

# 多傾斜面日射量の測定と評価に関する研究

学生員 ○田村純雪 (東京農工大学)  
会員 大谷謙仁 (産業技術総合研究所)  
会員 黒川浩助 (東京農工大学)

**Study of the instant separation into direct and scattered radiation using instant solar radiation**

○Junsetsu TAMURA\*, Kenji OTANI\*\*,  
Kosuke KUROKAWA\*,

**\*Tokyo University of Agriculture and Technology**  
2-24-26, Naka-cho, Koganei, Tokyo, 184-8588 Japan  
Phone: 042-388-7445 / fax: 042-388-7445  
E-mail: junsetsu@cc.tuat.ac.jp

**\*\*National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)**

## ABSTRACT

New model is developed that can estimate in-plane irradiation from horizontal global irradiation. Especially, it is showed that new model can estimate diffuse component correctly rather than existing model by using diffuse component ratios and clearness indices. It is considered that measuring solar radiation by minute has favorable influences instead of hourly data. The fluctuation of solar radiation by minute contributes to estimating diffuse component. Also, this paper suggests that minutely irradiation should be measured more of hourly irradiation.

**KEYWORDS:** *In-plane Irradiation, Horizontal Irradiance, Clearness Index, Scattered Component Ratio*

キーワード：傾斜面日射、水平面日射、晴天指数、散乱比

## 1.はじめに

近年、自然エネルギーの推進が盛んになってきている。自然エネルギーの代表として太陽光発電と風力発電があるが、国土面積の小さい日本においては、建物と一体化が可能な太陽光発電システムの大量導入が今後期待されている。しかし自然エネルギーの供給は、その自然状況(雲など)に影響され、エネルギー供給の安定性には問題

がある<sup>1)</sup>。このため事前にエネルギー供給量を把握し瞬時に見積もりを出すことは、エネルギー事情を考える上で必要不可欠である。

太陽光発電システムは従来、南向き約 30° の傾斜で設置する方法が行われていたこともあり、システムの発電量評価のために用いられる傾斜角は、簡易的な代用値での評価しか行われていなかった。しかし設置地点における種々の制約条件やシステム多様化により、太陽電池を最適傾斜角(最大日射を得られる設置傾斜角)で設置しないシステムが多くなり、また建材一体型モジュールの開発・導入により太陽電池が屋根や壁面と一体になったシステムも数多く登場してきている。現在、建築形態が多種多様になり、システムに入射する日射を簡易的に代用してしまうと、正確な太陽光発電システムの発電量の把握は困難になってきている。更に、システム個別に十分な計測器を配備しているケースは、計測システムのコスト・メンテナンスなどの問題から極めて稀であるのが現状である。更に複合太陽電池(一つのサイトに複数の太陽電池を設置)といった特殊な形状をもつものも増加し、その多方位・多傾斜の太陽電池に入射する日射を正確に把握することは、現時点では困難である。このため多種多様な形状の太陽光発電システムに対応した、且つ簡易的な日射評価法を確立する必要がある。

## 2.研究目的

以上から本研究は、日射データが水平面日射のみの場合に限定した、精度の良い斜面日射算出の新手法の開発を目的とする。本研究において開発される新手法は、新たな外部パラメータを必要とせず、入力水平面日射(更に、そこから算出可能な晴天指数も)のみを用いることが望まれ、且つ、一般での利用価値も高いと考える。

## 3.新手法の紹介

一般に、太陽光発電システムの斜面に入射する日射を算出する際、計測器が日射計 1 台(設置条件：水平面日射計測)の場合、得られる日射データ(水平面日射)を斜面日射に(太陽光発電システム設置角に合わせて)換算することになる。斜面日射に換算する流れとして、

水平面日射を直達成分と散乱成分に分離、そのあとに直達成分と散乱成分を併せ、太陽光発電システムの設置角を考慮して斜面日射に換算するのである。繰り返しになるが、入手可能日射データが水平面日射だけであった場合、その値から散乱日射(散乱成分)と直達日射(直達成分)の値を算出しなければならない。このように水平面日射の値から散乱日射と直達日射の値を算出する、この操作を「直散分離」という。

