

暗い夜空の意義とその回復の手順 その2

夜空の明るさの測定と対策 —スターウォッチング—

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 >

人工光によって夜空は明るくなり、天体観測が困難になってきている。しかし、そうだからといって、大多数の人々が好む夜の光を消せというのではよい結果につながらない。まず、示されなければならないことは、夜空の明るさとその時間変化という基本的なデータである。そして、それらの活動を通じて、星空を見えるようにしておくことが人類にとってどのような意味を持つかの理解を広める努力が大切である。

日本と世界に行われつつあるスターウォッチングの試みを紹介する中でこれらの問題を議論していく。

1. 花と星

夜空にキラキラと輝く星々は美しい。天文愛好家の人々は「星はこんなに美しいからぜひ多くの人が見るべきだ」と言う。そして、美しい星をよく見えるようにしておくために、夜空を人工光によって明るくしてはいけないとも言ふ。これは本当であろうか。野に咲く花も美しい。花を見てだけで心がなごむ人が多いであろう。星が美しいと同じように、花も美しいのは明らかなことである。それでは、「星がこんなに美しいからぜひ見なさい」と言う人が、なぜ「花が美しいからぜひ見なさい」と言わないのであろうか。これでは自分の趣味を他人に押しつけるのと同じことであると言える。いや、もっと言えば自分の趣味のために明るい照明を好む人に無理矢理、灯を消せとまで言う。

私は天文学者として、星々を観測し研究している。天文学者の中には、天文少年時代から星を見るのが好きになった人がいるが、その割合は多い方ではない。私のようなタイプの者は、観測によ

って得られるデータの方に関心がある。冬空の寒い夜、時にはマイナス10度にもなるドーム内で一晩中寝ないで観測することを、とても楽しいとは思えない。私はこのような苦痛から逃れるためにテレビガイドシステムを導入したが、これは日本では最初の試みであった。今では研究者用の天文台では暖かい部屋（夏には計算機のためにエアコンをした部屋）で観測されている。

私もアマチュアの人々の観望会を手伝うことがある。何台もの望遠鏡を並べて天体を見るのであるが、残念ながらのぞき穴が一つしかない。小望遠鏡なら何台も並べることも可能かもしれないが、口径50センチを越えるものでも一つしかない。その結果、一人あたりの見る時間が1分とか30秒とかの短いものになってしまう。そこで、より多くの人々がより鮮明な天体画像を見られるようにするために、高感度テレビカメラを15年ほど前に導入してみた。これは全く失敗であった。人々は星からの光を直接見ているということに感激するのであって、一度、電気信号に変えたものでは何の感激もわかないようである。

テレビの番組で花が映される。それはとてもきれいである。そして、刻々と微妙な変化を示す。花の写真もきれいである(図1)。プレアデス星団やアンドロメダ銀河等の天体写真もきれいだが、花の写真の多様性にはとてもかなわないように思う。星が美しいという人はその人の勝手である。しかし、美しいという理由だけで多くの人が星好きになるようにと説得したり、夜の照明を消せと言うのは一種のエゴではないだろうか。

ここで天文学はどんな風に大切なものかを少し考えてみよう。私達は日々の生活をするのに天文学などを考えずにいる。しかし、ふと立ち止まって、自分自身ばかりでなく、人類がなぜこの世に存在するかという疑問を持つ時がある。それは哲学の世界であり、宗教の世界であるという人がいるであろう。それでは考えるだけでよいのであろうか。科学的な手法で考え、答えを出す方法はないのであろうか。

生命を考える場合、生物そのものの研究が大切である。花はどのようにして生きているのか、どのようにして成長するのか、そして、それらの存在するための環境は、と続く。この方面の科学研究は続けられているが、その様態があまりにも多様であるために、人類そのものや生命そのものの存在に関する議論にはなかなか進めない。

