

日照時間を用いた時間積算日射量 推定モデルの開発

Estimation model of hourly global solar radiation from hourly sunshine duration

板垣昭彦*¹ 岡村晴美*² 飯田秀重*² 山田雅信*² 佐々木律子*²
Akihiko ITAGAKI Harumi OKAMURA Hideshige IIDA Masanobu YAMADA Ritsuko SASAKI

Abstract

The hourly meteorological data set at the Japan Meteorological Agency meteorological stations have been prepared named METPV by authors. METPV means MEteorological Test data for PhotoVoltaic systems which is useful to simulate output from PV systems. METPV consists of basic meteorological elements on horizontal surface and solar radiation on inclined surfaces. When preparing METPV, solar radiation data was an extremely important element for estimating output from PV systems. However, only 66 meteorological stations measured solar radiation included in METPV. Therefore, it was necessary to estimate hourly solar radiation in order to prepare solar radiation data throughout Japan. For this reason, a model was developed to estimate hourly solar radiation from hourly records of sunshine duration measured at all meteorological stations.

キーワード：日射、PVシステム、METPV

Key words; solar radiation, PV systems, METPV

1. はじめに

著者らは、太陽光発電システムの設計等に有用な日射関連データの整備を継続している^{(1),(2),(3)}。その一つであるMETPV-2 (MEteorological Test data for PhotoVoltaic systems: ネットバージョン、-2はバージョン番号を表す) は平均的な日射量等を収録した1年分の毎時気象データベースであり⁽⁴⁾、太陽光発電システムの設計・評価等に多く利用されている⁽⁵⁾。

しかしながら、METPV-2の整備地点は気象官署の約150地点に限られていることから、データの参照地点がシステムの設置場所と離れている場合もあった。そこで、著者らは、全国のアメダス地点(約800地点)についても、METPV-2と同様なデータベースMETPV-3を整備することとした⁽⁶⁾。整備地点が増加することで、太陽光発電システムの設計や評価等の精度向上に役立つと期待される。

さて、METPVシリーズに収録する気象要素のうち、太陽光発電システムの設計等に最も重要な気象要素である全天日射量は66地点の気象官署で観測されているに過ぎない。そこで、著者らは、全ての気象官署で観測されている日照時間から時間積算日射量を推定するモデル(以後、日照・日射モデルと呼ぶ)を開発してMETPV-2を整備したが、このモデルには、不日照時において、やや、誤差が大きくなる傾向があった。

そこで、今回のMETPV-3の整備時に日照・日射モデルの一部を改良したので本論文で併せて記載する。

2. 開発した日照・日射モデルの概要

2.1 日照時間について

日照時間の定義について、WMO (World Meteorological Organization; 世界気象機関) は、しきい値として、直達日射の0.12 kW/m²を採用している。これは、薄曇りの日に太陽による物の影が薄く映る程度の日射強度で、日照時間とはそのような日射が照射した時間数を言う。現在、気象庁では、この基準を満たす測器で日照時間の観測を行っている。

日照時間は、日射の多寡を示す一つの指標ではあるが、季節・時刻により太陽高度が異なること等から、同じ日照時間でも、必ずしも日射量が同じになるとは限らない。このため、日照時間から全天日射量を推定する幾つかのモデルが提案されている。

2.2 馬淵モデルについて

日照時間から全天日射量を推定するモデルのうち、最も良く見られるのは、月平均日照時間 \bar{n} と月平均日照時間 \bar{N}_d の比である月平均日照率を変数として表した(1)式のような推定式である。

$$\bar{H} / \bar{H}_0 = a + b(\bar{n} / \bar{N}_d) \quad (1)$$

ここで、左辺の \bar{H} 、 \bar{H}_0 はそれぞれ日積算日射量 H 及

*1 (財)日本気象協会北海道支社 技師
(〒064-855 札幌市中央区北4条西23丁目)
e-mail: itagaki@sapporo.jwa.or.jp

*2 (財)日本気象協会首都圏支社
(原稿受付: 2006年6月26日)

び、日積算大気外日射量 H_0 の月平均値である。

METPVシリーズで整備する時間積算日射量を日照時間から推定するモデルとしては、馬淵らが、(2)式で表される簡易モデルを開発している⁽⁷⁾。以後、このモデルを馬淵モデルと呼ぶ。

$$I = I_0 (0.241 + 0.428n) \quad (n > 0) \text{ の時}$$

$$I = I_0 (0.141) \quad (n = 0) \text{ の時} \quad (2)$$

ここで、 I 、 I_0 は時間積算日射量及び大気外の水平面時間積算日射量であり、 n は1時間当たりの日照時間を時間単位で表したものである。また、吉田らは、日射量が太陽高度及び積雪の影響を受けることを述べている⁽⁸⁾。そこで、本研究では、馬淵モデルをベースに積雪と太陽高度の影響を加味した日照・日射モデルを開発することとした。

