

斜面日射量の研究—第3報

全天日射量の直散分離誤差が斜面日射量の推定結果に及ぼす影響

STUDY OF SOLAR RADIATION ON AN INCLINED SURFACE IN JAPAN 3rd Report. Evaluation of the Error of Estimated Solar Radiation on an Inclined Surface due to the Error of the Separation of Global Solar Radiation in Direct and Diffuse Parts.

吉 田 作 松*

Sakumatsu YOSHIDA

菊 地 原 英 和**

Hidekazu KIKUCHIHARA

Abstract

It is important in applications of estimated solar radiation data on an inclined surface to take its accuracy into consideration.

In the present study, a formula is derived to evaluate the error of estimated solar radiation on an inclined surface due to the error of the separation of global solar radiation in direct and diffuse parts. As an example, the error of the estimated monthly mean solar radiation on an inclined surface caused by the error of +5% of the sky diffuse radiation estimated by separation of monthly mean global solar radiation, is calculated using the above formula for slopes with azimuth from 0° (due south) to 90° and inclination from 0° (horizontal) to 90° at Asahikawa (lat. 43° 46.2' N), Hikone (lat. 35° 16.4' N), and Naha (lat. 26° 13.6' N). It is found, that the error (%) of the estimated daily (or monthly) mean solar radiation on an inclined surface is generally smaller than the error (%) of the daily (monthly) sky diffuse solar radiation estimated by separation method, while, in winter season in the region of higher latitude than about 40°, the former is the same magnitude with or larger than the latter for a south-faced slope with great inclination.

Key Words : solar radiation, inclined surface, separation of global solar radiation, diffuse radiation, error evaluation

1. まえがき

太陽エネルギー利用技術にとって、斜面日射量は欠くことのできないデータである。しかし、斜面日射量を実測している機関は少なく、しかも必要とされる対象斜面の種類（方位角、傾斜角）が多様なので、すべてのデータを実測によって得ることは、時間と経費から、実行不可能である。そのため、これを、データが比較的豊富な全天日射量から、推定によって求めることが多い。

斜面日射量推定の通常の手順は、図1のとおりである。すなわち、斜面日射量推定値の誤差は、少なくとも3種類の誤差、つまり、全天日射量（実測または推定）の誤差、直散分離（全天日射量を直達成分と天空散乱成分に分離すること）モデルの誤差、および斜面日射量モデルの誤差の組み合わせによって決まる。

これらの誤差を評価することは、推定された斜面日射量データの正しい利用のために重要である。

本研究においては、上述のうち、直散分離モデルの

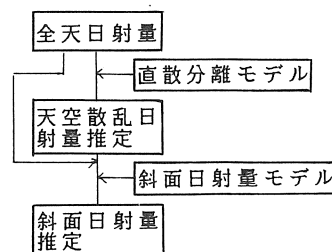


図1 斜面日射量推定手順の例

※日本太陽エネルギー学会第13回研究発表会（1987. 12. 3）において発表⁸⁾（一部訂正）

*（財）日本気象協会 相談役

Japan Weather Association

Senior Advisor

**（財）日本気象協会 参与

Japan Weather Association

Chief Researcher

誤差によって生ずる斜面日射量推定値の誤差の評価を行う（注：月平均斜面日射量モデルの誤差の評価については、前報⁷⁾で報告した。）

直散分離に際しては、通常、散乱比（天空散乱日射量と全天日射量の比）を推定し、それに全天日射量を掛けて天空散乱日射量を推定する。水平面直達日射量は、このようにして推定された天空散乱日射量を、全天日射量から差し引くことによって推定される。従って、もしはじめの天空散乱日射量推定値に誤差があれば、水平面直達日射量に対して、同じ大きさの反対符号の誤差となる。

つまり、直散分離によって推定された天空散乱日射量の誤差と水平面直達日射量の誤差は、水平面上では完全に相補的である。しかし、これら両成分を斜面上に変換した場合には、各成分によって変換率が異なるので、換算後の両成分の誤差の合計がゼロになるとは限らない。

一方、散乱比は、雲の状態、大気混濁度、地表面アルベド（反射率）、太陽高度などによって複雑に変化する。しかし、これら要因を十分に考慮に入れた直散分離モデルを作成することは、實際上困難である。従って、これまでに作成されたモデルは、単に、晴天指数（全天日射量と大気外水平面日射量の比）または日照率を独立変数として用いるものが大部分で、次の第2節で述べるように、その誤差は必ずしも小さくない。

なお、これまでに、直散分離モデルの研究は非常に多いが、直散分離誤差が斜面日射量推定値にどの程度の誤差を生ずるかについての研究例が見当たらない。

2. 直散分離による天空散乱日射量推定値の誤差

全天日射量を直散分離して推定した天空散乱日射量の誤差は、一般に、日射量の積算時間が長いほど、小さい。従来の研究から、その誤差（ここでは推定値の標準誤差を実測値の平均値で割り、パーセントで示す）の例をみると、時間積算値の場合、おおよそ25%位、日積算値の場合、20%位^{9,10,13,15)} 月平均値の場合、10%位^{9,10,11,12,14,16)} である。

わが国の実測データを用いて得られた月平均天空散乱日射量推定のための次のモデル^{1,4,5)}の場合、誤差は約7%である。

$$\bar{H}_d = (\bar{H} - 0.048 G_{10} \bar{H}_0) \{ 0.950 - 1.336 \cdot n/N + 0.702 (n/N)^2 + 0.217 C_i \} + 0.048 G_{10} \bar{H}_0 \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここで

$\bar{H}_d$: 月平均天空散乱日射量

$\bar{H}$: 月平均全天日射量

$\bar{H}_0$: 月平均大気外水平面日射量

n : 月間日照時間 N : 月間可照時間

C_i : うす雲指数（月平均雲量 + $n/N - 1$ ）

G_{10} : 積雪指数（積雪10cm以上の月間日数と月の総日数の比）

最近行なわれた筑波実験観測^{2,6)}による $\bar{H}_d$ の実測値と、式(1)による $\bar{H}_d$ の推定値の比較は図2のとおりで、やはり7%程度の誤差を示している。

