I. 太陽光発電の可能性—1—

太陽光発電システム構築のための日射データ ～その整備方法と整備状況～

キーワード

太陽光発電システム, 斜面日射量, 直散分離モデル

板垣 昭彦

(財)日本気象協会

1. はじめに

太陽光発電システムを構築する場合, システムからの出力を事前に予測しておくことは極めて重要であり, そのためには日射関連資料の整備は欠かすことができない。しかも気象状況は年変動するため, 安全設計のためには, 長期間にわたる日射関連資料を収集・整備しておく必要がある。

ところで, 我が国における全天日射量の観測地点は64地点であり, 他の諸国に比較して, その観測地点網は密であるといえるが, 観測されているのはすべて水平面の日射量である。太陽光発電システムで想定されるような傾きを

もった太陽電池アレイに入射する日射量データを, 長期間観測している地点は皆無とっていい。

ここでは, 太陽光発電システムの構築を計画した場合, システムからの出力を精度良く予測するために必要な斜面日射量の整備方法と, 現時点での整備状況について概説する。

2. 斜面日射量とは?

ある地点に太陽光発電システムを構築しようとする場合, システムからの出力を予測するためには, 当該地点における日射に関する統計値が重要であることはいうまでも

図1 水平面における全天日射量のマップの例⁽¹⁾

The Present Condition and the Future of Photovoltaic Generating Systems.

I. Challenge for Photovoltaic Generation—1—Solar Radiation Data for Establishment of Photovoltaic Generating System.

By Akihiko Itagaki (Japan Weather Association).

図 2 水平面日射量と斜面日射量の比較例⁽²⁾

ない。システムの大まかな適地選定などにあたっては、図 1 に示すような“水平面における”全日射量のマップも利用できる⁽¹⁾。

しかしながら、多くの太陽光発電システムにおいては、できるだけ多くの太陽光を受光するように、太陽電池アレイを傾けるのが一般的である。すなわち、システムからの出力を精度良く予測するには、このような水平面における日射量だけではなく、“傾斜面における”日射量（斜面日射量）の統計値があれば、更に有用であろう。

それでは、水平面日射量と斜面日射量では、実際にどの程度の違いがあるのだろうか？

図 2 は、篠木らが⁽²⁾、筑波学園都市内の高層気象観測所構内（茨城県筑波郡谷田部町長峰 1-2、北緯 36°03′、東経 140°08′）で水平面および傾斜面の日射量を観測した結果を図示したものである。太陽高度の低い冬季において、斜面日射量が水平面日射量を大きく上回っており、最も違いの大きかった 1985 年 12 月では、斜面のほうが 1.6 倍も多くの日射量を得ている。このように、受光面を傾ける効果は顕著である。

なお、この日射特別観測は、斜面日射量モデルの評価など、各種の日射量に関するモデルの開発、評価のためのデータを収集することを目的として、1984～85 年度のサンシャイン計画の研究として行われた精度の高い観測である。これらの詳細については、文献(3)、(4)に記述されている。

しかしながら、このような傾斜面における日射量の観測は、上記のような特定の研究目的以外には実施されていない。

3. 斜面日射量推定モデル

上記のように、太陽光発電システムにとって有用な斜面日射量の観測値が少ないことから、斜面に入射する日射量を図 3 に示す 3 成分に分離し、それらを合成することで斜面日射量を推定するモデル（斜面日射量推定モデル）が数多く提唱されている〔(1)式参照〕⁽⁵⁾。

これらのモデルには、1 日の積算日射量（以下、日積算

図 3 斜面日射量推定モデルの概念図⁽⁵⁾

日射量と呼ぶ）を推定するものや^{(6)～(8)}、1 時間の間の積算日射量（以下、時間積算日射量と呼ぶ）を推定するもの^{(9)～(11)}などがあり、どのモデルを用いるかは求めようとする日射量の積算時間や、入手可能なデータの種類などによって決まる。

$$I\beta_r = I_b\beta_r + I_s\beta_r + I_r\beta_r \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $I\beta_r$ ：斜面日射量、 $I_b\beta_r$ ：斜面日射量の直達成分、 $I_s\beta_r$ ：斜面日射量の天空散乱成分、 $I_r\beta_r$ ：斜面日射量の地面反射成分

ただし、これらのモデルを用いて斜面日射量を求めるためには、水平面における直達日射量、天空散乱日射量のデータが必要である。なお、天空散乱日射量は、全日射量から直達日射量を差し引くことによって求めることができる。

すなわち、

$$H_d = H - H_b \dots\dots\dots (2)$$

$$I_d = I - I_b \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 H_d ：日積算天空散乱日射量、 H ：日積算全日射量、 H_b ：日積算直達日射量、 I_d ：時間積算天空散乱日射量、 I ：時間積算全日射量、 I_b ：時間積算直達日射量

