

暗い夜空の意義とその回復の手順 その4

何が夜空を明るくしているか

— 明らかにされつつある原因 —

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〉

夜の人間の活動にとっては、灯りは不可欠である。しかし、グローバルな観点に立って光の使用にも十分な配慮が必要である。夜空の明るさがどのようになっているのかの具体的なデータが得られつつある。世界の天文台周辺でのデータ、また、人工衛星による継続的なデータを得る試みについて紹介する。

1. 明るすぎる夜空の問題

日本ばかりでなく、世界的に夜空が明るくなっていることは、人工衛星から見た夜の地球（10月号 453 ページ）を見るまでもなく明らかである。それが天体観測にとっても重大な問題であることも示してきた。しかし、星空が見えないからといって、それを一言で“光害”と断定して、社会に働きかけることのデメリットも示した。“光害運動”を続けていくと、通常の人々の明るい光の嗜好からくる過剰な光を減らすという目的には壁に突き当たらざるを得まい。国際照明委員会と国際天文学連合の共同で過剰光を抑えるための ISO 基準作りも進んでいる。このような時点では単なる反対運動よりも最近始まった夜空の明るさを多面的に観測しようとする試みの方が、夜の明るい光に賛成・反対の両者に対して、同じ土俵上で議論をするための貴重なデータを提供するので、より重要な活動であろう。

問題の解決のキーとなるのは、人々の快適な生活のための最低限の光量の評価と、エネルギーを光の形で宇宙空間へ放出することのない有効利用の考え方であろう。国際照明委員会副会長である

中京大学の成定康平氏はこの点を強調しておられる。

飛行機に乗って東京の多摩地域を飛ぶと商業地域は街全体として輝いているが、少し離れると道路に沿った光の線がくっきりと見られる（図1）。そのような地域で夜空を明るくしている原因は街路灯と自動車のヘッドライトであることは明らかである。

夜間に自動車が行く時には照明が必要である。その照明を街路灯で得るか自動車自身のヘッドライトで得るかについてはエネルギーの有効利用、環境保全の立場から考えることが有効である。自動車のヘッドライトを点灯するために、余分なガソリンの燃焼をすることは、貴重なガソリンを使い、大気汚染の原因となる。一方、自動車の通行頻度の少ない所に街路灯を常に点灯しておくことはマイナス点になる。自動車の使用を現在のようレベルに保つかどうかというより本源的な議論はあるが、使用するとした時の照明の在り方をここに示したような観点から十分に議論することが必要であろう。

一方、光を有効利用する照明器具の利用・開発も不可欠である。目的とする物体を実視できる適度な明るさ、また光を無駄な方向に逃さない光源

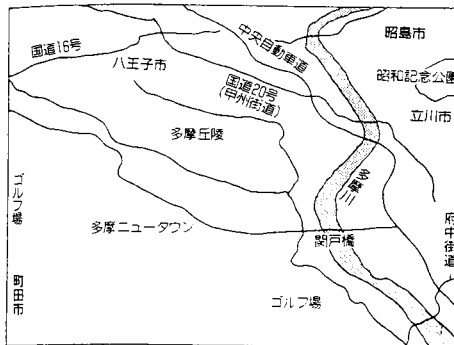
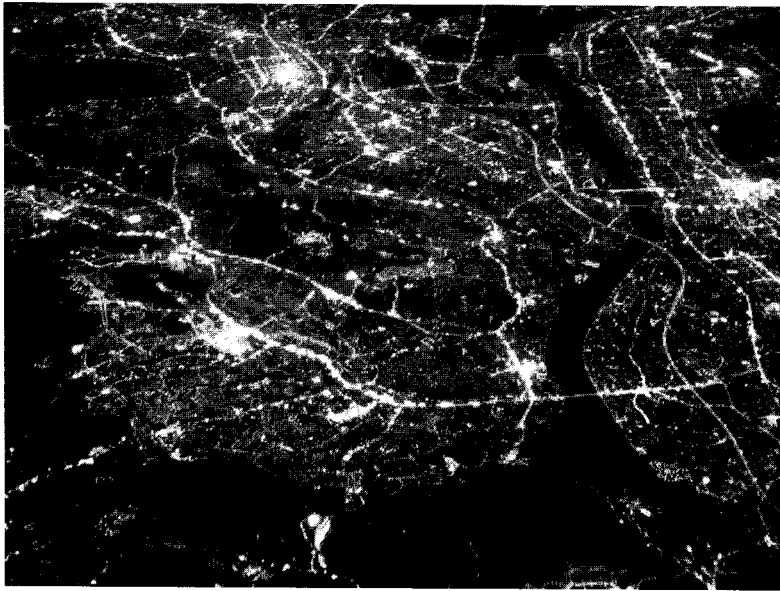