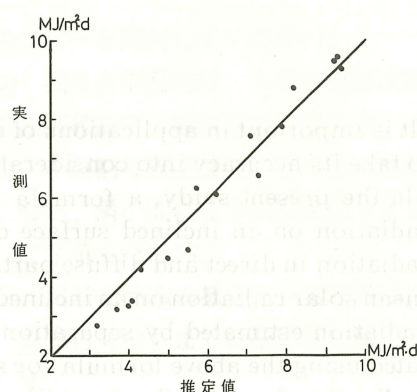


図2 式(1)による月平均天空散乱日射量の推定値と筑波実験観測における実測値の比較。1984年9月～1985年12月

3. 直散分離誤差に基づく斜面日射量推定値の誤差

(1) 使用した斜面日射量モデル

これまでに多くの斜面日射量モデルが提案されており、その精度はいろいろである。しかし、天空散乱日射量の誤差によって生ずる斜面日射量推定値の誤差を調べるという本研究の目的の場合には、斜面日射量モデルの種類は、結果に対してほとんど影響しないはずである。

そこで、斜面日射量の推定に、最も簡単な、次の「 R_b +均一分布」モデル^{2,7)}を用いることにした（第2報⁷⁾で最良モデルと評価された「 r_b +Hay(1)」モデルを用いた場合でも、全く同一結果（表1）になることが、実際計算によって確認された）。

$$H \beta \gamma = (H - H_d) R_b + H_d (1 + \cos \beta) / 2 + H \cdot \rho (1 - \cos \beta) / 2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

ここで、

$H \beta \gamma$: 傾斜角が β 、方位角が γ の斜面へ入射する日積算日射量 H : 日積算全天日射量 H_d : 日積算天空散乱日射量 R_b : 大気外における日積算斜面日射量と日積算水平面日射量の比 ρ : 地表面アルベド（反射率）

式(2)の右辺第1項は、斜面日射量の直達成分を表わし、斜面に入射する直達成分と水平面に入射する直達成分の比(R_b)が、地表と大気外とで等しいとの仮定に基づいている。 R_b は、NicholsとChild¹⁷⁾の方法により、緯度、太陽赤緯、斜面の方位角および傾斜角から計算される。右辺第2項は、同じく天空散乱成分を表わし、天空における散乱光の分布が均一であるとの仮定に基づいている¹⁸⁾。右辺第3項は、地表面反射成分で、地表面反射は均一(完全乱反射)であるとの仮定に基づいている。

なお、式(2)の H 、 H_d および ρ に月平均値を用い、月平均斜面日射量を推定する場合の誤差は、斜面の方位角と傾斜角によって異なるが、平均して3%位である。^{2,7)}

(2) 斜面日射量推定値の誤差

H_d に ΔH_d の誤差がある場合の $H\beta r$ の誤差($\Delta H\beta r$)は、式(2)から

$$\Delta H\beta r = \{ -R_b + (1 + \cos \beta) / 2 \} \cdot \Delta H_d \quad \dots\dots\dots(3)$$

従って、式(2)と式(3)から、誤差の割合は

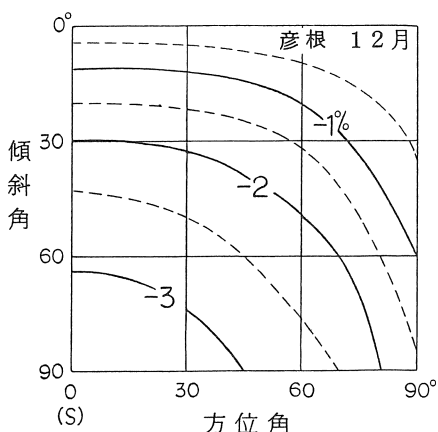
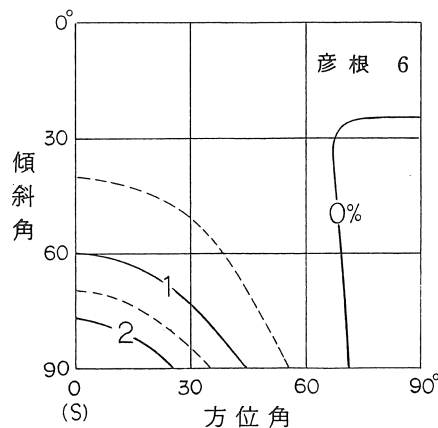


図3 直散分離モデルによる月平均天空散乱日射量推定値の誤差が+5%の場合の斜面日射量の推定誤差と斜面の方位角・傾斜角の関係、彦根の6月と12月

$$\begin{aligned} \Delta H\beta r / H\beta r = & \{ -R_b + (1 + \cos \beta) / 2 \} \cdot \Delta H_d / H_d \\ & (1/K - 1) R_b + (1 + \cos \beta) / 2 + (1/K) \cdot \rho (1 - \cos \beta) / 2 \end{aligned} \quad \dots\dots\dots(4)$$

ここで $K = H_d / H$ (散乱比)。

2節で述べたように、直散分離の方法によって推定される天空散乱日射量には、日積算値の場合20%位、月平均値の場合5~10%の誤差がある。本研究では、仮りに月平均天空散乱日射量に+5%の誤差があった場合に、月平均斜面日射量推定値にどの程度の誤差を生ずるかを、式(4)を用いて計算した。

研究対象地点として、わが国の日射気候²⁾をほぼ代表すると考えられる旭川(43°46.2'N)、彦根(35°16.4'N)、那覇(26°13.6'N)の3地点を選び、30年(1951~1980年)平均の月平均全天日射量および月平均天空散乱日射量データ¹⁾を用いた。斜面の種類は、方位角が15°刻みで0°(南)から90°(東または西)、傾斜角が10°刻みで0°(水平)から90°(鉛直)である、また、地表面アルベド(ρ)の月平均値として、次の式¹⁸⁾による値を用いた。

$$\rho = 0.2 (1 - G_{10}) + 0.7 G_{10} \quad \dots\dots\dots(5)$$

ここで、 G_{10} は式(1)の場合と同じである。このモデルは、地表面アルベドとして、積雪がないとき0.2、積雪があるとき0.7を用いることを意味する。

計算結果を表1に、また、例として、彦根の6月と12月における誤差の方位角・傾斜角分布を図3に、わが国における年間最適傾斜角(年間の入射日射量が最大になる傾斜角)に近い南向き30°の場合³⁾の誤差の季節変化を図4に示す。