ところで、法線面（太陽光線に垂直な面）の時間積算日射量を観測している地点については、以下の式により、水平面における直達日射量、天空散乱日射量を求めることができる。

$$I_b = I_n \sin h \dots\dots\dots (4)$$

$$I_d = I - I_b \dots\dots\dots (5)$$

$$H = \Sigma I \dots\dots\dots (6)$$

$$H_b = \Sigma I_b \dots\dots\dots (7)$$

$$H_d = H - H_b \dots\dots\dots (8)$$

ここで、 I_n ：時間積算法線面日射量、 h ：太陽高度、他の記号は(1)、(2)式で用いたものと同じ

更に、上記の手法で求めた水平面における直達日射量と天空散乱日射量を斜面日射量推定モデルに代入することにより、目的とする斜面日射量を求めることができる。

図 4 法線面直達日射量を観測している気象官署

図 5 斜面日射量を推定する手順

4. 直散分離モデルの必要性

しかしながら、我が国において、上記のような法線面直達日射量を継続的に観測し、そのデータを公表している地点は、図 4 に示す 14 地点にすぎない。従って、実測データのみから、斜面日射量の統計値を全国整備することはできない。

そのために、多くの地点で観測されている全天日射量を直達成分と散乱成分に分離するモデルが必要になってくる。これは、一般に直散分離モデルと呼ばれるもので、これについても、日積算日射量を直散分離するモデル^{(12)~(14)}や、時間積算日射量を直散分離するモデル^{(15)~(18)}が数多く提唱されている。

すなわち、ある地点に太陽光発電システムを構築しようとする場合、過去の水平面全天日射量データから、当該地の斜面日射量を推定するには、図 5 のようなステップが必要である。

5. 平年の日射状況を示す日射資料の必要性

図 5 による手順を経ることにより、当日あるいは当該時刻における斜面日射量を推定することはできる。しかしながら、気象状況は年によって変動する。図 6 は、東京の 8 月の月平均日射量について、最近 10 年間の変動を図示したもののだが、日射量の多かった 1990 年と極端に少なかった 1993 年では、1.6 倍も差が現われている。

従って、短期間の観測結果から得られた気象データは、必ずしも平年の状況を表しているとは限らないので、そのまま、太陽光発電システムの設計に用いるのは適当ではない。設計に供するには、当該地点における平年の日射状況を表す資料を整備する必要がある。

その場合、当該地点における長期間のデータを収集し、それから、図 5 の手順をへて、平年のデータを算出することは可能であるが、そのような資料を全国整備しようとすると作業量は膨大になり、一般的とはいえない。

そこで、(財)日本気象協会では、工業技術院や新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託を受け、太

図 6 東京における 8 月の月平均日積算日射量の年変化

陽光発電システムに有用と思われる日射に関するデータの整備を実施し、一般の人が利用しやすいかたちで編集することに努めてきた。ここで、その主な成果品について簡単に紹介する。なお、これらの報告書は公開されており、NEDO の情報センター (東京都豊島区東池袋 3-1-1, サンシャイン 60 内) で閲覧することができる。

6. これまでに整備された太陽光発電システム構築のための代表的な日射データ

(1) 全国 225 地点における日積算斜面日射量⁽¹⁹⁾

気象官署 148 地点を含む 225 地点について、30 年 (1951~80 年) 平均に相当する月別、季節別および年間を対象として、日積算斜面日射量を推定し、地点ごとの一覧表として編集した。

斜面の種類は、方位が 15° 刻みで 0° (真南) から 90° (真西または真東) まで、傾斜角が 10° 刻みで 0° (水平から 90° (鉛直) までである。

また、各地点について、各月の日射量が最大になる傾斜角、年間の日射量が最大になる傾斜角 (年間最適傾斜角) を求めている。

東京について、斜面の方位角が真南の場合の例を表 1 に示す。また、最適傾斜角を用いた場合の年平均の日積算日射量の分布図を図 7 に示す。

これらの資料は、システムを構築する計画地点における

表 1 東京の南向き斜面における日積算日射量の推定値⁽¹⁹⁾ (単位: kWh/m²・d)