2.3 積雪の影響について

まず、積雪の有無による日照時間と晴天指数 (I/I_0) との関係について解析した。図1は国内の積雪地域7地点 (北見枝幸、旭川、札幌、帯広、山形、高田、福井) について、毎時の晴天指数に及ぼす積雪の影響を調べたものである。

図において、細線は積雪がなかった日、太線は日最大積雪深が20cm以上あった日を表す。横軸には毎時の日照時間を、縦軸には毎時の晴天指数を日照時間別に算術平均した値が示してある。図1では、太陽高度の影響を極力取り除くために、太陽高度が30~45度の場合だけを抽出して解析している。使用したデータは1991年の1年分の毎時データである。

積雪のある場合には、積雪のない場合に比べて晴天指数が大きいことが明らかである。これは積雪面でのアルベドが大きいことによる。そこで、「積雪のある場合」と「積雪の無い場合」に分けて、個々に推定式を作成することとした。

なお、今回の解析で用いる太陽高度とは、時間積算日射量が観測された時刻の前1時間の中心時刻における太陽高度である。例えば、11時における時間積算日射量は10時~11時の積算値であり、この間に太陽高度は刻々と変化するが、解析に当たっては、その間の中心時刻である10時30分の太陽高度を用いた。

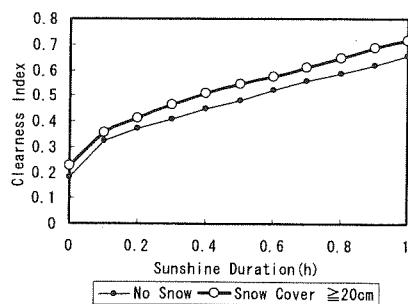


Fig.1 Correlation between clearness index and sunshine duration

2.4 無積雪時のモデル

(1) 太陽高度の影響について

図2は、わが国の日射気候区を代表する26地点⁽⁹⁾について、1991年の1年分のデータから、積雪の無かった日を抽出し、毎時の日照時間と晴天指数の関係を太陽高度別に調べたものである。横軸には毎時の日照時間を、縦軸には毎時の晴天指数を日照時間別に算術平均した値が示してある。解析に用いた26地点を表1に示す。

Table1 List of 26 meteorological stations which were analyzed in Fig.2

北見枝幸	山形	奈良	東京	広島	那覇
旭川	新潟	高田	銚子	熊本	
札幌	福井	帯広	八丈島	潮岬	
浦河	福井	浜田	名古屋	宮崎	
盛岡	福岡	宇都宮	松本	石垣島	

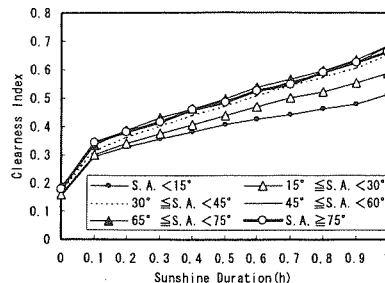


Fig.2 Correlation between clearness index and sunshine duration divided by solar altitude (S.A.) at no snow cover

図2によれば、日照時間が等しい場合、太陽高度が高いほど晴天指数が大きくなる傾向がある。また、日照時間が0、つまり、不日照の場合を除けば、太陽高度別に見た日照時間と晴天指数の間には、ほぼ直線的な関係があることが分かる。そこで、モデル開発に当たっては、不日照時とそれ以外 (以後、日照時と呼ぶ) に分けて、推定式を作成することとした。

(2) 日照時の推定モデルについて

図2に示したように、日照時には、日照時間と晴天指数の間には、ほぼ直線的な関係がある。そこで、日照時の晴天指数の推定モデルとして、図3に示すように、日照時間が1.0時間の場合の晴天指数と日照時間が0.1時間の場合の晴天指数を太陽高度別に求め、その間を直線で結ぶ推定式を作成することとした。

なお、図3は太陽高度の違いによる回帰モデルの概念図であり、低太陽高度と高太陽高度を区分する明確な“しきい値”はない。

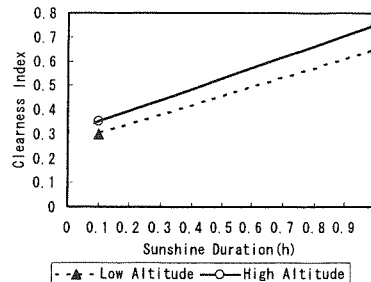


Fig.3 The basic idea of estimating model of clearness index from sunshine duration at no snow cover

a. 日照時間が1.0時間の場合について

図4は表1に示した日射気候区の代表地点のうち、北見枝幸、旭川、札幌のデータから、無積雪時で日照時間が1.0時間の場合を抽出し、太陽高度と晴天指数の関係を図示したものである。

