

施設の供用による廃棄物の発生量

	評価書案				再考				発生量設定の根拠※1
	発生量		合計 t/年	発生量		合計 t/年	資源化率		
	水族館以外 t/年	水族館 t/年		水族館以外 t/年	水族館 t/年		資源化量 t/年	%	
可燃物									
紙類 (紙くず)	958	1	959	729	1	730	0	0.0	◎TOKYO-BAY (729t)、豊洲 (594t)
繊維 (布製の衣類、布団等)	62		62	29		29	0	0.0	◎TOKYO-BAY (29t)
草木 (木くず等)	319		319	10		10	0	0.0	◎TOKYO-BAY (10t)
古紙 (新聞・雑誌・段ボール等)				1,251		1,251	1,251	100.0	TOKYO-BAY (959t)、横浜 (633t)、◎豊洲 (1,251t)、甲子園 (934t)、新三郷 (946t)
厨芥 (生ごみ)	727	4	731	664	4	668	664	99.4	TOKYO-BAY (392t)、横浜 (402t)、◎豊洲 (664t)、新三郷 (173t)
その他可燃物	44	18	62	204	18	222	0	0.0	◎TOKYO-BAY (204t)、豊洲 (83t)
プラスチック類	514	0.1	514	148	0.1	148	148	99.9	◎TOKYO-BAY (148t)、横浜 (14t)、甲子園 (41t)、新三郷 (97t)
不燃物									
ガラス (ガラス瓶等)	115	0.2	115	29	0.2	29	29	99.3	横浜 (15t)、◎豊洲 (29t)、甲子園 (16t)、新三郷 (17t)
金属類 (飲料缶等)				30		30	30	100.0	横浜 (21t)、◎豊洲 (30t)、甲子園 (19t)
その他金属類	239	1	240	10	1	11	10	90.9	◎TOKYO-BAY (10t)
蛍光灯・電池				4		4	4	100.0	◎TOKYO-BAY (4t)、豊洲 (3t)、新三郷 (2t)
その他不燃物	62	1.01	63		1.01	1	0	0.0	
その他				130		130	130	100.0	TOKYO-BAY (1t)、◎横浜 (130t)、◎豊洲 (42t)、甲子園 (36t)、新三郷 (44t)
医療廃棄物		0.01	0.01		0.01	0.01	0	0.0	
合計	3,040	25	3,065	3,238	25	3,263	2,266	69.4	

※ 他施設店舗面積および廃棄物発生量実績から、本事業 (水族館以外 : 243,000㎡) の廃棄物発生量を面積按分により算出。





凡 例

-  事業計画地
-  緑地
-  高木植栽



Scale 1:4,000

0 50 100 150 200m





区分：近景域	地点番号：②	地点名：記念公園南口バス停付近
--------	--------	-----------------

景観の変化の程度：

当該地点を含む外周道路からの景観については、沿道に高木を植栽した緑地帯を設けると共に、建物を沿道から遠ざけて配置する計画とするなど、特に配慮がなされている。そのため、自動車出入口や立体駐車場が出現するが、樹木に遮られて多くの部分が視認できない。また、外壁等の色彩等は周辺と調和したものとなるよう計画されていることから、景観に違和感を与えることはないと予測する。

**現況**



**将来**



図 12.16-3 (1) 景観の変化の程度 (②記念公園南口バス停付近)

