

# 日射量から昼光照度、PAR、UV-A、UV-B への変換

恒常的な気象観測所の実測情報から環境シミュレーションのために必要なすべての気象要素のデータを入手することは困難である。たとえば、通常の気象官署では日射量は測定されていても、昼光照度や光合成有効放射量 PAR や A 領域紫外放射量 UV-A や B 領域紫外放射量 UV-B は測定されていない。このため、室内の光環境の計画や予測のために必要である昼光照度は、日射量から推定されて使用される例が多く、これまでも多くの発光効率モデルが提案されている<sup>1),2),3),4)</sup>。また、日射量と PAR<sup>5)</sup>や UV-A<sup>6)</sup>、UV-B<sup>7),8)</sup>の関係については、いくつかの試みが見られるが、一般的に利用可能と考えられる高精度な手法が確立されているとは言い難い。PAR は植物の育成などに不可欠な要素であり、紫外放射量は生体影響や建築部位の劣化などに関連して非常に重要な環境要素である。日射量から照度や PAR、UV-A、UV-B が推定できれば環境予測の精度向上や対象範囲の拡大につながる。

ここでは、大阪での実測データを基にして開発された、日射量からあらゆる地域に適用可能な昼光照度や PAR、UV-A、UV-B を推定する方法について述べる<sup>9)</sup>。

## 1. 天空状態を表す指標

日射量は各種の気象要素を推定するときの天空状態を表すための指標の基本要素として有用な基礎資料である。日射量から照度や PAR、UV-A、UV-B を推定するために日射量を基に天空状態を表す。

Igawa は晴天時の全天日射量を基準全天日射量と称し、これに対する検討時の全天日射量から晴天指標  $Kc$  を定義し、晴天時のクラウド・レイショと検討時のクラウド・レイショから澄清指標  $Cle$  を定義している<sup>10)</sup>。

$$Kc = Eeg/Seeg \quad (1)$$

$$Cle = (1-Ce)/(1-Ces) \quad (2)$$

$$Seeg = 0.84 \cdot Eeo/m \cdot \exp(-0.054 \cdot m) \quad (3)$$

$$Ces = 0.08302 + 0.5358 \cdot \exp(-17.394 \cdot \gamma_s) + 0.3818 \cdot \exp(-3.2899 \cdot \gamma_s) \quad (4)$$

ここで、 $Eeg$  : 水平面全天日射量 [ $W/m^2$ ]、 $Seeg$  : 基準全天日射量 [ $W/m^2$ ]、 $Ce$  : クラウド・レイショ (=  $Eed/Eeg$ )、 $Ces$  : 基準クラウド・レイショ、 $Eeo$  : 大気外法線直達日射量 [ $W/m^2$ ]、 $m$  : 大気路程<sup>11)</sup>、 $Eed$  : 水平面天空日射量 [ $W/m^2$ ]、 $\gamma_s$  : 太陽高度 [rad]。

$Kc$  と  $Cle$  により晴天空から曇天空まで連続的に変移する天候状態を分類することができる。天空状態が分類できれば、そこでの日射量に対する照度や PAR、UV-A、UV-B の関係が把握できる。

## 2. 日射量から推定する昼光照度

気象官署において昼光照度は恒常的な測定が行われていないため、日射量から昼光照度を推定し、昼光照明設計などに活用することが一般的になっている。日射から照度を推定するためのモデルは、これまでも多く発表されている。それらの中で、Olseth<sup>1),2)</sup>のモデルはヨーロッパを中心とした Satel-Light などの気象データにおける日射量の照度変換に利用されており、Perez<sup>3)</sup>のモデルは米国を中心として TMY2 などの気象データにおける日射量の照度変換に使用されている。いずれも推定精度の評価は高い。

これまで「拡張アメダス気象データ」では、日射量から照度を推定するためにいくつかの変遷を経て Igawa\_C<sup>4)</sup>を使用しているが必ずしも十分とは言えない。このため、さらに推定精度を向上させるため大阪における測定データを基にして開発された日射量を照度に変換する基本式を次のように定める。

$$\eta = a \cdot Kc + b \cdot Cle + c \cdot \ln(Kc) + d \cdot \exp(Cle) + e \cdot W + f \tag{5}$$

ここで、 $\eta$  : 発光効率[lm/W] ( $\eta \geq 0$ )、 $W$  : 可降水量[cm]。

全天、天空、直射の  $\eta$  を  $ef\_Evg$ 、 $ef\_Evd$ 、 $ef\_Evs$  とし、全天日射量  $Eeg$ 、天空日射量  $Eed$ 、法線直達日射量  $Ees$  を乗じて全天照度  $Evg$ 、天空照度  $Evd$ 、法線直射照度  $Evs$  が得られる<sup>注2)</sup>。

$Kc$  と  $Cle$  と可降水量  $W$  の関数とする日射量と照度との関係は、係数  $a \sim f$  を太陽高度[rad]の関数として  $x = A \cdot \gamma_s^2 + B \cdot \gamma_s + C$  で表すことができる。得られた係数  $A \sim C$  を Table 2 に示す。

式(5)を Igawa\_D と称し、Igawa\_C、Perez、Olseth のモデルを基にして日射量から推定した全天照度、天空照度、法線直射照度を実測値と、また、天空照度と直射照度と太陽高度により計算できる全天照度を合成全天照度  $Evg\_S$  とし、要素ごとの推定値の一致度を確認した比較の一例として 2008 年の大阪における測定例をモデル別に Fig. 1 から Fig. 4 に示す。

