

観測日射量の瞬時直散分離に関する研究

学生員 田村純雪（東京農工大学）

会員 黒川浩助（東京農工大学）

会員 大谷謙仁（電子技術総合研究所）

A study of the instant separation into direct and scattered radiation using instant solar radiation

Junsetsu Tamura*, Kousuke Kurokawa*,
and Kenji Otani**

*Tokyo University of Agriculture and Technology
2-24-16, Naka-cho, Koganei-shi, Tokyo, 184-8588, JAPAN
FAX: +81-42-385-6729, E-mail: junsetsu@cc.tuat.ac.jp

**Electrotechnical Laboratory
1-1-4 Umezono, Tukuba, Ibaraki, 305-8568, JAPAN

Abstract

For designing photovoltaic systems appropriately, it is necessary to estimate solar radiation on an inclined surface at arbitrary azimuth and tilt angles accurately. In fact, there are many case which relate to analysis and estimation of solar radiation to estimate photovoltaic system. To convert the horizontal radiation for in-clined radiation, it is necessary to separate the horizontal radiation to direct and scattered radiation. Then, we started to make the estimation model which can separate the horizontal radiation to direct and scattered radiation accuracy. In this paper, we have 4-classification for weather to make estimation madel and examined the accuracy.

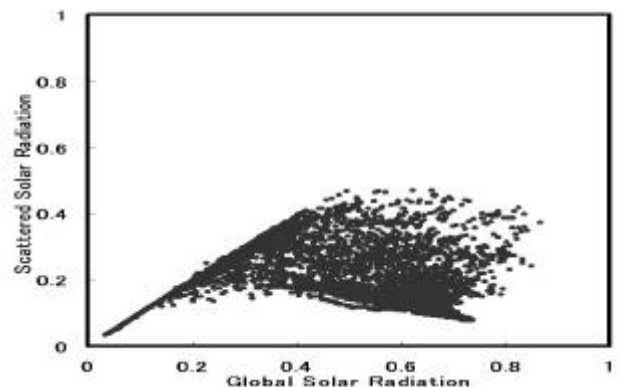
1 はじめに

太陽光発電システムの普及に伴い、システムの多様化が進み複合アレイや曲面アレイを持つシステムが数多く登場してきている。以上のシステム特性評価のため、アレイが受ける日射量を正確に把握しておく必要がある。従来太陽電池といえば南向きで約 30° 傾斜させて設置するということが一般的であり、参照値での代用が可能であった。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へのニーズから、必ずしも太陽電池を最適傾斜角（最大日射量を得られる設置傾斜角）で設置しないとい

うシステムが登場し始め、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が数多く見られるようになってきた。現在では建物自体の建築形態が多様であることから太陽光発電システムも多様になり、被曝日射量を簡易的に代用することは困難になってきている。またシステム個別に十分な計測器を配備することは計測システムのコスト・保守管理などの問題から実現が極めて困難である。既存のシステムにおいても、複合アレイを持ちながら計測器は 1 台しか無い、また傾斜面日射計が無く水平面日射計しか無いといったケースが数多く見られる。

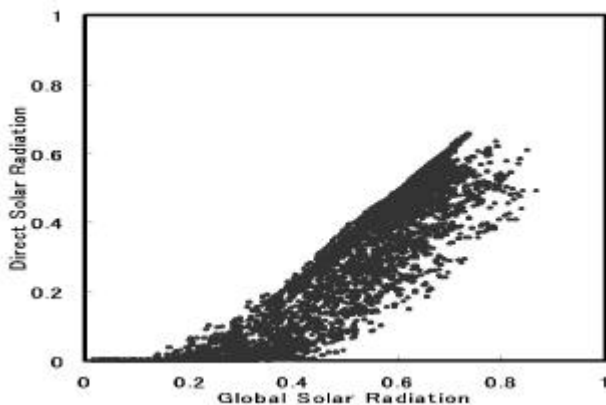
2 . 直散分離問題

計測器が日射計 1 台(設置条件：水平面全天日射量計測の場合)の場合、得られる日射量のデータをアレイの設置角に合わせて換算することになる。この換算された値を傾斜面日射量という。傾斜面日射量に換算する手法として、水平面全天日射量を直達成分と散乱成分に分離、直達成分と散乱成分を傾斜面日射量に換算する手法がある。一般に、得られるデータが水平面全天日射量だけであった場合、その値から散乱日射量と直達日射量の値を推定しなければならない。このように水平面全天日射量の値から散乱日射量と直達日射量の値を推定する操作を「直散分離」という。しかし直散分離手法による散乱日射量、直達日射量の推測精度は低く、現在改良が求められている。