将来



※参考（竣工後 10 年後程度）

広場の植栽イメージ



検討中

1. 視野内における観覧車の見え方



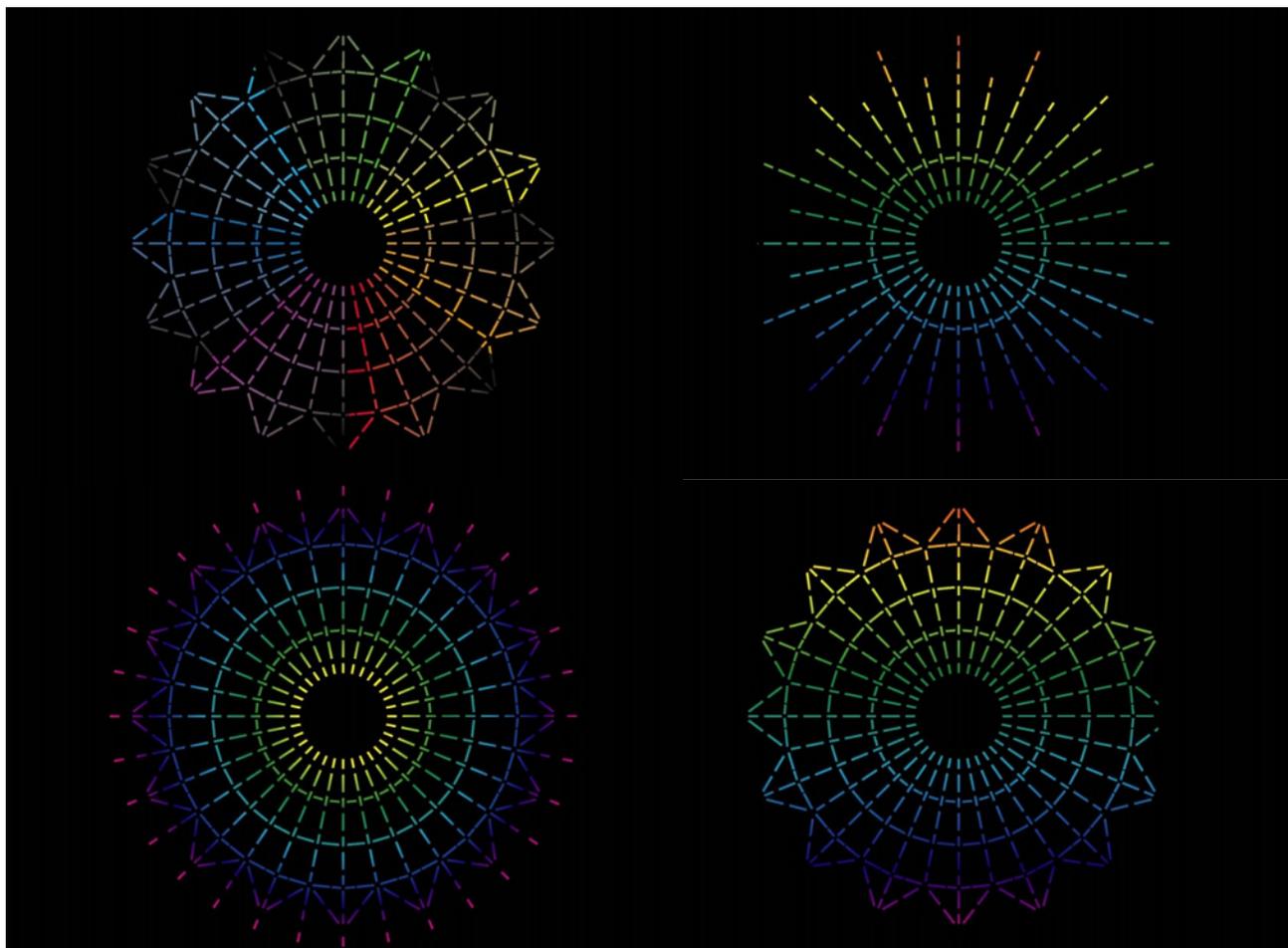
公園東口駅ホームより



公園東口駅ホームより



## 2. イルミネーション (イメージ)





(仮称) エキスポランド跡地複合施設開発事業  
- 観覧車夜間イルミネーションによるグレア評価について -

## 1. グレア

グレアとは、視野の中に不適當な輝度分布があるか、輝度の範囲が広すぎるか、または過度の輝度対比があるために、視野内の細部や物体を見る能力の減少（減能グレア）もしくは不快感（不快グレア）を生じさせる視覚の条件または状態をいう。

ここでは、計画観覧車の夜間イルミネーションによる周辺の居住者への影響を把握することを目的とし、不快グレアについて検討を行った。

## 2. 不快グレアの評価

### 1) 評価方法の検討

グレアは個人の感覚の問題であり、また複雑な光環境を総合的に考慮する必要があるため、評価方法は単純なものとはならない。不快グレアについては、これまでに定量的な評価の方法がいくつも提唱されてきた。以下に、実用化された評価方法の一例を挙げる。

#### ① VCP (Visual Comfort Probability)

北米で主に用いられている方式。グレアを不快ではないと感じる人の割合 (%) で評価される。北米照明学会では、オフィス・学校など 70 以上を推奨している。

#### ② BGI (British Daylight Glare Index)

英国のグレアインデックス法のこと。数値が小さいほどグレアが少ないことを示し、特にグレアのないことが必要な場所では約 10 を、一般屋内では約 20 を、比較的粗な作業では約 30 を許容している。

