

直射況曲線および指定直射況曲線の 作成とその推定の可能性について

On estimating the specific values of duration curve and
appointed duration curve of direct-normal solar radiation

吉 田 作 松*
Sakumatsu YOSHIDA

篠 木 誓 一**
Seiichi SHINOKI

Abstract

Duration curve and appointed duration curve of direct-normal solar radiation are especially important for design and operation plan of such as solar power generation system. The observed radiation data necessary to make these curves is, however, quite poor in number of stations and in period of observation. Therefore, a method for estimating the specific values of these curves is required.

In this study, those curves are drawn by using 10-min. data for 8 stations, and specific values of the curves are picked up. Next, multiple regression analysis between those specific values and the related meteorological factors such as duration of sunshine, global solar radiation etc. which are observed at ordinary meteorological stations, are made. It is found that the specific values of duration curve and appointed duration curve are able to be estimated with sufficient accuracy by the regression equation obtained.

1. ま え が き

例えば太陽熱発電のように、太陽を追尾し集光してそれを熱または光のエネルギーとして利用するシステムの開発・計画などのためには、法線面直達日射量について、いろいろの情報が必要である。その一つとして、寺田・沢田・山崎¹⁾は直射況曲線および指定直射況曲線を提案した(これらの曲線の意味については2.1節で概説する)。これらの曲線の整備が大いに望まれるところであるが、それには次の問題がある。

- (1) これらの曲線を作成するのに必要な法線面直達日射量を実測している地点は、世界的にみて非常に少なく、わが国においても最近やっと10指を超えるようになった状況である。従って、実測データを用いて両曲線を作成することのできる地点は限られており、また、その期間もわずか数年間にすぎない。
- (2) 両曲線を作成するには、法線面直達日射量の1時間値ではなく、10分値を用いる必要がある⁶⁾ので、非常に手間のかかる仕事である。
- (3) 両曲線の年々の変動が大きいので(後出)、特定の年の両曲線ではなくて、平年の曲線が必要であ

るとともに、年による変動幅(標準偏差など)も知る必要がある。

- (4) 法線面直達日射量を実測していない地点の両曲線を推定する方法が必要である。

これらの問題を解決することを目的として、本研究においては、現在(1980年)得られる8地点、延べ12年分の法線面直達日射量データ(10分値)を収集・整備し、それを用いて直射況および指定直射況曲線を作成し、それらの性質を解析するとともに、気象官署(150地点余)の気象データを用いて両曲線を推定する方法の作成を試みた。

(注) 用語「日射量」と「日射強度」について
以後本論文では、下記のように用語を使い分けることにする。

日射量：一定時間にわたる日射の積算量。ここでは、10分間積算量や“くり越し”(後述)分の合計量などの意味で用いる。

日射強度：ある瞬間の日射の強さ、または一定時間帯の平均強度。ここでは10分間平均強度の意味で用いる。

* (財)日本気象協会中央本部 技術部長
Technical Div., Japan Weather Association

** (財)日本気象協会研究所 研究員
Laboratory, Japan Weather Association

2. 直射況曲線および指定直射況曲線の作成

2.1 直射況曲線および指定直射況曲線について

直射況曲線とは、ある期間（季節、年など）について、法線面直達日射強度の度数分布を計算し、その累積度数（または時間数）を図に表わしたものである。この曲線は、河川の流況曲線に相当するもので、直達日射がある強度以上（または以下）である時間数を示す。

また、指定直射況曲線は、ある指定強度（例えば 0.6 kW/m^2 ）以上の直達日射が、ある時間（例えば 4 時間）以上継続するような日が、年間何日あるかといった統計を、いろいろな日射強度、いろいろな継続時間について行い、その結果を図に表わしたものである。

2.2 データ

これまでの直射況曲線および指定直射況曲線の作成例では、法線面直達日射の 1 時間積算量から求めた 1 時間平均強度が用いられている。しかし、直達日射のアナログ記録を見ると 1 時間内でも日射強度が複雑に変化していることがしばしばある（図 1）。解析に 1 時間データを使用するということは、この変化を平滑化してしまうことになり、解析結果にも相当な影響があることがわかっている³⁾⁶⁾。このため本研究では、アナログ記録データに、より近い 10 分間データを用いることとした。

収集・整備したデータは、次のとおりである。

データ：毎 10 分間法線面直達日射積算量（平均強度 $[\text{kW/m}^2]$ に変換して使用）。

地点および期間：8 地点、延べ 12 年分（表 1）。

2.3 作成の方法

(1) 日射強度階級区分

ここで使用した日射データは、 $0.1 \text{ cal/cm}^2 \cdot 10 \text{ min}$ (IPS-1956 スケール*) の単位で観測・記録されたものであるが、1981 年から気象庁で採用された新単位・新スケールに合わせて、WRR スケール*の 0.05 kW/m^2 刻みで階級区分をすることとし、その換算を行なって使用した。

(2) 期間区分

年間を通じての計算のほか、次の季節別にも計算する。

春：3～5 月 夏：6～8 月
秋：9～11 月 冬：1, 2, 12 月

* 同じ単位で測った場合、(WRR スケールでの観測値) = $1.022 \times$ (IPS-1956 スケールでの観測値) の関係がある。

ただし、推定法作成の対象とするのは、年の曲線である。

(3) 指定直射況曲線のためのデータ処理

a) 継続時間

$\geq 1^h, \geq 2^h, \dots, \geq 9^h$ の 1^h 刻み。

b) くり越し計算

指定直射況の計算には『くり越しなし』（蓄熱装置がない場合に相当する）と、『くり越し計算』との二通り考えられるが、本研究では後者の場合を扱う。

『くり越し計算』は無限量の蓄熱装置を付属させる場合に相当する。現実には無限量の蓄熱装置は不可能であるが、寺田・沢田・山崎¹⁾の太陽熱発電シミュレーションの結果によれば、約 0.6 kW/m^2 以上の強さの日射を利用する場合の年間発電量は、蓄熱容量を無限大にした場合と、実用的と言われる 1～2 時間容量にした場合とで、ほとんど差がないから、ここでの無限量の設定は十分意味のあるものといえる。ここで用いた『くり越し計算』の要領は次のとおりである。