方位角	傾斜角	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	年 1— 12月	冬 12— 2月	春 3— 5月	夏 6— 8月	秋 9— 11月
水平面 (°C)		2.53	3.00	3.67	4.17	4.81	4.11	4.28	4.50	3.31	2.75	2.39	2.22	3.48	2.58	4.21	4.30	2.81
0°	10°	3.07	3.41	3.94	4.29	4.83	4.09	4.27	4.58	3.44	2.99	2.79	2.72	3.70	3.07	4.36	4.31	3.08
	20	3.55	3.74	4.13	4.32	4.76	4.00	4.18	4.56	3.51	3.17	3.13	3.16	3.85	3.48	4.40	4.25	3.27
	30	3.93	3.98	4.23	4.27	4.58	3.84	4.02	4.45	3.51	3.28	3.39	3.51	3.92	3.81	4.36	4.10	3.40
	40	4.21	4.13	4.23	4.12	4.32	3.61	3.78	4.25	3.44	3.32	3.58	3.78	3.90	4.04	4.23	3.88	3.44
	50	4.39	4.17	4.13	3.89	3.99	3.32	3.48	3.96	3.29	3.29	3.67	3.94	3.79	4.17	4.00	3.59	3.42
	60	4.44	4.11	3.94	3.59	3.57	2.98	3.12	3.60	3.09	3.18	3.67	4.01	3.61	4.19	3.70	3.23	3.31
	70	4.39	3.95	3.67	3.21	3.10	2.60	2.72	3.18	2.82	3.00	3.58	3.97	3.35	4.10	3.33	2.83	3.14
	80	4.22	3.70	3.31	2.78	2.60	2.21	2.29	2.70	2.51	2.76	3.41	3.82	3.02	3.91	2.90	2.40	2.89
	90	3.93	3.35	2.88	2.31	2.07	1.81	1.85	2.20	2.15	2.47	3.15	3.58	2.65	3.62	2.42	1.95	2.59

地点: 緯度=35° 41.2', 経度=139° 45.9', 標高=6 m

図 7 年間最適傾斜角の斜面日射量マップ⁽¹⁹⁾

月平均, および年平均の 1 日当たりの発電量の概略予測に利用できよう。

(2) 我が国の日射気候区を代表する 26 地点における日積算日射量の度数分布資料⁽²⁰⁾

図 8 に示す我が国の日射気候区を代表する 26 地点について, 10 年間 (1976~85 年) の水平面日積算全天日射量を収集し, (1) 項で述べた年間最適傾斜角における毎日の日積算斜面日射量を推定した。

更に, それらを日射量の強さ別に階級区分し, 月別, 季節別, および年間の度数分布資料を整備した。札幌における 2 月と 10 月の度数分布図を図 9 に示す。

これらの資料を利用することにより, システムからの発電量の概略値を階級別に求めることが可能になると思われる。

(3) 世界各地の日射関連資料⁽²¹⁾

世界各地 1601 地点の日積算日射量, 日照時間, 気温データを収集し, 月平均値のかたちで編集した。また, 斜面の傾斜角を当該地点の緯度に等しくなるようにした場合の月平均日積算斜面日射量を推定し, 作表した。資料収録状況を表 2 に示す。なお, 日照時間のデータしか収集できなかった地点についても, 日照時間のデータから月平均日積算日射量を推定してある。

この資料は, 太陽光発電システムを海外に設置しようとする場合, その適地選定, 概略設計などに有用と思われる。

(4) 我が国の気象官署 100 地点における時間積算日射量の度数分布資料⁽²²⁾

我が国の気象官署 100 地点における 30 年 (1961~90 年)

丸数字は、26個の日射気候区を示す。なお、*印は、その日射気候区内に日射観測地点がないため、近隣の日射気候区内の日射観測地点から選択した代替地点であることを示す。
 図 8 我が国の日射気候区を代表する26地点の配置図⁽²⁰⁾

図 9 日積算水平面日射量(破線)と日積算斜面日射量(実線)の度数分布図(札幌の2月と10月の例)⁽²⁰⁾

表 2 地域別のデータ収録地点数⁽²¹⁾

地 域 名	日射量あり	日照時間のみ	合 計
北アメリカ	241	0	241
中アメリカ	13	34	47
南アメリカ	65	132	197
ヨーロッパ	207	116	323
アフリカ	113	262	375
アジア	257	93	350
大洋州	48	15	63
南 極	5	0	5
合 計	949	652	1,601

図 10 水平面および傾斜面における平均的な時間積算日射量の推定度数分布図の例(稚内の1月)

平均に相当する時間積算水平面日射量,および年間最適傾斜角における時間積算斜面日射量の度数分布を推定し,作表・作図した。稚内における1月の度数分布図を図10に示す。

これらの資料は、太陽光発電システム用インバータの加重平均効率のほか、システムからの発電電力量、PV ポンプシステムの吐出量の計算に有用できる⁽²³⁾。また、システムの稼働率の予測にも利用できると考えられる。

7. あとがき

太陽光発電システムの概略設計の段階では、日射量や気温などの月平均値が用いられ、これまでに整備された日射関連資料が有効である。しかしながら、システムの詳細設計に際しては、蓄電池計画も含めて、出力と負荷のバランスを具体的に検討するために、年間を通して時々刻々の運転状況を表すシミュレーションを行うことが必要である。

