

雲量と日照率による天空輝度分布タイプの推定の試み

正会員 梅宮典子*3
 福田高士*1
 正会員 飯沼清明*2
 同 加納隆維*2
 同 西岡利晃*4
 同 大倉良司*5

1 研究の背景と目的

1.1 研究の背景

近年、昼光の有効利用が注目されるようになり、種々の活用方法が検討され、実験されている。

昼光観測データの中でも、天空輝度分布は天空の光源としての特性を説明するのに有用であるが、しかし通常、輝度分布は複雑で再現性は低い。そのため、昼光計算に用いるには輝度分布のモデル化が必要となった。ここではじめに、大気の状態が安定し、天空輝度分布が比較的簡単な形状になる完全曇天空、完全晴天空の2種類が、CIE（国際照明委員会）により標準化された。さらに、この2つの天空タイプの間位置する天空は、ひとくりに中間天空と名付けられた。しかし、一様天空も標準晴天空、標準曇天空も極端なケースであり、日本においては実際に発生頻度の高い中間天空状況に一致しな

い。そこで、2000年8月に昼光照明の省エネルギー計算のよりよい照明変化シミュレーションと特定の気候ゾーン、また局地の特徴的な昼光気候のより正確な予測を可能にするために、標準曇天空、一様天空、標準晴天空を含む新しい15種類の天空タイプがCIEで標準案として暫定的に採用された。

新しい天空タイプの輝度分布は、それぞれ6つの階調関数（図1-）と散乱関数（図1-）の選択された組み合わせを利用し、それぞれa,b,c,d,eパラメーターを用いて指数近似概算することによってモデル化された。以下に、その式を示す。

$$\frac{L}{L_z} = \frac{f(x) \times \varphi(Z)}{f(Z_s) \times \varphi(0^\circ)} \quad \dots (1)$$

$$\frac{\varphi(Z)}{\varphi(0^\circ)} = \frac{1 + a \exp\left(\frac{b}{\cos Z}\right)}{1 + a \exp b}$$

$$f(x) = 1 + c \left\{ \exp(dx) - \exp\left(d \frac{\pi}{2}\right) \right\} + e \cos^2 x$$

$$\cos x = \cos Z_s \cos Z + \sin Z_s \sin Z \cos A_z$$

: 天空要素の輝度 [cd/m²]

L_z: 天頂輝度 [cd/m²]

Z: 天空要素の天頂角 [rad]

Z_s: 太陽の天頂角 [rad]

A_z: 方位角 [rad]

x: 散乱角 [rad]

: 相対散乱インディカトリックス関数

φ(Z): 階調関数

a,b,c,d,e: 標準セットのパラメーター

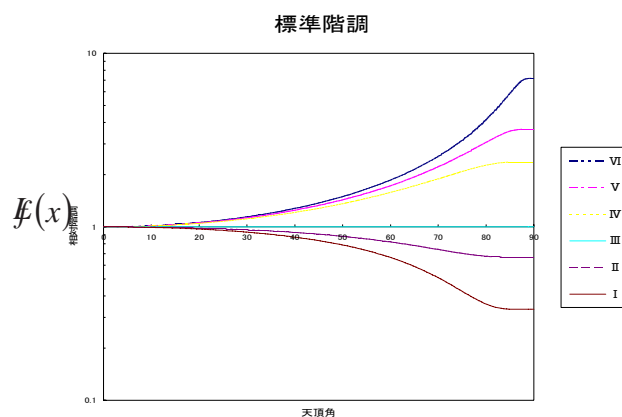


図1- 階調関数

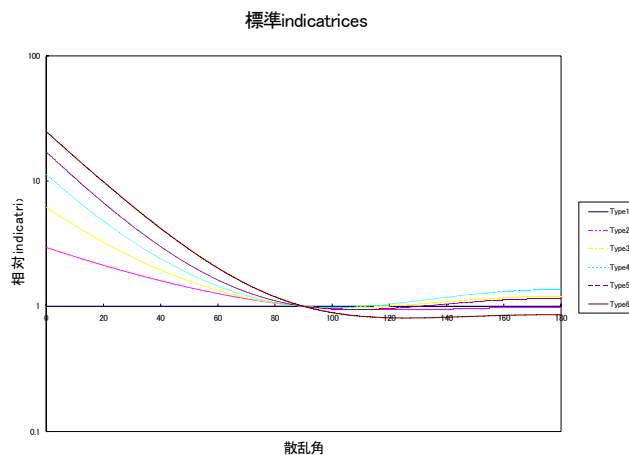


図1- 標準散乱インディカトリックス

The trial of presumption of the sky luminance distribution type by cloud amount and sunshine duration

