

暗い夜空の意義とその回復の手順 その5

暗い夜空を保つための照明 — ISO基準化に向けて—

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〉

夜空がどのように明るくなってきたかについてはこれまでの連載で示してきた。それを基に、具体的にどのような作業が必要であるかが重要である。市街に出て屋外光の点検をし、光の無駄をなくし、夜空を明るくしない具体的な照明器具の評価が重要である。さらに国際照明委員会技術委員会4-21の提案がISO基準に取り入れられ、大都会でかなりの星を取り戻した夜空に保てるように、これからも休むことのない努力が必要である。

1. 上方光束率の調査

これまでの4回において、夜空の明るさの現状をかなり明らかにしてきた。次に必要なのは、一般の人が協力可能な具体的な提案である。

IAUが国際照明委員会(CIE)と協力して障害光の問題を検討し、正しい照明の在り方について議論を深めることができたのは、CIEの重鎮オランダのフィリップ社のD. シュロイダーがいてくれたためである。日本でもCIEの副会長の中京大学の成定康平が重要な役割を果たしてくださった。成定は、CIE国内委員会第4部会の委員長としてCIE技術委員会4-21(天体観測に影響を及ぼす障害光: D. シュロイダー委員長)に対する国内での対応について天文側の私の意見を発表する機会を作ってくださった。そして、この問題に対するより広い関心を得るために、照明学会の中に“照明光の環境への影響研究調査委員会”が1995年7月に設置された。その委員会の設立時メンバーは成定康平(委員長, 中京大学), 金谷未子(幹事, 松下電子工業), 一條 隆(幹事, 東芝ライテック), 飯塚哲英(松下電子工業), 磯部瑠

三(国立天文台), 大西 茂(環境庁), 大山 敬(東芝ライテック), 沖 允人(足利工業大学), 川上幸二(岩崎電気), 高橋悦夫(日本電池), 近田玲子(近田玲子デザイン事務所), 松本泰幸(小糸工業), 水島保之(三菱電機照明)である。そこでの作業においては次の点に注意して進められる。

- 1) 単なる公害発生源の批判にならないようにし、問題を総合的に検討する。
- 2) 当面は大規模な光漏れを検出する。
- 3) エネルギー連鎖を考え、照明代替手段と効率、発電効率、大気汚染など総合的に検討する。

このような大枠の方針の下に、IAU, CIEの活動や環境庁の活動をも考慮して照明学会において効果的に進められる調査が行われた。その一つが道路・街路照明の実態調査である。1995年度にはALCOR 4に相当する長崎県U地区とゾーン1の東京都S地区, さらに1996年度にはゾーン2の埼玉県K地区, ゾーン0の愛知県N地区が調査された。これらのデータは飯塚哲英(1996)がまとめて近いうちに発表されるので、詳細はその論文を参照してもらうことにして、ここでは屋外照明の現状を理解

するためにS地区のデータの一部を示すことにする。

S地区は首都圏の鉄道駅周辺の商業地域と住宅地域から成っており、多様な照明設備が多く存在する場所である。調査された範囲は、商業地域が約6ha、住居地域が約20haにも及んでいる。これらの地域には、照明器具が道路、広場等の公共用126基を含めて全部で945基があった。それらの個々の照明器具の目視によって（経験豊かな照明関係者でなければできない）その使用電力などを表1に示された各値を推定し、それらを積算した結果も示されている。表から一目でわかることは公共用のものは上方光効率（上方光束／ランプ光束）の2.6%という値においても電力当たりのランプ光束の46,702lm/Wの値においても民間業務用や住宅用に比べてはるかによく、非常によくデザインされた照明器具が使われていることである。

これらの状況をもう少し詳細に見るために、商業地域と住宅地域に対して別々の上方光効率の度数分布を表2、3に示す。公共用では商業地域の5基が25%～30%の上方光効率を持ったものがある（たぶん公園内の装飾性を考慮した街灯であろう）が、他は全て、理想的なレベルになっている。それに比べて住宅用も民間業務用も上方光効率への配慮はほとんどない状況であることがわかる。これらの結果から即言えることは、照明器具設置者が照明のエネルギー効率について少しでも配慮すれば無駄な光を一挙に10分の1にすることができることである。

