

山岳地における太陽光発電システムの発電電力量推定にむけた 日射量とモジュール温度の測定

浜田 崇¹

山岳地における太陽光発電システムの発電電力量を推定するための基礎情報を得ることを目的として、八ヶ岳連峰の山小屋において日射量、気温および太陽電池モジュール温度の測定を行った。その結果、山岳地の日射量ピークは平地とくらべて大きいものの、日々の変動が大きく、積算値は平地の79%であった。また、モジュール温度は日射量の影響で25℃以上となる日がたびたびみられたことから、発電量の効率が低下していた期間もあったと推測された。以上の結果から、山岳地の日射特性は同緯度の平地と比べ発電電力量を低下させることが考えられた。

キーワード：日射量、モジュール温度、太陽光発電システム、発電電力量、山岳地

1. はじめに

全国有数の山岳をかかえる長野県には、163軒の山小屋がある¹⁾。山小屋の多くは送電線のない地域に立地しているため、そのほとんどがディーゼル発電機によって小屋の電力をまかなっている。しかし、ディーゼル発電機は軽油を利用することから、山岳地の大気環境の保全、あるいは地球温暖化防止という観点から大きな課題を抱えており、山小屋の経営者もこの点については頭を悩ませている。こうしたなか、近年、発電時に二酸化炭素や大気汚染物質を排出しないクリーンな再生可能エネルギーの利用が注目を集めており、すでにいくつかの山小屋においては太陽光や風力を利用した発電システムが導入され始めている。今後、こうした再生可能エネルギーの山小屋への導入拡大が期待される。

しかしその一方で、気象条件が厳しく不安定な山岳地において、自然環境に強く依存した太陽光や風力による発電システムの評価はほとんどなされておらず、導入に際しての不安材料となりうる。一般的に、これらの発電システムの評価は推定された年間の発電電力量に対する実際に発電した電力量により行われるが、そもそも発電電力量の推定に必要な気象特性などの基礎情報が山岳地においては十分把握されていないという現状もある。

そこで、本研究では、再生可能エネルギーのうち長野県の山岳地で現在多く利用されている太陽光発

電システム¹⁾を取り上げ、その発電電力量の推定に必要な基礎情報を得ることを目的とした。発電電力量の推定には多くのパラメータが必要^{2), 3)}だが、そのうち現地でしか得られない日射量、気温および太陽電池モジュール温度の測定を、太陽光発電システムの導入されている山小屋において行った。本報告では、これらの測定結果を示すとともに、発電電力量に影響を及ぼす山岳地の気象特性について若干の考察を行った。なお、本測定データを用いた発電電力量の推定については、現時点で入手できる資料に制約があるため、稿を改めて論じることとした。

2. 調査地

測定は八ヶ岳連峰にある山小屋の一つ、赤岳展望荘（以下、展望荘）において行った。展望荘は八ヶ岳連峰の主峰赤岳（2899m）の北側の稜線上に立地している（北緯35°58′30″，東経138°22′18″，標高2790m）（図1および図2）。営業期間は4月から11月上旬までであり（冬期間も一時期のみ営業している）、小屋の宿泊者の定員は200人である。

展望荘には太陽光発電システムが2002年度に導入されており、宿泊棟の屋根上には太陽電池モジュールを複数枚つなげた太陽電池アレイが設置されている（図3）。アレイ面の方位角は70°と250°であり、傾斜角は12°である。この太陽光発電システムによる最大の出力は4kWである。展望荘で

1 長野県環境保全研究所 循環型社会部 〒381-0075 長野市北郷2054-120

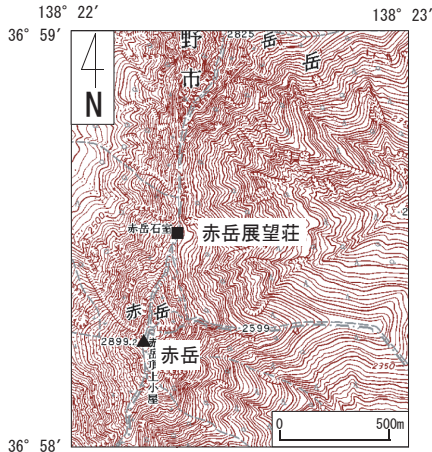


図 1：調査地域



図 2：赤岳展望荘の外観



図 3：展望荘屋根上の太陽電池アレイ

は、このシステムに加えて、7.5kWの風力発電機と20kWのディーゼル発電機を併用し、小屋の全ての電力をまかなっている。

3. 測定方法およびデータ

本研究では、展望荘において日射量、気温および太陽電池モジュール温度の測定を行った。測定期間は2006年10月16日～2007年10月24日までである。ただし、測定期間中に電池の消耗やケーブルの断線などにより欠測が生じたため、本研究では2007年7月25日～2007年10月5日までのデータのみを用いた。