前述したように、太陽高度が高くなるほど晴天指数が大きくなる傾向はあるが、晴天指数の増加は必ずしも太陽高度の増加と線形関係にはなく、太陽高度が低い領域における変化が大きい。

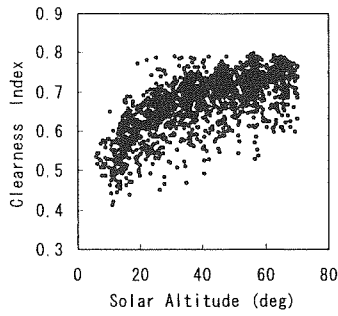


Fig.4 Correlation between clearness index and solar altitude when sunshine duration is 1.0 hour at no snow cover

この要因として、大気層の厚さが考えられる。すなわち、大気上端に達した太陽放射は大気中を通過する間に空気分子等によって減衰されるので、大気層が厚いほど地上での日射量は少なくなる傾向がある。

このような大気層の厚さを表現するものとして、エアマス (m) という値があり、太陽高度 (h) を用いて、簡易的に、 $m=1/\sin(h)$ と表わせる。そこで、図4における太陽高度を上記のエアマスに置き換えて、晴天指数との関係を図示すると図5のようになる。やや、ばらつきはあるものの、晴天指数はエアマスが5 (太陽高度約11.5度) 付近までは、エアマスの増加とともに直線的に減少し、さらに、エアマスが大きくなると一定値に近づく傾向が見られる。

この結果を踏まえ、以後の解析では、太陽高度の影響を考慮する指標として、エアマスを用いることとする。

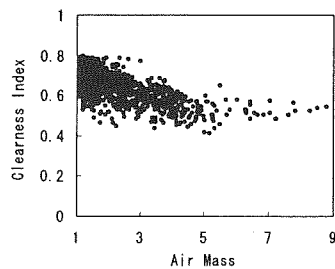


Fig.5 Correlation between clearness index and air mass

図6は、表1に示した26地点について、積雪の無かった日を抽出し、日照時間が1.0時間の場合のエアマス (m) と晴天指数の関係を図示したものである。図では、エアマスを0.5間隔 (二捨三入) に分け、その範囲に含まれる晴天指数の平均値をプロットしている。図5でも述べたように、晴天指数はエアマスの増大 (すなわち、太陽高度の減少) とともに減少し、エアマスが4 (太陽高度が約14.5度) を越えた付近から一定値に近づく傾向が見られた。

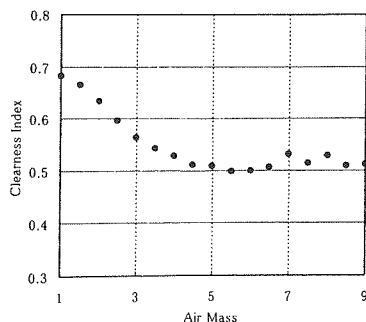


Fig.6 Correlation between clearness index and air mass when sunshine duration is 1.0 hour at no snow cover

なお、エアマス 7 以上で晴天指数の大きさに若干の変動が見られるのは、サンプル数の少ないことが影響していると思われる。

b. 日照時間が0.1時間の場合について

(1)と同様に、表1に示した26地点について、積雪の無かった日を抽出し、日照時間が0.1時間の場合のエアマスと晴天指数の関係を図示すると図7のようになる。日照時間が1.0時間の場合に比べればエアマスの影響がやや不明瞭であるものの、同様な傾向が見られた。上記の解析結果から、日照時の日照・日射モデルを作成した (3章参照)。

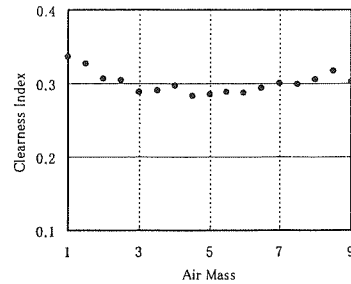


Fig.7 Correlation between clearness index and air mass when sunshine duration is 0.1 hour at no snow cover