このようなデータがゾーン0、1、2、4において全て得られるので、各ゾーンでとるべき対策が具体的な形で見えてくるはずである。

2. 街路照明器具の光学特性

前節で示したような上方光効率の悪さは、それぞれのランプの形状によるところが大きい。詳細なデータは近いうちに照明学会でまとめて発表されることになっている。ここでは先の照明学会の委員会でも議論されている資料から、どのようなランプが

無駄な光を出さずにエネルギー効率のよいものであるかを概観してみる。

現在主に使われている道路及び街路照明器具は107種にも及んでいる。それらをここに評価するのではなく、図1に示されるようなAからGまでの7種類に分類して評価するのが適当であろう。

区分Aには、透明のガラスグローブなどを用いた照明器具で、光がほぼ全方向に均等に照射されるものが分類された。区分BとCには、Aのガラスグローブが拡散性になったもので、BにはHF100W相当の光束（4,200lm）を有する光源が、CにはHF250W相当の光束（12,800lm）を有する光源が用いられた場合のものが分類された。区分D及びFには、笠または天板があり上方光が幾分抑えられたもので、Dには透明ガラス類、Fには拡散ガラス類が用いられたものが分類された。区分Eには、上方光がかなり規制されたものが、区分Gには上方光がほとんどないものが分類された。なお、道路照明に用いられるハイウェイ型照明器具は、EまたはGに分類された。

照明光が目的以外に流れ出して影響を与える要因として次のことが考えられる。

- 1) 天文観測への影響……上方光効率
- 2) 周辺地域への影響……下方光効率に対する照明率の割合
- 3) 居住者への影響……光度、鉛直面照度
- 4) 歩行者のまぶしさ……発光部分の立体角と輝度
- 5) 運転者のまぶしさ……グレア

これらの中で私達にとって関心が強い上方光効率と下方光効率のみに関するデータを示す。

図2は、スカイグロウの原因となる上方向への漏れ光（天文観測への影響）を分析することを目的に、横軸に器具効率、縦軸に上方光効率をとり、主に3.5m～5.0m程度の高さで用いられる各街路照明器具のデータを付置したものである。

図中に示される直線と%表示は、例えば50%とは「器具から出る光の50%が上方に照射されることを表している。これより、次のことが言える。

表1 S地区の屋外照明設備の全体的状況（照明光の環境への影響研究調査委員会資料）

	公共用	民間業務用	住宅用	計
照明器具数	126	485	334	945
使用電力の合計(kw)	18.4	36.7	13.6	68.7
ランプ光束の合計(lm)	857,220	1,050,135	294,330	2,201,685
上方光束の合計(lm)	22,591	229,416	69,962	321,969
上方光束／ランプ光束(%)	2.6	21.8	23.8	14.6
器具当りのランプ光束(lm)	179	473	209	340
電力当りのランプ光束(lm/w)	46,702	28,624	21,586	32,048
電力当りの上方光束(lm/w)	1,231	6,253	5,131	4,687

表2 S地区の商業地域の上方光効率の度数分布（照明光の環境への影響研究調査委員会資料）

範囲(%)	住宅用	民間業務用	公共用	合計	構成比
0=<<5	11	113	15	139	24.3%
5=<<10	2	67	11	80	14.0%
10=<<15	5	17	0	22	3.8%
15=<<20	21	44	0	65	11.3%
20=<<25	26	79	0	105	18.3%
25=<<30	5	4	5	14	2.4%
30=<<35	0	9	0	9	1.6%
35=<<40	2	2	0	4	0.7%
40=<<45	8	102	0	110	19.2%
45=<<50	1	10	0	11	1.9%
50=<	4	10	0	14	2.4%
合計	85	457	31	573	100.0%

表3 S地区の住宅地域の上方光効率の同数分布（照明光の環境への影響研究調査委員会資料）

範囲(%)	住宅用	民間業務用	公共用	合計	構成比
0=<<5	53	2	58	113	30.4%
5=<<10	10	4	37	51	13.7%
10=<<15	28	2	0	30	8.1%
15=<<20	10	1	0	11	3.0%
20=<<25	60	5	0	65	17.5%
25=<<30	8	0	0	8	2.2%
30=<<35	4	2	0	6	1.6%
35=<<40	5	2	0	7	1.9%
40=<<45	53	10	0	63	16.9%
45=<<50	18	0	0	18	4.8%
50=<	0	0	0	0	0.0%
合計	249	28	95	372	100.0%