式(4)は、斜面日射量推定値の誤差が、天空散乱日射量の誤差のほかに、緯度、季節(太陽赤緯)、斜面の

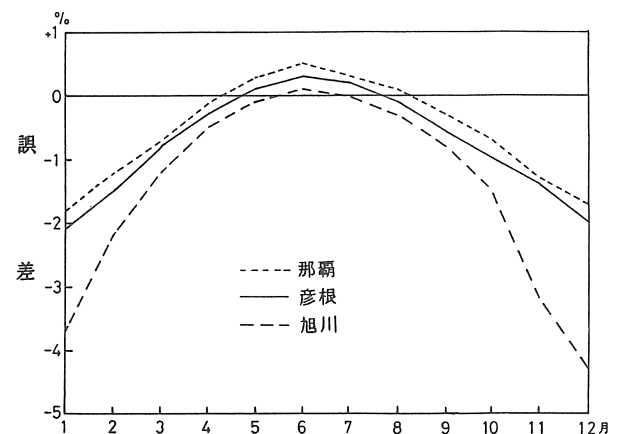


図4 直散分離モデルによる月平均天空散乱日射量推定値の誤差が+5%の場合の斜面日射量の推定誤差の季節変化、傾斜角30°の南向き斜面の場合

表1 月平均天空散乱日射量の推定誤差(+5%)によって生ずる斜面日射量推定誤差(%)