(3) 不日照時の推定モデルについて

不日照時の場合については、今回のMETPV-3の整備に合わせ、METPV-2整備時に作成した推定式を改良した。ここでは、二つのモデルの違いについて述べる。

a. METPV-2 整備時のモデル

日照時の場合と同様に、表1に示した国内の26地点について、積雪の無かった日を抽出し、不日照時のエアマスと晴天指数の関係から日照・日射モデルを作成した。不日照時については、図8に示すように、降水時は無降水時で比べて、晴天指数が小さい傾向が見られたので、それぞれの場合に分けて推定式を作成した (3章参照)。なお、本論で言う降水時とは、1時間の降水量が1mm以上あった場合を指す。

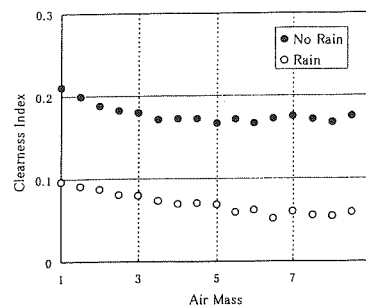


Fig.8 Correlation between clearness index and air mass when sunshine duration is smaller than 0.1 hour at no snow cover

b. METPV-3 整備時の改良モデル

METPV-3の整備に当たり、日照時間と全天日射量を同時に観測している気象官署13地点の1998年~2002年のデータを用いて、METPV-2整備時に作成した日照・日射モデルを検証したところ、概ね良好な結果が得られた (表2参照)。

ただし、図9に示すように、日射量が少ない領域において、やや、推定誤差が大きくなる傾向が全地点について見られた。日照時間別に推定誤差を調べたところ、不日照時の推定誤差が日照時の推定誤差に比べて大きいこと

が分かった。札幌の例を表3に示す。

Table2 Statistical results for METPV-2's model

地点名	COR.	RMSE	地点名	COR.	RMSE
札幌	0.97	0.23	米子	0.98	0.21
根室	0.97	0.28	清水(足摺)	0.98	0.23
秋田	0.97	0.26	福岡	0.98	0.21
宮古	0.97	0.24	鹿児島	0.98	0.21
松本	0.97	0.26	那覇	0.98	0.23
輪島	0.98	0.19	石垣島	0.98	0.23
潮岬	0.98	0.22	全地点平均	0.97	0.23

COR: Correlation coefficient
RMSE: Root Mean Square Error (MJ/m²)

不日照時の推定誤差が大きくなる一因として、以下の事が考えられる。

日照時間の定義は、直達日射量が120W/m²を越えた時間で定義される。すなわち、全天が雲に覆われている場合でも、太陽の周辺だけに日射を遮るような雲がある場合でも、日照は「無し」と判断される。実際には、散乱光の影響で両者の日射量には差異が見られるが、METPV-2整備時に作成した日照・日射モデルでは、この現象は考慮していない。

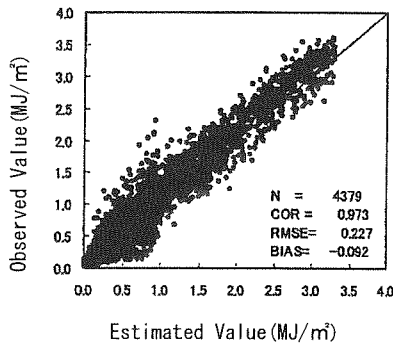


Fig.9 Correlation between observed values and estimated values of solar radiation at Sapporo using METPV-2's model

Table3 Statistical results for METPV-2's model divided by sunshine duration at Sapporo

日照時間	COR.	RMSE	日照時間	COR.	RMSE
0.0	0.76	0.24	0.6	0.97	0.21
0.1	0.92	0.19	0.7	0.96	0.23
0.2	0.95	0.19	0.8	0.96	0.25
0.3	0.96	0.19	0.9	0.95	0.26
0.4	0.97	0.19	1.0	0.97	0.23
0.5	0.97	0.22	全体平均	0.97	0.23

そこで、当該時刻を挟む前後1時間の日照時間に注目し、当該時刻を挟む前後1時間(合計で3時間)の日照時間が全て0時間(0.1時間未満)の場合と、当該時刻は日照時間が0時間(0.1時間未満)であるが、前後の時間帯はどれも日照があった場合に分けて、推定精度を比較した。札幌の例を図10に示す。

これによると、(a)の場合は、実測値が推定値の周りに均等に分布しており、系統的な誤差は見られないが、(b)の場合は、明らかに低めに推定される傾向がある。他の地点についても同様であった。

そこで、(b)の場合については、表2に示した13地点について、原点(0,0)を通る直線回帰式(y=ax)を求め、

全地点の傾きaの平均値(1.47)を不日照時におけるMETPV-2整備時の日照・日射モデルによる推定値に乘ずることとした。図10(b)に修正を加えた結果を図11に示す。例示した札幌の場合、RMSEは0.424MJ/m²から0.286MJ/m²に改善された。他の地点についても同様な改善が見られた。

