

大阪における天空輝度分布データの特性に関する研究

準会員 岩崎勝彦*1
 正会員 梅宮典子*2
 同 西岡利晃*3
 同 大倉良司*4

4 建築環境 -4 光・色
 雲量 日照率 general sky

1.1 研究の背景と目的

既報では、これまで京都における天空タイプの出現頻度を検討した。¹⁾これによると15タイプの内、京都では、1、8、11、13の発生頻度が高かった。本報では、2003年5月より大阪において開始された天空輝度分布のデータについて、以下の項目について京都と大阪のデータを比較する。

- 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タイプの関係

1.2 CIE general sky

CIE (国際照明委員会) は、2003年天空輝度分布を15タイプで標準化した。²⁾general skyの天空輝度分布は、それぞれ6つの階調関数と散乱関数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関数によってモデル化されたものである。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クス関数

φ(Z): 階調関数

: 標準セットのパラメーター

2. 方法

2.1 大阪の天空輝度分布データ (表1)

大阪のデータは、大阪市立大学工学部G棟屋上(大阪市住吉区杉本 135°30'17"E, 34°35'36"N)において観測した天空輝度分布のデータである。本報では、現在あるデータのうち、天空輝度分布の欠測値の比較の少ない2003年5月~2003年8月、2003年10月~2003年12月、2004年7月~8月のデータを扱う。雲量と日照率は、大阪管区気象台のデータを用いた。雲量の測定時刻により9時、12時、15時、18時に合わせると、天空輝度分布データの合計数は、597(気象データは1287)である。

表1 大阪のデータ

	天空輝度分布	雲量	日照率
観測場所	大阪市立大学工学部G棟	大阪管区気象台	
測定間隔	10分間隔	3時間間隔	1時間間隔
測定期間	2003年5月20日~12月15日、2004年7月7日~8月31日		
測定データ数 (9時12時15時18時)	597	1287(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 (MS-321LR) 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。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4分半で、測定中に天空の状態が急変することはないと仮定される。データは測定後ハードディスクに自動的に保存される。測定範囲は0~55(kcd/m²)である。

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

2.2 タイプの推定方法

推定タイプの判別は、下式のように、(1)式から求まる判別値を計算し、各タイプでその値を比較し、最小になったタイプ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 大阪の出現タイプ

図1に大阪の6時～18時の3時間間隔の597データについてタイプの発生頻度を示す。発生頻度が高いのは、type 1 (CIE標準曇天空である、急な階調と方位一様性を持った曇天空) が、15.4% (92回)、type 3 (穏やかな階調と方位一様性を持った曇天空) が、8.8% (53回)、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) が13.4% (80回)、type 11 (明るい太陽コロナを持った白みがかった青空) が7.5% (45回)、type 13 (CIE標準晴天空、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) が13.7% (82回)である。シンガポール、Garston(UK)、Sheffield(UK)⁴⁾ などでは、4つの天空タイプが卓越していたが、大阪では、5つのタイプであり、卓越性も低い。

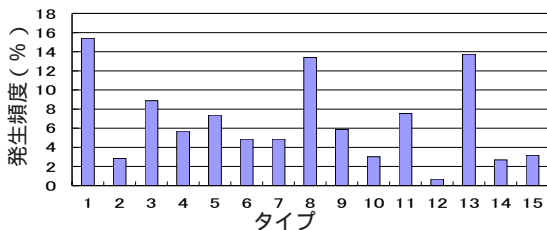


図1 大阪のタイプ発生頻度 (6時～18時の3時間間隔)
(2003年5～8月、10～12月、2004年7、8月、h > 5、n=597)

3.2 京都の出現タイプとの比較

京都の出現タイプと比較する。図2は、大阪での2003年6～12月(9月除く)10分間隔の推定タイプの発生頻度、図3は、京都での1998年7月～12月、1999年6月の15分間隔推定タイプの発生頻度、図4は、大阪の2003年6～12月(9月除く)12時、15時、18時の推定タイプの発生頻度、図5は、京都の1998年7月～12月、1999年6月の9時、15時での推定タイプの発生頻度を表したものである。また図6は、1998年7月から1999年6月までの一年間を通した推定タイプの発生頻度を表したものである。