図1 1993年2月6日に朝日新聞社機より上田頼人記者が撮影した東京・多摩地方の夜の光の分布写真（朝日新聞提供）

や笠の開発は早急に行われなければならない問題である。さらにすでに開発されている物を顧客に利用してもらうための広報活動，説得活動は天文関係者ばかりでなく照明関係者も地道に進めていかなければならないテーマであるといえる。

このシリーズのまとめの段階として，現在，筆者が関係している範囲で，“何が夜空を明るくしているか”の問題解決のための夜空の明るさのレベルを明らかにする活動を示すことによって，各方面

の方々の御支援をいただき，また必要な場合は御批判いただきたいと思う。

2. 天文台周辺の照明環境

一言で天文台といってもいろいろなものがある。もちろん夜空の明るさを問題にしているのであるから，電波天文台や宇宙天文台は除かれる。まだ市街の照明が十分なされていなかった19世紀以前に創設されたハーバード大学天文台やパリ天文台な

表1 夜空の明るさを減らすために屋外光の照明規制条例を実施している世界の各都市
 (資料「岡山天体物理観測所の近況 夜空の明るさと人工灯火の影響」昭和63年2月)

アメリカ	アリゾナ州フラグスタッフ市 (1958年) ワシントン州リッチモンド市 (1972年) アリゾナ州ココノ郡 (1973年) アリゾナ州ピマ郡 (1974年) ハワイ州ハワイ郡 (1974年) テキサス州ジェファーソン・デビス郡 (1976年) カリフォルニア州サンディエゴ市 (1985年)
イスラエル	テルアビブ大学ワイス天文台周辺
ドイツ	カールシュバルツシルド天文台から 20 km 以内
チェコスロバキア	オンドリュフ天文台から 15 km 以内
ブラジル	イタペチニア電波天文台周辺 (1972年, 電気雑音)
スペイン	カナリー群島テナリフ島, イザヤ島, パルマ島 (1979年)

表2 世界の一級天文台における夜空の明るさ (Ch Leinert et al 1995)

天文台	Ib(最大)	Ib(最小)	Iv(最大)	Iv(最小)	太陽輻射
カラ アルト天文台	22.54	23.05	21.16	21.83	191 176 206 156
サンベニト山天文台	22.37	23.08	21.32	22.07	233 78 76
キットピーク天文台	22.65	22.98	21.60	22.01	114 75 114 75
ヨーロッパ南天天文台	22.96		21.90		162
クリミア天文台	21.91	23.05	21.10	22.05	122 136
ハワイ天文台	22.27	23.03	21.21	22.05	210 142 166 102
マクドナルド天文台	22.54	23.01	21.54	21.92	138 156 159

