

暗い夜空の意義とその回復の手順 その 3

屋外照明のISO基準作成に向かって

— 国際天文学連合と国際照明委員会の活動 —

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〉

キットピーク国立天文台やパロマー山天文台など世界をリードする天文台では、観測環境をよくするため、周辺都市に適切な屋外照明の実施を要請してきた。それらの努力にもかかわらず、夜空の明るさは増え続けた。国際天文学連合は観測環境を保全する委員会を設置し、国際照明委員会の援助を得て、夜空を守るための規準作りを始め、ようやく両者の合意が得られる段階に達しようとしている。この合意事項を ISO の規準にすることによって、多くの人々が無駄な光を上空に放射しないように規制が各国において為されることが期待される。

キーワード：ISO 規準、ゾーニング、CIE、上方光効率、障害光

1. より暗い空を求める天文学者

東京天文台は 1878 年に設立されて以来、1988 年 7 月 1 日に国立天文台に改組されるまで 110 年の年月が経っている。最初は東京の中心麻布にあったが、都内の夜空が明るくなったので、1925 年頃から西方 30 キロメートルも離れた三鷹に移った。さらに、三鷹も明るくなったので 1960 年に岡山県浅口郡に、1974 年に長野県木曾郡に暗い夜空を求めて観測所を作った。

人のいる所には必ず灯はある。そのため天文学者は次々と人里から離れた所に逃げてきたのである。そして、1990 年代になり、日本の 8 メートル望遠鏡のために日本国内にはその口径の望遠鏡にとっては適当な設置場所がないことが明らかになり、ハワイ島の山頂にすばる望遠鏡が建設されることになった。この場所は夜空の暗さの点ばかりでなく、星像の小ささにおいても世界 1・2 を争うよい観測条件を持っており、すでに世界 5 カ国

の大望遠鏡が設置されている。

ハワイは観光地として有名であり、最近では日本人観光客の数がどんどん増えている。幸いなことに観光地として有名なワイキキビーチなどはオアフ島にあり、ハワイ島からはるかに離れていて、山頂では自然のままの暗さが保たれている。

1988 年のワシントンの国際会議において、コロラド大学の Garstang がハワイ島の南側コナ市が国際リゾート地として開発され始め、日本の業者も観光ホテルを次々と建設しようとしているので、それらの建物からの光、街灯からの光を何の注意もしないで放置しておく、マウナケア山頂にまで影響が及ぶことになるという報告をした。2000 年において予想される夜空の明るさを表 1 のように示し、最悪の場合にはせつかくの巨大望遠鏡の威力も半減してしまうと警告した。

表1 マウナケア山頂の予想される夜空の明るさの変化 (Garstang による)

(注) 波長帯の欄Vは Visual フィルタ (中心波長 5500 Å), Bは Blue フィルタ (中心波長 4500 Å) をかけて測定したことを意味する。

波長帯	方 向	現在の夜空の明るさ	2000年の予想値
通常の場合			
V	天頂	21.980 等級	21.948 等級
B	天頂	22.959	22.929
V	西天頂 45°	21.774	21.731
B	西天頂 45°	22.786	22.748
中間の場合			
V	天頂	21.980	21.894
V	西天頂 45°	21.774	21.643
最悪の場合			
V	天頂	21.980	21.450
V	西天頂 45°	21.774	20.944

私たちはこの地上での最良の観測地を守るための最大の努力をしなければならぬ時点にさしかかっている。今回は幸か不幸か日本のバブルがはじけて、Garstang の予告ははずれた形になった。

マウナケアの次に逃げる場所はもう地上にはない。あとには宇宙空間だけが残されている。地上 300 キロメートルもの上空に飛び上がれば大気もほとんどなく、地上をどんなに明るくしようが関係なくなる。現実には 1990 年に口径 2.5 メートルのハッブル宇宙望遠鏡が宇宙空間に打ち上げられ、数々の成果をあげてきた。このような状況を少し知っている人の中には、天体観測は月の裏側でやればよいなどと乱暴なことを言う人もいる。

望遠鏡を宇宙空間に打ち出すことは膨大なお金がかかる。口径 2.5 メートルスペースステレスコープは数千億円かかり、地上の 8 メートルクラスの数十倍である。これらの金額が安い高いかをここでは評価しないが、地上での光害を少なくすれば、

