

日本各地において天気概況から推定した 晴天指数の誤差率

Error Ratio of Daily Clearness Indexes Estimated from
Phrase of General Weather Condition in Various Parts of Japan

中川 重康*¹ 見目 喜重*² 河本 映*³ 榊原 建樹*²
Shigeyasu NAKAGAWA Yoshishige KEMMOKU Teru KAWAMOTO Tateki SAKAKIBARA

Abstract

In our former paper, we proposed a new method for estimating the daily clearness indexes from phrases of the general weather condition, applied the method to one place in Japan, i.e., Shizuoka city and obtained a good correlation coefficient between the estimated values and the measured values.

In this paper, we examine the new method at four places, i.e., Sapporo, Toyama, Shizuoka and Nagasaki cities which are located respectively at different typical climatic divisions in Japan. Error ratios between the estimated and the measured values are calculated monthly for four cities. The result shows that the error ratios are almost 10 to 15% except January, February and December of Toyama and Sapporo cities. So it is concluded that this method is applicable to Japanese climate except winter season of the coast of the Japan Sea.

Key Words : Solar Insolation, General Weather Condition, Clearness Index, Weather Index, Correlation Coefficient, Error Ratio

1. はじめに

我が国の1994年度の新エネルギー供給量を見てみると⁽¹⁾, 太陽熱が $1,031 \times 10^{10}$ kcal, 地熱が 589×10^{10} kcal, ごみ発電が 528×10^{10} kcalとなっており, 太陽熱は地熱やごみ発電に比べて約2倍である. しかしながら, 1991年度から1994年度までの対前年度伸び率の平均値を見てみると, 太陽熱は-3.05%, 地熱は+6.33%, ごみ発電は+6.73%であり, 地熱やごみ発電は上昇傾向にあるのに対し, 太陽熱は頭打ちの傾向にある. この原因は, 太陽エネルギーの不確定さに基づく制御の困難さにあると思われる.

一般に, 太陽エネルギー利用システムでは, 的確に日射量が予測できれば, 太陽エネルギーの有効利用および補助エネルギーの低減が期待できる. 筆者らは,

既に, 集合住宅における太陽光・熱エネルギー利用システムに, 降水確率に基づく日射量予測を導入し, 購入電力量を約70%削減できることを確認している⁽²⁾. 日射量の予測精度を向上させれば, さらに購入電力量を削減できる可能性がある. 筆者らは, その日射量の予測精度の向上を目的とし, 天気予報を利用する手法を検討している. まず, 天気概況と日積算日射量とが密接な関係にあることに着目し, 天気概況から晴天指数を推定する算出手法を提案した⁽³⁾. 次に, 静岡市において, その算出手法に従って計算した晴天指数と計測値との相関をとったところ, 相関係数が0.92という高い値を示した⁽³⁾. 本論文の目的は, 本算出手法が, 全国の地点においてどの程度の精度で適用できるかどうかを検討し, 全国に適用可能な回帰モデルを作成することにある. 具体的には, 日本の気候区の中から代表的な4地点を抽出し, それらの地点において本算出手法を用いて推定した晴天指数とその計測値との誤差率を評価し, 全国規模の回帰式を提案する.

2. 対象とした地点

日本の気候は, 主に, 南と北および日本海側と太平洋側でその様相が異なる. 本論文で対象とする地点は, それらの主な気候区⁽⁴⁾を代表する札幌市(裏日本

* 原稿受付 平成8年8月27日

*1 会 員 舞鶴工業高等専門学校電気工学科
(〒625 舞鶴市白屋)

*2 会 員 豊橋技術科学大学電気・電子工学系
(〒441 豊橋市天伯町)

*3 会 員 静岡大学工学部電気・電子工学科
(〒432 浜松市城北)

気候区北海道型), 富山市(裏日本気候区北陸型), 静岡市(南海気候区), 長崎市(九州気候区)の4地点とした。それらの位置を図1に示す。特に, 静岡市は表日本の中央に位置していることから, 表日本側の代表地点とした。それぞれの地点において気象庁が観測した「気象官署の地上気象観測データ⁽⁵⁾」のうち, 本論文では, 日積算全日射量および昼間(6時~18時)の天気概況を用いた。なお, 対象期間は, この観測データにおける日射量時別値の有無およびデータフォーマットの統一性より1991年から1994年までの4年間とした。