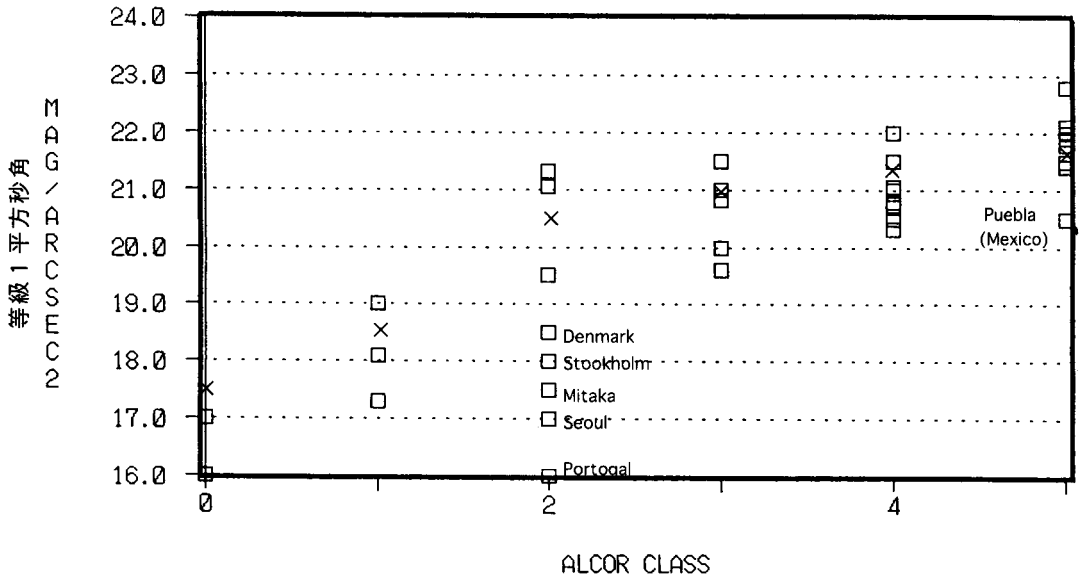
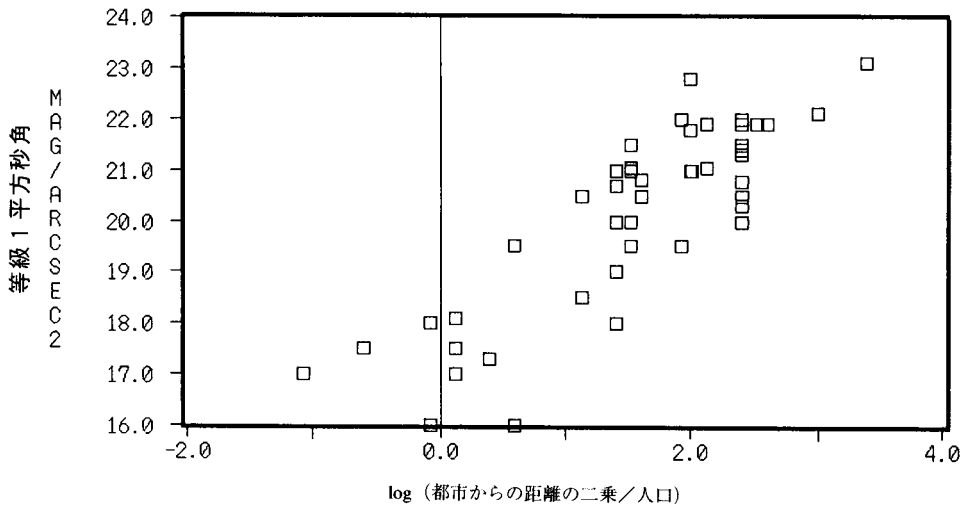


図2 世界の60ヶ所の天文台の希望するALCORゾーン(12月号564-565ページ)に対するその地点における夜空の明るさの測定値.