ア. 法線面直達日射が指定強度に達した後は、指定強度を超えた分の日射量を以後にくり越す。実日射量とくり越し日射量の合計が指定強度以上である間を継続時間とする。

イ. ただし、実日射強度が 0.2 kW/m^2 未満になったなら、それ以後は継続を打ち切り、全日射量をくり越していく。

ウ. 実日射強度が 0.2 kW/m^2 以上に回復し、かつ、くり越し日射量との合計が指定強度に達すれば、新たな継続時間とする。

エ. 1 日に 2 回以上の継続があった場合は、継続時間の長い方だけを採用する（実際に長短合わ

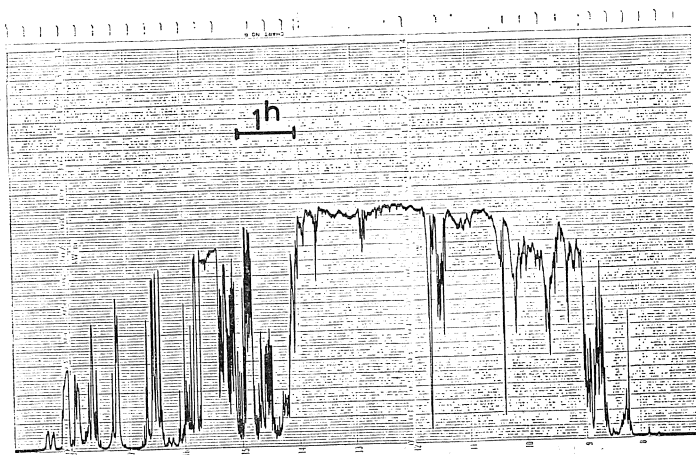


図 1 法線面直達日射アナログ記録例

せて数回の継続が現われることがある。1~2時間程度の継続が1日に2回以上現われることは、しばしばある)。

(4) 欠測の処理

デジタル記録で10分値が欠測の場合、アナログ記録から可能な限り読み取ってデータを補充したが、それもできない場合は、その日は全日欠測とした。

欠測日があった場合の各季節および年間の時間数・日数は、統計結果に(全日数)/(観測日数)を乗じることにより、欠測が無い場合の時間数に修正した。

また、閏年についても、これに準じて平年に修正した。

表1 解析対象地点とデータ期間

地名	データ期間 (カッコ内は欠測日数)	観測機関
札幌	1978年(2), 1979年(4)	気象庁
仙台	1980年(10)	日本気象協会 (サンシャイン計画)
松本	1979年(2)	気象庁
名古屋	1978年(9), 1980年(6)	日本気象協会 (サンシャイン計画)
仁尾	1979年6月~1980年5月(8)	"
福岡	1978年(5) 1979年(2)	気象庁
鹿児島	1975年10月~ 1976年9月(12)	日本気象協会 (サンシャイン計画)
那覇	1978年(24), 1979年(10)	気象庁

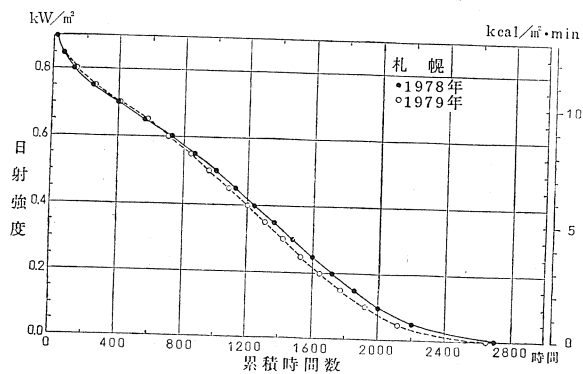


図3(1) 年間直射況曲線の年による比較

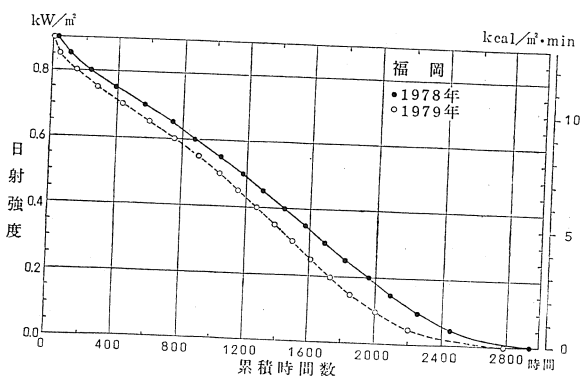


図3(3) 年間直射況曲線の年による比較

データ使用期間における欠測日数は表1の()内のとおりである。

2.4 作成結果

季節別の曲線も作成したが、ここでは松本の例を図2に示すにとどめ(各地の状況については、文献4)参照)、今回推定式作成の対象とした年間の直射況および指定直射況曲線を図3~図6に示す。

図3は、直射況曲線の年による相違を表わすもので、2年分のデータを用いた4地点について作成されている。札幌、那覇は、作成された2年の差が小さいが、名古屋と福岡ではかなりの差がある。

図4は、直射況曲線の地点による差異を見るために、

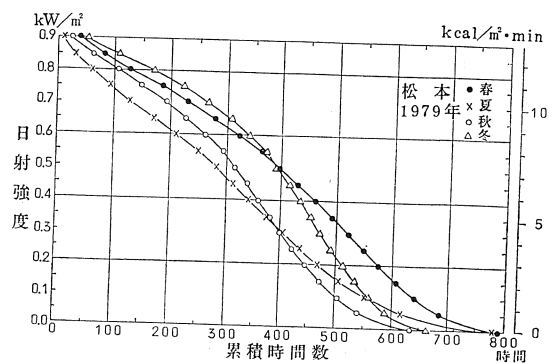


図2 各年の季節別直射況曲線の比較。春(3~5月), 夏(6~8月), 秋(9~11月), 冬(12~2月)