#### ③ UGR (Unified Glare Rating)

暫定 CIE 法 (CGI) に代わって 1995 年に CIE が推奨した方法。数値が小さいほどグレアが少ないことを示し、BGI とほぼ同じ意味を持つとされている。UGR の方が約 3 単位高くなるという研究もある。

#### ④ 輝度制限法

照明器具単位のグレアの程度を表そうとするものであり、鉛直角  $45^\circ$  以上の照明器具の輝度制限値を定める方法で、ISO8895 (The lighting of indoor work systems) に示されている。公共照明器具標準の G 分類は、これが基礎になっている。

#### ⑤ 道路照明の不快グレア評価

道路照明器具が連続して配置される場合の不快グレアの程度は、グレアコントロールマーク (G) で評価される。

#### ⑥ 屋外 (スポーツ) 施設の不快グレア評価

任意の点から照明塔の地際または水平方向を見た場合の不快グレアの程度を評価する方法で、グレアレイティング (GR) で評価される。

前頁で挙げた評価方法のうち、①～④は主に室内に取り付けられた照明器具によって生じる不快グレアを定量的に評価する方法といえる。ここでは、屋外に設置される観覧車の夜間イルミネーションを対象とするため、「屋外（スポーツ）施設の不快グレア評価（GR）」の手法を用いる。

## 2) グレアレイティング（GR）の算出

GR はグレアの程度を 0 ～100 の数値に表し、数値が大きいほどグレアの程度が大きいと言える。GR は次式のように、投光器による等価光幕輝度と投光器以外からの反射光による等価光幕輝度により算出できる。

$$GR = 27 + 24 \log \left( \frac{L_{vl}}{L_{ve}^{0.9}} \right)$$

ここで、

$L_{vl}$  : 個々の照明器具によって生じる等価光幕輝度の合計 (cd/m<sup>2</sup>)

$$L_{vl} = 10 \sum_{i=1}^n \frac{E_{eye i}}{\theta_i^2}$$

$E_{eye i}$  : 観測者の視線に対して垂直な面の照度 (lx)

(ここでは、安全側に予測するため、全ての光源が視線のほぼ正面にあると仮定。)

$$E_{eye i} = \frac{I}{r^2}$$

$I$  : LED 光度 (cd)

ここでは、 $I=1\text{cd} \times \text{透過率 } 90\% \text{ のカバー} = 0.9\text{cd}$

※類似施設より引用

$r$  : 光源からの距離 (m)

$\theta_i$  : 観測者の視線と個々の光源とのなす角 (°)

$\theta_i = \text{水平下方 } 2^\circ$

$n$  : 光源の数

$n=335,517$  個 ※類似施設より推定

$L_{ve}$  : 環境の等価光幕輝度 (cd/m<sup>2</sup>)

① 天空輝度とする場合、0.01 cd/m<sup>2</sup>、0.5 cd/m<sup>2</sup> ※別紙参照

(反射光を考慮していないため、過度に安全側といえるが、ここでは参考に検討を行った。)

② 室内環境とする場合、

$$L_{ve} = 0.035 \cdot \frac{E_{hor av} \cdot \rho}{\pi}$$

$E_{hor av}$  : 全運動競技面の平均水平面照度 (lx)

(ここでは、少し暗めの室内照度として、50lx と仮定。)

$\rho$  : 領域 (地面など) の平均反射率

(領域の平均反射率は、一般に土が 10%、芝生が 15%、雪面および氷面に 50% が用いられている。ここでは、安全側に予測するため、10% と仮定。)