1.2 研究の目的

先に述べたように、CIEによって15種類の天空タイプが提案されたが、それぞれのタイプに対する長期観測データに基づいた実測値の検討は、まだあまりなされていない。さらに、天空輝度分布の実測データは、入手するのが容易ではなく、そのため比較的入手しやすい気象データにより、天空輝度分布タイプを推定することができれば、昼光の有効利用により役立つのではないかと考えた。本研究では、雲量、日照率を用いて、天空輝度分布タイプを推定することを試みる。そこで、本研究の目的としては、IDMP京都測定所の長期観測データについて、下に示す項目について検討することとする。

- 1) 15種類の天空タイプの発生頻度
- 2) 雲量、日照率の組み合わせと天空タイプの関係
- 3) 天空タイプの雲量、日照率による推定

2 方法

2.1 使用したデータ

IDMP京都観測所の天空輝度分布と気象台の雲量、日照率のデータを用いた。天空輝度分布は全天145点のデータであり、欠測値の比較的少ない1993年5月～1994年4月、1994年12月～1995年11月、1998年7月～1999年6月の3年間とする(データ数合計1614)。気象台の雲量のデータの測定は、1日4回で、しかも天空輝度の測定時間内では、9時と15時の2回しか測定されていないので、本研究は雲量のデータに合わせて9時と15時の2つのデータを用いる。日照率については、観測時刻の前1時間のうちの日照のあった時間で表される。ちなみに、雲量と日照率のデータには欠測はない(データ数合計2190)データの詳細は表1の通りである。

表1 データの詳細

	天空輝度分布	雲量	日照率
観測場所	IDMP京都観測所	京都気象台	
測定間隔	15分間	6時間(3,9,15,21時)	1時間
測定期間	93年5月～'94年4月、'94年12月～'95年11月、'98年7月～'99年6月		
測定データ数(9時、15時)	1614	2190(欠測なし)	

2.2 測定方法

天空輝度分布の測定は、開口角 11° のEKO Sky Scanner(英弘精機製)で全天を走査させながら全天145点のデータを取り込むことにより行う。走査点の位置を表2に示す。また、図2に測定点の番号を示す。測定システムはパソコンによって制御され、あらかじめ設定しておいた測定時刻になると、パソコンのスタートの信号により、真南・高度角 6° にセンサーが位置され、走査を開始する。

全天を走査するのにかかる時間、つまり1回の測定時間は約2分30秒(1998年6月17日より、プログラム変

更のため3分強に変更)で、測定中に天空の状態が急変することはないと思われる。データは測定後フロッピーディスクに自動的に保存される。測定範囲は $0 \sim 55(\text{kcd}/\text{m}^2)$ である。

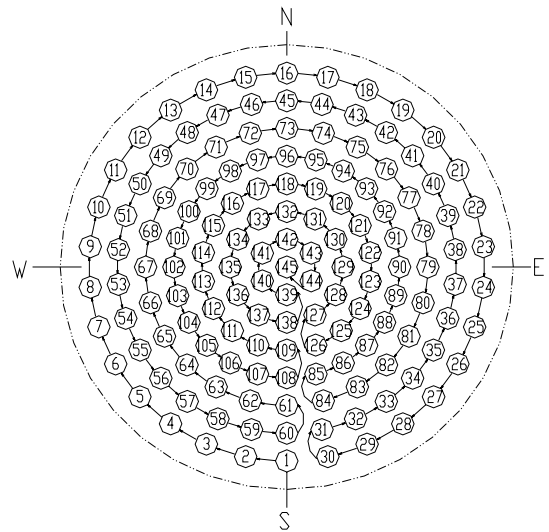


図2 走査点番号

表2 走査点の位置

高度角	方位角度幅	測定点数
6°	12°	30
18°	12°	30
30°	15°	24
42°	15°	24
54°	20°	18
66°	30°	12
78°	60°	6