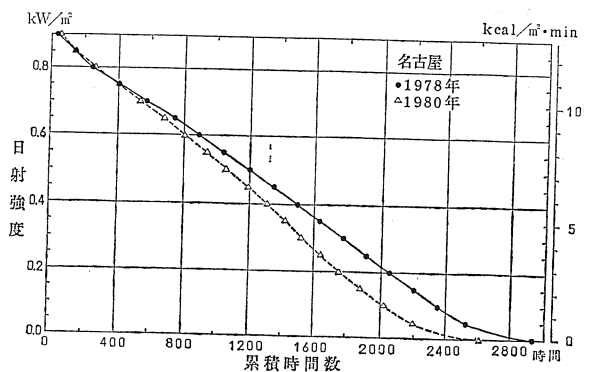


図3(2) 年間直射況曲線の年による比較

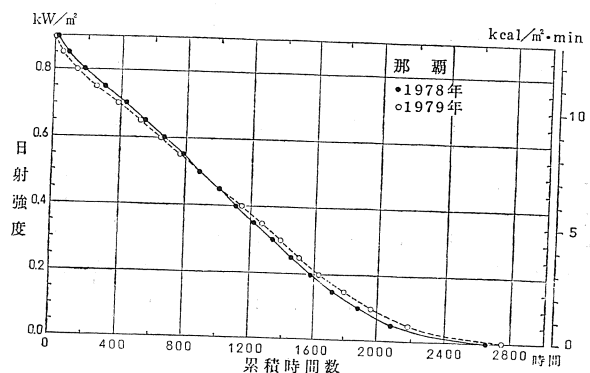


図3(4) 年間直射況曲線の年による比較

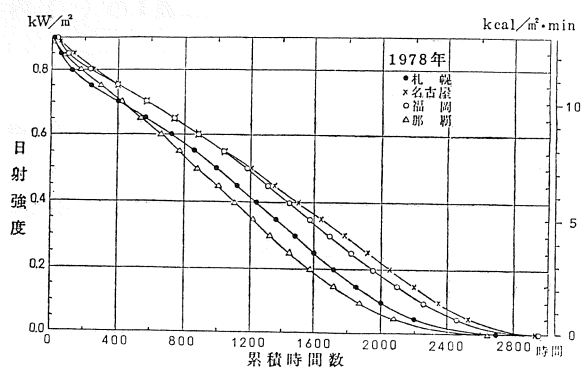


図 4(1) 各年の直射況曲線の地点間比較

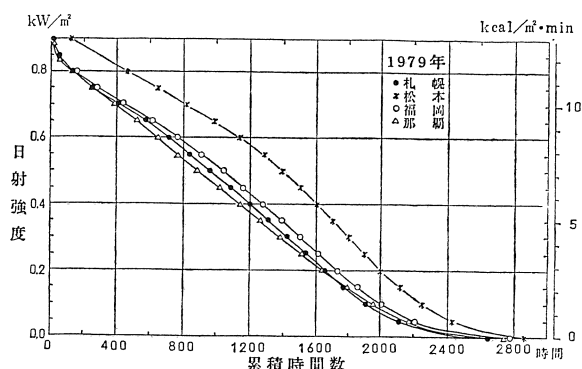


図 4(2) 各年の直射況曲線の地点間比較

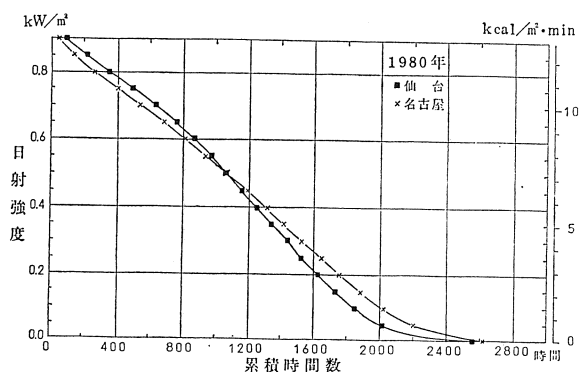


図 4(3) 各年の直射況曲線の地点間比較

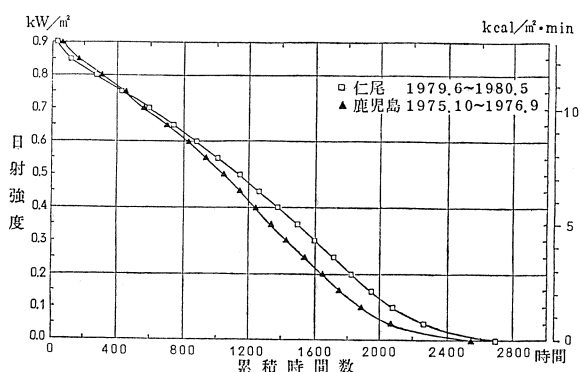


図 5 仁尾と鹿児島の間年直射況曲線

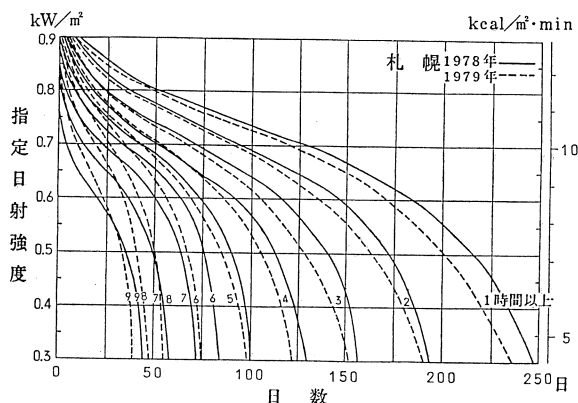


図 6(1) 各地の年間指定直射況曲線

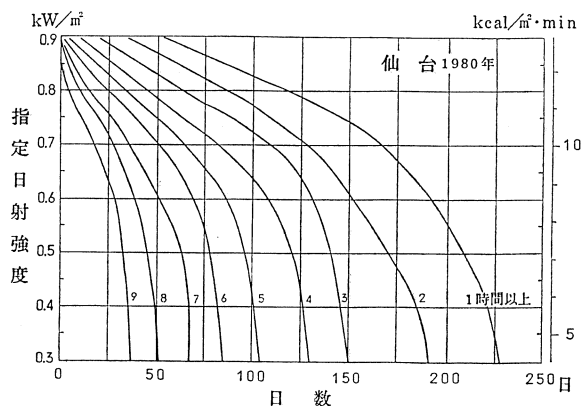


図 6(2) 各地の年間指定直射況曲線

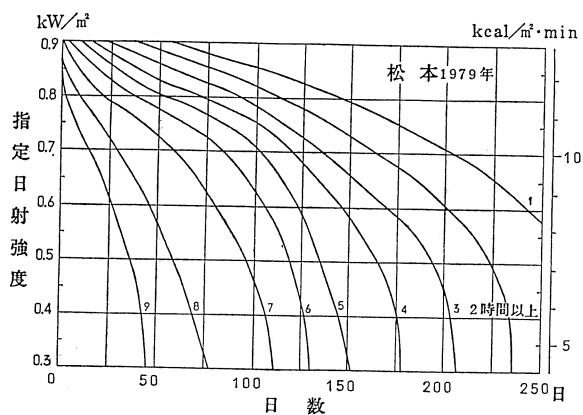


図 6(3) 各地の年間指定直射況曲線

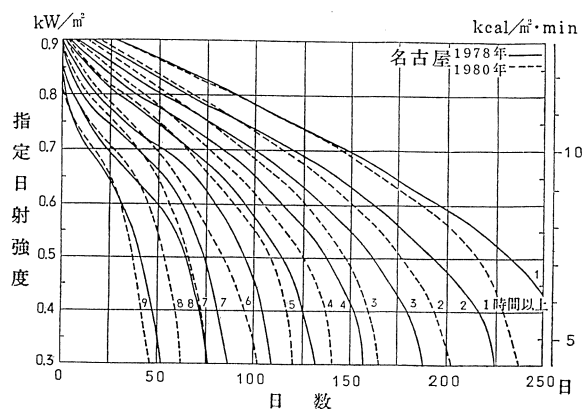


図 6(4) 各地の年間指定直射況曲線

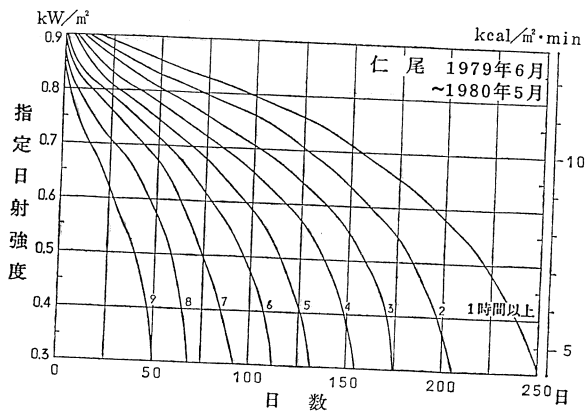


図 6(5) 各地の年間指定直射況曲線

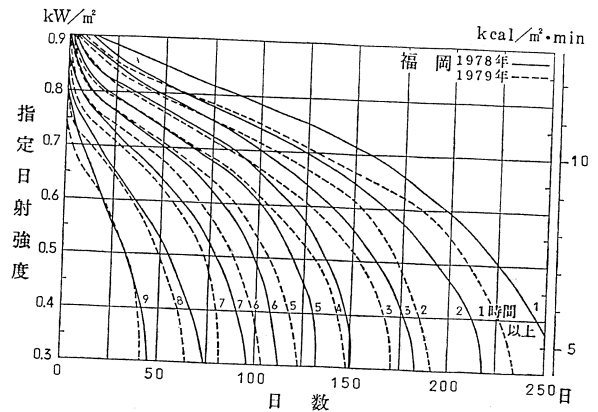


図 6(6) 各地の年間指定直射況曲線

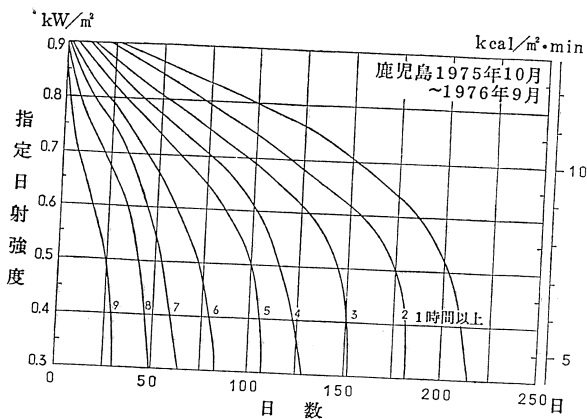


図 6(7) 各地の年間指定直射況曲線

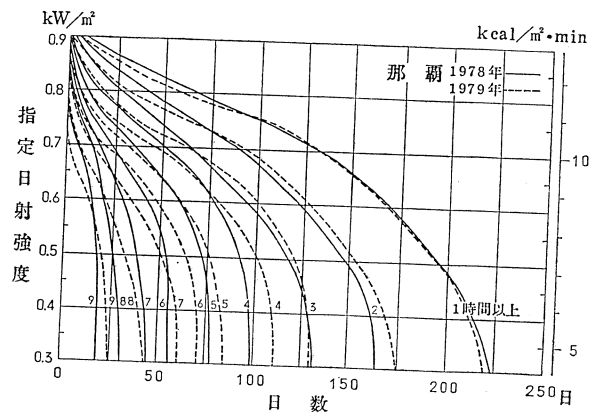


図 6(8) 各地の年間指定直射況曲線

同じ年のデータを用いた複数地点の曲線を1枚の図に示したものである。札幌・福岡・那覇の曲線を比較すると、1978年では3地点間で相当な差があったが、1979年では大差ない。