### 3. 評価結果

算出した GR の結果は、表に示すとおりである。

環境の等価光幕輝度を  $0.01\text{cd/m}^2$  (天空輝度) とした場合、直近マンション位置 (観覧車から  $600\text{m}$  程度) における GR は 78 となり、グレアの程度としては「邪魔になる」レベルとなる。しかし、GR 算出における環境の等価光幕輝度は、本来は「照明による地面からの反射光」であり、夜空の天空輝度  $0.01\text{cd/m}^2$  (2000 年東京 20 時、年間出現頻度 15%程度) は過度に安全側の予測であり、あくまで参考としたい。次に、天空輝度  $0.5\text{cd/m}^2$  (2000 年東京 20 時、年間出現頻度 30%程度) とした場合は、GR は 41 となりグレアの程度としては「あまり気にならない～許容できる限界」レベルとなる。これについても、過度に安全側の予測といえる。また、居住者は室内の窓から観覧車方向を見ると想定できるため、環境の等価光幕輝度を室内照度 (ここでは、少し暗めの室内照度として、 $50\text{lx}$  と仮定) から推定した。その結果、GR は 19 となりグレアの程度としては「気にならない～あまり気にならない」レベルとなる。これについても、GR の本来の算出方法とは異なるため、参考としたい。

いずれにしても、安全側で予測を行っており、直近マンション位置での数値であることを踏まえると、参考値とはいえ、グレアの程度としては問題になるレベルではないと考える。また、計画観覧車は、万博記念公園駅や公園東口駅ホームを除けば、地形の関係 (計画地から南に向かって標高は低くなっている) や樹木等に遮られて周辺の住宅地からはほとんど視認することができない。

以上のことから、計画観覧車の夜間イルミネーションによる周辺への影響は小さいものと考えられる。

※ 本検討は、基本設計段階である計画観覧車の夜間イルミネーションについて、グレア評価を試みたものである。現段階では、観覧車のコンセプトや照明計画 (光源の輝度、配置、配色、イルミネーションパターン等) が決定していないため、GR の算出に必要な光源の設定は類似施設からの推定、またその他のパラメータは安全側の予測を基本とした仮定による設定を余儀なくされた。過度に安全側ともいえる計算となっているが、今後の詳細設計や開業に向けての検討にあたり、周辺環境への光害対策の参考とし、快適な照明環境の創出に努めていきたい。

表 GR 算出結果

観覧車から観測者までの距離 (m)	環境の等価光幕輝度		
	①天空輝度とする場合		②室内環境とする場合
	天空輝度		室内照度
	0.01 (cd/m <sup>2</sup> )	0.5 (cd/m <sup>2</sup> )	50 (lx)
10	163	127	104
20	149	112	90
30	140	104	81
40	134	98	75
50	130	93	70
60	126	89	67
70	123	86	63
80	120	83	61
90	117	81	58
100	115	79	56
200	101	64	42
300	92	56	33
400	86	50	27
500	82	45	22
600	78	41	19
700	75	38	15
800	72	35	13
900	69	33	10
1,000	67	31	8

○GR とグレアの程度との関係

- GR グレアの程度
- 90 耐えきれない
- 70 邪魔になる
- 50 許容できる限界
- 30 あまり気にならない
- 10 気にならない

# 天空輝度による上方光束簡易推定法の開発

指導教員 岩田利枝教授

2AEB2237 倉田佳奈子

## 1. はじめに

夜間の屋外照明による明るさは歩行者の安全だけでなく、防犯の点からも必要である。しかし、天空など不必要な場所を照らすことは、エネルギーの浪費と光害をもたらす。夜空の明るさは上方に向けられた漏れ光（上方光束）が天空の雲などに反射されることによって起こり、天体観測へ影響を与えている。また、天体観測以外にも動植物、農作物、さらには人間の生体リズムへの影響も無視できなくなってきた<sup>1)</sup>。

日本では1996年照明学会により、国内の数箇所です屋外照明の調査<sup>2)</sup>が行われたが、そこでは照明の専門家が目視や写真によって照明機器を推定し、上方光束量を積み上げなければならなかった。また、1996年以降に国内で調査されたデータはなく、上方光束の調査を行うことは容易ではないことがわかる。さらに、夜空の明るさは上方光束だけではなく気象条件に大きく影響される。

そこで、本研究では専門家でも行える簡易な上方光束の推定方法の開発と、年間の夜空の明るさの推定方法を提案することを目的とする。

## 2. 研究の流れ

本研究は天空輝度と雲の反射率より上方光束を算出し、年間の気象データより年間の天空反射率を求める。それにより、夜間の年間平均輝度を求め、夜空の明るさを把握する。研究のフローを図1に示す。

