

暗い夜空の意義とその回復の手順 その1

光害は公害か……

—宇宙に流れ出る光—

磯 部 瑠 三

<国立天文台光学赤外線天文学研究系 〒181 東京都三鷹市大沢 2-21-1 >

1. 夜空の明るさ

東京などの大都会の夜空は全体に薄明るく見えるが、海辺や山の中では墨を流したような真っ黒な夜空を背景にして、星々がキラキラ輝いているように見える。しかし、夜空の星のない部分でもかすかに輝いているのである。

天文学で夜空の明るさを示す単位の一つとして1平方秒角に何等星が一個あるという表現がある。地上におけるもっとも暗い夜空では23等星が1個ある程度である。これは約 $10^7 \text{ erg/cm}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{sr} \cdot \text{A}$ に対応しており、星の等級 m は、 $m = 2.5 \log I + C$ で表されるので、1等級異なると約2.5倍の明るさの違いになり、肉眼で見える星の1000万分の1の暗さということになる。

夜空を輝かせている主なものは三つある。それらは大気光と黄道光、それに遠くて暗い星の光の重ねあわせである（星野光という）。地球上層大気分子や原子に太陽光があたり、多重散乱して夜側も輝き、その明るさは全体の半分くらいになっている。黄道光は太陽のまわりを円盤状に回っている惑星間塵という微粒子が太陽光を反射して輝いている。地球も含む円盤内に塵が多くあるので、地球から見ると天球上に帯のように輝く部分が見られる。太陽に近い方向ほど明るいですが、夜側でももっとも明るい部分では大気光の2倍以上にもなっている。

黄道光は黄道面から離れた所では非常に暗いが、

そこでは星の光が相対的に強くなっている。近い星は個々の星として見られるが、遠くて暗い星や銀河は個々の星として分離できず多くのものの光が重なりあって連続的に輝いて見える。これらの光は銀河系の円盤方向や超銀河団の円盤方向で相対的に若干明るい全体としては大気光の2倍程度である。

ここで記した事でも明らかのように夜空の光は大気光によるものだけではないので、大気圏外に出たとしても夜空の光は半分程度になるだけで、真っ暗になるわけではない。

1平方秒角で23等級の明るさというのは世界でも非常に条件の良いところの事で、日本のように国全体に人が住んでいる場合には、長野県木曾観測所で21等級にもなり、埼玉県堂平観測所では18等級と100倍もの明るさになっている。

日本における夜空の明るさは人口密度と密接な関係にある。もちろん照明事情が悪かった50年以上前では、日本ばかりでなく世界的にみても夜空は暗かった。しかし、アメリカのような経済大国では早い時期から屋外照明が行われていた。第二次世界大戦の折、ロスアンゼルス郊外にあるウィルソン山天文台では街々の灯りがすっかり消えたので、精度の良い観測が可能になった。後日談としては近年のロスアンゼルス夜の明るさのために観測能率が非常に悪くなって、口径2.5mの望遠鏡の使用を中止してしまっている。

日本でも大戦後の復興と共に夜空は明るくなっ

てきた。それでも1960年代頃までは大都市部を除いてはあまり明るくはなかった。天文台のあるいくつかの場所でデータが得られており、岡山天体物理観測所では1967年前後で夜空の明るさが一挙に4倍以上明るくなった。これは山陽地方の工業地帯（水島や福山）の発展と密接な関係がある。そして、1988年には山陽高速道が近くを通るようになって天体観測をする上では非常に困難な状態になってきた。

夜空の背景光が明るくなれば観測の限界等級はどんどん明るくなり、第一級の天体観測を行うことは不可能になる。そのため、世界の天文台では、近隣の都市・村落からの光の影響を最少限にする努力を重ねている。一方、アマチュア天文家にとっても、都市やその周辺では2-3等級の星しか見えなくなってきた。そして、それらの人々の間から光害という言葉が多く聞かれるようになってきた。確かに天体観測する立場からすると夜空の余分な光はなくなってほしいものである。しかし、それが他の公害のケースのように人間の肉体に直接影響を及ぼす例はまずない。（ホテルの隣での強い照明が、光の害として営業妨害が認められた裁判例はある。）大部分の人々が、しかも、光害を問題としている人々自身が光の恩恵をあずかっている中で、光の害を公害と同一視するには適切でないと思う。

