。このグラフから月や雲が出ていない夜は、月や雲が出ている夜に比べて空が暗いことがわかる。

2019 年 7 月 6 日から 2021 年 12 月 31 日までの 910 夜について、夜空の明るさの時間変化のグラフを目で見て、月や雲の影響がなかった夜を探した。そこで見つかった候補となりそうな夜については、画像を見て月や雲が出ていないことを確認し、月と雲の影響のない夜を抽出した。結果、910 夜から 29 夜が抽出された (表 3.1)。

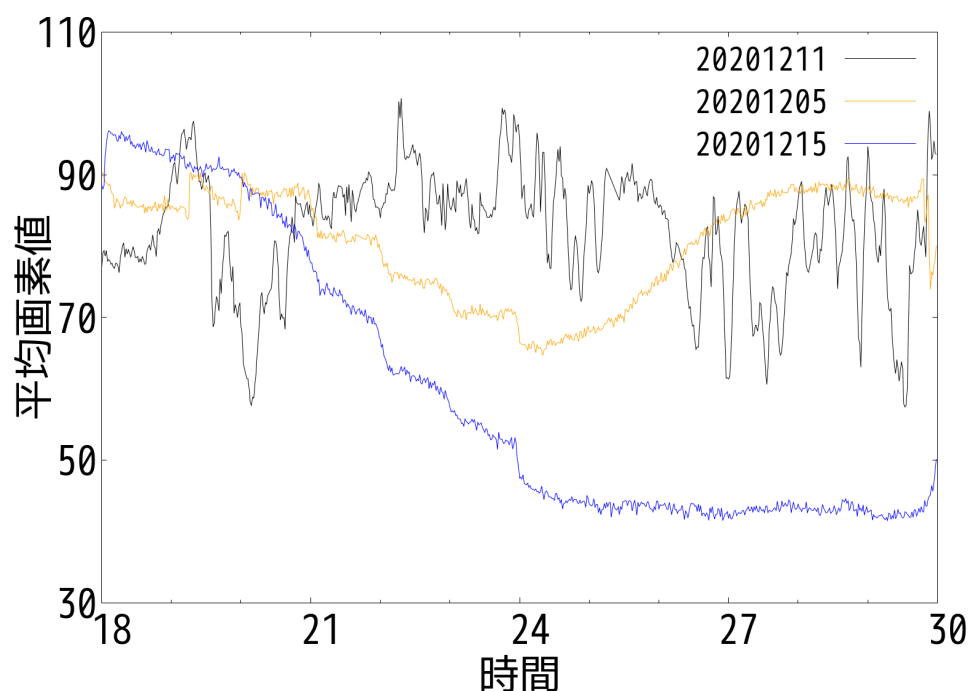


図 3.5: 夜空の明るさの時間変化。横軸は時刻で、30 時は翌日の午前 6 時。橙は月が出ていた夜、黒は雲が出ていた夜、青は月と雲の両方が出ていなかった夜。

表 3.1: 月や雲の影響のない夜

2019 年		2020 年		2021 年	
月	日	月	日	月	日
10	31	01	18	01	08
11	04	02	23	01	17
11	21	03	24	03	10
11	30	04	24	04	05
12	28	04	28	04	06
		04	29	04	14
		08	14	05	09
		08	15	06	09
		11	09	10	01
		11	11	10	03
		11	21	11	04
		12	15		
		12	20		

3.4 夜空の明るさの日変化

夜空の明るさは、日没から日の出まで時々刻々と変化していく。図 3.6 は、雲や月の影響が見られない 2020 年 12 月 15 日の夜空の明るさの時間変化である。

月や雲の影響のない夜空の明るさの時間変化には、特筆すべき特徴が 3 つ見つかった。1 つ目は、18-24 時の前半夜は夜空が徐々に暗くなること。2 つ目は、24-30 時の後半夜は前半夜と異なり夜空の明るさがほとんど変わらないこと。3 つ目は、20 時から 24 時の各正時頃に減光率が大きくなる時間帯があること。表 3.2～表 3.4 は正時頃の減光について、日付と時間を抽出したリストである。正時頃の減光については 24 時頃の減光が最も頻度が高いという特徴が見られた。

加藤 (2015) は福井市自然史博物館で SQM(Sky Quality Meter) を用いて夜空の観測を行い、一晩の夜空の明るさの時間変化を調べた。本研究で得られたのと同様に、(1) 前半夜に空が暗くなっていくこと、(2) 後半夜は空の明るさがあまり変わらないこと、(3) 各正時頃に減光率が大きくなる時間帯があること、といった夜空の明るさの時間変化の特徴が観測されている。