図5は資料として掲載したもので説明を省略する。

図6は指定直射況曲線の全8地点分である。

以上からわかるとおり、直射況および指定直射況曲線ともに、場所により、また年により相違する。従って、曲線を地点間の比較すなわち太陽エネルギー利用の優劣の判断や計画に用いるには、平年の曲線ならびに年々の変動幅を知る必要がある。

3. 直射況および指定直射況曲線の推定法作成について

3.1 推定法作成の方針

本研究では、年間の直射況および指定直射況曲線の推定法を試みることにする。

両曲線の推定の方法の一つとして、例えば風況曲線がワイブル分布で良く近似できるように、曲線を表現する関数形を見つけることにより、その関数のパラメータと気象要素との関係を求めるという手法が考えられ

る。しかしながら、図7に例示した直射況曲線のヒストグラムの形からも明らかなように、分布は二山型を示しており、これをある分布関数で表現することは、なかなか困難であり、適当な関数が見つからなかった。

そこで本研究では、両曲線を近似的に表現できる代表的な特性値（例えば、直射況曲線の日射強度 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 kW/m² 以上の各累積時間数）を設定し、それぞれの特性値を他の気象要素から推定する方式を作成することとした。

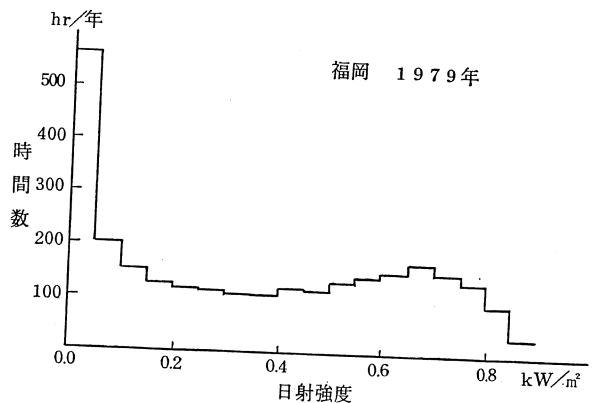


図 7 10分平均法線面直達日射強度別年間積算時間の例

ここで設定した特性値は次のとおりである。

T_i ($i=0.2, 0.4, 0.6, 0.8$): 直射況曲線において、日射強度が i [kW/m^2] 以上であった年間累積時間

D_{jk} ($j=0.4, 0.6, 0.8, k=2, 4, 6$): 指定直射況曲線において、指定直射強度を j [kW/m^2] としたときの、継続時間が k [hr] 以上となる年間日数

つまり、直射況曲線では4個、指定直射況曲線では継続時間 2, 4, 6 時間以上の3本の曲線について各3点の計9個の特性値を推定して、曲線全体を近似しようという考えである。図3~6からわかるように、これだけの特性値がわかれば、実用上十分な程度に両曲線を表現できる。これら特性値を推定する式の作成には、重回帰分析(要因増加法)を用いる。

3.2 各種気象因子と特性値との相関

気象官署で実測されているか、または推定法が作成されている気象因子のうち、有効と考えられる因子として、次のものが考えられる(今後使用する記号をまとめて表2に掲げる)。

$\bar{H}$, $\bar{I}$, n , n/N , $\bar{K}_T$, C_d

$\bar{H}$, $\bar{I}$ [$\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{day}$]: これらは、実測がない地点でも気象官署については推定計算が可能である²⁾⁴⁾⁵⁾⁷⁾。

n [hr/月]: 全国の気象官署で観測されている(ジョルダン日照計使用)。

n/N , $\bar{K}_T$, C_d [0~1]: いずれも天気の良いし悪しの指

表2 本研究で使用する記号

記号	説明
$\bar{I}_0$	各月の δ (太陽赤緯) の平均日における I_0 (大気外法線面直達日射強度)
$\bar{I}$	法線面直達日射量の年平均値
$\bar{H}$	全天日射量の年平均値
$\bar{K}_T$	晴天指数 $= \bar{H}/\bar{H}_0$ ($\bar{H}_0$: 大気外水平面日射量)
n	日照時間
n/N	日照率 (N : 可照時間)
C_d	雲量
C_i	うす雲指数 $= n/N + C_d - 1$
A	各月の大気透過率
$\bar{A}$	A の年平均値
$A_{\max}$	各月の A のうちの最大値
$\bar{h}$	南中時太陽高度の年平均値
l_0	各月の δ 平均日の太陽南中時エアマス (大気的光学的路程)
$\bar{I}_0 A^{l_0}$	$\bar{I}_0 A^{l_0}$ (快晴日の南中時法線面直達日射強度にあたる) の年平均値
$(\bar{I}_0 A^{l_0})_{\max}$	各月の $\bar{I}_0 A^{l_0}$ のうちの最大値
T_i	直射況曲線において、法線面直達日射強度が特定強度 i [kW/m^2] 以上であった年間累積時間。例えば、 $T_{0.4}$ は日射強度が $0.4 \text{ kW}/\text{m}^2$ より大きい時間数を示す。
D_{jk}	指定直射況曲線において、指定日射強度 j [kW/m^2]、継続時間が k [hr] 以上の年間日数。

標となる。

両曲線の特性値と、これらの気象因子との相関関係の例を図8~11に、また、全特性値と気象因子との単相関係数を表3(上段)に示す。図8, 10を見ると、 $0.4 \text{ kW}/\text{m}^2$ の日射レベルにおいては、直射況、指定