天文学はどうであろうか。天文学は現象自体を比較的やさしく物理学の法則だけで説明してきた。そして、私達の太陽はあと50億年しか輝かなく、宇宙全体も終わりがあることが示されてきた。より近い将来には小惑星が地球に衝突して地球上の人類が滅びることも判ってきた。天文学が出した答えは人類の存在は有限であることである。

私達は親から生まれ、子供を作ると、自分自身は死んでしまっても人類はいかに永遠に続くと考えてきた。その考えを根底から崩したのが天文学である。しかも近年の説によるとこの宇宙はうたかたの泡のようであるという。それではこの宇宙に今いる人類とは何なのか、それが存在する理由とは

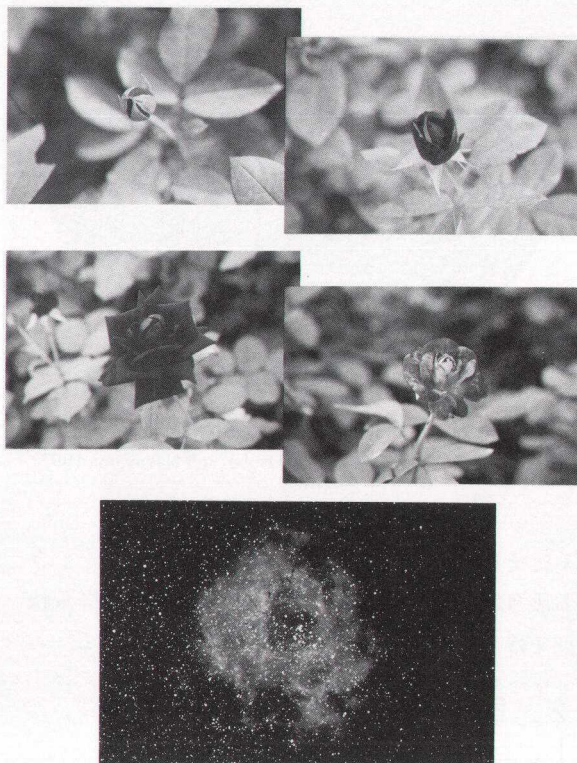


図1 ばらの花はつぼみから刻々と姿を変えて大輪の花となるが、ばら星雲はいつ見ても同じ姿を見せてくれる。どちらがよいかは各個人の感性によるところが大きい。(ばらの花の写真は佐々木五郎氏撮影、ばら星雲は東京大学木曾観測所撮影)

いう疑問を投げかける。

花も星も美しい。花も星も人類の存在を考える上で大切である。星の側、つまり天文学からはその疑問に対する外枠を与えられるようになってきた。次は、花の側つまり生物物理学からの詰めが必要である。花が美しいと思う人は多いが、花をこのような目から見る人はまだ少ない。星も美しい、そして、幸いなことに星を調べることによってそのレベルに達してきたのである。次の時代には、花(生命)が大切になるであろうが、現在の時点では人々の星(天文学)への理解を進めることの重要性は強調してもしきれないレベルと思う。

花と星は美しいだけでなく、人類の存在に対する答えを出すきっかけを与えてくれるものなのであ

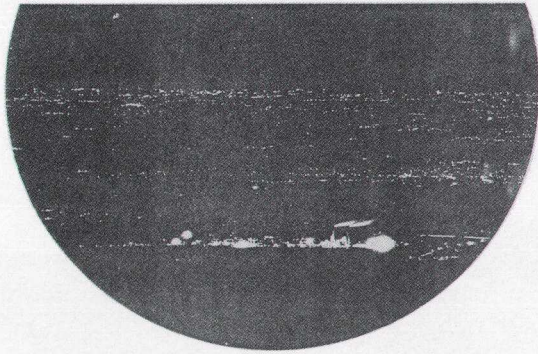


図2 香西が1968年に埼玉県堂平山から撮影した関東平野の夜の景色 (Kosai, Isobe, and Nakayama 1992)