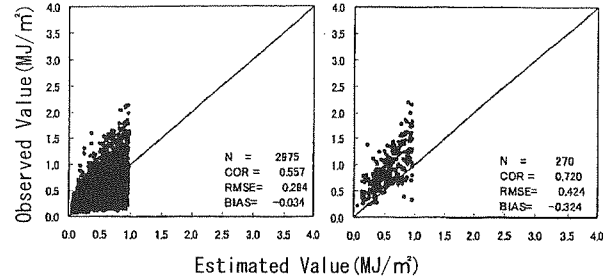


Fig.10 Correlation between observed values and estimated values of solar radiation at Sapporo using METPV-2's model when sunshine duration is smaller than 0.1 hour

(a) Sunshine duration is smaller than 0.1 hour at before one hour time and after one hour time

(b) Sunshine duration is larger than 0.1 hour at before one hour time and after one hour time

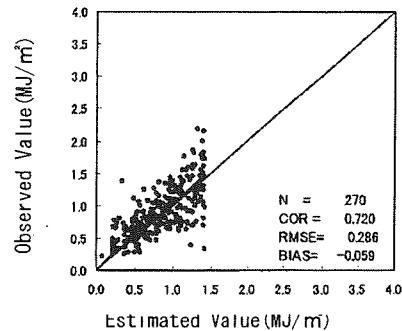


Fig.11 Correlation between observed values and estimated values of solar radiation at Sapporo using METPV-3's model in case of Fig.10(b)

2.5 積雪時のモデル

(1) 解析に使用したデータ

前節で述べた「無積雪時のモデル」の作成と同様の手順で、積雪時における時間積算日射量を日照時間から推定するモデルを作成した。モデル作成に当たっては、表4に示す国内の積雪地域7地点のMETPV平均年データ⁽¹⁰⁾を用いた。

Table4 List of 7 meteorological stations which were analyzed in this section

北見枝幸	旭川	札幌	帯広	山形	高田	福井
------	----	----	----	----	----	----

2.3節で述べたように、地表が積雪で覆われていると地表面のアルベドが増し、観測地点の日射量が大きくなる傾向がある。ただし、積雪深は場所による変動が大きいため、観測地点で積雪が観測されても、周辺一帯が積雪に覆われていたとは限らない。

そこで、本研究では、上記の観測地点における積雪深が20cm以上あった場合は、周辺一帯が積雪で覆われていたと仮定し、積雪時の推定モデルを作成した。20cm未満の積雪があった場合については、2.4節で作成した「無積雪時のモデル」と本節で作成する「積雪時のモデル」の両者を比

較し、実測値との誤差が少ない方のモデルを用いることとした。

(2) 太陽高度の影響について

図12は、表4に示した7地点について、20cm以上の積雪があった時間を抽出し、毎時の日照時間と晴天指数の関係を太陽高度別に調べたものである。横軸には毎時の日照時間を、縦軸には毎時の晴天指数を日照時間別に算術平均した値が示してある。

これによれば、無積雪時と同様、日照時間が等しい場合、太陽高度が高いほど、晴天指数が大きくなる傾向がある。また、不日照時を除けば、日照時間と晴天指数の間には、ほぼ、直線的な関係があることが分かる。

そこで、無積雪時と同様、不日照時と日照時に分けて、推定式を作成することとした。

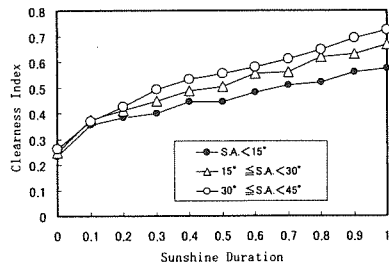


Fig.12 Correlation between clearness index and sunshine duration divided by solar altitude (S.A.) at snow cover is larger than 20cm

(3) 日照時の推定モデルについて

a. 日照時間が0.1時間の場合について

図12に示したように、日照時には、日照時間と晴天指数の間には、ほぼ、直線的な関係がある。しかしながら、日照時間が少なくなるにつれて、太陽高度による差異は不明瞭になる。

図13は、日照時間が0.1時間の場合のエアマスと晴天指数の関係を調べたものだが、あまり、有意な関係は見られない。日照時間が少ない時は太陽の位置（エアマス）に関係する直達日射の影響が小さくなり、散乱日射の影響が大きくなる。無積雪時に比べ、雪面からの反射による散乱日射量が大きくなるのがこの現象の一因であると考えられる。