Table 2 Constants for luminous efficacy

		A	B	C
ef_Evg	a	31.777	-36.903	20.341
	b	-84.690	152.80	-86.306
	c	-16.534	20.942	-20.828
	d	40.441	-76.504	45.149
	e	-2.7163	4.0230	0.6567
	f	-60.423	99.559	45.919
ef_Evd	a	4.1472	21.852	-28.685
	b	35.775	-42.243	25.986
	c	-4.6244	-2.3053	-6.5705
	d	-11.192	-2.8112	26.243
	e	-3.4999	4.1531	1.1250
	f	11.216	-13.942	94.711
ef_Evs	a	100.75	-287.25	171.56
	b	-178.92	321.04	-205.49
	c	-17.329	120.47	-95.215
	d	141.02	-257.77	151.91
	e	-1.5475	4.2673	-0.3197
	f	-302.24	661.76	-275.27

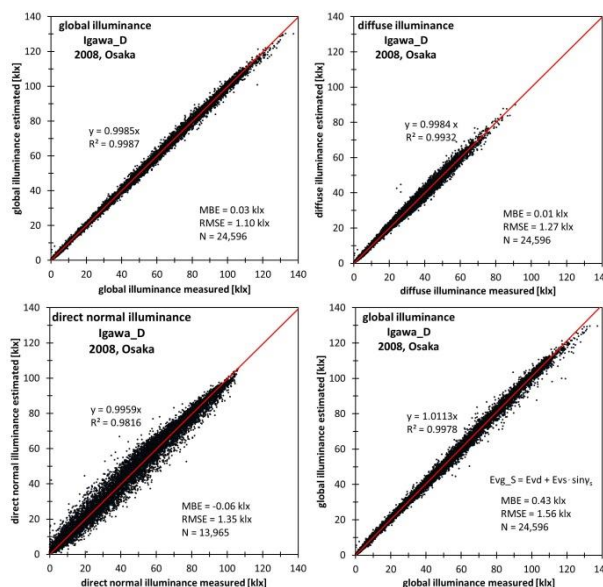


Fig. 1 Measurements and estimations for illuminances by Igawa\_D

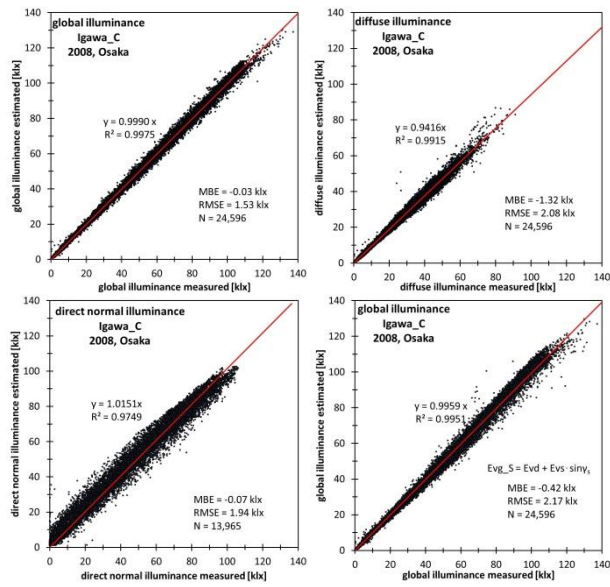


Fig. 2 Measurements and estimations for illuminances by Igawa\_C

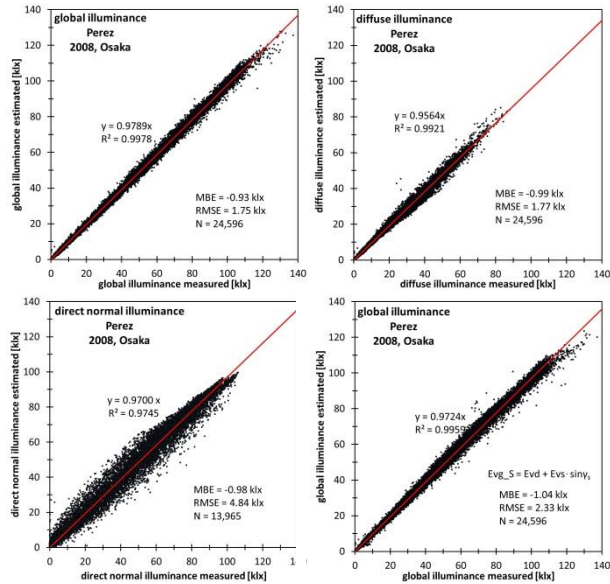


Fig. 3 Measurements and estimations for illuminances by Perez

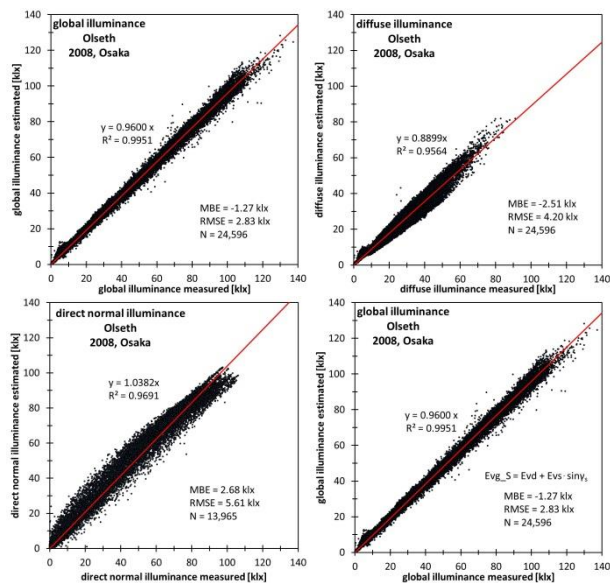


Fig. 4 Measurements and estimations for illuminances by Olseth

なお、図中には全天照度（左上）、天空照度（右上）、法線直射照度（左下）、天空照度と法線直射照度から合成した全天照度（右下）の4種の実測値と推定値の比較を示している。