旭川		1カマツ	2カマツ	3カマツ	4カマツ	5カマツ	6カマツ	7カマツ	8カマツ	9カマツ	10カマツ	11カマツ	12カマツ	：(1-12)
0	10	-1.6	-1.0	-0.5	-0.2	-0.0	0.0	-0.0	-0.2	-0.3	-0.6	-1.4	-1.9	-0.4
	20	-2.8	-1.7	-0.9	-0.4	-0.1	0.0	-0.0	-0.3	-0.6	-1.1	-2.4	-3.3	-0.7
	30	-3.7	-2.2	-1.2	-0.5	-0.1	0.1	0.0	-0.3	-0.8	-1.5	-3.2	-4.3	-1.0
	40	-4.4	-2.7	-1.4	-0.5	-0.1	0.2	0.1	-0.3	-0.9	-1.8	-3.8	-5.2	-1.2
	50	-4.9	-3.0	-1.5	-0.6	0.0	0.3	0.2	-0.3	-1.0	-2.0	-4.3	-5.8	-1.4
	60	-5.3	-3.2	-1.6	-0.6	0.1	0.5	0.4	-0.3	-1.1	-2.2	-4.7	-6.3	-1.5
	70	-5.6	-3.3	-1.7	-0.5	0.3	0.8	0.6	-0.2	-1.1	-2.3	-5.0	-6.6	-1.6
	80	-5.7	-3.4	-1.7	-0.4	0.6	1.1	1.0	0.1	-1.1	-2.5	-5.3	-6.9	-1.6
	90	-5.8	-3.4	-1.6	-0.2	1.0	1.7	1.5	0.4	-1.0	-2.5	-5.4	-7.0	-1.6
15	10	-1.6	-1.0	-0.5	-0.2	-0.1	0.0	-0.0	-0.2	-0.3	-0.6	-1.3	-1.8	-0.4
	20	-2.7	-1.7	-0.9	-0.4	-0.1	0.0	-0.0	-0.3	-0.6	-1.1	-2.3	-3.2	-0.7
	30	-3.6	-2.2	-1.2	-0.5	-0.1	0.1	0.0	-0.3	-0.8	-1.5	-3.1	-4.2	-1.0
	40	-4.3	-2.7	-1.4	-0.6	-0.1	0.1	0.1	-0.4	-1.0	-1.8	-3.7	-5.0	-1.2
	50	-4.8	-3.0	-1.6	-0.6	-0.0	0.3	0.2	-0.4	-1.1	-2.0	-4.2	-5.6	-1.4
	60	-5.1	-3.2	-1.7	-0.6	0.1	0.4	0.3	-0.3	-1.2	-2.2	-4.6	-6.1	-1.5
	70	-5.4	-3.3	-1.7	-0.6	0.2	0.7	0.5	-0.2	-1.2	-2.3	-4.9	-6.4	-1.6
	80	-5.5	-3.4	-1.7	-0.5	0.5	1.0	0.8	-0.0	-1.2	-2.4	-5.1	-6.7	-1.7
	90	-5.6	-3.4	-1.6	-0.3	0.8	1.5	1.3	0.2	-1.2	-2.5	-5.3	-6.8	-1.6
30	10	-1.4	-0.9	-0.5	-0.2	-0.1	-0.0	-0.0	-0.1	-0.3	-0.6	-1.2	-1.6	-0.4
	20	-2.5	-1.6	-0.8	-0.3	-0.1	0.0	-0.0	-0.3	-0.6	-1.0	-2.1	-2.9	-0.7
	30	-3.3	-2.1	-1.1	-0.5	-0.1	0.0	-0.1	-0.4	-0.8	-1.4	-2.8	-3.8	-0.9
	40	-3.9	-2.5	-1.4	-0.6	-0.1	0.1	-0.0	-0.5	-0.9	-1.7	-3.4	-4.6	-1.1
	50	-4.3	-2.8	-1.6	-0.6	-0.1	0.1	0.0	-0.5	-1.1	-1.9	-3.9	-5.2	-1.3
	60	-4.7	-3.0	-1.7	-0.7	-0.1	0.2	0.1	-0.5	-1.2	-2.1	-4.3	-5.6	-1.5
	70	-4.9	-3.1	-1.7	-0.7	-0.0	0.4	0.3	-0.5	-1.3	-2.3	-4.6	-5.9	-1.6
	80	-5.0	-3.2	-1.8	-0.6	0.1	0.6	0.5	-0.4	-1.3	-2.4	-4.8	-6.1	-1.6
	90	-5.1	-3.2	-1.7	-0.6	0.4	1.0	0.8	-0.3	-1.3	-2.5	-4.9	-6.2	-1.7
45	10	-1.1	-0.8	-0.4	-0.2	-0.1	-0.0	-0.0	-0.1	-0.3	-0.5	-1.0	-1.3	-0.3
	20	-2.0	-1.4	-0.8	-0.3	-0.1	-0.0	-0.1	-0.3	-0.5	-0.9	-1.8	-2.4	-0.6
	30	-2.8	-1.8	-1.1	-0.4	-0.2	-0.0	-0.1	-0.4	-0.7	-1.2	-2.5	-3.2	-0.8
	40	-3.3	-2.2	-1.3	-0.5	-0.2	-0.0	-0.1	-0.5	-0.9	-1.5	-3.0	-3.9	-1.0
	50	-3.8	-2.5	-1.5	-0.6	-0.2	-0.0	-0.1	-0.6	-1.1	-1.8	-3.4	-4.4	-1.2