図2と3より、10分間隔の大阪と京都を比較すると、京都は、タイプ1、3、8、11が卓越しているのが特徴的である。大阪では、タイプ3、13も多いことが分かる。図4と図5より、3時間おきで比較してみると大阪は、京都に比べ、タイプ5の発生頻度が高い。

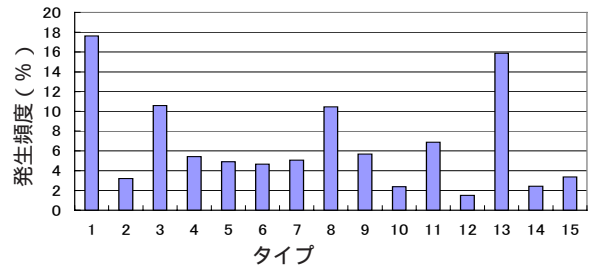


図2 大阪における天空タイプの発生頻度
(2003年6～12月(9月を除く)10時～18時までの10分間隔、
h > 5、n=7880)

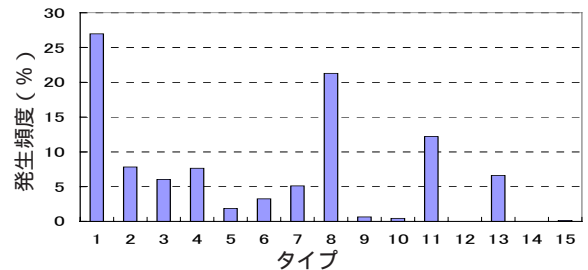


図3 京都における天空タイプの発生頻度
(1998年7月～1999年6月の15分間隔、h > 5、n=6484)

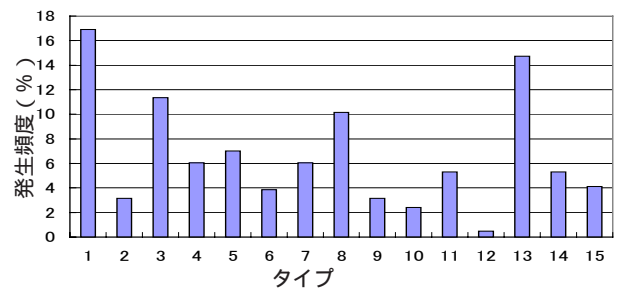


図4 大阪における天空輝度分布タイプの発生頻度
(2003年6～12月(9月を除く)12時、15時、18時、
h > 5、n = 414)

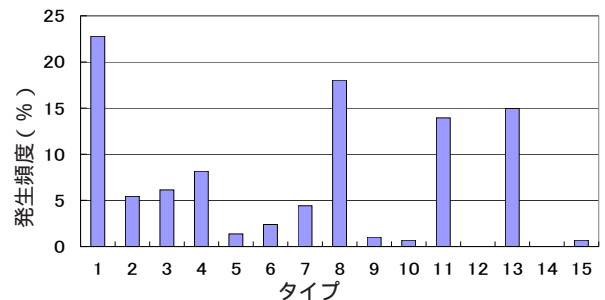


図5 京都における天空タイプの発生頻度
(1998年7～12月1999年5、6月(1998年9月を除く)
9時、15時、h > 5、n=574)

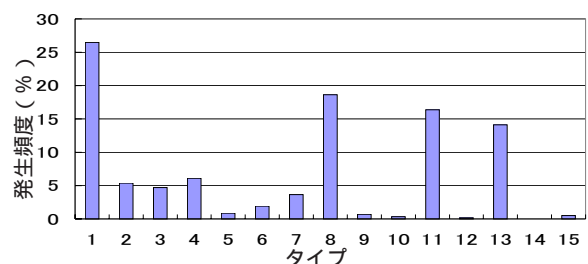


図6 京都のタイプの発生頻度
(1998年7月～1999年6月、9時・15時、h > 5、n=784)

3.3 15時における出現タイプの比較

15時の出現タイプについて京都と比較する。図7と図8は、大阪に9時の輝度分布データ観測がないため、2003年6～12月(9月除く)という同時期における15時の大阪の推定タイプの発生頻度(図7)と15時の京都の推定タイプの発生頻度(図8)を表したものである。大阪では、1,3,8,11,13のタイプの発生頻度が高く、京都は、1,8,11,13のタイプの発生頻度が高い。