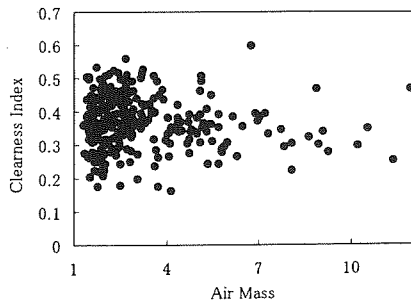


Fig.13 Correlation between clearness index and air mass when sunshine duration is 0.1 hours at snow cover is larger than 20cm

そこで、積雪時で日照時間が0.1時間の場合については、解析データを算術平均した（サンプル数288）以下の値を晴天指数とした。

$$I/I_0 = 0.369 \quad (3)$$

さらに、図14に示すように、日照時間が1.0時間の場合の晴天指数をエアマス別に求め、その間を直線で結ぶ推定式を作成することとした。

なお、図3と同様、図14は太陽高度の違いによる回帰モデルの概念図であり、低太陽高度と高太陽高度を区分する明確な“しきい値”はない。

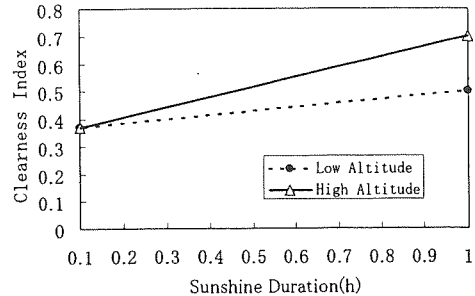


Fig.14 The basic idea of estimating model of clearness index from sunshine duration at snow cover is larger than 20cm

b. 日照時間が1.0時間の場合について

図15は、表4に示した7地点について、20cm以上の積雪があった時間を抽出し、日照時間が1.0時間の場合のエアマス（m）と晴天指数の関係を図示したものである。

図では、エアマスを0.5間隔（二捨三入）に分け、その範囲に含まれる晴天指数の平均値をプロットしている。なお、エアマスが6を越えるとサンプル数が1桁台と少なくなったので、解析から除外した。

図6に示した無積雪時同様、晴天指数はエアマスの増大とともに減少し、エアマスが4（太陽高度が約14.5度）を越えた付近から一定値に近づく傾向が見られた。上記の解析結果から、日照時の日射・日照モデルを作成した（3章参照）。

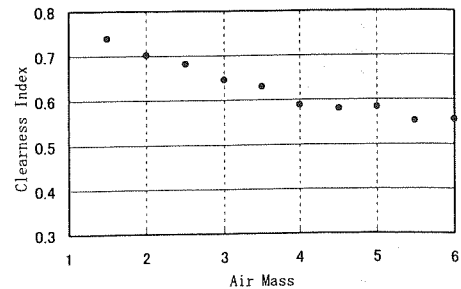


Fig.15 Correlation between clearness index and air mass when sunshine duration is 1.0 hours at snow cover is larger than 20cm

(4) 不日照時の推定モデルについて

図16は表4に示した7地点について、積雪が20cm以上で不日照であった時間を抽出し、降水時と無降水時に分けてエアマスと晴天指数の関係を図示したものである。図では、エアマスを0.5間隔（二捨三入）に分け、その範囲に含まれる晴天指数の平均値をプロットしている。

図16によると、無降水時の場合には、無積雪時の場合と同様、エアマスの増加とともに晴天指数が減少し、エアマスが4を越えた付近から一定値に近づく傾向が見られた。しかしながら、降水時の場合には、エアマス1.5から2.0に変化する場合の晴天指数の減少が著しい。

この原因の一つとして、雪片による日射量の減衰が考えられる。図16の降水時の多くは降雪時と考えられる。一般に雪片は雨滴に比べて大きく、表面の反射率も大きいことから、天空や雪面からの散乱日射を雨滴よりも多く減衰さ

せる。そして、この減衰量は降雪量が多いほど、大きいと考えられる。

図17は図16の降水時における降水量別の出現時間数をエアマス別に調査したものである。図では、エアマスを0.5間隔(二捨三入)に分け、その範囲に含まれる降水量を1mm毎の階級に分け、出現時間数を示してある。

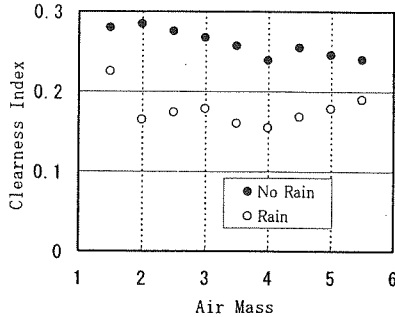


Fig.16 Correlation between clearness index and air mass when sunshine duration is smaller than 0.1 hours at snow cover is larger than 20cm