しかし一般的に、直散分離の算出精度は悪く、その理由として雲の変動・種類の違いに起因する天候の変化が大きな影響を与えられている。雲の量、またその形態によって天空の散乱比は全く異なり、その上時々刻々と変化することで散乱比の変動(天候の変動)を繰り返す。更に雲の移動速度は速いことから、日射データの1時間値と比べると1分値のバラツキは大きくなり、斜面日射算出はより困難となる。

以上から、天候の変動を水平面日射(日射データ)のみで判断することを可能とすること、且つ各天候に対応した直散分離の換算処理手法を新たに提案することで、斜面日射の算出精度を上げられることを見出した。そしてそのためには新しいパラメータを定義し、導入する必要があると考えた。

まず、地上に到達する日射からの天候状態を表すパラメータとして、晴天指数を紹介する。晴天指数  $K_T$  は次式(1)で求まる。

$$K_T = \frac{H}{H_0} \dots \dots (1)$$

ここで、 $H_0$  は大気外日射、 $H$  は水平面日射である。この式からわかるように、水平面日射の計測データが得られ、一方、大気外日射は計算から求まることから、晴天指数  $K_T$  は算出が容易である。また一般的に、水平面散乱日射の算出には散乱比  $K$  が必要になり以下の式で算出が可能になる。

$$K = \frac{H_d}{H} \dots \dots (2)$$

しかしこの式からもわかるように、散乱比を算出するには水平面散乱日射  $H_d$  の計測データが必要になり、水平面散乱日射を計測しているサイトは稀であるため入手は困難である。以上のことから、晴天指数  $K_T$  から散乱比  $K$  を算出することが求められる。

ここで、今回我々が提案する手法に必要な新パラメータを紹介する。新パラメータは雲による日射増減の影響を示す指標として、移動変動値として定義したものである。移動変動値は、観測時刻とそれ以前2分前(1分間での天空上の雲の移動距離は大きいため、最低限の間隔として設定)までの晴天指数(合計3つ)の、移動平均値からの誤差の合計で示される。移動平均値  $A$  の算出の式を式(3)に示し、移動変動値  $M$  の算出の式

を式(4)に示す。この移動変動値が大きければ、その日の天候の変化は激しく、移動変動値が小さければ、天候は安定であることがわかる。移動変動値は次式で表される。

$$A = \frac{1}{3} \sum_{s=0}^2 K(t-s) \dots \dots (3)$$

$$M = \sum_{s=0}^2 |A - K(t-s)| \dots \dots (4)$$

ここで、 $t$  は現在の時刻(分)、 $s$  は0分前、1分前、2分前までの移動平均値算出までの変数である。

上記した各種パラメータ(晴天指数・移動変動値)を用いて水平面日射から散乱比の算出、更に斜面日射算出までの流れを示す(算出は1分間隔で行う)。

1. 水平面日射の取得
2. 2分後まで水平面日射を取得後、3分間の晴天指数の平均値(移動平均値)を算出
3. 平均値(移動平均値)とその時点での晴天指数の差(移動変動値)を算出
4. 晴天指数と移動変動値を用いて散乱比を算出
5. 散乱比を用いて水平面散乱日射の算出
6. 水平面散乱日射から水平面直達日射を算出し、そこから斜面日射を算出

ここで、4. で述べた、今回提案する散乱比算出式である晴天指数 散乱比モデルと移動変動 散乱比モデル(両モデル併せて以下新手法と記す)を紹介する。

新手法は、従来から多くの技術者に採用されている Erbs 手法<sup>2)</sup>と同様、散乱比  $K$  を算出するための手法であり、以下に示す晴天指数 散乱比モデルと同様の形式である。ここで晴天指数と散乱比の相関図を示す(図3参照)。しかしこの相関図から、全ての天候はおよそ三つの天候領域に分類することができ、特に晴天指数およそ0.5~0.7については、快晴や曇天のように安定な天候も含みながら、晴天指数と散乱比の相関だけではバラツキが大きくなってしまいうことが確認できる。そこで、移動変動値を参考に、移動変動値と散乱比の相関(図4参照)からの回帰式を用い、その回帰式を移動変動値 散乱比モデルとし、バラツキの大きい薄曇りや変動の天候についての散乱比算出に用いた。

