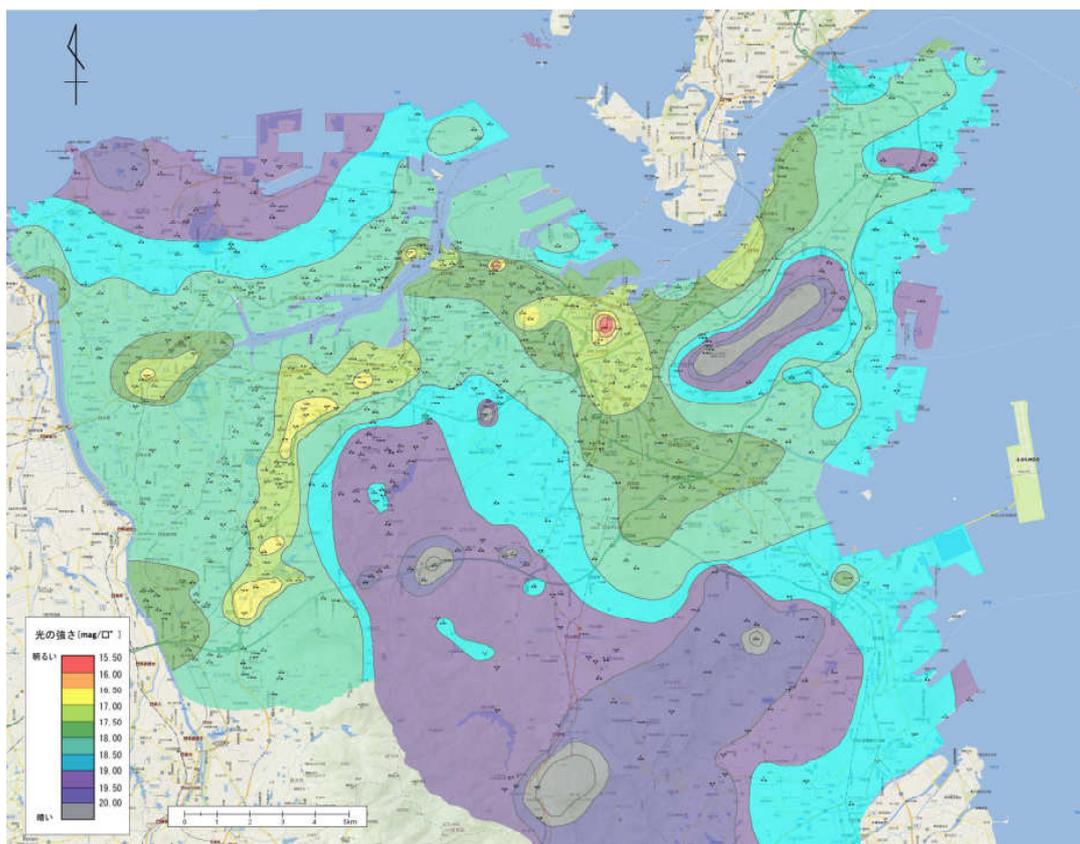


北九州 1 / 5 万等光度曲線地図 の 完成 + 夜空の明るさ と 黄砂 (予察)

2012h24.2.5.



東筑紫学園高等学校
照曜館中学校
理科部

はじめに

今回の調査は、2000年の九州高等学校生徒理科(物理・地学)研究発表会で、先輩が「昼間に見える星」というテーマで発表したものを受け継いだものである。市街地では夜になっても星を綺麗に見ることができない。この“光害”に関心を持ち、現在、私達は市販されているスカイクオリティメーター(SQM)を用いて夜空の明るさの観測を行っている。また、北九州市における等光度曲線地図の製作などの観点から、“光害”について調べようと思う。

図1は、人工衛星から撮影した世界の写真で、これは全て夜の状態で合成されたものである。この中で、日本列島はその姿形をはっきりと浮かびあがらせていることがわかる。私達は、光があるおかげで、暗い夜も昼間と同じように生活することができる。光とはとても便利なものである。しかし、日本がこんなに浮かび上がるほどの光が本当に必要なのだろうか。



図1. 夜の地球の衛星写真

また、図2は『車中泊まとめwiki』での天体観測、光害マップで公表されている九州地方の光害マップである。私達の住む北九州市は光害の影響を強く受けていることが分かる。影響が強い、つまり街の明かりが多いということは、夜空も明るくなっており、星があまり見えなくなる。そして逆に、街の明かりが少ない、図中の色が濃い地域では星をきれいにすることができる。図2では全体的に明るい北九州市だが、もちろんその中には明るい地域や暗い地域が存在する。私達が製作している等光度曲線地図は1/5万の縮尺であり、私達の住宅周辺の明るさが分かるほどの精度を誇っている。



図2. 九州地方の光害マップ

これまでの研究で私達は「夜空の明るさ」を、LEDを使用した自作機器の電流値から数値化することに成功した。現在では、市販されているスカイクオリティメーターを使用している。そして、10年にわたる観測の結果、「夜空の明るさ」は、雲量、湿度、水蒸気量、加えて気温、風速など、様々な気象状態と極めて密接な相関があることが分かった。それだけではなく、浮遊粒子状物質であるSPMや光化学スモッグの原因物質の光化学オキシダントなど、目に見えない浮遊物質にも影響されることを証明した。そして「夜空の明るさ」は、はるか上

空で決まるのではなく、地表～数百mで決まっていると結論づけた。

以上のことをふまえた上で、2008年から北九州市周辺の「夜空の明るさ」を可視化した等光度曲線地図製作を開始し、今年、北九州市全域の1/5万等光度曲線地図が完成した。また、等光度曲線地図を時間で補正するために、時間の変化率を求めた。

また、長崎国立環境研究所や福岡大学から頂いた黄砂データなどをもとに、近年話題になっている中国から飛来してくる黄砂と「夜空の明るさ」の相関関係を調査している。非常に興味深い相関が得られている。しかし、考察するにあたりデータが不十分な点があるので来年の黄砂の飛来シーズンを狙い、スカイクォリティーメーター（SQM-LE）を使った長期間の観測を行う予定である。



1999年5月5日 平尾台でのキャンプ

自作機器を用いた観測の様子

目 次

はじめに

目次

1. 光害とは	P. 1
2. 観測機器について	P. 2
2-1 自作機器	P. 2
2-2 スカイクオリティメーター (SQM)	P. 2
2-3 自作機器の値とSQMの値の比較	P. 3
3. 北九州市における1/5万等光度曲線地図の完成	P. 4
3-1 1/5万等光度曲線地図の製作	P. 4
① 2008年7月7日、8月6日の結果と考察	
② 2009年1月28日、3月1日、4月28日の結果と考察	
③ 2010年8月6日の結果と考察	
④ 2011年7月30日の結果と考察	
⑤ 2011年8月31日の結果と考察	
⑥ 2011年10月27日の結果と考察	
3-2 まとめ	P. 6
4. 夜空の明るさの経時変化	P. 7
① 2009年8月 北九州市小倉南区石原町の経時変化	
② 2011年8~10月 北九州市内7ヶ所の経時変化	
③ 人工的な光源の経時変化	
④ まとめ	
※最小二乗法	
5. 夜空の明るさと黄砂(予察)	P. 11
5-1 観測方法	P. 11
5-2 観測結果、及び考察	P. 11
① 定点連続観測における夜空の明るさと黄砂の比較	
② 徹夜観測における夜空の明るさと黄砂の比較	
5-3 まとめ	P. 14
6. 今後の課題	P. 15

夜空の明るさと、さまざまな気象条件および環境指標(参考)・・・・・・・・P.16

- ① 夜空の明るさと湿度
- ② 夜空の明るさと気温
- ③ 夜空の明るさと水蒸気量
- ④ 夜空の明るさと雲量
- ⑤ 夜空の明るさと風速
- ⑥ 夜空の明るさとSPM
- ⑦ 夜空の明るさと光化学オキシダント
- ⑧ まとめ

ホームページについて・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・P.20

おわりに

参考文献

付図 北九州市における1/5万等光度曲線地図 2011年度版



**2009年9月9日 マレーシア、シンガポールへの修学旅行
マレーシア、クアラルンプールKLCCツインタワー前にて
SQMを用いた夜空の観測風景**

自作機器はテロ対策のため、持っていくことを断念した。
周囲にほとんど暗いところがなく、観測に苦勞した
クアラルンプールは、人口約150万人の大都会だった。

1. 光害とは

街灯などの照明は、私たちが夜道を歩いている時も昼間と同じように照らしてくれ、夜間の生活を助けてくれる。しかし、一方では多くの照明はまぶしさの原因になり、視認性を阻害し、星がよく見えなくなる。また、コンビニエンスストアの明かりにカナブン等の虫が来て、本来死ななくてよい虫が死んでしまうなど、動植物への関連に影響が出る。さらに夜型の人間が増えるなど、私達の生活にも大きく影響を与えている。いってみればこれは光害ではなかろうか。

※光害（ひかりがい）

過剰な照明やパチンコ店のネオンなどの膨大な量の光が、図3のように空気中の分子や塵によって散乱・反射することにより、本来必要な地上ではなく、宇宙にも光が向けられる。その結果、夜空の明るさが増す。これにより、星空観察が困難になったり生態系に悪影響が及ぶことを、光害と言う。

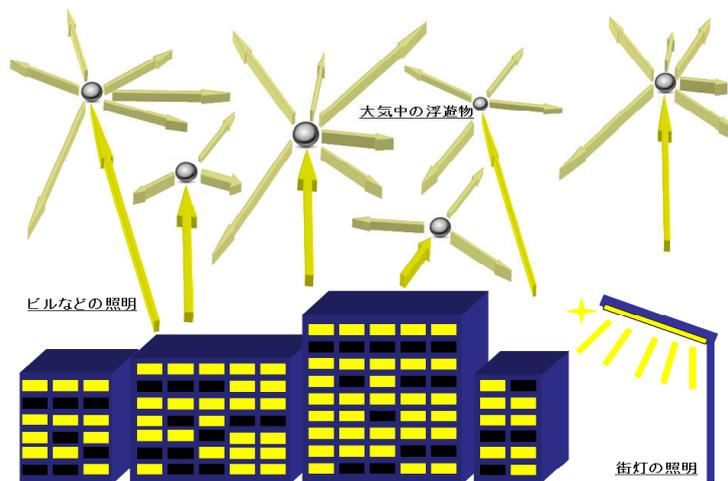


図3. 光害の様子

大気中の浮遊物質が多いほど光の散乱、反射が多くおこり、明るくなる。また、光害に最も影響がある光は、水平から上に約5度の角度で出る光とされており、まっすぐ上に向かう光の3倍～4倍、大気で散乱または反射され、夜空が明るくなる原因になる。つまり、人の目にまぶしい横方向の光を無くさない限り、光害の改善は難しい。

次に、夜空が明るいのは街の光だけに原因があるのではない。空中に浮遊する様々な物質も大きく影響している。例えば、SPMや光化学オキシダントである。SPMというのは、工場や車から排出される、直径 $10\mu\text{m}$ 未満の目では見ることのできない浮遊粒子状物質のことである。また、光化学オキシダントは二酸化窒素や炭化水素が日光中の紫外線に反応して生成される物質で、光化学スモッグの原因物質である。このSPMや光化学オキシダントの量が多ければ多いほど、地上からの光を散乱または反射し、「夜空の明るさ」は明るくなると考えられる。