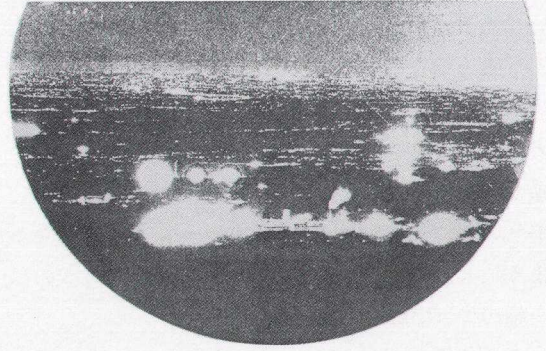


図3 同じく1972年に撮影した夜の景色

る。その意味で余分な照明を減らし、夜空をできる限り暗く保って人々の星への関心を深め得る状態を残すことの重要性を強調できることになる。

2. 日本のスターウォッチング

夜空が明るくなってきていることは確かである。しかし、単に明るくなったと言うような1ビット・データで言うのではなく、もう少し定量的な評価が必要である。前号で示した人工衛星のデータはこれまでのところ軍事機密という事で、残念ながら1ビット・データの写真しか提供されていない。幸いな事に、ソ連崩壊後のデタントによって、オリジナルな8ビット・データがようやく提供されるようになったので、私達も手に入れる準備をしている。

図2と3は、香西が埼玉県の堂平山から撮影した関東平野の夜の景色である^{1), 2)}。図2は、1968年のもので平野内にある個々の街々を区別して見ることができ、新宿などの東京の中心部が特に明るく輝やいている。図3は1972年のものである。この4年間に街々の明るさは、飛躍的に増大して、平野全体が火の海という感じを与える。

夜空の明るさを測る一方法として、肉眼で何等星まで見えるかを測る方法がある。背景光が明るい、その光の中にうずもれて星の光を見い出せな

くなる。大都会では一等星かせいぜい二等星までしか見えない事が多い。この方法では観測者の個人差が大きすぎ、十分な精度が得られない。一方、光電管を使う方法では精度は十分ではあるが、装置の値段が高すぎて全国的な測定をするのには不向きである。

環境庁では、大気汚染度の指標とするために当時、国立天文台の香西(現佐治天文台長)の提案した夜空の明るさの観測を全国的に始めたのは1987年であった^{3), 4)}。他の方法としては、天頂近くにある星を含む星野を標準カメラで写すだけのものであった。この方法は若干の天体写真技術が必要ではあるが、低価で簡便なものであったので、全国百数十ヶ所が参加して始まり、その後も夏・冬の年2回スターウォッチングと称して毎年継続的に行われてきて、参加団体数も増大してきた。参加者数も5,000人をはるかに越えるようになってきた。夜空の明るさに関心を持つ人の数がこのような活動を通してゆっくりではあるが着実に増大してきている。

これらのデータ解析をし、いろいろな形で論文に発表してきている。そこでは写真観測のデータを採用している。個人差を除き、一定レベル以上の精度を確保する上で最良の方法であろう。

実際に行われた撮影では、F 2.0, f = 50 mm レ

ンズの35 mm判1眼レフカメラにISO 400のカラーズライドフィルムを使用し、周縁減光を避けるためにF 3.5に絞って固定撮影する。明るさの基準となる1等星としては、夏はベガ、冬はアルデバランを選び、それぞれを視野の中央近くに入れ、80秒、150秒、300秒の3回の露出を行う。80秒露出では、それぞれの星像の伸びは0.227 mmと0.283 mmである。

市販のカラーズライドフィルムはメーカーの現像所において一括処理されるので、その特性曲線などは比較的そろっている。図4に3種類の露出のフィルム上の空の部分の黒み(D)が示されている。このデータから背景光が特に明るい豊中市、大田区、中野区を除いて直線関係が成り立っているがよくわかる。