図9は、京都の1998年7月～1999年6月のデータを用い、6～8月、9月～11月、12月～2月、3月～5月の季節別に分類して表した図である。6～8月は、タイプ1が圧倒的に多い割合を占めている。9月～11月でもタイプ1の発生頻度が最も高く約33%(23個)、タイプ3、8、11が平均的に約13%(9個)程度になっている。12月～2月では、タイプ11が最も多く約23%(16個)で、タイプ1、8の発生頻度も約20%(14個)となっている。3月～5月では、タイプ1が最も多く約30%(26個)タイプ11が約24%(21個)タイプ13が約18%(15個)となっている。

図10は、大阪の2003年6月～8月の15時における推定タイプの発生頻度を表す。京都との同じ月と比較して、タイプ1は、約15%(14個)と半減しており、逆にタイプ3の発生頻度が約14%(13個)と大きくなっている。またタイプ13は、最も多く約18%(17個)となっている。

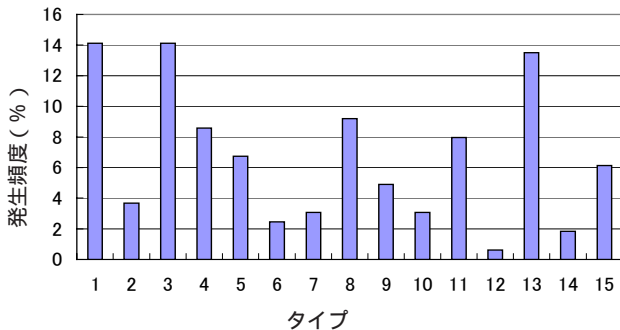


図7 大阪の推定タイプの発生頻度
(2003年6月～12月(9月を除く)の15時、h > 5、n = 163)

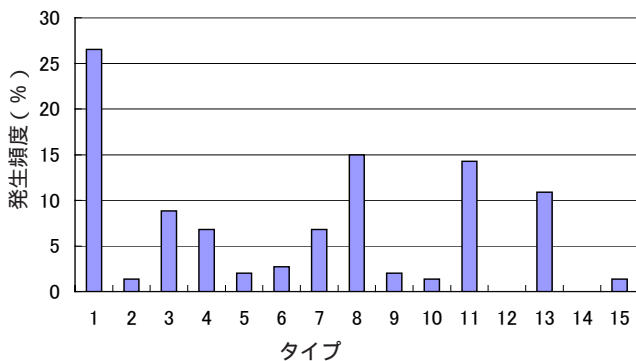
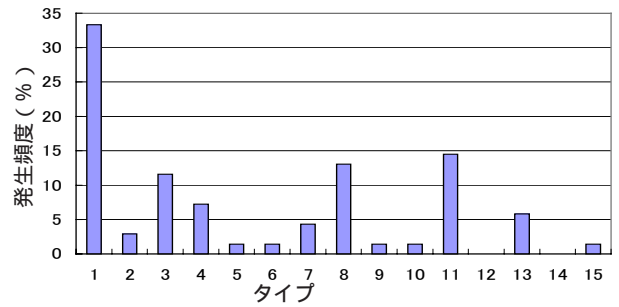
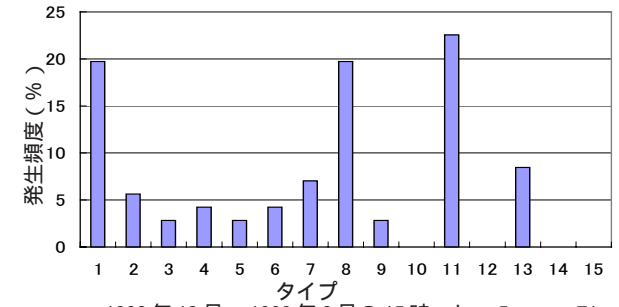