まだまだ地上で十分やれることを記しておくことは必要と思う。

国際的に見ても、天文台の逃避行は昔から続いている。イギリスのグリニッジ天文台はロンドン市街から 1970 年代に大ブリテン島の南端ファーストモンソーに移り、さらに 1985 年にはカナリー島ラ・パルマへと望遠鏡を移している。フランスもパリ天文台からムードン天文台、次いでオート・プロバンス天文台、さらに日本のすばる望遠鏡と同じハワイのマウナ・ケア山頂に口径 3.6 メートルの望遠鏡をカナダとハワイとの共同で 1981 年に建設している。

アメリカでは古くはローウェルが私立天文台を建設するにあたり、夜空が暗く天候のよいアリゾナ州フラッグ・スタッフを選んだのは 1885 年のことである。

アメリカのウィルソン山天文台は、ロサンゼルス街が一望にできる山の上にある。建設された

1917年には暗かった夜空も、徐々に明るくなり、観測に支障をきたすようになってきた。第2次世界大戦の頃、ロサンゼルス市の灯が消えたおかげで、バーデ達がベストの条件で観測をし、いくつもの新発見をしたのは有名な話である。

これまでのように天文学者が受け身になっていたのでは、もう夜空を守ることはできないことは明らかになってきた。

アメリカのキットピーク国立天文台とパロマー山天文台では、近くの都市であるアリゾナ州ツーソンとカリフォルニア州サン・ディエゴの当局に熱心に働きかけて、光害から夜空を守る条例を作ることによって1970年代に成功した。そして、市の幹部に働きかけるだけでなく、天文学者自らが街に出て、不適当な屋外光をつけている家に行ってお願いをし、天文観測への影響の少ない低圧ナトリウム灯に変えてもらうというレベルまで粘った。このような地道な努力によって、その成果が徐々に得られるようになってきたのである。

これらの活動の中心となったのは、キット・ピーク国立天文台の30歳代であったDavid Crawfordであった。そして、彼を中心として、後に国際暗夜協会(International Dark Sky Association)が1980年に設立されている。

2. 国際天文学連合と国際照明委員会の初期の活動

1960年代の世界経済の発展、さらに人工衛星が飛び交うようになり、可視光ばかりでなく電波の領域やスペースからの観測に悪い影響が出るようになってきた。これらの問題に対応するため国際天文学連合(IAU)では1976年の第16回総会において第50委員会天体観測環境保全委員会(Protection and Identification of Existing and Potential Observational Sites)が設立された。

この委員会では当時他の障害より状況が悪くなっていた夜空の明るさの問題を最初に取り上げ、

国際照明委員会(CIE)に協力を要請し、その作業を始めた。その結果として、1978年に“IAU/CIE-1;天文台近辺での都市光の影響を最小にする指針”が作成され、IAUとCIEそれぞれの基準として採用された。その内容は次のようなものである(CIE1978)。

以下に示すものは不必要な障害光の問題点を減少させるための第一ステップとなる簡略な方法である。

[A1] 夜間の安全性や夜間景観をよくする目的でない光源は消灯する。この方向の延長には、一定の時間帯では夜空の明るさのレベルを下げるために消灯するという考え方があり、例えば、広告灯や飾り灯(イルミネーション)等を夜の23時から夜明けまでの間には消灯することが考えられる。

[A2] 目標物を照明する場合には可能な限り下方に向かって行い、上方には光を出さないようにする。光を上方に向かって照射する以外に方法がない場合には笠や覆いを正しく取り付ける(図1)。

[A3] すでに設置された照明器具から水平から上方に向かって拡散する光を最小にするような装置を付け加える(図2)。

[A4] 過剰な光を出さない。過剰光は障害光になるばかりでなく、お金の無駄でもある。

[A5] 眩しさを最小限にするように、その光を目にする可能性のある人に向かう中心光が70度以下になっているようにする(図3)。

[A6] 可能な限り、光源の表面から出る光が、水平方向より下向きになるように非対称な光束にする(図4)。

[A7] 狭い範囲内での安全性を確保するためには、2つの方法がある。

- (i) 正しい方向に取り付けられた赤外センサーを用いる。150ワット(2000ルーメン)タングステンハロゲン・ランプが取り付けられていれば十分である。300/500ワットのランプを