2. 観測機器について

2-1 自作機器

私たちの観測機器は、夜空の明るさを測定するためのものである。この機器は大きく分けて3つの部分(①LED電流調節部 ②観測パイプ③電流測定部)から構成されている。また、スカイクオリティーター(SQM)の視野角が 20° であるのに対し、私たちの自作機器の視野角は 7° と非常に狭いのが利点である。しかし、観測する際に時間がかかってしまう。その上、自作機器の単位はmLxなので全国スターウォッチングネットワークの夜空の明るさと比較することができなかった。

以上のような理由から、2011年8月をもって自作機器の使用はとりやめた。現在の観測には下のスカイクオリティーター(SQM)を使用している。



図4. 自作機器

2-2 スカイクオリティーター(SQM)

2006年春、図5のスカイクオリティーター(SQM)という機器が販売された。この機器はアメリカのUnihedron社が制作、国際光器が輸入、販売している。通信販売で¥19,800で購入でき、夜空の明るさを数値化する事ができる機器である。

2006年当時、こんなに安くて正確な値が得られるのか不安であったが、私達の自作機器とスカイクオリティーター(SQM)の性能比較を行うためにこの機器を購入した。スカイクオリティーター(SQM)とは夜空のバックグラウンドレベル(背景の暗度)を測定するための機器である。原理は角度 80° の光の円錐形の $1/2$ (40°)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で数値化する。



図5. スカイクオリティーター

現在はスカイクオリティーター(SQM-L)が¥24,800で販売されている。これはスカイクオリティーター(SQM)の視野角 80° であるのに比べ、視野角 20° と狭くなり、さらに細かく観測することが可能になった。また、¥34,800でスカイクオリティーター(SQM-LE)も販売されている。これはパソコンにつなぐことで24時間観測することができる。そのため、観測者が毎時間ごとに観測する必要がなく、特定した視野での観測ができるため、私たちは経時変化率の研究に用いている。

さらに、スカイクオリティーター(SQM)の場合は観測時にかかる時間が短くて済む。これは、限られた時間の中で多くの観測地点を必要とする等光度曲線地図の観測に向いていると考えた。そこで、定点連続観測で自作機器の値とスカイクオリティーター(SQM)の値を比較した。その結果、実用レベルにあると判断し、2008年度より等光度曲線地図の観測に使用することにした。

また、この機器のメリットは単位が mag/\square'' であるため、全国スターウォッチングネットワークの夜空の明るさとの比較検討することが可能になった。そのため夜空の明るさに関心、興味を持ち東筑紫学園理科部と協力してくれる学校が増えた。

2-3 自作機器の値とSQMの値の比較

図6は、小倉北区黒原で2007年4月7日～4月12日に観測した自作機器の値と、スカイオリティメーター（SQM）の値の引数をグラフ化したものである。スカイオリティメーター（SQM）の値は、夜空の明るさを平方秒角あたりの等級で表示しており、単位は mag/□" である。

図6のグラフは、比較のため、ある定数(20)よりスカイオリティメーター（SQM）の値をひいたもので表示している。

このグラフにおいては、自作機器の値が大きくなるとスカイオリティメーター（SQM）の値の引数も大きくなり、逆に自作機器の値が小さくなるとスカイオリティメーター（SQM）の値の引数も小さくなる。このように自作機器の値とスカイオリティメーター（SQM）の値の引数には強い相関が認められる。よって、スカイオリティメーター（SQM）は実用レベルであるといえる。

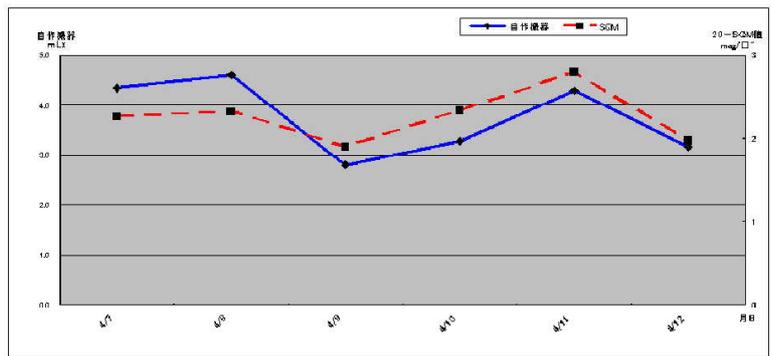


図6. 自作機器とSQMの比較

3. 北九州 1 / 5 万等光度曲線地図の完成

等光度曲線地図の製作は2008年に開始した。そしてついに2011年、北九州市7区すべての1 / 5 万等光度曲線地図を完成させた。このような地図を製作したのは私たちが日本で初めてであり、恐らく世界でも初の試みであろう。

3-1 1 / 5 万等光度曲線地図の製作

より精密な各地同日観測を行い、夜空の明るさに影響する大気中の浮遊物質の分布を調べるために、観測時間が1箇所につき1～2分程度しか掛からないスカイクォリティーメーター（SQM）を使用した。

2008年7月7日、8月6日、2009年1月28日、3月1日、4月28日、2010年8月6日、2011年7月30日、8月31日、10月22日の計9回、それぞれ各地同日観測を行った。夜空の明るさは、第1に月の明るさ、第2に雲量が影響するため各地同日観測の日程は、新月に近く、雲量が少ない日を選び観測を行っている。

観測は、顧問の車または自転車を移動手段とし、2～3ルートに分かれて行った。右の表は観測日付と観測地点数を表している。観測地点は、2008年7月7日に76箇所、8月6日に96箇所、2009年1月28日に126箇所、4月28日に117箇所、2010年8月6日に58箇所、2011年7月30日に127箇所、8月31日に154箇所、10月22日に140箇所、12月27日に12箇所、2012年1月20日に33箇所の、総計1,021箇所を観測を行った。

次に観測点のうち約35%の重なった所を比較して、観測した日によって生じた差の平均値を基準とし、観測数値の差を補正した。重複点数が300箇所近くあることから、より精密な等光度曲線地図を作れたと思う。

さらに、観測中の時間差による夜空の明るさの変化について補正を加えた（4-1 経時変化参照）。右の表は、基のデータによる明るさの違う場所における、10分ごとの経時変化率である。

夜空の明るさは時間が経つにつれて変化するので、21時を基準とし次のように計算した。

21時以前の観測点は

観測した数値 + (21時 - その時の時刻) ÷ 10分 × 経時変化率

21時以降の観測点は

観測した数値 + (その時の時刻 - 21時) ÷ 10分 × 経時変化率

これを、1箇所ずつ計算し、補正を加えた。

補正した観測データを地図上に落とし、数値から1 / 5 万地形図に夜空の明るさをプロットし、等光線をひいた。

表1. 観測日付と観測点数

日付	観測点数
2008年 7月 7日	76箇所
8月 6日	96箇所
2009年 1月28日	126箇所
3月 1日	82箇所
4月28日	117箇所
2010年 8月 6日	58箇所
2011年 7月31日	127箇所
8月31日	154箇所
10月27日	140箇所
12月27日	12箇所
2012年 1月20日	33箇所
合計	1,021箇所

表2. 明るさの違いによる

経時変化率

夜空の明るさ (mag/□")	経時変化率 (mag/□"/10min)
～17.50	0.04
17.50～19.00	0.03
19.00～	0.02

① 2008年7月7日、8月6日の結果と考察

2008年7月7日、8月6日は八幡東西方面、小倉南区、小倉北区方面の観測を行った。初回の2008年7月7日は、環境省主催の20～22時の間に街の電気を消そうという「CO2削減／ライトダウンキャンペーン」に合わせて観測した。また、キャンペーンが行われてない日の夜空の明るさの等光度曲線地図を作るために、2回目は7月7日と同じ月齢の8月6日に行い、ライトダウンキャンペーンと比較ができるように実施した。

2008年7月7日と8月6日の観測結果を比較すると、7月7日は8月6日より約1 mag/□"数値が暗かった。つまり、7月7日は8月6日の約2.5倍暗かったと言える。他に片野近辺や

茶屋町近辺のように、ライトダウンキャンペーンの影響を大きく受けたと思われるデータも存在するので、ライトダウンキャンペーンは大成功だといえる。しかし詳しく調べると一概には言えそうにない。

7月7日の観測結果は8月6日に比べて光化学オキシダントの量が極端に少なくSPMも平均的に少なかった。また7月7日は雲量がなく快晴だったのに対し、8月6日は北九州全体に薄い雲がかかっていた。よって、ライトダウンキャンペーンで光源が少なかったことで夜空が暗くなっただけとは断定できない。

②2009年1月28日、3月1日、4月28日の結果と考察

2009年1月28日に門司方面、3月1日に小倉北方面、4月28日に小倉南方面の観測を行った。その結果、従来の観測の傾向通りに暗い数値は郊外に、明るい数値は小倉の市街地に集中した。戸畑区、八幡東区は全体的に夜空の明るさが18台であるが、戸畑区の九州工業大学付近や八幡東区東山などからの光が影響していた。これは周辺の住宅街や道の影響と考えられる。また、①2008年8月6日までの観測では平尾台が群を抜いて暗かったが、今回のデータで門司区の山中も同じ程度に暗いことがわかった。

③2010年8月6日の結果と考察

2010年8月6日に戸畑区、河内方面の観測を行った。戸畑区若戸大橋周辺で観測したところ、最も明るく14.10 mag/□"と、市街地である小倉よりも非常に明るい結果が得られた。その原因として、観測する際に、スカイクオリティメーター（SQM）の視野角に若戸大橋のライトの光が入ってしまったためと考えられる。そのため、若戸大橋周辺は観測し直す必要があった。河内方面の観測では、街灯などの光源が少なく、夜空の明るさの数値が19.00～19.50の間と暗い結果となった。

④2011年7月30日の結果と考察

2011年7月30日に、戸畑区、若松区、八幡東区、八幡西区方面の観測を行った。③2010年8月6日の観測で若戸大橋周辺は、観測の際にネオン等の影響を受けていたため、改めて観測し直した結果、17.68 mag/□"という結果になった。また、小倉南区河内病院付近で19.51 mag/□"と暗い数値が観測された。八幡西区楠橋周辺の観測では17台の数値が20ヶ所近く観測された。しかし、あたりに光源となるものが少なく、未経験者の観測であり、街灯の光がSQMの視野角に入ってしまったと考えられる。そのため、再度観測し直す必要がある。

⑤2011年8月31日の結果と考察

2011年8月31日に、若松区、八幡西区、八幡東区方面の観測を行った。八幡東区皿倉山では最も暗いところで19.71 mag/□"と、平尾台と同じくらいの暗さであった。暗いところから夜景を一望できるという面で日本三大夜景に選ばれているのも納得できる。しかしいくら公園といっても、あそこまで公園の街灯を明るくする必要のあるのだろうか。北九州市環境局に、より美しい夜景を観るためには、公園の街灯を減らし、足下のみを明るくするなど、目を暗順応させるような照明環境を提言した。