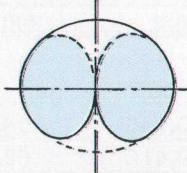
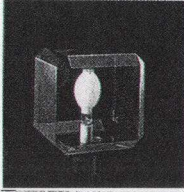

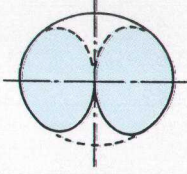
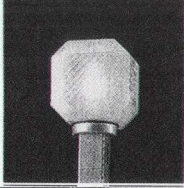
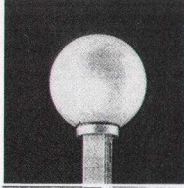
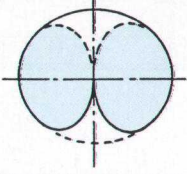
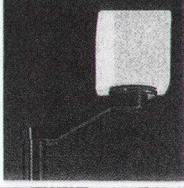

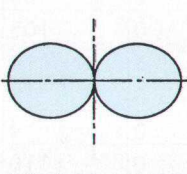
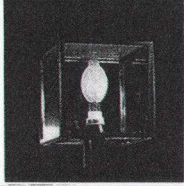

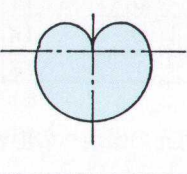
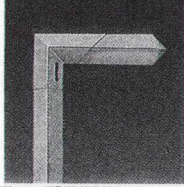

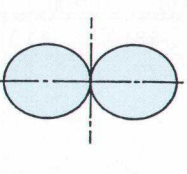


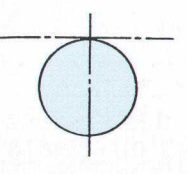
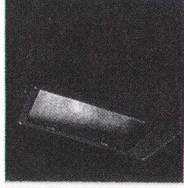

クラスター	光束分布	照明器具の例	
<p>A</p> <p>(Clear)</p>			
<p>B</p> <p>(Frosted)</p>			
<p>C</p> <p>(Frosted)</p>			
<p>D</p> <p>(Clear)</p>			
<p>E</p>			
<p>F</p> <p>(Frosted)</p>			
<p>G</p>			

図1 クラスター化した街路照明器具の分類

(1) 区分A, B, C

このグループは、器具効率に対する上方光効率の比が約 50 % であり、器具効率と同時に上方光効率も高いことに特徴がある。また、これらのものは、上方光が全て天空への漏れ光であるとし、上方光効率 = UWL R (Upward Wasted Light Ratio) と仮定した場合に、大半のものが IAU/CIE 「スカイグローを最小にするためのガイドライン」の UWL R 区分 (案) の最大値 25 % を満足しない。

(2) 区分D, F

このグループは、器具効率に対する上方光効率の比が、ほぼ 20 ~ 40 % の範囲に布置されている。D は、器具効率が高く、上方光効率も 25 % を越えるものが多い。F は、D より器具効率が低く、上方光効率も 25 % を下回るものが大半である。

(3) 区分E, G

E は、器具効率に対する上方光効率の比が 15 % 未満であり、G は数 ~ 0 % で、周辺輝度の低い地域や国立公園内などの暗い景観の所ではこの方式がよいと考えられる。

図 3 はエネルギーの有効利用の程度を分析することを目的に、横軸に下方光効率、縦軸に照明率をとり、主に 5.0 m 程度の高さで用いられる各街路照明器具を幅員 5 m の街路に用いた場合のデータを布置したものである。

図中に示される直線と % 表示は、下方光効率に対する照明率の比を示したもので、例えば 20 % とは「下方向光の 20 % が路面に入射する」ことを表しており、残り 80 % が周辺地域を照明していることになる。これより次のことが言える。