2006年から2011年の照度推定値のMBEとRMSEをTable 3に示し、全期間のMBEとRMSEをFig. 5とFig. 6に示す。ここで使用したデータは2006年から2011年の6年間の実測値を10分間隔に整理されたものでデータ数は140,722個であった。直達日射の有無の基準はWMOでは $120\text{W}/\text{m}^2$ とされるが、本研究では法線直達日射量が $10\text{W}/\text{m}^2$ 未満のデータを除外して検討した。6年間の直達成分のデータ数は79,630個となった。

ここで、比較検討に使用したモデルはいずれも推定精度が高いものであるが、新たに提案したIgawa\_DはMBEが最も小さく、RMSEも他のモデルに比べて小さいことが確認できた。また、合成全天照度も実測全天照度とよく一致している。

以上のような結果から、新たに提案したIgawa\_Dは日射量から昼光照度を推定する有用なモデルであると考えられる。

Table 3 MBE and RMSE for the estimation of illuminance [klx]

models	year	data number		Evg		Evd		Evs		Evg_S	
		global diffuse	direct	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
Igawa_D	2006	24,689	12,512	-0.04	1.55	-0.09	1.45	0.43	5.20	0.26	2.25
	2007	24,762	13,834	-0.06	1.35	0.05	1.60	0.10	4.35	0.80	1.97
	2008	24,596	13,965	-0.03	1.10	0.01	1.27	0.14	3.98	0.43	1.56
	2009	19,042	11,053	-0.23	1.21	0.04	1.30	-0.57	4.06	-0.03	1.52
	2010	24,750	15,016	-0.22	1.18	0.25	1.37	-1.17	4.41	-0.29	2.08
	2011	22,883	13,250	-0.17	1.31	0.57	1.72	-0.86	4.79	-0.12	1.96
	2006-2011	140,722	79,630	-0.12	1.30	0.13	1.46	-0.33	4.48	0.19	1.92
Igawa_C	2006	24,689	12,512	-0.12	1.89	-1.38	2.32	1.92	5.71	-0.59	2.83
	2007	24,762	13,834	-0.07	1.94	-1.67	2.49	1.70	5.09	-0.06	2.61
	2008	24,596	13,965	-0.03	1.53	-1.32	2.08	1.60	4.67	-0.42	2.17
	2009	19,042	11,053	-0.20	1.59	-1.45	2.13	1.18	4.64	-0.89	2.50
	2010	24,750	15,016	-0.13	1.58	-1.04	1.94	0.39	4.64	-1.04	2.79
	2011	22,883	13,250	0.05	1.81	-0.98	1.98	0.62	4.64	-0.73	2.75
	2006-2011	140,722	79,630	-0.08	1.74	-1.31	2.17	1.22	4.90	-0.61	2.62
Perez	2006	24,689	12,512	-1.01	2.10	-1.05	1.99	-0.91	5.74	-1.20	3.00
	2007	24,762	13,834	-1.00	2.07	-1.06	2.06	-0.96	5.50	-1.11	2.84
	2008	24,596	13,965	-0.93	1.75	-0.99	1.77	-0.98	4.84	-1.04	2.33
	2009	19,042	11,053	-1.16	1.97	-1.12	1.90	-1.62	5.08	-1.64	2.83
	2010	24,750	15,016	-1.07	1.80	-0.75	1.61	-2.16	5.40	-1.71	3.28
	2011	22,883	13,250	-0.94	1.85	-0.57	1.82	-1.84	5.73	-1.86	3.18
	2006-2011	140,722	79,630	-1.02	1.93	-0.92	1.86	-1.42	5.39	-1.41	2.93
Olseth	2006	24,689	12,512	-1.32	3.42	-2.43	4.22	3.13	6.58	-1.32	3.42
	2007	24,762	13,834	-2.28	3.65	-4.49	5.51	2.78	6.06	-2.28	3.65
	2008	24,596	13,965	-1.27	2.82	-2.51	4.20	2.68	5.61	-1.27	2.82
	2009	19,042	11,053	-1.72	3.17	-2.56	4.14	2.05	5.10	-1.72	3.17
	2010	24,750	15,016	-1.94	3.94	-2.17	3.75	1.04	5.26	-1.94	3.94
	2011	22,883	13,250	-3.10	4.35	-3.85	4.74	1.56	5.38	-3.10	4.35
	2006-2011	140,722	79,630	-1.93	3.60	-3.01	4.47	2.18	5.69	-1.93	3.60

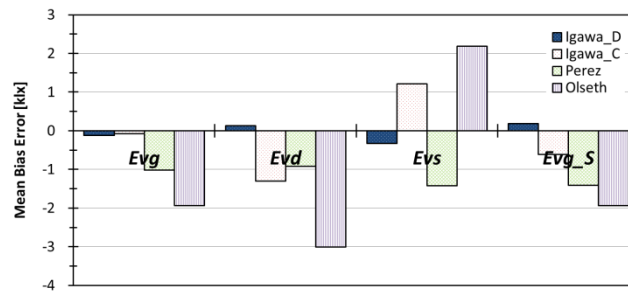


Fig. 5 Mean Bias Error of estimated illuminance (2006-2011)

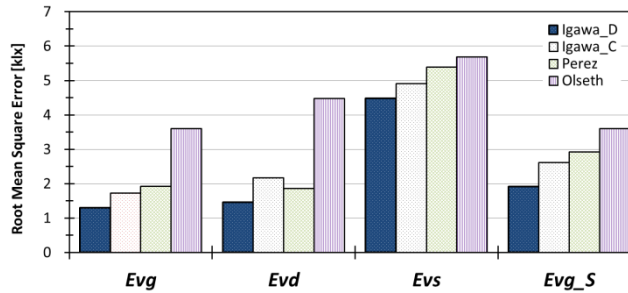


Fig. 6 Root Mean Square Error of estimated illuminance (2006-2011)