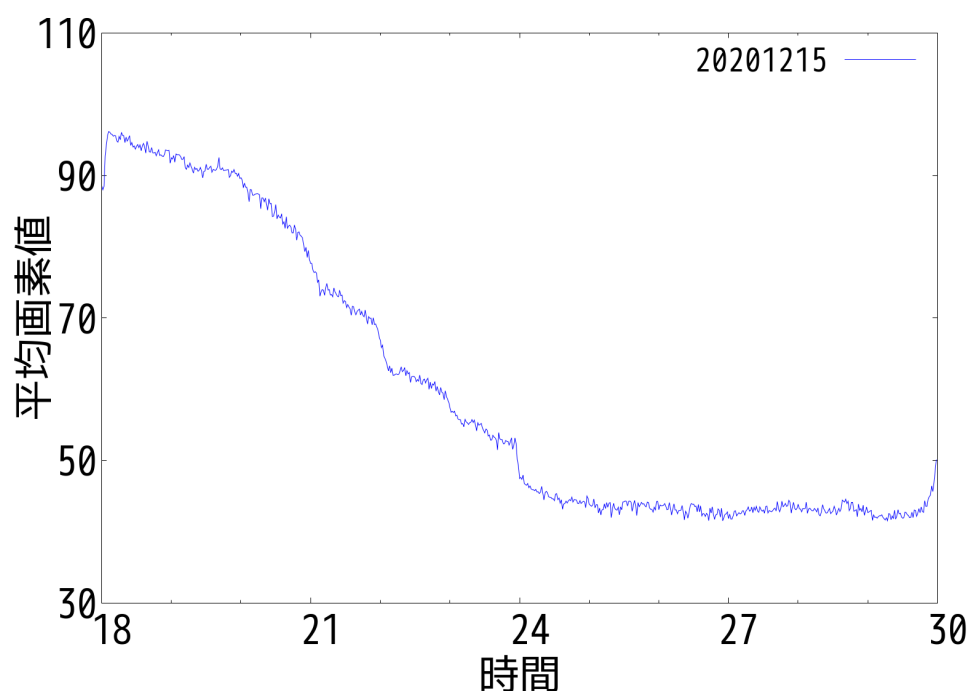


図 3.6: 2020 年 12 月 15 日の夜空の明るさの時間変化。横軸は時刻で、30 時は翌日の午前 6 時。

3.4.1 減光の原因

夜空の明るさが時間変化する原因について、特定することはできていないが、3つ目の毎正時頃に減光率が大きくなることについては、自然現象では説明がつかないように思われ、人間活動に由来するものである可能性が高いと考えられる。正時を営業時間の終了時刻とする店舗が多数あって、終了に合わせて看板などを消灯することが、毎正時頃の減光率を大きくする原因と考えられる。

同様に、前半夜と後半夜の違いも、人間活動の結果と考えられる。夜遅くなるほど、営業している店舗の数は減っていく。それに合わせて人工光は減って行き、夜空の明るさは暗くなっていく。24時以降まで営業する店舗は少ないため、24時以降は人工光の変化がほとんどなくなると考えられる。

3.4.2 21時頃の減光

減光の原因は特定できていないと先述したが、21時ごろの減光についてはその一部について原因が特定されている。毎正時に現れる減光は前後の時間に比べて減光率が大きくなる形で現れるが、21時の減光はそれに加えて1分間に大きな減光がある。

スカイモニターが設置されている自然科学研究科棟の南にはグラウンドがあり、夜間は照明を点灯して運動部が練習しているが、練習時間は21時までとなっており、21時に照明が消される。この照明の消灯に合わせて、スカイモニターで観測される空の明るさが急激に暗くなる、ということが起こっている。

新型コロナウイルスの流行があって運動部が活動を制限されていた期間については、この不連続に空が暗くなる現象がないことを確認しており。このことから、21時頃に見られる不連続な減光は、グラウンドの夜間照明の消灯と考えて間違いない。

表 3.2: 正時頃に減光率が大きくなることが確認された日時 (2019)

2019 年						
月	日	時				
09	04				24	
09	06				24	
09	19				24	
10	04				24	
10	09	21				
10	16			23		
10	22		22		24	
10	31			23	24	
11	05				24	
11	09				24	
11	20	21	22	23	24	
11	21		22	23	24	
11	23	21	22	23	24	
11	28		22	23	24	
11	29	21	22	23	24	
11	30	20	21	22	23	24
12	27					24
12	28	19	21	22	23	24

表 3.3: 正時頃に減光率が大きくなることが確認された日時 (2020)

