

天気概況からその日の晴天指数を概算する手法

A Method of Estimating Daily Clearness Indexes
from Phrases of General Weather Condition

中川重康*

Shigeyasu NAKAGAWA

織田慎一郎*

Shinichirou ORITA

見目喜重*

Yoshishige KEMMOKU

榎原建樹*

Tateki SAKAKIBARA

Abstract

Forecasting daily clearness index of a next day is important for effective operation of solar energy utilization system. There exists an obvious quantitative relation between the daily clearness index and the general weather condition. This paper proposes a new method for estimating the daily clearness indexes from phrases of the general weather condition. The phrases of genaral weather condition are expressed with some weather words such as "fair", "cloudy", and "rain", and some adverbs and a conjunction such as "occasionally", "temporarily" and "later". At first, the basic weather words are numerized in relation to clearness index using the data of four years. Secondary, the adverbs and the conjunction are numerized in relation to time period using their meanings defined by the Meteorological Agency. Thirdly, an equation is developed to calculate the clearness index from the phrase of general weather condition. The equation consists of the product sum of the numerized weather words and the numerized adverbs and conjunction.

Correlation between the measured clearness index and the clearness index estimated with this equation is examined for a year. The result shows that the correlation coefficient is 0.92 and the standard deviation is 0.06. So if this method is applied to weather forecast, the clearness index of the next day will be considerably accurate because recently the weather has been forecasted with high probability.

Key words : Method of Estimation, Clearness Index, Phrase of General Weather Condition, Correlation Coefficient

1. はじめに

ソーラー給湯設備の普及は着実に進んでおり、450万台近くに達している⁽¹⁾。ソーラー給湯設備は、雨や曇りあるいは冬季には日射不足のため補助エネルギー源を必要とする。一方、電力会社の時間帯別料金制度の導入により深夜電力を利用する電気温水器も普及してきている。ソーラー給湯設備の補助エネルギー源として、深夜電力をを利用するシステムを構築するならば、両者のメリットを活かせることができる。このシステムの運用に関し、翌日の日射量が精度よく予測できれば、適正な量のエネルギーを深夜に貯蔵できる。すなわち、翌日に日射量が充分得られると予測されるときには、深夜電力を利用する

必要がなく、逆に、日射量が得られないと予測されるときには深夜電力を利用しなければならない。

日射量予測あるいは推定に関する研究は少なくない。例えば、午前中の早い時期の日射量と日積算日射量との相関関係から日積算日射量を予測する手法⁽²⁾、2地点の日射強度から雲がその2地点を結ぶ直線上を移動しているときの直線上の地点の日射強度を推定する方法⁽³⁾、雲量から全天日射量を推定する方法⁽⁴⁾、日射量と降水量、日照時間あるいは気温との相関を利用する方法^{(5), (6), (7)}などがあげられる。しかし、これらの方法においては、特殊な装置あるいは技術を必要とする上に、1日ごとに日射量変化を予測するものではない。筆者らは、日常的に入手できる天気情報から、直接、日射量を予測する方法を追求してきている。既に、降水確率を利用した日射量予測手法を提案し、それを太陽光・熱エネルギー利用システムに適用し、日射量予測の有効性を報告している⁽⁸⁾。

一方、天気情報に関する計測手法およびデータ処理方法が、最近、飛躍的に向上し、そのため、特に、

* 原稿受付 平成7年8月30日

*1 会員、豊橋技術科学大学電気電子工学系
(〒441 豊橋市天伯町)

天気予報の精度は83%に達している⁽⁹⁾。この精度の高い天気予報から日射量を予測できれば、日射量の予測精度はかなり高くなる可能性がある。そのためには、天気概況と日射量との関係を厳密に把握しておく必要がある。なぜなら、翌日の天気概況を予測したもののが天気予報であるからである。しかしながら、天気概況とは、元々、定性的な表現であり、その定量化がなされていない。筆者らは、定性的な表現である天気概況からその日の晴天指数を概算する新しい手法を考案したので、ここに報告する。