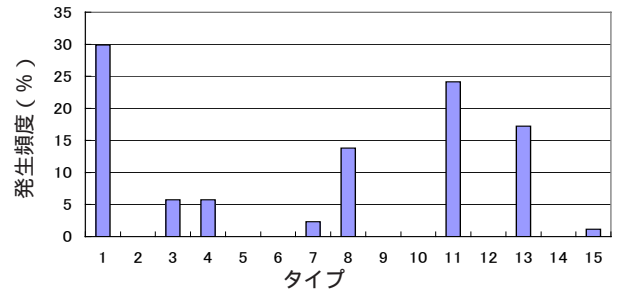
図8 京都の推定タイプの発生頻度
(2003年6月～12月(9月を除く)の15時、h > 5、n = 147)



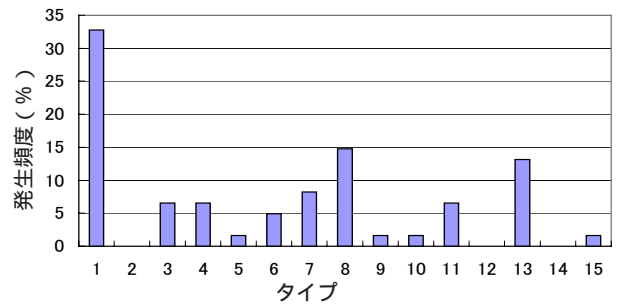
1998年9月～11月の15時、h > 5、n = 69



1998年12月～1999年2月の15時、h > 5、n = 71



1999年3月～5月の15時、h > 5、n = 87



1998年7月～8月、1999年6月の15時、h > 5、n = 61

図9 京都の推定タイプの発生頻度

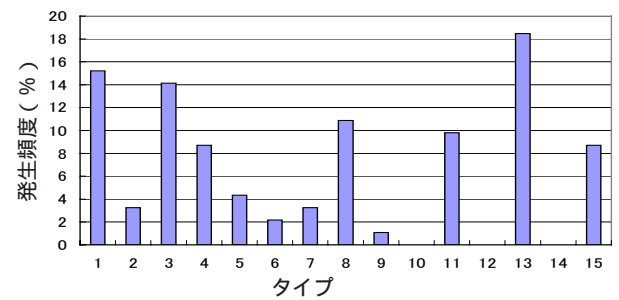


図10 大阪の推定タイプの発生頻度
(2003年6月～8月の15時、h > 5、n = 92)

3.4 大阪と京都の雲量と日照率の比較

雲量と日照率において京都と比較する。図11は、大阪と京都の2003年6月～12月(9月除く)の半年間の雲量の発生頻度、図12は、大阪と京都の1998年7月～6月の一年間の雲量の発生頻度を表しており、nは大阪の発生個数の合計、mは京都の発生個数の合計である。雲量に関しては、半年間では、大阪は、京都より、雲量0+が約2%、雲量10-が約7%高く、一年を通して見ると大阪は、京都より、雲量0+、10-の発生頻度が約5%高く、

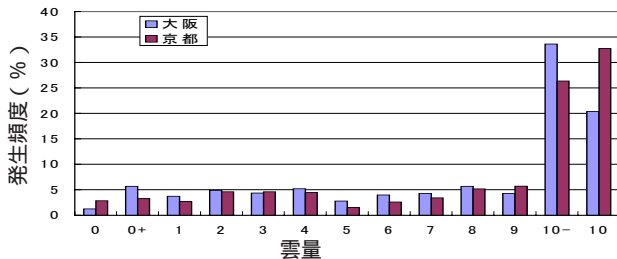


図11 大阪と京都の雲量の比較

(2003年6月～12月(9月除く), n = 1288, m = 736)

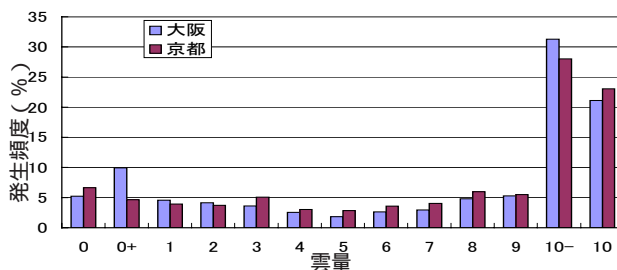


図12 大阪と京都の雲量の比較

(1998年7月～1999年6月, n = 2555, m = 1460)