	60	-4.1	-2.8	-1.6	-0.7	-0.3	0.0	-0.1	-0.7	-1.2	-2.0	-3.8	-4.9	-1.4
	70	-4.3	-2.9	-1.7	-0.7	-0.3	0.1	-0.0	-0.7	-1.3	-2.2	-4.1	-5.2	-1.5
	80	-4.4	-3.0	-1.8	-0.8	-0.2	0.2	0.1	-0.7	-1.4	-2.3	-4.4	-5.3	-1.6
	90	-4.4	-3.0	-1.8	-0.7	-0.1	0.3	0.2	-0.7	-1.5	-2.4	-4.5	-5.4	-1.7
60	10	-0.8	-0.6	-0.3	-0.1	-0.1	-0.0	-0.0	-0.1	-0.2	-0.4	-0.8	-0.9	-0.2
	20	-1.6	-1.1	-0.6	-0.2	-0.1	-0.0	-0.1	-0.3	-0.4	-0.7	-1.4	-1.8	-0.5
	30	-2.2	-1.5	-0.9	-0.4	-0.2	-0.1	-0.1	-0.4	-0.6	-1.0	-2.0	-2.5	-0.7
	40	-2.6	-1.9	-1.2	-0.5	-0.3	-0.1	-0.2	-0.5	-0.8	-1.3	-2.5	-3.1	-0.9
	50	-3.1	-2.1	-1.3	-0.6	-0.3	-0.1	-0.2	-0.7	-1.0	-1.6	-2.9	-3.5	-1.1
	60	-3.4	-2.4	-1.5	-0.7	-0.4	-0.1	-0.2	-0.8	-1.2	-1.8	-3.2	-3.9	-1.2
	70	-3.6	-2.5	-1.6	-0.7	-0.4	-0.1	-0.2	-0.9	-1.3	-2.0	-3.6	-4.2	-1.4
	80	-3.7	-2.6	-1.7	-0.8	-0.5	-0.1	-0.2	-1.0	-1.4	-2.2	-3.8	-4.4	-1.5
	90	-3.7	-2.7	-1.7	-0.8	-0.5	-0.1	-0.2	-1.0	-1.5	-2.3	-4.0	-4.5	-1.6
75	10	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.4	-0.5	-0.1
	20	-0.9	-0.7	-0.4	-0.1	-0.1	-0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.5	-0.9	-1.0	-0.3
	30	-1.4	-1.0	-0.7	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.4	-0.5	-0.8	-1.3	-1.5	-0.5
	40	-1.8	-1.4	-0.9	-0.4	-0.3	-0.1	-0.2	-0.5	-0.7	-1.0	-1.7	-2.0	-0.7
	50	-2.1	-1.6	-1.1	-0.5	-0.3	-0.2	-0.2	-0.7	-0.8	-1.2	-2.1	-2.4	-0.8
	60	-2.4	-1.8	-1.3	-0.6	-0.4	-0.2	-0.3	-0.8	-1.0	-1.5	-2.4	-2.7	-1.0
	70	-2.6	-2.0	-1.4	-0.7	-0.5	-0.3	-0.4	-1.0	-1.2	-1.7	-2.7	-3.0	-1.2
	80	-2.7	-2.1	-1.5	-0.7	-0.6	-0.3	-0.4	-1.1	-1.3	-1.9	-3.0	-3.2	-1.3
	90	-2.8	-2.2	-1.6	-0.8	-0.7	-0.3	-0.4	-1.2	-1.5	-2.0	-3.2	-3.3	-1.4
90	10	-0.0	-0.1	-0.1	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	0.0	-0.0
	20	-0.2	-0.2	-0.2	-0.0	-0.1	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1
	30	-0.4	-0.4	-0.4	-0.1	-0.1	-0.0	-0.1	-0.3	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.2
	40	-0.6	-0.6	-0.6	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.4	-0.4	-0.6	-0.7	-0.6	-0.3
	50	-0.9	-0.9	-0.8	-0.3	-0.3	-0.1	-0.2	-0.6	-0.6	-0.8	-1.0	-1.0	-0.5
	60	-1.1	-1.1	-0.9	-0.4	-0.4	-0.2	-0.2	-0.7	-0.7	-1.0	-1.3	-1.2	-0.6
	70	-1.3	-1.3	-1.1	-0.5	-0.5	-0.3	-0.3	-0.9	-0.9	-1.2	-1.6	-1.5	-0.8
	80	-1.4	-1.4	-1.2	-0.5	-0.6	-0.4	-0.4	-1.0	-1.1	-1.4	-1.8	-1.6	-0.9
	90	-1.5	-1.5	-1.3	-0.6	-0.7	-0.4	-0.5	-1.2	-1.2	-1.6	-2.0	-1.7	-1.0