2.3 解析方法

各天空輝度分布のデータが対応する推定タイプは、次のようにして判別する。まず、太陽高度、太陽方位角を与えて、式(1)を用い、それぞれのタイプごとに、観測点($i=145$ 点)における相対天空輝度分布の推定値 m_{ki} を計算する。次に各点の実測値を天頂輝度で割り、相対値 r_i とする。そして、下式に示すように、各測定点での相対値としての実測値と推定値の差の2乗を全ての測定点で足し合わせたものを計算する。最後に、各タイプでその値を比較し、最小になったものをその天空輝度分布データの推定タイプとした。

$$ERR_k = \sum_{i=1}^{145} (r_i - m_{ki})^2 \quad \dots (2)$$

- r_i : 各測定点での相対天空輝度分布の実測値
- m_{ki} : 各測定点での相対天空輝度分布の推定値
- k : 各タイプ(15種の天空標準)

3 結果と考察

3.1 天空輝度分布タイプの発生頻度

•}3に(2)式で推定した3年間のタイプの発生頻度を示す。図から見てとれるように、発生頻度が高いのは、1) type 1「CIE標準曇天空(alternative formula)すなわち、急な階調と方位一様性を持った曇天空」は369回(22.86%)、2) type 8「明るい太陽コロナとある程度の一様性を持った部分曇り」は242回(14.99%)、3) type 11「明るい太陽コロナを持った白みがあった青空」は209回(12.95%)、4) type 13「CIE標準晴天空(Polluted)すなわち、より広い範囲の太陽コロナを持った雲のない汚染された天空」は315回(19.52%)である。Pollutedが、約20%を占めるのに対して、CIE標準晴天空(Clear)(type 12)は0.06%のみであった。type 1に関しては、中村洋ら³⁾の結果と一致している。

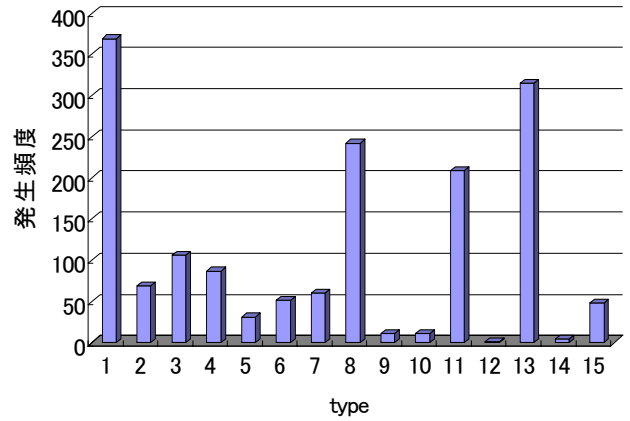


図3 推定タイプの発生頻度(3年間)

