

AMeDAS データを用いた時刻別日射量の推定法

赤坂 裕・二宮 秀興*

(受理 昭和61年 5 月31日)

A METHOD TO ESTIMATE THE HOURLY SOLAR RADIATION USING AMeDAS DATA

Hiroshi AKASAKA and Hideyo NIMIYA*

This paper reports on a method to estimate the hourly solar radiation using AMeDAS (Automated Meteorological Data Aquisition System) data. AMeDAS is a weather data measuring system established by the Meteorological Agency of Japan and can provide us with accurate, comprehensive data because it covers all of the Japanese islands with 840 measuring stations.

Sunshine hours over a long period is known to be strongly correlated with the global solar radiation of the corresponding period. In chapter 2 a method to estimate monthly mean global solar radiation using sunshine hours measured with AMeDAS has been proposed.

One of the authors previously reported a method to estimate the hourly global solar radiation using the other climatic elements measured at meteorological observatories. In chapter 3 the authors have expanded the same method to apply to AMeDAS and developed the equations for the estimation of hourly global solar radiation from the AMeDAS data applicable to all of the Japanese islands.

Solar radiation data on tilted surfaces are required for air-conditioning load calculation. However, the estimated values from the method developed in chapter 3 are unapplicable for vertical and tilted surfaces. Therefore, it is necessary to divide global solar radiation into direct and diffuse components. This problem has been discussed in chapter 4.

There are a lot of missing data in AMeDAS caused by the measuring instruments and this will become a serious problem in the practical utilization stage of AMeDAS for the estimation of hourly solar radiation. In chapter 5, missing data concerned with AMeDAS stations in Hokkaido during the year of 1982 have been indicated.

1. 序

日射は建築物の熱環境を形成する最も重要な気象要素の1つであり、空調計画、太陽熱利用システム計画における基礎資料となるものである。特に時刻別程度の短い時間間隔の日射量は熱負荷計算など種々のシミュレーションの入力データとして不可欠でありその必要性が高まっている。このような目的のための入力データとしては空気調和・衛生工学会方式の標準気象

データ^{注1)}が挙げられるが、現在標準気象データの利用できる地点は全国で20数ヶ所に留まっている。また気象庁による日射観測官署は全国で67ヶ所であり、これらの地点のデータを用いるとしても日本全土では日射量データを入手できない地点が数多く残されているといえる。AMeDAS (Automated Meteorological Data Aquisition System)^{注2)}では4要素(降水量、風向・風速、日照率、気温)について全国840ヶ所で時刻毎の観測を行っており、これらのデータより日射量を推定できれば有効であると考えられる。

*福岡大学

観測されたデータは一般的に観測地点の地域性、気候の経年変化、及び観測計器の感度特性等を含む。そのためこのような日射量の推定式を作成する場合、全国的に偏りの少ない地点を選択することが必要となる。本稿ではまず全国64ヶ所の気象官署における月積算日射量とAMeDASの月間日照時間を用いて、観測計器の誤差まで含めた地域性について考察を行い、標準的な月平均日積算日射量の推定式を作成した。

長期間の日射量が日照率により高い精度で推定できることはすでに明らかにされている^{1,2)}が、筆者の1人は時刻別程度の短い期間の日射量に関しても日照率、雲量等によりかなりの精度で推定が可能であることを既に報告⁴⁾した。既報の手法は本来気象官署のデータに適用できるものであるが、日照率を主体とした推定法であることよりAMeDASデータへの適用も可能であると考えられる。本報では全国の数地点についてAMeDASの日照率と日射量の関係式を統計的に導き出すとともに、この関係式を全国的な標準式に換算する方法についてまとめた。

次に熱負荷計算等に必要な直達日射量と天空日射量の推定法について検討を行った。建築物への日射の影響を調べる場合、種々の傾斜面における日射量のデータが必要となる。この場合水平面全天日射量を直達成分と拡散成分に分離できれば容易に傾斜面日射量が算出できることは周知のとおりである。ここでは既往の研究例を参考にしながら全国的に偏りのない直散分離法を開発した。

このような日射量の推定法を実際に行う場合、AMeDASデータに含まれる異常データ、欠測データへの対策が問題となる。AMeDASは無人観測ロボットであり観測値には異常データ、欠測データを多く含む。そこで1982年の北海道の全AMeDASステーションについてデータの欠測状況を確認し最後にまとめた。

以上のような内容について以下に報告する。

2. AMeDASのデータを用いた月平均日積算日射量推定法

2.1 概要

日照率と日射量が相関を有することはよく知られており、月平均全天日射量を Q 、大気外の月平均水平面日射量を Q_0 、月平均日照時間を S 、月平均可照時間を S_0 とすれば、 Q/Q_0 と S/S_0 の関係は観測状況が良好な地点では直線的になることが経験的に明らかにされている。ここでは日照時間にAMeDASによる観測値(S_A)を用いた場合の Q/Q_0 と S_A/S_0 の関係式を求め、観測計器の誤差まで含めた地域性について考察するとともに、AMeDASのデータを用いた標準的な月平均日積算日射量の推定式の作成を試みる。

2.2 使用したデータ

解析に用いたデータは、AMeDASによる全国的な観測が開始された1979年(以後年は単に79年のように書く)から82年までの4年間の以下の要素の月別値であり、地点は表1に示す64地点である。

- ①月間全天日射量
- ②月間日照時間(AMeDASの太陽電池式日照計による観測値)
- ③月間日照時間(ジョルダン日照計による観測値)
- ④月間積雪日数(積雪深10 cm以上の日数)

2.3 観測地点の分類

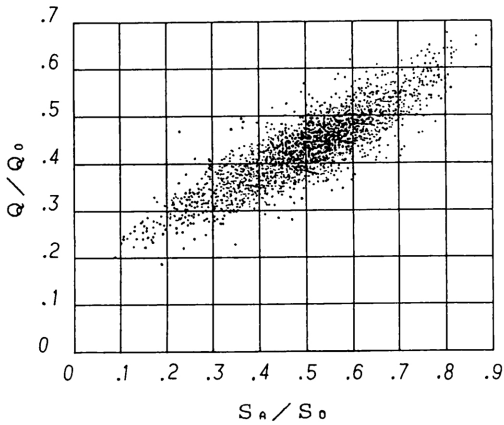
図1は Q/Q_0 と S_A/S_0 の関係を示したものであるが、図のように両者の関係はかなりばらついており、地域性等なんらかの原因が含まれると考えられる。この Q/Q_0 の回帰直線を求めると式(2-1)となる。

$$Q/Q_0 = 0.4879 \cdot S_A/S_0 + 0.1877 \quad \cdots \cdots (2-1)$$

図2 a, bは式(2-1)による Q/Q_0 の推定値と観測値の偏差を地点毎に比較し、2乗平均偏差が0.035以下の地点(41地点)と2乗平均偏差が0.035以上で平均偏差が正及び負の地点(各8地点)の Q/Q_0 。

表1 解析に使用した地点

稚内、北見枝幸、留萌、旭川、網走、札幌、帯広、根室、寿都、室蘭、浦河、函館、青森、八戸、秋田、盛岡、宮古、酒田、山形、仙台、福島、小名浜、輪島、新潟、富山、高田、宇都宮、福井、松本、前橋、名古屋、甲府、銚子、御前崎、静岡、東京、大島、八丈島、米子、舞鶴、浜田、彦根、下関、広島、大阪、潮岬、奈良、畿原、福岡、佐賀、大分、長崎、熊本、鹿児島、宮崎、松山、高松、高知、清水、名瀬、石垣島、宮古島、那覇、南大東島