2. 使用データ

1991年から1994年までの4年間の静岡市（北緯34.97°、東経138.41°）における気象庁「気象官署の地上気象観測データ」のうち、時間積算全天日射量および天気概況を使用する。天気概況は、昼間（午前6時～午後6時）と夜間（その他の時間）に対して、観測データから総合的に判断され記録されている。それぞれ、最大4つの天気種類と接続詞・副詞で表現されている。天気種類とは晴れ、曇り、雨などのように单一の天気の状態を表現する名詞であり⁽¹⁰⁾、気象庁は23種類の名詞を定めている⁽¹¹⁾。本研究では晴天指数との関係で、昼間の天気概況のみに着目する。

3. 日射強度の変化パターンと天気概況

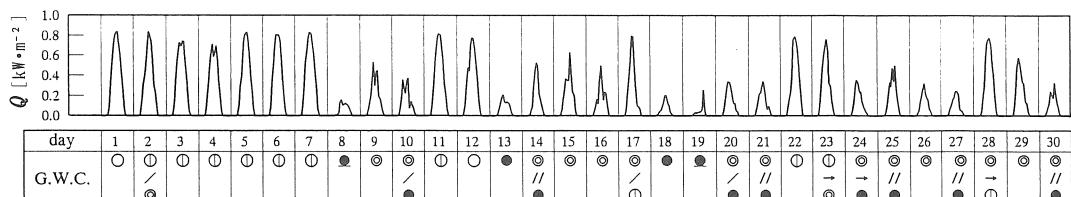
図1(a)に1991年9月の水平面日射強度Qの変化パターンと天気概況(General Weather Condition: G.W.C.)との対応を示す。同図(b)に同期間において日積算全天日射量(水平面日射強度の1日の積分値)の小さい順にソーティングした結果を示す。同図から、雨、曇り、晴れの順に日積算全天日射量が増加する傾向にあるが、それらの順には多少の乱れが見受けられる。これは、太陽高度の変化、大気透過率の変化、および同じ天気概況であっても物理特性（雲高や雲厚など）が異なることが原因しているものと思われる。しかし、4年間について同様の図を作成したところ、天気概況は日積算全天日射量と密接な関係にあることが判明した。

4. 基本晴天指数の計測

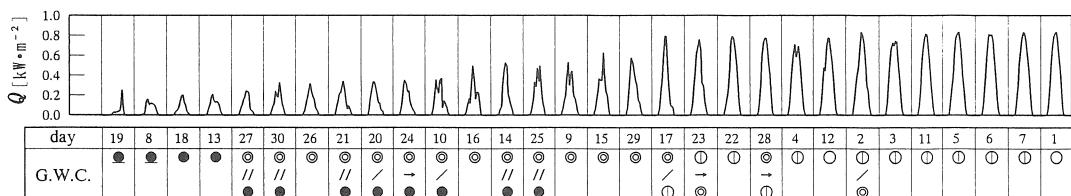
4.1 晴天指数

終日、快晴であっても太陽高度の四季変化に伴って日積算全天日射量は変化する。その太陽高度の影響をなくすため、次式で表される晴天指数Yを使用する⁽¹²⁾。

$$Y = \frac{H_e}{H_o}$$



(a) 日射強度および天気概況の時系列データ



(b) 日射量でソーティングした天気概況

図1 日射強度の変化パターンと天気概況（静岡市、1991年9月）

(○:快晴(Clear) ⊖:晴れ(Fair) ◎:曇り(Cloudy) ●:雨(Rain) ◑:大雨(Hard rain)
→:後(Later) //:時々(Occasionally) /:一時(Temporarily))

ここで、

$$\begin{aligned} H_e &: \text{地表面で計測された日積算全天} \\ \text{日射量} & \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}] \\ H_o &: \text{大気外日積算日射量} \quad [\text{kWh} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{d}^{-1}] \end{aligned}$$