3.1 日射量

太陽電池の出力は太陽光エネルギーの日射強度にほぼ比例する²⁾ことから、アレイ面に対し垂直に入射する傾斜面日射量の測定を行う必要がある²⁾。しかし、展望荘のアレイは屋根の両面にあり、それに対して使用可能な日射計が1台しかなかったことから、本研究では傾斜面日射量ではなく水平面日射量を測定することとした。なお、水平面日射量か

ら傾斜面日射量を推定する手法^{2)～5)}は散見されるが、推定手法の山岳地での適用事例がみあたらないことから、本研究では傾斜面日射量の推定は行わなかった。したがって、以後、日射量とは水平面日射量をさすこととする。

日射量の測定は太陽電池アレイの近傍にセンサーの受光面が水平となるように設置し行った。測定に用いた日射計(PCM-01(L):株式会社プリード製)は、波長範囲が305～2800nm、精度が±3%である。測定はデータロガー(KADEC-UP:コーナシステム社製)を用いて日射センサーから出力される電圧を1時間平均値として記録し、データ回収後、電圧値に感度定数を乗じて日射量を求めた。また、日射計の受光面に対する遮蔽物の影響を確認するため、魚眼レンズを用いた全天空写真の撮影を行い、遮蔽物の面積を算出した。算出にはGLA version 2.0⁶⁾を用いた。その結果、遮蔽物は0.12%であり、ほとんど日射量には影響を及ぼさなかった。

その他、展望荘における日射量の特徴を把握するため、平地にある松本測候所(以下、松本)(北緯36°14'36", 東経137°58'24", 標高610m)の日射量データを用いた。ただし、松本では2007年10月1日以降システム移行にともない日射量観測が廃止されたため、2007年7月25日から9月30日までのデータを利用した。

3.2 モジュール温度

太陽光発電システムの発電電力量を推定する際には、太陽電池モジュール温度は重要な損失評価項目とされている^{2), 3), 7)}。屋外に設置された太陽電池モジュールの温度は日射や周囲温度、風速などにより常に変動している。そこで、本研究でも太陽電池

モジュールの温度を測定することとし、サーミスタ温度計（おんどとり Jr.:ティアンドディ株式会社製）を南向きモジュールの裏面にシリコンボンドで接着させ、1時間間隔で温度を記録した。

3.3 気温

太陽電池アレイ近傍の代表的な気象条件の一つとして気温の測定を行った。展望荘の屋外に設置されている風力発電用の配電盤収納ボックス（以下、ボックス）内に、温度計（TR-73U：株式会社ティアンドディ製）を収納し1時間間隔で測定を行った。一般的に、気温測定の際はセンサー感部を放射よけの中に固定する。しかし、今回はそのように設置した温度計が強風などにより故障したことから、ボックス内で測定された気温を代用した。なお、ボックス内の気温は放射よけを利用して測定した気温よりも日中はやや高めとなるが、本研究ではそのまま用いた。

4. 結果および考察

4.1 展望荘と松本における日積算日射量の比較

展望荘と松本における日射量の特別値から日積算値を計算し、その経日変化を図4に示した。日積算日射量は夏から秋へ進むにつれて太陽高度の低下とともに小さくなる季節変化をしていた。また、展望荘の日射量は松本とくらべて日々の変動が大きかった。松本の日射量に対する展望荘の日射量を比(%)であらわし、その変化を図5に示した。展望荘の日射量は8月には松本より20%程度多い日が見られるが、期間を通じて100%を下回る日が多く、50%以下の時もみられた。期間中の総積算日射量でくらべると、展望荘の日射量は松本の79%であった。以上のように、展望荘では松本と比べて日射量