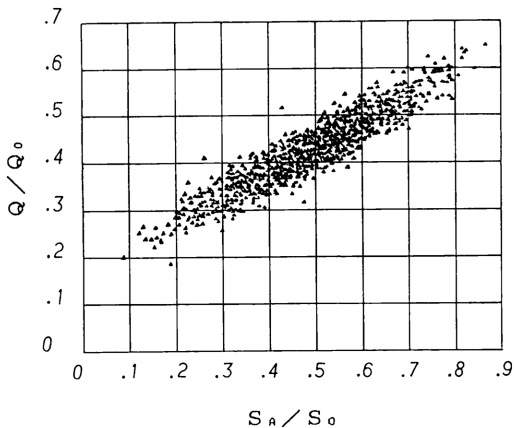
図1 Q/Q_0 と S_A/S_0 の関係

と S_A/S_0 の関係を示したものである。また2乗平均偏差が0.035以上の地点を地図上で示したものが図3である。図のように平均偏差は高緯度地方では正であり低緯度地方では負となっている。一般的に AMeDAS の太陽電池式日照計には、

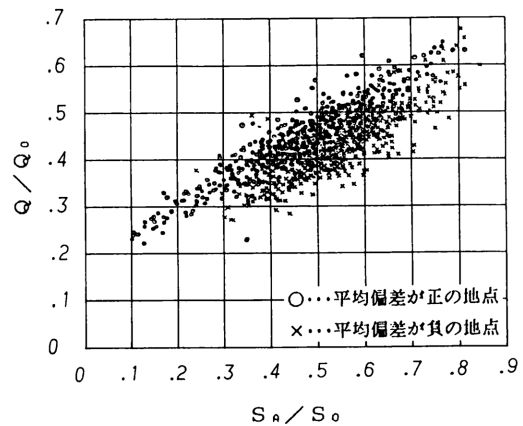
①地面の反射の影響が緯度により異なり、高緯度ほど日照時間が相対的に多めに観測されやすい。

②素子の直達日射受光感度が季節や時刻により異なる。

等の問題点があるとされており、図3のような地域性にはこれらの要因も含んでいると考えられる。



a 式(2-1)による推定値と観測値の2乗平均偏差が0.035以下の地点



b 式(2-1)による推定値と観測値の2乗平均偏差が0.035以上の地点

図2 式(2-1)を用いて分類した Q/Q_0 と S_A/S_0 の関係

2. 4 AMeDAS の月間日照時間による月平均日積算日射量の推定式

ジョルダン日照計による日照時間 (S_J) を用いた月平均日積算日射量 Q の推定は、吉田・篠木、三木らによりすでに行われており^{1,2)}、高い精度で Q を推定出来ることが明らかにされている。ここでは説明変数を吉田・篠木と同じにとり、AMeDAS による日照時間 (S_A) を用いた推定式を作成する。

吉田らは Q/Q_0 を推定するための有効因子として次の3つを挙げている。

① S/S_0 : 日照率 (月間日照時間 S を月間可照時間 S_0 で割った値)

② G_{10} : 積雪指数 (積雪深 10 cm 以上の日数を各月の日数で割った値)

③ \sinh : 太陽高度指数 (h は各月 15 日の南中時の太陽高度)

以上の3つの因子を従属変数として重回帰分析を行った。なお、日照時間は AMeDAS のデータを用いたが、 G_{10} に関しては気象庁月報より積雪深のデータを入手し算出した。

求めた推定式(2-2)、並びに吉田・篠木式(2-3)を以下に示す。

$$Q/Q_0 = 0.160 + 0.509 \cdot S_A/S_0 + 0.046 \cdot G_{10} + 0.017 \cdot \sinh \quad \cdots (2-2)$$

$$Q/Q_0 = 0.146 + 0.534 \cdot S_J/S_0 + 0.047 \cdot G_{10} + 0.036 \cdot \sinh \quad \cdots (2-3)$$



図3 式(2-1)による推定値と観測値の2乗平均偏差が0.035以上の地点

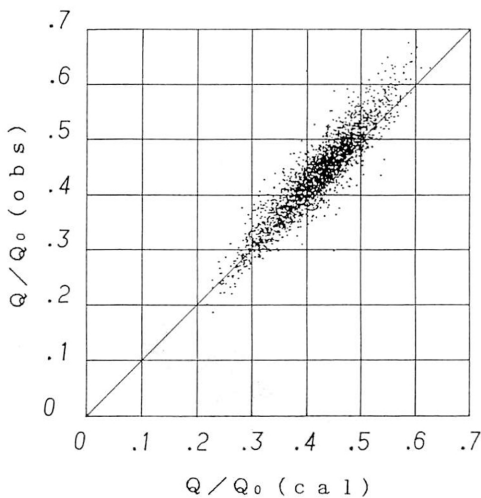


図5 吉田・篠木式による Q/Q_0 の推定値と観測値の比較 (ジョルダン日照計のデータを使用)

式(2-2), (2-3)による Q/Q_0 の推定値と観測値とを比較した結果を図4, 5に示す。図4の相関係数は0.87, 2乗平均偏差は0.035, 図5の相関係数は0.92, 2乗平均偏差は0.031を得た。図のように S_A を用いた式(2-2)による推定結果(図4)は, S_J を用いた式(2-3)の推定結果(図5)よりば

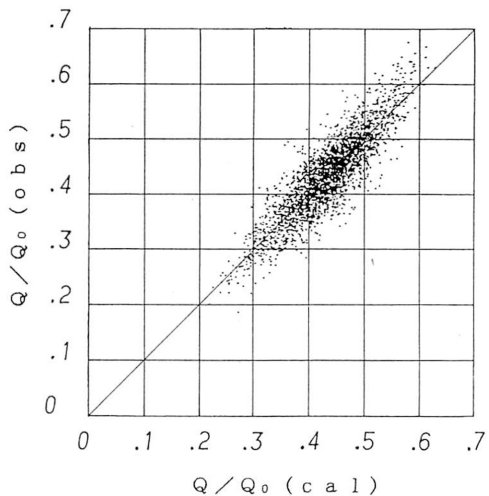


図4 式(2-2)による推定値 $Q/Q_0(\text{cal})$ と観測値 $Q/Q_0(\text{obs})$ の比較

らつきが大きく精度が劣る事がわかる。

2.5 標準式の作成

2.4では全地点のデータを用いて Q/Q_0 の推定式を求めたが, 2.3に示したように Q/Q_0 と S_A/S_0 の関係は地点によってかなりばらついている。ここでは全国的な標準式を求めるため, 式(2-1)による推定値と観測値の2乗平均偏差が0.035以下の地点(41地点)について重回帰分析を行った。重回帰分析の結果次式を得た。

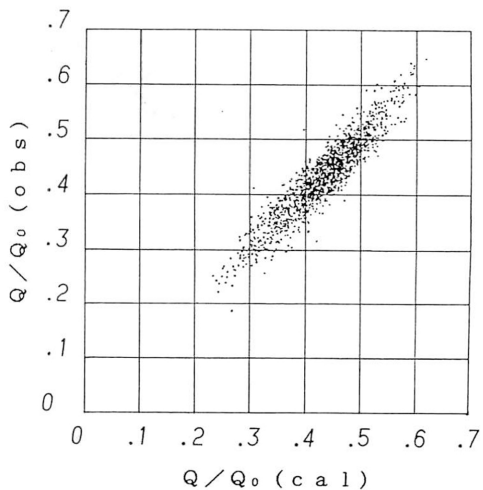


図6 式(2-4)による Q/Q_0 の推定値と観測値の比較 (解析に用いた41地点について)

$$Q/Q_0 = 0.144 + 0.525 \cdot S_A/S_0 \\ + 0.040 \cdot G_{10} + 0.031 \cdot \sinh \quad \cdots \cdots (2-4)$$