4.2 大気外日積算日射量

大気外日射強度 Q_0 は、次式で与えられる^{(5),(13)}。

$$Q_0 = \frac{S_0}{\rho^2} \cdot \cos \theta \quad [\text{kW} \cdot \text{m}^{-2}] \quad (2)$$

$$\cos \theta = \cos \delta \cdot \cos \omega \cdot \cos \phi + \sin \delta \cdot \sin \phi \quad (3)$$

$$\rho = 1 - e \cdot \cos (\Omega \cdot D) \quad (4)$$

$$\delta = \varepsilon \cdot \sin \{ \Omega \cdot (D - D_0) \} \quad [^\circ] \quad (5)$$

ここで、

$$\begin{aligned} S_0 &: \text{太陽定数 } (1.382 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}) \quad (14) \\ \rho &: \text{太陽地球間の距離のその平均距離に対する比} \\ \theta &: \text{太陽の天頂角 } [^\circ] \\ \delta &: \text{太陽の視赤緯 } [^\circ] \\ \omega &: \text{太陽の時角 } [^\circ] \\ \phi &: \text{緯度 } [^\circ] \\ e &: \text{地球の公転軌道の離心率 } (0.0167) \\ \Omega &: 360 / 365 \cdot \text{d}^{-1} \\ D &: 1月1日からの日数 [d] \\ \varepsilon &: \text{最大視赤緯 } (23.45^\circ) \\ D_0 &: \text{春分点の日数 } (80 \text{ d}) \end{aligned}$$

計測地点の緯度 ϕ と計測する日にち D を指定すれば、式(2)を日積算することによって大気外日積算日射量が計算できる。

表1 計測された基本晴天指数： X
(静岡市、1991~1994年)

General weather condition	Samples [d]	Basic clearness index: X	
		Value	Standard deviation
Clear	152 (10.4 %)	0.662	0.042
Fair	247 (16.9 %)	0.633	0.050
Slightly cloudy	26 (1.8 %)	0.511	0.061
Cloudy	133 (9.1 %)	0.312	0.099
Rain	56 (3.8 %)	0.112	0.042
Heavy rain	14 (1.0 %)	0.072	0.023

4.3 基本晴天指数の計測

静岡市において、4年間に記録された天気概況のうちから単一の天気種類で表された天気概況の日にちのみを抽出し、それらの日の H_e と H_o とから Y を求めた。その結果を表1に示す。これらの値を「基本晴天指数： X 」と呼ぶことにする。一日中快晴の日の基本晴天指数0.662は、大気透過率の最大値⁽¹⁴⁾よりやや小さい。また、基本晴天指数の標準偏差が最大(0.099)であるのは一日中曇りの日である。このことは一日中曇りであってもその日によって晴天指数がかなりばらついていることを意味している。天気概況が単一の天気種類で表されていない日にち(57.0%)の天気概況は2つ以上の天気種類の組み合わせで表されている。なお、天気概況の中に霧、みぞれ、雪、雷などの天気種類が入ってくる日にちは全体の3.3%にすぎなかった。

5. 天気概況から天気指数を算定する手法

本節では以下のように、天気概況と基本晴天指数とを組み合わせることによって日平均晴天指数を算定する。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。

5.1 接続詞・副詞の数値化

天気概況を表す接続詞・副詞に関し、気象庁は天気概況用語として、"後"、"時々"、"一時"およびこれらを組み合わせた"後時々"、"後一時"の5種類の語句と、"を伴う"の合計6種類の語句を定めている⁽¹⁰⁾。これらのうち、主要な3種類の語句の意味を表2の中列に示す。"を伴う"は、"雨、雷を伴う"、"曇り一時雨、雪を伴う"などのように、雷や雪などが少

表2 天気概況を表す接続詞・副詞とその数値化

Conjunction, adverb	Meaning ⁽¹¹⁾	Time coefficient: T
Later	Boundary is a half of a period of G.W.C. However, it may be before and after about 1/6.	$\frac{1}{2}$
Occasionally	When phenomena occur intermittently a few times, the total times is less than a half of a period of G.W.C. When phenomena occur continually, the time is more than a quarter and less than a half of G.W.C.	$\frac{5}{16}$
Temporarily	When phenomena occur continually, the time is a quarter of a period of G.W.C.	$\frac{1}{8}$