### 3. 日射量から推定する光合成有効放射量

日射量から光合成有効放射量 PAR を推定する方法は黒沢ら<sup>8)</sup>による試みがあるが、全天成分のみの推定であり、天空成分や直達成分の推定ではない。ここでは、PAR を日射量で除した値を PAR 効率と定義して式(6)で表し、2008 年の大阪における測定データを基に、成分別日射量から全天光合成有効放射量  $PAR_g$ 、天空光合成有効放射量  $PAR_d$ 、法線直達光合成有効放射量  $PAR_s$  を推定する式を開発した。

$$\eta_{PAR} = a \cdot Kc + b \cdot Cle + c \cdot \ln(Kc) + d \cdot \exp(Cle) + e \cdot W + f \quad (6)$$

ここで、 $\eta_{PAR}$  : PAR 効率 [ $\mu\text{mol/s/W}$ ] ( $\eta_{PAR} \geq 0$ )、 $W$  : 可降水量[cm]。

PAR を推定するための係数を Table 4 に示す。全天、天空、直射に関する  $\eta_{PAR}$  を  $ef_{PAR_g}$ 、 $ef_{PAR_d}$ 、 $ef_{PAR_s}$  と表して算出し、これらに  $E_{eg}$ 、 $E_{ed}$ 、 $E_{es}$  を乗じると  $PAR_g$  [ $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ ]、 $PAR_d$  [ $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ ]、 $PAR_s$  [ $\mu\text{mol/m}^2/\text{s}$ ] が得られる。

日射量から推定した PAR を実測値と比較した例を Fig. 7 に示す。

また、2007 年から 2009 年の大阪における実測データを基に推定した PAR の MBE と RMSE を Table 5 に示す。データ総数は 68,400 個であり、直達成分の対象となるのは 38,852 個である。3 年間の MBE と RMSE を Fig. 8 と Fig. 9 に示す。3 年間の  $PAR_g$ 、 $PAR_d$ 、 $PAR_s$  の RMSE は  $28.0[\mu\text{mol/m}^2/\text{s}]$ 、 $37.5[\mu\text{mol/m}^2/\text{s}]$ 、 $99.7[\mu\text{mol/m}^2/\text{s}]$  であり、 $PAR_g$ 、 $PAR_d$  よく一致しているが  $PAR_s$  の推定値の RMSE はやや大きい。 $PAR_d$  と  $PAR_s$  の合成による  $PAR_{g\_S}$  の RMSE は  $43.5[\mu\text{mol/m}^2/\text{s}]$  であり  $PAR_s$  の RMSE より小さい。

Table 4 Constants for PAR efficacy

		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>
<i>ef_PARg</i>	<i>a</i>	0.4151	-0.3182	0.0813
	<i>b</i>	-1.4625	2.2942	-1.0973
	<i>c</i>	-0.2187	0.2054	-0.2251
	<i>d</i>	0.8737	-1.4343	0.6820
	<i>e</i>	-0.0227	0.0246	0.0268
	<i>f</i>	-1.0550	1.5337	1.1074
<i>ef_PARd</i>	<i>a</i>	-0.2619	0.8413	-0.9706
	<i>b</i>	-1.7849	3.2528	-1.7157
	<i>c</i>	0.0344	-0.2609	0.0920
	<i>d</i>	1.4030	-2.7081	2.0784
	<i>e</i>	-0.0409	0.0453	0.0380
	<i>f</i>	-0.9346	1.6815	0.4484
<i>ef_PARs</i>	<i>a</i>	5.7572	-14.942	5.8316
	<i>b</i>	5.6121	-16.432	1.9635
	<i>c</i>	-4.0169	11.626	-4.2015
	<i>d</i>	-2.3316	7.1358	-0.6008
	<i>e</i>	0.1351	-0.1849	0.0301
	<i>f</i>	-5.6432	13.352	-4.9219

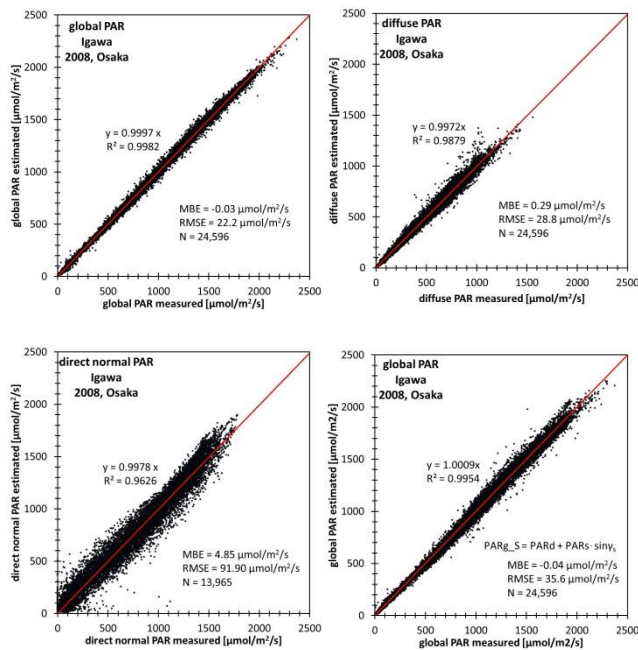


Fig. 7 Measurements and estimations for PAR

Table 5 MBE and RMSE for the estimation of PAR [ $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ ]

year	data number		<i>PARg</i>		<i>PARd</i>		<i>PARs</i>		<i>PARg_S</i>	
	global diffuse	direct	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
2007	24,762	13,834	-17.6	29.2	-9.7	47.8	-23.3	107.4	-21.9	47.9
2008	24,596	13,965	0.0	22.2	0.3	28.8	4.8	91.9	0.0	35.7
2009	19,042	11,053	-15.2	32.5	-9.8	32.2	-21.7	99.2	-19.4	46.7
2007-2009	68,400	38,852	-10.6	28.0	-6.2	37.5	-12.7	99.7	-13.3	43.5