図6に式(2-4)を求めるために用いた41地点の Q/Q_0 を式(2-4)で推定した結果を示す。

3. AMeDAS のデータによる時刻別日射量推定法

3.1 概要

時刻別日射量は快晴であればかなりの精度で推定できるが、曇天時における日射量推定は難しい問題を多く含んでいる。特に雲が散在している場合は雲と太陽の位置により日射量の変化が著しく、そのような現象まで考慮した日射量の推定は困難である。このような問題に対し筆者の1人は、時刻別の雲量または蒸気圧が既知であれば、統計的に求めた日照率と日射量の関係式を用いて、かなりの精度で日射量が推定できることを既に報告している⁴⁾。既報の手法は日照率を主体としている点では AMeDAS データへの適用も可能であるが、その場合以下の点が問題となる。

①推定式の係数はジョルダン日照計の日照率を用いて求められたものであり、感度の異なる AMeDAS の太陽電池式日照計の日照率へそのまま適用することはできない。

②推定精度を上げるためには雲量、または蒸気圧等のデータが必要であるが、AMeDAS にはそれらのデータはない。

③天気の評判が必要である。

ここでは既報の推定法を基に、AMeDAS のデータ(降水量、風向・風速、気温、日照率、積雪深)を用いた標準的時刻別日射量の推定式を作成する。

3.2 使用したデータ

解析に用いたデータは82年(札幌、福岡、鹿児島に関しては80~84年)の時別値である。データの種類ならびに地点名を以下に示す。

データの種類

AMeDAS の時刻別観測データ

- ①降水量、②風向・風速、③日照率、④気温、
⑤積雪深

気象台の時刻別観測データ

- ⑥水平面全天日射量(以後単に日射量と書く)、
⑦積雪深、⑧天気

地点名

札幌、根室、青森、秋田、宮古、新潟、仙台、松本、

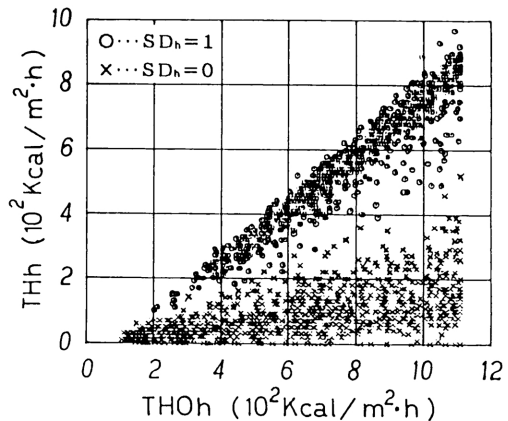


図7 ジョルダン日照計による SD_h が0と1の時の TH_h と THO_h の関係 (79年・鹿児島)

東京、輪島、大阪、潮岬、米子、清水(足摺岬)、
福岡、大分、熊本、鹿児島、那覇、石垣島

3.3 既報の時刻別日射量推定式の手法の概説

ここでは既報の時刻別日射量の推定法について概説する。図7は79年・鹿児島での時刻別日射量 TH_h と時刻別大気外水平面日射量(以後基準日射量と書く) THO_h の関係を、ジョルダン日照計による日照率 SD_h が0と1の場合について示したものである。図のごとく SD_h が0および1の時の TH_h と THO_h の関係は傾向が異なり、それぞれ直線的な関係を持つことがわかる。そこで SD_h が0の時と1の時の TH_h を、それぞれ次式で近似する。

SD_h が0の時

$$TH_h(SD_h=0) = A_1 \cdot THO_h + B_1 \quad \cdots \cdots (3-1)$$

SD_h が1の時

$$TH_h(SD_h=1) = A_2 \cdot THO_h + B_2 \quad \cdots \cdots (3-2)$$

ここで SD_h が0と1の出現度数が高い事を考慮し、ほかの $TH_h(SD_h=0.1 \sim 0.9)$ は $TH_h(SD_h=0)$ と $TH_h(SD_h=1)$ で補間するとすれば、任意の SD_h に対する TH_h は次式によって与えられる。

$$TH_h(SD_h) = TH_h(SD_h=0) \cdot (1 - SD_h) \\ + TH_h(SD_h=1) \cdot SD_h \quad \cdots \cdots (3-3)$$

また式(3-1)、(3-2)は天気により以下のように分類する。

1) $SD_h=0$ の時

(降雨・降雪・積雪) 無

$$TH_h(SD_h=0) = a_1 \cdot THO_h + b_1 \quad \cdots \cdots (3-4)$$

降雨有

$$TH_h(SD_h = 0) = a_2 \cdot THO_h + b_2 \quad \cdots (3-5)$$

降雪有

$$TH_h(SD_h = 0) = CF_{sf} \cdot (a_1 \cdot THO_h + b_1) \quad \cdots (3-6)$$

積雪有

$$TH_h(SD_h = 0) = CF_{sc}(SD_h = 0) \cdot (a_1 \cdot THO_h + b_1) \quad \cdots (3-7)$$

II) $SD_h = 1$ の時

積雪無

$$TH_h(SD_h = 1) = a_3 \cdot THO_h + b_3 \quad \cdots (3-8)$$

積雪有

$$TH_h(SD_h = 1) = CF_{sc}(SD_h = 1) \cdot (a_3 \cdot THO_h + b_3) \quad \cdots (3-9)$$

さらに式(3-8)の係数 a_3 は雲量、蒸気圧等により以下のように表わされる。

時刻別雲量 CC_h が既知の場合

$$a_3 = c_1 + c_2 \cdot CC_h + c_3 \cdot CC_h^2 + c_4 \cdot CC_h^3 \quad \cdots (3-10)$$

時刻別蒸気圧 VP_h が既知の場合

$$a_3 = d_1 + d_2 \cdot VP_h + d_3 \cdot VP_h^2 + d_4 \cdot VP_h^3 \quad \cdots (3-11)$$

ただし

SD_h : 時刻別日照率 (0, 0.1, 0.2...1)

THO_h : 基準日射量 (Kcal/m²h)

CF_{sf} : 降雪補正係数

$CF_{sc}(SD_h = 0)$: 日照率が0の時の積雪補正係数

$CF_{sc}(SD_h = 1)$: 日照率が1の時の積雪補正係数

CC_h : 時刻別雲量 (0, 1, 2...9, 10)

VP_h : 時刻別蒸気圧

式(3-4)～(3-11)の各係数値は、解析に用いる地点によって異なる。そこで推定値を全国的に偏りのない値に補正するために、次式より求まる CF_n (標準化補正係数)を式(3-3)による推定値に乘ずる。

$$CF_n = Q(\text{cal}) / Q(\text{obs}) \quad \cdots (3-12)$$

ここで $Q(\text{cal})$: 式(2-3)による月平均日積算日射量の推定値

$Q(\text{obs})$: 月平均日積算日射量の観測値

これにより時刻別日射量推定式の標準式は次式となる

$$TH_h(SD_h) = CF_n \cdot \{TH_h(SD_h = 0) \cdot (1 - SD_h) + TH_h(SD_h = 1) \cdot SD_h\} \quad \cdots (3-13)$$

なお、式(3-13)による TH_h の推定は、 $THO_h \geq 300$ の時とし、 $THO_h < 300$ では推定値が負にならないように、 $THO_h = 300$ の TH_h 値と原点を結ぶ直線を用いることとする。