(1) 区分A, B, C, D, F

このグループは、反射鏡などによる光制御がほとんど行われていない照明器具であり、下方光効

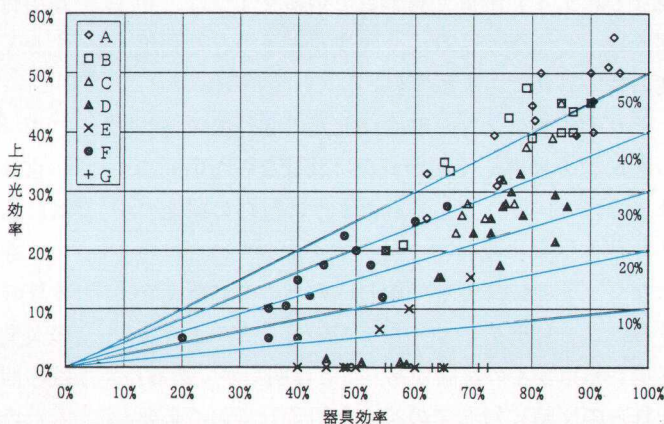


図 2 A から G の種類の街路照明器具に対する器具効率と上方光効率の分布。原点を通る斜線のパーセントは上方光効率と器具効率の比を示す。

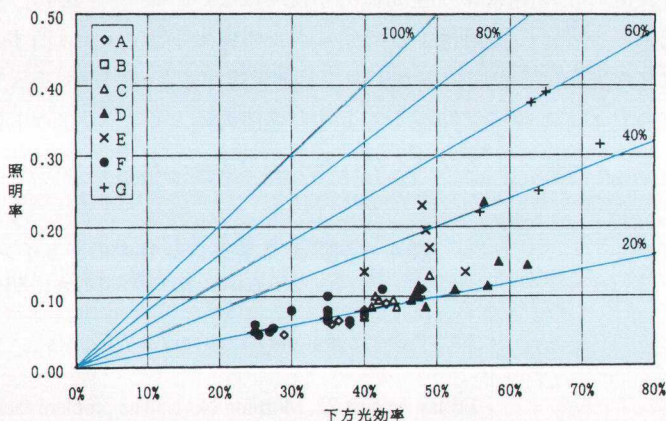


図 3 A から G の種類の街路照明器具に対する下方光効率と照明率の分布。原点を通る斜線のパーセントは下方光効率と照明率の比を示す。

率の約 20 % が路面に入射し、残りが周辺部分を照明している。周囲の建物や樹木等が照明され、空間の構成や位置関係がわかりやすくなる反面、周辺地域に影響を与えやすいタイプでもある。

また、周囲の建物や植木等を照明することが目的でない場合には、エネルギー効率の悪い照明器具であるとも言える。

(2) 区分E, G

このグループは、上方向光が規制されている割合だけ、下方光効率が高く、路面に入射する光

束も多いタイプである。特にGグループで、反射鏡などによる光制御が行われているタイプは、周囲地域への影響が少なく、エネルギーの有効利用度の高い器具であると言える。

それぞれのランプの用途は上記の5つの環境への悪影響を考慮して使われなければならない。これまでも何度も記してきたように現在の照明の使われ方は単に夜に物を見やすくするためだけではなく、その装飾性を生かし、人々の心に訴えかけることも目的の一つになっている。このような立場からは多くの反論があることは明らかである。それらの反論に対しての答えを用意しておく必要がある。エネルギー問題だけでは片付かない議論である。現在電気エネルギーの使用ピークは冷暖房装置の使用等により昼間にあり夜ではない。電気エネルギーの使用は1日のサイクルの中で平滑化した方がはるかに効率がよいことを考慮すると、夜の光エネルギーを抑制するよりも昼間の熱エネルギーを抑制する方がはるかに効率的であると各

方面で言われている。無駄な光を出さないという理由付けとして他の強力なものがなければ光を欲する人々を納得させることはできない。

3. 星空を失うと

京都の街は1年中次々とお祭りがある。それぞれに見物のしがいのある（参加できればもっとよい）ものであるが、7月16日からの祇園祭に始まる夏の行事は大きな盛り上がりを見せ、8月16日の大文字の送り火でクライマックスに達する。お盆の間に地上に戻ってきた御霊を盛大にお送りするためのもので、人間は死んだ後も地上との関係を持っているという一つの宇宙観に基づいている。

京都の五山に輝く薪の光をより印象的にするために、京都市が中心となって市内の光をできるだけ消すように市民に毎年要望している。これはアマチュア天文家が要求しているいわゆるブラックアウトに近い現象である。1996年8月16日には環境庁、照明学会、私達が協力して、夜空の明