天文学者は通常1平方秒あたり何等級の星が1個ある(等級/平方秒角 = m)と表す。測定には、参照星が必ず含まれるように0.5 mmのダイヤフラムを使う。フィルム上の星をほとんど含まない背景光の部分の濃度をD₂、参照星を含む濃度をD₁とし、参照星の等級をm₁とすると1平方秒当たりの背景光の明るさm₂は

$$m_2 = \frac{1}{0.4} \log \left\{ 10^{D_1/a} / 10^{D_2/a} - 1 \right\} + m_1 + 16.3$$

で与えられる。aはフィルムの特性曲線の傾きで、0.6から1.5の範囲にあるので、a = 1として計算しても特性曲線の直線部分を使う限り、0.3等級程度の精度で求まる。16.3等級はダイヤフラムの0.5mmの円が3.30 × 10⁶平方秒角であることから求まる補正項である。このようにして各観測点の夜空の明るさを求めて全国的な等光度図を描いたのが図5である¹⁾。図6に人工衛星で得られた夜

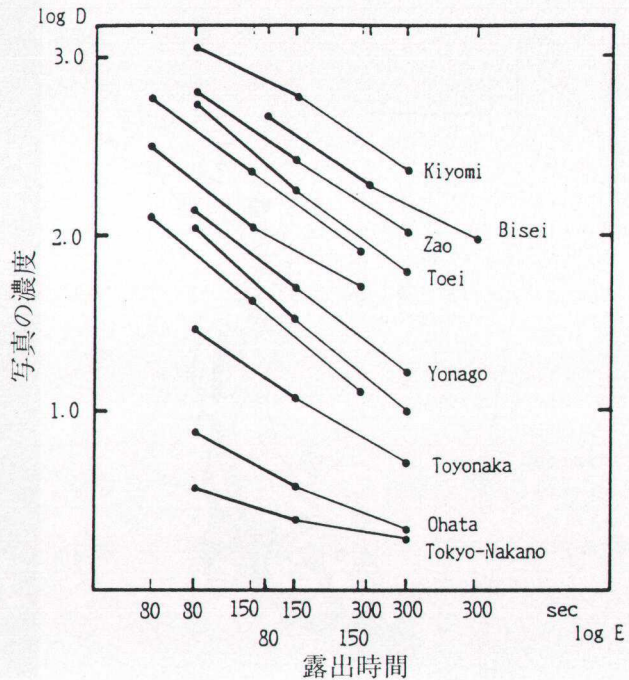


図4 各地で撮影された80秒、150秒、300秒露出のカラー・スライド写真から求めた特性曲線。曲線が重なり合わないよう、各地の横軸のデータをずらしてある (Kosai, Isobe, and Nakayama, 1993)。

の日本の明るさを比較のために示してある。両者は東京、名古屋、大阪などの大都市の明るさの分布ばかりでなく、非常によく一致している。スターウォッチングの観測は大気中の塵や分子の反射光であり、人工衛星の観測は光源からの直接光であるという違いはあるが、天気の良い日には強い相関があることは想像に難くない。

3. 夜空の明るさの特徴的な傾向

図5と6から明らかなように、いわゆる都市のある所はすべて明るくなっている。東京からスタートした東海道メガロポリスは大阪を通過して博多にまで達している。中央自動車道、東北自動車道などの線に沿ってきれいな光の帯が伸びている。幸いな事にまだ夜空の明るさが自然夜光に近い2

