名古屋地方における年間野外昼光照度の数式表示

FORMULATION OF OUTDOOR DAYLIGHT ILLUMINANCE IN NAGOYA DISTRICT
BASED ON THE DATA COLLECTED BY THE MEASUREMENT

西 安 男*, 岡田 恭明**, 大竹 克佳***, 糸山 康道***, 榊原 佳伸***

Yasuo NISHI, Yasuaki OKADA, Katsuyoshi OHTAKE,
Yasumichi ITOYAMA and Yoshinobu SAKAKIBARA

This paper describes a study on formulating outdoor daylight illuminance (global illuminance from fine clear or fair sky, illuminance from unobstructed fine clear or fair sky, cloudy or overcast sky, and rainy sky respectively) in Nagoya district based on the data collected from the continuous measurement over about three years and six months. There are many factors that affect outdoor daylight illuminance. In this paper, weather and solar altitude are taken as two dominant factors that affect outdoor daylight illuminance. After all, this paper presents a series of equations that can evaluate daylight illuminance by taking the above-mentioned two factors into consideration.

Keywords : Formulation of outdoor daylight illuminance, Weather, Solar altitude,
野外昼光照度の数式表示、天気、太陽高度

1. 緒言

室内採光照明におけるこれまでの研究には、小木曾による多面的な角度からなる多くの研究^{1)~6)}があり、永田らによる大気圏外法線面照度や大気透過率・太陽高度から昼光照度を求める研究^{7)~8)}もある。また近年では、天空輝度を中心とした井川・中村^{9)~10)}らの研究もある。その他にも多くの人による研究がある。筆者らも昼光光源の重要性に着目して、幾多の研究を行い、その成果を発表してきた^{11)~15)}。

昼光の研究は今までもいろいろ行われてきたし、今後必要である。

筆者らは、この度、名古屋地方における野外昼光照度の実態を明らかにしたので、それを報告する。本報告は、照度の値のみならずその出現頻度にも言及していることで、従来の研究において幾分欠けていた面を補う意味があると思われる。

2. 野外昼光照度の実測

本研究においては、晴天時のグローバル照度と、晴天時・曇天時・雨天時の全天空照度の実態を明らかにすることを目的とした。

本研究では、この目的を達成するために、昼光照度の実測を下記の如く行った。

測定期間; 測定期間は1999年6月3日~2002年12月31日までの約3.5年間である。日没後も稼働させ、次の日の日の出まで待機させた所謂、連続測定である。

測定の場所; 高台に建つ名城大学4号館4階屋上で測定を行った。位置は図1に示す。

測定器具; グローバル照度計(EKO-ML-010S)、全天空照度計(EKO-ML-010S)、直達日射計(EKO-MS-801)、感雨計(TRW-010)を用いて観測している。

測定方法; 測定したデータはコンピュータに1分毎に採り込み、10分毎に平均した値に処理し、日の出時から日没時までを連続収録している。今回のデータは1999~2002年において、晴天: 36555個、曇天: 32969個、雨天: 5051個であった。全天空照度計は図1に示すように直射日光を遮るための遮蔽リングを取り付けた装置を用いて測定している。遮蔽リングのために天空が過剰に遮蔽されてしまうことに対する補正は行った。

* 前 名城大学理工学部建築学科 教授・工博

** 名城大学理工学部建築学科 講師・工博

*** 名城大学大学院理工学研究科 大学院生

Ex-Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Science and Technology, Meijo Univ., Dr. Eng.

Lecturer, Dept. of Architecture, Faculty of Science and Technology, Meijo Univ., Dr. Eng.

Graduate Student, Graduate School of Science and Technology, Meijo Univ.