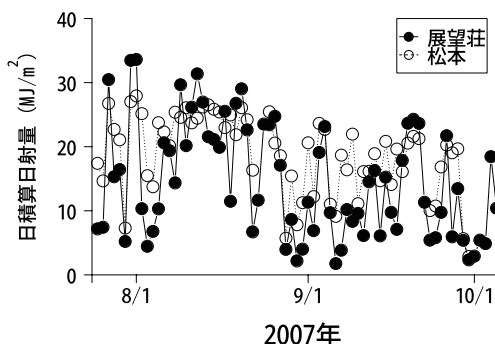


図4 日積算日射量の経日変化

の日積算値が小さい日が多く、また期間中の総積算値も小さくなっていることから、期待される太陽光発電システムの発電電力量も松本より小さくなると考えられる。

4.2 展望荘と松本における日射量の日変化の比較

展望荘の日射量変動をさらに詳しくみるために、展望荘と松本における日射量の日変化を比較した。期間中にみられた展望荘における日射量の日変化パターンのうち、特徴的なパターンがまとまって現れたときの一例を図6に示す。8月15日から22日にかけて、松本の日射量のピークは800W/m²程度で安定しているのに対して、展望荘の日射量は大きく変動していることがわかる。8月17日および19日から21日にかけては展望荘の日射量のピークは1100W/m²程度と松本よりも100W/m²~300W/m²ほど大きいのに対し、8月18日および22日には逆に300W/m²および500W/m²ほど小さかった。また、8月15日と18日を見ると、展望荘の午前中における日射量の立ち上がりは松本とほぼ同じだが、正午前にはピークを迎え、その後夕方にかけて日射量は減少していた。8月22日を見ると、展望荘の日射量は一日を通じて松本の日射量の半分程度しかなかった。

こうした日射量の日変化の違いは、展望荘と松本の位置が離れていることが原因の一つと考えられるが、山岳地と平地における日射量の違いも反映していると思われる。山岳地に入射する日射量は平地と比べて大きい⁸⁾。これは大気中の光路が標高の高い地点ほど短く、散乱される割合が小さくなるためである。しかし一方で、晴れた日の午後になると雲がかかりやすく日射量が減少するという特徴⁹⁾がある。また、山岳地では霧や雲の発生日数が平地より多く¹⁰⁾、日中を通じて日射量小さいときもあり

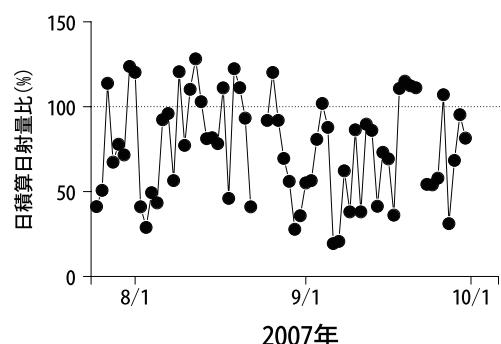


図5 松本に対する展望荘の日射量の比の変化

うる。前述した展望荘における日射量の大きさや時間変化はこうした山岳地における複雑な日射特性と整合している。このような山岳地の日射特性は、日射量は潜在的に大きいものの、雲などの影響により実際には日射量が大きく減少することを示しており、太陽光発電システムの発電電力量を低下させる大きな要因になりうると考えられる。

4.3 モジュール温度と気温、日射量の関係

太陽電池発電量の標準試験ではセル（モジュール）温度を 25℃としており、モジュール温度がそれ以上になるときに発電効率が落ちるものと予想されている²⁾。大澤・工藤¹⁾はモジュール温度が上昇するほど発電量が落ちるという線形関係を確認している。