若松の最北端にある金属工場では、煙突から炎と煙が出ており、周囲と比較しても工場付近は明るくなっていた。

⑥2011年10月27日の結果と考察

2011年10月27日に、小倉南区、八幡東区、門司区方面の観測を行った。今回の観測結果より、②2009年1月28日に観測したデータと比較して、門司区西側が平均0.33 mag/□"明るくなった。原因としては、2011年10月27日の観測の時に、雲量が3～4であり、光が乱反射したためと考えられる。また、門司区の最北端にある部埼燈台、太刀浦埠頭が明るくなっていた。これは、雲量が7～9割と多かったためだと考え、今回の1/5万等光度曲線地図製作のためのデータには使っていない。また、太刀

浦埠頭に関しては、雲量が多いのに加え、照明灯の光が強いためと考えられる。さらに、今回の観測結果では門司駅周辺の数値が3年前よりも高くなっており、実際に開発が進んで、高層マンションが増えていた。

7月30日と10月27日の、八幡西区の楠橋周辺での観測データに1.37 mag/□"もの差が生じた。7月30日の夜空の明るさの観測結果は17台の数値が20カ所あることから、偶然街灯の光が入ってしまったとは考えにくい。雲量にも差はないことから、原因は雲の高さや厚さといった状態の違いだと考えられる。7月30日と10月27日の楠橋周辺のデータと、楠橋周辺には特に明るい建物がなかったことから、7月30日の観測時は雲が高いところに位置していたと考え、等光度曲線地図の製作には、2011年10月27日の観測データを用いた。同じ条件で観測する難しさを実感した。

⑦2011年12月27日の結果と考察

2011年12月27日に、小倉南区北九州空港近辺の観測を行った。観測の結果、空港の滑走路にあるライトを中心に、夜空の明るさに影響を与えていることが分かった。また空港は明るいというイメージから、小倉北区小倉駅付近と同じ程度の明るさになると予想していたが、最も暗いところで19.64 mag/□"と結果となった。また空港付近には、苧田日産自動車などの工場が多いが街灯が少なかったため、暗い所で19.50～20.00 mag/□"の間の明るさという結果となった。

⑧2012年1月20日の結果と考察

2012年1月20日に、1/5万等光度曲線地図を製作する際に観測点が粗い地域があったため、門司区、八幡西区、小倉南区で追加観測を行った。まず門司区では、⑥2011年10月27日に観測しなかった風師山で新たに観測を行った。前回の⑥2011年10月27日までの等光度曲線地図には、風師山付近の観測点がなかったため、標高は高いが夜空の明るさを18.00～18.50 mag/□"としていた。しかし、今回観測を行った結果、風師山頂上付近で19.29 mag/□"となった。次に八幡西区の観測で、八幡東区皿倉山の麓で16.67 mag/□"と明るい数値が観測されるなど、より精密な1/5万等光度曲線地図の製作ができた。なお小倉南区方面の観測では、雲量が9であったため、等光度曲線地図に使用していない。

3-2 まとめ

今回完成させた北九州市内の1/5万等光度曲線地図を用い、21時を基準とした北九州市内における最も明るい所、暗い所が簡単に見てとれるようになった。

最も明るい所は市街地である小倉の15.35 mag/□"であった。原因として、光源の多い市街地であるためと考えられる。北九州市内で最も暗い所は、②2009年4月28日の観測結果から、小倉南区平尾台北部としていたが、⑥2011年10月27日の観測により、小倉南区平尾台南部の20.92 mag/□"ということがわかった。平尾台南部は平尾台北部よりも標高が低い。しかし、平尾台北部よりも北九州市内で最も明るい小倉から離れているため、市街地の小倉からの影響が平尾台北部に比べて少ないと考えられる。平尾台北部は苅田町や行橋市からの影響も受けており、平尾台南部が平尾台北部よりも暗いことは納得できる。

表3は北九州市での明るい場所と、暗い場所のランキングである。また、()内数値は観測中に記録したデータである。街灯が多い市街地で明るい15~16台の数値が、市街地から離れた山間部で、暗い20台の数値が多く得られた。

表3. 北九州市における21時基準の夜空が明るい所・暗い所ランキング

順位	明るい所	mag/□"	順位	暗い所	mag/□"
1	小倉北区小倉駅	15.35 (15.63)	1	小倉南区平尾台南部	20.92 (20.79)
2	小倉南区安部山	15.78 (15.78)	2	小倉南区平尾台北部	20.36 (20.60)
3	八幡西区星ヶ丘	16.47 (16.07)	3	小倉北区富野	19.99 (19.95)
4	戸畑区九州工大前	16.53 (16.16)	4	若松区有毛	19.89 (19.81)
5	八幡西区黒崎駅	16.82 (16.46)	5	八幡西区木屋瀬	19.87 (19.87)

()は
観測データ

2008年から4年間かけて、ついに「北九州1/5万等光度曲線地図」を完成させることができた。その1/5万スケールで作った等光度曲線地図をA4の報告書に収まるように縮尺を変更して、報告書の巻末に付図とした。

今回1/5万等光度曲線地図を完成させたことにより、例えば、北九州市内における照明等の必要性を改めて考え直すための資料にすることができる。また、天文台の建設地の目安にできたり、天体観測をするのに星がきれいに見えるところが分かったりと、様々な使い道がある。しかし、3年間の間に地域の開発が進んでしまい、夜空の明るさが変化しているかもしれない。今後、北九州市の発展に伴い光害の影響やSPM等の環境指標も変化してくるため、これからも各地同日観測を行い、1/5万等光度曲線地図のデータを更新させていきたい。

ちなみに、我々は全国の夜空の明るさを数値化しているスターウォッチングに参加しているが、全国で最も暗かったのは、2007年の観測では岩手県一関市の24.4 mag/□"、2008年の観測では島根県津和野町の24.4 mag/□"であり、本来の夜空の明るさに近いのかもしれない。北九州市で最も暗い所である小倉南区平尾台南部と比較すると、3.5 mag/□"もの差が生じた。平尾台南部でも市街地の明るさの影響を受けているのであろう。

そこで北九州市の様な広範囲に明るい市街地が、どのように夜空の明るさに影響しているのかを次に検討したい。そのため、標高が高く、市街地から離れた福岡県添田町の英彦山等で観測し、夜空の本来の明るさにより近い数値を求めたい。

現在、この完成した1/5万等光度曲線地図を、(独)科学技術振興機構と、(株)ゼンリンのご支援のもとカラー印刷することになっている。(株)ゼンリンのCADを用い生徒がデータを入力し、横1m、高さ70cmの大型の1/5万集成図を印刷していただく。ゼンリンにしても10色以上の大型印刷は技術的にチャレンジしがいがあるとのことで、かなりの御無理を聞いていただいている。

4. 夜空の明るさの経時変化

2008年から製作を行っている、北九州市における1/5万等光度曲線地図のための観測の際、1日に3～4時間の観測時間を必要としている。そのため、夜空の明るさが時間によって変化する事が懸念された。そこで2009年に徹夜観測を行い、夜空の明るさの経時変化率を求め、1/5万等光度曲線地図の値を21時を基準として補正を行った。また、都心部で徹夜観測を行った結果夜空の明るさの経時変化は人工的な光源の減少、つまり人間の活動時間に影響されている事が分かった。

2011年は1/5万等光度曲線地図を参考にして、市街地から山間部まで北九州市内7ヶ所で観測を行い、それぞれの地域の経時変化率を比較をした。それを元に地図の補正値を修正し、新たな補正値で地図を製作した。

①2009年8月 北九州市小倉南区石原町の経時変化

2009年8月22、23日に石原町で観測を行った。石原町は平尾台の麓にある町であり、1/5万等光度曲線地図上では薄紫(19.00～19.50 mag/□")の地域に分類され、比較的暗い地域である。この石原町で20時から5時までスカイクオリティメーター(SQM)を使用して1時間毎に観測を行った。なおこの日は新月に近く、空は快晴であったため信頼できる結果である。その結果を図7に示す。

図7を見ると20時から2時は順調に暗くなっている。22時から23時、2時から3時に若干夜空が明るくなったが、これは空気中の水蒸気量、SPM、光化学オキシダントが増加している事が原因である。また4時以降は太陽が昇り始め、急激に明るくなったため5時で観測を終了した。

私達が等光度曲線地図の観測を行っているのは主に21時～0時であるため、この時間帯のデータを元に最小二乗法を用いて10分毎の経時変化率を求めた。

その結果、石原町では3時間で0.70 mag/□" 暗くなっており、
10分毎では0.04 mag/□" 暗くなる

ことが分かった。

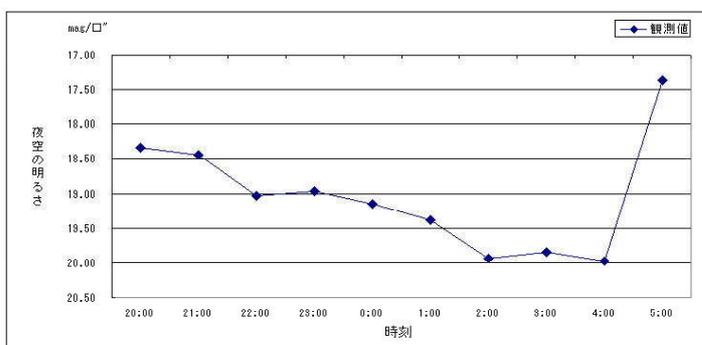


図7. 石原町の徹夜観測の結果

②2011年8～10月 北九州市内7ヶ所の経時変化

1/5万等光度曲線地図を参考にして、様々な明るさの北九州市の小倉南区、小倉北区で合計7箇所を観測を行った。その観測地点を図8に示す。

小倉南区平尾台は山間部であり暗い地域である。一方、小倉北区熊本は近くに北九州市民球場などがあり、街灯も多く非常に明るい地域である。小倉北区西小倉も市街地に近く街灯やマンションなど人工的な光源の多い明るい地域である。小倉南区葛原、重住、志井公園、石原町はともに住宅地であるが、街灯の数の違いなどにより、明るさが異なる地域である。

なお石原町では2009年8月にも観測を行っている。しかし観測機器が視野角20°であるスカイクオリティメーター(SQM-L)ではなく、視野角80°であるスカイクオリティメーター(SQM)であったため、今回再び観測を行った。この7箇所を8月29日(葛原、重住)、8月30日(志井

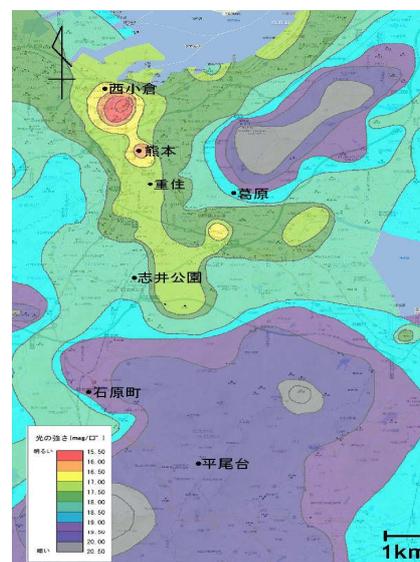


図8. 観測地点

公園)、10月26日(平尾台、石原町、西小倉、熊本)の3回に分けて観測を行った。観測を行った日はいずれも新月に近く、雲量の少ない日であった。観測結果を図9に示す。