都市からの距離：
 市中：5、都市周辺：20、50kmより内側：50、50-100km：100、100km以上：200
 人口：
 < 1万人：1、1万-10万人：10、10万-30万：30、30-100万人：100、100万人以上：300

図3 世界の天文台における近隣都市からの距離とその都市の人口に対する夜空の明るさの測定値

どはすっかり大都会の光の波に飲み込まれている。1895年に最良の観測地アリゾナ州フラッグスタッフを選んで設置されたローウェル天文台も丘の下に広がる街の明かりの影響を受け始めた。

夜空を明るくする光の害に一早く気付いた世界の重要天文台では、1960年代から近隣の都市に、街灯に傘をつけたり、低圧ナトリウムランプを採用してもらうように頼む努力をこつこつと重ね、表1のような都市では条例の中に含めてもらうことに成功している。日本の場合には全てが手遅れの感がある。岡山天体物理観測所は県や周辺市町村と協力者会議を持ってお願いをしているが、夜空の明るさは18等級/平方秒角という一級天文台としては明るすぎるレベルである。岡山県美星町は日本で唯一光害条例を制定しているところである。しかし、この条例の制定は過疎地活性化のために考え出されたもので、私も起草委員として参加したが、当初のものは罰則規定まである厳しいものであった。私は住民が強い反感を抱きかねない条例の部分に強く反対して、現在の形はかなり緩やかな規制にもらった。前にも記したが、キットピーク天文台のD.クロフォードはアリゾナ州ツーソンの市当局ばかりか住民に対する地道な説得、教育活動を続けた後でなければ住民の支持や協力を得られず、光害条例は無残な結果に終わることになると言っている。しかし、IAUの推薦する内容を含む光害条例の美星町の制定は、その後の活動に与える影響が大きかったことも確かである。

ドイツ・マックスプランク天文学研究所のCh.ライナート達(1995)は、世界の1級天文台の夜空のB等級とV等級の観測を行ってきて、表2のような結果を得ている。これらのいずれも日本の最良の所に比べて0.5等前後も暗い値である。蛇足になるが、観測条件は晴天日数や夜空の明るさだけでなく、望遠鏡の上の大気の揺らぎによる星像の広がり方も重要な条件で、表2の天文台ではいずれも1秒を切るレベルになっている。残念ながら日本ではそのような小さな星像サイズ

の所はなく、平均で2秒角をかなり越えている。

IAUの天体観測環境保全委員会では夜空の明るさがどのくらい悪くなっているかの調査を行っている。市街地にある天文台から高山にある天文台までが全て最良の環境を得ることは無理である。高山では自然の夜天光と同じレベルに保つこともできるが、市街地では人々の活動との兼ね合いになる。しかし、いずれにしても上空へ無駄な光を放出しないことが必要である。

住所が手元にあった全世界の約500の天文台へのアンケート調査を行った。市街地で努力をすればどのレベルの夜天光になるかという上限値を示すデータが得られつつある。これらのデータを基にして、郊外や都市からの遠隔地などでの可能な限り暗い夜天光の具体的な数値が近いうちに得られる。そして、60カ所からの返事を得た。12月号565ページに示したIAUの提案したALCORの各ゾーン毎に天文台を分類し、それぞれの天文台のゾーンと実際の夜空の明るさの関係を図2に示してある。各ゾーンにおける夜空が最も暗い天文台の値はIAUの提案に近いものになっていて、この提案がかなり正当なものである証拠となるであろう。ゾーン2の分布が大きく散らばっているのは、街の郊外の定義によると考えられる。例えば、国立天文台は東京の郊外ともいえるが、すでに三鷹、調布、府中の市街地に入っていると考えるべきかもしれない。

夜空の明るさは、都市が出す光の量とその都市から天文台までの距離によって決まる。R. H. ガースタング(1991)がそれらの関係をいくつかの天文台に対して詳細な数値計算を行って求めている。この様子をもう少し統計的な観点から扱えるように図3を描いた。縦軸は各天文台で測定した夜空の明るさである(2カ所が22等級/平方秒よりかなり暗い値を報告しているが、これはB等級で示した可能性がある)。全体的には人口が少ない(光の放出量が少ない)方が、また、都市までの距離が遠いほど暗いことが示される。分布の上限を包