$K_T$ : 晴天指数、 $K$ : 散乱比

・晴天指数 散乱比モデル

$$K = A * K_T^4 + B * K_T^3 + C * K_T^2 + D * K_T + E \dots \dots (5)$$

・移動変動値 散乱比モデル

$M$ : 移動変動値

$$K = F * \log * M + G \dots \dots (6)$$

補足として、晴天指数=<0.5、晴天指数=>0.7の時、晴天指数 散乱比モデルを適用させ、0.5<晴天指数

<0.7 の時、移動変動値 散乱比モデルを適用させる手法を採用した。以下図 3 には晴天指数と散乱比の相関図を、図 4 には移動変動値と散乱比の相関図を示す。

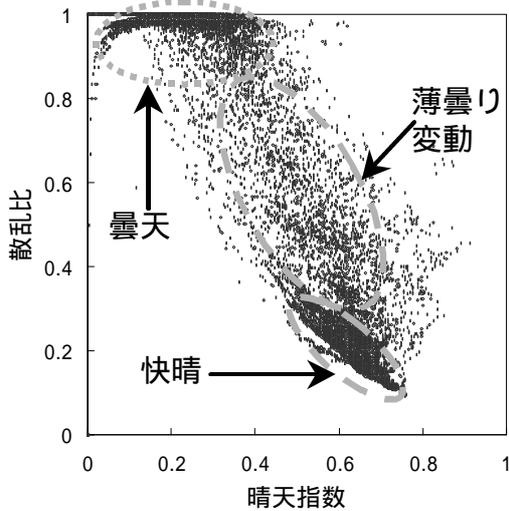


図 3 晴天指数と散乱比の相関

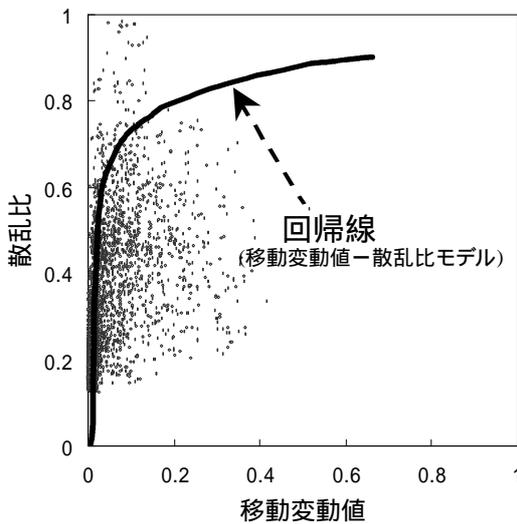


図 4 移動変動値と散乱比の相関

#### 4. 計測設備

ここで計測設備について説明する。計測場所は、東京農工大学小金井校舎屋上(北緯 35.696 度、東経 139.52 度、海拔 58m)である。日射データは、0 時～24 時(24 時間)における日射強度の 1 分間隔の瞬時値を計測データとして得た。観測に用いた機器は、英弘精機製、精密全天日射計 MS-801 である。計測値は水平面日射および水平面散乱日射、更に斜面日射(傾斜角 35 度)である。

#### 5. 結果

計測設備からの日射データ(1999 年 4 月～2001 年 3 月)を利用して式(5)および式(6)を月毎に用意し、その各数式に対応した係数を Table1 に月別に紹介した。更に式(5)、式(6)を用いて斜面日射の算出を行った。