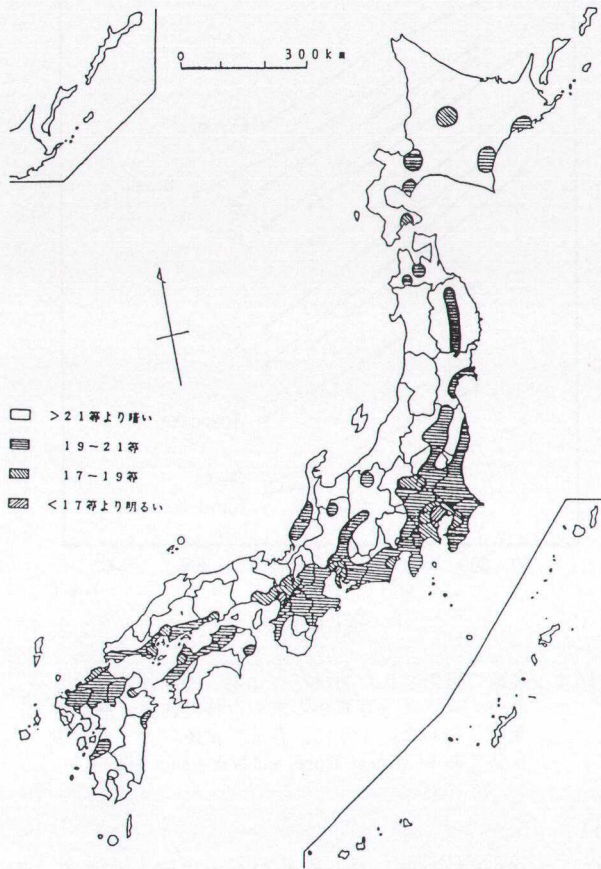


図5 スターウォッチング観測によって求めた日本各地の夜空の明るさの分布をコンタで示した分布図 (Isobe and Kosai 1992). 1平方秒角当たりの等級で示してある。

1等級/1平方秒の場所がかなりある。アマチュア天文家の多くは車を2~3時間走らせてそのような場所まで行って星空を楽しむ努力をしている。

しかしながら、図5のデータは天頂のものである。木曾の山中に東京大学木曾観測所がある。そこは夜空のもっとも暗い所として選ばれたものであるが、100 km近くにもある名古屋の方向を見ると山の端からかなり上の所までボンヤリと輝いているのが見られる。こういった意味では、全天に市街光の影響のまったくない真暗な夜空は日本全国どこ



図6 人工衛星から地表を観測して求められた日本の夜の明るさの分布図 (アメリカ雪氷データ・センター提供)

にもないと言える。中国地方のグループが一晩に20時、22時、24時の3回の観測を試みた。その結果が図7に示されている²⁾。夜がふけるにつれて、夜空は徐々に暗くなっているのがよくわかる。市民活動

が減るにつれて光が消されていく事を示している。この光に主に貢献しているのが、街灯であるのか、自動車のヘッドライトであるのか、他の原因であるのか、まだ解析されてはいない。

中部地方のグループは各市を横切って一列に並んで観測をした。そして、その結果は図8に示されており、都市中心から20 km位離れると、いずれの都市でも夜空の明るさが急激に暗くなること。そして、最大の明るさは各都市の人口と相関があり、100万都市の名古屋では16等級/1平方秒