使うと明るすぎて眩しさを増し、陰の部分はより暗く感じてしまう。

- (ii) 低光度の常夜灯を使用するのもよい。ポーチ用の光源として9ワット（600ルーメン）の小型蛍光ランプであれば十分である。

[A8] 道路用照明においては、水平より上方への光は最小にする（上方への光の割合（Upward Light Ratio）は次の表に示されている）（図5）。

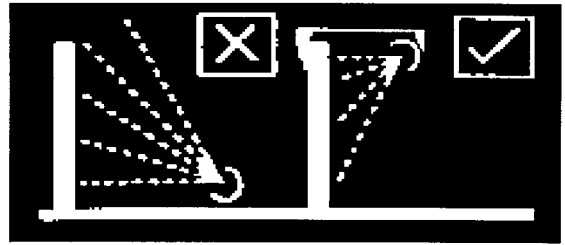


図1 下方に照明することが望ましい。

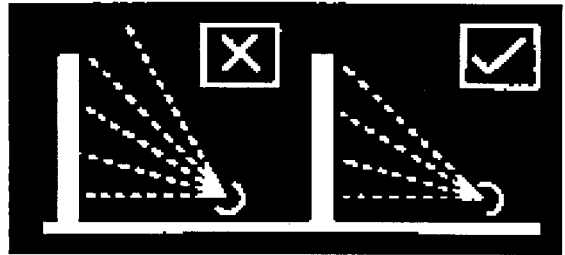


図2 目標物の外側を照明しない。

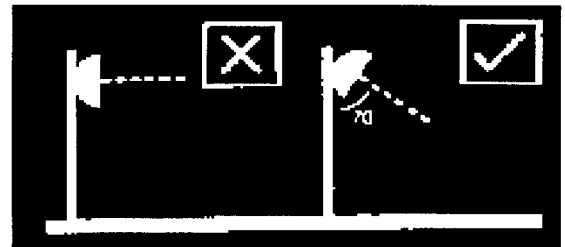


図3 光線が見る人の目に直接入らないようにする。

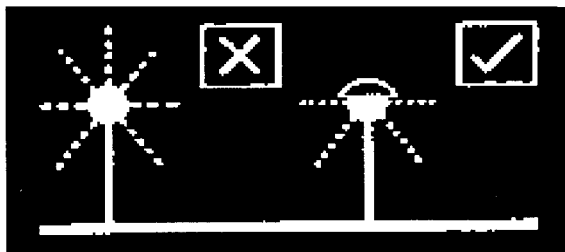


図4 光線を水平方向より下向けにする。

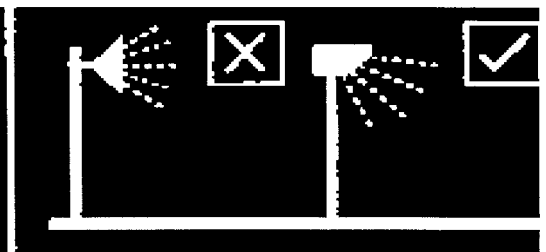


図5 上方への光は最小にする。

表2 屋外灯設置時の障害光を防ぐための制限

環境ゾーン	空の輝き UWLR [最大:%]	空へ向かう光 Ev[lux] 照明カバー		光源強度 I[kcd] 照明カバー		建物の輝度*** L[cd/m2] 照明カバー前 平均値
		前	後	前**	後	
E 1	0	2	1*	0	0	0
E 2	5	5	1	50	0.5	5
E 3	15	10	5	100	1.0	10
E 4	25	15	10	100	2.5	25

UWLR (Upward Light Ratio: 上方光効率) は上空へ直接流れ出る光束の許容限度を示している。

Ev = ルックス単位での照射面に垂直な方向の輝度

I = カンデラ単位での光源強度

L = 1 m² 当たりのカンデラ単位での輝度

* 公共用の道路照明器具のみが適用可能

** 光源強度—目的としている範囲外に流れ出す光源を示している。示されている数字は一般的な指示を示すもので、ある程度の高さに点灯されたスポーツ用照明施設に適用するのは難しい。しかし、これまでに記した要請を考慮すれば 10 kcd (キロカンデラ) 以下にすることは可能である。

*** 建物の輝度—過剰照明しないための限界値を示しており、周辺の明るさを示す指標ともなっている。

環境保全ゾーンの種別：

E 1 : 国立公園内、特別な景観地、その他の暗い地域

E 2 : 低輝度領域 (例えば、ゾーン E 1 以外の郊外地)

E 3 : 中間輝度領域 (例えば、市街地)

E 4 : 高輝度領域 (例えば夜間にも人間活動のある市の中心部)

照明デザイナー、官公庁や企業の照明担当者、照明のデザインやその器具の設置の仕事をかかわっている人々に、照明工学研究所 (The Institution of Lighting Engineers) は屋外照明の設置にあたり、上記のような障害光の制限を守るように要請する。

