

夜空の明るさの高度変化と限界の暗さ

東筑紫学園高等学校 理科部

(高3)川口 史恵 坂本 直樹 畠山 貴紗子
(高2)伊藤 渚
(高1)本田 陸人 藤井 悠野 湖平 元彌

1. はじめに

12年にわたる観測の結果、「夜空の明るさ」は様々な気象状態や、SPM・光化学オキシダントなどの、目に見えない環境汚染物質に強く影響されることを証明した。

しかし、私達が得ているデータは“地表付近”のものなのに、夜空の明るさに影響している。そこで2006年、下関海峡マリメッセでの垂直変化の観測の結果、「夜空の明るさ」は、はるか上空で決まっておらず、『地上から数百m以内で決まっている』ことが分かった。

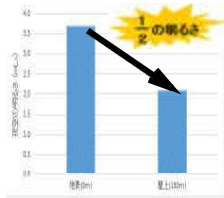


図1. 夜空の明るさと高低差

また、現在日本で最も暗い夜空の明るさの値は、冷却CDカメラの写真解析より、 $24.40 \text{ mag}/\square$ である。北部九州で最も暗い値を求めて、2013年にスカイクオリティメーターを用い、北九州市から約45km離れた、標高が高い英彦山で観測を行った。しかし気象条件が悪く、明るい結果になった。さらに、山頂でも北九州市の明かりの影響が見られた。



図2. 英彦山と北九州市

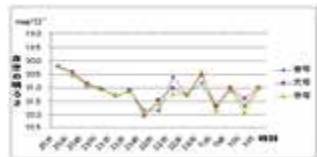


図3. 英彦山山頂での定点連続観測

今回は北九州工業高等専門学校と協力し、夜空の明るさの垂直方向への連続観測を行った。また、英彦山周辺の夜空の明るさマップを製作し、限界の暗さを探るため、最も暗い値が観測された地点で定点連続観測を行った。

2. 観測機器(スカイクオリティメーター)

図4は観測に使用しているスカイクオリティメーター(SQM)である。原理は角度 20° の光の円錐形の $1/2 (10^\circ)$ をスキヤニングして、光子をカウントする。そして、これを平方秒角あたりの等級[mag/ \square]で数値化する。また、SQM-LEはコンピュータに接続することによって、自動的にデータが蓄積されるようになっている。



図4. スカイクオリティメーター

3. 夜空の明るさの高度変化

2006年の下関海峡マリメッセでは、地上(0m)と屋上(150m)の2点で観測し、夜空の明るさが半減することを証明した。

2012年にイベントを行った際、北九州高専が気球を出展していた。この気球を使ってなら垂直方向の連続した夜空の明るさデータを観測できると考え、北九州高専と共同で観測を行った。

観測には図5の気球を用い、SQM-LE、北九州高専自作のマイコン、気圧センサーを搭載した。気球には強度が最も強い釣り糸を800m分取り付け、北九州空港からの夜間飛行の条件として、サイリウムを装着している。



図5. 観測に使った気球

2014年6月29日と30日に、北九州高専グラウンドで高度300mまでの観測を行った。図6よ

り、高度が上がるほど夜空が暗くなっていく。高度約200mでデータがばらついてるのは、気球がゆらされたからである。高専のグラウンドは海拔50mに位置しており、高度50m~320mまでのデータから、最小二乗法で変化率を算出すると $0.29 \text{ mag}/\square/100\text{m}$ だった。