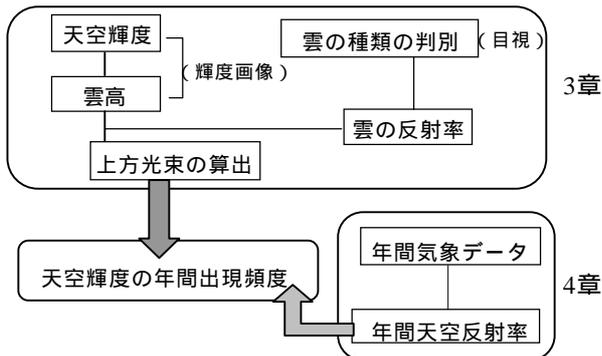


図1 研究のフロー

## 3. 上方光束簡易推定方法の開発

### 3-1 雲の反射率

3-1-1 雲の種類と反射率 上方光束は天空輝度と雲の反射率、雲高より算出でき、雲の反射率を求めるためには雲の種類を判別する必要がある。そのため、本研究ではLiouによる雲の種類とモデルを参照し、目視と放射温度計（放射率0.90）により雲の種類を判別した。表1に雲の種類とモデルを示す<sup>3)4)</sup>。雲の反射率の計算方法は雲がす

表1 雲の種類とモデル (Liou:1976)<sup>4)</sup>

雲の種類	雲底高度 km	雲層厚 km	温度 K	水蒸気圧 mb	雲水量 g cm <sup>-3</sup>	雲粒子数 cm <sup>-3</sup>
低層雲 (Cu,Sc)	1.7	0.5	288	17.044	0.577	300
中層雲 (As,Ac)	4.2	0.6	274	6.566	0.311	450
高層雲 (Ci,Cs,Cc)	4.6	1.7	234	0.144	0.023	0.1
乱層雲 (Ns)	1.4	4.0	280	10.013	3.098	330
積乱雲 (Cb)	17	6.0	270	4.898	2.357	75
層雲 (St)	1.4	0.1	291	20.63	0.154	178

べて水平方向に無限の広がりをもつと仮定された、太陽放射に対する雲の放射特性を参考にした<sup>3)</sup>。

3-1-2 反射率の算出<sup>3)</sup> Stephens<sup>3)5)</sup>の計算方法により雲水総量(Liquid water path)、光学的厚さを算出することで雲の反射率は推定することができる(式、式)。しかし、上層雲(Ci,Cs,Cc)は算出することが出来ないのでReynolds<sup>3)</sup>の反射率を参照した。

$$\log_{10} \tau = 0.2633 + 1.7095 \ln(\log_{10} W) \dots$$

$\tau$ : 光学的厚さ  $W$ : 雲水総量 ( $W = \int z dz$  [g/m<sup>2</sup>])  
 $w$ : 雲水量 [g/m<sup>3</sup>]  $z$ : 雲層厚 [m]

$$R(\mu_0) = \frac{\beta(\mu_0) \tau_N / \mu_0}{1 + \beta(\mu_0) \tau_N / \mu_0} \dots$$

$R(\mu_0)$ : 反射率  $\mu_0 = \cos(\theta)$  ( $\theta$ : 入射角)

$\beta(\mu_0)$ :  $\mu_0$ 方向からの後方散乱を受ける割合

入射角は太陽放射を照

明機器による上方光束と

見立て、60°と設定した。

雲の種類はCarrierのモデル、雲層厚はLiouのモデルを参照した。図2に算

出した反射率を示す。

3-2 天空輝度測定

3-2-1 測定方法

測定は東海大学代々木校舎2,4号館の屋上で、2005年度(6/21-27,29,30,7/2, 6,10,15,8/4,11/10,11,14,12/2,15,21,1/4,6,13)に20時,21時,22時の3回行った。測定項目は天空輝度分布、天頂輝度である。天空輝度分布はCDカメラ輝度測定法(魚眼レンズNikon FC-E8付きデジタルカメラNikon CoolPix 5000[ss=8s,F5.6])により算出し、天頂輝度測定では輝度計(ミノルタ製 CS-100A)を用いた。