そのようなシミュレーション用データとして、今後、既存の観測データを基にした毎時の気象データ（標準気象データ）を整備していく予定である。

テレビで太陽光発電のCMが流され、一般の新聞や雑誌にも住宅用の太陽光発電システムが紹介されるようになり、太陽光発電システムは、いよいよ導入・普及の段階を迎えた感がある。今後、この導入・普及の動きを更に加速させるには、太陽電池の効率の向上、周辺装置を含めたコストダウンなどのハード面での技術開発はもちろんのこと、システムからの出力をより正確に予測するソフト面での技術開発も重要と考える。

なお、本稿では、NEDOの委託で、サンシャイン計画およびニューサンシャイン計画の一環として実施された成果を多く引用した。（平成6年8月29日受付）

文 献

- (1) (財)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成果報告書(昭52)
- (2) 篠木哲一・吉田作松：「斜面日射量の研究—第1報 筑波における斜面日射量および日射障害の実験観測(高品質データの整備)」, 太陽エネルギー, 14, No. 1, 24~31 (昭63)
- (3) (財)日本気象協会：「太陽光発電システム実用化技術開発(発電量基礎調査)」, 昭和59年度新エネルギー総合開発機構委託業務成果報告書(昭60)
- (4) (財)日本気象協会：昭和60年度同上(昭61)
- (5) M. Iqbal: An introduction to solar radiation (1983) Academic Press
- (6) B. Y. H. Liu & R. C. Jordan: "The interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse, and total solar radiation", *Solar Energy*, 4, No. 3, 1~19 (1960)
- (7) M. Collares-Pereira & A. Rabl: "The average distribution of solar radiation—correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values", *ibid.*, 22,

- No. 2, 155~164 (1979)
- (8) K. J. A. Revfeim: "A simple procedure for estimating global daily radiation on any surface", *J. Applied Meteorology*, 17, No. 8, 1126~1131 (1978)
- (9) R. Perez & R. Seals: "A new simplified version of Perez diffuse irradiance model for tilted surface", *Solar Energy*, 39, No., 221~231 (1987)
- (10) B. Y. H. Liu & R. C. Jordan: "A rational procedure for predicting the long-term average performance of flat-plate solar-energy collectors", *ibid.*, 7, No. 2, 53~74 (1963)
- (11) J. E. Hay: "Study of shortwave radiation on non-horizontal surfaces", Report No. 79-12, Atmospheric Environment Service, Downsview, Ontario (1979)
- (12) S. E. Tuller: "The relationship between diffuse, total and extraterrestrial solar radiation", *Solar Energy*, 18, No. 3 259~263 (1976)
- (13) B. Bartoli, V. Cuomo & U. Amato: "Diffuse and beam components of daily global radiation in Genova and Macerata", *ibid.*, 28, No. 4, 307~311 (1982)
- (14) D. G. Erbs, S. A. Klein & J. A. Duffie: "Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation", *ibid.*, 28, No. 4, 293~302 (1982)
- (15) G. E. Smith: "Solar radiation data base development bases on bright sunshine data", Joint Conference 1976 of the American Section of the ISES and the Solar Energy Society of Canada Inc. August 15th-20th, Winnipeg, 226~237 (1976)
- (16) F. J. K. Ideriah: "On the characteristic distribution of hourly diffuse and global solar radiation at Ibadan", *Renewable Energy*, 2, No. 4/5, 461~468 (1992)
- (17) R. Perez, P. Ineichen, R. Seals, & A. Zelenka: "Making full use of the clearness index for parameterizing insolation conditions", *Solar Energy*, 45, No. 2, 111~114 (1990)
- (18) (財)日本気象協会：「太陽光発電システム実用化技術開発(利用システムに関する研究)」, 昭和63年度新エネルギー・産業技術総合開発機構委託業務成果報告書(平元)
- (19) (財)日本気象協会：「太陽光発電システム実用化技術開発(発電量基礎調査)」, 昭和61年度同上(昭62)
- (20) (財)日本気象協会：「太陽光発電システム実用化技術開発(発電量基礎調査)」, 昭62年度同上(昭63)
- (21) (財)日本気象協会：「太陽光発電システム実用化技術開発(利用システムに関する調査研究)」, 平成3年度同上(平4)
- (22) (財)日本気象協会：「太陽光発電利用システム実用化技術開発(太陽光発電利用システム・周辺技術の研究開発)」, 平成5年度同上(平6)
- (23) 国吉真照・篠原祐文・北篠誠一：「日射強度別日射量分布とPV・INVの加重平均効率」, 平4電気学会全大, No. 1052

板 垣 昭 彦

1953年6月生。1983年北海道大学大学院環境科学研究科博士課程修了。同年(財)日本気象協会採用。1989年より新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の太陽光発電システム関連委託業務を担当、現在に至る。