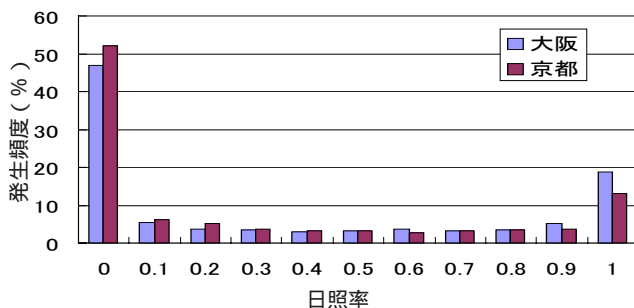


図13 大阪と京都の日照率の比較

(2003年6月～12月(9月除く), n = 2442, m = 2443)

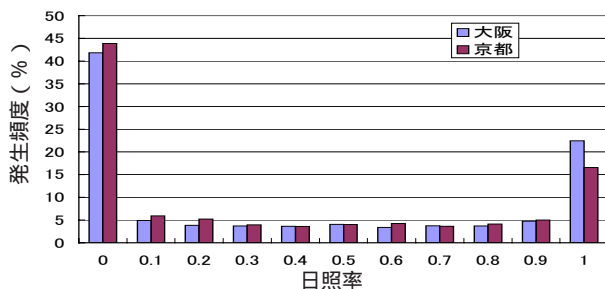


図14 大阪と京都の日照率の比較

(1998年7月～1999年6月, n = 4803, m = 4796)

雲量10-が約2%低い。

図13は、大阪と京都の2003年6月～12月(9月除く)の半年間の日照率の発生頻度、図14は、大阪と京都の1998年7月～6月の一年間の日照率の発生頻度を表している。日照率では、半年間では、大阪は、京都に比べ、日照率1で約5.7%程高く、日照率0で5.3%程低くなっている。一年を通して見ると、大阪は、京都に比べ、日照率0が2%ほど低く、日照率1が6%程高い。

3.5 出現タイプとの関係の考察

雲量と日照率の関係は、大阪と京都においては、日照率0・雲量10、10-の発生頻度が高いが、日照率1のグループも平均的に発生している。また、京都に比べ、大阪の出現タイプの卓越性が低いのは、京都より雲量0、10が少ないからと考えられる。また、京都に比べ、大阪でタイプ3の発生頻度が高いのは、雲量10-が多いから、逆にタイプ1が少ないのは、雲量10が少ないからと考えられる。6月～8月の時期で見ると、大阪は、京都よりタイプ13が多く、日照率1が多いからと考えられる。

4. まとめ

- 1)大阪では、type1、3、8、11、13の発生頻度が高い。他の地点の既往の研究では、4タイプが卓越しているとされたが大阪では、5タイプで、卓越性も低い。
- 2)大阪は、京都に比べ、雲量では、雲量10-が多く、0-、10が少ない。日照率では、日照率1が多く日照率0が少ない。6月～12月の時期は、1年間の内では、大阪は、雲量0+は京都の2倍に増え、10-が減る、京都では、雲量0+、10-が増え、雲量10が減る。日照率は、大阪、京都ともに日照率1が増え、0が減る。
- 3)大阪が京都に比べ、卓越性が低いのは、雲量0、10が比較的京都より少ないからである。又、タイプ3が大阪で多いのは、雲量10-が多いからであり、タイプ1がすくないのは、雲量10が少ないからである。

- 1)梅宮典子、福田高士他：雲量と日照率による天空輝度分布タイプの推定、日本建築学会近畿支部研究報告集、第44号環境系、73-76、2004 2) CIE S 011-2003 : CIE Spatial distribution of daylight CIE Standard general Sky 3) R.Kittler, S.Darula, R.Perez : A Set of Standard Skies : Characterizing, 1998 4) 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 5) P.I.Tregenza : Standard skies for maritime climates, Lighting Research and technology, 31(3), 97-106, 1999 6) 気象庁月報 CD-ROM

¹ 大阪市立大学工学部建築学科

² 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 助教授・工博

³ 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 教授・工博

⁴ 大阪市立大学大学院工学研究科都市系専攻 助手・工修

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.