3. 得られた測定データの分析・検討

野外昼光光度の変動要因のうち主要なものは、天気・季節・太陽高度の3つであると思われる。

本研究では、当初、季節を春季、夏季、秋季、冬季の4季に分けて、各季の特徴を調べたが、春季と秋季の差異は殆ど認められなかったため、季節を春秋・夏季・冬季に分けて、各季節の晴天時・曇天時・雨天時における野外昼光光度が太陽高度の変化に伴って、どのように変化するかを検討することにした。また、季節による特徴を調べるために、通年の晴天時・曇天時・雨天時における野外昼光光度が太陽高度の変化に伴ってどのように変化するかも検討した。

北 緯	35° 07' 53"
東 経	136° 58' 49"
海 抜	58m

図1 測定機器と測定位置

3.1 各季節の分類

季節の分類は春秋・夏季・冬季の3分類とした。年間を通して4季の一定の日数期間を約90日(春秋はまとめて約180日)に定めて分割し、それに対応する日赤緯(δ)は表1のようにした。

表1 各季節の期間と日赤緯の設定

季節	期間	日 赤 緯 [δ]
春秋	(2/8~5/8) (8/11~11/5)	-15° ~0° ~15°
夏季	(5/9~8/10)	15° ~23° 27' ~15°
冬季	(1/1~2/7) (11/6~12/31)	-15° ~-23° 27' ~-15°

3.2 測定データの各天気への振り分け

法線面直達日射の強さにより、晴天と曇天を判別することにした。

判別方法については、直達日射の強さが 120 W/m^2 以上を晴天とした。この閾値はWMO(世界気象機構)によって提唱されている値であり、気象庁もこれを採用している¹⁶⁾。直達日射の強さが 120 W/m^2 以上であればたとえ雲が多く出ていても、晴天とみなした。

図1に示す感雨計は雨を指示させるためである。雨天の判別は、晴天や曇天および日射に関係無く、感雨計によって降水があれば雨天とみなした。直達日射が 120 W/m^2 未満で雨天でないときを曇天とみなした。このような晴天時・曇天時・雨天時の判別法には異論もあると思われるが、本研究ではこのような基準に基づき判別をした。

3.3 グローバル照度と全天空照度

曇天と雨天の場合は、グローバル照度計による測定値と遮蔽リングを備えた全天空照度計による測定値とを比べると両者は近似するが、グローバル照度計による測定値の方が全体としてやや高い。本研究においてはグローバル照度計による測定値を全天空照度として取り扱った。曇天時または雨天時のグローバル照度は直射日光を含まないことから全天空照度と同一のものとなるべき性質を持っているからである。当然、晴天時の場合はグローバル照度計による測定値はグローバル照度として取り扱った。

3.4 野外昼光光度の平均値回帰式

各季節における各天気の野外昼光光度(I_x)の平均値の3次回帰式を3.4.1~3.4.3に掲げた。また、通年における各天気の平均値回帰式は3.4.4に記した。各式の h は太陽高度(deg)である。平均値回帰は、太陽高度1°毎の高度帯域を設け、その帯域に属する多くの測定値のうちから最大値を含む上方の2.5%の個数の測定値と最小値を含む下方の2.5%の個数の測定値を除いた、いわば出現照度値の中央寄り95%レンジ内に属する照度値の平均値について行ったものである。

後述の如く、3.6において、3.4.1~3.4.3による昼光光度の平均値回帰式から得られる値を、3.4.4による通年の野外昼光光度の平均値回帰式から得られる値と比較検討してみた。