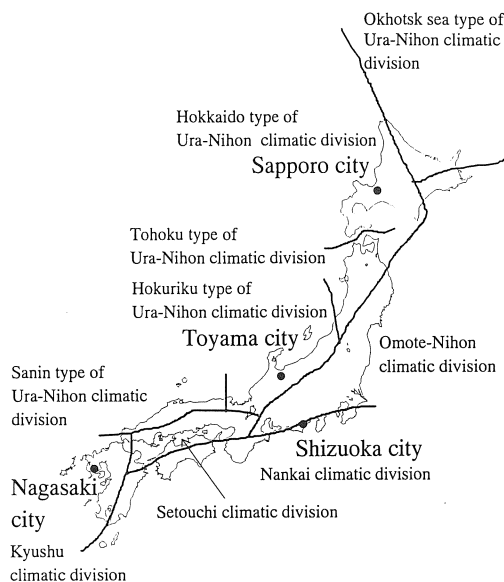


図1 日本の気候区分および本論文で対象とした4地点

3. 日本各地における日積算全日射量

札幌市, 富山市, 静岡市および長崎市における日積算全日射量の大气外の値 H_o および計測値 H_e を図2に示す。 H_o の最大値に関しては, 地域差は見られないが, 最小値に関しては, 札幌市では $3.20 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$, 長崎市では 4.96 であり, 1.76 だけ長崎市の方が高い。一方, H_e の極大値の包絡線についての最大値に関しても, 地域差はほとんど見られず, ほぼ $8.0 \text{ kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}$ であるが, 最小値に関しては, 札幌市ではほぼ 2.0 , 長崎市ではほぼ 3.0 であり, 長崎市の方が約 1.0 高い。富山市, 静岡市および長崎市の H_e は, 6~7月にかけて低い箇所が見られる。それは明らかに梅雨の影響である。札幌市では梅雨の影響はあらわに

は表れていない。以上のように, H_e の極大値についての包絡線は, 梅雨の時季を除けば, H_o の変化とほぼ比例していると言える。

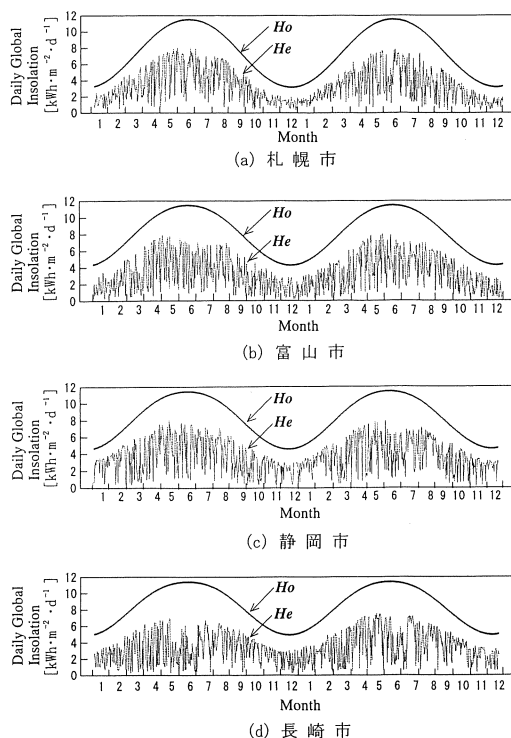


図2 日本各地における日積算全日射量の大气外の値 H_o および H_e 計測値

(1991年1月1日~1992年12月31日)

4. 天気概況が単一の天気で表された日の晴天指数(基本晴天指数)

各地点で計測された日積算日射量は, その地点の大气外日積算日射量に依存するので, 一般に, 次式で規格化された晴天指数 y が用いられる⁽⁶⁾。

$$y = \frac{H_e}{H_o} \quad (1)$$

ここで,

H_e : 日積算全日射量(計測値)

$[\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}]$

H_o : 大气外日積算全日射量(計算値)⁽⁷⁾

$[\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}]$

一般に, 天気概況は複雑に表現されるが, 日中の天気概況が, "晴れ", "曇り", "雨" などのように, 単一

表1 各地点の単一天気の日数および基本晴天指数 (1991年~1994年, 4年間)