2020 年					
月	日	時			
01	03				24
01	10	20			24
01	15	19			
01	18		21	22	23 24
01	29		21	22	23
01	30		21	22	
02	17				24
02	23		21	22	23 24
03	16				24
03	24				24
04	24				24
04	25		22	23	24
04	28			23	24
04	29				24
05	13				24
05	28			23	24
06	23				24
06	26				24
08	14		22	23	24
08	15		22	23	24
10	01				24
10	19				24
10	20		22	23	24
11	09		21	22	23 24
11	10		21	22	
11	11		21	22	23 24
11	12		22	23	
11	21		21	22	23 24
11	30		22		
12	05		21	22	23 24
12	15		21	22	23 24
12	16		21	22	23 24
12	19				24
12	20		21	22	23 24

備考
緊急事態宣言：
4月16日～5月14日

表 3.4: 正時頃に減光率が大きくなることが確認された日時 (2021)

2021 年					
月	日	時			
01	07	21	22	23	24
01	08		22	23	24
01	09	21	22	23	24
01	10		22	23	24
01	12	21	22	23	24
02	08			23	24
03	08		22	23	24
03	10		22	23	24
03	30				24
04	05	21	22	23	24
04	06		22	23	24
04	11			23	24
04	14			23	24
04	18				24
04	19				24
05	09				24
06	09		22	23	24
10	01		22	23	24
10	03		22	23	24
11	04	21	22	23	24

備考

緊急事態宣言：

5 月 16 日～6 月 20 日

8 月 27 日～9 月 12 日

蔓延防止措置：

8 月 20 日～8 月 26 日

9 月 13 日～9 月 30 日

備考

緊急事態宣言：

5月16日～6月20日

8月27日～9月12日

蔓延防止措置：

8月20日～8月26日

9月13日～9月30日

出典：<https://corona.go.jp/emergency/>
<https://www.pref.okayama.jp/page/740686.html>

3.5 夜空の明るさの季節変化

図 3.7 はよく晴れた日の 22 時から 27 時の平均画素値を平均して一晩の明るさとしてプロットしたものである。データの数是十分とは言えないが、3-5 月の春季に明るく、11-1 月の冬季に暗い、という傾向があるように見える。夜空の明るさが季節変化しているかどうか、この結果だけから確かなことを言うことはできないが、春に明るくなり冬に暗くなることから、大気中に浮遊するエアロゾル量の季節変化との関係が示唆される。

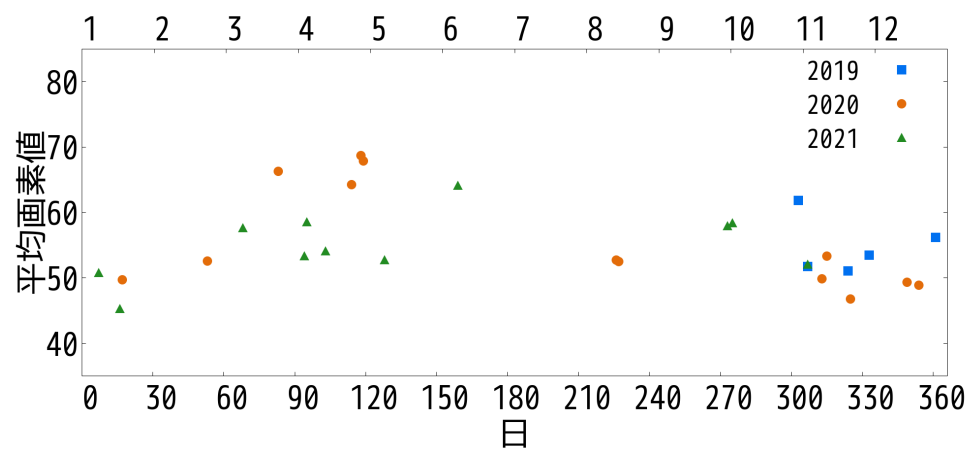


図 3.7: 2019 年から 2021 年の夜空の明るさの季節変化. 横軸は日付で左端が 1 月 1 日, 右端が 12 月 31 日.

第4章 まとめ

2019/07-2021/12 の期間で岡山大学天文台スカイモニターを用いて岡山の夜空の明るさを測定した。一晩の夜空の明るさは、18時から24時の前半夜で徐々に暗くなり、24時から30時の後半夜でほとんど変わらなかった。また、20-24時の各正時頃に減光率が大きくなる時間帯があった。夜空の明るさの季節変化は、3-5月の春季に明るく、11-1月の冬季に暗くなる、という傾向があるように見えた。季節変化は大気エアロゾル量の季節変化を反映している可能性があると考えられる。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご指導いただきました指導教員であるはしもとじょう教授に心より感謝いたします。

参考文献

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 第 62 号, ページ: 13-16