そして、これらが IAU の基準として、世界の各方面に紹介され、有効に使われてきた。

その後は表立った活動は少なかったが、1988 年にはキットピーク国立天文台の David Crawford (IAU 第 50 委員会の委員長) が中心となって、IAU コロキウム NO.112 “障害光、電波障害、スペース・デブリ” を開催し、これらの 3 つの問題がどの

ような現状になっているかを詳細に議論した。11月号記したように私達 (Kosai and Isobe 1991) のスターウォッチングの観測結果もこの時初めて発表した。この国際会議では CIE の重鎮の Duco Schreuder も出席して、障害光の問題をまじめに考えてくれた。そして、Crawford と協力して、CIE の中に “天体観測に及ぼす障害光の影響” という

技術委員会 CIE TC 4-21 を設立し、1990 年 9 月 13 日に第 1 回会合をイギリスのヨークで開催した。TC 4 は第 4 部会“交通のための照明と信号”である。ちなみに他の部会は第 1 部会：視覚と色、第 2 部会：光と放射の物理測定、第 3 部会：屋内環境と照明設計、第 5 部会：屋外及びその他の照明応用、第 6 部会：光生物学と光化学、第 7 部会：照明の一般問題、である。CIE TC 4-21 の委員の構成は、IAU と CIE のそれぞれ 5 名ずつである。IAU 側は第 50 委員会の委員長長の D. Crawford, 副委員長長の P. Murdin, それに磯部瑋三, J. Mason, J. D. Castro である。

3. 屋外照明の ISO 規準化に向かって

CIE TC 4-21 の議論が進められている間にもいくつかの試みがあった。フランスの J. Kovalevsky が NATO の委員会を動かして開催した“The Protection of Astronomical and Geophysical Sites (天文と地球物理の観測地の保護)”の報告書が作成されている。さらに、IAU の前総書記である D. McNally は ICSU (国際科学連合) と協力して、UNESCO の援助の下に、1992 年 6 月に“Adverse Environmental Impacts on Astronomy”という国際会議を開催し、その報告書を“The Vanishing Universe (消え行く宇宙)”というタイトルで出版した (出版元は Cambridge University Press)。この会議には日本から、光関係では磯部、電波関係では森本雅樹、スペース・デブリ関係では有本好徳が出席している。この会議はパリの UNESCO 本部での開催であり、その支援を得ているので、各国政府にもこのような会議が開かれていることが伝えられていたという意味でも有意義なものであった。

一方、D. Crawford を中心とした国際暗夜協会の体制も固まり、定期刊行物を出すだけでなく、各地の夜空を守る実践例の紹介から、具体的に好ましい照明器具の例を示すなどを行った。さらに、講演などで障害光の現状とその対策を示すスライド集の作成を行うこともしている。1993 年 4 月に

アリゾナ州ツーソンで開かれた総会には 50 人あまりが出席し、昼間の発表の後、夜には市内の屋外灯の評価会まで行われた。D. Crawford は昨年 (1995 年) アメリカ国立光学天文台を定年退職したが、それまで行なっていた障害光除去のための講演旅行をますます充実させてきている。Crawford は教授という立場である自身が体を動かすことによって 1 人でも多くの人々の支持を得ようとしており、口先だけ光害だ、光害と言うだけのどこかの国の指導的な立場の人とは全く異なった態度である。

このような多様な活動が周りで進む中で CIE TC 4-21 委員会は議論を詰めていった。1991 年に IAU 第 50 委員会の委員長になった P. Murdin は Zoning という考え方を提案し、それぞれの Zone で守らなければならない照明法を具体的定量的にするべきであると主張した。この考えを IAU と CIE の両方の委員で議論するために 1993 年 4 月にエジンバラ大学に集まった。そして、CIE の立場からの Zone の決め方も示された。

1994 年 8 月に磯部が IAU 第 50 委員会の委員長になった時には、P. Murdin と D. Schreuder が合意した内容を文書化することが残されていた。1995 年 11 月にインドのニューデリーで開催された 4 年に 1 度の CIE 総会において、D. Schreuder の提案した“Guidelines for Minimizing Sky Glow (夜空の明るさを最小にするための指針)”を大筋で合意した。そして、IAU 側として磯部が次の提案をした。