しても観測された場合に用いられる。このように”を伴う”的意味は、その大気現象の発現期間の長短に関係なく、主要な天気概況に「伴う現象」を付加することである。この意味から、”を伴う”は時間係数として数値化することが困難である。また、”を伴う”が付加された天気概況（例えば、”雨、雷を伴う”）の日の晴天指数と、それが付加されない天気概況（例えば、”雨”）の日の晴天指数とを比較したところ差がほとんど見られなかった。これらのことから、”を伴う”という用語については本研究では取り上げないこととする。

接続詞・副詞の意味に従って、おののを次のように数値化する。”後”は昼間の時間の半分を表すので $1/2$,”時々”は $0 \sim 1/2$ と $1/4 \sim 1/2$ との平均をとつて $5/16$, ”一時”は $0 \sim 1/4$ の平均をとつて $1/8$ とする。これらの数値化された値を「時間係数」と呼ぶこととする。天気概況が複数の接続詞・副詞を含む場合は次節のようにこれらを適切に組み合わせる。

5.2 天気指数の算出式

(1) 天気概況を表現する語句の中に”後”が無い場合

例えば、”雲り一時晴れ”や”曇り時々晴れ一時雨”のような天気概況である。このような場合は、それらの天気概況が一日中続くことを意味している。すなわち、表2の時間係数を用いれば、後者では一日のうちで、 $5/16$ が晴れ、 $1/8$ が雨で、その残り（ $1 - 5/16 - 1/8$ ）が曇りであることを意味している。従って、この日の天気指数 W を、天気概況に含まれる副詞と基本晴天指数とで表現すると、次式のようになる。

$$W = \sum_{i=1}^{i_{\max}} T_i \cdot X_i \quad (6)$$

$$(T_1 = 1 - T_2 - T_3 - T_4) \\ i_{\max} \leq 4 \quad (7)$$

ここで、 T_i は*i*番目の天気種類を修飾する副詞の時間係数、 X_i は*i*番目の天気種類の基本晴天指数である。

(2) 天気概況を表現する語句の中に”後”が有る場合

例えば、”曇り一時雨後晴れ”や”晴れ後一時雨”のような天気概況である。そのような場合は、一日が午前と午後に分かれ、”後”から前の語句が午前中の天気概況を、後の語句が午後の天気概況を表している。従って、一日にわたる天気指数を求めようとするときには、それぞれの時間係数は表2で与えられる値に $1/2$ を乗じなければならない。また、”晴れ後一時雨”のような天気概況において”後”から後の”一時雨”だけでは意味をなしていない、正確には”晴れ一時雨”的ことである。従って、”晴れ後一時雨”は、”晴れ後（晴れ）一時雨”と解釈することにする。これらの事柄を考慮すると、この場合の天気指数 W は、次式で表されることになる。

$$W = \frac{1}{2} (W_1 + W_2) \quad (8)$$

$$W_1 = \sum_{i=1}^{i_{\max}} T_i \cdot X_i \quad (9)$$

$$(T_1 = 1 - T_2 - T_3)$$

$$W_2 = \sum_{j=1}^{j_{\max}} T'_j \cdot X'_j \quad (10)$$

$$(T'_1 = 1 - T'_2 - T'_3)$$

$$i_{\max} + j_{\max} \leq 4 \quad (11)$$

ここで、 T_i は”後”から前の語句に関し*i*番目の天気種類を修飾する副詞の時間係数、 T'_i は”後”から後の語句に関するそれ、 X_i は”後”から前の語句の*i*番目の天気種類の基本晴天指数、 T'_i は”後”から後の語句に関するそれ、である。式(6)から式(11)を組み合わせて求めた天気指数の計算例を表3に示す。