散乱日射強度 全天日射強度特性

図 1-a 日射強度の相関関係



直達日射強度 全天日射強度特性
 図 1-b 日射強度の相関関係

直散分離の推定精度が低い理由として雲の変動・種類の違いが大きな影響を与えると考える。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を繰り返す。更に雲の移動速度は速いことから、時積算値と比べると1分値のバラツキは大きくなり、推定はより困難となる。このため散乱放射、直達放射共に1対1の対応関係を与えることは稀である¹⁾。

ここで図 1-a には散乱日射強度と全天日射強度の相関、図 1-b には直達日射強度と全天日射強度の相関を示す。図 1-a、図 1-b 共にこれらに適切な相関関係を見出すのが容易でないことは明らかである。現在これらに相関関係を与えるものとして、晴天指数と散乱比の相関を考えている。ここでの晴天指数とは、水平面全天日射量と大気外水平面日射量の比のことであり、散乱比とは水平面全天日射量と散乱日射量との比を指す。これらの分布に適当な関数近似を与えておくことで、水平面日射量から求まる晴天指数を入力として散乱比を求め、散乱日射量の値を推定する手法を検討している。

3. 研究目的

以上の点から本研究では、精度の良い傾斜面日射量の推定モデルの開発を目指し、特に日射量データが水平面全天日射量しか得られないというケースを想定した直散分離問題について取り組んでいく。本研究において要求される直散分離のモデルとしては、新たな外部パラメータを必要とせず、観測データとしては水平面日射量（あるいはそこから得られる晴天指数）のみを用いるものももっとも望ましく、一般での利用価値も高いと考える。

4. 計測設備の概要

本研究では、複合アレイ面日射量計測評価方法あるいは曲面入射量定義・推定方法の諸検討に必要な基礎データとして供するため、また水平面日射量・直達日射量・散乱日射量を精度良く分離するために、任意面日射量総合計測設備の設置を行い、定常的な計測を行っている。これらは

東京農工大学工学部電気棟（3号館）の屋上に設置されており、データロガー（SOLAC：英弘精機）を介して Windows95 上のソフトウェア（データ収録プログラム Ver2.03：英弘精機）で制御を行い、0時～24時（24時間）における各種日射強度の1分間隔の瞬時値を観測データとして得ている。



(a) Shadow-ball 型散乱日射計 (b) 水平面全天日射計(上)

図 2 各種計測器

今回のモデルの開発・評価においては、これらから得られるデータのうち、水平面全天日射強度、散乱日射強度の1分値データを用いた。計測器の概観を図 2 に示す。

5. 解析方法の概要

[散乱比の分布] 上述の計測設備より得られたデータを基に、散乱比と晴天指数の関係について調査を行った。その結果、散乱比は一様に分布してはならず、その分布には明らかな偏りがあることがわかった。そこでこの偏りの原因を知るべく 2000 年 1 月のデータに関してデータを時系列で調べた。

調査の結果、散乱比は天気の状態によってある決まった領域内に分布することがわかった。本研究ではその天気の状態が晴れ、くもり、および天空に薄い雲がかかっている状態の3つに大別することができることを見出した。更に雲の移動が激しい際に起こる日射量変動にも注目した。これらを「快晴」、「薄曇り」、「完全曇天」、「変動」と呼んで分類することにした。次にこの偏りがどの程度のものであるのかを定量的に評価するために、晴天指数の範囲ごとにデータを分類して、散乱比の出現頻度分布について調べた。結果を図 3 に示す。