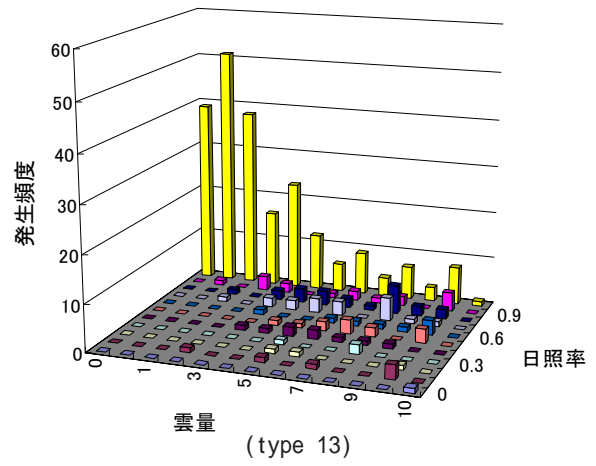
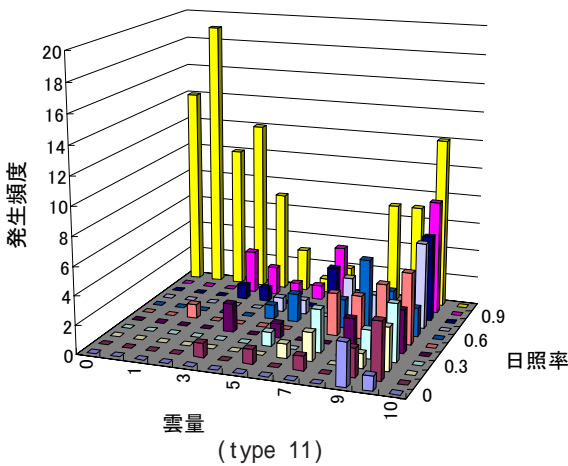
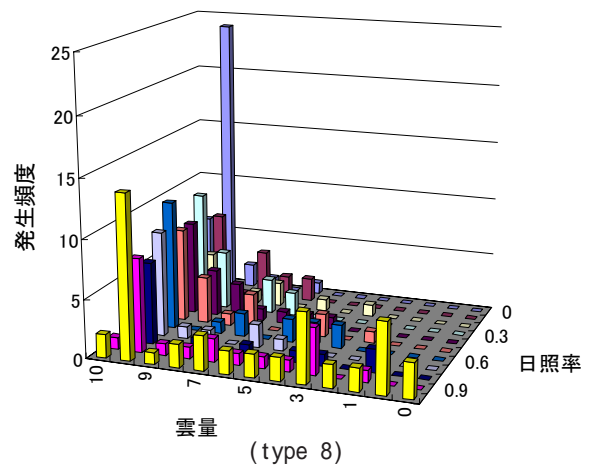
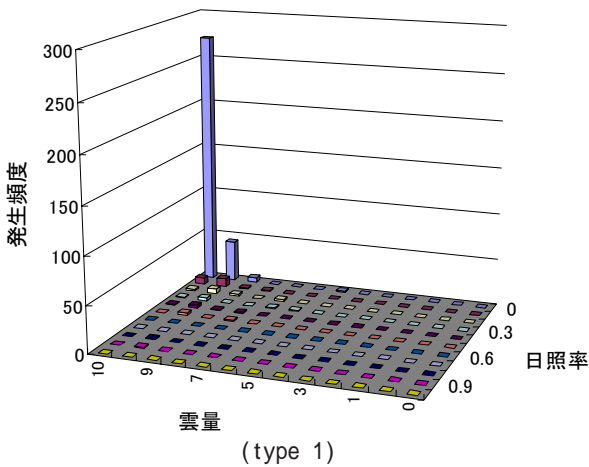


図4 4つのタイプの各雲量、日照率の組み合わせにおける発生頻度

3.2 雲量、日照率の組み合わせと天空タイプの関係

図4.に3.1で発生頻度の高かった4つのタイプについて、各雲量×日照率の組み合わせにおける発生頻度を示す。

(1) type 1: 雲量 10 × 日照率 0 のグループの発生頻度が高く、約 75% を占めている。(2) type 8: 最も発生頻度の高いのは、雲量 10 × 日照率 0 で約 10% になっている。雲量 10 以外では、ほとんどが発生頻度が 1% 以下

で、広範囲に広がっている。(3) type 11: 雲量 0、0⁺、1、2 × 日照率 1 と雲量 10 × 日照率 1 の 5 つの組合せが多く、発生頻度は約 5% 以上である。type 8 と同様に、全体的にばらついていて、type 11 を特徴付ける組合せがない。(4) type 13: 雲量 0、0⁺、1 × 日照率 1 の 3 つの組合せの発生頻度が高く、合計で 40% を占めている。日照率 1 以外では、発生頻度 1% を超えるものはない。