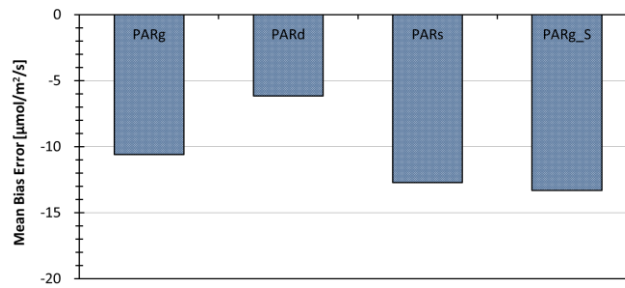


Fig. 8 Mean Bias Error of estimated PAR (2007-2009)

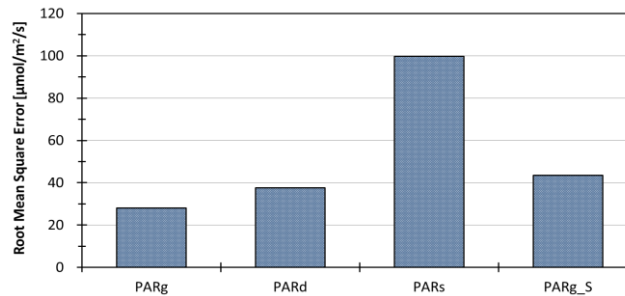


Fig. 9 Root Mean Square Error of estimated PAR (2007-2009)

#### 4. 日射量から推定する A 領域紫外放射量 B 領域紫外放射量

日射量から UV-A や UV-B を推定する試みはこれまでもいくつか見られる<sup>6),7),8)</sup>が、それらの多くは全天成分のみの推定となっていることが多い。また、生体影響紫外放射量 DUV に関する検討例も見られる<sup>12)</sup>。ここでは、日射量から UV-A、UV-B の推定を試みる。

地上に到達する特に UV-B はオゾンの吸収による影響が大きいことは知られているが、時系列のオゾン全量のデータは容易に得られない。また、大気路程による影響が大きいため、これが考慮された  $Kc$  と  $Cle$  を組み合わせ、UV 放射量を日射量で除した値を UV 効率と定義して次式で表し、回帰分析により各係数を求める。

$$\eta_{UV} = a + b \cdot Kc + c \cdot Cle + d \cdot Kc^2 + e \cdot Cle^2 + f \cdot Kc \cdot Cle + g \cdot Kc^3 + h \cdot Cle^3 + i \cdot Kc \cdot Cle^2 + j \cdot Kc^2 \cdot Cle \quad (7)$$

ここで、 $\eta_{UV}$  : UV 効率 [W/W] ( $\eta_{UV} \geq 0$ ) .

係数  $a \sim j$  は、 $x = A \cdot \gamma_s^3 + B \cdot \gamma_s^2 + C \cdot \gamma_s + D$  で表せる。

2012 年の大阪における実測データを基に回帰分析により得られた UV-A を推定するための係数を Table 6 に、UV-B を推定するための係数を Table 7 に示す。

全天、天空、直射に関する UV-A の  $\eta_{UV}$  を  $ef\_UVAg$ 、 $ef\_UVAd$ 、 $ef\_UVAs$  として Table 6 を基に算出して、全天日射量、天空日射量、法線直達日射量を乗じて、全天 A 領域紫外放射量  $UVAg$  [W/m<sup>2</sup>]、天空 A 領域紫外放射量  $UVAd$  [W/m<sup>2</sup>]、法線直達 A 領域紫外放射量  $UVAs$  [W/m<sup>2</sup>] が得られる。UV-B も同様に Table 7 を基に  $ef\_UVBg$ 、 $ef\_UVBd$ 、 $ef\_UVBs$  を算出すると全天 B 領域紫外放射量  $UVBg$  [W/m<sup>2</sup>]、天空 B 領域紫外放射量  $UVBd$  [W/m<sup>2</sup>]、法線直達 B 領域紫外放射量  $UVBs$  [W/m<sup>2</sup>] を得ることができる。

式(7)により推定した  $UVAg$ 、 $UVAd$ 、 $UVAs$  と  $UVAd$  と  $UVAs$  の推定値から合成した UV-A の全天成分  $UVAg\_S$  を実測値と比較した例を Fig. 10 に示し、2012 年と 2013 年の推定値の MBE と RMSE を Table 8 および Fig. 12、13 に示す。 $UVAg$  と  $UVAd$  の RMSE は 1.967[W/m<sup>2</sup>] と 1.734[W/m<sup>2</sup>] であるが  $UVAs$  は 3.137[W/m<sup>2</sup>] とやや大きい。