3. 4 ジョルダン日照計と太陽電池式日照計の感度差

日照率の観測には、AMeDASでは太陽電池式日照計、気象官署ではジョルダン日照計が使われている。表2は82年の鹿児島地方気象台のジョルダン日照計による日照率と、同年同地点のAMeDASによる日照率の2次元度数分布を示したものである。なお、ジョルダン日照計による日照率は地方真太陽時のため、自記記録紙から標準時で時刻別日照率に読み直した値である。AMeDASの日照計の感度は0.21 kw/m²

表2 ジョルダン日照計とAMeDASの太陽電池式日照計による時刻別日照率の度数分布(82年鹿児島による)

ジョル ダン 日照計	AMeDAS の太陽電池式日照計											
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	計
0.0	1,049	111	47	27	21	13	20	8	7	4	1	1,308
0.1	16	43	28	15	11	10	10	5	4	5	3	150
0.2	8	13	34	18	27	22	18	13	7	6	8	174
0.3	3	6	16	23	24	19	16	9	7	8	7	138
0.4	1	1	2	10	17	32	26	13	7	11	17	137
0.5	0	0	4	7	9	25	20	16	11	13	10	115
0.6	0	1	1	0	4	13	27	25	20	15	22	128
0.7	0	0	0	1	1	6	14	27	30	21	39	139
0.8	0	0	1	0	1	2	4	15	26	37	60	146
0.9	0	0	0	0	0	0	2	5	20	42	129	198
1.0	0	1	0	0	2	0	1	1	11	38	1,347	1,401
計	1,077	176	133	101	117	142	158	137	150	200	1,634	4,034

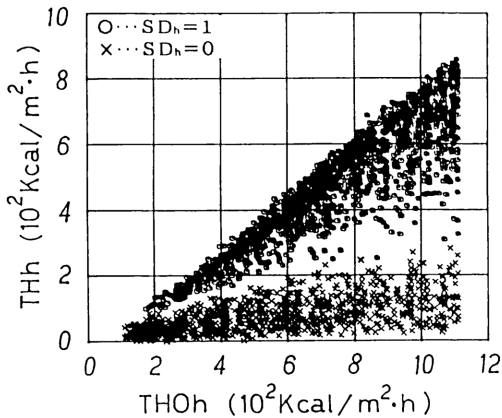
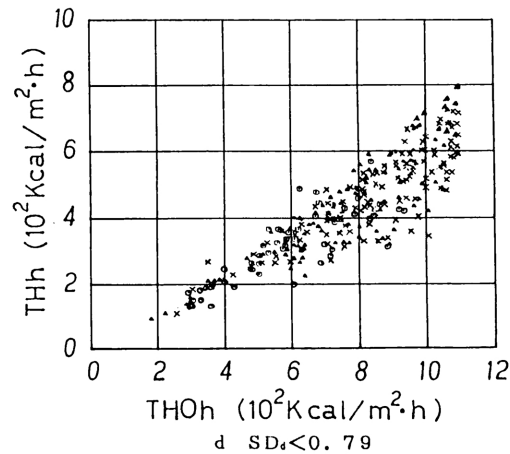
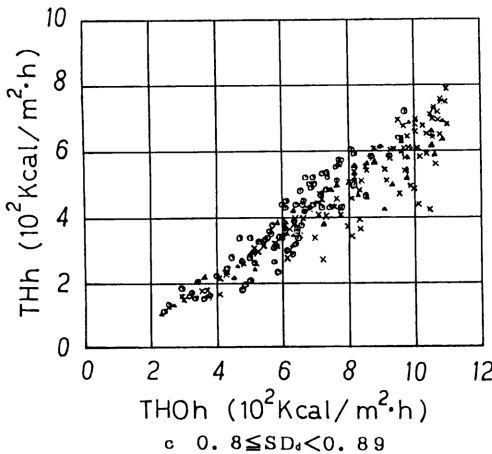
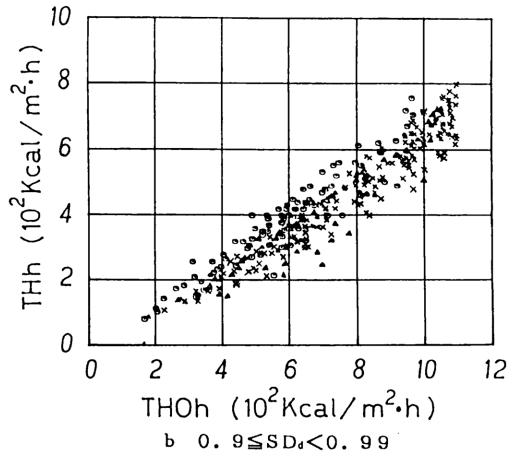
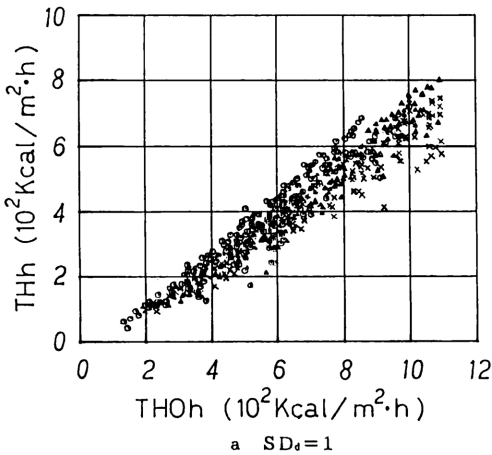


図8 太陽電池式日照計による SD_h が0と1の時の TH_h と THO_h の関係 (82年・鹿児島)

($180 \text{ kcal/m}^2 \cdot \text{h}$) に設定されているが、この値はジョルダン日照計の感度よりやや高いことがわかる。

3. 5 時刻別日照率 SD_h が1の時の時刻別日射量の推定法

図8は82年・鹿児島の SD_h が0と1の時の日射量 TH_h と基準日射量 THO_h の関係を示したものであるが、図7と比較して $SD_h = 1$ の時のデータ数が多く、しかもばらつきが大きいことがわかる。既報の手法では雲量、蒸気圧等を用いて推定精度の向上を図ったが、AMeDAS にはこれらのデータはないので AMeDAS で入手できる要素を用いて推定精度の向上を図る必要がある。ここでは日平均日照率 SD_d と日平均気温 TEM_d を用いて日照率1の分類を試みる。



○印... $-10 \leq TEM_d < 10$ △印... $10 \leq TEM_d < 20$ ×印... $20 \leq TEM_d < 40$

図9 SD_h が1の時に SD_d と TEM_d で分類した場合の TH_h と THO_h の関係 (82年・東京)

ここで日平均日照率 SD_d は1日間の晴天の継続性を表わし、天気の状態を示す指針になると考えられる。雲が天空に一樣に分布していると仮定すれば、 SD_d が1に近いほど雲が少なく日射量が大であると考えられる。このことは、雲量の継続性からも考えられる。雲量0, 10の出現率はそれぞれ全体の約20%, 48%で、かつそれぞれの約50%, 70%は11時間以上継続して出現する⁶⁾。このように雲量10(曇天・ $SD_h \approx 0$)、雲量0(快晴・ $SD_h = 1$)は長時間継続する傾向があり、 SD_h が1でかつ SD_d が1の時は雲量が0~2であると考えられる。以上のことより、 SD_h が同じ1であっても SD_d が1に近い場合には雲の影響は少なく日射量が大であるが、 SD_d が小さい場合には雲の影響で日射量が小さくなると考えられる。