1. 指針の最終案を 1996 年 3 月までに作成
2. 1996 年 6 月までに賛成投票を行う
3. 1996 年 10 月の CIE 第 4 部会での承認を得る
4. 1997 年 8 月の IAU 総会での resolution を得る
5. 1999 年の CIE 総会での承認を得る
6. 200X 年に ISO 規準にする

道は長いがこの手順は着実に進められている。IAU としては 1997 年 8 月での支持が重要である。

ISO の規準になっても、これは各国政府への要請であって、拘束力はない。しかし、多くの先進

国が多かれ少なかれ ISO の規準に準拠した国内法を定めているので、結果的には日本でもこの方向への指導が行われることになるかと期待できる。

4. 提案されている Zoning

1996年2月にロンドンにヨーロッパの委員が集まってまとめた指針が6月現在で採決の投票にかけられている。その中の一部を紹介すると、次のようである。なお、全文を見たい方は筆者まで申し込んでほしい。

まず言葉や単位の定義がなされている。照明学者と天文学者が使う言葉や単位をお互いに理解できない場合が多いので、この作業は不可欠である。例えば空の明るさを示すのに、天文学者は“等級/平方秒角(mag./square arc sec.)”という単位を使う。照明学者は“カンデラ/平方メートル(cd/m²)”を使うが、これらの値は1対1に対応していない。cdはある波長帯の中では一定強度の光があるとして定義されている。magは表面温度1万度のA0型星のスペクトル分布に相当して定義されており、同じ等級でも星のスペクトル型毎に波長に対するエネルギー分布が異なっているのである。そのため、夜空の背景光のスペクトル分布が必要であるが、人工光の反射光である夜空の背景光スペクトル分布を一義的に決められない問題が生じる。そのような問題に対して、十分な参考文献を示した上で、

$3.2 \times 10^5 \text{cd} / \text{m}^2 = 26.33 \text{mag/square arcsec}$
と定義する。すると地上の自然状態の平均的な夜空の明るさは

$3.52 \times 10^4 \text{cd} / \text{m}^2 = 21.6 \text{mag/square arcsec}$
となる。

天体観測の障害光となる光源としては、

- ・工場、空港、ビルの照明
- ・道路灯や街路灯
- ・ネオンサイン
- ・ビルや記念物から溢れ出す光
- ・広告板の照明灯

- ・温室灯
- ・スポーツ施設の照明灯

これらのうち、夜空を明るくする主な原因がどれにあたるかは、周りの環境や時刻によって異なっている。

IAUはAstronomical Light Control Regions (ALCORS:天体観測照明調整地域)を定義し、CIEは地域の環境を考慮して定義している。ALCORSの定義は次のようである。

ALCOR-0:都市中心部;有効な天体観測は行えない

ALCOR-1:都市周辺や町の居住地帯、それに都市公園、学校内やその周り;30cmクラスの望遠鏡でのアマチュア天体観測を行える環境

ALCOR-2:都市内にある博物館や大学構内;大学生の天体観測実習を行え、50cmクラスの望遠鏡でのアマチュア天体観測を行える環境。1mクラスの望遠鏡によって観測目的を絞った大学院生や研究者向きの観測を行える環境

ALCOR-3:都市郊外の特に選ばれた場所;場所によってある程度制約されてはいるが、1mクラスの望遠鏡によって大学院生や研究者向きの観測を行える環境。例えば、赤外分光観測、赤外撮像観測、比較的明るい星の光学高分散分光観測などがある。

ALCOR-4:都市から遠く離れた場所;国際レベルの観測所が設置できる環境。高度な研究者向け観測が可能である。例えば、中分散分光観測、単視野測光観測、狭帯域撮像観測などがある。

ALCOR-5:世界的レベルで最良の地域;地上観測としては最良に近い研究が行える場所。例えば、低分散分光観測、連続光撮像観測、広視野撮像観測などである。

CIE 側の定義は次のようである。

- Zone-0 : トップクラスの観測地；最高度の観測が可能。
- Zone-E1 : 国立公園，自然景観の特に優れた地域，全体に暗い地域
- Zone-E2a : 屋外照明が非常に限られた地域，例えば，小都市郊外
- Zone-E2b : 屋外照明が低い地域，例えば都市郊外
- Zone-E3a : 屋外照明が中間的な地域，例えば都市周辺部
- Zone-E3b : 屋外照明が中間的な地域，例えば，都市住宅地域。