本稿では、夜空の明るさがどのようにになっており、どのような対応策が採られているかを概観して、天文コミュニティとして、この光の害の問題にどのように対処するのがよいかを書いてみたい。

2. 人工衛星による地球の夜の観測

1988年8月にアメリカ・ワシントンで国際天文学連合（IAU）と国際照明委員会（CIE）との共催で、天体観測に悪影響を

及ぼす障害光、電波障害、スペース・デブリに関するIAUコロキウム No.115が開かれた。その折、人工衛星から見た夜の地球の写真が示され、いかに多量の人工光が有効に使われることなく、無駄に宇宙空間に捨てられているかが再認識された。

この画像はアメリカ空軍の偵察衛星 DMSP（Defense Meteorological Satellite Program）によって1972年から連続的に観測されたものである。残念ながら軍事衛星であるので、各ピクセルが8ビットの深みのあるオリジナルデータは公開されていないで、一定のしきい値で切って1ビットデータとした写真が公開されているのみであった（図1）。ワシントン



図1 DMSPによって撮像されたフランス・ベルギー・オランダ地域の夜の景色。オランダは養鶏場のビニールハウスの照明光によって特に明るくなっている。フランスはパリを除いて比較的暗い（National Snow and Ice Data Center in USA 提供）。



図2 DMSPの各地域の写真を中山達がスキャナーで読み取り、座標合わせをして世界地図上に夜の光の分布が描いた図。位置が同定されているので、地球のいろいろな座標系で表示でき、また、昼間の画像との重ね合わせもできる（中山裕則；菅雄三氏提供）。

ン大学のW. サリバンがこれらの写真の内、地上に雲がかかっていない良い画像だけをつなぎ合わせて、世界の夜の地図 (Earth at Night) を作った。そのため、その画像は部分毎に歪んだものになっている。リモート・センシング技術センターの中山裕則達が、写真をスキャンして数値データにしてからコンピュータ内で位置合わせをした夜の地球図を得たのが図2である。これにより、昼間の画像と重ね合わせる事が可能になり、明るい光源を特定する事が可能になった。

この図を見ると、光の点や帯が散らばっている。北極海に見られるオーロラは唯一の自然の光と言えるであろう。東南アジアやブラジルのアマゾン河周辺に点在する焼畑の火が見られる。アフリカのサハラ砂漠の南縁に光の点の連なりが見られる。砂漠の縁に住む人々が穀物収量を増やすために焼畑をしており、砂漠化が徐々に南進しているのだと言われている。シベリヤやアラブの石油基地も明るく輝いている。しかし、それ以外は、ほとんどすべてが都市等の照明の光である。日本海にも明るい光がある。これはイカ漁船による焦光燈の光で、イカを集めるための強力な光が海面で反射したものである。この光の点は季節によって漁船団が移動するにつれて動いていくのがよく判る。何れにしても、膨大な量の光エネルギーが本来の目的である地上の物を照らすのに使われずに、宇宙のかなたに消えているのである。

3. 望ましい照明方法

照明の目的が暗い夜に物を見やすくするというのは明らかなことである。目で物を見る動物にとって夜に行動するには灯は不可欠であり、自身で灯を作り出せない動物は大部分太陽の光のない夜はひっそりと寝静まっている。人間は火を作り、その灯を使って夜も行動するようになった。それでも電力の十分供給されていなかった時代には、人々は比較的日の出、日の入りに合わせた生活をしてきた。この名残が江戸時代の明け六つ、暮れ六つ

という不定時制の時刻の表示に見られる。

日本の経済が発展し、電力事情がよくなると、人々は夜も働き遊ぶようになり、夜にも昼間のように物を見ることのできる照明が開発されている。電力を多く使う白熱灯から節電型の蛍光灯に変わった。これにより家の中も街も明るくなり、夜の行動にも不便を感じなくなった。さらに経済的余裕ができてくると、より昼間の感じに近い白熱灯が再び利用されるようになり、屋内、屋外の照明に対して経済性よりも感じのよさが要求されるようになった。