General weather condition	Sapporo city		Toyama city		Shizuoka city		Nagasaki city	
	Samples [d]	Basic clearness index	Samples [d]	Basic clearness index	Samples [d]	Basic clearness index	Samples [d]	Basic clearness index
Clear	33(2.3 %)	0.669	83(5.7 %)	0.669	152(10.4 %)	0.662	76(5.2 %)	0.629
Fair	306(20.9 %)	0.625	150(10.3 %)	0.644	247(16.9 %)	0.633	326(22.3 %)	0.595
Slightly cloudy	25(1.7 %)	0.541	51(3.5 %)	0.529	26(1.8 %)	0.511	8(0.6 %)	0.467
Cloudy	131(8.9 %)	0.334	149(10.2 %)	0.327	133(9.1 %)	0.312	147(10.1 %)	0.316
Rain	53(3.6 %)	0.154	29(2.0 %)	0.088	56(3.8 %)	0.112	64(4.4 %)	0.109
Snow	79(5.4 %)	0.313	6(0.4 %)	0.246	0(0.0 %)	—	1(0.1 %)	0.280

表2 天気指数の概算例 (静岡市)

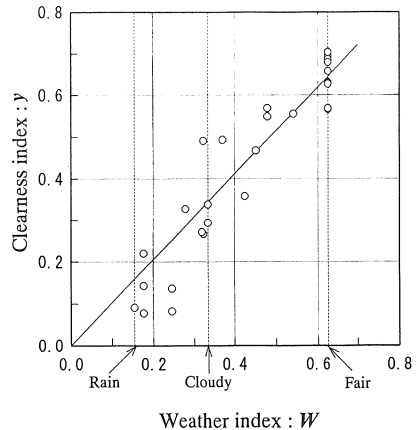
General weather condition	Calculation			
Cloudy temporarily fair	$(1-1/8)$	$\times 0.312 + 1/8$	$\times 0.633$	≈ 0.352
Cloudy occasionally fair temporarily rain	$(1-5/16-1/8)$	$\times 0.312 + 5/16$	$\times 0.633 + 1/8 \times 0.112$	≈ 0.387
Fair later cloudy temporarily rain	$1/2 \times 1$	$\times 0.633 + (1-1/8) \times 0.312 + 1/8 \times 0.112$		≈ 0.460

の天気だけで表された日がある。そのような日の晴天指数をここでは、「基本晴天指数」と呼ぶことにする⁽³⁾。各地点の基本晴天指数の値を表1に掲げる。“快晴”を含めた“晴れ”の日の日数に関しては、富山市が16%と最も少なく、札幌市は23%、静岡市・長崎市はほぼ27%と表日本の方が高い傾向にある。基本晴天指数の値に関しては、札幌市の“晴れ”および静岡市の“曇り”を除けば、札幌市、富山市、静岡市、長崎市と南に下がるに従って減少する傾向にある。このように、基本晴天指数の値には地域依存性が若干あることが分かる。

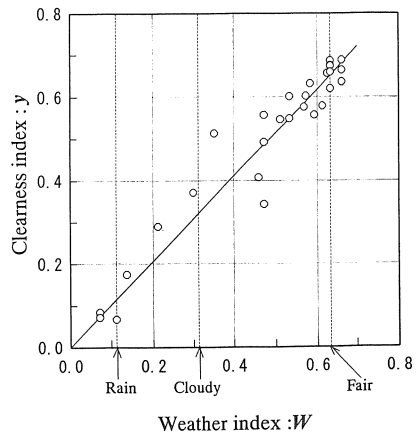
5. 天気概況から概算した晴天指数(天気指数)と計測晴天指数との相関

一般に、天気概況は、複数の天気用語と接続詞・副詞とを用いて表現されている。接続詞・副詞に関しては、気象庁が定義している意味に従って、“後”は $1/2$ ，“時々”は $5/16$ ，“一時”は $1/8$ などと数値化できる⁽³⁾。ある日の天気概況が分かれば、基本晴天指数とこれらの数値化された接続詞・副詞を組み合わせることによって、その日の日平均晴天指数を概算することができる⁽³⁾。この日平均晴天指数のことを本論文では「天気指数」と呼ぶことにする。静岡市における天気指数の概算例を表2に示す。