これによれば、解析に用いたデータでは、エアマスが1.5のランクにある場合には、エアマスが2.0のランクにある場合に比べ、降水量が少ない割合が多い。この降水量の出現頻度の差が晴天指数の大きな差の一因となったと考えられる。

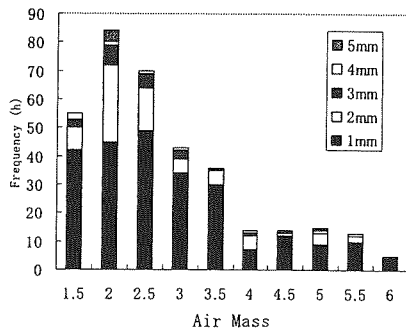


Fig.17 Correlation between frequency distribution of precipitation amount and air mass at snow cover is larger than 20cm

そこで、降水時については、降水量が1mmである場合と2mm以上である場合に分け、エアマスと晴天指数の関係を再解析した。結果を図18に示す。なお、降水時については、エアマスが3.5を越えるとサンプル数が1桁台と少なくなったので、解析から除外した。

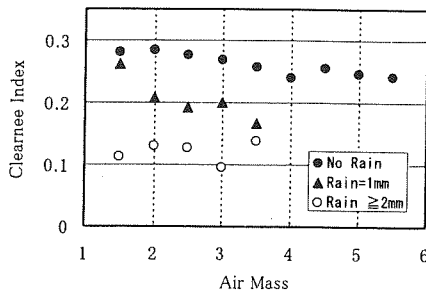


Fig.18 Correlation between clearness index and air mass when sunshine duration is smaller than 0.1 hours at snow cover is larger than 20cm divided by precipitation amount

図18から、降水量が2mm以上の場合には、エアマスと晴天指数の間には殆ど相関がないことが分かった。そこで、積雪がある場合の不日照時の推定モデルとしては、以下の3ケースに分けて推定式を作成することとした(3章参照)。

- ・ 降水が無い場合
- ・ 降水量が1mmの場合
- ・ 降水量が2mm以上の場合

なお、雪片による日射量の減衰については、厳密に言えば、雪片の性質(牡丹雪か粉雪か等)の影響を受けると考えられるが、今回の開発したモデルでは考慮していない。

2.6 積雪深20cm未満の場合のモデルについて

2.4節と2.5節で無積雪の場合と、積雪が20cm以上あった場合のモデルが開発された。それ以外のケース、すなわち、積雪が20cm未満の場合については、上記で開発した2ケースのモデルによる推定値と実測値を比較し、実測値との誤差が少ない方のモデルを採用することとした。

さて、地表面における積雪の状態は、積雪が増加していく時期(増雪期)と融雪が進む時期(融雪期)では異なると考えられる。すなわち、増雪期には降雪日が多く、気象官署周辺の地面が一様に積雪で覆われる場合が多い。これに対し、融雪期には降雪日が少なく、地表の起伏や日射の影響で積雪のある場所と無い場所が疎らになりやすい。

そこで、増雪期(11月~2月)と融雪期(3月~4月)に分けて、積雪深別に上記2ケースのモデルによる推定値を求め、実測値との誤差を比較した。

解析に用いたデータは、表4に示した国内の積雪地域7地点のMETPV平均年データである。解析結果を表5及び表6に示す。

Table5 Statistical results for the 2-4 section's model and 2-5 section's model at snow cover is larger than 1cm and smaller than 20 cm between November to February

積雪深	無積雪時モデルのRMSE	積雪時モデルのRMSE	資料数
5 cm未満	0.157 MJ/m ²	0.173 MJ/m ²	532
5 ~ 10cm	0.164 MJ/m ²	0.146 MJ/m ²	418
10 ~ 20cm	0.170 MJ/m ²	0.121 MJ/m ²	652

Table6 Statistical results for the 2-4 section's model and 2-5 section's model at snow cover is larger than 1cm and smaller than 20 cm between March to April

積雪深	無積雪時モデルのRMSE	積雪時モデルのRMSE	資料数
5 cm未満	0.239 MJ/m ²	0.273 MJ/m ²	186
5 ~ 10cm	0.266 MJ/m ²	0.169 MJ/m ²	96
10 ~ 20cm	0.258 MJ/m ²	0.206 MJ/m ²	115

表5及び表6に示された結果により、積雪が20cm未満の場合については、増雪期(11月~2月)、融雪期(3月~4月)を問わず、以下の基準により、使用するモデルを選択することとした。