いくつかの雑誌記事を読むと、ライトアップは街のイメージをよくするために行われている、と言っているようである。確かにある面では巧妙に使われた光の効果は抜群で、人々に強い印象を与えるであろう。しんと降る雪の中に立つクリスマスツリーを子供の頃に見た記憶は一生消えないものである。ライトアップとは、背景の暗闇の中から目的とする物を浮き上がらせており、背景が暗いことが第一条件となる。

アメリカのラスベガスに行ったことがあるが、ここでは各建物が競い合って照明し、通常のライトアップ以上の明るさになっている。しかし、全てがきらきらしているので、街全体としての煽情性をかきたてているが、個々の建物の印象をすっかりかき消してしまっている。

日本のライトアップ運動は始まったばかりであるので、まだ照明された建物の数も少なく、強い印象を人々に与えている。しかし、このような運動があちこちで行われ、どこもが銀座のネオンサインのようになっては意味が薄くなる。

繰り返して書けば、ライトアップの目的を有効にするためには、背景光を暗くしなければならない。それは言い換えれば夜空を暗くすることである。これは1節で書いた天体観測をするための条件と同じであり、市街光による散乱光を減らさなければ効果が少なくなる。

ライトアップの目的の一つは、建物自体を光で

浮き上がらせることで、周りの夜空を照らすことではない。よく使われる下からの照明は、エネルギーを無駄にしているばかりでなく、夜空を照らすことによってライトアップの目的自体をも減じていると言わざるを得ない。

日本の家では部屋中を明るくしている場合が多いように思う。私が2年間住んでいた西ドイツでは部屋全体の照明はずいぶん暗かった。しかし、読書などをする時にはスタンドの近くに座るので十分な明るさである。これは無駄な所に光のエネルギーを使わないという意思の表れのような気がした。

アパートの共用の階段や廊下の電気はスイッチを押してから数分間だけ点灯していて、その後自動的に消灯するようになっているのも同じ発想からであろう。

一方、街灯の照明になると、日本もアメリカも西ドイツもあまり大きな差はないように思う。街灯の目的は道路を照らすことであるが、光が道路に有効にあたるように設計されていない場合が多い。図3と4を見ると、街灯には球形のグローブが使われていて、光の半分以上が夜空へと逃げていってしまっていて、夜空を照らすのに使われている。また、グレアと呼ばれる現象が起こる。照明器具全体が光って、歩行者やドライバーの目を眩ませ、街灯があることがかえって視程を悪くする。このようなものが使われるのは、昼間の見映えによっているところが大きい。

一方、図5のような街灯の場合、大部分の光が道路を照らすのに使われ、横方向に出る光が少なく、ドライバーの目に直接光が入らないので運転しやすいであろう。

夜空の明るさと関係する照明の工夫はもう一つある。それは低圧ナトリウムランプを使うことである。天体観測では天体からくるあらゆる波長の光



図3 昼間には見かけが良い照明器具 (国際暗夜協会 IDA 提供)。



図4 図3の照明器具を夜に点灯すると、半分近い光が上方に逃げて無駄になっている。しかし、照明器具の真下には光は届かない。(国際暗夜協会 IDA 提供)。

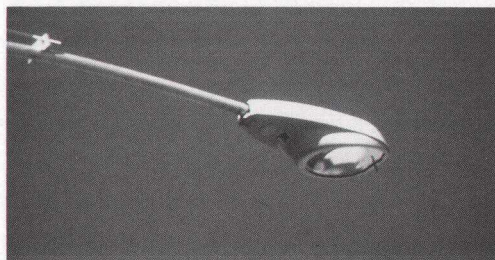


図5 下方に有効に光を放射する照明器具の例 (国際暗夜協会 IDA 提供)