彦 根

方位 カ ト	方位 カ ト	1カ	2カ	3カ	4カ	5カ	6カ	7カ	8カ	9カ	10カ	11カ	12カ	:	ネ	ン
ト	ト	ト	ト	ト	ト	ト	ト	ト	ト	ト	ト	ト	ト	:	(1-12)	
0	10	-0.9	-0.6	-0.3	-0.1	0.0	0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.4	-0.6	-0.9	:	-0.3	
	20	-1.6	-1.1	-0.6	-0.2	0.0	0.2	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-1.1	-1.5	:	-0.5	
	30	-2.1	-1.5	-0.8	-0.3	0.1	0.3	0.2	-0.1	-0.6	-1.0	-1.4	-2.0	:	-0.6	
	40	-2.5	-1.8	-0.9	-0.3	0.2	0.5	0.3	-0.1	-0.7	-1.2	-1.7	-2.4	:	-0.7	
	50	-2.8	-2.1	-1.0	-0.3	0.3	0.7	0.5	0.0	-0.7	-1.3	-1.9	-2.7	:	-0.8	
	60	-3.1	-2.3	-1.1	-0.2	0.5	1.0	0.8	0.2	-0.7	-1.4	-2.0	-2.9	:	-0.9	
	70	-3.3	-2.4	-1.2	-0.0	0.8	1.5	1.2	0.4	-0.7	-1.5	-2.2	-3.1	:	-0.9	
	80	-3.5	-2.5	-1.1	0.2	1.3	2.1	1.8	0.7	-0.5	-1.6	-2.3	-3.3	:	-0.8	
	90	-3.6	-2.5	-1.0	0.6	2.0	3.0	2.5	1.2	-0.3	-1.6	-2.4	-3.4	:	-0.7	
15	10	-0.9	-0.6	-0.3	-0.1	0.0	0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.4	-0.6	-0.9	:	-0.2	
	20	-1.5	-1.1	-0.6	-0.2	0.0	0.1	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-1.1	-1.5	:	-0.4	
	30	-2.0	-1.5	-0.8	-0.3	0.1	0.3	0.2	-0.1	-0.6	-0.9	-1.4	-2.0	:	-0.6	
	40	-2.4	-1.8	-0.9	-0.3	0.2	0.4	0.3	-0.1	-0.6	-1.1	-1.7	-2.3	:	-0.7	
	50	-2.8	-2.1	-1.0	-0.3	0.3	0.6	0.5	-0.0	-0.7	-1.2	-1.9	-2.6	:	-0.8	
	60	-3.0	-2.3	-1.1	-0.3	0.5	0.9	0.7	0.1	-0.7	-1.4	-2.1	-2.9	:	-0.9	
	70	-3.2	-2.4	-1.1	-0.1	0.7	1.3	1.0	0.3	-0.7	-1.4	-2.2	-3.1	:	-0.9	
	80	-3.4	-2.5	-1.1	0.0	1.1	1.9	1.5	0.5	-0.6	-1.5	-2.3	-3.2	:	-0.9	
	90	-3.5	-2.6	-1.1	0.4	1.7	2.6	2.2	0.9	-0.5	-1.5	-2.4	-3.4	:	-0.8	
30	10	-0.8	-0.6	-0.3	-0.1	-0.0	0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.6	-0.8	:	-0.2	
	20	-1.4	-1.0	-0.5	-0.2	-0.0	0.1	0.1	-0.1	-0.4	-0.6	-1.0	-1.4	:	-0.4	
	30	-1.9	-1.4	-0.7	-0.3	0.0	0.2	0.1	-0.1	-0.5	-0.8	-1.3	-1.9	:	-0.6	
	40	-2.2	-1.7	-0.9	-0.3	0.1	0.3	0.2	-0.1	-0.6	-1.0	-1.6	-2.2	:	-0.7	
	50	-2.5	-2.0	-1.0	-0.3	0.1	0.5	0.3	-0.1	-0.7	-1.2	-1.8	-2.5	:	-0.8	
	60	-2.8	-2.2	-1.1	-0.3	0.2	0.7	0.5	-0.1	-0.8	-1.3	-2.0	-2.7	:	-0.9	
	70	-3.0	-2.3	-1.1	-0.2	0.4	0.9	0.7	0.0	-0.8	-1.3	-2.1	-2.9	:	-0.9	
	80	-3.1	-2.4	-1.2	-0.1	0.6	1.3	1.0	0.1	-0.7	-1.4	-2.2	-3.1	:	-0.9	
	90	-3.2	-2.5	-1.1	0.0	0.9	1.7	1.4	0.3	-0.7	-1.4	-2.3	-3.2	:	-0.9	
45	10	-0.7	-0.5	-0.2	-0.1	-0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.5	-0.7	:	-0.2	
	20	-1.2	-0.9	-0.5	-0.2	-0.0	0.1	0.0	-0.1	-0.3	-0.5	-0.9	-1.2	:	-0.4	
	30	-1.6	-1.3	-0.6	-0.2	-0.0	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.7	-1.2	-1.6	:	-0.5	
	40	-2.0	-1.6	-0.8	-0.3	-0.0	0.2	0.1	-0.2	-0.6	-0.9	-1.4	-2.0	:	-0.7	
	50	-2.3	-1.8	-0.9	-0.3	-0.0	0.2	0.1	-0.2	-0.7	-1.0	-1.6	-2.3	:	-0.8	
	60	-2.5	-2.0	-1.0	-0.3	0.0	0.3	0.2	-0.2	-0.8	-1.1	-1.8	-2.5	:	-0.9	
	70	-2.7	-2.2	-1.1	-0.3	0.1	0.5	0.3	-0.2	-0.8	-1.2	-2.0	-2.7	:	-0.9	
	80	-2.8	-2.3	-1.2	-0.3	0.2	0.7	0.5	-0.2	-0.8	-1.3	-2.1	-2.9	:	-1.0	
	90	-2.9	-2.4	-1.2	-0.2	0.3	0.9	0.7	-0.1	-0.8	-1.3	-2.2	-3.0	:	-1.0	
60	10	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	-0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.4	-0.5	:	-0.1	
	20	-0.9	-0.7	-0.4	-0.1	-0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.3	-0.4	-0.7	-1.0	:	-0.3	
	30	-1.3	-1.1	-0.5	-0.2	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.4	-0.6	-1.0	-1.4	:	-0.4	
	40	-1.6	-1.3	-0.7	-0.3	-0.1	0.0	-0.0	-0.2	-0.5	-0.7	-1.2	-1.7	:	-0.6	
	50	-1.9	-1.6	-0.8	-0.3	-0.1	0.1	0.0	-0.3	-0.6	-0.8	-1.4	-2.0	:	-0.7	
	60	-2.1	-1.8	-0.9	-0.3	-0.2	0.1	0.0	-0.3	-0.7	-1.0	-1.6	-2.2	:	-0.8	
	70	-2.3	-2.0	-1.0	-0.4	-0.2	0.1	0.1	-0.4	-0.8	-1.1	-1.8	-2.4	:	-0.9	
	80	-2.4	-2.2	-1.1	-0.4	-0.1	0.2	0.1	-0.4	-0.9	-1.1	-1.9	-2.6	:	-0.9	
	90	-2.6	-2.3	-1.2	-0.3	-0.1	0.3	0.2	-0.4	-0.9	-1.2	-2.0	-2.8	:	-1.0	
75	10	-0.3	-0.2	-0.1	-0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	:	-0.1	
	20	-0.5	-0.5	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.2	-0.2	-0.5	-0.6	:	-0.2	
	30	-0.8	-0.8	-0.4	-0.1	-0.1	-0.0	-0.0	-0.2	-0.3	-0.3	-0.7	-0.9	:	-0.3	
	40	-1.1	-1.0	-0.5	-0.2	-0.1	-0.0	-0.0	-0.2	-0.4	-0.5	-0.9	-1.2	:	-0.4	
	50	-1.3	-1.2	-0.6	-0.2	-0.2	-0.0	-0.1	-0.3	-0.5	-0.6	-1.1	-1.5	:	-0.5	
	60	-1.5	-1.5	-0.7	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1	-0.4	-0.6	-0.7	-1.3	-1.7	:	-0.6	
	70	-1.7	-1.6	-0.8	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1.4	-2.0	:	-0.7	
	80	-1.9	-1.8	-0.9	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.5	-0.8	-0.9	-1.6	-2.1	:	-0.8	
	90	-2.0	-2.0	-1.0	-0.3	-0.4	-0.1	-0.1	-0.5	-0.8	-0.9	-1.7	-2.3	:	-0.9	
90	10	-0.0	-0.1	-0.0	0.0	-0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	-0.1	-0.1	:	-0.0	
	20	-0.1	-0.2	-0.1	0.0	-0.0	0.0	-0.0	-0.1	-0.0	-0.0	-0.2	-0.2	:	-0.1	
	30	-0.2	-0.4	-0.1	-0.0	-0.1	-0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.4	:	-0.1	
	40	-0.4	-0.5	-0.2	-0.0	-0.1	-0.0	-0.0	-0.2	-0.2	-0.1	-0.4	-0.6	:	-0.2	
	50	-0.6	-0.7	-0.3	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.2	-0.6	-0.8	:	-0.3	
	60	-0.7	-0.9	-0.4	-0.1	-0.3	-0.1	-0.1	-0.3	-0.4	-0.3	-0.7	-1.0	:	-0.4	
	70	-0.9	-1.1	-0.5	-0.1	-0.3	-0.2	-0.2	-0.4	-0.4	-0.4	-0.9	-1.2	:	-0.5	
	80	-1.0	-1.3	-0.6	-0.2	-0.4	-0.2	-0.2	-0.5	-0.5	-0.5	-1.1	-1.4	:	-0.6	
	90	-1.2	-1.5	-0.7	-0.2	-0.5	-0.2	-0.2	-0.6	-0.6	-0.5	-1.2	-1.6	:	-0.6	