- ・ 積雪が5cm未満の場合：無積雪時のモデル
- ・ 積雪が5cm以上の場合：積雪時のモデル

3. 開発した日照・日射モデルのまとめ

本研究で開発した日照・日射モデルをまとめると以下のようになる。また、改良モデルと改良前モデル及び馬淵モデルによる推定誤差の比較を表7に示す。使用したデータは表2で使用したのと同じものである。馬淵モデルに比べ、バイアス誤差が小さいのが特徴である。

(1) 積雪が5 cm未満(無積雪時のモデルを利用)

①日照時

$$m < 4 \quad I/I_0 = 0.353 - 0.0189m + (0.441 - 0.0447m) \cdot (n - 0.1)$$

$$m \geq 4 \quad I/I_0 = 0.277 + 0.263(n - 0.1)$$

②不日照時

・無降水時

$$m < 3.5 \quad I/I_0 = 0.223 - 0.0155m$$

$$m \geq 3.5 \quad I/I_0 = 0.169$$

・降水時 $I/I_0 = 0.100 - 0.006m$

(2) 積雪が5 cm以上(積雪時のモデルを利用)

①日照時

$$m < 4 \quad I/I_0 = 0.369 + (0.501 - 0.063m) \cdot (n - 0.1)$$

$$m \geq 4 \quad I/I_0 = 0.369 + 0.25(n - 0.1)$$

②不日照時

・無降水時

$$m < 4 \quad I/I_0 = 0.306 - 0.0132m$$

$$m \geq 4 \quad I/I_0 = 0.253$$

・降水量1mm

$$m < 2.5 \quad I/I_0 = 0.372 - 0.0772m$$

$$m \geq 2.5 \quad I/I_0 = 0.179$$

・降水量 ≥ 2 mm $I/I_0 = 0.111$

9~15時の不日照時で前後の1時間が共に日照ありの場合

$$I = 1.47 I_{CAL}$$

I: 補正された全天日射量

I_{CAL} : 上記(1)、(2)の不日照時の推定式による計算値

参考文献

- (1) 岡村晴美, 板垣昭彦, 日本国内801地点の月平均日積算全天日射量/斜面日射量平年値の整備に関する研究, 平成10年度日本太陽エネルギー学会/日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集, 109-112, 1998
- (2) 板垣昭彦, 岡村晴美, 服部訓子, 山田雅信, 飯田秀重, 全国150地点における時間積算斜面日射量データ (METPV) の整備, 平成10年度日本太陽エネルギー学会/日本風力エネルギー協会合同発表会講演論文集, 105-108, 1998
- (3) 佐々木律子, 板垣昭彦, 宇都宮好博, 標準気象データの地理的分解能向上に関する調査研究, 平成17年度日本太陽エネルギー学会/日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集, 303-306, 2005
- (4) 板垣昭彦, 岡村晴美, 山田雅信, 全方位の時間積算斜面日射量データセット (METPV-2) の整備, 平成13年度日本太陽エネルギー学会/日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集, 439-442, 2001
- (5) 例えば, 木下哉, 石原好之, 戸高敏之, 両面受光型太陽光発電システムに関する検討, 平成16年度日本太陽エネルギー学会/日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集, 421-424, 2004
- (6) 板垣昭彦, 岡村晴美, 佐々木律子, 山田雅信, 未観測地点における時間積算日射量データの整備(2) METPV-3の作成, 平成15年度日本太陽エネルギー学会/日本風力エネルギー協会合同研究発表会講演論文集, 41-44, 2003
- (7) 馬淵和雄, 佐藤信夫, 回転式日照計観測値からの1時間積算全天日射量の推定, 天気, 38-1, 57-63, 1991
- (8) 吉田作松, 篠木誓一, 日本における月平均全天日射量及びその年々の変動度マップの作成, 天気, 25-5, 375-389, 1978
- (9) 吉田作松, 菊地原英和, 日射量の全国マップ — その10 日射気候区分図, 太陽エネルギー vol. 15, no. 21, 5-22, 1989
- (10) (財) 日本気象協会, 平成8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, 1997
- (11) (財) 日本気象協会, 平成15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, 2004

Table7 Statistical results for the three models.

	METPV-3	METPV-2	Mabuchi
COR.	0.975	0.974	0.968
RMSE	0.227 MJ/m ²	0.231 MJ/m ²	0.269 MJ/m ²
BIAS	-0.071 MJ/m ²	-0.073 MJ/m ²	-0.121 MJ/m ²

4. おわりに

本研究は, 平成8年度⁽¹⁰⁾及び平成15年度⁽¹¹⁾のNEDOの委託業務として行われたものの一部である. 関係機関の各位に深く感謝致します.