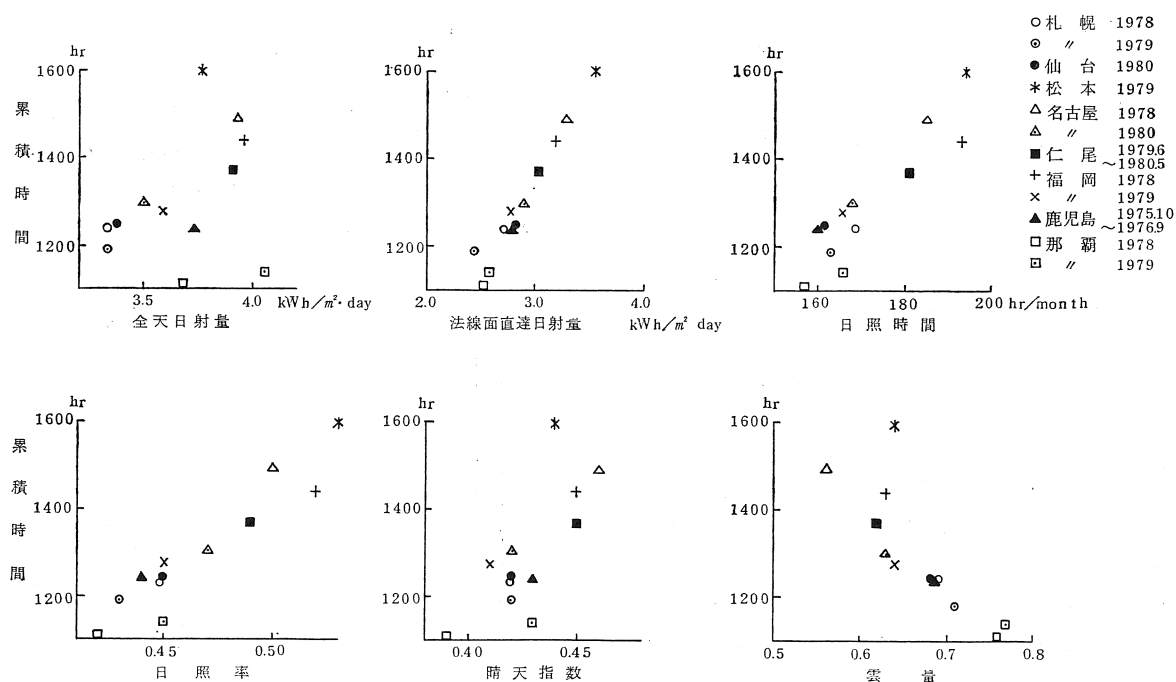


図8 年間直射況曲線の代表的特性値と各気象要素との相関図。特性値は日射強度 $0.4 \text{ kW}/\text{m}^2$ 以上の累積時間

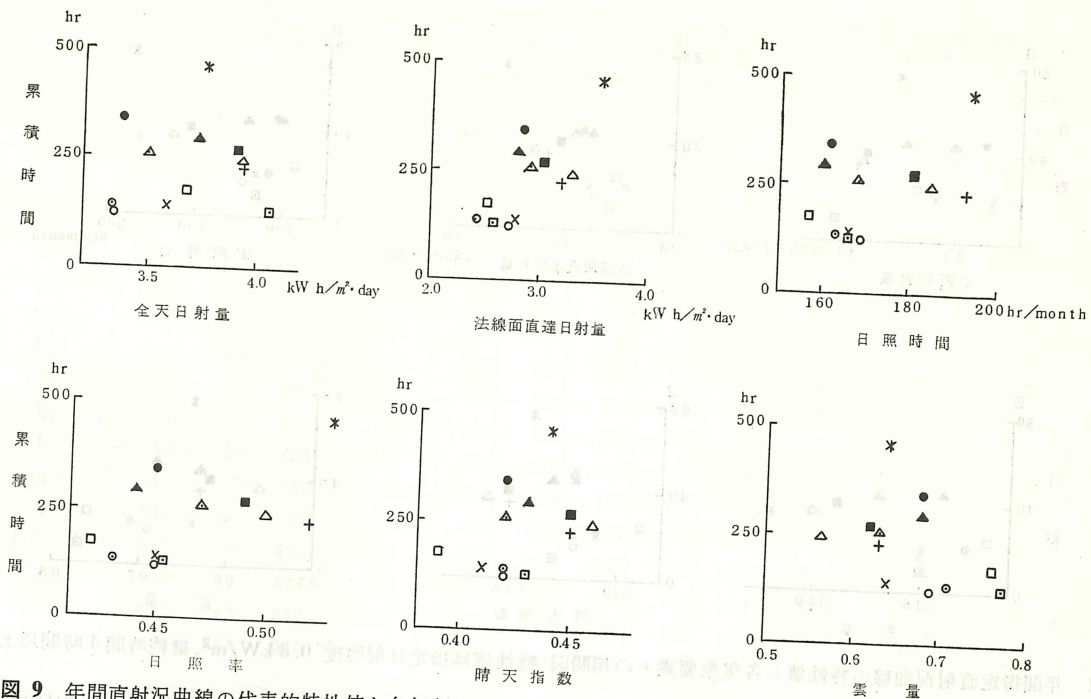


図9 年間直射況曲線の代表的特性値と各気象要素との相関図。特性値は日射強度 0.8 kW/m^2 以上の累積時間

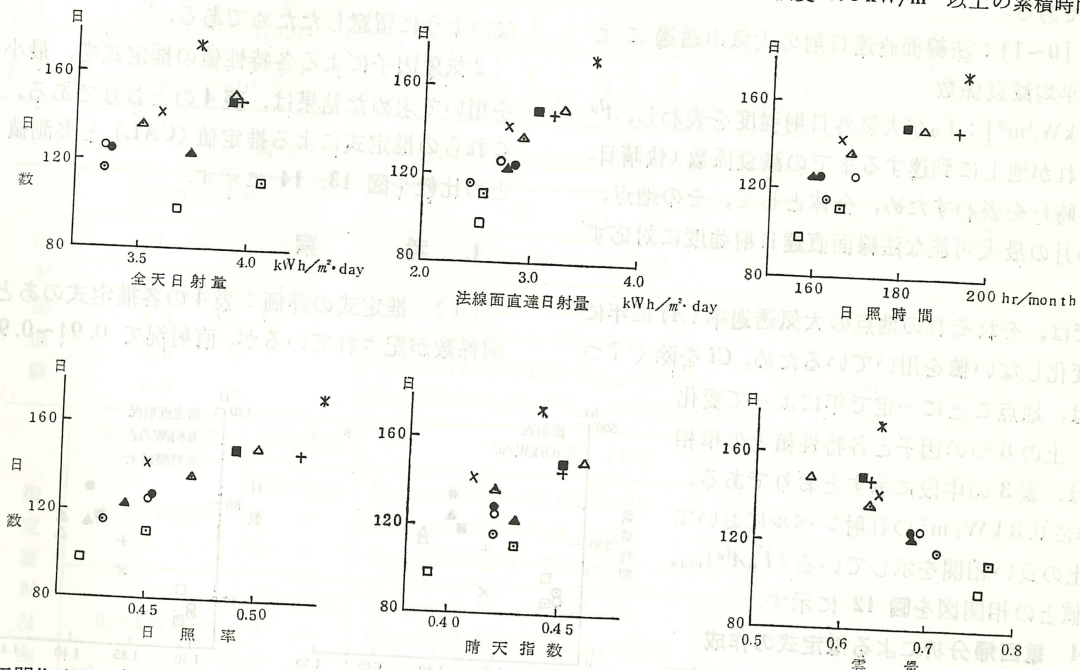


図10 年間指定直射況曲線の特性値と各気象要素との相関図。特性値は指定日射強度 0.4 kW/m^2 、継続時間4時間以上の日数

直射況とともに、 $\bar{I}$, n , n/N が良好な相関を示している。これは、直射況の 0.2 kW/m^2 および、直射況・指定直射況の 0.6 kW/m^2 のレベルにも共通しており、最良の因子と特性値との単相関係数は、それぞれ0.9を超えている。一方 0.8 kW/m^2 の日射レベルにおいては、どの因子とも相関が悪く(図9, 11), かくうじて $\bar{I}$ との間に0.8弱の相関がみられるだけである。

次に、前述の気象因子だけでは、 0.8 kW/m^2 の日射レベルの特性値との良好な相関が得られないのと、他

の日射レベルについても更に複数の因子を用いて相関を良くする必要があると判断し、次の因子を追加した(記号は表2参照)。

$C_i, \bar{h}, \sin \bar{h}, \bar{A}, \bar{A}^{\cos \bar{h}}, A_{\max}, \bar{I}_0 A^{I_0}, (\bar{I}_0 A^{I_0})_{\max}$