Table1-a 係数一覧

月	係数 A	係数 B	係数 C	係数 D	係数 E
1	10.033	9.3586	-1.1371	0.8635	0.916
2	10.211	-10.351	-0.0571	0.5209	0.9479
3	8.6186	-8.9333	-0.1586	0.4836	0.9565
4	13.916	-18.65	5.3198	-0.3974	0.9869
5	17.298	-23.984	8.0988	-0.9021	1.0072
6	14.456	-18.911	5.3649	-0.4561	0.9909
7	15.177	-20.667	6.4343	-0.632	0.9889
8	12.21	-15.217	3.3488	-0.0983	0.9647
9	12.331	-14.68	2.5787	0.1381	0.956
10	9.7097	-9.3422	-0.6632	0.6695	0.9438
11	9.0567	-7.3496	-1.9829	0.8115	0.94
12	2.2498	5.261	-9.1315	2.0306	0.8846

Table1-b 係数一覧

月	係数 F	係数 G
1	0.1134	0.915
2	0.1016	0.9213
3	0.0925	0.8995
4	0.084	0.8969
5	0.0902	0.942
6	0.0604	0.8494
7	0.103	0.8988
8	0.0763	0.876
9	0.093	0.9135
10	0.1133	0.9579
11	0.1082	0.8925
12	0.1015	0.8101

斜面日射の算出には東京農工大学の日射データを用い、適用させた期間は 2000 年 1 月から同年 12 月(1 年間分)である。流れとして、式(5)、式(6)から 1 分毎に散乱比を算出し、そこからは Perez 手法<sup>2)</sup>を利用して斜面日射を算出した。更に 1 分毎の斜面日射から、最も利用価値が高いと考える時間積算値として斜面日射量を算出し、その斜面日射量算出精度評価のため既存の直散分離モデルとして広く利用されてきた Erbs 手法<sup>2)</sup>を用い(図中 Erbs と記す)、今回提案する新手法(図中 Tamura と記す)との比較を行った。精度の評価指数として MBE(Mean Bias Error)(MBE(7))と RMSE(Root Mean Square Error)(RMSE(8))を用いた。 $I_E$ : 算出傾斜面日射量、 $I_M$ : 計測斜面日射量

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^n (I_E - I_M)}{n} \dots \dots (7)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_E - I_M)^2}{n}} \dots \dots (8)$$

先に述べたが、変化する天候に対応した新手法の作成を目的とするため天候別に評価を行った。以下に晴天指数と移動変動値を用いた天候基準を定義示す。

Table2 天候の判断基準値(晴天指数と移動変動値)

天候	晴天指数 $K$	移動変動値 $M$
快晴	$K \geq 0.6$	$M \leq 0.02$
曇天	$K \leq 0.4$	$M \leq 0.02$
変動		$M > 0.05$
うす曇り	$0.4 < K < 0.6$	

定義した天候は「快晴」「曇天」「変動」「うす曇り」である。「快晴」は一日を通じて日射量が多く(晴天指数が大きく)、雲による影響が小さい天候と定義する。これは移動変動度が小さいことを意味する。また「曇天」は晴天指数が小さく、移動変動値が小さい天候を意味する。一方「変動」は雲による影響が大きいため、移動変動値が大きい。さらに「うす曇り」は天空に広がる雲が多く晴天指数が比較的小さい天候を意味する。