那 覇

カ ク ト	カ ク ト	1カ ク	2カ ク	3カ ク	4カ ク	5カ ク	6カ ク	7カ ク	8カ ク	9カ ク	10カ ク	11カ ク	12カ ク	：	ネ ン (1-12)
0	10	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	-0.1	-0.3	-0.5	-0.7	：	-0.2
	20	-1.3	-0.9	-0.5	-0.1	0.2	0.3	0.2	0.0	-0.2	-0.5	-1.0	-1.3	：	-0.3
	30	-1.8	-1.2	-0.7	-0.1	0.3	0.5	0.3	0.1	-0.3	-0.7	-1.3	-1.7	：	-0.4
	40	-2.2	-1.5	-0.8	-0.0	0.5	0.7	0.5	0.2	-0.3	-0.8	-1.6	-2.1	：	-0.5
	50	-2.5	-1.7	-0.8	0.1	0.8	1.1	0.8	0.3	-0.3	-0.9	-1.8	-2.4	：	-0.5
	60	-2.8	-1.8	-0.8	0.3	1.2	1.6	1.1	0.6	-0.2	-1.0	-2.0	-2.6	：	-0.5
	70	-3.0	-1.9	-0.8	0.6	1.8	2.2	1.6	0.9	-0.1	-1.0	-2.1	-2.8	：	-0.4
	80	-3.2	-2.0	-0.6	1.1	2.6	3.1	2.4	1.4	0.1	-1.0	-2.2	-2.9	：	-0.3
	90	-3.3	-1.9	-0.3	1.7	3.6	4.1	3.5	2.2	0.5	-0.9	-2.2	-3.1	：	-0.0
15	10	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	-0.1	-0.3	-0.5	-0.7	：	-0.2
	20	-1.3	-0.8	-0.5	-0.1	0.2	0.3	0.2	0.0	-0.2	-0.5	-1.0	-1.2	：	-0.3
	30	-1.7	-1.1	-0.7	-0.1	0.3	0.4	0.3	0.1	-0.3	-0.7	-1.3	-1.7	：	-0.4
	40	-2.1	-1.4	-0.8	-0.1	0.5	0.7	0.5	0.2	-0.3	-0.8	-1.6	-2.0	：	-0.5
	50	-2.4	-1.6	-0.9	0.0	0.8	1.0	0.7	0.3	-0.3	-0.9	-1.8	-2.3	：	-0.5
	60	-2.7	-1.7	-0.9	0.2	1.1	1.4	1.0	0.5	-0.3	-1.0	-1.9	-2.6	：	-0.5
	70	-2.9	-1.8	-0.9	0.4	1.6	2.0	1.5	0.7	-0.2	-1.0	-2.1	-2.8	：	-0.4
	80	-3.0	-1.8	-0.7	0.8	2.2	2.7	2.1	1.2	-0.0	-1.0	-2.2	-2.9	：	-0.3
	90	-3.1	-1.8	-0.5	1.3	3.0	3.6	2.9	1.7	0.2	-0.9	-2.2	-3.0	：	-0.1
30	10	-0.6	-0.4	-0.3	-0.1	0.1	0.1	0.1	0.0	-0.1	-0.3	-0.5	-0.6	：	-0.2
	20	-1.1	-0.7	-0.5	-0.1	0.1	0.2	0.1	0.0	-0.2	-0.5	-0.9	-1.1	：	-0.3
	30	-1.6	-1.0	-0.7	-0.1	0.2	0.4	0.2	0.0	-0.3	-0.6	-1.2	-1.5	：	-0.4
	40	-1.9	-1.2	-0.8	-0.1	0.4	0.5	0.4	0.1	-0.3	-0.8	-1.5	-1.9	：	-0.5
	50	-2.2	-1.4	-0.9	-0.1	0.5	0.8	0.5	0.2	-0.4	-0.9	-1.7	-2.2	：	-0.5
	60	-2.4	-1.5	-0.9	0.0	0.8	1.0	0.7	0.3	-0.4	-1.0	-1.8	-2.4	：	-0.5
	70	-2.6	-1.6	-1.0	0.1	1.1	1.4	1.0	0.5	-0.3	-1.0	-2.0	-2.6	：	-0.5
	80	-2.7	-1.6	-0.9	0.3	1.5	1.8	1.4	0.7	-0.3	-1.0	-2.1	-2.7	：	-0.5
	90	-2.8	-1.6	-0.8	0.6	1.9	2.4	1.8	1.0	-0.2	-1.0	-2.1	-2.8	：	-0.4
45	10	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.1	-0.0	-0.1	-0.2	-0.4	-0.5	：	-0.1
	20	-1.0	-0.6	-0.4	-0.1	0.1	0.2	0.1	-0.0	-0.2	-0.4	-0.8	-1.0	：	-0.3
	30	-1.3	-0.8	-0.6	-0.2	0.1	0.3	0.2	-0.0	-0.3	-0.6	-1.1	-1.4	：	-0.4
	40	-1.6	-1.0	-0.8	-0.2	0.2	0.4	0.3	0.0	-0.4	-0.7	-1.3	-1.7	：	-0.4
	50	-1.9	-1.2	-0.9	-0.2	0.3	0.5	0.3	0.0	-0.4	-0.8	-1.5	-1.9	：	-0.5
	60	-2.1	-1.3	-1.0	-0.2	0.5	0.7	0.5	0.1	-0.5	-0.9	-1.7	-2.2	：	-0.6
	70	-2.3	-1.4	-1.1	-0.1	0.6	0.9	0.6	0.2	-0.5	-1.0	-1.8	-2.4	：	-0.6
	80	-2.5	-1.5	-1.1	-0.0	0.8	1.1	0.8	0.3	-0.5	-1.0	-2.0	-2.5	：	-0.6
	90	-2.6	-1.5	-1.1	0.1	1.0	1.4	1.0	0.4	-0.5	-1.0	-2.0	-2.6	：	-0.5
60	10	-0.4	-0.2	-0.2	-0.1	0.0	0.1	0.0	-0.0	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4	：	-0.1
	20	-0.7	-0.4	-0.4	-0.1	0.0	0.1	0.1	-0.0	-0.2	-0.3	-0.6	-0.8	：	-0.2
	30	-1.0	-0.6	-0.5	-0.2	0.1	0.2	0.1	-0.0	-0.3	-0.5	-0.9	-1.1	：	-0.3
	40	-1.3	-0.8	-0.7	-0.2	0.1	0.2	0.1	-0.0	-0.4	-0.6	-1.1	-1.4	：	-0.4
	50	-1.6	-0.9	-0.8	-0.3	0.1	0.3	0.2	-0.0	-0.4	-0.7	-1.3	-1.6	：	-0.5
	60	-1.8	-1.1	-1.0	-0.3	0.2	0.4	0.2	-0.0	-0.5	-0.8	-1.5	-1.9	：	-0.5
	70	-2.0	-1.2	-1.0	-0.3	0.2	0.5	0.3	-0.0	-0.6	-0.9	-1.6	-2.1	：	-0.6
	80	-2.1	-1.2	-1.2	-0.3	0.3	0.6	0.4	0.0	-0.6	-0.9	-1.8	-2.2	：	-0.6
	90	-2.3	-1.3	-1.2	-0.3	0.4	0.7	0.5	0.1	-0.6	-1.0	-1.9	-2.4	：	-0.6
75	10	-0.2	-0.1	-0.1	-0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	：	-0.1
	20	-0.4	-0.2	-0.3	-0.1	0.0	0.1	0.1	-0.0	-0.1	-0.2	-0.4	-0.5	：	-0.1
	30	-0.7	-0.4	-0.4	-0.1	0.0	0.1	0.1	-0.0	-0.2	-0.3	-0.6	-0.8	：	-0.2
	40	-0.9	-0.5	-0.5	-0.2	0.0	0.1	0.1	-0.1	-0.3	-0.4	-0.8	-1.0	：	-0.3
	50	-1.1	-0.6	-0.7	-0.3	0.0	0.1	0.1	-0.1	-0.4	-0.5	-1.0	-1.2	：	-0.4
	60	-1.3	-0.7	-0.8	-0.3	0.0	0.2	0.1	-0.1	-0.5	-0.6	-1.1	-1.4	：	-0.4
	70	-1.5	-0.8	-0.9	-0.4	0.0	0.2	0.1	-0.1	-0.6	-0.7	-1.3	-1.6	：	-0.5
	80	-1.6	-0.9	-1.1	-0.4	0.0	0.2	0.1	-0.1	-0.6	-0.8	-1.5	-1.8	：	-0.6
	90	-1.7	-0.9	-1.2	-0.5	0.0	0.3	0.2	-0.1	-0.7	-0.8	-1.6	-2.0	：	-0.6
90	10	-0.0	0.0	-0.0	-0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.0	-0.1	：	-0.0
	20	-0.1	0.0	-0.1	-0.0	0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	：	-0.0
	30	-0.2	-0.0	-0.2	-0.1	-0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	：	-0.1
	40	-0.3	-0.1	-0.3	-0.1	-0.0	0.0	0.0	-0.0	-0.2	-0.2	-0.4	-0.4	：	-0.1
	50	-0.4	-0.1	-0.4	-0.2	-0.0	0.0	0.0	-0.1	-0.3	-0.2	-0.5	-0.6	：	-0.2
	60	-0.6	-0.2	-0.5	-0.2	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.4	-0.3	-0.6	-0.8	：	-0.3
	70	-0.7	-0.2	-0.7	-0.3	-0.1	0.0	0.0	-0.1	-0.5	-0.4	-0.8	-0.9	：	-0.3
	80	-0.8	-0.3	-0.8	-0.4	-0.1	0.0	0.0	-0.2	-0.6	-0.4	-0.9	-1.1	：	-0.4
	90	-0.9	-0.4	-0.9	-0.4	-0.1	0.1	0.0	-0.2	-0.6	-0.5	-1.1	-1.3	：	-0.4