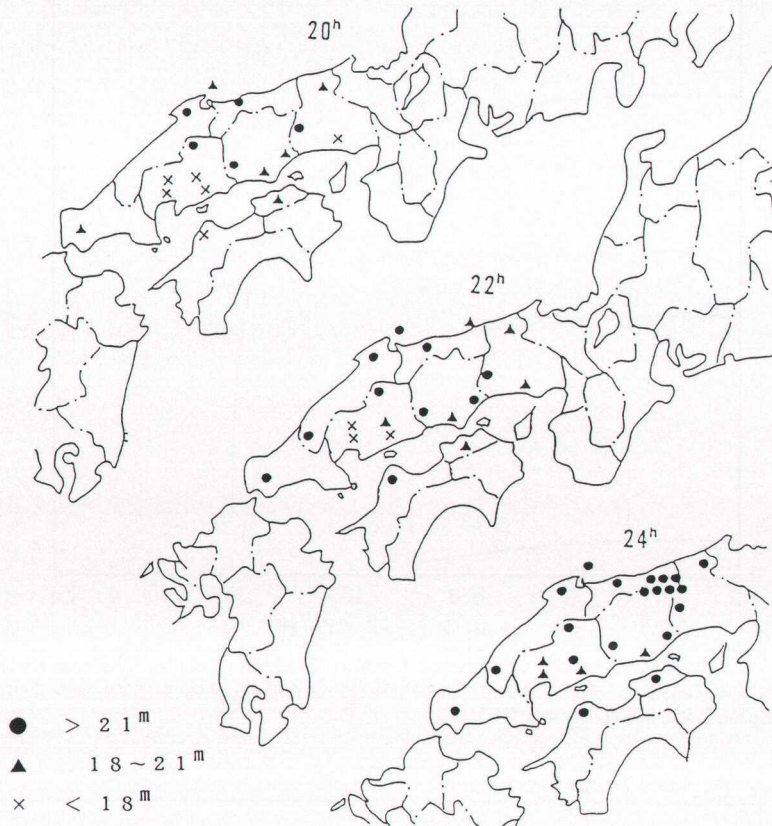


図7 中国地方各地での20時、22時、24時における夜空の明るさの変化 (Kosai, Isobe, and Nakayama 1993). 1平方秒角当たりの等級で示してある。

にもなっている。ネオンサイン、街灯、自動車のヘッドライトなどの密度が高いためである。

毎年のスターウォッチングのデータを並べてみると、いろいろなことが判る。図9⁵⁾に示されているように、夜空の明るさは徐々に明るくなっているのが判る。東京の中野や大阪の豊中での継続観測により、1991年の湾岸戦争の折に夜空の明るさが2分の1程度になっていた。これはライトアップや広告灯の自粛によっていると考えられている。もし、この時期に面での観測があればもう少し断定的なデータが得られたと思われる。

4. アジアに広がるスターウォッチング

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) 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・デブリに関する国際会議が開かれた。その折、日本では簡便な方法で夜空の明るさを測定するスターウォッチング観測が全国的に継続的に行われていたことを紹介した⁴⁾。そして、その方法をアメリカ、イギリス、オランダが採用して、測定を始めた。これらの国々では多くのアマチュア天文グループがあるので、比較的スムーズに