図 3 より快晴領域と完全曇天領域には分布に明らかなピークが1つあること、またこれら二つが全体のデータ数の大部分を占めているということがわかった。問題とされている中間領域、すなわち薄曇り領域や変動領域では、確かに一様な分布を見せており推定が困難であることをうかがわせてはいるが、それが占める割合は全体の1割にも満たないことも見出した¹⁾。

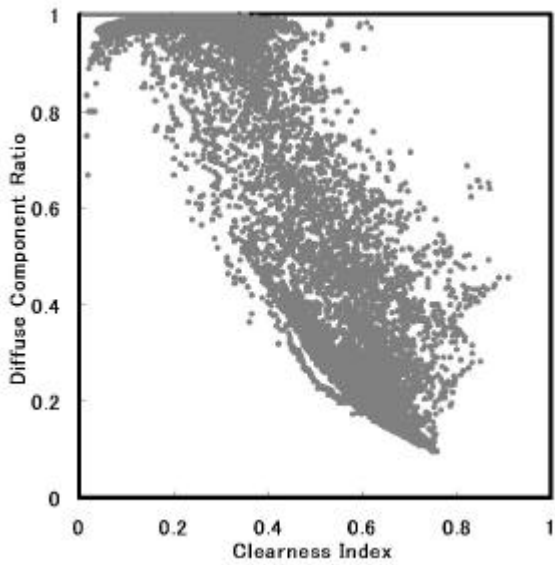


図3 散乱比と晴天指数の相関

[散乱成分の分布] 現在考案している直散分離モデルの概要は、晴天指数と散乱比の関係を定式化し、水平面日射量より求められる晴天指数から散乱比を推定。水平面日射量に散乱比をかけて散乱日射量を求める、といったアルゴリズムを基本としている。この推定アルゴリズムの問題点として、中程度(変動や薄曇り)の晴天指数に対して散乱比のバラツキが大きくなることが挙げられる。このため時系列の概念を取り入れて分類し、それぞれをモデル化することを試みた。現在気象条件を4つに分類し、各天気モデルの検討を行っている。そのモデルの概要を以下に示す。

(a) 快晴モデル

空に雲がほとんど無い状態で、天候状態は極めて安定。散乱比の値は非常に低い(1~2割程度)。

(b) 曇天モデル

天空が一面雲に覆われている状態。直達光の成分はほとんど0に近く日射は散乱光のみとなる。したがって天候の状態としては安定している。

(c) 変動モデル

雲が太陽を横切って晴れと曇りが連続する状態。雲の移動速度が速いため、特に1分値データでは日射強度の変動が大きい。太陽が雲に隠れたり、雲から出たりするために晴天指数の値は中程度から高い領域と広範囲に分布する。太陽付近の雲の反射による影響で散乱比は高くなる。

(d) 薄曇りモデル

天空が一面薄い雲に覆われている状態。天候は安定しておりデータの値も快晴に近いが、雲の影響により晴天指数が快晴に比べて低く、散乱光の割合がわずかに高くなっている。

6. 評価結果

[天候別モデル式の作成]

計測値の水平面日射量と散乱日射量から晴天指数と散乱比を算出し、各天候別のモデル式作成を試みた。「快晴モデル」と「曇天モデル」では相関性に規則性があるが、「薄曇りモデル」と「変動モデル」では相関性が不規則であるため、太陽高度別(sinh)に測定値を分類し、モデル式作成を試みた。