$C_i [0 \sim 1]$: C_d が全雲量であるのに対し、直射日光をある程度透過するうす雲(主として上層雲)だけの量を近似的に表わす⁵⁾。

大気透過率 $A [0 \sim 1]$: 10年間の資料から作成された月別マップ⁴⁾⁸⁾ からその地点の値を読み取った

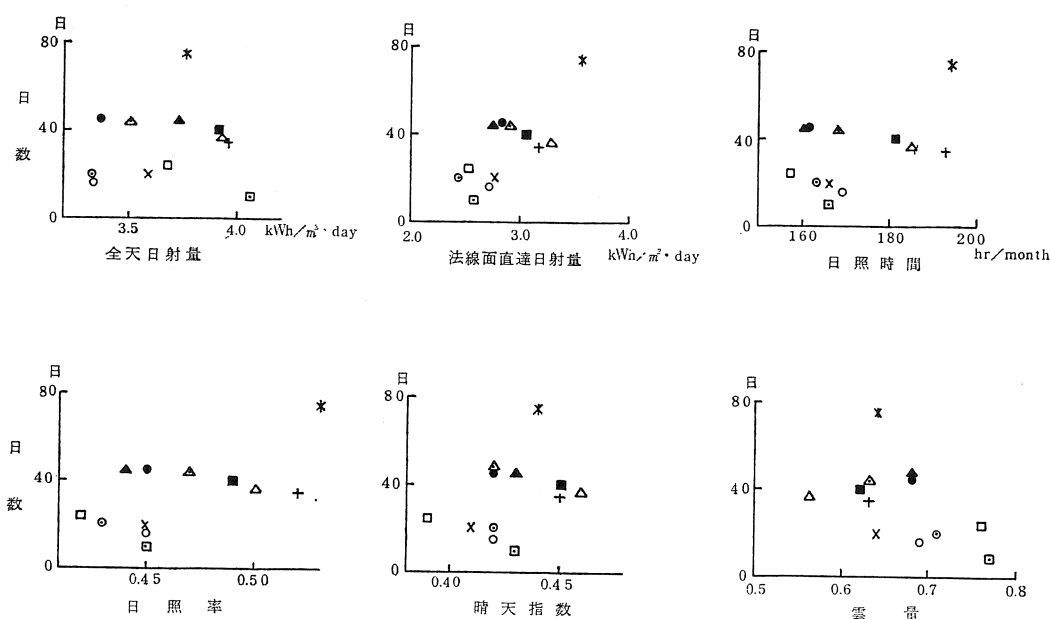


図 11 年間指定直射況曲線の特性値と各気象要素との相関図. 特性値は指定日射強度 0.8 kW/m^2 , 継続時間 4 時間以上の日数

ものである。

$\bar{A}^{\cos \theta}$ [0~1]: 法線面直達日射の大気中通過による年平均減衰係数

$\bar{I}_0 A^{\ell_0}$ [kW/m^2]: $\bar{I}_0$ が大気外日射強度を表わし, A^{ℓ_0} はそれが地上に到達するまでの減衰係数 (快晴日, 南中時) を表わすため, 全体として, その地点, その月の最大可能な法線面直達日射強度に対応する。

ここでは, それぞれの地点の大気透過率 (A) に年によって変化しない値を用いているため, C_i を除く 7 つの因子は, 地点ごとに一定で年によって変化しない。上の 8 つの因子と各特性値との単相関係数は, 表 3 の中段に示すとおりである。また, 特に 0.8 kW/m^2 の日射レベルにおいて 0.9 以上の良い相関を示している $(\bar{I}_0 A^{\ell_0})_{\max}$ と特性値との相関図を図 12 に示す。

3.4 重回帰分析による推定式の作成

直射況曲線の特性値である 4 通りの年間累積時間 (T_i) と, 指定直射況曲線の特性値である 9 通りの年間日数 (D_{jk}) の計 13 種類の目的変数に対し, 上述の 14 種類の気象因子をすべて説明変数候補として, 要因増加法による重回帰分析を行なった。その結果各特性値について選ばれた気象因子と, 各特性値との間の相関係数を表 3 (下段) に示す。表で第 1 ステップは因子が 1 個の場合, 第 2 ステップは因子が 2 個の場合である。説明変数を 2 個にとどめたのは, わずか 12 の標本数に対

して, オーバーフィッティング (over-fitting) にならないように留意したためである。

2 気象因子による各特性値の推定式を, 最小自乗法を用いて求めた結果は, 表 4 のとおりである。また, これらの推定式による推定値 (CAL) と実測値 (OBS) との比較を図 13, 14 に示す。

4. 考 察

(1) 推定式の評価: 表 4 の各推定式のあとに重相関係数が記されているが, 直射況で 0.94~0.99, 指定

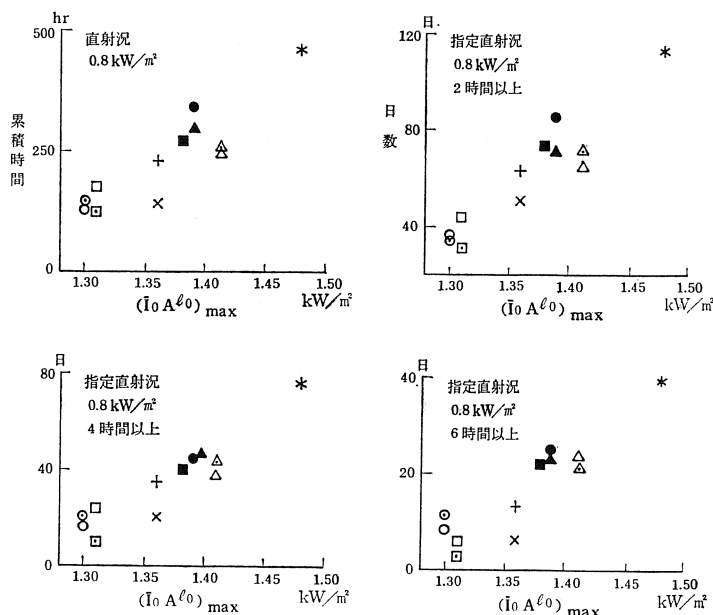


図 12 日射レベル 0.8 kW/m^2 の各特性値と $(\bar{I}_0 A^{\ell_0})_{\max}$ との相関図 (記号は図 8 と同じ)

表 3 年間の直射況ならびに指定直射況曲線の代表的特性値と各気象要素との間の単相関係数
および要因増加法で選ばれた 2 気象要素との間の重相関係数

因 子		直 射 況				指 定 直 射 況								
		kW/ m ² ≥0.2	≥0.4	≥0.6	≥0.8	指定日射強度 0.4 kW/m ²			同 0.6 kW/m ²			同 0.8 kW/m ²		
						≥2 h	≥4	≥6	≥2 h	≥4	≥6	≥2 h	≥4	≥6
No.	記 号													
1	$\bar{H}$	0.459	0.337	0.191	0.111	0.283	0.271	0.316	0.228	0.258	0.245	0.108	0.084	0.041
2	$\bar{I}$	.915	.973	.921	.737	.956	.921	.912	.928	.951	.945	.795	.773	.759
3	n	.942	.913	.791	.571	.883	.795	.817	.777	.841	.877	.617	.583	.556
4	n/N	.933	.943	.831	.588	.943	.904	.928	.850	.904	.922	.653	.629	.609
5	$\bar{K}_T$	.796	.747	.597	.375	.740	.687	.709	.591	.698	.167	.391	.378	.487
6	C_d	-.810	-.812	-.667	-.420	-.782	-.824	-.805	-.666	-.761	-.748	-.535	-.500	-.560
7	C_i	-.362	-.356	-.247	-.102	-.314	-.405	-.359	-.229	-.318	-.284	-.209	-.180	-.279
8	$\bar{h}$	-.160	-.233	-.224	-.043	-.293	-.272	-.237	-.225	-.244	-.283	-.073	-.095	-.229
9	$\sin \bar{h}$	-.111	-.175	-.167	.009	-.239	-.209	-.172	-.167	-.178	-.223	-.011	-.040	-.175
10	$\bar{A}$	.542	.686	.744	.648	.725	.687	.631	.677	.714	.701	.678	.690	.798
11	$\bar{A}^{\cos \bar{h}}$	.599	.726	.815	.854	.717	.697	.661	.724	.762	.704	.874	.860	.871
12	$A_{\max}$	.403	.572	.679	.636	.607	.570	.521	.601	.648	.589	.652	.666	.784
13	$\bar{I}_0 A^{I_0}$	.633	.768	.852	.861	.738	.760	.742	.788	.824	.758	.910	.876	.847
14	$(\bar{I}_0 A^{I_0})_{\max}$	.638	.802	.908	.903	.779	.794	.767	.853	.867	.800	.942	.927	.912