表3 天気指数の計算例

General weather condition	Calculation of eq. (6) to (11)			
Cloudy temporarily fair	$(1 - 1/8) \times 0.312 + 1/8 \times 0.662$			≈ 0.356
Cloudy occasionally fair temporarily rain	$(1 - 5/16 - 1/8) \times 0.312 + 5/16 \times 0.662 + 1/8 \times 0.112$			≈ 0.396
Cloudy temporarily rain later fair	$1/2 \times \{ (1 - 1/8) \times 0.312 + 1/8 \times 0.112 + 1 \times 0.662 \}$			≈ 0.475
Fair later cloudy temporarily rain	$1/2 \times \{ 1 \times 0.662 + (1 - 1/8) \times 0.312 + 1/8 \times 0.112 \}$			≈ 0.475
Fair later temporarily rain	$1/2 \times \{ 1 \times 0.662 + (1 - 1/8) \times 0.662 + 1/8 \times 0.112 \}$			≈ 0.628
Cloudy later occasionally fair	$1/2 \times \{ 1 \times 0.312 + (1 - 5/16) \times 0.312 + 5/16 \times 0.662 \}$			≈ 0.367

6. 計測晴天指数と天気指数との関係

6. 1 相関図

静岡市における1991年の3月および8月の計測晴天指数 Y と天気指数 W との相関を図2に示す。直線は各月の回帰直線を示す。1991年の12ヶ月のうち、3月の回帰直線の傾きが最大で切片が最小であり、8月の回帰直線の傾きが最小でその切片が最大である。その他の月の回帰直線はこれら2直線の間に位置する。天気概況が“曇り”のとき天気指数に対応する晴天指数のばらつきが大きい傾向はあるが、3月の相関係数は0.94であり、8月のそれは0.91であり相関性が強い。1991年から1994年までの4年間の月ごとの相関

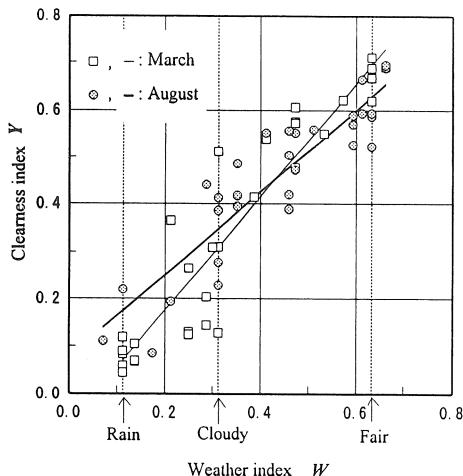


図2 計測晴天指数 Y と天気指数 W との相関
(静岡市, 1991年)

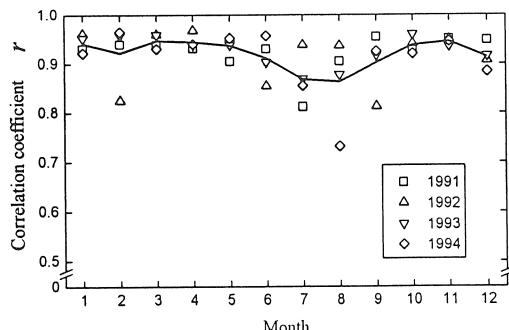


図3 晴天指数と天気指数との相関係数
(静岡市, 1991~1994年)

係数を求めるとき図3となる。相関係数は、異常気象であった1994年の8月を除けば、すべて0.8以上である。同図の実線は月ごとの相関係数の4年間の平均値を結んだものであり、その範囲は0.86~0.95、12ヶ月間の平均値は0.92である。なお、標準偏差の範囲は、0.05~0.07である。

6. 2 回帰直線

回帰直線の傾き a および切片 b の月ごとの値を図4に示す。実線はそれらの平均を結んだものであり、 a の月ごとの平均値は0.85~1.10、 b のそれらは-0.03~0.09の範囲にある。1年を通してみると回帰直線の傾きは夏期にやや低くなり、冬期にやや高くなり、その切片には逆の傾向が見受けられる。これは、大気中の水蒸気量およびエアマスに起因するとと思われる。 a の12ヶ月間の平均値は1.00、 b のそれは0.01であることから、計測晴天指数 Y と天気指数 W との関係は次式で表わすことができる。