各地点における各月の毎日の晴天指数 y と天気指数 W との散布図を描き、相関係数 r を計算し、原点を通る回帰直線を引いてみた。代表例を図3および図4に示す。図3は相関係数が高い例を、図4は相関係数が低い例である。図4(a)において、回帰直線から遠く

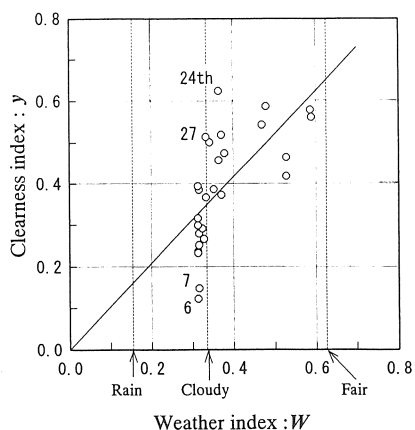


(a) 札幌市 (1991年4月, $r = 0.941$)

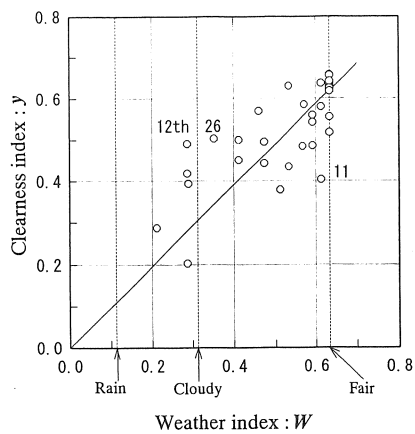


(b) 静岡市 (1992年4月, $r = 0.966$)

図3 相関係数が高い場合の晴天指数(計測値) y と天気指数(天気概況からの概算値) W との相関図

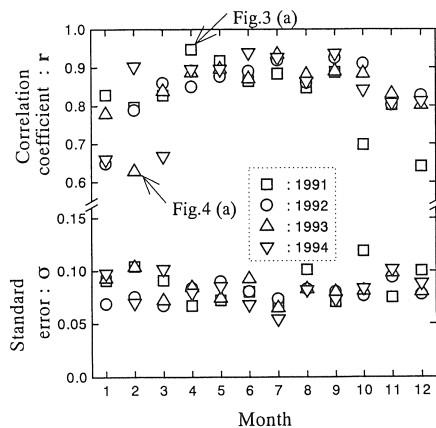


(a) 札幌市 (1993年2月, $r = 0.628$)

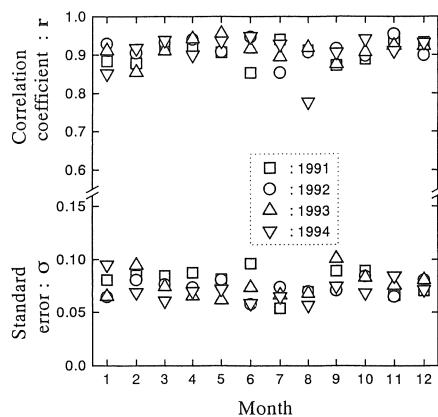


(b) 静岡市 (1994年8月, $r = 0.732$)

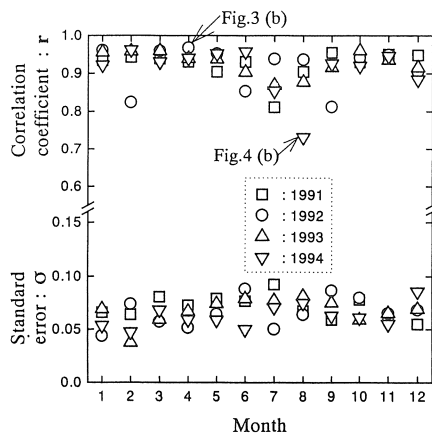
図4 相関係数が低い場合の晴天指数 (計測値) y と
天気指数 (天気概況からの概算値) W との相関図