要因増加法によって選択された因子と重相関係数（カッコ内）

step 1	n (.942)	$\bar{I}$ (.973)	$\bar{I}$ (.921)	$(\bar{I}_0 A^{I_0})_{\max}$ (.903)	$\bar{I}$ (.956)	$\bar{I}$ (.921)	n/N (.928)	$\bar{I}$ (.928)	$\bar{I}$ (.951)	$\bar{I}$ (.945)	$(\bar{I}_0 A^{I_0})_{\max}$ (.942)	$(\bar{I}_0 A^{I_0})_{\max}$ (.927)	$(\bar{I}_0 A^{I_0})_{\max}$ (.912)
step 2	C_i (.978)	$\bar{h}$ (.985)	$A_{\max}$ (.952)	C_d (.937)	$\sin \bar{h}$ (.981)	$\bar{h}$ (.943)	C_d (.952)	$\bar{H}$ (.944)	$A_{\max}$ (.970)	$\bar{h}$ (.968)	C_i (.953)	C_i (.942)	$A_{\max}$ (.945)

表 4 年間の直射況および指定直射況曲線の特性値の推定式

特性値の種類		推 定 式		相関係数	標準誤差	
直 射 況 曲 線	日 射 強 度	累 積 時 間 [hr]			① [hr]	② [%]
	0.2 kW/m ² 以上	$T_{0.2}=11.409 n-973 C_i-70$		0.98	34	2
	0.4 "	$T_{0.4}=425.5 \bar{I}-4.35 \bar{h}+316$		0.99	25	2
	0.6 "	$T_{0.6}=314.0 \bar{I}+1579 A_{\max}-1345$		0.95	41	5
	0.8 "	$T_{0.8}=2073.5 (\bar{I}_0 A^{I_0})_{\max}+566 C_d-2978$		0.94	35	15
指 定 直 射 況 曲 線	指定日射強度	継続時間	日 数 [日]		[日]	[%]
	0.4 kW/m ²	2 hr 以上	$D_{0.4,2}=57.9 \bar{I}-85 \sin \bar{h}+94$	0.98	4	2
		4 "	$D_{0.4,4}=56.7 \bar{I}-0.78 \bar{h}+13$	0.94	7	5
		6 "	$D_{0.4,6}=401 n/N-98 C_d-32$	0.95	6	7
	0.6 kW/m ²	2 hr 以上	$D_{0.6,2}=63.5 \bar{I}-15.7 \bar{H}+26$	0.94	7	5
		4 "	$D_{0.6,4}=48.2 \bar{I}+174 A_{\max}-174$	0.97	5	4
		6 "	$D_{0.6,6}=48.4 \bar{I}-0.68 \bar{h}-34$	0.97	4	6
	0.8 kW/m ²	2 hr 以上	$D_{0.8,2}=431.6 (\bar{I}_0 A^{I_0})_{\max}+83 C_i-540$	0.95	7	12
		4 "	$D_{0.8,4}=319.9 (\bar{I}_0 A^{I_0})_{\max}+73 C_i-412$	0.94	6	17
		6 "	$D_{0.8,6}=134.2 (\bar{I}_0 A^{I_0})_{\max}+146 A_{\max}-282$	0.95	3	21

直射況で 0.94~0.98 とかなり高く、十分実用性のある式と言える。標準誤差（①欄）は、直射況で 25~41 時間、指定直射況で 3~7 日であり、特に日射強度や継続時間の長さによらないようである。右の欄（②）はこれらを各特性値の平均値で割ってパーセントで表わしたものである。直射況、指定直射況とも、0.6 kW/

m² のレベルまでは推定誤差が数パーセント以下である。0.8 kW/m² では誤差の絶対値は他の日射レベルと変わらないが、平均値（時間数、日数）が小さいため、比率 [%] で表すと大きくなる。

（2）最も相関のよい因子の特徴：要因増加法の第 1 ステップでは、単相関係数が最も大きい因子が選ば

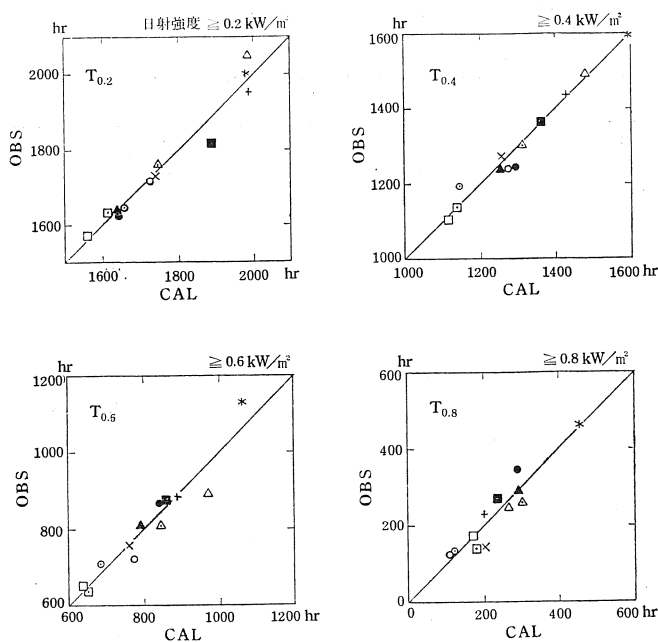


図 13 直射況曲線特性値 (T_i) の推定値 (CAL) と実測値 (OBS) との比較 (記号は図 8 と同じ)