3.4.1 春秋の測定結果の平均値回帰式

a) 晴天時グローバル照度

$$E_{rg} = -0.58h^3 + 51.88h^2 + 361.3h + 2878.9$$

b) 晴天時全天空照度

$$E_{rs} = -9.39 \times 10^{-2}h^3 + 5.80h^2 + 397.74h + 2686.2$$

c) 曇天時全天空照度

$$E_{cs} = -0.2h^3 + 16.27h^2 + 296.17h + 1657.2$$

d) 雨天時全天空照度

$$E_{rs} = -6.44 \times 10^{-2}h^3 + 7.03h^2 + 95.62h + 622.37$$

3.4.2 夏季の測定結果の平均値回帰式

a) 晴天時グローバル照度

$$E_{rg} = -0.38h^3 + 37.59h^2 + 448.27h + 3162.14$$

b) 晴天時全天空照度

$$E_{rs} = -6.62 \times 10^{-2}h^3 + 5.0h^2 + 444.51h + 2970.47$$

c) 曇天時全天空照度

$$E_{cs} = -0.11h^3 + 10.95h^2 + 349.52h + 1578.37$$

d) 雨天時全天空照度

$$E_{rs} = -4.81 \times 10^{-2} h^3 + 5.29 h^2 + 137.66 h + 475.68$$

3.4.3 冬季の測定結果の平均値回帰式

a) 晴天時グローバル照度

$$E_{fg} = -1.45 h^3 + 94.66 h^2 + 2.94 h + 2978.54$$

b) 晴天時全天空照度

$$E_{fs} = -0.69 h^3 + 28.86 h^2 + 101.22 h + 2838.25$$

c) 曇天時全天空照度

$$E_{cs} = -0.77 h^3 + 44.49 h^2 - 32.23 h + 1903.39$$

d) 雨天時全天空照度

$$E_{rs} = -0.3 h^3 + 18.01 h^2 + 36.23 h + 892.07$$

3.4.4 通年の測定結果の平均値回帰式

a) 晴天時グローバル照度

$$E_{fg} = -0.39 h^3 + 35.68 h^2 + 661.53 h + 2945.70$$

b) 晴天時全天空照度

$$E_{fs} = -3.38 \times 10^{-2} h^3 + 3.20 h^2 + 406.72 h + 2775.14$$

c) 曇天時全天空照度

$$E_{cs} = -9.31 \times 10^{-2} h^3 + 8.91 h^2 + 401.83 h + 1687.62$$

d) 雨天時全天空照度

$$E_{rs} = -0.05 h^3 + 5.53 h^2 + 141.45 h + 657.13$$

3.5 通年の昼光照度出現状況

通年の晴天時、曇天時、雨天時の昼光照度データの出現状況を図2に示す。図中の太実曲線は散布領域内の平均値回帰である。その各回帰式は3.4.4 a)～d)に記した。各式の h は太陽高度(deg)である。

図中には95と記された破曲線が2本が描かれているが、これは95%レンジの上限値と下限値の回帰曲線である。50と記された2本の破曲線は50%レンジの上限値と下限値の回帰曲線である。

図2 通年の測定照度散布状況と平均値回帰曲線

3.6 通年と各季節の照度比較

太陽高度の変化に伴う昼光照度の変化が、通年と各季節とによって、どの程度の差異が生じるかを検討する。

図3 a), b), c), d)は太陽高度の変化に伴う昼光照度の平均値回帰曲線の比較図である。図中の実曲線は通年の照度回帰曲線である。3本の異なる破曲線は表1に示す各季節の照度回帰曲線である。

図3 a)では、実曲線の通年によるものに対していずれの破曲線も近似している。春秋分が最も実曲線に近似し、冬季の照度がわずかに高く、夏季がわずかに低い傾向が見受けられる。

図3 通年と各季節との平均値回帰曲線の比較

式(3)の $\angle E$ によって定義される値を、本論文に限って、回帰照度差と呼ぶことにする。その値を各季節について図示したものが図4.1 a), b), c), d)、図4.2 a), b), c), d)、図4.3 a), b), c), d)である。

回帰照度差 $\angle E$ = (各季節の高度毎の平均照度の回帰値)

− (通年の高度毎の平均照度の回帰値) × 100 (%)

晴天時グローバル照度の $\angle E$ は変動が各季とも大きく(図4.1 a), 図4.2 a), 図4.3 a)), この内でも、夏季の $\angle E$ (図4.2 a))は負で絶対値が最大であった。また、表2は各季節の昼光照度の回帰照度差 $\angle E$ の最大値を絶対値で示したものである。