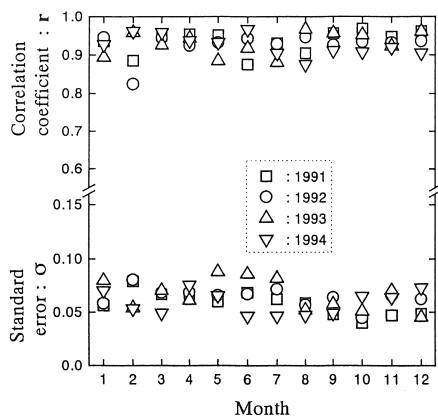
(a) 札幌市



(b) 富山市



(c) 静岡市



(d) 長崎市

図5 各地点の晴天指数 y と天気指数 W との相関係数 r および標準誤差 σ

離れているプロット点は、6, 7, 24, 27日などである。それらの日の天気概況は、“雪”、“雪一時曇り”、“曇り時々雪一時晴れ”、“曇り後一時雪”である。同図(b)において、同様なプロット点は、11, 12, 26日である。それらの日の天気概況は、“晴れ後一時曇り”、“曇り一時雨”、“曇り一時晴れ”である。これらのことから、天気概況の中に“雪”あるいは“曇り”という天気用語が含まれていると、晴天指数と天気指数との相関が低くなるものと思われる。

図3および図4は代表例であったが、このようにして各地点のすべての月の相関係数および分散を計算し、標準誤差も求めた結果が図5である。同図中には図3、図4に対応する相関係数を比較のため記しておいた。図5から、札幌市の1, 2, 3, 10および12月の相関係数には0.7以下の低い月も見られるが、その他のすべての相関係数は、0.8以上の値である。詳しくみると静岡市の相関係数は、1点を除き、0.82～0.97、富山市の相関係数は、1点を除き、0.85～0.96、長崎市の相関係数は、1点を除き、0.87～0.97の高い範囲にある。

一方、標準誤差に関しては、札幌市ではわずかに高い月もあるが、他の地点ではすべて0.05～0.10の範囲に収まっている。従って、相関係数が低い月であっても、標準誤差は比較的小さい範囲に収まっていると言える。

6. 晴天指数と天気指数との直線近似

図3および図4に示したように、晴天指数と天気指数との関係を表す回帰直線の傾きは、地点および月によってやや異なる。そこで、地点(i)ごと、月(j)ごとに回帰直線の傾きを求める。1991年から1994年までの4年間の平均値を表3に示す。回帰直線の傾き(係数) a_{ij} は、ほとんどが0.95から1.05の範囲にあるが、11月および12月の値が若干小さくなる傾向にある。これらの係数を天気指数 W に乘じることによって、改めて、その日の晴天指数 Y_{ij} が次式のように求められる。

$$Y_{ij} = a_{ij} \cdot W \quad (2)$$

ところで、 a_{ij} の平均値は1.009、標準偏差は0.033である。従って、 a_{ij} の違いはほとんどないものと言ってよく、全国規模の回帰式として次式が適用できるものとする。

$$Y \approx 1.009 \cdot W \quad (3)$$

表3 晴天指数と天気指数との関係を表す回帰直線の傾き： a_{ij}

Place(i) Month(j)	Sapporo city	Toyama city	Shizuoka city	Nagasaki city
1	1.056	1.013	1.007	0.925
2	1.050	1.091	1.056	0.977
3	1.031	0.998	1.038	1.005
4	1.031	0.996	1.034	1.024
5	1.028	1.020	1.071	1.015
6	0.999	1.006	1.039	1.038
7	0.988	0.995	1.009	1.036
8	1.023	1.014	1.015	1.005
9	1.014	1.018	1.017	1.011
10	0.965	1.020	1.033	1.003
11	0.991	1.002	0.981	0.963
12	0.940	0.956	0.943	0.954

7. 推定晴天指数の誤差率

晴天指数に関し、天気概況から推定した値が計測値とどの程度一致しているかを評価してみる。その際、各地点・各月の推定値と計測値との誤差率 E を表す式として次式を用いる。

$$E = \frac{1}{\bar{y}_k \cdot n} \sum_{k=1}^n |Y_k - y_k| \times 100 \quad [\%] \quad (4)$$