Table 6 Constants for UV-A efficacy

		A	B	C	D
ef_UVA <sub>g</sub>	a	-2.364E-02	6.137E-02	-3.916E-02	1.069E-01
	b	1.372E-01	-1.969E-01	-5.630E-02	-1.420E-02
	c	1.081E-01	-4.783E-01	6.220E-01	-1.338E-01
	d	-5.882E-01	8.463E-01	1.468E-01	-1.932E-01
	e	-1.431E+00	2.889E+00	-1.419E+00	1.721E-01
	f	1.284E+00	-1.930E+00	-2.100E-02	1.774E-01
	g	5.455E-01	-8.040E-01	-2.090E-02	1.365E-01
	h	-8.238E-02	-4.484E-02	2.619E-01	-5.641E-02
	I	1.726E+00	-3.030E+00	1.004E+00	-5.630E-02
	j	-1.657E+00	2.629E+00	-4.036E-01	-1.114E-01
ef_UVA <sub>d</sub>	a	-7.753E-02	1.808E-01	-1.108E-01	1.109E-01
	b	4.560E-01	-8.563E-01	2.887E-01	-3.310E-02
	c	7.382E-01	-1.895E+00	1.420E+00	-1.440E-01
	d	-1.613E+00	2.846E+00	-7.281E-01	-1.350E-01
	e	-2.134E+00	4.582E+00	-2.467E+00	2.799E-01
	f	1.363E+00	-1.867E+00	-3.194E-01	1.733E-01
	g	2.005E+00	-3.540E+00	1.004E+00	4.303E-02
	h	-2.484E+00	3.670E+00	5.818E-02	5.747E-02
	I	7.579E+00	-1.340E+01	3.888E+00	-4.457E-01
	j	-5.744E+00	9.941E+00	-2.594E+00	1.481E-01
ef_UVA <sub>s</sub>	a	3.270E-01	-9.130E-01	6.646E-01	-7.870E-02
	b	-8.018E-01	2.792E+00	-2.456E+00	2.917E-01
	c	-1.107E+00	1.297E+00	7.833E-01	-1.874E-01
	d	2.897E-01	-2.650E+00	3.364E+00	-4.337E-01
	e	-8.594E-01	1.469E+00	-8.940E-01	1.530E-01
	f	3.199E+00	-3.802E+00	-1.398E+00	3.438E-01
	g	3.381E-01	2.634E-01	-1.076E+00	1.368E-01
	h	-2.083E-01	5.422E-01	-1.953E-01	3.024E-02
	i	1.481E+00	-3.206E+00	1.971E+00	-3.261E-01
	j	-2.640E+00	4.130E+00	-6.345E-01	5.203E-02

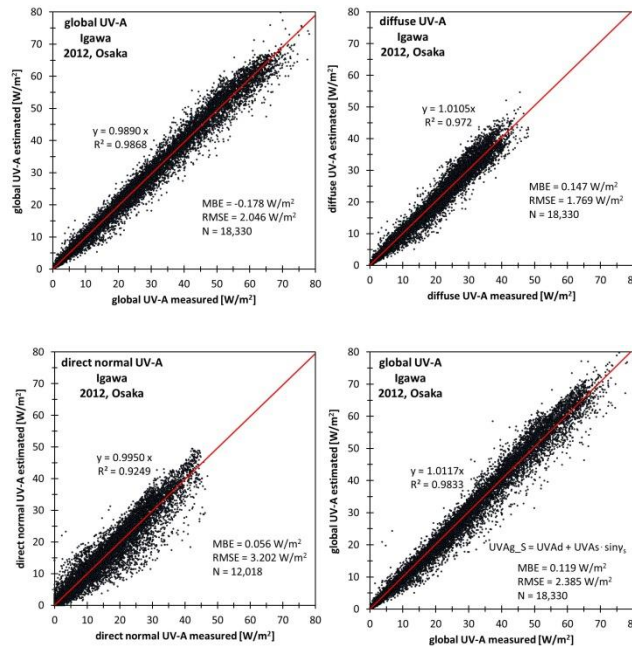


Fig. 10 Measurements and estimations for UV-A

UVAg<sub>S</sub> の RMSE は 2.327[W/m²]で、UVAg に比べてやや大きいですが、UVAg<sub>S</sub> を UVAg として利用しても問題はないと思われる。

式(7)で推定した UV-B を実測値と比較した例を Fig. 11 に示し、2012 年と 2013 年の推定値の MBE と RMSE を Table 9 と Fig. 14, 15 に示す。2 年間の UVBg、UVBd、UVBs の RMSE はそれぞれ 0.1174[W/m²]、0.0722[W/m²]、0.0848[W/m²]である。



Table 7 Constants for UV-B efficacy

		A	B	C	D
<i>ef_UVBg</i>	<i>a</i>	1.281E-03	-4.753E-03	6.215E-03	4.886E-04
	<i>b</i>	-3.790E-03	1.749E-02	-1.947E-02	2.184E-03
	<i>c</i>	-2.882E-03	-3.023E-03	1.558E-02	-4.257E-03
	<i>d</i>	1.571E-04	-1.735E-02	2.324E-02	-4.427E-03
	<i>e</i>	-5.667E-02	1.186E-01	-6.645E-02	9.440E-03
	<i>f</i>	6.473E-02	-1.146E-01	3.751E-02	-1.962E-03
	<i>g</i>	1.285E-02	-1.836E-02	3.148E-03	4.278E-04
	<i>h</i>	-2.434E-02	5.476E-02	-2.906E-02	4.863E-03
	<i>i</i>	1.116E-01	-2.396E-01	1.273E-01	-1.885E-02
	<i>j</i>	-1.018E-01	2.039E-01	-9.466E-02	1.200E-02
<i>ef_UVBd</i>	<i>a</i>	-6.360E-04	4.875E-04	1.976E-03	8.304E-04
	<i>b</i>	9.896E-03	-2.044E-02	1.016E-02	-1.994E-03
	<i>c</i>	3.769E-03	-1.464E-02	1.643E-02	-1.600E-03
	<i>d</i>	-4.930E-02	1.000E-01	-4.241E-02	2.860E-03
	<i>e</i>	-3.829E-02	8.445E-02	-3.144E-02	5.299E-05
	<i>f</i>	6.875E-02	-1.296E-01	2.996E-02	1.002E-03
	<i>g</i>	7.657E-02	-1.540E-01	5.941E-02	-4.045E-03
	<i>h</i>	-1.380E-01	2.673E-01	-6.668E-02	2.952E-03
	<i>I</i>	3.125E-01	-6.229E-01	1.912E-01	-9.288E-03
	<i>j</i>	-2.487E-01	4.939E-01	-1.614E-01	8.851E-03
<i>ef_UVBs</i>	<i>a</i>	1.070E-03	-5.265E-03	5.357E-03	-7.241E-04
	<i>b</i>	3.414E-03	1.148E-02	-2.450E-02	5.019E-03
	<i>c</i>	-3.454E-02	6.141E-02	-1.131E-02	-1.038E-03
	<i>d</i>	-2.733E-02	2.654E-02	1.875E-02	-5.524E-03
	<i>e</i>	-3.592E-02	7.484E-02	-4.833E-02	8.814E-03
	<i>f</i>	1.182E-01	-2.217E-01	7.855E-02	-7.832E-03
	<i>g</i>	2.183E-02	-3.237E-02	2.075E-03	1.006E-03
	<i>h</i>	-9.488E-03	2.559E-02	-1.370E-02	2.438E-03
	<i>i</i>	5.025E-02	-1.164E-01	7.307E-02	-1.304E-02
	<i>j</i>	-8.777E-02	1.764E-01	-7.901E-02	1.081E-02