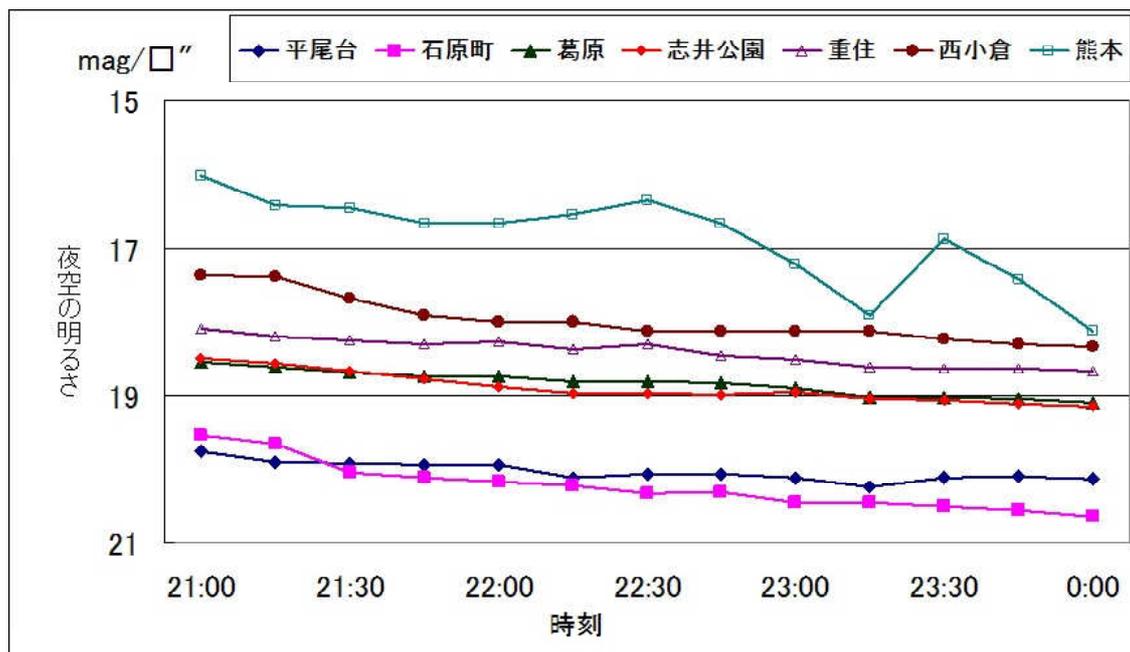


図9. 21時から0時の経時変化観測結果

どの観測地の結果を見ても21時から0時にかけて順調に暗くなっている。これはこれまでの観測結果の傾向と同じである。熊本のデータで23:15~23:30にかけて夜空が明るさが急激に変化している。気象条件に大きな変化が見られない事から、マンションの明かりなどの人工的な光源の変化の影響だと考えた。またこの結果から最小二乗法を用いて10分毎の経時変化率を求め、その結果を表4に示す。

表4は平尾台、葛原、志井公園、重住、西小倉駅、熊本を21時の値で暗い順に並べたもので、これを見ると21時の値が暗い地域ほど経時変化率が小さくなっている。経時変化は人工的な光源の変化の影響を受ける。観測地周辺に人工的な光源が多く、21時の夜空が明るい地域ほど経時変化率は大きくなった。

なお例外的に、石原町の経時変化率が0.05 mag/arcsec² /10minと2番目に大きくなっている。この事について考察した。石原町は平尾台の麓の町である。

石原町と平尾台では、平尾台の方が標高が高く、民家や街頭などの人工的な光源も少ない。そのため21時の値は平尾台が暗くなっている。しかし、平尾台では23時から湿度が90%を越えたため、0時の値が20.14 mag/arcsec² までしか下がらなかった。一方、麓の石原町では0時の値は20.65 mag/arcsec² まで下がっている。このように石原町では21時と0時の値の差が大きくなった事により、経時変化率が大きくなっている。

この原因としては、石原町は住宅地であるが、小倉市街から離れており、他の葛原、重住、志井公園に比べられると極端に街灯が少ない事が考えられる。また、観測を行った日は平日であり、民家の明かりの変化が大きくなったと考えた。これらの要因から石原町は例外的に経時変化が大きくなったと考えた。

表4. 各観測地の経時変化率

観測地	21時の値 (mag/arcsec²)	経時変化率 (mag/arcsec² /10min)
平尾台	19.78	0.02
石原町	19.55	0.05
葛原	18.55	0.03
志井公園	18.49	0.03
重住	18.09	0.03
西小倉駅	17.37	0.04
熊本	16.01	0.09

③人工的な光源の経時変化

2009年、2011年の観測より、夜空の明るさが21時から0時になるにつれて徐々に暗くなっていく事が分かった。そしてその原因は人間の活動が主なもので、時間が進むにつれ人間の活動も低下するはずである。国道を通る自動車の台数と、部員の住む付近のマンションの部屋の明かりを徹夜観測をし、人工的な光源の変化を調査した。

・自動車の交通量と夜空の明るさ

図10は、北九州市役所建築都市局都市交通政策課が持っている1時間ごとの自動車交通量のデータをグラフ化したものである。2007年のある平日と休日で、場所は北九州市役所付近の北九州市小倉北区室町の一般国道199号の交通量である。

このグラフから20時頃の交通量の変化は平日が976台で休日は937台、2時頃の交通量は平日が214台で休日は144台と20時頃から2時までの交通量は次第に減少することが分かる。また、2時から5時までの交通量は平日の交通量の平均は136台で休日の平均は191台であるので、2時から5時までの交通量は全体的に低くほぼ一定であることが分かる。この傾向は、観測結果によ

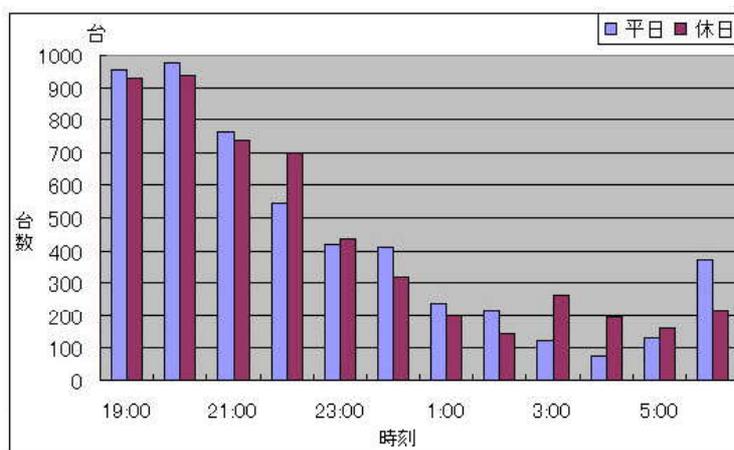


図10. 自動車の交通量の変化

って分かった夜空の明るさの経時変化の傾向とほぼ重なっている。

・マンションの明かりの増減と夜空の明るさ

図11のグラフは、理科部員が近くにあるマンションの明かりが付いている部屋の数を、1時間ごとに数えたものである。

2009年10月の休日前の平日である金曜日に、北九州市小倉南区朽網西、小倉南区重住、小倉北区真鶴の3地点で調べた。図11より、21時から4時までのマンションの明かりは、当然のことではあるが、全ての地点で減少傾向にある。交通量の結果と同様に、マンションの明るさの増減傾向も、夜空の明るさの経時変化の傾向とほぼ重なっている。

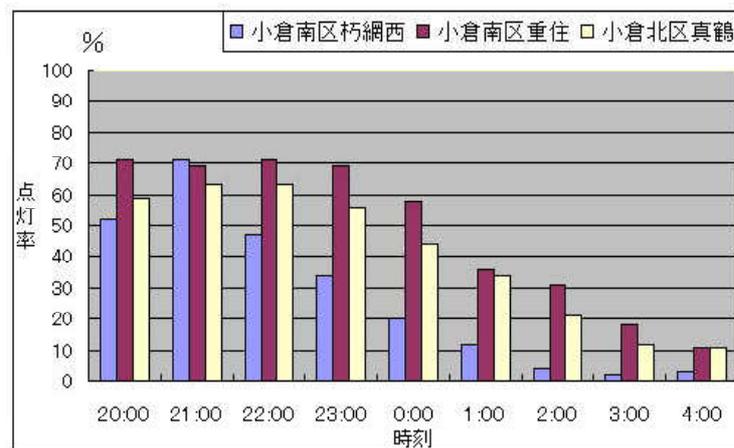


図11. マンションの明かりの変化

以上の事から、夜空の明るさは、自動車の交通量や、マンションなどの市街地の明かりによる、光害に影響されている事が分かった。また最近では24時間営業の飲食店やコンビニも増えている。このような人工的な光源が人間の活動する時間帯によって増減することにより、夜空の明るさは変化すると考えられる。

④ まとめ

今回の観測結果から夜空の明るさの経時変化率が場所によって異なり、人工的な光源の多い地域ほど大きくなることが分かった。そこで右の表の様に夜空の明るさに対応して補正値を分けた。

表5を元に1/5万等光度曲線地図上の製作のための全ての観測データを補正し、21時を基準にして製作することにした。

表5. 夜空の明るさと経時変化率

夜空の明るさ (mag/□")	経時変化率 (mag/□" /10min)
15.50~17.50	0.04
17.50~19.00	0.03
19.00~20.50	0.02

※最小二乗法

最小二乗法とは全ての観測値から予想される直線を求める方法である。図12を見ると点が4点あり、真ん中に直線が一本引いてある。この直線が観測値から予想される直線である。この直線は全ての点からの距離が等しくなるように定められる。この図12では点から直線までの距離をdを使って現している。つまりこの直線は

$$d_1 = d_2 = d_3 = d_4$$

を満たしている直線というわけである。このような直線の傾きとY切片を求める方法を最小二乗法という。

今回は求めた直線の傾きを経時変化率とした。

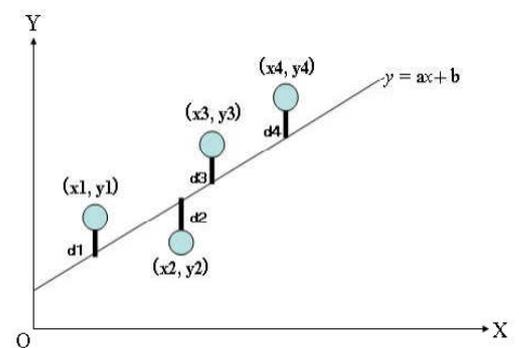


図12. 最小二乗法

5. 夜空の明るさと黄砂(予察)

近年、ユーラシア大陸内陸部から日本への黄砂の飛来が注目を浴びている。年々黄砂の飛来量が増加しており、中国では黄砂の嵐に飲まれて人が亡くなるというような人的被害も増え、一部の地域では死活問題となってきている。また、日本に飛来する際、中国の工場地帯で発生した有害物質と結びつき、日本人の健康面に対しても影響を与える事が報告されている。