図 7 にモジュール温度と気温の経日変化を示す。

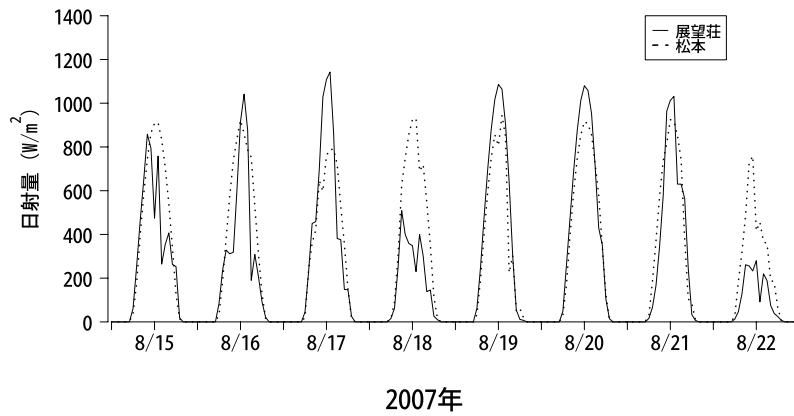


図 6 展望荘と松本における日射量の日変化例

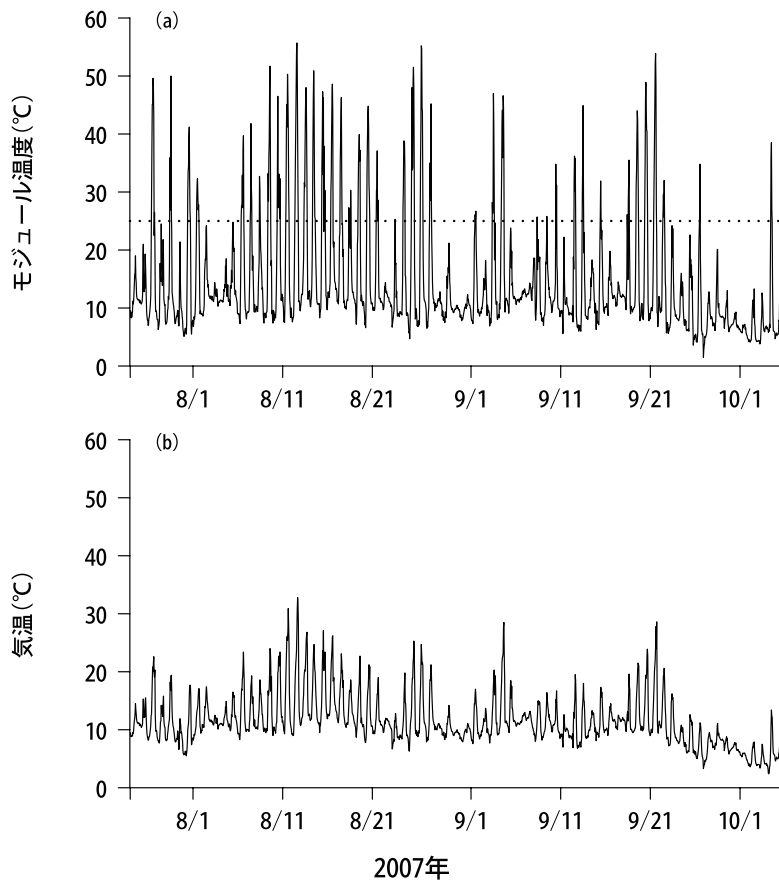


図 7 モジュール温度と気温の経日変化

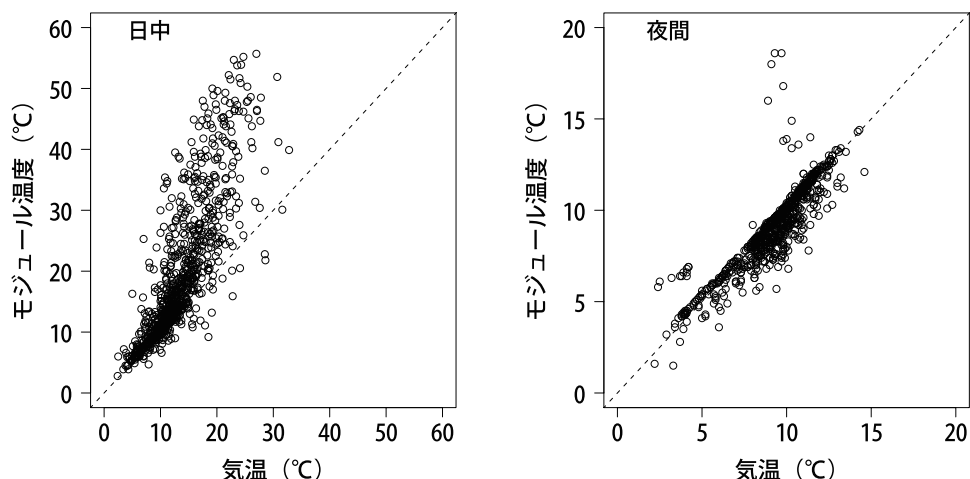


図8：気温とモジュール温度との関係（左：日中，右：夜間）

モジュール温度は気温と比べ日中非常に高くなり、50℃～55℃に達することもたびたびあった。また、8月においては25℃を超える日は多かった。一方、モジュールの最低温度は最低気温とほぼ同じ程度であった。

図8には、気温とモジュール温度との関係を、日中と夜間とに分けて示した。気温とモジュール温度は昼夜問わず正の相関関係を示している。また、日中は気温が15℃以上になるとモジュール温度は急激に上昇していた。夜間には両者はおおむね1対1の直線上に乗るが、ほとんどの場合、気温の方がやや高かった。