表3 各雲量と日照率の組み合わせにおけるタイプの発生頻度

	日照率	雲量												
		0	0+	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10-	10
0	0	0	0	0	0	0	0	100	0	0	0	23.8	30.6	65.9
	0.1	0	0	0	0	0	0	0	100	0	50	9.5	16.7	1.5
	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14.3	0.7	0
	0.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2
	0.4	0	0	0	0	0	0	0	0	100	50	52.4	5.2	32.4
	0.5	0	0	0	0	0	0	0.06	0.06	0.12	0.12	1.3	8.92	25.59
	0.6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12.5	7.7	16.1	38.9
	0.7	0	0	0	0	0	0	0	66.7	33.3	50	0	12.5	16.7
	0.8	0	0	0	0	100	0	0	33.3	0	16.7	0	15.4	7.1
	0.9	0	0	0	100	0	0	0	33.3	0	16.7	0	0	5.4
	1.0	0	0	0	0	0	0	0	33.3	33.3	33.3	37.5	76.9	58.9
	1.1	0	0	0	0	0.06	0.06	0	0.19	0.19	0.37	0.5	0.81	3.47

3.3 雲量と日照率によるタイプの推定

3.1で述べたように、天空標準の15タイプのうち、京都観測所ではtype 1、8、11、13が多く発生する。この4つのタイプ、及びそれ以外のタイプの合計5つについて、各雲量×日照率における発生頻度を調べることで、雲量と日照率から天空タイプの推定を試みる。•\3に、各雲量×日照率における上記の5つのタイプの合計の発生頻度を示す。発生頻度の低いデータも散在しているが、おおまかな傾向としては、グラフの右上（雲量10・日照率0）から左下（雲量0・日照率1）に向かって、発生頻度が高いのがtype 1 8 11 13へと移り変わっている。

この表を用いれば、雲量と日照率が既知の時、5つの天空タイプの発生頻度がわかり、天空タイプを確率的に予測することができる。

4. まとめ

- 1) IDMP 京都観測所では、実測天空輝度分布から推定するとtype 1、8、11、13の発生頻度が高い。
- 2) 雲量×日照率の組み合わせと天空輝度分布タイプの関係を、発生頻度の高かった4つのタイプについてみると、type 1については、雲量10・日照率0のグループとの関連性が強い。type 8、11については、全体的にばらつき、特徴付けるグループがない。type 13については、雲量0、0+、1×日照率1の3グループとの関連性が強い。
- 3) 雲量と日照率の組み合わせから4つの天空輝度分布タイプを確率的に推定する表を作成した。

セル内でのtype 10の発生頻度(%)
セル内でのtype 8の発生頻度(%)
セル内でのtype 11の発生頻度(%)
セル内でのtype 13の発生頻度(%)
セル内でのtype 1、8、11、13以外のタイプの合計発生頻度(%)
全体に対するセルの発生頻度(%)

今後の課題としては、

今回使用したデータは9時と15時だけなので、太陽高度が限られている。それ以外の高度での検討クリアなCIE標準晴天空(type12)でなく、汚染された晴天空(type13)が20%近くあり、中村³⁾の結果と異なるので、検討が必要である。

type 8とtype 11のより詳しい判別が必要である。さらに、他の地域への適用の検討も必要である。

参考文献 1) CIE standard CIE S 003/E-1996: Spatial Distribution of Daylight CIE Standard Overcast Sky and Clear Sky 2) R.Kittler, S.Darula, R.Perez 1998: A Set of Standard 3) Hiroshi Nakamura: A study on the estimation of the relative frequency of occurrences of the Clear Sky, the Intermediate Sky and the Overcast Sky in Japan, J.Light & Vis. Env. Vol.9 No.2, pp.76-85, 1985 4) 気象庁月報 CD-ROM

¹ 大阪市立大学工学部建築学科 卒業生
² 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 修士課程
³ 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 助教授・工博
⁴ 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 教授・工博
⁵ 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 助手・工修

Graduate of Osaka City University.
 Graduate Student, Graduate School of Eng., Osaka City University.
 Assistant Prof., Graduate School of Eng., Osaka City University. Dr. Eng.
 Prof., Graduate School of Eng., Osaka City University. Dr. Eng.
 Instructor, Graduate School of Eng., Osaka City University. M. Eng.