2006年4月24日、黄砂が飛来しているときを狙って夜空の明るさの各地同日観測を行った。北九州市の中でも最高値の明るさが断続的に得られた。そして空が澄んできたように見えた23時頃に再び観測してみると、その値が大きく変動し、夜空の明るさが暗くなっていた。このことで黄砂が夜空の明るさに大きく影響することがわかった。過去の先輩方は黄砂の数値化を試みて自作測定機器を制作してみたが、黄砂の数値化は失敗に終わった。

2009年、長崎国立環境研究所でライダー観測により黄砂の飛来量を計測しているとの話を聞き、2010年5月に念願の数値データをいただくことができた。そして、黄砂についての知識を深めるために2010年6月、富山大学の青木先生に黄砂とエアロゾルについての講演をしていただいた。さらに、2011年8月から福岡大学の白石先生より、福岡大学のライダー観測のデータをいただけることになった。これらの黄砂のデータを元にして、黄砂が夜空の明るさに与える影響について調べる。

5-1 観測方法

2011年5月2日に黄砂が大量に飛来している、との報道を目にした。そこで急遽5月2日の21時から5月3日の1時にかけての4時間、スカイクォリティーメーター（SQM-L）を用いて徹夜観測を行った。その結果と長崎国立環境研究所の黄砂データを比較し、考察を行った。それに加えて、2011年4月4日～5月1日にかけて行った定点連続観測のデータも黄砂との比較に用いることにした。定点連続観測では、過去の先輩方が制作した自作機器を用いて観測を行った。なお、黄砂の飛来についての考察には風向きが必要なため、北九州市環境局より頂いた風向・風速のデータを用いた。

5-2 観測結果、及び考察

① 定点連続観測における夜空の明るさと黄砂の比較

図13は、2011年4月4日～5月1日の期間に北九州市八幡西区本城で自作機器を用いて21時に観測した夜空の明るさのデータを、長崎への黄砂の飛来量と比較したグラフである。長崎は福岡よりも中国を含むユーラシア大陸に近いので、黄砂は長崎に先に飛来した後、北九州に飛来したのではないかと考えた。そこでこの観測期間において、長崎から北九州に黄砂が飛来するのにかかる時間は全て一定であると基準を定めた。そこから長崎を黄砂が通過して何時間後に北九州に飛来するのかを1時間ごとに比較した。その中で、北九州で夜空の明るさの観測を行う3時間前の18時に長崎を黄砂が通過し、3時間後の21時に北九州に飛来したと思われる図13の結果が得られたため、これについて考察した。

4月9日～4月11日、4月25日～4月28日の黄砂の飛来量を見ると、黄砂の値が上昇するとともに夜空の明るさの値が上昇している。また、黄砂の値が下降するとともに夜空の明るさの値も下降している。この2つの期間での風向はほぼ西方向であったため、中国方面から黄砂が飛来しているといえる。つまり、この

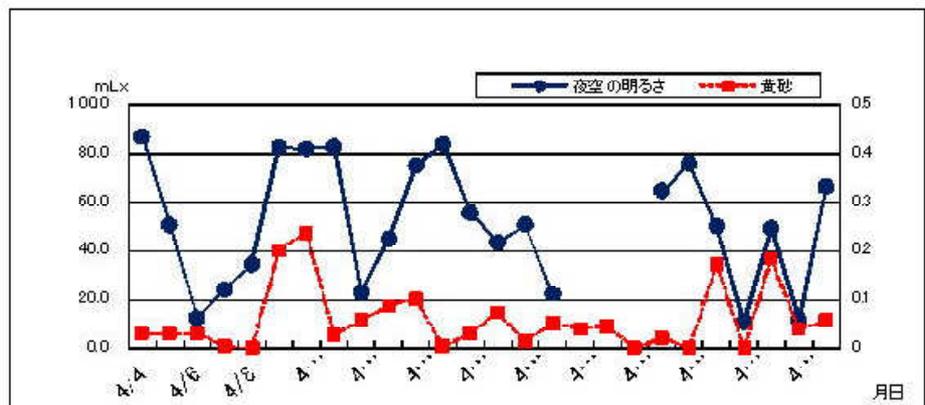


図13. 長崎の黄砂と北九州の夜空の明るさ

考察から“黄砂は夜空の明るさに影響を及ぼしている”ということがわかる。

4月11日～16日にかけては、1日のズレがあると考え、黄砂の数値と夜空の明るさの数値に相関が見られる。このことから北九州の夜空の明るさに影響を与える黄砂は、長崎を通過した1日後に北九州に飛来したといえる。よって4月12日に観測した「夜空の明るさ」に影響を及ぼした黄砂は、長崎で4月11日に観測された黄砂であるといえる。また4月8日～4月10日にかけて黄砂の飛来量が急激に増加したのは、黄砂の大きな前線が日本の上空に飛来していたためと考えられる。

なお、4月25日～4月28日におけるゴビ砂漠やタクラマカン砂漠での黄砂の発生、輸送の様子を推測しているCFORSの飛来分布図を下に載せてある。CFORSとは気象庁より提供されるさまざまな気象状態の情報をもとにして、長崎国立環境研究所で大気中のエアロゾルの分布を数値的に推定したものである。

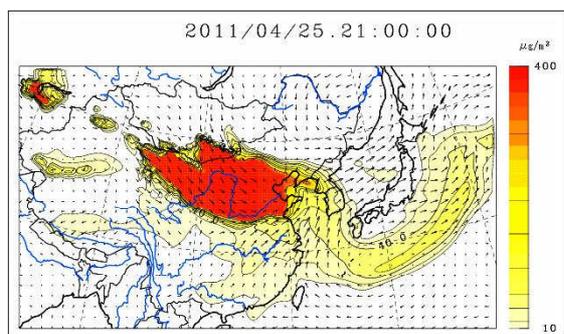


図14. 4月25日21時

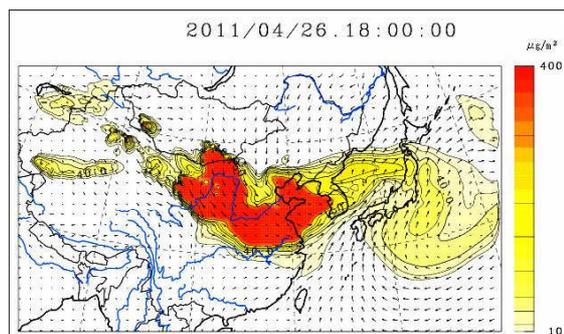


図15. 4月26日18時

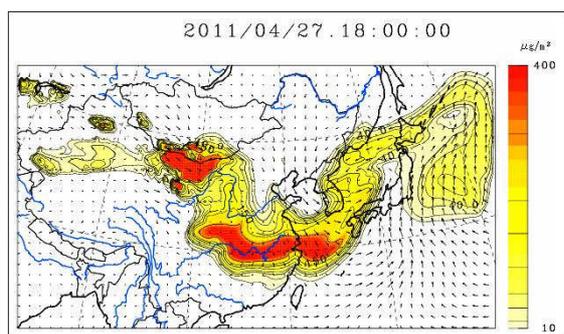


図16. 4月27日18時

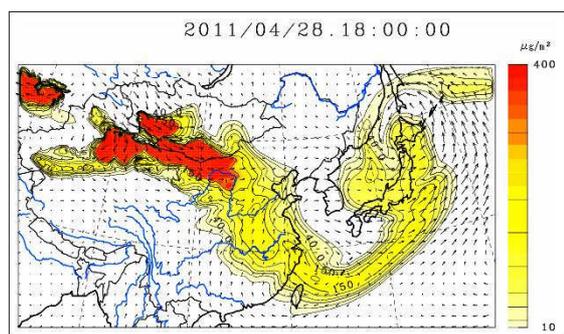


図17. 4月28日18時

(<http://www-cfors.nies.go.jp/~cfors/index-j.html>)

②徹夜観測における夜空の明るさと黄砂の比較

図18のグラフは北九州市の夜空の明るさと長崎市の黄砂の値を同時刻で表したものである。黄砂の値をみると、2011年の5月1日～5月3日の黄砂は年に1・2回しかみられないほど大量の飛来であった。夜空の明るさを見てみると、5月2日の21時～24時にかけて0.76 mag/□”暗くなり、5月3日の深夜1時になった時点で0.17 mag/□”明るくなっている。これは雲量や光化学オキシダント

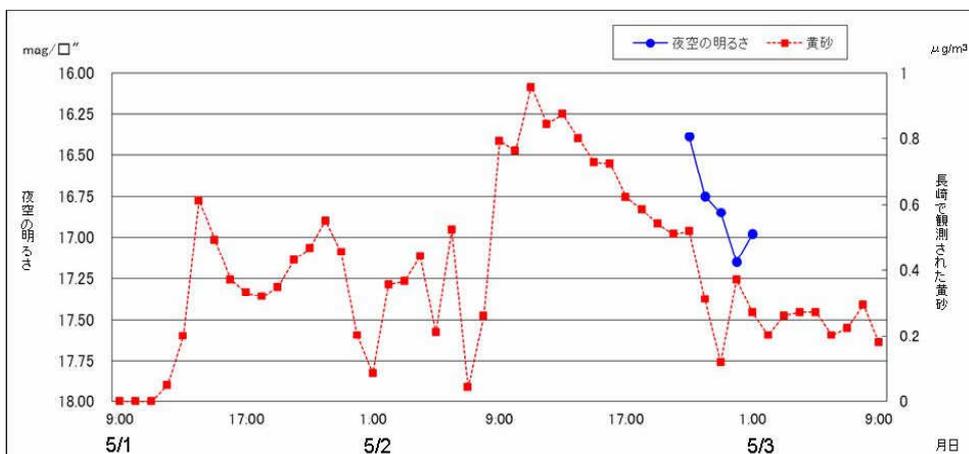


図18. 福岡県北九州市で観測した夜空の明るさと長崎市の黄砂の比較

トの急激な増加によるものではなかったので、黄砂による街の明かりの乱反射で明るくなった可能性が高い。

黄砂は非球形粒子なので、夜空の明るさの観測時に上空に黄砂があれば街の明かりを乱反射すると考えられる。つまり黄砂の値が上がると夜空の明るさも明るくなり、黄砂の値が下がると夜空の明るさも暗くなるはずである。

一口に黄砂といっても、飛来手段は様々ある。日本に飛来する黄砂の種類としては、ゴビ砂漠などのユーラシア大陸の内陸砂漠からのものが主であり、地上付近を移動するものと、上空を通過するものがある。私達は下関で行った海峡マリメッセでの鉛直方向の観測で、夜空の明るさは地表0 m～数百mで決まっていると結論づけている。それに加え、日本上空に飛来する黄砂はそのまま日本列島を通過するものがほとんどである。このことから、夜空の明るさに影響を与える黄砂は地上付近を移動するものである可能性が高いといえる。

福岡市でのライダー観測のデータを図で表したものを福岡大学の白石先生よりいただいたので、これについて考察した。

図19の Scattering ratio (上図) は大気中を浮遊している微粒子の散乱比、濃度を表すものである。色が明るく、数値が高い所は微粒子の濃度が高いことを示している。これを見ると、地表0 m～上空約1 kmにおいて、黄砂を含む微粒子の濃度が非常に高いことがわかる。