図8から、モジュール温度の上昇は日中にみられることから日射量の影響を受けているものと考えられた。そこで、日射量とモジュール温度との関係（図9）を検討した。ただし、ここでは気温変化によるモジュール温度の上昇を除くため、モジュール温度と気温との温度差をy軸に示した。この図から、日射量が大きくなるにつれてモジュール温度が線形的に上昇していることがわかる。またこの直線のあてはまり具合から、モジュール温度の上昇はほぼ日射量によるものと考えられる。ただし、日射量が400W/m²を超えるあたりから、温度差のばらつきが大きくなっている。このばらつきの要因の一つとしては、風速の影響が考えられる。山岳地では平地よりも風が強く、日中の風速の増加はモジュール温度の上昇を抑制する方向に作用する²⁾と期待されるからである。このほか、日射量がモジュールに垂直に入射する傾斜面日射量ではないことも影響している可能性がある。

以上から、日射量はモジュール温度を上昇させる

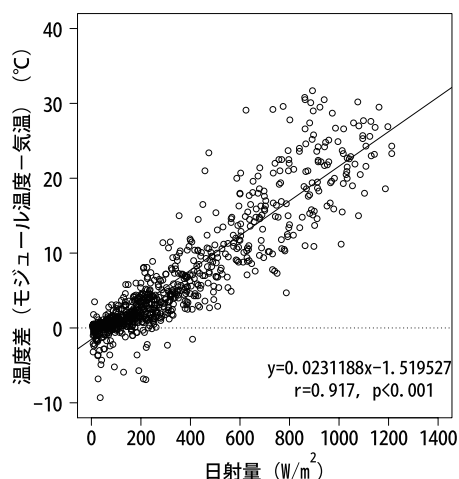


図9 日射量と温度差（モジュール温度－気温）の関係

大きな要因であり、またモジュール温度が25℃以上の日もたびたびみられたことから、発電量の効率が低下していた期間があったと推測される。

5. おわりに

本研究では、展望荘において測定した日射量、気温、モジュール温度の結果から、展望荘では松本とくらべて太陽光発電システムの発電電力量が低下している可能性があり、それには山岳地特有の日射環境が関係していることが考えられた。また、日射量の増加がモジュール温度の上昇を招き、それにより発電量の効率が低下していた可能性があることも示した。今後は展望荘における太陽光発電システムの発電電力量の推定を目指し、モジュールに入射する傾斜面日射量の推定や風速を含めた気象環境がモ

ジュール温度に及ぼす影響などを調べ、実際の発電電力量との関係について解析することが必要と考える。このようなデータを蓄積することで、最終的には、気象データのみから潜在的な発電電力量の推定を行うことができれば、太陽光発電システムの導入を検討している山小屋にとって有益な情報になると考える。

謝 辞

気象観測機器の設置、メンテナンス、データの回収にあたり、赤岳展望荘のスタッフの方々には大変お世話になりました。ここに記して謝意を表します。

文 献

- 1) 長野県 (2008) 再生可能エネルギー等を利用した環境に優しい山岳トイレ導入促進事業報告書。
- 2) 黒川浩助・若松清司共編 (1994) 太陽光発電システム設計ガイドブック。オーム社。223p.
- 3) 太陽光発電システムの発電電力量推定方法。JIS C 8907.
- 4) 大関 崇・井澤敏泰・大谷謙仁・黒川浩助 (2005) 太陽光発電システムの評価に関する日射量の推定方法。電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌)。125: 118-126.
- 5) 渡辺俊行・浦野良美・林 徹夫 (1993) 水平面全天日射量の直散分離と傾斜面日射量の推定。日本建築学会論文報告集。330: 96-108.
- 6) Frazer, G. W., Canham, C. D., and Lertzman, K. P. (1999) Gap Light Analyzer (GLA), Version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-color fisheye photographs, users manual and program documentation. Simon Frazer University.
- 7) 大関 崇・井澤敏泰・大谷謙仁・都築 建・小池寿文・黒川浩助 (2005) システム出力電力量のみの計測における太陽光発電システムの評価方法に関する研究。電気学会論文誌 B (電力・エネルギー部門誌)。125: 1299-1307.
- 8) Barry, R. G. (1992) Mountain weather and climate - 2nd ed. Routledge. 402pp.
- 9) 浜田 崇・菅野洋光・岡 秀一 (2000) 富士山北西斜面の森林限界付近における気候環境。地理学評論。73A: 435-447.
- 10) 吉野正敏 (1990) 新版小気候。地人書館。298p.
- 11) 大澤清一・工藤善正 (1999) 上田地域の日射量および太陽電池発電量の測定。長野県工科短期大学紀要。2: 55-60.

Measurements of solar radiation and solar cell temperature for estimation of generating electric energy by PV power system in mountainous region

Takashi HAMADA

*Nagano Environmental Conservation Research Institute, Recycling Society Division,
2054-120 Kitago, Nagano 381-0075, Japan*