$|\angle E|$ は最大でも約4500~5000 lxの範囲に読み取ることができ、通年の高度毎の平均照度の回帰値に対する割合は7~11%の範囲である。

$|\angle E|$ の季節的な傾向は明確な一貫した徴候としては捉え難いものであった。

表2 回帰照度差の最大値(絶対値で示す)

	春秋分[lx]	夏季[lx]	冬季[lx]
晴天時グローバル照度	1838	4886	4430
晴天時全天空照度	2727	3841	2583
曇天時全天空照度	2114	1324	549
雨天時全天空照度	451	1722	474

図 4.1 春秋季の回帰照度差

図 4.2 夏季の回帰照度差

図 4.3 冬季の回帰照度差

図 3 による以上の検討から、昼光照度は太陽高度が同一であるならば、季節によって大きく変わることはないことが見受けられる。

このことから、季節によって出現する太陽高度は異なるが、季節そのものは昼光照度の主要な変動要因と考えなくてもよいと思われる。とは言え、太陽高度が高いのは夏季だけの現象であるから、太陽高度が高いときの昼光照度には変動要因としての夏季の特徴が反映しているとも言えるべきかも知れない。

4. 平均的代表的な野外昼光照度の予測近似算定式の導出

通年における野外昼光照度の平均値の回帰式を 3.4.4 で示したが、ここでは、これら 4 つの式を 1 つの式にまとめることを試みる。その目的に叶う式の形としては次の式(4)のようなものが考えられる。式(4)は単純な形をしているが、その式から導かれる値が実用上、十分満足できる精度を有するならば、それが実用的であると考えて、この形を選んだ。言うまでもないが、この式の E_{app} は晴天時のグローバル照度または晴天時・曇天時・雨天時の全天空照度の何れかの予測近似値を表す。

$$E_{app} = A \cdot \sin h + B \quad \dots (4)$$

式(4)の A および B を適切に定めてやれば、前節の 3.4.4 の各式が網羅される。

式(4)の A は、式の形からして、太陽高度が十分高い時(すなわち、 $\sin h$ が 1 に近い時)の推定すべき昼光照度を意味することになるから、ここでは A として名古屋における太陽高度が十分に高い時の昼光照度を採用することが考えられる。太陽高度が十分高い時の昼光照度は天気によって異なるから、天気によって異なった値を採用しなければならない。

B は、太陽高度 $h=0^\circ$ の時の昼光照度を意味し、これも、天気によって異なった値となる。

4.1 A 項についての考察

4.1.1 天気依存係数 ω

野外昼光照度は太陽高度 h の上昇に伴い増加するが、天気の違い(晴天時、曇天時、雨天時)によっても大きく変わる。

そこで、太陽高度の等しい時の晴天時グローバル照度に対する各天気における全天空照度、並びに晴天時グローバル照度自身の比(式(4.1.1)～(4.1.4))を天気依存係数 ω と定義し、以下の検討において活用することにした。 ω には ω_f , ω_c , ω_r , ω_{fg} の 4 種がある。

$$\omega_f = E_f / E_{fg} \quad \dots (4.1.1)$$

$$\omega_c = E_c / E_{fg} \quad \dots (4.1.2)$$

$$\omega_r = E_r / E_{fg} \quad \dots (4.1.3)$$

$$\omega_{fg} = E_{fg} / E_{fg} = 1 \quad \dots (4.1.4)$$

ただし、このあと 4.1.2 で述べるように、

E_f : 晴天時における太陽高度 h の時の全天空照度

E_c : 曇天時における太陽高度 h の時の全天空照度

E_r : 雨天時における太陽高度 h の時の全天空照度

E_{fg} : 太陽高度 h の時の晴天時グローバル照度

ω_f , ω_c , ω_r , ω_{fg} は式(4)の A 項の一部あり、 E_{app} の説明変数として位置付けられる。図 5 は太陽高度の変化に伴う天気依存係数 ω の