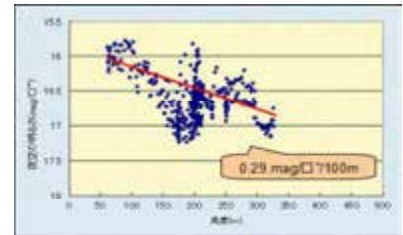


図6. 6月30日に高専で行った300mの結果

次に、7月29日に高専で高度800mまでの観測を行った結果を示す。高度300m以上の観測をする際、航空機の航路に

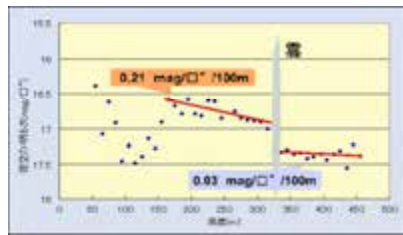


図7. 7月29日に高専で行った800mの結果

影響を及ぼす可能性があるため、北九州空港に申請書類を提出し、許可をいただいて観測を行った。しかし、台風や強風などの悪天候に阻まれ観測が中止になるなど、3回も申請をやり直して、ようやく観測をすることができた。しかし、風に流されて横方向に糸を使い、リールを800m上げたのに高度が450mになってしまった。

ここで、160mから450mまでの変化率を算出すると、 $0.33 \text{ mag}/\square/100\text{m}$ であった。450m上げた場合でも、高度が上がるにつれて夜空の明るさは徐々に暗くなっている。これは、夜空の明るさへの地表の光からの影響が、徐々に減少していることを示している。さらに、高度330m付近で明るさが急激に暗くなっている。気球が雲の上に出たからで、雲の上の変化率を算出すると $0.03 \text{ mag}/\square$ になっていた。このように雲の上は地表の光の影響がないことを数値化したのは、私たちが世界で初めてかもしれない。

2012年に製作した「北九州1/5万等光度曲線地図」によれば、北九州高専周辺



図8. 気球から空撮した市街地

の夜空の明るさは、18.50 mag/□"程度で、市街地では比較的暗い値である。そこで、17.00 mag/□"程度の、市街地中心に近い三萩野公園で観測を行った。公園を使用するため、区役所に使用の許可申請証を提出したが、これも台風などの悪天候で観測できず5回も申請をした。やっと観測できた日の天候は晴れで、雲量は0、風速は0.2 m/sと最適な観測日だった。

その観測結果が図9である。地上から100mまでは、公園の隣にあり、横方向を向いているテニスコートの照明（1kW×100基）の影響により、夜空の明るさは明るくなっている。100mから260mまでで垂直変化率は0.52 mag/□"/100mであり、北九州高専での結果よりも大きい変化率が得られた。このことから、夜空の明るさの垂直変化率は、地表の光が強いほど大きくなることが分かった。

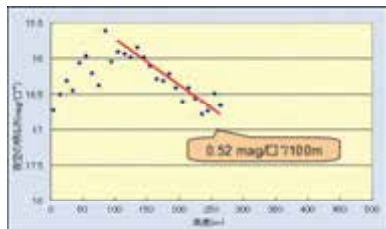


図9. 10月14日三萩野公園での観測結果

4. 夜空の明るさの限界の暗さ

英彦山周辺の夜空の明るさを地図で可視化し、暗い場所を割り出した。そして、経時変化を考慮して定点連続観測を行い、限界の暗さを狙って観測を行った。5月31日と10月24日の観測から製作した等光度曲線地図を図10に示す。

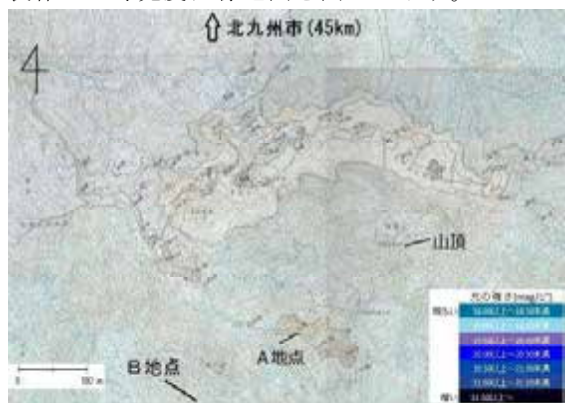


図10. 英彦山周辺の等光度曲線地図

その結果、北九州市に対して英彦山の山影となるA地点で、22.19 mag/□"という今までの観測の中で最も暗い値を観測できた。英彦山の南東に位置する槻木では、21.57 mag/□"と日田の街の影響が見られ、夜空は明るくなった。そのため、北部九州で最も暗いのは福岡市、北九州市、そして大分市からほぼ同じくらい離れており、英彦山の影になるA地点だとみなし、そこで定点連続観測を行うことにした。