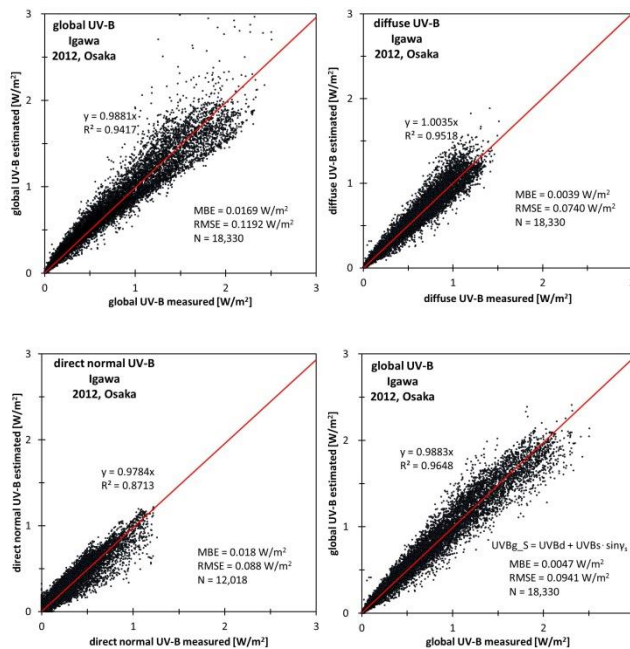


Fig. 11 Measurements and estimations for UV-B

全天日射量が極端に変化するとき、UVBg にやや過大な推定値が出現する傾向がある。UV-B は日射量に比べて全天成分に占める直達成分比が小さいため、推定精度を上げるには成分別に推定した方がよい。天空成分と直達成分の合成値である UVBg\_S の RMSE は 0.0906[W/m²]であり、UVBg の RMSE より小

く推定値も安定しているため、 $UVBg_S$  を  $UVBg$  として使用した方が適切と考える。

UV-B は散乱・消散が大きいいため、UV-A に比べて推定精度はやや低下するが、オゾンの時系列データを入手が困難であるため、今回開発した推定式の利用は意義あると考える。

Table 8 MBE and RMSE for the estimation of UV-A [ $W/m^2$ ]

year	data number		$UVAg$		$UVAd$		$UVAs$		$UVAg_S$	
	global diffuse	direct	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
2012	18,830	12,018	-0.178	2.046	0.147	1.769	0.056	3.202	0.119	2.385
2013	21,131	14,132	0.092	1.895	0.091	1.702	0.446	3.081	0.255	2.273
2012-2013	39,961	26,150	-0.035	1.967	0.117	1.734	0.267	3.137	0.176	2.327

Table 9 MBE and RMSE for the estimation of UV-B [ $W/m^2$ ]

year	data number		$UVBg$		$UVBd$		$UVBs$		$UVBg_S$	
	global diffuse	direct	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE	MBE	RMSE
2012	18,830	12,018	0.0169	0.1192	0.0039	0.0740	0.0180	0.0879	0.0047	0.0941
2013	21,131	14,132	0.0272	0.1158	0.0002	0.0706	0.0233	0.0820	0.0048	0.0873
2012-2013	39,961	26,150	0.0223	0.1174	0.0020	0.0722	0.0209	0.0848	0.0045	0.0906

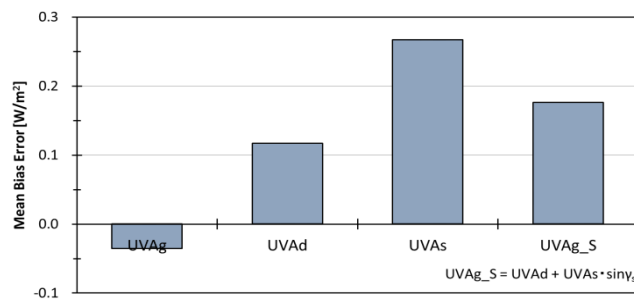


Fig. 12 Mean Bias Error of estimated UV-A (2012-2013)