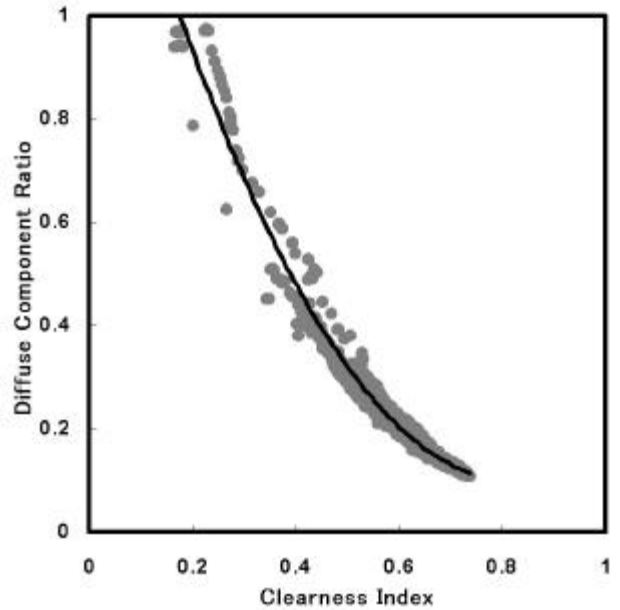


図4 「快晴モデル」の相関図

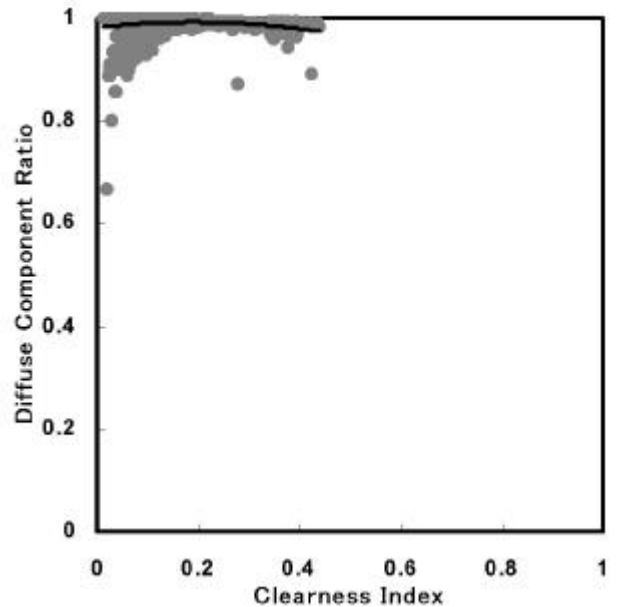


図5 「曇天モデル」の相関図

「快晴モデル」の相関図を図4に、「曇天モデル」の相関図を図5に示す。両天候共に雲による日射量変動が少なく、相関性に規則性が見出された。求めたモデル式を次に示す。

[快晴モデル] : $y=2.1941x^2-3.583x+1.5639$

[曇天モデル] : $y=-0.2939x^2+0.111x+0.9818$

y : 散乱比、x : 晴天指数

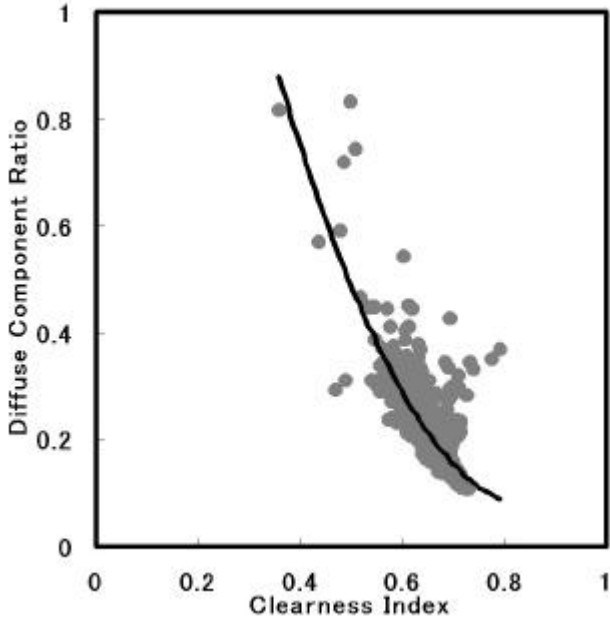


図6 「薄曇りモデル」の相関図 (0.5<sinh<0.6)