ここで、 $\bar{y}_k$ は晴天指数の計測値をその月の日数で平均した値、 n はその月の日数、 Y_k は第 k 日の晴天指数の推定値(式(3)から求まる)、 y_k は晴天指数の計測値、である。

式(4)を用いて計算した誤差率を図6に示す。誤差率の範囲は、9～21%であり、地点・月によって異なっている。静岡市の1, 2, 4, 11月、長崎市の8, 9, 10月の誤差率は約10%以下と低いが、富山市の1, 2, 12月、札幌市の1, 11, 12月の誤差率は、約20%と高い。一方、5, 6, 7月の誤差率は、どの地点でも同程度の値(13%～17%)を呈する。全体として、冬季の誤差率に関しては、太平洋側では低いが、日本海側では高いと言える。その原因の

一つには、冬季の太平洋側では一日中「晴天」が続くのにに対し、同時季の日本海側の天気概況は、「あられ」や「みぞれ」などの天気を伴って、一日の天気が複雑に変化していることにあるものと考える。その根拠を表4に示す。静岡市の1, 2月は、「晴天（天気概況が「快晴」あるいは「晴れ」）」が一日中続いた日数が多い。一方、富山市の1, 2月は、「あられ」あるいは「みぞれ」を伴う天気の日数が多いことが分かる。

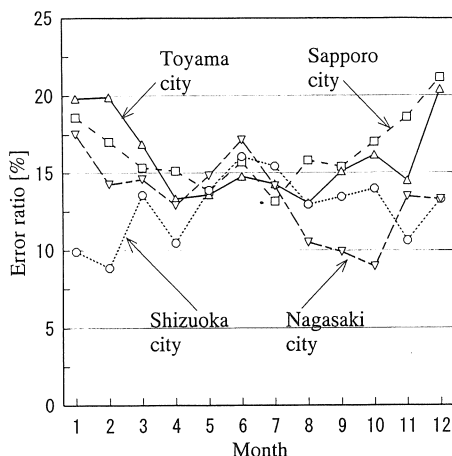


図6 天気概況から推定した晴天指数の誤差率

表4 静岡市と富山市における一日中晴天の日数および「あられ」あるいは「みぞれ」を伴った天気の日数 (1991年～1994年, 1月～4月)

Month	Clear, Fair		with Sleet, Graupel	
	Shizuoka city	Toyama city	Shizuoka city	Toyama city
1	41.9 %	7.3 %	0.8 %	16.9 %
2	48.7	7.1	0.0	16.8
3	21.0	14.5	0.0	9.7
4	27.5	28.3	0.0	2.4

8. まとめ

天気概況からその日の晴天指数を推定する手法を、全国の主な4つの気候区の代表的地点に適用することを試みた。まず、各地点における大気外全日射量および計測全日射量の時系列結果を示し、計測値の極大値の包絡線が大気外全日射量にほぼ比例している

ことを確認した。次に、基本晴天指数と気象庁が定義している天気概況を表す用語の意味とを用いて、天気概況を晴天指数に関して定量化し、この値を「天気指数」と呼ぶこととした。各地点での計測晴天指数とこの天気指数との関係を求め、回帰分析を行った結果、両者の相関が高く、ほぼ比例関係にあることが分かった。また、地点ごと、月ごとの回帰係数の平均値は1.009、標準偏差は0.033と、違いはほとんどないものと言ってよいことが分かった。従って、晴天指数を推定するには、天気指数にこの回帰係数を乗じればよい。最後に、各地点・各月において、このようにして天気概況から晴天指数を推定し、その誤差率を求めた。その結果、誤差率の範囲は、9～21%であり、地点・月によって異なっていた。静岡市の冬季および長崎市の夏季から秋季にかけての誤差率は約10%以下と低い。富山市および札幌市の冬季の誤差率は、約20%と高い。一方、5, 6, 7月の誤差率は、どの地点でも同程度の値(13%～17%)を呈した。

換言すれば、本手法によって晴天指数を推定する際、南海気候区や九州気候区では、誤差率を15%以下に抑えられるが、裏日本気候区の冬季には、誤差率は15%を超え、21%に達する月もある。裏日本気候区の冬季の誤差率が高い原因としては、日射量が他の気候区に比べ低いこと、雪雲の複雑性などが考えられる。