変化を表す。図より、 ω_f , ω_c , ω_r , ω_{fg} は太陽高度 5° 以下の時を除くと、それぞれがほぼ一定の値となっていることがわかる。このことから、太陽高度が十分に高いときの ω の値として、太陽高度 35° の時の値を採用することにした。表 4 にその値を示す。

$h < 5^\circ$ のとき、 $\omega_f = 0.37$ を用いて E_f を求めると、 E_f の誤差は大きくなるが、 E_{app} 算定にはこれに $\sin h$ (その値はかなり小さい) を掛けたものを用いるから、 E_{app} に対するその影響は小さい。

図5 天気依存係数の太陽高度に対する関係

4.1.2 A 項の組み立て

既に述べたように、式(4)のAとしては、太陽高度が十分に高い時の昼光照射度を採用すればよい。名古屋地方における晴天時のグローバル照射度の予測式のためのAとしては、名古屋地方で晴天時に太陽高度が十分に高い時に出現するグローバル照射度の平均的な値 $E_{fg \cdot ha \cdot mean}$ を採用すればよい。晴天時・曇天時・雨天時の全天空照射度の予測式のAとしては、 $E_{fg \cdot ha \cdot mean}$ にそれぞれ天気依存係数 ω_f , ω_c , ω_r を掛けたものを用いればよい。すなわち、Aは次式のように表される。

$$A = \omega \cdot E_{fg \cdot ha \cdot mean} \quad \dots (4.1.5)$$

次に、 $E_{fg \cdot ha \cdot mean}$ として、どのような値を採用すべきかを、実測で得られたデータに照らして、試行錯誤的に検討した結果、その値として、93000 (lx) を採用することがほぼ妥当であることがわかった。

$E_{fg \cdot ha \cdot mean}$ の値を 93000 lx と決定する過程では、式(4)の形を考慮して、「3.5 通年の昼光照射度出現状況」で述べた晴天時グローバル照射度の95%レンジの平均値のうちで太陽高度 h が高い時の値を $\sin h$ で割った値をいくつか $E_{fg \cdot ha \cdot mean}$ の候補として検討した。その結果、最終的に 93000 lx の値にたどりついた。

添え字の ha には high altitude の意味を持たせたつもりである。

4.2 B 項についての考察

式(4)の中のBは、 $h = 0^\circ$ の時の昼光照射度を意味する。ここでは、これを初期照射度と呼ぶことにする。

上述のA項と同様に、Bを、晴天時グローバル初期照射度 $E_{fg, h=0}$ に初期天気依存係数 ω' を掛けて表すことにする。すなわち、

$$B = \omega' \cdot E_{fg, h=0} \quad \dots (4.2)$$

とする。式(4.2)の ω' には 4.2.2 で述べる ω'_{fg} , ω'_f , ω'_c , ω'_r の何れかを用いる。

4.2.1 初期照射度

晴天時グローバル初期照射度 $E_{fg, h=0}$ は、太陽高度 h が $-2^\circ < h < 2^\circ$ の時の晴天時グローバル照射度のデータを整理検討した結果、その値として、1500 lx を採用することにした。表3と表4にはその値を示す。

表3 各天気に対する初期照射度

天気	昼光光源	初期照射度 [lx]
晴天時	グローバル照射度 (E_{fg})	1500
	全天空照射度 (E_{fs})	1400
曇天時	全天空照射度 (E_{cs})	800
雨天時	全天空照射度 (E_{rs})	300

4.2.2 初期天気依存係数 ω'