を分析して研究している。夜の街を真っ暗にするわけにはいかないのであるから、特定の波長の光だけで照らすことを考えるのである。

外国から帰って成田空港からリムジンバスに乗り、高速道路を走っていると、千葉県内ではオレンジ色の街灯が輝いているが、東京に入ると急に白色の水銀灯に変わり、その明るさに眩しさを感じる。高圧ナトリウムランプの設置費は相対的に高いが、維持費が安く、数年以上使用すれば割安である。低圧ナトリウムランプでは、この効果はより大きい。そのため新しく建設された千葉県側

では、この種ランプが使われていると聞いている。

低圧ナトリウムランプは5890 Åと5896 Åの光が大部分で、他の波長の光をほとんどだしていない。そのため、これらの波長だけを除去するフィルタを使えば、周りの景色を著しく暗くすることができる。天体観測の時にこの方法が使えるのである。しかし、この効果はアマチュアでもかなり高度な天体観測をする時に有効ではあるが、一般の人が星空を楽しむという意味では全く効果はないことを記しておくべきと思う。

4. 光害は公害か

光を人工的に作り出したのは人類のみである。太陽や月、そして星々の光が自然にある唯一のものであった。それが山火事などで燃える木々にヒントを得て、木を燃やす光を使って夜の灯を得た。19世紀にガス灯が発明されるまではエネルギーの光での利用は効率の極めて悪いものであった。

1995年6月にイギリスのNewcastleで開かれた光エネルギー有効利用国際委員会(IAEEL)の会合でN. E. Pollard氏は図6において、光のエネルギー効率が最近50年の間に急激にようになってきたことを示した。裸電球の下で生活した経験のある私達の世代では年々より明るい光の中で生活することができるようになり、嬉しく思ってきた。しかし、

適正な光の量がどのようなものかという社会的共通認識ができる前に光が溢れ出して、せっかく光エネルギー効率がよくなったにも関わらず、光のエネルギーを宇宙に無駄に放出してしまうようになってしまった。もうそろそろエネルギー効率の質を議論しなければならない時代になってきた。

一方、星の観望、観察、さらには観測をする人々の中には、夜空が明るくなることを光害と捉える人が多い。“光害”となる光を出している事業所、団体、行政機関にその取り止めに要請するケースも多く見られる。それらの行動は若干先鋭的であるのでマスコミなどにも取り上げられ、反対運動としてはそれなりの成果を得ている。しかし、それらは超過度の障害光に対する反対運動であったので一見成功してはいるが、通常の人々の明るい光に対する嗜好から引き起こされる過剰な光に対しては、このような方法での運動に限界があるであろう。

夜空の明るさの問題を考える時、光を欲する人と消したい人の間での調整をとることが大切である。それにもかかわらず、障害光を一言で“光害”と呼ぶことは良い結果に結びつかないであろう。それは光を欲する人の数の方が圧倒的に多いという状況から考えて明らかである。なぜ光を消すことが大切であるかを科学的なデータを基に議論をし、

光を消すことの重要性を理解する人の数を徐々に拡大していくことが早道であると確信している。

光害は公害と直接的に言えるものではない。このような観点から、私達がより地道に行っている活動を次回に示すことにする。

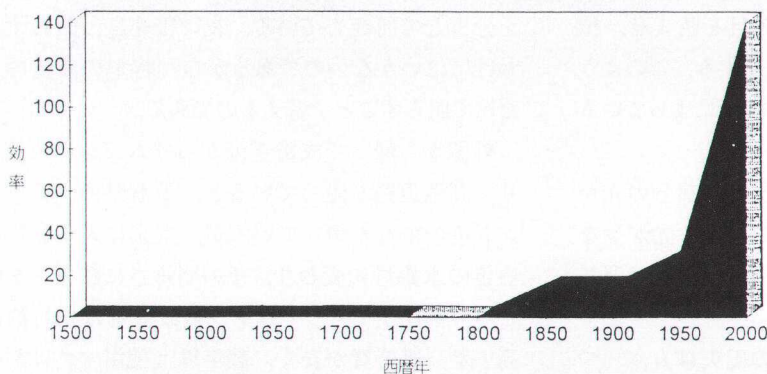


図6 個々のランプの光効率の年変化。(N. E. Pollard氏による)