方位角と傾斜角 (R_0 の計算にこれらが必要), 地表面アルベド (積雪の有無) および天気の良い否 (K) によって変わること示す. このことを念頭において, 表1, 図3および図4から, 直散分離による天空散乱日射量の誤差 (+5%) に伴って生ずる斜面日射量推定値の誤差の特徴は, 次のように要約される.

- ① 斜面日射量の誤差は, わが国の緯度範囲では, 冬に大きく, 夏に小さい.
- ② 誤差は, 一般に, 斜面の傾斜角が大きいほど, また方位が南に近いほど, 大きい. 誤差の最大は12月の南向き鉛直面で, 旭川が-7%, 彦根と那覇が-3%位である.
- ③ 春, 夏, 秋の誤差は, 傾斜の方位角・傾斜角にかかわらず, 1%ないしそれ以下である.
- ④ 年平均斜面日射量の誤差は, 旭川で-2%以下, 彦根と那覇で-1%以下である.
- ⑤ 結論として, 天空散乱日射量の誤差によって生ずる斜面日射量の誤差は, 天空散乱日射量の誤差に比べて一般に小さいが, 北緯40°以北の冬に, 傾斜角の大きい南向き斜面では, 同じ程度またはもっと大きくなる, ということができる.

なお, 上の計算は月平均斜面日射量について行ったが, 月平均斜面日射量モデルと日積算斜面日射量モデルの構造は本質的に同じであるから, 上の結果は, 日積算斜面日射量の場合にもあてはまる.

4. あとがき

日積算または月平均全天日射量を直散分離して推定した天空散乱日射量の誤差に基づく斜面日射量推定値の誤差は, 天空散乱日射量の誤差に比べて, 一般に小さいが, 北緯40°以北の冬に, 傾斜角の大きい南向き斜面では, 同程度またはもっと大きくなること, 本研究により判明した. 本研究の結果は, 斜面日射量推定値の誤差の評価に役立つとともに, 精度の良い直散分離モデルの開発が重要であることを, 改めて認識させるものである.

この研究は, 新エネルギー総合開発機構委託による昭和61年度サンシャイン計画研究の一環として実施したものである.

文 献

- 1) 財団法人日本気象協会, 太陽エネルギーシステムの研究 (気象調査), 昭和55年度サンシャイン計画委託調査研究報告書 (1981), 51-112および161-200
- 2) 財団法人日本気象協会, 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60年度新エネルギー総合開発機構委託業務成果報告書 (1986), 63-119, 149-240および249-385.
- 3) 財団法人日本気象協会, 同, 昭和61年度報告書 (1987), 92-98. (以上の1)~3) は日本気象協会普及課 Ⅲ 03-295-1521より入手可)
- 4) 吉田作松・篠木誓一, 日本における月平均水平面散乱日射量・同直達日射量の平年値および年々の変動係数のマップの作成, 日本気象学会 “天気”, 30-4 (1983), 201.
- 5) 吉田作松・篠木誓一, 日射量の全国マップ—その2. 月平均水平面散乱日射量とその年々の変動係数, 太陽エネルギー, 7-3 (1981), 50.
- 6) 篠木誓一・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), 同, 14-1 (1988), 24.
- 7) 吉田作松・篠木誓一・菊地原英和, 斜面日射量の研究—第2報. 筑波実験観測データによる月平均斜面日射量モデルの評価, 同, 14-2 (1988), 21.
- 8) 吉田作松・菊地原英和, 全天日射量の直散分離誤差が斜面日射量の推定結果に及ぼす影響, 日本太陽エネルギー学会第13回研究発表会講演論文集, 2 (1987), 5.
- 9) Tuller, S.E., The relationship between diffuse, total and extraterrestrial solar radiation, Solar Energy, 18-3 (1976), 259.
- 10) Collares-Pereira, M. and A. Rabl, The average distribution of solar radiation correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation values, Solar Energy, 22-2 (1979), 155.
- 11) Iqbal, M., A study of Canadian diffuse and total solar radiation data-I. Monthly average daily horizontal radiation, Solar Energy, 22-1 (1979), 81.
- 12) Erbs, D.G., S.A. Klein and J.A. Duffie, Estimation of the diffuse radiation fraction for hourly, daily and monthly-average global radiation, Solar Energy, 28-4 (1982), 293.
- 13) Bartoli, B., V. Cuomo and U. Amato, Diffuse and beam components of daily global radiation in Genova and Macerata, Solar Energy, 28-4 (1982), 307.
- 14) Vignola, F. and D.K. McDaniel, Correlations between diffuse and global insolation for the Pacific Northwest, Solar Energy, 32-