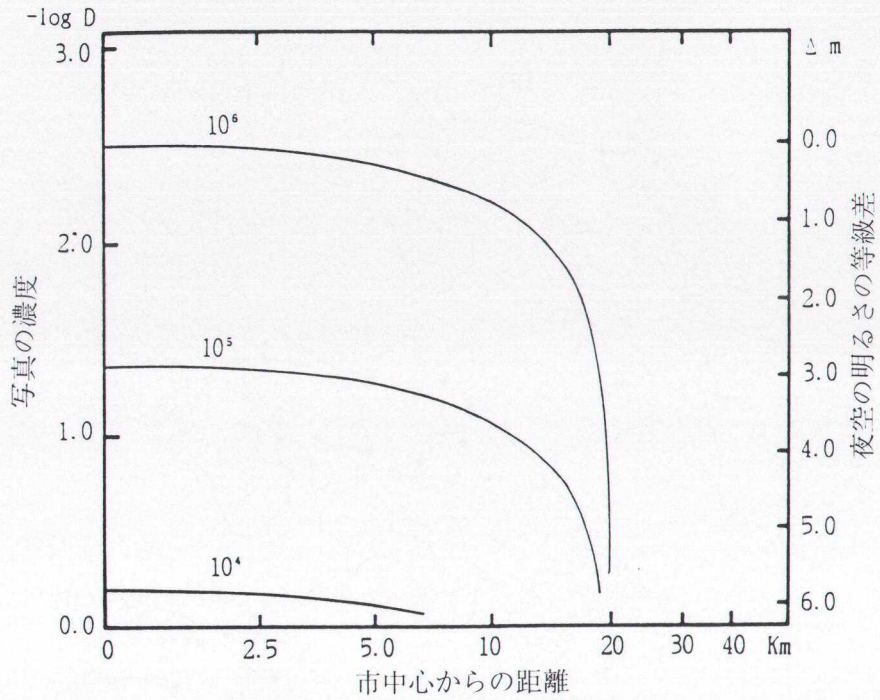


図8 人口1万、10万、100万都市の中心から郊外への各地点における夜空の明るさの変化 (Kosai, Isobe, and Nakayama 1993)

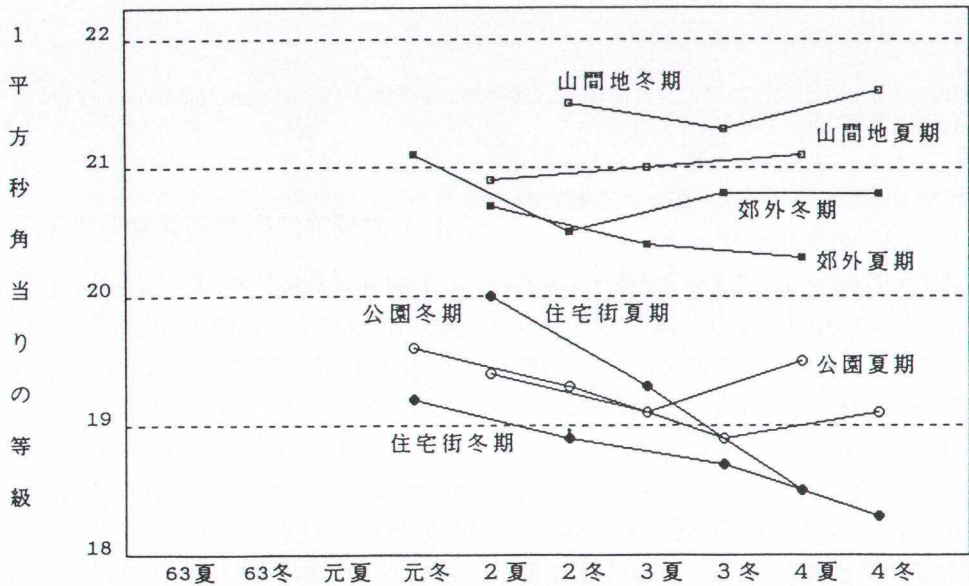


図9 各地における夜空の明るさの変化 (環境庁 1993)

行われた。アメリカでは国立光学天文台のD. クロフォードを中心とする国際暗夜協会 (International Dark Sky Association) の呼びかけでいくつかの点で行われたが、広い国土の中でポツポツとなされた程度で、日本のケースのように夜空の明るさの等光度図を描けるレベルにはならなかった。オランダは国際照明委員会側で積極的にこの問題に取り組んでくれているD. シュロイダー自身がアマチュア天文家であったので、国内のかなりの点での観測を行った。もっともオランダの天文学者は自分達が国内で観測することはないためか、あまり協力的でなかったようである。結果は、前月号の図1からもわかるように養鶏場の灯のためにどこも18等級/平方秒角より明るく輝いていた。

日本を含めて先進国での観測はすでに夜空が明るくなってしまったところのものである。街全体が余分な光を出さないようにしなければ、特定の光源だけを消しても本質的な改善になりそうにもない。このような国々では、光を欲する人々を徐々に時間をかけて説得して、理解をしてもらうしか方法はないであろう。

一方、発展途上国では、まだ光は溢れ出していない。大都市を除けばまだまだ夜空は暗い。そのような国々でいち早く観測をして、光が溢れ出す前に正しい光の使い方を人々に理解してもらうことはより重要である。このような考えの下に、何と