10月24日に、A地点で定点観測を行うおとしたのだが、途中の道が通行止めで、予定地点で観測することができなかった。そのため、急遽B地点で観測を行ったが、水蒸気量の影響で最高でも21.14 mag/□"しか観測できなかった。結果、最も暗い値は22.19 mag/□"であった。

2013年の埼玉で開かれた光害シンポジウムにおいて、星空公団の小野間さんから、24等級以上の夜空の明るさは存在しないのではないかというお話をいただいた。これは、地球が大気光を発生しており、その明るさは23等級程度であるからようだ。

そこで、私たちの先輩が発足させた「夜空の明るさ全国ネットワーク」の、全国各地の夜空の明るさのデータ、Dark Sky Associationが世界でSQMを用いて観測した公開データから、世界で最も暗い夜空の明るさを調べ、ランキング表を作った。

表. 世界の夜空の明るさランキング

地域名(国名)	観測年	値 (mag/□")	標高 (m)	現地時間	湿度	観測団体	
チリ(チリ)	2013	25.00	197	22:40	3	GaN	
チリ(チリ)	2013	25.00	3227	19:00	3	GaN	
1位	コロンビア(チリ)	2012	24.02	197	22:40	0	GaN
2位	ハワイ(ハワイ)	2012	24.00	3027	19:00	0	GaN
3位	フィリピン(フィリピン)	2011	23.76	2041	23:30	0	GaN
4位	チリ(チリ)	2012	23.96	43	22:00	0	GaN
5位	チリ(チリ)	2010	23.73	4007	22:00	0	GaN
6位	チリ(チリ)	2010	23.00	208	19:12	0	GaN
7位	チリ(チリ)	2013	23.00	37	20:05	0	GaN
8位	チリ(チリ)	2012	23.00	1840	22:04	0	GaN
9位	チリ(チリ)	2009	22.89	69	22:30	0	GaN
10位	チリ(チリ)	2013	22.76	216	23:10	1	チリ(チリ)
11位	チリ(チリ)	2014	22.19	705	0:45	1	チリ(チリ)

(GaN:GLOBE at Night)

これを見ると世界で最も暗いのは、チリのコロンビアで観測された24.02 mag/□"という値だ。また、英彦山で観測された値はアジアで第3位、日本で第2位になっており、世界的にも暗い値だと分かった。

図11は全夜の状態に合成された地球の真夜中の真ラランキンングと見比べると、上位にある国は地球中でも、光があまり見られない。つまり、人工の光が夜空の明るさに大きく影響を及ぼしていることが分かる。ちなみに空位の値は、観測地点が市街地の真ん中にあるのに25.00 mag/□"が得られているなど、SQMの故障か、観測者の心の故障と考えられる。



図11. 人工衛星から撮られた夜の地球

5. おわりに

北九州高専と協力し、気球を使った夜空の明るさの垂直方向の連続観測を行い、高度が高くなるにつれて夜空の明るさが暗くなることが分かった。また、英彦山周辺の等光度曲線地図を製作し、最も暗い場所で定点観測を行った。結果、22.19 mag/□"という値が得られ、これはアジア第3位、日本第2位の値であった。

今回の垂直変化の観測では、高度450mまでしか値を得ることができなかった。今後は、地表の光が高度何mまで夜空の明るさに影響を与えるのか解明していきたい。さらに、全国各地のデータを集め、私たちも様々な場所での観測を続け、光害の啓発ができることを願っている。

6. 謝辞

北九州高等専門学校の滝本先生および研究室の方々、気球観測については多大なご協力を頂きありがとうございます。「夜空の明るさ全国ネットワーク」には、各地のデータを提供していただき、感謝いたします。

7. 参考文献 (一部)

- ・東筑紫学園高等学校・照曜館中学校理科部(2010)
: 第22回「星空の街・あおぞらの街」全国大会
環境大臣賞受賞記念号 77pp.
- ・DarkSkyAssociation
: www.darksky.org (参照日:2014年12月11日) 他