む線が、それぞれの天文台ではやむを得ない明るさといえるのではないであろうか。その線から明るい方に3等級近くばらついており、これらを解消するのが天文学者の努力目標となるであろう。

3. 人工衛星を使った観測

10月号453頁に示したリモートセンシング技術センターの中山達が世界の夜の光の分布図は座標データを含めて全てのデータがコンピュータの中に取り込まれている。そのため、地球の異なった方向から見る事ができる。1994年8月1日の朝日新聞1面トップに北極方向から見た世界の夜の光分布図が示された。私達、天文関係者、の感じは香西氏が代表して発言しておられた。しかし、その他の著名人の発言は輝く光を感嘆するものであったり、人類の繁栄を喜ぶものであった。多量の光が無駄に使われている様子をせつかく示したつもりであったにもかかわらず、製作者側の意図はまるで伝わらなかったことになる。この例からも、一つの印象的なものよりも多くの人々に直接会って説得していくという国際暗夜協会のD. クロフォードが行っているような地道な活動が重要となることがわかる。

アメリカ空軍はDMSP(Defense Meteorological Satellite Program)を1972年以来継続的に運用しており、それにより得られた画像を全てコロラド州にある国立雪氷研究所(National Snow and Ice Institute)に保存しており、全てのシーンの縮小画像がWorld Wide Web(<http://julius.ngdc.noaa.gov:8080/GOIN.DMSP/dmsearch.html>)で見られ(図4)、1996年から8ビットの奥行きを持つオリジナル画像を直接購入できるようになった。私達のグループではWWWから、雲などの影響の少ない画像を選び出して購入し、それらから夜の光の分布を解析する準備を進めている。

これまでには、オリジナル画像を写真に焼き付けたものが売られており、中山達はそれらをスキ

DMSP OLS Browse Imagery

Infrared, Visible and Orbital Coverage of 1/8 orbit from satellite F12.

Closest matching data: Sat Dec 23 12:14:28 1995 near Lat: 24.000000 Lon: 134.199997.

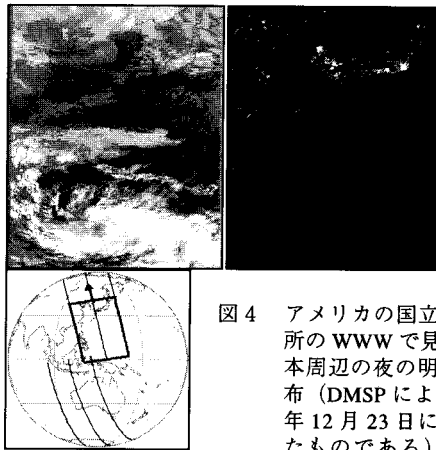


図4 アメリカの国立雪氷研究所のWWWで見られる日本周辺の夜の明るさの分布(DMSPによって1995年12月23日に観測されたものである)。右図は可視光、左図は赤外線の見測で、下図は衛星の軌道である。

ャナーで読み取って、世界の夜の光の地図を作ったのである。そのような制限の下で、各都市の夜の大きさと人口分布を求めたのが図5である。この図からアメリカなどでは広い地域に広がって住んでおり、日本などでは狭い地域に集中していることがわかる。

環境庁が中心になって行っているスターウォッチングの結果とDMSPによる画像は日本の場合にはよく一致していることをすでに示した(11月号510頁)。これは図6のように光源から出た光が大気を透過した光と大気によって散乱した光を見ていることによる。スターウォッチングを行うには日本全国で数百人の人の協力が必要なので、現在の夏と冬の年2回の試みを増やすことは難しい。一方、DMSPの分解能は1kmという悪いものである。そのため、光を放出している地域全体の様子はわかるが、個々の強すぎる光源を同定することはできない。

1996年8月17日に地球環境観測衛星(ADEOS)が成功裡に打ち上げられた。この衛星にAVNIR(Advanced Visual and Near Infra-Red)受光器が