Zone-E4a : 屋外照明が特に明るい地域，例えば都市部。

Zone-E4b : 屋外照明が特に明るい地域，例えば都市中心部。

これらの内容をまとめて次の表のような具体的な数値を CIE TC 4 - 21 において提案しようとしている。

このことから出てくる各 ALCOR クラスの夜空の明るさの条件を満足させるために必要な CIE-E クラス地域からの距離は表 4 のように与えられる。

ここに示した原案に対して，筆者はいくつか修正の要求をしている。例えば，

- 1) 将来，この規準を当てはめようとする時に Zone

表 3 CIE TC 4 - 21 が提案する“屋外照明に関する制限”の原案

Zone		空の明るさ			上方光効率 (%)	上方光光束 1 m ルーメン	天文学
ALCOR	CIE	等級差	照明器具 現状 補正後				
0	E4b	4	38.8	19	×	×	有意な天体観測を行えない
1a	E4a	3	14.8	7.5	25	5000	一定の暗さの夜空
1b	E3b	2	5.3	2.5	20	3000	アマチュア，30 cm クラス
2a	E3a	1	1.5	0.8	15	1500	学生実習，アマチュア 50 cm クラス
2b	E2b	0.7	1.0	0.5	10	1000	大学院生，1 m クラス
3	E2a	0.4	0.5	0.2	5	500	研究観測，1 m クラス
4	E1	0.2	0.2	0.1	0	0	国際レベルの天文台
5	E0	0.1	0.1	[0]	—	—	トップレベルの観測地

注 ×：天体観測の立場からの要求はない
 —：記述を要しない

表 4 各 ALCOR クラスに対する CIE-E クラス地域からの距離 (km)

ALCOR クラス	CIE Zone							
	E4b	E4a	E3b	E3a	E2b	E2a	E1	E0
0	1	2	5	10	20	50	100	200
1a		1	2	5	10	20	50	100
1b			1	2	5	10	20	50
2a				1	2	5	10	10
2b					1	2	5	5
3						1	2	2
4							1	1
5								1

の数が多すぎると行政上、複雑になり過ぎて、実際的にはあまり守られない可能性がある。そのため、せめて最大5クラス（ALCOR 0クラスも入れて6クラス）にする。

2) ALCOR 0クラスでも上方光効率と上方光光束の具体的な数値を与える得るはずである。

今後は、CIE第4部会での了承が得られた段階で、各国のCIE国内委員会に回される。そして、各国の実情を踏まえた上での修正要求ができることになっている。これは、せっかく規準を作っても各国で全く守られないのなら意味がないためである。

IAU側としては、第50委員会の全委員に状況説明をし、現段階では大きな修正要求はない。一方、この文章はかなり遅い段階（1996年6月）に書かれているので、この読者がCIE TC 4-21の提案に対する修正要求をすることは物理的に不可能である。しかし、CIEの国内委員会での討議の場はまだ残されているので、ご意見のある方は国内委員会の委員でもある筆者までぜひお知らせいただきたい。

百武彗星が来るからとマスコミを動員して国会議事堂の夜間照明を3月25日前後だけでも消灯させることは、夜空のことが問題になっていることを知らせるという点においては意味がある。しかし、人々は忘れ易い。百武彗星が行ってしまった今6月には、10万人程度が読む天文雑誌をやっと賑わしているだけで、それも9月頃にはすっかり忘れ去

られてしまう。しかし、人々は明るい光が好きである。少なくとも日本の人口から10万人引いた数（多分その10万人も）の人々は好きである。年に1回か2回、天文イベントの時に消灯してくれるかもしれないが、有効な方策を持たなければその他の時の夜空はますます明るくなるのみである。その方策とは人々にエネルギー問題と宇宙に対する関心の大切さを理解してもらおう地道な努力であると私は考えている。次回にはそのような試みについて少し書いてみたい。

Towards Formulation of ISO Standard for Out-door Lighting — Collaborative Works within IAU and CIE —

Abstract : Such leading observatories in the world as the Kitt Peak National Observatory and the Palomar Mountain Observatory have requested for those surrounding cities to introduce proper lighting instruments in order to keep their observational condition good. Nevertheless, night sky at the observatories becomes brighter. The International Astronomical Union set a commission to preserve a good astronomical observational condition, and with a strong support of the International Lighting Society (CIE) started to make a standard system. Recently, both the organizations are reaching to a conclusion, which is expected to be the ISO standard. Then, we are able to expect that many people at different countries will follow the standard and will not eject useless light into space.

Key Words : ISO standard, Zoning, CIE, Upward light ratio, Obstrusive light