また日平均気温 TEM_d は大気中の水蒸気量と関係し、大気の透過率などを示す指針になると考えられる。日射は雲がなくても大気中のエアロゾル、原子、分子等の散乱、吸収の影響を受ける。特に対流圏では水蒸気による近赤外域の吸収が卓越しており、その吸収量は大気中の可降水量とともに増大する。一方、水蒸気圧は外気温の年間変動と強い相関を有する⁷⁾。このため TEM_d が大である程水蒸気量が多く、大気透過率が低下して直達日射が減少すると考えられる。

図9a~dは、82年・東京の SD_h が1の時の TH_h と THO_h の関係を SD_d 、 TEM_d によって分類して示したものである。図のように SD_d が1に近い場合には TEM_d の影響がみられ、 TEM_d が低いほど TH_h が大であることがわかる。また SD_d が小さい場合は TEM_d の影響ははっきりしないが、全体的にみて TEM_d が高くなると TH_h の分布域が広がる傾向がある。なお SD_d を求める場合、日の出直後と日没直前の1時間に満たない時間の日照率は省いた。

以上のことより、 SD_h が1の時の時刻別日射量の推定式は以下のように考えられる。

SD_h が1で積雪がない場合の日射量推定式は3.3より

$$TH_h(SD_h = 1) = a_3 \cdot THO_h + b_3 \quad \cdots \cdots (3-8)$$

と表される。ここで a_3 を SD_d と TEM_d の影響を考慮して次式で近似する。

$$a_3 = e_1 + e_2 \cdot SD_d + e_3 \cdot TEM_d \quad \cdots \cdots (3-14)$$

e_1 , e_2 , e_3 の値は重回帰分析で求めるが、サンプル数に大きな偏りを生じず、かつ説明変数の広い範囲に適用可能となるように、データは幾つかのグループ(データ数50)に分類する。この場合重回帰分析の入力デー

タとして、目的変数にグループ毎の a_3 の値、説明変数に SD_d と TEM_d のグループ毎の平均値を用いるが、 a_3 に関しては式(3-8)の定数項(b_3)の値を固定して求める。グループの分類は SD_d をある範囲(1, 0.92~0.99, ...)に固定し、その時の TEM_d を低い方から50個ずつ読み取って行う。この操作を SD_d のランク別に繰り返すが、データ数が30個に満たないものは重回帰分析のデータから排除することとする。

3. 6 天気判断

3.3に示した推定式を用いるには時刻別の天気(降雨有無、降雪有無、積雪有無)が必要である。ここでは降雪有無と積雪有無の判定法について検討する。AMeDASでは、4要素観測(降水量、風向・風速、日照率、気温)の他に、積雪地を対象に積雪深の観測も行っているが、気象官署でAMeDASの積雪深計が併設されているのは秋田だけである事と、欠測データが非常に多い事などのため、AMeDASの積雪深データは使用し難い。例えば、82年1月の秋田の積雪深データでは744時間中273時間(37%)が欠測データとなっている。このため降雪、積雪は他のAMeDASデータにより判別する必要がある。表3は82年の札幌、青森、新潟、仙台の1~4・11・12月における降雨、降雪の気温別度数分布である。表より降雨と降雪の境界温度は2℃付近であることがわかり、AMeDASの降水量データを用いる場合、2℃以下を降雪、それ以上を降雨として用いることとする。また積雪深に関しては札幌、青森、新潟、秋田の82年のデー

表3 降雨と降雪の気温別度数分布
(82年・札幌、青森、新潟、仙台による)

気 温	降 雪	降 雨
$TEM \leq 0.0$	558	0
$0.0 < TEM \leq 0.5$	64	1
$0.5 < TEM \leq 1.0$	65	3
$1.0 < TEM \leq 1.5$	28	9
$1.5 < TEM \leq 2.0$	13	8
$2.0 < TEM \leq 2.5$	13	5
$2.5 < TEM \leq 3.0$	5	21
$3.0 < TEM \leq 3.5$	0	39
$3.5 < TEM \leq 4.0$	0	45
$4.0 < TEM$	0	983

注) 降雪と降雨の判別は気象台の日原簿の天気によるものである。

度数は82年の1~4, 11, 12月を対象とした値である。

タを用い、前日との積雪深差 (DS_d) を従属変数とし、降水量、日平均気温を説明変数として重回帰分析を行った。 DS_d の推定式を式 (3-15) に示す。

$$DS_d = 0.476 \cdot TWA_d - 1.176 \cdot TEM_d - 0.763 \quad \dots (3-15)$$

ただし、 TWA_d は気温 2°C 以下の時の日積算降水量
 TEM_d は日平均気温 (ただし 0°C 以下の場合は $TEM_d = 0$ として扱う)

図 10 に 82 年の青森の推定結果を示す。

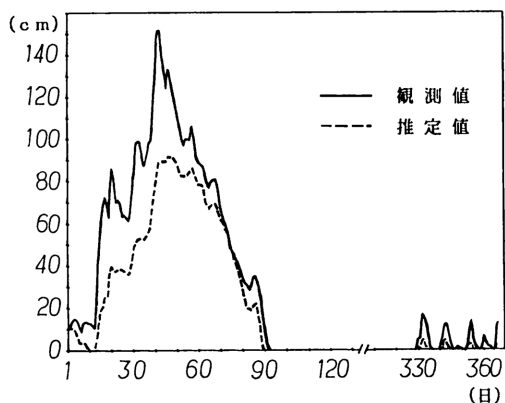


図10 式 (3-15) による積雪深の推定値と観測値の比較 (82年・青森)

3. 7 標準式の作成

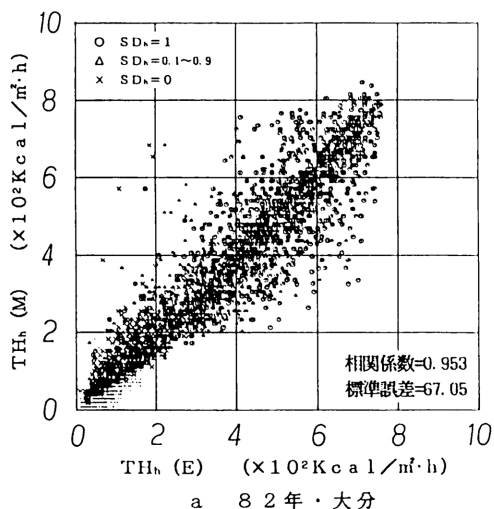
2で求めた標準的月平均日積算日射量の推定式を用いると、式 (3-12) で求まる CF_n の値が1の地点が全国的に偏りのない地点とみなせる。そこで82年の全国20ヶ所のデータの中で CF_n が最も1に近く、かつ式 (2-4) による計算値と観測値の相関が高い輪島、潮岬、福岡、鹿児島 の4地点のデータにより、各地における時刻別日射量推定式 [式 (3-4) ~ (3-9), (3-12), (3-13)] の各係数値を求め、4地点の平均をとって標準式の係数値とした。また、 CF_{sf} , $CF_{sc}(SD_h=0)$, $CF_{sc}(SD_h=1)$ の値は、80~84年の札幌と82年・青森のデータより求めた。表4に標準式の各係数値を示す。なお82年・札幌のデータは日射計の変更があり使用しなかった。また $CF_{sc}(SD_h=1)$ に関しては雲の影響を少なくするため、日平均日照率が1の場合の比率を求めた。アルベドの影響による全天日射量の変化については、Robinsonが混濁因子の値別に整理しているが⁵⁾、上記のデータより求めた $CF_{sc}(SD_h=0)$, $CF_{sc}(SD_h=1)$ の値は、それぞれ良く一致している。