3-2-2 測定結果

測定23日間に曇天日は8日、そのうち4日間の雲の種類を特定できた。11/11,14の時刻による天空輝度の変化を図3に示すし、CCDカメ

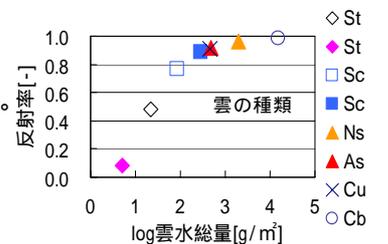


図2 反射率と雲水総量

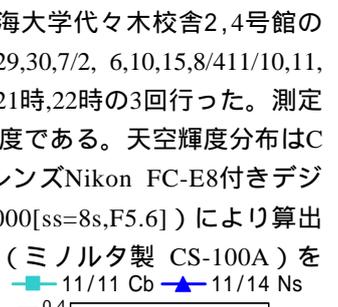


図3 天頂輝度の時刻変化

ラ輝度測定法による輝度変換画像を図4に示す。天空輝度の変動の主要な原因は点灯率、雲の高さ、反射率である。

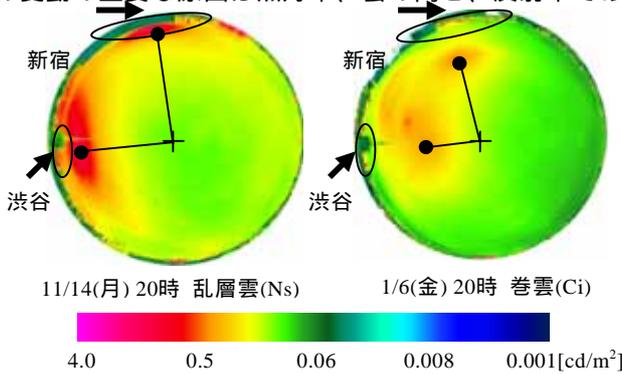


図4 CCDカメラ輝度分布画像

図4のように渋谷と新宿上空の高輝度部分が明瞭な画像を用いて式より雲高を求めることが可能である。

$$h = d / \tan \theta \dots$$

$h$ :雲高  $\theta$ :角距離

$d$ :代々木校舎から渋谷、新宿までの平面距離

(使用したレンズは等距離射影なので画像半径を $R$ とすると中心からの距離 $x$ の点の角距離 $\theta[\text{deg}] = 90x/R$ )

### 3-3 上方光束算出

天空輝度、雲の反射率、雲高より図5のように式を用いて上方光束が推定できる。地表と雲の間での減衰を検討したところ、1%程度であったので、無視できるとみなした。

$$E_z = L_z \times \pi / \rho \dots \quad I = E_z \times r^2 / \cos \theta \dots$$

$$I_n = I / \cos \theta \dots \quad F = \pi \times I_n \dots$$

$E_z$ :天頂の照度[lx]  $L_z$ :天頂の輝度[cd/m<sup>2</sup>]

$\rho$ :雲の反射率  $I, I_n$ :光度[cd]

$F$ :上方光束[lm]  $\theta$ :角距離  $h, d, r$ :距離[m](図5)

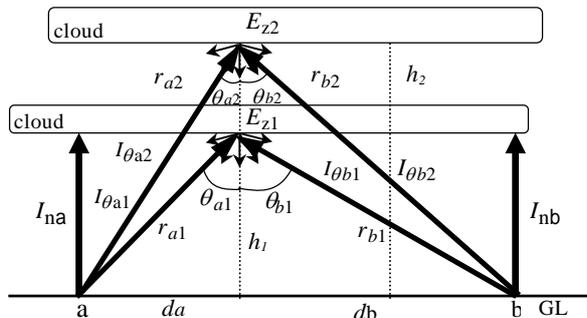


図5 雲高・上方光束

図5から分かるように光放射点と測定点の距離 $d$ によって測定点天頂の雲に入る照度 $E_z$ は異なる。さらに、測定点天頂の雲に入る照度は雲の高さ $h$ によって変化する。図6に光放射点の光度を一定とし、雲高 $h$ 、距離 $d$ と測定点天頂照度 $E_z$ の関係を

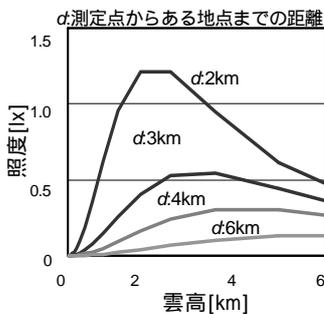


図6 距離と照度 (\*  $I_n = 2E+07$ [cd])

示した。(代々木校舎からの距離[渋谷:約1.7km、新宿:約3.3km、六本木:約4.1km])。その結果、角距離が45°の時に照度は最大になり $d$ が測定点から遠くなると影響が