初期天気依存係数 ω' を、晴天時グローバル初期照射度 $E_{fg, h=0}$ に対する晴天時・曇天時・雨天時の全天空初期照射度並びに晴天時グローバル初期照射度自身の比によって式(4.2.4)～(4.2.7)のように定義する。測定データを検討した結果、 ω' の値として、表4に示すような値を得た。この ω' を用いれば当然、種々の天気における初期照射度を求めることができる。

$$\omega'_f = E_{f, h=0} / E_{fg, h=0} \quad \dots (4.2.4)$$

$$\omega'_c = E_{c, h=0} / E_{fg, h=0} \quad \dots (4.2.5)$$

$$\omega'_r = E_{r, h=0} / E_{fg, h=0} \quad \dots (4.2.6)$$

$$\omega'_{fg} = E_{fg, h=0} / E_{fg, h=0} = 1 \quad \dots (4.2.7)$$

ただし、

$E_{f, h=0}$: 晴天時の全天空初期照射度

$E_{c, h=0}$: 曇天時の全天空初期照射度

$E_{r, h=0}$: 雨天時の全天空初期照射度

$E_{fg, h=0}$: 晴天時のグローバル初期照射度

表4 式(5)で用いる値

	晴天時 グローバル照射度	晴天時 全天空照射度	曇天時 全天空照射度	雨天時 全天空照射度
ω	1	0.37	0.43	0.21
ω'	1	0.94	0.57	0.22
$E_{fg \cdot ha \cdot mean} = 93000 \text{ (lx)}$		$E_{fg, h=0} = 1500 \text{ (lx)}$		

5. 導出された予測近似算定式

以上の検討を経て導出された平均的な野外昼光照射度の予測近似算定式は式(5)のように表される。

$$E_{app} = E_{fg, h=0} \cdot \omega' + E_{fg, ha \cdot mean} \cdot \sin h \cdot \omega \quad \dots (5)$$

ただし、

$E_{fg, ha \cdot mean}$: 晴天時の十分に太陽高度が高い時の
グローバル照射度 (93000 lx)

$E_{fg, h=0}$: 晴天時のグローバル初期照射度 (1500 lx)

ω : 天気依存係数 (表4参照)

ω' : 初期天気依存係数 (表4参照)

晴天時の平均的代表的なグローバル照射度や晴天時・曇天時・雨天時の平均的代表的全天空照射度の予測近似算定式として、表4および式(5)を参照して、式(5.1)～(5.4)が導かれる。

さて、式(5)から得られる照度の値は、昼光照度のいわば平均的で代表的な値である。現実に出現している昼光照度の値が式(5)から得られる値よりも大きい場合や小さい場合が数多くあることは、図2に示す4つのグラフからも明らかである。このことから、本論文で取り扱っている4種の昼光照度に関して、その出現頻度の95%レンジの上限値・下限値や50%レンジの上限値・下限値を予測可能にする近似式は有用と思われるので、ここで、その近似式の導出を試みた。

図2の4つのグラフに示されている実測値の散布状況を検討してみると、上述のいくつかのレンジの上限値・下限値の予測式は、既に導出してある平均野外昼光照度予測のための式(5)に適当な係数を掛けたものが十分に実用であると思われる。そこで、図2並びにその基になった多くの照度測定値に考察を加えた結果、表5に示す係数を得た。

これらの係数を用いて、既に求めた予測近似算定式に加えて、95%レンジおよび50%レンジの上限と下限(図2 a), b), c), d)の破曲線)の概数値を求める算定式を求めてみたので、それらを以下に示す。

式(5.1)～(5.4)の各々の下には95%レンジおよび50%レンジの上限値・下限値の計算式を示した。これらの式でも3.4と同様の記号 E_{fg} ・ E_{fs} ・ E_{cs} ・ E_{rs} を用いているが、ここでは、それらは、それぞれ晴天時のグローバル照度並びに晴天時・曇天時・雨天時の全天空照度の平均的代表的な値を表すものとする。なお、式(5.1.1)～(5.4.4)の分布状況は図2 a), b), c), d)に薄太丸点でプロットした。

表5 レンジ上下限値を決める係数

		晴天時 グローバル	晴天時 全天空	曇天時 全天空	雨天時 全天空
95% レンジ	上限値	1.3	1.7	1.9	2.5
	下限値	0.67	0.47	0.25	0.20
50% レンジ	上限値	1.12	1.3	1.38	1.58
	下限値	0.88	0.72	0.68	0.75