しかし、そのような値の誤差率を認めるならば、天気指数 W から晴天指数 Y を推定する全国規模の回帰式として、回帰係数の平均値 1.009 を係数とした $Y = 1.009 \cdot W$ を概略値として採用してもよいと言える。

文 献

- (1) (財)日本エネルギー経済研究所エネルギー計量分析センター編：「EDMCエネルギー経済統計要覧(1996年版)」, 省エネルギーセンター, p.181 (1996)
- (2) 中川重康ほか：「降水確率に基づく日射量予測を用いた太陽光・熱利用システムの効率的運用」, 太陽エネルギー, Vol. 21, No. 4, pp. 35-42 (1995)
- (3) 中川重康ほか：「天気概況からその日の晴天指数を概算する手法」, 太陽エネルギー, Vol. 22, No. 2, pp. 33-38 (1996)
- (4) 東洋経済新報社：「日本気象総覧」, 東洋経済新報社, p. 931 (1983)
- (5) 気象協会：「気象官署の地上気象観測データ」, 気象庁 (1991-1994)

- (6) V. Bahel, R. Srinivasan, H. Bakhsh, "Statistical comparison of correlations for estimation of global horizontal solar radiation," *Energy*, Vol. 12, No. 12, pp. 1309-1316 (1987)
- (7) 大河内康正 : 「日射量の評価法」, 八代高専紀要, Vol. 11, pp. 15-22 (1988)

海外情報

Union of Concerned Scientists ビル

1994年7月、マサチューセッツ州のUnion of Concerned Scientists(UCS)の事務局は、ハーバードの新しい事務所に引っ越した。UCSは地球環境の保全と生命維持資源の利用についての活動をしている。この新しい事務所は、エネルギー効率と再生可能エネルギーの利用とを組み合わせる重要なもので、この建物はデモンストレーション用に使うことが出来るが、デモンストレーションのため特別な費用をかける訳には行かなかった。

2790m²の事務所ビルの最初の設計は、ファサードが天井から床までの窓ガラスとなっていた。この設計は、エネルギー問題、事務所の用途から見て受け入れられなかった。そこで窓ガラスをアルゴン封入低放射二重窓ガラスとし、空調も従業員のデスクでコントロールできるようにし熱的な快適性を増すようにした。

この建物では昼光照明、自然換気、及び土中蓄熱等環境資源を出来る限り利用するように考えられている。屋根には太陽光発電システムが載せられている。暖冷房には、電動ヒートポンプを採用した。

快適性とエネルギー効率の両者を達成する鍵として昼光照明が選ばれ、夏の電力ピーク需要を下げる事が出来た。

我々は、電力に優しい建物を開発し、電力負荷を平準化することが出来た。

出典 : SOLAR TODAY, May./April 1997, p28-31 The Union of Concerned Scientists "Walk Their Talk"
抄訳 下川健治 (事務局 囑託)

ソーラーエネルギー : 伝統的価値と現代社会の一元化

アメリカ原住民は、数世紀に亘り太陽をエネルギー源として利用してきている。カリフォルニア州パークレーに本部を持つ非営利のNative American Renewable Energy Education Projectではアメリカ原住民の太陽に関する文化の再生を援助している。

最初の日、子供達を四つのグループに分け、太陽エネルギーについて異なった話をした。PVの話をした後、PV電力による水の汲み上げポンプとラジオを見せた。その上でインディアン先祖が長い間環境と持続可能な農業についての知識及び再生可能エネルギーを利用してきていることを話した。

次の日には、子供達でソーラークッカーを作ることにした。彼らは、全く新しいオープンを作り、非常に創造的であった。他の子供は、太陽熱利用蒸留装置に興味を持ち、非常用太陽蒸留器を作った。

三日目には、夫々のグループから代表者が選ばれ、夫々のクッカーについて発表しこのキャンプでの経験を交換し合った。最後に子供達は、土地利用、文化的教育又は太陽技術について学ぶことがアメリカ原住民にとって大切であることを学んだと言うことを強調していた。

出典 : SOLAR TODAY, May./Apr. 1997, p32-33 Solar Energy; Integrating Traditional Values and Modern Society
抄訳 : 下川健治 (事務局 囑託)