

光害の数値化について

東筑紫学園高等学校 理科部

(高3)伊藤 渚
(高2)本田 陸人 藤井 悠野 湖平 元彌
(高1)古川 郁将 東元 太誠 西村 江梨花

1. はじめに

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、2007年まではLEDを使った自作の観測機器で、現在は市販されているスカイクオリティメーター(SQM)で、夜空の明るさを数値化した。この観測値を気象条件や環境指標のデータと比較し、これらが夜空の明るさに大きく影響すると分かった。2012年には、「北九州1/5万等光度曲線地図」(図1)を製作し、夜空の明るさを可視化することができた。

光害とは、街灯や建物の照明などによる、環境への悪影響のことである(図2)。フロリダでは、孵化したウミガメが明るい市街地の方に進み、死んでしまうという事例も報告されている(Mark Nicholas, 2001.)。私たちはこの中でも、街などの地表の光が黄砂、SPM、光化学オキシダントなどの大気中の浮遊物質によって散乱・反射され、夜空が明るくなる現象について研究をしている。

今回、明るい暗いという曖昧な表現しかない光害について、数値化のための「光害公式」を考えた。夜空の明るさは多くの要因から影響を受け、それが光害として夜空を明るくする。例えば、人的要因(人口、交通量、昼夜間人口比率など)や、環境要因(月光や雲量、エアロゾルの飛来量、降雪量など)、立地条件(臨海部か内陸部か、市街地か山間部か)が影響する。光害はこれら多くの要因が複雑に絡み合っているため、これらをどう表現するのが問題である。

2. 観測機器(スカイクオリティメーター)

図3は観測に使用したスカイクオリティメーター(SQM)である。原理は視野角 20° の円錐形の $1/2(10^\circ)$ をスキャンして、光子をカウントする。これを、平方秒角あたりの等級[mag/□]で数値化する。さらに、SQM-LEはコンピュータに接続することによって、15分ごとに自動的にデータが蓄積される。夜空の明るさの時間による変化である経時変化率を算出するために、このSQM及びSQM-LEを2008年より、自作機器の代わりに使用している。

3. 夜空の明るさと経時変化率

「北九州1/5万等光度曲線地図」の製作の際に

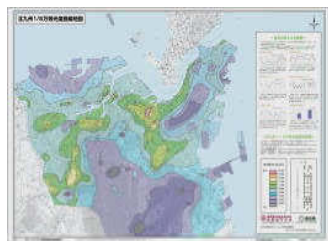


図1. 北九州1/5万等光度曲線地図

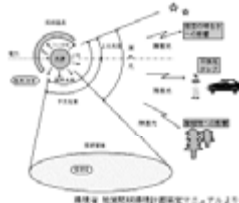


図2. 光害の環境への影響

は、1日に150カ所以上観測することもあり、各地点での観測した時間が異なっている。そのため、観測値を夜空の明るさ毎の経時変化率を用いて、21時を基準に補正した。

図4は、明るさの違う市内7カ所で観測を行った結果である。時間によって夜空が暗くなっていることが分かる。この経時変化率は、最小二乗法を用いて算出している。そしてその傾きを経時変化率とした。

図5、6は19時から4時までの自動車の交通量および、マンションの点灯率である。どちらも時間の経過とともに減少している。このように、経時変化率は人間の活動に大きく影響される。なお、夜空の明るさはエアロゾルが増えることで明るくなる。すなわち、経時変化率は、人的要因だけでなく、環境要因の影響も含んだ夜空の明るさの指標だといえる。

4. 光害の数値化

4-1. 光害公式の作成

2008年の天文学会の折に先輩達が発足させた夜空の明るさ全国ネットワークのデータは、2013年の第1回光害シンポジウムより、私たちがとりまとめている。そして、2014年の第2回光害シンポジウムに向けて研究を進めていた時、観測した場所によって経時変化率がそれぞれ特徴的に異なっていることに気がついた。すなわち、経時変化率で各地域の光害の数値化ができるかもしれないと考えた。