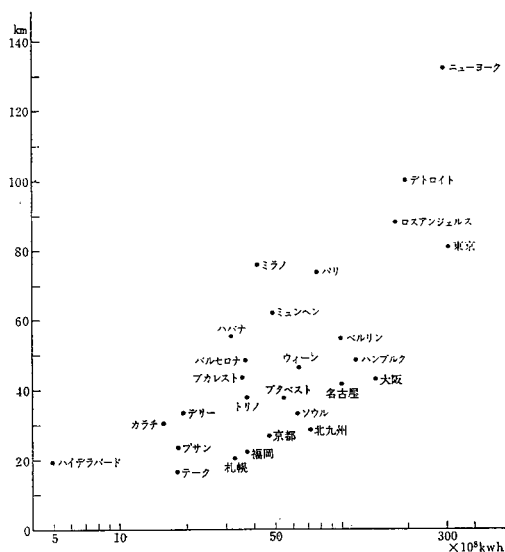


図5 DMSPの夜の画像から求められた世界の各都市の大きさとその都市のエネルギー使用量の相関図。

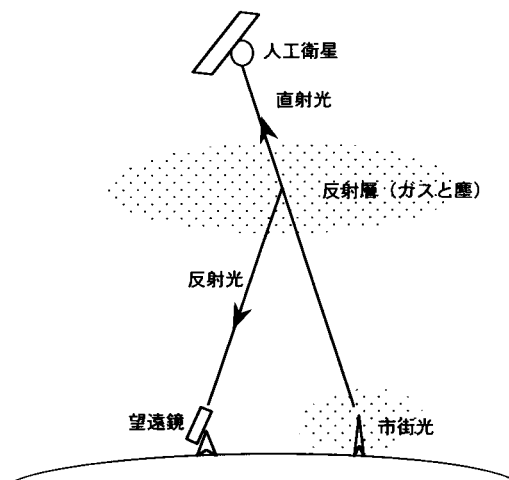


図6 都市等の屋外光は大気を透過して宇宙空間に放射される成分と大気中の分子と塵によって反射されて地表に戻ってくる成分がある。

搭載されていて、それによって地上の10mを分解できる画像が得られる。この受光器は元来昼間の観測用に設計されているので、夜の観測としてはかなり難しく、DMSPの数千分の1の感度しかない。DMSPでは、10W電球が1個点灯しているだけで撮像できるが、AVNIRでは100m²の中に10kwの光源がなければならぬ程度しかなく、よほど光が集中していなければ写らない。しかし、光を無駄に宇宙に放出している特定の光源を特定できるという意味ではDMSPより有効である。

AVNIRの限られた観測時間の中で、地上の夜の画像を撮る提案をしたところ、40枚の画像を撮るPI(Principal Investigator)に採用された。画像数が限られているので、東京都内と静岡県静岡市周辺の撮像を季節毎にまた3年間にわたる変化を追って行ってもらうことにした。この観測が順調に進めば、少なくともかなりひどい光源を特定し、それに対する当事者の理解を得る作業が始められると思う。

地球観測衛星はADEOS・II(1999年打ち上げ予定)からADEOS・III(2001年打ち上げ予定)

と続くことになっている。これらに搭載予定の受光器の感度を上げるか、昼間の画像をきれいにするための信号の閾値を少なくとももっと低いレベルにしてもらうことができれば、DMSPの数十分の1程度の感度にまで達するので、無駄な光を放出する光源の特定にかなり有効な手段となる。その方向に持っていくためにもADEOSの観測でよい結果を出したいと思っている。

このように、夜空を明るくしている原因が一つずつ明らかにされてきている。次には、それらを是正するためにどのような照明器具がよいかを具体的に示すことである。

What is the main source to create bright night sky?

A lighting system is necessary for night time human activities. However, one should take it account to use light properly considering global terrestrial energy resources. Now, we are collecting different data showing a level of night sky brightness at each site: those are brightness data surrounding the would wide observatories and terrestrial brightness distribution at night time obtained by satellite observations.