記号：95%レンジの上限値・下限値； $E_{fg \cdot U}$ 、 $E_{fg \cdot L}$ 等。

50%レンジの上限値・下限値； $E_{fg \cdot 50U}$ 、 $E_{fg \cdot 50L}$ 等。

晴天時グローバル照度

$$E_{fg} = 1500 \times 1 + 93000 (\sin h) \times 1 \quad \dots (5.1)$$

$$E_{fg \cdot U} = E_{fg} \times 1.3 \quad \dots (5.1.1)$$

$$E_{fg \cdot L} = E_{fg} \times 0.67 \quad \dots (5.1.2)$$

$$E_{fg \cdot 50U} = E_{fg} \times 1.12 \quad \dots (5.1.3)$$

$$E_{fg \cdot 50L} = E_{fg} \times 0.88 \quad \dots (5.1.4)$$

晴天時全天空照度

$$E_{fs} = 1500 \times 0.94 + 93000 (\sin h) \times 0.37 \quad \dots (5.2)$$

$$E_{fs \cdot U} = E_{fs} \times 1.7 \quad \dots (5.2.1)$$

$$E_{fs \cdot L} = E_{fs} \times 0.47 \quad \dots (5.2.2)$$

$$E_{fs \cdot 50U} = E_{fs} \times 1.3 \quad \dots (5.2.3)$$

$$E_{fs \cdot 50L} = E_{fs} \times 0.72 \quad \dots (5.2.4)$$

曇天時全天空照度

$$E_{cs} = 1500 \times 0.57 + 93000 (\sin h) \times 0.43 \quad \dots (5.3)$$

$$E_{cs \cdot U} = E_{cs} \times 1.9 \quad \dots (5.3.1)$$

$$E_{cs \cdot L} = E_{cs} \times 0.25 \quad \dots (5.3.2)$$

$$E_{cs \cdot 50U} = E_{cs} \times 1.38 \quad \dots (5.3.3)$$

$$E_{cs \cdot 50L} = E_{cs} \times 0.68 \quad \dots (5.3.4)$$

雨天時全天空照度

$$E_{rs} = 1500 \times 0.22 + 93000 (\sin h) \times 0.21 \quad \dots (5.4)$$

$$E_{rs \cdot U} = E_{rs} \times 2.5 \quad \dots (5.4.1)$$

$$E_{rs \cdot L} = E_{rs} \times 0.20 \quad \dots (5.4.2)$$

$$E_{rs \cdot 50U} = E_{rs} \times 1.58 \quad \dots (5.4.3)$$

$$E_{rs \cdot 50L} = E_{rs} \times 0.75 \quad \dots (5.4.4)$$

6. 予測近似曲線と年間の平均値回帰曲線の比較

既述の平均値回帰曲線に対して予測近似算定式(5.1)～(5.4)がどの程度の精度を持つかを比較検討する。そのために、図6 a), b), c), d)では破曲線で3.4.4の諸式のグラフを描き、実曲線で式(5)のグラフを描いて、相互の比較を行った。

図6 予測近似曲線と年間の平均値回帰曲線

図6 a)の中の破曲線や図2 a), d)の中のいくつかの曲線において、太陽高度が非常に高い部分で照度の通減傾向が見受けられる。しかしこれは、晴天時グローバルや雨天時全天空照度が本来持っている性質であるとは考えない方がよいようである。図中の破曲線は実測値を基に描かれたものではあるが、図中のこれらの曲線には測定期間中の特殊性が反映していると思われる。太陽高度が非常に高くなっている時間の年間合計は、昼間の時間の年間合計に比べると非常に短い。従って、太陽高度が非常に高い時の測定データの個数が少ないために、測定期間中に生じたわずかの異常データが集計結果にそのまま反映してしまうと考えられるからである。