例えば、岩手県ひろのまきば天文台は山間部にあり、光害の影響が小さいため0.002と経時変化率は非常に小さい(図7)。逆に、三重県の津高校のように、市街地に位置し光害の影響が大きい場所では、経時変化率が0.05と大きくなっていた(図8)。

このように光害の大小は、経時変化率で表せることが分かった。そこで、経時変化率を中心に、次の光害公式を考えた。そ

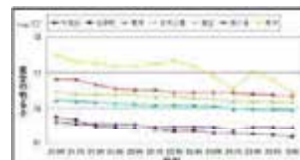


図4. 北九州市各地の経時変化率

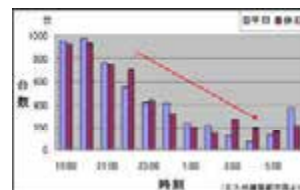


図5. 自動車の交通量の変化

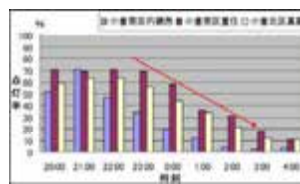


図6. マンションの点灯率の変化

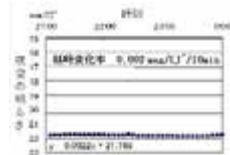


図7. ひろのまきば天文台

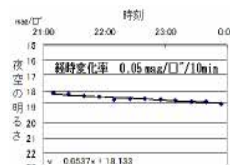


図8. 津高校

して、日本天文学会や日本地球惑星科学連合で、専門家の助言を受けた。

$$LPI-S = \frac{Pr}{b}$$

(Light Pollution Index of Sky) [人/(km²・h)]

LPI-S: 光害指数
 P: 経時変化率 (mag/□°・h)
 r: 人口密度 (人/km²)
 b: 夜空の明るさ (mag/□°)

光害指数(Light Pollution Index of Sky)は、人口密度[P]、経時変化率[r]、夜空の明るさ[b]の3つをパラメーターとして、光害を数値化している。そして、光害指数が大きいと、光害の影響が大きいことを示している。この式の単位は[人/(km²・h)]となり、人間の活動量の変化によって起こる光害を数値化した指数であるといえる。経時変化率は、値が大きくなると光害の影響が大きいことが分かっているため、光害指数は大きくなる。また、人口密度が増加すると、使われる電気や街灯の数が増えるため光害指数は大きくなる。そして、夜空の明るさが明るくなる、つまり数値が小さくなると光害指数は反比例して大きくなる。なお、人口密度を要素に入れたのは、新宿区のように夜まで人間の活動が盛んな場所では、経時変化が小さくなっているためである。深夜まで街灯があつては、夜空は暗くならない。

4-2. 人口密度(P)と住宅率(h)

人口密度は観測地点を中心とした半径2km圏内の円の面積で、その中に住む人口を割ることで算出した。2012年の研究より特定の強い光源は最大2km先まで影響するためである。他にも、10、30、50km圏内の人口を基にそれぞれ算出したが、明確な光害の影響を表わせなかった。

さらに、圏内に森林や河川、海洋などの明らかに居住区でない部分が含まれる場合、それらを除いた部分の割合(住宅率:h)を用いて人口補正をした。

住宅率は雲量の指標を参考に、有効面積内の非居住部分を目視で確認する。図9は神奈川県横浜サイエンスフロンティア高校の航空写真[google map]である。学校のすぐ西を流れている鶴見川は、半径2km圏内でその1割程を占めるため、住宅率h=9となる。



図9. 横浜サイエンスフロンティア7高校周辺

図10は補正後の2km圏内の人口密度とLPI-Sを比較したものである。人口密度の増加に比例してLPI-Sが大きくなっていることが分かる。なお、グラフ中の▲は海城高校[東京都新宿区]であるが、やはり光害は大きい。このようにLPI-Sは、光害の大きい、すなわち夜空の明るい部分をより明確に表現したものとなっている。