小さくなることが分かった。そこで、代々木校舎上空では渋谷と新宿からの上方光束のみが夜空の明るさに影響しているとした。雲高の異なる2日間の $E_z$ を求めることにより $I_{sb}$ と $I_{sn}$ を算出し、天頂の照度を式より求め、渋谷と新宿の上方光束を推定した。結果を表2に示す。

$$E_z = \sum_{i=1}^n I_n \cos^2 \theta_i / r_i^2 \dots$$

表2 上方光束

渋谷	$I_{sb}$ [cd]	$F_{sb}$ [lm]	$R_{sb}$ [lm/100ha]	$h_1$ [11/14(月)]
20:00	26125381.45	21,707,295	82,075,306	636
21:00	23023674.50	24,319,168	72,331,007	674
22:00	22783412.74	14,755,774	71,576,202	623
新宿	$I_{sn}$ [cd]	$F_{sn}$ [lm]	$R_{sn}$ [lm/100ha]	$h_2$ [1/6(金)]
20:00	46817563.60	241,205,415	73,540,857	1582
21:00	42613212.23	192,537,923	66,936,677	1739
22:00	53614395.02	248,586,365	84,217,295	1376

R:上方光束発散度[lm/100ha] 渋谷駅周辺:約100ha 新宿駅周辺:約200ha

1996年の照明学会による某商業地域の調査データ<sup>2)</sup>

(28,767,367 lm/100ha)と比較すると、本研究で算出した渋谷、新宿の上方光束発散度は、約2.6倍となった。概ね妥当な値と考えられる。

### 4. 夜間の天空輝度年間出現頻度の推定

夜間の天空輝度は天空状態によって変化する。昼間の天空状態を表す指標として天空指標(日射量より算出)がある。この指標を夜間に適用するために、夜間でも測定できる絶対湿度との関係を明らかにした。しかし、図7に示すように、天空状態と絶対湿度には相関がみられず、推定することは適わなかった。

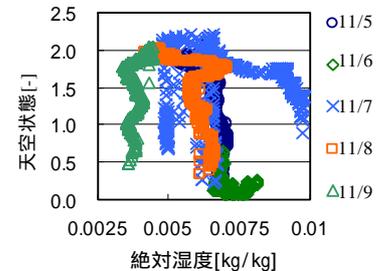


図7 天空状態と絶対湿度

そこで、今回は拡張アメダスの2000年東京のデータを使用しBruntの式を用いて、天空状態の指標として雲量を算出した(雲高係数を中層と仮定)。そして、雲量別に実測データに基づき、雲の種類を仮定して、天空輝度を推定した。年間出現頻度(20時)、天空輝度を図8に示す。

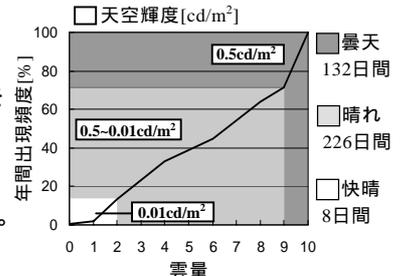


図8 年間出現頻度 (2000年東京20時)

### 5. まとめ

天空輝度分布と雲高、雲の反射率から、都市の上方光束の簡易推定法を提案した。さらに、推定した上方光束と年間の夜間天空輝度の出現頻度を算出した。

【参考文献】

1) N.Oba, K.Kawakami, T.Iwata,T.Uozumi, S.Kohko:Sky glow caused by the spill light from office buildings, Journal of Light and Visual Environment, Vol. 29, No.1, pp.19-24,2005 2)川上幸二ら:「屋外照明等の国内実態に関する調査報告書」照明学会 照明光の環境への影響特別研究委員会 3)会田勝:大気と放射過程-大気の熱源と放射収支を探る-東京堂 1986年 4)Liou,K.N., : On the absorption, reflection and transmission of solar radiation in cloudy atmospheres.J.Atmos.Sci.,33,789-805 1976 5) Stephens,G.L., Radiation profiles in extended water clouds. . Parameterization schemes. J.Atmos.Sci., 35, 2123-2132 1978 6) 井川憲男、松本真一:「建築環境予測のための気象データのモデル化と拡張アメダス気象データへの展開」IBPA-Japan 講演論文集 2005年