表4 国際天文学連合総会中のジョイント・ディスカッションのプログラム中、夜空の明るさに関係するセッション

JD 5 Preserving of the Astronomical Windows	
Friday August 22, Morning No.1 : The problem facing observational astronomy	
An outline summary accross the field	D. McNally(UK)
Impact on radio astronomy	M.Morimoto(Japan)
Impact on space astronomy	D. Macchetto(USA)
Damage to astronomy education and culture	J. Percy(Canada)
Friday August 22, Morning No.2 : Light pollution	
Growth of light pollution at optical and infrared	D. Crawford(USA)
Natural optical background	Ch.Leinert(Germany)
Good outdoor lighting design and lighting engineer	K. Narisada(Japan)
Bilateral agreements on limits to outdoor lighting	D. A. Schreuder(Netherland)
Saturday August 23, Morning No. 2 : The general response	
The issues of space debris and near-earth objects at the UN	H. I.Haubold(Austria)
Bilateral agreements, zoning, international protocol	S. Isobe(Japan)
Loss of investment in facilities	L. Woljer(France)

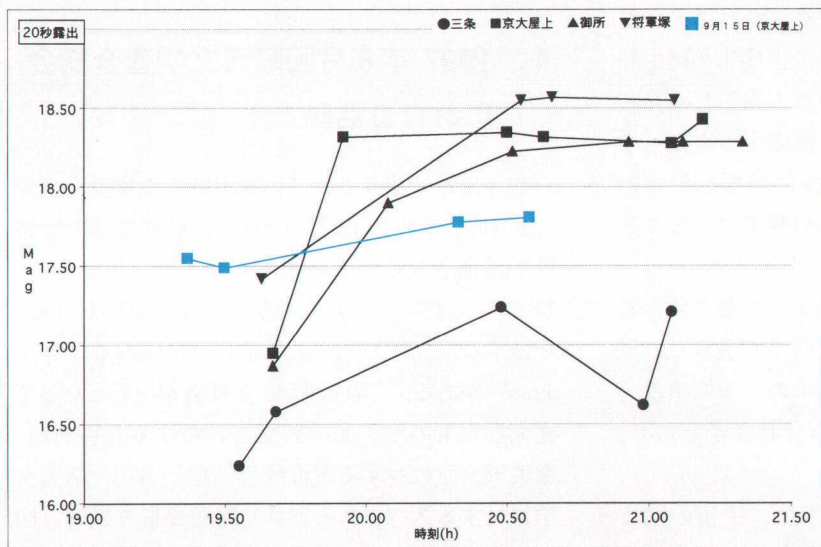


図4 1996年8月16日の京都大文字焼きのライトダウン時とその直前の夜空の明るさの変化。繁華街の中心の三条河原市内の周辺が少し暗い京都御所公園内、北東に離れた京都大学宇宙物理学教室の建物屋上、東山の高台にある将軍塚での観測が行われた。京大屋上では比較のため9月15日にも観測を行った。

るさの変化と屋外照明の消え方を比較する試みを行った。これは十分前もって予定できる唯一の機会である。

結果は図4のようであった。京都大学宇宙物理学教室の学生さんの協力を得て4カ所で観測した。それらは1.京都大学宇宙物理学教室の屋上 2.御所の公園 3.加茂川の三条河原、4.花山天文台に近い将軍塚展望台であった。いずれの地点でも大文字焼きが始まる8時前に比べて夜空は約1.5等級も暗くなった。

野外の人工光が増え、夜空が明るくなると、どのような問題が起こるのであろうか。限りある化石エネルギーの浪費や動植物などの自然環境に及ぼす問題についてはこれまでも記してきたし、他の所で多く議論がなされている。本シリーズを締めくくる意味で天体観測への影響の重要性についての私見を記したい。

都市の夜空のように夜空が明るくなっていると、暗い星々は背景光に埋もれて見えなくなる。東京の都心部では、1等星すら見ることは難しくなる。夜空には太陽と月といくつかの惑星があるだけで、星空をすっかり失うことになる。

一般の人々にとっては、星空を失ってもほとんど影響がないであろう。1日の長さを決めるために太陽が必要である。1年の長さを求めるのに太陽が星空を背景にして動く現象を使った方が決めやすいが、年毎のゆらぎが大きいかれども四季の変化を使っても決めることができる。