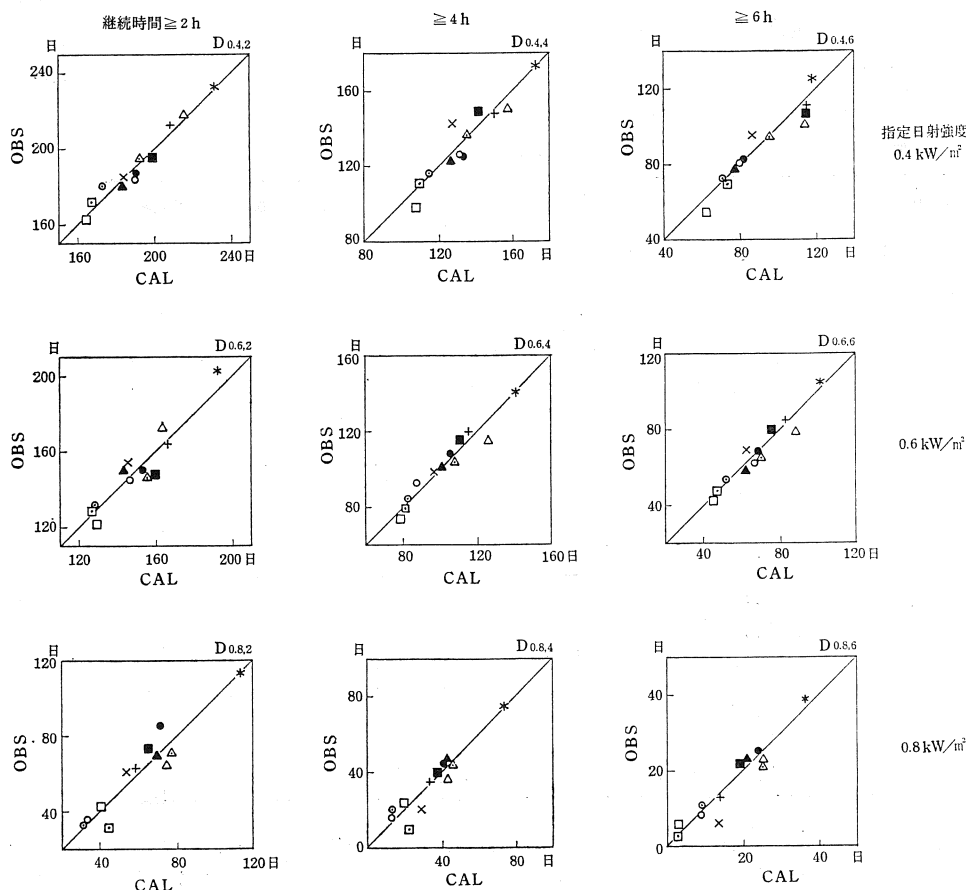


図 14 指定直射況曲線特性値 (D_{jk}) の推定値 (CAL) と実測値 (OBS) との比較 (記号は図 8 と同じ)

れる。表 3 (下段) にみるように、このような因子として、直射況および指定直射況とも、日射強度が 0.6 kW/m^2 以下では $\bar{I}$, n または n/N が選ばれている

が、これら 3 因子の間の内部相関が大きいので、もっとデータ数を増やして解析すれば、相互に入れ替わる可能性がある。

日射強度が 0.8 kW/m^2 の場合には、第 1 ステップで、すべて $(\bar{I}_0 A^0)_{\max}$ が選ばれている。この因子は、各月の快晴日の太陽南中時における法線面直達日射強度のうち、最大値を示す月の値で、具体的には 1~3 月のことが多い。大気透過率は年によって変わらないと仮定しているので、この値は地点ごとに一定である。従って、この因子単独では、ある地点における直射況・推定直射況の年による変動を説明することはできない。おそらく、 0.8 kW/m^2 という高いレベルの日射強度の場合は、天気の良い前に、まず強い日射が現われうる地点でなければ特性値が大きくなることを、この結果は示しているものと考えられる。

(3) 第 2 ステップの因子について：第 2 ステップで選ばれる因子は、2 番目に相関の高い因子では

なく、第 1 因子と組合せて重相関が最も高くなる因子である。表 3 (下段) および表 4 をみると、第 2 ステップで選ばれた因子はいろいろであり、その中には、選ばれた理由、偏回帰係数の符号等、物理的に解釈しにくいものもある。これはおそらく、第 1 因子だけで相関係数が非常に高いこと (0.9 以上)、ならびに標本数がわずか 12 個であることの 2 つの理由によるものであろう。

(4) 指定直射況の計算方法 (シミュレーション条件) について：2.3 (3) で述べたように、今回指定直射況を計算した方法では、

実日射強度が 0.2 kW/m^2 未満になると、それまでのくり越し日射量による補てんはせずに、中断として取扱う。1 時間値で平均 0.2 kW/m^2 という場合は、

かなりはっきりした直達日射の中断とも言えるが、それを 10 分値に適用すると、10 分間だけ太陽が雲にかくれても、それで発電を中止してしまうというやや極端な条件になる。その結果、10 分値と 1 時間値の両方による指定直射況曲線の比較では、一般に 10 分値を用いた結果の方が、年間日数が少なく出ている⁶⁾。

もしこれが、好ましくないとすれば、どのように変更すべきであろうか。それは、実際の利用システムの特性とのかねあいであり、一概には言えないことであるが、例えば、1 時間値の場合と同じように、 0.2 kW/m^2 未満が 1 時間以上継続した時に中断とするならば、10 分値では 6 回以上連続したものをとればよいし、1 時間値では見逃してしまう 2 時間にまたがった中断（実質 1 時間）も、10 分値を使えば検出可能である。またこの種の中断は、夕方（例えば 15 時以降）に限り、その日の終了としてとらえることもできよう。

いずれにしても、10 分値を用いることにより、1 時間値よりきめの細かい、実用に合致した計算が可能なのであるから、今後の解析ではこの点を踏まえ、取扱い方法を検討改良して行くべきであろう。

5. ま と め

太陽エネルギー利用技術のうち、太陽熱発電のように太陽を追尾して直達日射を利用するシステムの開発や計画のために、直射況曲線および指定直射況曲線は非常に有用である。しかし、法線面直達日射量を観測している地点数が少ない現在、実測データを用いてこれらの曲線を作成できる地点数も年数も限られている。

本研究においては、気象官署で観測されている気象因子および計算可能な因子を用いて、年間の両曲線を近似的に表現する特性値を推定する方式の作成を試みた結果、推定が十分可能であることが示された。これにより、全気象官署（150 余地点）について、平年の両曲線ならびにその年々の変動状況を推算し、その全国マップを作成することができるとの見込みがついた。ただし、今回は解析用データ（法線面直達日射量の 10 分間値）が 8 地点、延べ 12 年分で、推定式の確定のため

に十分多いとはいえない。今後さらにデータを増やして再解析を行なうことが望まれる。

なお、この研究は工業技術院サンシャイン計画気象調査の一環として行なわれたものである。発表を許可くださった同院に深謝申し上げる。詳細については、昭和 54 年度および 55 年度同計画報告書⁴⁾を参照されたい。また、一部の日射データを提供していただいた気象庁、および両曲線の計算方法についてご教示いただいた電子技術総合研究所の寺田浩一郎氏に対しお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 寺田浩一郎・沢田慎治・山崎 隆：太陽熱発電所のための年間直達日射量のデータ処理。電気学会情報処理研究会資料（IP-78-56），10 P，（1979）。
- 2) 日本気象協会：太陽エネルギーシステムの研究（気象調査），昭和 51 年度サンシャイン計画委託調査研究報告書，（1977）。
- 3) 日本気象協会：同 上，昭和 54 年度報告書，（1980）。
- 4) 日本気象協会：同 上，昭和 55 年度報告書，（1981）。
- 5) 吉田作松・篠木誓一：日本における月平均全天日射量およびその年々の変動度のマップの作成。日本気象学会機関誌“天気”，25，375-389，（1978）。
- 6) 吉田作松・篠木誓一：10分間データと1時間データによる直射況曲線および指定直射況曲線の差について。日本太陽エネルギー学会第7回研究発表会講演論文集，No.4，（1981 a）。
- 7) 吉田作松・篠木誓一：日本における月平均法線面直達日射量の平年値およびその年々の変動係数のマップの作成。日本気象学会 1981 年度秋季大会講演予稿集，No.341，（1981 b）。
- 8) 吉田作松：日射量の全国マップその 4。大気透過率。日本太陽エネルギー学会機関誌“太陽エネルギー”，8，37-53，（1982）。

（昭和 58 年 3 月 11 日 原稿受理）