表4 時刻別全天日射量推定標準式の各係数値

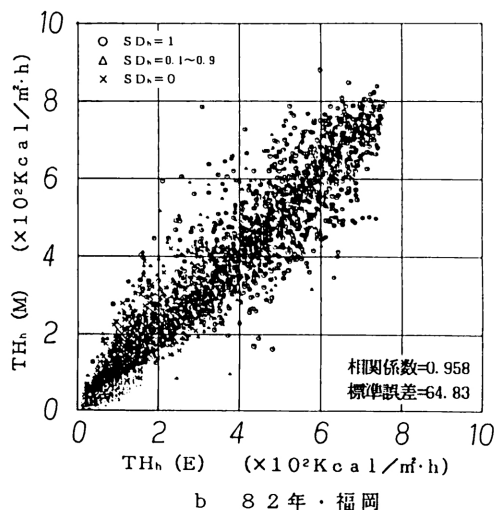
a1		0.1348	b1	14.86
a2		0.0988	b2	− 7.78
a3	e1	0.203	b3	− 39.11
	e2	0.5637		
	e3	−0.0023		
CF _n		1.0	CF _{sf}	0.82
CF _{sc} (SD _h =0)		1.46	CF _{sc} (SD _h =1)	1.025

3. 8 標準式による推定精度

図11 a, bは、解析に用いた20地点の中で77年から83年までの CF_n の値が最も1 (標準値) からはず



a 82年・大分



b 82年・福岡

図11 標準式による時刻別日射量 TH_n の推定値 $TH_n(E)$ と観測値 $TH_n(M)$ の比較

れている大分と標準式の作成に用いた福岡の、82年の観測値 $TH_h(M)$ と標準式による推定値 $TH_h(E)$ を比較したものである。図のように日照率1の時は推定誤差が大きくなっているが、雲などの影響を考慮すればやむをえないと考えられる。標準式の推定精度は全国20ヶ所の平均で、相関係数が0.95、2乗平均偏差が $67.3 \text{ Kcal/m}^2 \text{ h}$ であった。この2乗平均偏差は時刻別日射量の観測値の平均 ($281.5 \text{ Kcal/m}^2 \text{ h}$) の約24%に相当する。また本報による推定式の精度は、気象台の特別データを用いる既報の推定法と比較するとやや劣る。これは、AMeDASの太陽電池式日照計の感度が気象台のジョルダン日照計より高いため、日照率1の出現率が高くなりばつきが大きくなったためと思われる。

4. 水平面全天日射量の直散分離

4.1 概要

3ではAMeDASデータを用いた時刻別水平面全天日射量 TH_h の推定法について考察を行い、かなりの精度で TH_h を推定できることを示した。しかし建築物への日射の影響を調べる場合、種々の傾斜面における日射量のデータが必要となる。この場合水平面全天日射量を直達成分と拡散成分に分離できれば容易に傾斜面日射量が算出できることは周知のとおりである。この直散分離の問題に関しては多くの研究例があり、いくつかの直散分離法が提案されている⁸⁻¹⁴⁾。しかしいずれの研究例にも推定式の作成や分離精度の検証に用いたデータに次の共通点がある。

①直達日射量は全天日射量から天空日射量を引いた値を用いている。

②解析に用いたデータが単年・単地点のものであり、年変化、地域性等の検討は行われていない。(文献14は除く)

これらは、研究当時の気象庁による日射の観測が不十分であったことと、気象観測が緻密な作業であり長期に亘る観測が困難であることなどによると考えられる。気象庁では78年から82年にかけて、全国14ヶ所で自記直達計による法線面直達日射量の観測を開始した¹⁵⁾。これらのデータは磁気テープに保存されており、容易に利用できる。また、上記の14ヶ所では全天日射量も観測しており直散分離の検討が可能である。ここではこれらのデータを用いて過去の研究例の検証を行うとともに、全国的に偏りのない直散分離法の作成を試みる。

4.2 直散分離に関する既往の研究例

水平面全天日射量と水平面直達日射量、水平面天空拡散日射量との間には、次の関係がある。

$$I_{TH} = I_{DH} + I_{dH} = \sinh \cdot I_{DN} + I_{dH} \quad \dots\dots (4-1)$$

ただし

$$I_{TH} : \text{水平面全天日射量} [\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h}]$$

$$I_{DH} : \text{水平面直達日射量} [\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h}]$$

$$I_{dH} : \text{水平面天空拡散日射量} [\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h}]$$

$$I_{DN} : \text{法線面直達日射量} [\text{Kcal/m}^2 \cdot \text{h}]$$

$$h : \text{太陽高度} [^\circ]$$

式(4-1)より I_{TH} 、 I_{DH} 、 I_{dH} のいずれか2つの関係が与えられれば、全天日射量を直達日射量と天空日射量に分けることができる。

法線面直達日射量を求める理論式としては、Bouguerの式がよく知られている。

$$I_{DN} = I_0 \cdot P^{\cos \theta} \quad \dots\dots (4-2)$$

ただし

$$I_0 : \text{大気外日射量}$$

$$P : \text{大気透過率}$$

また天空日射量を求める理論式として、わが国ではBerlageの式(4-3)⁸⁾がよく用いられてきた。

$$I_{dH} = \frac{1}{2} \cdot I_0 \cdot \sin h \cdot \frac{1 - P^{\cos \theta}}{1 - 1.4 \cdot \ln P} \quad \dots\dots (4-3)$$

式(4-2)、(4-3)より I_{TH} は次式で表される。

$$I_{TH} = I_0 \cdot \sin h \cdot (P^{\cos \theta} + \frac{1}{2} \cdot \frac{1 - P^{\cos \theta}}{1 - 1.4 \cdot \ln P}) \quad \dots\dots (4-4)$$

小木曾・斎藤・松尾は、快晴時の法線面直達日射量と水平面天空日射量の観測結果を基に、Berlageの式(4-3)を修正した実験式(4-5)を示した⁹⁾。

$$I_{dH} = 1.2 \cdot I_0 \cdot \sin h \cdot \frac{(1 - P^{\cos \theta}) \cdot (1 - P)}{1 - 1.4 \cdot \ln P} \quad \dots\dots (4-5)$$

観測値として得られる I_{TH} を用いて式(4-4)より P を逆算すれば I_{TH} を直達と拡散に分けることができる。式(4-2)、(4-3)は晴天時に対する理論式であることから、この方法も本来晴天時のみに用いるべきであるが、曇天時においても実用的には適用できるとされてきた。空気調和・衛生工学会では、「動的空調負荷計算プログラム HASP/ACLD」入力用の標準気象データを日本各地について作成する場合に、斎藤・松尾らの研究成果を基に式(4-4)を用いて水平面全天日射量の直散分離を行った²¹⁾。

このBerlageの式を水平面天空日射量の式として使

用することを疑問視した永田らは、快晴時の水平面天空日射量の式として次式を提案した^{10,11)}。

$$I_{dH} = I_0 \cdot \sin h \cdot (1 - P^{\cos h}) \cdot S \cdot U \quad \cdots \cdots (4-6)$$