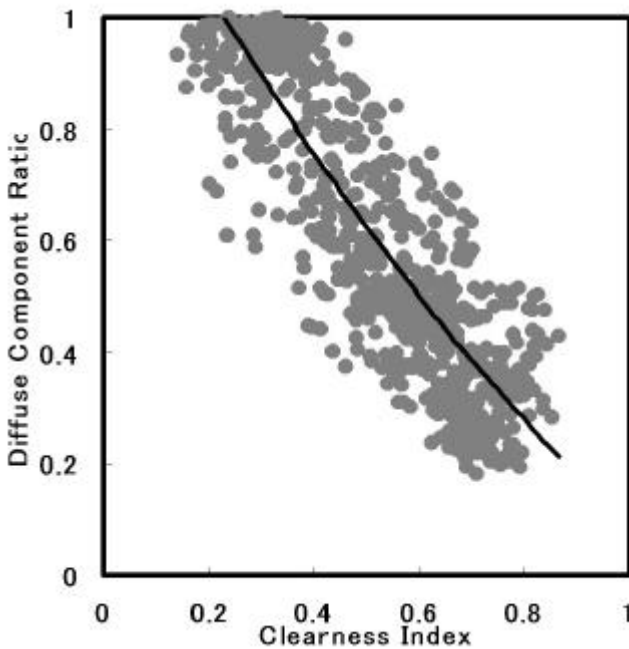


図7 「変動モデル」の相関図 (0.5<sinh<0.6)

「薄曇りモデル」の相関図を図6に、「変動モデル」の相関図を図7に示す。また図には1月の太陽高度として最高点である0.6付近の太陽高度における相関を示した。両天候共に「快晴モデル」や「曇天モデル」に比べ、雲による日射量変動が激しいことがわかる。「薄曇りモデル」では「晴天モデル」に比べ、晴天指数における散乱比の変動幅が大きく、これは雲による影響であると考えられる。太陽高度0.6付近以外でも散乱比の変動幅が大きい。特

に晴天指数が大きくなるほどその傾向が強くなる。「変動モデル」では更に晴天指数に対する散乱比の変動幅が大きく、規則性が見出せない。またその他の太陽高度別の相関図でも晴天指数に対する散乱比の変動幅が大きいことがわかる。以下に「薄曇りモデル」と「変動モデル」のモデル式を示す。

[薄曇りモデル] : $y=3.1965x^2-5.5029x-10.081$

[変動モデル] : $y=0.4183x^2-1.6953x+1.3681$

(0.5<sinh<0.6) y : 散乱比、x : 晴天指数

[天候別モデル式の評価]

天候別に作成した各種モデルを評価するため、評価指数を設けた。評価は観測散乱日射量と水平面日射量から散乱日射量を差し引いた直達日射量を基準として行った。評価指数はRMSE(Root Mean Square Error)とMBE(Mean Bias Error)を用いた。それぞれの算定式を式(1)、式(2)に示す。RMSEは各種モデルによる推定の誤差を表す指標であるとみなし、MBEは観測地と推定値の平均値のずれを確認するために用いた。

$$RMSE(\%) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (H_i - H_{mi})^2}{n}} \quad (1)$$

$$MBE(\%) = \frac{\sum_{i=1}^n (H_i - H_{mi})}{n} \quad (2)$$

表1 誤差評価(快晴モデル、曇天モデル)

	MBE		RMSE	
	散乱(%)	直達(%)	散乱(%)	直達(%)
快晴	2.79	6.03	3.68	30.37
曇天	0.73	22.69	2.76	86.71

表2 誤差評価(変動モデル、薄曇りモデル)

	MBE (average)		RMSE (average)	
	散乱(%)	直達(%)	散乱(%)	直達(%)
変動	12.29	160.92	16.53	285.41
薄曇り	7.9	16.34	9.9	37.31

誤差評価結果を表1(快晴モデル、曇天モデル)、表2(変動モデル、薄曇りモデル)に示す。散乱推定ではRMSE、MBE共に誤差が小さい結果が得られた。直達推定では変動モデルでの誤差が非常に大きい。散乱推定の誤差も大きいことから、データ分類法についての検討が必要である。またその他のモデルについては、今後は1月以外の観測値を用いた、年間対応のモデル式の作成を行う。

参考文献

- 1)H.Unozawa,K.Otani,K.Kurokawa:A simplified estimating method for in plane irradiation using minute horizontal irradiation, PVSEC-11, Sapporo, Sept. 20-24, 1999.