$$Y \approx 1.00W + 0.01 \quad (12)$$

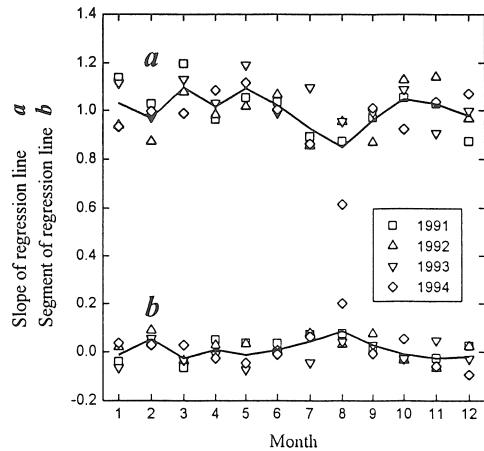


図4 晴天指数と天気指数との回帰直線の傾き a
および切片 b の値
(静岡市, 1991~1994年)

8. まとめ

日積算全天日射量とその日の天気概況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算出することを試みた。まず、4年間の天気概況のデータから、単一の天気種類で表された日にちのみを抽出し、天気種類ごとに晴天指数を求め、それを

基本晴天指数と名付けた。次に、天気概況の表現の中で使用されている接続詞・副詞を、気象庁が定めているそれらの意味に基づいて時間に関して定量化し、それを時間係数と名付けた。それらの基本晴天指数と時間係数とを適切に組み合わせることにより、"曇り時々晴れ一時雨"や"曇り一時雨後晴れ"などのような複雑に表現された天気概況の晴天指数を算出する式を提案した。その算出式に従って計算した晴天指数を天気指数と名付けた。最後に、計測日射量から求めた晴天指数と天気指数との相関をとったところ、相関性が高く（相関係数：0.92），晴天指数は天気指数の1次式で表してよいことが分かった。

従って、本手法を用いれば天気概況から晴天指数を介して日積算全天日射量が概算できる。翌日の天気概況である天気予報は、最近、精度よくなっているため、本手法を天気予報に適用することによって翌日の日積算日射量を予測できるものとなろう。

文 献

- (1) 太田時男編：「環境にやさしい新エネルギーの開発」，p. 86，同文書院（1993）
- (2) Y. Ookouchi, Y. Nawata, "Forecasting diurnal changes in weather variables for available solar energy usage," Solar Engineering 1991, The 1991 ASME/JSME/JSES International Solar Energy Conference, pp. 21-27 (1991)
- (3) 川崎憲介, 大西徳生, 鈴木茂行：「日射の地域分布の推定方法について」，電気学会論文誌B, Vol. 114, No. 2, pp. 131-136 (1994)
- (4) 吉門洋：「雲量から全天日射量を推定する方法の精度について」，天気, Vol. 34, No. 2, pp. 33-38 (1987)
- (5) 山村善洋：「日射量データによる気候特性および日射量と他の2, 3の気象要因との関連について」，宮崎大学農学部研究報告, Vol. 34, No. 1, pp. 183-195 (1987)
- (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) S. K. Adjepong, C. Okujagu, "Correlation between the time-series of air temperature and incident solar radiation at Port Harcourt, Nigeria," Solar & Wind Technology, Vol. 6, No. 6, pp. 725-727 (1989)
- (8) 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)
- (9) 大西春夫：「気象予測の現状と課題」，電気学会論文誌B, Vol. 115, No. 6, pp. 557-560 (1995)
- (10) 浅井富雄, 内田英治, 川村武：「気象辞典」, pp. 372-373, 平凡社 (1986)
- (11) 気象庁：「地上気象観測統計指針」, pp. 47-49, 気象庁, (1989)
- (12) M. C. Pereira, A. Rabl, "The average distribution of solar radiation-correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolations," Solar Energy, Vol. 22, pp. 155-164 (1979)
- (13) 大河内康正：「日射量の評価法」，八代高専紀要, Vol. 11, pp. 15-22 (1988)
- (14) 国立天文台編：「理科年表」, pp. 210-211, 丸善 (1995)