ここで U は大気中で散乱し吸収された日射成分のうち、大気放射を含めた天空からの放射として地表面に到達する割合を示す。また S は大気中での日射の減衰に散乱が寄与する割合でそれぞれ次式で近似する。

$$U = 0.5 + (0.4 - 0.3 \cdot P) \cdot \sin h \quad \cdots \cdots (4-7)$$

$$S = 0.66 - 0.32 \cdot \sin h \quad \cdots \cdots (4-8)$$

前述した HASP/ACLD 入力用の標準気象データのうち「旭川標準気象データ」以後のものは、Bouguer の式と永田の式を用いて日射データが作成されている。

快晴時における Berlage の式の信頼性については鈴木・荒谷も言及しており¹²⁾、Berlage の式を全天日射量の計算式として利用することは理論的に無理があることを指摘した。また、鈴木らは Bouguer の式から逆算される大気透過率の太陽高度依存性を示すとともに、快晴時における全天日射量と直達日射量の関係の実験式を提案した。

$$I_{TH} = (-0.80 \cdot P_0 + 0.77) \cdot \sin h \cdot (0.9 \cdot I_0 - I_{DN}) \quad \cdots \cdots (4-9)$$

ただし、 P_0 は透過係数と呼ばれる係数で、日射が地面に垂直に入射するときに示すであろう大気透過率を表わし、次式で近似する。

$$P_0 = 1 - \frac{1 - P}{3 \sqrt{\sin h}} \quad \cdots \cdots (4-10)$$

以上の各式は快晴時を対象にした理論式であるが、鈴木・荒谷はこれらの式を曇天時へ使用することは信頼性に欠けると指摘し、天気により分類した北天空日射量の推定式を提案した¹²⁾。

$$\textcircled{1} \text{快晴} \quad I_{dH} = 33 + 40 \cdot \sin h \quad \cdots \cdots (4-11)$$

$$\textcircled{2} \text{晴れ} \quad I_{dH} = 42 + 93 \cdot \sin h \quad \cdots \cdots (4-12)$$

$$\textcircled{3} \text{薄曇} \quad I_{dH} = 27 + 203 \cdot \sin h \quad \cdots \cdots (4-13)$$

$$\textcircled{4} \text{高曇} \quad I_{dH} = 250 \cdot \sin h \quad \cdots \cdots (4-14)$$

$$\textcircled{5} \text{雨曇} \quad I_{dH} = I_{TH} \quad \cdots \cdots (4-15)$$

単位 [Kcal/m²・h]

また宇田川・木村は、茨城県館野の高層気象台で観測された水平面全天日射量と水平面天空日射量を用いて両者の関係を統計的に求め、天候の影響を受けない直達日射量の推定式を提案した¹³⁾。

$$K_{Dt} = -0.43 + 1.43 \cdot K_{Tt} \quad \cdots \cdots (4-16)$$

($K_{Tt} \geq K_{Ttc}$ のとき)

$$K_{Dt} = (2.277 - 1.258 \cdot \sin h + 0.2396 \cdot \sin^2 h) \cdot K_{Tt}^3 \quad \cdots \cdots (4-17)$$

($K_{Tt} < K_{Ttc}$ のとき)

$$K_{Ttc} = 0.5163 + 0.333 \cdot \sin h + 0.00803 \cdot \sin^2 h$$

..... (4-18)

ただし、

$$K_{Dt} = I_{DH} / I_0 \cdot \sin h$$

$$K_{Tt} = I_{TH} / I_0 \cdot \sin h$$

渡辺・浦野・林は九州大学における 79 年 10 月から 82 年 9 月までの 3 年間の観測結果を基に、全天候を対象とした 2 つの直散分離の実験式を提案した¹⁴⁾。

$$\textcircled{1} I_{dH} = I_0 \cdot \sin h \cdot Q / (1 + Q) \quad \cdots \cdots (4-19)$$

$$Q = (0.8672 + 0.7505 \cdot \sin h) \cdot P^{0.421 \cdot \cos h} \cdot (1 - P^{\cos h})^{2.277} \quad \cdots \cdots (4-20)$$

式 (4-19)、(4-20) と Bouguer の式より

$$I_{TH} = I_0 \cdot \sin h \cdot (P^{\cos h} + \frac{Q}{1 + Q}) \quad \cdots \cdots (4-21)$$

$$\textcircled{2} I_{DH} = I_0 \cdot \sin h \cdot K_{DS} \cdot (1 - K_{Tt}) / (1 - K_{DS}) \quad \cdots \cdots (4-22)$$

$$K_{DS} = K_{Tt} - (0.8126 + 1.851 \cdot \sin h) \cdot (1 - K_{Tt})^3 \quad \cdots \cdots (4-23)$$

($K_{Tt} \geq K_{TC}$ のとき)

$$K_{DS} = (1.873 + 1.755 \cdot (1 - \sin h)^2) \cdot K_{Tt}^3 \quad \cdots \cdots (4-24)$$

($K_{Tt} < K_{TC}$ のとき)

$$K_{TC} = 0.4361 + 0.1946 \cdot \sin h \quad \cdots \cdots (4-25)$$

4. 3 使用したデータ

解析に用いたデータは 78 年以降全国 14 ヶ所の気象官署で順次観測の開始された自記直達計による法線面直達日射量と全天日射計による水平面全天日射量、並びに AMeDAS による日照率と気温の時別の値である。なお館野に関しては遮蔽リングを用いて観測された天空日射量のデータも用いた。収集したデータの期間は 79 年から 84 年であり、地点は以下の 14 ヶ所である。

札幌、根室、秋田、宮古、松本、館野、輪島、潮岬、米子、清水（足摺岬）、福岡、鹿児島、那覇、石垣島

4. 4 自記直達計による直達日射量と、全天日射量から遮蔽リングを用いて求めた天空日射量を引いた値との比較

渡辺・浦野・林は 79 年 10 月から 82 年 9 月までの 3 年間、九州大学において水平面全天日射量、水平面天空日射量、自記直達計による法線面直達日射量の観測を行った¹⁴⁾。その結果として、自記直達計による法線面直達日射量は太陽周辺の日射強度の高い部分からの水平面天空日射を含まないことを示すとともに、建築環境学における直散分離は、このような厳密な気象学的定義による分離とは異なり、単に指向性の強い

日射成分とそうでない日射成分とを考え、太陽近傍からの指向性の比較強い天空日射は直達日射の一部に含める方が適当であると報告した。この場合、太陽近傍からの指向性の比較強い天空日射をどのくらいの範囲まで直達日射に含めるかが問題になる。渡辺らは水平面天空日射量測定用の遮蔽バンド補正係数が年間1.08から1.26のものを用いて直散分離の解析を行った。宇田川らが解析に用いた館野の天空日射計の補正係数は年間1.02から1.05である。補正係数は小さいほど、観測された天空日射は太陽近傍からの指向性の比較強い天空日射を多く含むことになる。このことは遮蔽バンドを用いて求めた天空日射量が計器による観測差を多く含むことを意味する。図12は82年の館野のデータを用いて、自記直達計の出力と従来の遮蔽リングを使用して求めた天空日射量を全天日射量から引いた値とを比較したものである。図のように観測方法の異なる2つの計器の出力はよく一致しており、渡辺らが指摘したような測定方法の違いによる直達日射量の観測差は認められなかった。これは館野で用いられている遮蔽バンドの補正係数が小さいためと考えられるが、このように太陽近傍からの天空日射をどう捉えるかで、直散分離の式、及び式の推定精度の評価も異なる。このような天空の遮蔽域と直散分離の関係は今後の課題として、ここでは自記直達日射計による法線面直達日射量を用いた場合の直散分離の手法について考察を行う。

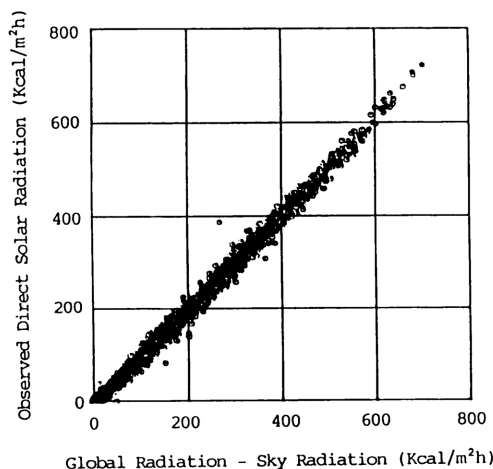


図12 自記直達計による直達日射量と、全天日射量から天空日射量を引いた値との関係(82年・館野)