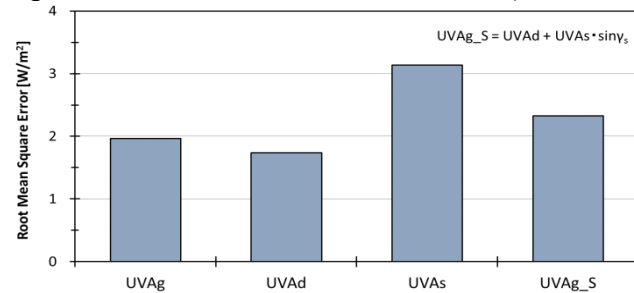


Fig. 13 Root Mean Square Error of estimated UV-A (2012-2013)

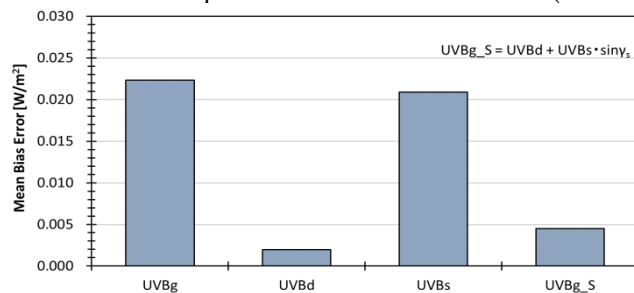


Fig. 14 Mean Bias Error of estimated UV-B (2012-2013)

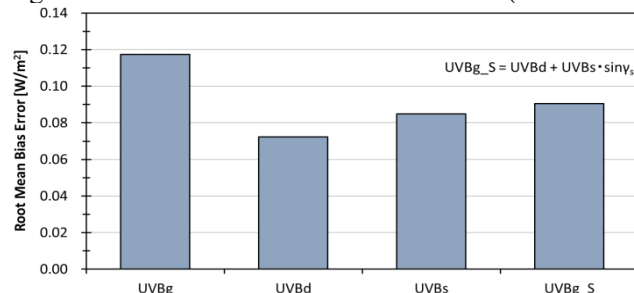


Fig. 15 Root Mean Square Error of estimated UV-B (2012-2013)

## 7. まとめ

日射量を基に昼光照度、PAR、UV-A、UV-B を推定することを試み、実用的に使用可能と考えられる推定式を提案した。

たとえば、拡張アメダス気象データでは日射量が基本データとして提供されている。このデータを活用すれば全国各地の昼光照度や PAR、UV-A、UV-B を推定できるため、広範な気象データの活用が可能になると考える。

なお、太陽高度が 5°未満の場合、大気の影響や測定上の余弦則の影響が大きいため推定値がやや不安定になる場合があるため、太陽高度 5°の発光効率、PAR 効率、UV 効率の適用を推奨する。

注1) International Daylighting Measurement Programme の略。CIE（国際照明委員会）が昼光と日射の基礎データ取得と標準資料作成のため、1991 年から世界各地で長期測定を実施。

注2) これまで光環境分野で使用されている全天空照度の「全」は、周辺に全く障害がない天空という意味とされているが、全天日射量の「全」は直達と天空の和という意味であり、両者の表記において「全」の意味が異なり混乱が生じやすい。このため、昼光照度についての表記は、全天日射量に対応する全天空照度、天空日射量に対応する天空照度、法線直達日射量に対応する法線直射照度としている。

## 参考文献

- 1) Olseth, J.A., Skartveit, A.; Observed and Modelled Luminous Efficacies under Arbitrary Cloudiness, *Solar Energy*, Vol. 42, pp. 221-233, 1989
- 2) Skartveit, A., Olseth, J.A.; Luminous Efficacy Models and Their Application for Calculation of Photosynthetically Active Radiation, *Solar Energy*, Vol. 52, No. 5, pp. 391-399, 1994
- 3) Perez, R., Ineichen, P., Seals, R., Michalsky, J. and Stewart, R.; Modeling Daylight Availability and Irradiance Components from Direct and Global Irradiance, *Solar Energy*, Vol.44, No.5, 271-289, 1990
- 4) 井川憲男; 天空輝度・放射輝度分布モデルの改良, 日本建築学会光環境シミュレーション小委員会公開研究会資料, 2013.2
- 5) 黒澤良太, 曾我和弘; 光合成有効放射量の推定法に関する基礎的研究, 日本建築学会九州支部研究報告, 第 47 号, pp.173-176, 2008.3
- 6) 富板崇, 檜野紀元, 高根自充, 松村宇; 水平面での A 領域紫外線量の推定とマップの更新, 日本建築学会構造系論文集, 第 602 号, pp.81-86, 2006.4.
- 7) 高橋悠美子, 松本真一, 長谷川兼一, 源城かほり; 紫外域日射データの推定法の開発に関する基礎的研究 その 5 3 地点の長期観測データに基づく推定方法の検討, 日本建築学会東北支部研究報告会, pp.35-38, 2007.6.
- 8) 中山哲士, 石野久弥; 地上観測における紫外放射量の特性研究 その 2 紫外放射量の簡易推定法, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.1415-1416, 2007.8.
- 9) 井川憲男, 永村一雄, Craig Farnham; 日射量による昼光照度、PAR、UV-A、UV-B の推定, 日本建築学会環境系論文集, 第 726 号, pp.679-685, 2016.8.
- 10) Igawa, N; Improving the All Sky Model for the luminance and radiance distributions of the sky, *Solar Energy*, Vol. 105, (2014), pp. 254-372, 2014.6
- 11) Kasten, F., Young, A.T.: Revised optical air mass tables and approximation formula. *Applied Optics* 28 (22), 4735-4738, 1989.
- 12) 新聖子, 垂水弘夫; 生体影響紫外線 DUV の特別特性解析 : 金沢における紫外域日射及び気象観測データを用いて, 日本建築学会計画系論文集, 第 564 号, pp.79-84, 2003.02