Depolarization ratio (下図) は偏光解消度、微粒子の非球形度を示しており、数値が高いところは微粒子がごつごつしていることを表す。地表0 m～上空約1 kmにおいて、非球形粒子である黄砂が確認できる。これらの

2つの図より地表付近を移動していた微粒子はほぼ黄砂であるといえる。

また、黄砂が地上付近を移動しているということは、地上付近の風速・風向に強い影響を受けることが考えられる。これらのデータより、今回の黄砂は地上付近を移動しており、夜空の明るさに影響を与える可能性が高いと言える。

黄砂が地上付近を移動している事をふまえ、図18のグラフから黄砂との相関関係がみられる箇所を探すと、図20の2箇所が候補に挙げられる。仮定Ⅰは長崎市を黄砂が通過してから23時間後に北九州市に飛来したと考えたときのグラフである。また、仮定Ⅱは長崎市を黄砂が通過してから1時間後に北九州市に飛来したと考えたときのグラフである。

< 仮定Ⅰ >

長崎市は北九州市の南西に位置しているため、南西からの風が吹いている場合に長崎市

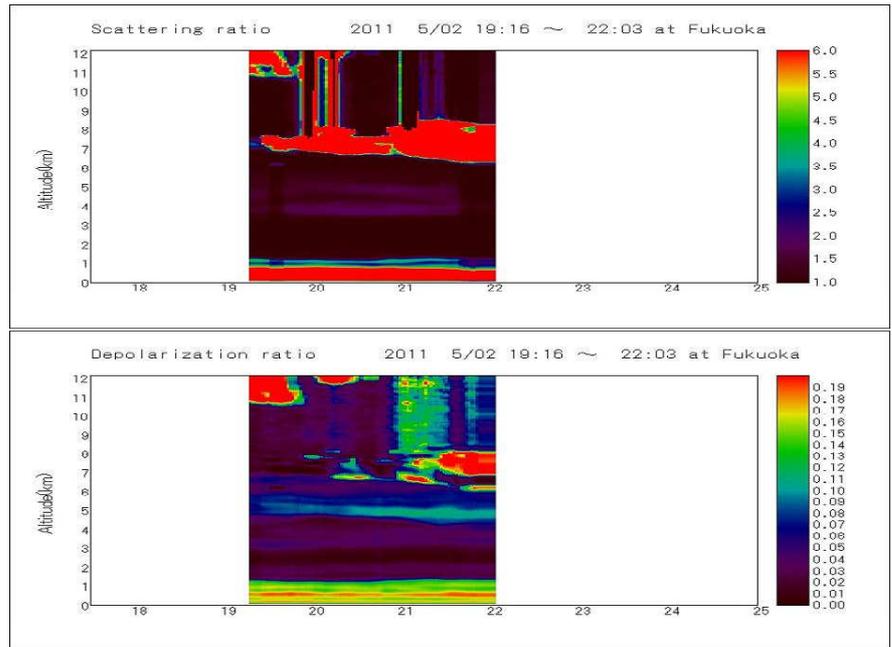


図19. ライダー観測の結果 (福岡市)

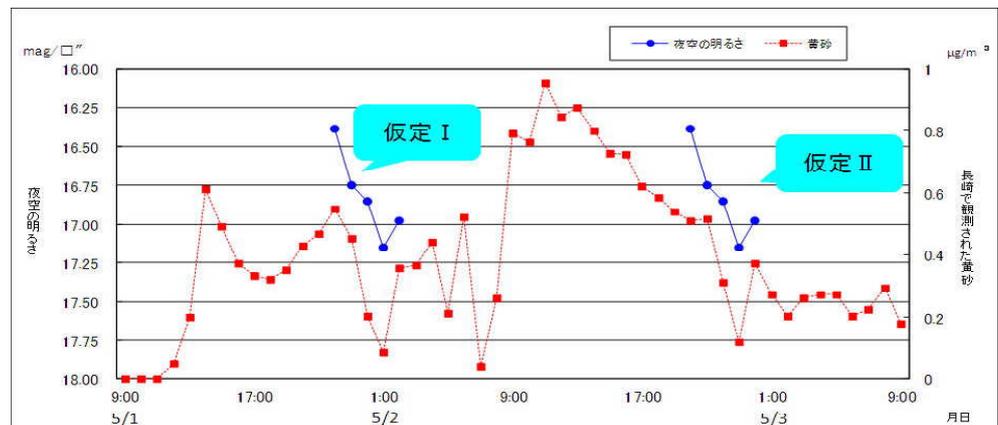


図20. 長崎市に北九州市より早く黄砂が飛来したと仮定した場合のグラフ

を黄砂が通過してから23時間後に北九州市に飛来したと考えることができ、この仮定は成立する。黄砂が飛来していると仮定した5月1日の22時～5月2日の21時の間、23時間の北九州市の風向を調べた。北や北西など、主に北からの風が吹いていたので、長崎で観測された黄砂が北九州市に飛来した可能性は極めて低いと考えられる。地上での平均風速は約6.1 km/hであった。これを計算してみると、

$$\begin{array}{rcccl} \text{約150 km} & \div & \text{約6.1 km/h} & = & \text{約24時間} \\ \text{(長崎市と北九州市の距離)} & & \text{(風速)} & & \text{(長崎市から北九州市までの飛来時間)} \end{array}$$

となる。約1時間の誤差は、風向・風速が常に変化しているために発生したと考えられる。仮定Ⅰの場合は、長崎市から黄砂が飛来したといえる理想的な風向ではない。よって、仮定Ⅰは黄砂が夜空の明るさに影響を及ぼしている事を表しているグラフである可能性は低い。

<仮定Ⅱ>

仮定Ⅱは飛来するのにかかる時間差が1時間しかないと仮定するため、長崎市を通過した後の黄砂が北九州市にそのまま飛来したとは考えられない。考えられるのは、長崎市と北九州市に北西方面からほぼ同時に黄砂が飛来した場合である。

図21は気象庁が提供している黄砂の飛来予測図であり、計測している黄砂は全て高度1 km以内のものである。これを見ると黄砂は北西からほぼ同時に長崎市と北九州市に覆い被さるようにして飛来している。

仮定Ⅱの時間帯である5月2日の21時～22時の風向を調べてみると、この時間帯は北西方向からの風だった。黄砂は飛来する際に、図21の濃度が高い中心部分のように拡散することでほぼ同じ濃度になる。長崎

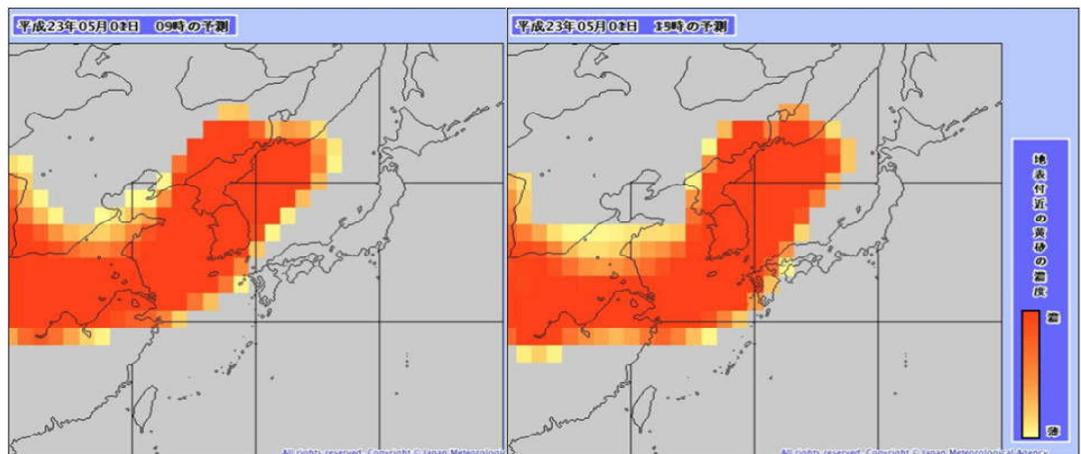


図21. 気象庁による黄砂の飛来予想図 5月2日 9時（左）、及び15時（右）

市を通過した黄砂が全て北九州市に飛来してなくても、2地点における黄砂の値の変化は約1時間のずれを除くと、ほぼ同じであると考えられる。よって、この仮定Ⅱが成立する可能性は極めて高いと言える。よって、仮定Ⅱは黄砂と夜空の明るさの相関関係を表しているデータといえる。

5-3 まとめ

今回私達は、黄砂が夜空の明るさに影響を及ぼしていることを、長崎市の黄砂の数値データを用いて証明しようとした。長崎市の黄砂と北九州市の夜空の明るさを比較してみると、確かに黄砂は夜空の明るさと相関関係にあった。これは黄砂が大気環境に影響を及ぼしていることを示す興味深い結果である。しかし考察に用いたデータは、北九州との距離が離れている長崎での黄砂飛来量との比較しか行っていない為、考察で導いた仮定を十分に証明できたとはいえない。今後は福岡大学の白石先生より福岡市のライダー観測の数値データをいただき、長崎・福岡の黄砂と北九州の夜空の明るさを比較することで、夜空の明るさと黄砂の関係をより確実に証明できるはずである。

黄砂は砂漠から飛来してくるが、自然的要因で飛来量が年々増加しているわけではない。森林伐採や焼畑農業による砂漠化など、人為的要因によるものである。大気が汚れてしまえば綺麗な星空を観察することができなくなるため、私達は世間に地球環境のさらなる重要性を主張することが必要である。

6. 今後の課題

○今後の1/5万等光度曲線地図

今年、2009年から製作してきた、北九州1/5万等光度曲線地図をついに完成させた。

しかし、2009年に門司西方面実施した各地同日観測の結果と、2011年に同じ場所で観測した結果を比較したところ、夜空の明るさは平均して0.33 mag/□" 明るくなっていた。これは、当日の雲量が3～4割で、光が乱反射し夜空の明るさが明るくなったと考えた。よって数年に1回の頻度で雲量が1～2割で新月付近の月齢の時期に各地同日観測を行い、1/5万等光度曲線地図を更新していきたい。それにしても観測条件を揃えるのは大変だった。

また近年では、コンビニエンスストアなどの24時間営業の店舗が増加したことなどにより、全国的に見て「夜空の明るさ」は明るくなっている。今後も各地同日観測を行い、北九州市がより発展し、市街地が明るくなることで、それがどのように夜空の明るさに影響を与えていくのか研究を進めたい。

○暗い地域と明るい地域で観測した夜空の明るさの経時変化率の比較

1/5万等光度曲線地図を作る際のベース資料になる経時変化率について、経時変化は人工的な光源の変化、つまり人間の活動時間に影響される事がわかっている。今回精密にデータをとったところ、石原町のように市街地からの距離が遠く暗い地域でも、夜空の明るさの経時変化率が大きくなる場合がある事がわかった。これは、石原町の周辺は経時変化に影響する街灯が少ないためだと考察した。今後は、夜空の明るさが石原町とほぼ同じ数値の19.00～20.00 mag/□" の明るさの場所で観測し、比較したい。