これらのことを考慮にいれて図6をながめると、それぞれの図中の2本の曲線は互いによく近似しており、図中の破曲線は、もともと実

状をよく表現する回帰式のグラフであるから、名古屋地方において実用に耐える昼光照度の予測値を、式(5)と表4または5に掲げる諸式から求めることが出来るものとして良いと思われる。

7. 結語

名古屋において障害物の無い建物屋上で野外昼光照度の測定を行い、その測定データを晴天時・曇天時・雨天時に分類した。天気分類した昼光照度データを更に冬季・春秋・夏季の3種に整理して、通年のデータとの比較検討を行った。その結果、季節的な顕著な傾向は見受けられなかった。

名古屋地方に関する限り、1) 野外昼光照度は、太陽高度が同一であるならば、季節の相違によっては変わらない、2) 昼光照度の主たる変動要因は太陽高度と天気である、との知見を得た。

平均的な野外昼光照度の予測近似値 E_{app} の算定式として式(5)を提示し、式(5)の計算に必要な2つの定数 $E_{fg \cdot ha \cdot mean}$ 、 $E_{fgh=0}$ の値とそれぞれ4つずつの ω 、 ω' の値を表4に示した。併せて、95%レンジ・50%レンジの上限値・下限値の算定式を5.に提示した。筆者らは、これらの式は十分に実用上に耐えるものと考えている。

謝辞：最後になりましたが、この論文の作成にあたり、永田忠彦・福井大学名誉教授には多大なるご助言をいただきましたことに対して、深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1)～6) 小木曾定彰：昼光源に関する研究(Ⅰ)～(Ⅵ)，照明学会雑誌，Vol. 26-5 (1942. 5)，Vol. 27-3 (1943. 3)，Vol. 27-7 (1943. 7)，Vol. 29-5 (1945. 5)，Vol. 31-5 (1947. 5)，Vol. 37-5 (1953. 5)
- 7) 永田忠彦，澤田康二：晴天空による水平面散乱日射の式の試案，日本建築学会学術講演梗概集，pp. 519-520, 1978. 9
- 8) 永田忠彦，澤田康二：天空日射に関する Berlage の式に対する疑問，日本建築学会学術講演梗概集，pp. 381-382, 1975. 10
- 9) 井川憲男ほか：標準天空としての all sky model の提案，第1報，天空輝度分布の測定，データの整備，天空輝度分布の指標，照明学会誌論文，Vol. 85, No2, pp. 131-140, 2001
- 10) 井川憲男ほか：標準天空としての all sky model の提案，第2報，すべての天空状態の天空輝度分布を表す数式，照明学会誌論文，Vol. 85, No5, pp. 323-331, 2001
- 11) 村山晴奈，宗政幹夫，西安男：グローバル照度と全天空照度について(夏季・天窓採光における室内予測照度として)その1，日本建築学会2000年度大会(東北)学術講演梗概集，D-1，環境工学 I, pp. 475-476, 2000. 9
- 12) 伊藤孝一，安達寛益，村山晴奈，宗政幹夫，西安男：春秋・天窓採光における室内照度予測のためのグローバル照度と全天空照度の測定 その1，日本建築学会東海支部研究報告集，第39号，pp. 341-344, 2001. 2
- 13) 宗政幹夫，村山晴奈，西安男：冬季・側窓採光における室内照度予測のための1/2 グローバル照度と1/2 全天空照度 その4，日本建築学会東海支部研究報告集，第39号，pp. 353-356, 2001. 2
- 14) 安達寛益，伊藤孝一，西安男：野外昼光の年間評価-天窓および側窓の予測近似算定式について(その1)，日本建築学会東海支部研究報告集，第41号，pp. 441-444, 2003. 2

15) 大竹克佳，糸山康道，榊原佳伸，西安男：天窓採光による室内照度予測のための野外昼光照度と計算図(世界各地)その1，日本建築学会大会学術講演梗概集(東海)，pp. 353-354, 2003. 9

16) 気象庁：地上気象観測指針，p75, 2002. 3

(2005年3月22日原稿受理，2005年6月2日採用決定)