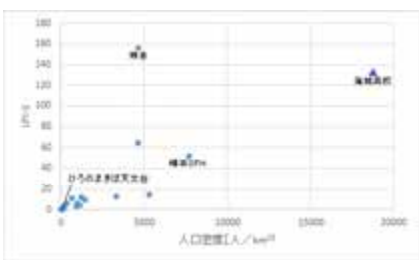


図10. LPI-Sと人口密度(半径2km圏内)の比較

4-3. LPI-Sの実用性について

現在は、このLPI-Sが現状の光害を適切に数値化できているのかを考察するため、北九州市内各地での観測を行っている。さらに、夜空の明るさ全国ネットワークの参加校に対してアンケートを実施し、その地域特有の光害の様子について調査を行った。その報告からいくつか抜粋したものが、次の表である。

表. 全国ネットワークへのアンケート調査回答

学校名	LPI-S	みられる光害の様子
熊本 (福岡県北九州市)	156.4	・ナイター照明点灯時の観測値 → 夜空に与える影響が大きい、...
海城高校 (東京都新宿区)	152.8	・肉眼で見える星は、1等星が限界 → 仕方がない、東京は新宿だ、...
東京理科大学 (福岡県北九州市)	88.9	・興津などが中国から輸入し、夜空を明るくする
一宮高校 (愛知県一宮市)	12.9	・北極星(2等星)を見つけないことが困難なことがある ・市内のホタルが、都市開発のため、...
遠東女子高校 (北海道函館市)	6.4	・見えるときには、4等級程度まで肉眼で見える → さすが函館、夜景が素晴らしいだけある、...
富山市天文台 (富山県富山市)	6.4	・住宅率h=3、経時変化率r=0.06なので、LPI=0.4 → さすが天文台、光害がない！
ひろのまきば天文台 (長野県戸隠)	0.002	・住宅率h=1、経時変化率r=0.012なので、LPI=0.002 → さすが天文台、光害がない！

北九州市熊本は、観測地付近にプロ野球の試合が行われる北九州市民球場がある。そのナイター照明の影響で経時変化率が大きくなり、1等星までしか見えない海城高校[東京都新宿区]よりも大きいLPI-S=156.4だった。人口密度だけで表現できない光害の大きさを、経時変化率で表現できた。一方で、天文台はどちらも値がほぼ0になっており、明確に光害の大きさを表現できる、メリハリのある式になった。

5. おわりに

曖昧な指標である夜空の明るさの光害を、人的要因・環境要因の影響を含んだ経時変化率を中心として公式化し、数値化した。また、全国ネットワークへのアンケート結果を基に、LPI-Sが適切に光害の大きさを表現しているかを確認した。

これまでに、J.Bortle(2001)などが光害のモデル化を図っているが、あくまでも美しい星空を見ることを目的とした、「暗い夜空」を数値化したものである。私たちの、「明るくなった夜空」を表現した光害指数(LPI-S)は、これまでになかったものだといえる。

黄砂や雪など、様々な要因で観測地毎の夜空の明るさの地域性が生まれる。しかし、光害指数に地域性がどう表れるのかを詳細に調査するには、より多くのデータが必要だ。私たちが観測を続け、全国ネットワークへの呼びかけを通して全国のデータをまとめていく。

6. 謝辞

「夜空の明るさ全国ネットワーク」参加団体のデータ提供に感謝します。星空公団の小野間さんには、多大なご協力を頂きました。ありがとうございました。

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(2013); 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.
- ・環境省(2000), 地域照明環境計画策定マニュアル 2p.
- ・J.Bortle(2001); The Bortle Dark-Sky Scale, Issue of Sky & Telescope, 126p.~129p.