都会から勤め帰りの道で夜空に輝く金星に感動する人もあるであろう。また、山の中で見る天の川は人々の心を打つものがあることは確かである。しかし、そのような美しいものに対する感動はあった方がよいが、花の美しさや絵画のできればと比べて特別なものである必然性はない。事実、大多数の人々は星を意識して見ることもなく、日常の生活を過ごしている。

星を見ない人でも、自分は何のために存在しているのだろうか、人類がどのようにして誕生してきたのだろうかなどという疑問を一生の間に何回か持つであろう。少し先まで進むと、この地球は、太陽は、星々は、そして宇宙自体がどのように生まれてきたのであろうかと疑問が広がっていく場合もある。

私達のこの宇宙は、約180億年前にビッグバン

と呼ばれる大爆発によって始まり、それ以来、膨張を続けていることがわかってきた。宇宙の誕生間もない頃には、水素原子とヘリウム原子しか存在していなかった。私達の身体を構成する炭素原子や酸素原子、鉄原子は、その後誕生してきた星々の中心部で起こる原子核融合反応によって形成されたものなのである。

寿命の短い星が超新星爆発によって撒き散らした原子と星々の間に漂っていた原子が混ざった星間雲から太陽系が誕生し、その中の一つの惑星・地球上で都合のよい原子の組み合わせが進んで、生命が誕生したのである。

天文学の研究の進んだ現在では、宇宙の始まり・終末、地球の誕生・消滅についてのおおよその筋書きが書けるようになってきた。これらのことを可能にしたのは、夜空に星々が見えていたことによっているのである。夜空に平面的に輝いている星々の距離を求めて、宇宙の広がりや進化の様子が解き明かされてきている。

星々の明るさは、人類にとって理想的なものであった。もう 100 倍暗ければ、人間は人工光がなくても夜空に星々を見ることができなかった。もう 100 倍明るければ夜空は星明かりどころではなく、ごちゃごちゃと星がありすぎて星への関心を持つに至らなかったであろう。

現在の宇宙は、人類が星々への関心を持つのに理想的な状態になっている。そのような環境を人工光によって破壊して大多数の人々の星や宇宙への興味をつぶしてしまうことは人類全体にとって得策ではない。

このシリーズを終えるにあたり、国際天文学連合、国際照明委員会、照明学会、環境庁等の多くの方々によって励まし、協力して下さっていることに感謝したい。そして、1997 年 8 月の IAU 総会において、障害光に対する ISO 規準化への大きなステップを踏むことができれば、たまたま IAU 第 50 委員会の委員長の立場にいる私にとってこの上もなく幸いである。

4. 1997 年 8 月国際天文学連合総会 における活動

本誌に毎号紹介されている国際天文学連合の総会が 1997 年 8 月 18 日 - 30 日に京都の国際会議場で開催される。その折、6 つのシンポジウム、24 のジョイント・ディスカッションが行われる。そのうちの一つに“Preserving of Astronomical Windows”がある。これは第 50 委員会が中心となって提案したもので、光学天文学に対する光害問題、電波天文学に対する電波障害問題、スペース天文学に対するスペース・デブリ問題を取り扱い、国際天文学連合の組織委員会は天文学全体に及ぼす影響の重要性を考慮して 1.5 日の時間を割り当ててくれた。また、会長の Woltjer も講演を快く引き受けてくれた。夜空の明るさに関する部分のプログラムを表 4 に紹介する。期会中に開催される第 50 委員会独自の会合共により多くの方々にご出席され、貴重な御発言をいただければ幸いである。残念ながら御出席になれない方は、筆者まで御意見をお寄せください。

Lighting to preserve dark night sky

Abstract: It has been shown how night sky becomes bright. Then, it is important to propose a practical way to reduce night sky brightness. There are efforts to examine what lighting instruments are practically used and how emitted light intensity from different instruments distributes. To make a resolution of CIE TC4-21 effective, it should be adopted to be ISO standard, and then we should continuously work to recover night sky with enough number of stars shining.

追 12 月号に示した CIBTC4-21 提案のガイドラインが 1996 年 10 月 23 日に、私が提案したゾーンの数減らすなど 2、3 の修正後、国際照明委員会第 4 部会によって承認された。次は国際天文学運営側の番である。