2011年から、スカイクオリティメーター(SQM-LE)で夜空の明るさの連続観測を行っている。このデータを用いて、夜空の明るさに影響を与える環境指標や気象条件が、それぞれ経時変化に与える影響を調べたい。一例として、過去の経時変化の観測は、夜空の明るさに最も影響の大きい月光を避けた新月付近の月齢の時期のみ観測を行っていたため、月光の影響が少ない経時変化率のデータしかなかった。今後は満月付近の夜空の明るさの経時変化を観測し、月光が経時変化にどれくらい影響するかを調べたい。

○夜空の明るさと黄砂（予察）

今回、2011年4月4日～5月1日の定点連続観測で観測した夜空の明るさデータ、5月2日の徹夜観測で観測した夜空の明るさデータ、長崎国立環境研究所の黄砂データを比較したところ、夜空の明るさと黄砂が相関関係にあることを示す結果が得られた。

今後は、2011年に北九州市内でスカイクオリティメーター(SQM-LE)で観測した結果と、長崎国立環境研究所の黄砂データ、福岡大学の黄砂の飛来量を計量するライダー観測データを比較し、相関関係にあることをより明確にしたい。そして最終的に、夜空の明るさと黄砂の相関関係を示すデータを用いて、黄砂が夜空の明るさにどのくらい影響を与えるか、また黄砂の流動状態を明らかにし、環境問題への対策に役立てたい。

夜空の明るさと、さまざまな気象条件および環境指標(参考)

観測した夜空の明るさと、湿度、気温、水蒸気量、雲量、風速がどのように関係しているか。また環境指標として、SPMや光化学オキシダントと夜空の明るさがどのような関係があるのかを考察する。サンプルとして2003年5月7日～5月25日、福岡県田川郡香春町、2003年4月7日～5月1日、北九州市小倉南区下吉田、2004年8月1日～8月16日、北九州市八幡東区景勝町、2007年4月7日～4月12日、小倉北区黒原、2008年4月29日～5月23日、小倉南区重住で観測したデータを元に検討した。

① 夜空の明るさと湿度

図22は、夜空の明るさと湿度をグラフ化したものである。このグラフにおいて、湿度が上がるとそれに伴って夜空の明るさも明るくなり、逆に湿度が下がると夜空の明るさも暗くなる傾向が認められる。これは空気中の水分に光が当たり乱反射したためと考えられる。

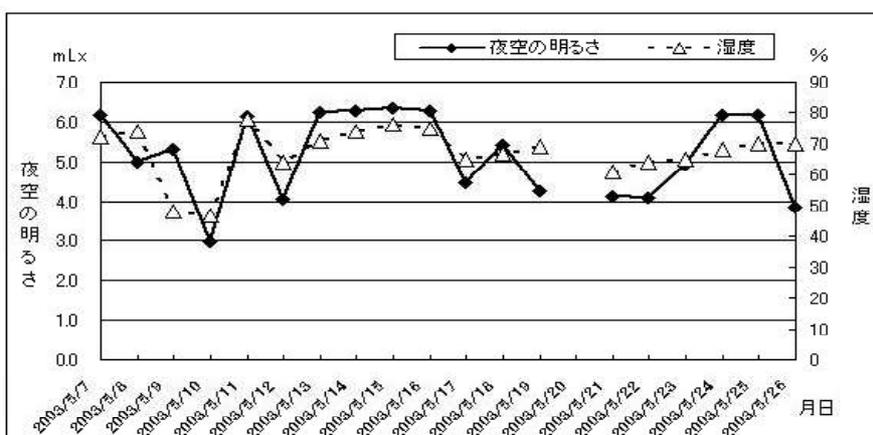


図22. 夜空の明るさと湿度

② 夜空の明るさと気温

図23は、夜空の明るさと気温をグラフ化したものである。このグラフの傾向として、気温が上がると夜空の明るさは暗くなり、逆に気温が下がると夜空の明るさは明るくなっている。これは気温と湿度の関係で、気温が上がると湿度は下がり、気温が下がると湿度は上がるためであると考えられる。

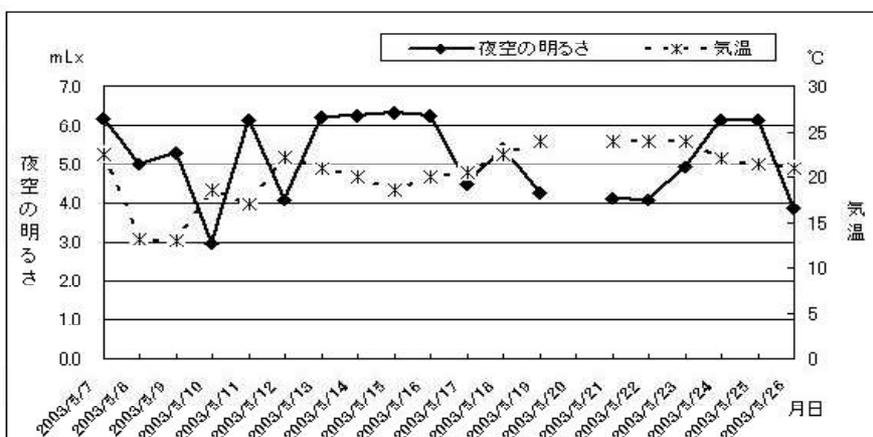


図23. 夜空の明るさと気温

③ 夜空の明るさと水蒸気量

図24は夜空の明るさと水蒸気量のデータをグラフ化したものである。水蒸気量は気温と湿度のデータから計算した。このグラフの傾向として、水蒸気量が上がると夜空の明るさも明るくなり、逆に水蒸気量が下がると夜空の明るさは暗くなっている。これは空気中の水蒸気に光が当たり、散乱、乱反射したためと考えられる。

なお、8月13日、15日に光が強いのは雲量によるもので、水蒸気量より雲量が光の強さには大きく影響していることがわかる。

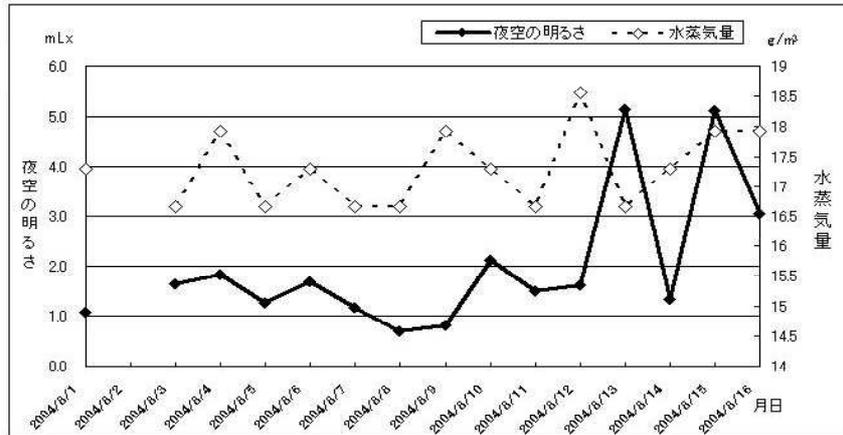


図24. 夜空の明るさと水蒸気量

④ 夜空の明るさと雲量

図25は夜空の明るさと雲量のデータをグラフ化したものである。このグラフにおいて、雲量が多くなると夜空の明るさも明るくなり、逆に雲量が少なくなると夜空の明るさも暗くなっている。

これは光が雲に当たり乱反射するためであると考えられる。雲量は相対的な数値であるが、夜空の明るさと非常に強い関係が認められ、データとしてきわめて重要である。もし夜空の明るさを純粋に求めるなら、雲量の多い時は観測を避ける様にしたほうが良い。

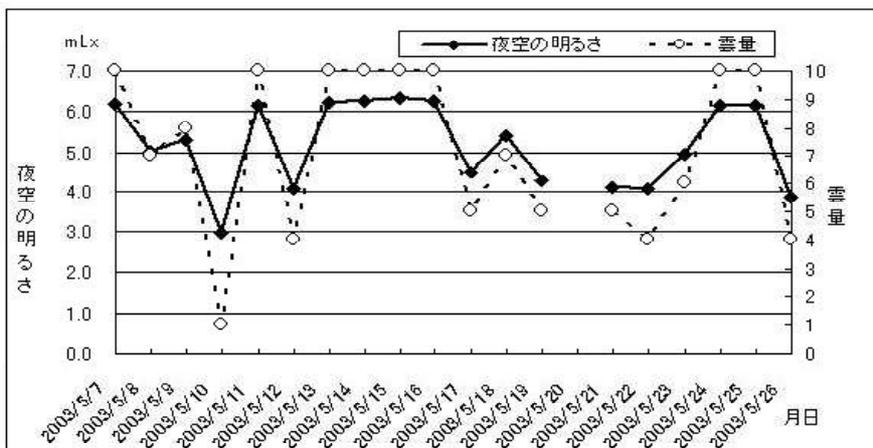


図25. 夜空の明るさと雲量

⑤ 夜空の明るさと風速

図26は夜空の明るさと風速をグラフ化したものである。5月10日のように風速が遅いと夜空の明るさも低い時や、5月12日のように風速が速いと夜空の明るさが明るい時が存在する。

これは、風が空気中の光を乱反射させる物質を飛ばしたり、舞い上げたりすることと関係していると考えられる。よってデータ項目として風速は、風向とともに考える必要がある。風向によって工場からの煙などの原因を考察することが可能となるためである。

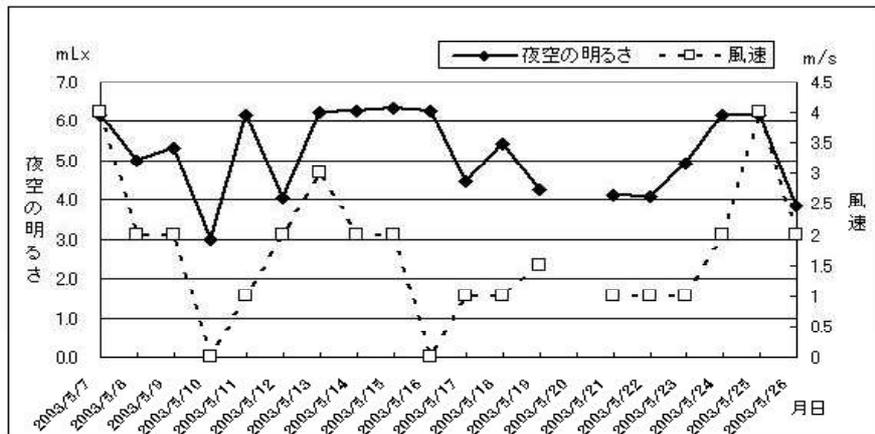


図26. 夜空の明るさと風速

⑥ 夜空の明るさとSPM

図27は夜空の明るさとSPMのデータをグラフ化したものである。

SPM (Suspended Particulate Matter) とは大気中にある直径 $10\mu\text{m}$ 未満の浮遊粒子状物質のことで、北九州市では、21ヶ所で毎時間ごとに連続して観測されている。大気中のSPMと夜空の明るさは、なんらかの関係があると考えた。そこで、自作したLED機器にこのSPMが反映されているかを検討した。