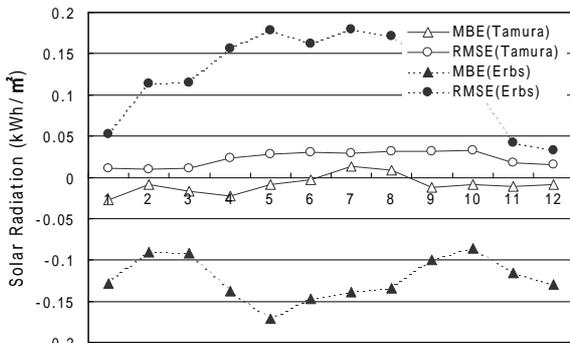


図2 快晴

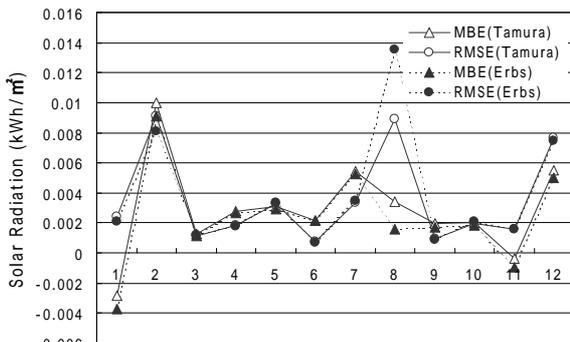


図3 曇天

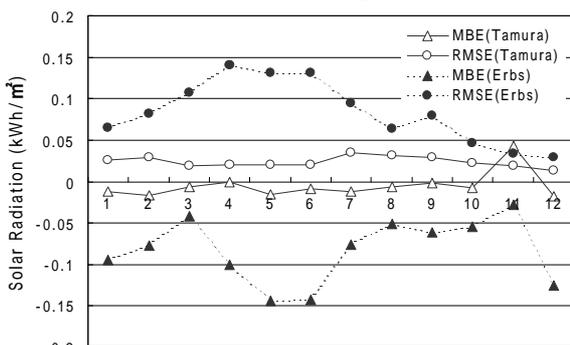


図4 うす曇り

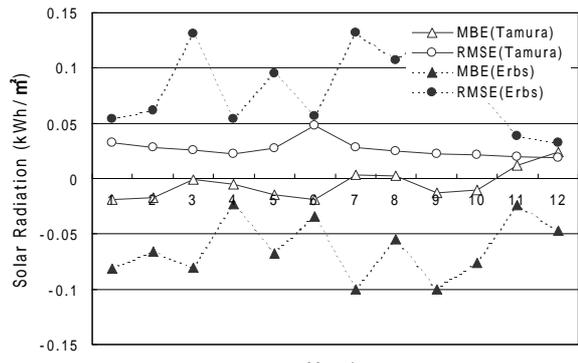


図5 変動

ここで「快晴」「曇天」「うす曇り」「変動」の順に図2から図5まで示した。天候別に結果を比較すると、「快晴」「うす曇り」「変動」の3つについて、年間を通して斜面日射量を算出する際、今回提案する新手法が有効だという結果になった。一方「曇天」に関して、斜面日射量の算出は既存のモデルと大きく変わりはなく、顕著な精度の改善は見られなかった。

次に、全ての天候を含む場合の斜面日射量算出を行い、評価を行った。図6にその結果を示す。

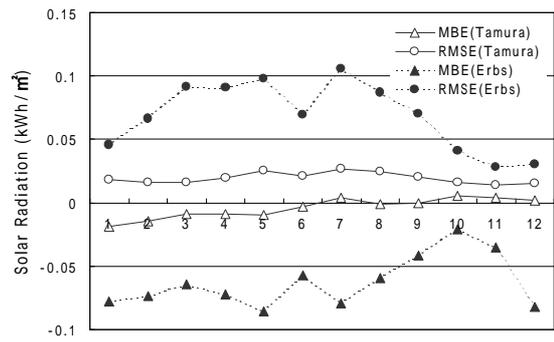


図6 全天候

図6から、全天候に今回提案した新手法を適用し年間を通して斜面日射量を算出する際、既存のモデルよりも有効だという結果が得られた。

## 6. 結論

今回、太陽光発電システム評価の中でも重要な要素である傾斜面日射量について、水平面日射のみから算出する新手法の作成を目的として結果を示すことができた。本研究から今回提案する新手法が既存のモデル式よりも精度良く斜面日射量算出に貢献を示すことができた。しかし、特定地域に対応した手法から、広域に対応することのできる手法の検討も行っていく必要があり、更なる改良を今後の課題とする。

## 7. 参考文献

- 1) 柴田和雄, 内嶋善兵衛: 太陽エネルギーの分布と測定, 学会出版センター, pp.33-36 (1987).
- 2) 新太陽エネルギー利用ハンドブック編集委員会: 新太陽エネルギー利用ハンドブック, 日本太陽エネルギー学会, (2000).