か発展途上国の天文学者にスターウォッチングの方法を教えられないかと考えていた。幸い、三菱銀行国際財団の援助を得て、1992年にアジア7ヶ国 (韓国, 台湾, フィリッピン, タイ, ベトナム, マレーシア, インド) からの代表者を招き、障害光に関する交流会を開いた。日本のスターウォッチングの時期に合わせて1月12日から1週間のスケジュールで大阪府豊中市, 西はりま天文台, ダイニツク・アストロ・パーク天球館と転々として、地元の人々との交流会を含めてスターウォッチングの方法の指導を行った (図10)。

幸いにも、各国では独自のスターウォッチングが始まった。1993年には、日本から2名がインドの試みに参加して、観測を發展させた。天文と天体物理の大学共同利用センター (Inter-University Center for Astronomy and Astrophysics: IUCAA) では簡便な光電測光器を作ったの観測も始めていた。ちなみに1セットが3000円という破格の金額であった。1994年には環境庁の牛尾課長補佐も同行して全員で7名が韓国を訪れ、忠北大学と世宗大学の学生との共同でのスターウォッチング及び交流会を行った。

締めくくりとして1995年7月にインド, インドネシア, 韓国からの7人を招き、観測結果の報告シンポジウムを開催した (この時の集録はまだ残部があるので筆者まで申し込んでほしい⁶⁾)。それぞ



図10a. スターウォッチングにアジア各国から日本を訪問した代表者が兵庫県上月町の成人式に参加して交流した。



図10b. ダイニツクアストロパーク天球館での講習会交流会で、館長の米田さんがスターウォッチングの写真の撮り方を説明しているところ。

れのデータは立派なものであったが、残念ながらまだ全国的な広がりを示すには至っていない。日本の場合には環境庁が積極的にやってくれている。これらの国々でももう少し全国的な組織が後押しできる体制が必要であろう。これらの集まりには参加できなかったが、中国の北京師範大学のグループの北京の中心から郊外に向かっての観測を行い、日本の名古屋のケースに似た表1のような結果を得ている。

スターウォッチングの試みは日本国内から今アジアに広がろうとしている。さらなる努力によって全世界に広げなければならない。エネルギーの節約のために、そして暗い夜空を保って人々が宇宙に思いを馳せられるようにするために。

参考文献

- 1) Kosai, H., Isobe, S., and Nakayama, Y.1992, Sky and Telescope, 84, 564-568.
- 2) Kosai, H., Isobe, S., and Nakayama, Y.1993, Bulletin of Teaching of Astronomy in Asian-Pacific Region, 6, 65-85.
- 3) 香西洋樹 1988, 天文月報, 81, 314-316.
- 4) Kosai, H. and Isobe, S.1991, American Society of the Pacific Conference Series, 17, 35-44.
- 5) 環境庁 1993, (環境庁大気保全局, (財)日本環境協会) 全国星空継続観測 (スターウォッチング・ネットワーク) 5ヶ年の経験と今後の展望, P.50
- 6) 集録
公開シンポジウム
屋外照明と夜空の明るさ
1995.7.6 於電力館 TEPCO ホール

表1 北京近辺の夜空の明るさ

場所	夜空の明るさ (等級/平方秒角)
天安閣広場	15.7
市中心部	17.0
市中心部より 10km	18.3
市中心部より 20km	19.4
市中心部より 30km	19.9
興隆観測所	21.5

Measurements of Night Sky Brightness and Efforts to its Reduction - Star Watching -

Abstract: Night sky is gradually brighter by increasing out-door lighting, and then a condition of astronomical observation becomes worse. However, it does not bring a good result for us to say that night light, which most people need and like, should be switched off. The first thing which we should do is to get data of night sky brightness at different places and those time dependent variation. Then, through these activities we are able to appeal an importance for the human to keep visibility of star light good.

Showing some activities of the Star Watching in Japan and in the world, I will discuss these points.