グラフにおいて、全体的な傾向として、SPMの値が高くなると夜空の明るさも明るくなっている。このことより、SPMが多いと光の散乱・反射が多くなることが予想され、空が明るくなるはずである。なお、SPMは風が吹いていたり、近くで焚き火などがあるだけでも、急な変動をするデータのため、このようなケースの時は例外としている。

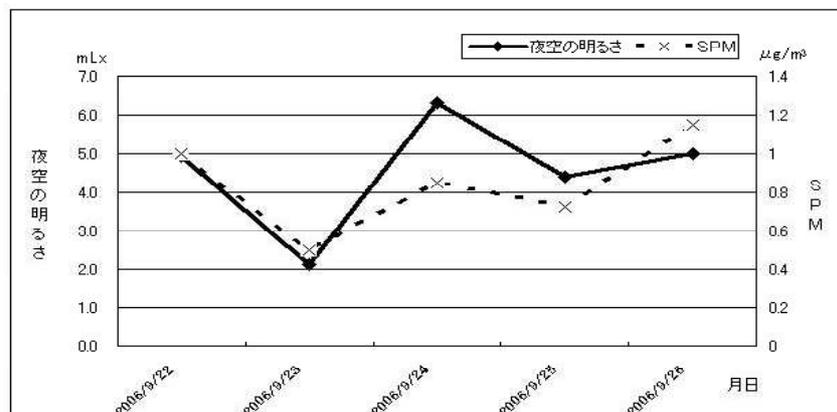


図27. 夜空の明るさとSPM

⑦ 夜空の明るさと光化学オキシダント

図28は夜空の明るさと光化学オキシダントのデータをグラフ化したものである。

光化学オキシダントは、最近北部九州で再注目されている光化学スモッグの原因物質である。この物質もS P Mと同様に、北九州市によって毎時間ごとに連続して観測されている。私達は当初、光化学オキシダントは光化学スモッグに紫外線があたり発生するため、光化学オキシダントは昼にしかないと考えていた。しかし、夜にも観測されていることから原因を考察した結果、昼に中国で発生した光化学オキシダントが風で流されて来ているのではないかという結論に至った。そこで、光化学オキシダントの濃度が、自作したLED機器に反映しているかを検討した。

グラフにおいて、全体的な傾向として、光化学オキシダントの濃度が高くなると夜空の明るさも明るくなり、逆に光化学オキシダントの濃度が下がると夜空の明るさも暗くなっている。これは、大気中の光化学オキシダントの濃度が高いと、光の反射・散乱が多くなることが予想され、夜空が明るくなるはずである。

なお、5月20日に光化学オキシダントの値は変化が見られないのに夜空の明るさが暗くなったのは、この日のS P Mが下がっていたためと考えられる。

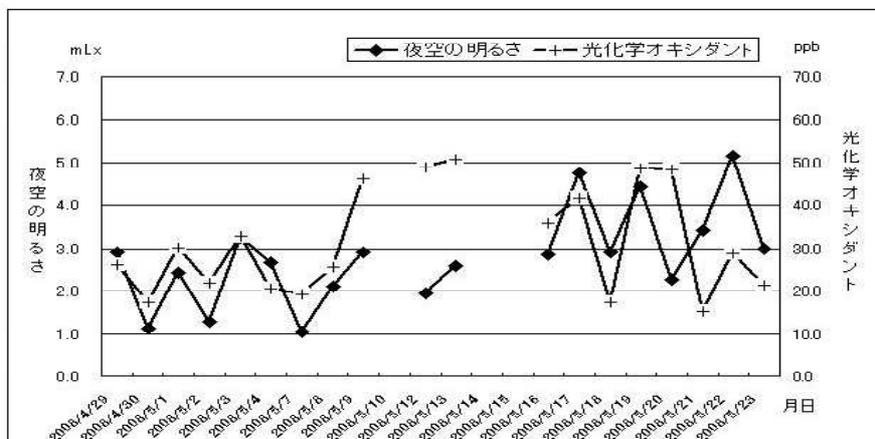


図28. 夜空の明るさと光化学オキシダント

⑧ まとめ

以上のことより夜空の明るさは、

1. 雲量
2. 水蒸気量 (気温、湿度)
3. 光化学オキシダント
4. S P M

に大きく影響され、水蒸気量や光化学オキシダント、S P Mの値が高くなることで光の散乱・反射する量が多くなり、夜空の明るさに反映されていると考えられる。私達の自作機器は目に見えないこれらの物質を感知する能力があり、さらに、自作機器を使用して夜空の明るさを観測することで、大気汚染の状況を知ることができることが証明されたと言える。また、自作機器と相関関係にあるスカイクォリティメーターでも同じ事が言える。夜空の明るさに一番影響を与えるものといえば当然のごとく月であるが、今回私達はこれらのような気象条件や黄砂を加えた環境指標との関係から、夜空の明るさと環境問題を結びつけたい。

なお、北九州市環境局環境対策課から提供された資料に基づいて考察したが、私達の観測地点とS P Mや光化学オキシダントの観測地点が一致しておらず、できるだけ観測地点に近いS P M、光化学オキシダントのデータを用いた。さらに、我々が観測した時間帯に近い、21時～0時までの4時間の数値を平均し、S P M、光化学オキシダントの値とした。

ホームページについて

今、私たち理科部では、ホームページを公開している。理科部の日頃の活動報告はもちろん、年に数回カルスト台地で有名な平尾台で行うキャンプやケイビング活動の様子、2000年から続く『夜空の明るさ』の研究、2010年に受賞した環境大臣賞のことなどについて掲載している。また『夜空の明るさ』とともに、2011年の全国総合文化祭研究発表大会で発表した『広谷湿原保全プロジェクト』や、科学の祭典2007全国大会で発表した『再生チョーク』も掲載している。

今後とも、随時更新して、全国に私たちの研究を知らせていこうと思う。

アドレス <http://rikabu123.web.fc2.com/>
検索方法 「東筑紫学園 理科部」をインターネットで検索して下さい。



平成 21 年度九州高等学校生徒理科研究発表大会宮崎大会「夜空の明るさ」



平成23年度全国総合文化祭研究発表大会「広谷保全プロジェクト」

おわりに

今回、スカイクオリティメーター(SQM)を用いて北九州市における1/5万等光度曲線地図を完成させた。日本でこのような地図を製作したのは私達が初めてであり、世界でも例がないだろう。1/5万等光度曲線地図を見ると、3年間の各地同日観測の結果、北九州市内で最も明るい場所は小倉北区の小倉駅付近の15.63 mag/□"だった。一方、北九州市内で最も暗い場所は小倉南区平尾台の20.79 mag/□"だった。これは

$$0.4 \times (\text{等級の差}) = \log_{10}(\text{明るさの比})$$

より、小倉駅は頂吉の約116倍も夜空の明るさが明るい計算になる。今後は、完成した1/5万等光度曲線地図を使って、気象条件と環境指標との関連性を見つけていきたい。さらに、私達の10年間の研究活動の結果、「夜空の明るさ」に関心を持ってくれた他校の天文部や地学部と協力を続けたい。

2011年に人工的な光源に注目して夜空の明るさの経時変化の観測を実施したところ、新しい経時変化率がでた。この経時変化率は夜空の明るさによって変化し、暗い所では0.02 mag/□"/10min ~、明るい所では0.04 mag/□"/10min となる事がわかった。今回1/5万等光度曲線地図を製作する際、新しい経時変化率を用いて21時を基準に夜空の明るさの補正を行った。今後は、夜空の明るさに影響を与える環境指標や気象条件が、経時変化率にどれくらい影響するか調べたい。

多くの人々はエネルギーが無駄使いされている現状を知らない。無駄なエネルギーは地球温暖化や異常気象など、様々な環境問題を引き起こしている。夜空を観測することで大気汚染の進行状況などがわかれば、環境問題の解決策も見つかるかもしれない。この画期的な調査方法が日本に定着することを願っている。

今回の研究で、夜空の明るさと黄砂の相関関係を示す結果が得られた。これは黄砂が大気環境に影響を及ぼしていることを示す興味深い結果である。しかし考察に用いたデータは、北九州との距離が離れている長崎での黄砂飛来量との比較しか行っていない為、考察で導いた仮定を十分に証明できたとは言えない。今後は福岡大学の白石先生より福岡市のライダー観測の数値データをいただき、長崎・福岡の黄砂と北九州の夜空の明るさを比較することで夜空の明るさと黄砂の関係をより確実に証明できるはずである。そして最終的に、黄砂を夜空の明るさと比較する環境指標に付け加えたい。

黄砂は砂漠から飛来してくるが、自然的要因で飛来量が年々増加しているわけではない。森林伐採や焼畑農業による砂漠化など、人為的要因によるものである。大気が汚れてしまえば綺麗な星空を観察することができなくなるため、私達は世間に地球環境のさらなる重要性を主張することが必要である。

この10年間にわたる「夜空の明るさ」の研究では、「物事を研究するというのは、どういうことなのか」ということを学んだ。誰もやったことのないことを自分達で研究し、さらに発表するという形で、他の人々に伝えるという経験は、普段のどんな授業よりも重要かつ貴重な経験であった。

幸い、7回にわたる九州大会での発表や、2007・2009・2010年春季天文学会ジュニアセッションでの発表で、いろいろな先生方からアドバイス、そして高い評価をいただいた。さらには、2007年夏の全国高等学校総合文化祭では、地学部門において上位3校の内の1校に選ばれたこと、また昨年2010年10月に「星空の街・あおぞらの街」全国協議会から環境大臣賞をいただいたことは、この10年に及ぶ「夜空の明るさ」研究を通しての大気環境への活動等が認められたもので、私達にとって最高の名誉だと思う。

メンバー

S 2-C	西村 有輝	S 2-C	土中 陽介
S 2-C	井上 靖崇	S 1-A	本田 百花
S 1-B	原岡 美和	S 1-C	八杉 美晴
J 3-B	川口 文恵	J 3-C	坂本 直樹

参考文献

- ・ Gote Flodqvist (2001) : A Simple Dark-sky Meter, Sky & Telescope, International Dark-Sky Feb-2001 138p. - 140p.
- ・ Tossインターネットランド (2009) : http://photojournal.jpl.nasa.gov/jpegMod/PIA02991_modest.jpg
- ・ 北九州市環境局環境対策課 (2003～2011) : 未発表資料 (SPM値、光化学オキシダント値)
建築都市局都市交通政策課 (2007) : 未発表資料(自動車交通量)
企画文化局文化スポーツ部スポーツ振興課 (2009) : 未発表資料(北九州市民球場照明)
- ・ スターウォッチング・ネットワーク (2005～2011)
: 全国星空継続観察の実施結果報告書, 環境省 水・大気環境局
- ・ 東筑紫学園高等学校・照曜館中学校理科部 (2002～2010) : 夜空の明るさ 2010 I～VIII
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 77pp.
- ・ CFORS データ (2011) : <http://soramame.taiki.go.jp/dss/kosa/cfors.php?yy=10&mm=03&dd=20&hh=21>