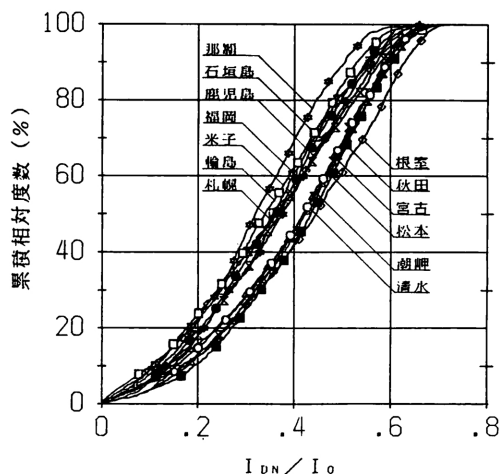


図13 大気外日射量で基準化した時刻別法線面直達日射量の累積相対度数(日照率が1の場合)

4. 5 時刻別直達日射量の示す地域性について

図13は日照率1の場合の大気外日射量 I_0 で基準化した法線面直達日射量の累積相対度数を全国13ヶ所について示したものである。図の横軸は雲などの影響も含めた大気の混濁度を示す。図のように地点によってグラフの傾向が異なるが宮古、秋田、松本、潮岬、清水に関しては同じような傾向を示しており、これらの地点では天気あるいは大気の状態が類似しているものと考えられる。また根室と那覇は他の地点と傾向が若干異なり、根室では他の地点より大気の澄んだ日が多く、逆に那覇では他の地点ほど大気の澄んだ日は存在しないと考えられる。全体的にみると日本海側より太平洋側が、沿岸より内陸の方が混濁度が低くなる傾向がある。

4. 6 解析の手法

4. 2に示したように直散分離の手法には直達日射量と天空日射量の理論式を用いるものと観測値より統計的に求められた関係式を用いるものがある。ここでは後者の1つで全天候に対して直散分離が可能である宇田川・木村の手法¹³⁾を参考に解析を行う。以下に宇田川・木村の手法、それに関する疑問点、並びに宇田川・木村式による推定結果についてまとめる。

(1) 宇田川・木村の手法

宇田川らは、大気圏外の水平面日射量 $I_0 \cdot \sin h$ で基準化した水平面直達日射量 K_{Dt} と水平面全天日射量 K_{Tt} の関係を、図14のように仮定し K_{Dt} の回帰式を

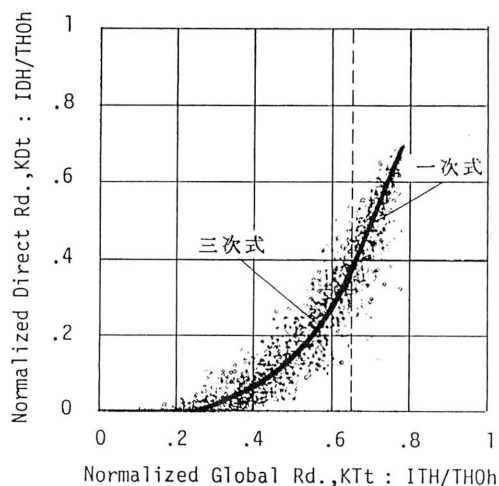


図14 宇田川・木村式による回帰式のモデル

求めた。すなわち、 K_{Tt} が 0.65 以上の場合 K_{Dt} を K_{Tt} の 1 次式で近似する。

$$K_{Dt} = (1 - A) + A \cdot K_{Tt} \quad \cdots (4-26)$$

K_{Dt} が 0.65 以下の場合 K_{Dt} を K_{Tt} の 3 次式で近似する。

$$K_{Dt} = D \cdot K_{Tt}^3 \quad \cdots (4-27)$$

$$D = d_0 + d_1 \cdot \sin h + d_2 \cdot \sin^2 h \quad \cdots (4-28)$$

(2) 宇田川・木村式における疑問点

- ① K_{Dt} の回帰式を 2 つに分けているが K_{Dt} と K_{Tt}

表 5 D と $\sin h$, $\sin^2 h$, $\sin^3 h$ との相関係数 ($K_{Tt} < 0.65$)

	$\sin h$	$\sin^2 h$	$\sin^3 h$
D (K_{Dt}/K_{Tt}^3)	-0.130	-0.158	-0.165

の関係に地点差があることを考慮すれば、 $K_{Tt} \geq 0.65$ の部分は三次式の一部と見なした方がよいように思われる。

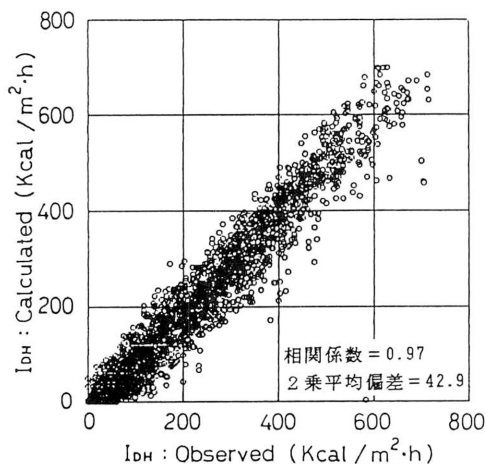
- ② 表 5 は 82 年・輪島、米子、福岡、鹿児島 の $K_{Tt} < 0.65$ のときの D と $\sin h$, $\sin^2 h$, $\sin^3 h$ との相関係数を示したものであるが、表のように D と太陽高度の相関は低く式 (4-28) で D を近似する根拠が明確でない。

(3) 宇田川・木村式による推定結果

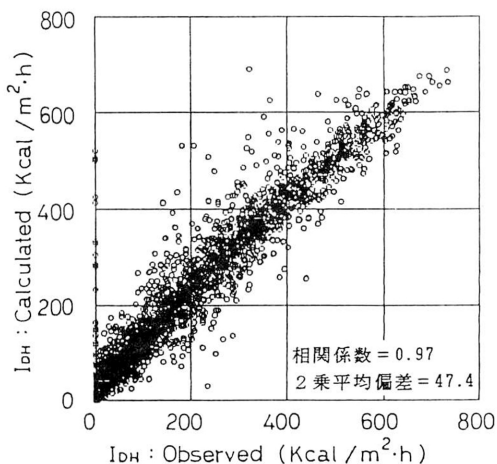
図 15 a, b はそれぞれ、宇田川・木村式による水平面直達日射量の推定値と観測値を、82 年・館野と 82 年・鹿児島 のデータを用いて比較したものである。図のように館野のデータでは推定値と観測値が良く一致しているが、鹿児島 のデータでは全体の傾向が弧状になっており標準誤差も大きくなっている。この傾向は他の地点でも見られ宇田川・木村式による直散分離の特徴となっている。

4. 7 水平面直達日射量推定式の説明変数の選定

K_{Dt} と K_{Tt} の関係に影響を与えと考えられる因子としては、次のようなものが考えられる。



a 82 年・館野



b 82 年・鹿児島

図15 宇田川・木村式による直達日射量の推定値と観測値の比較

①時刻別日照率

AMeDASの日照計の出力は、自記直達日射計の出力と同じ中央標準時による1時間積算値である。鈴木・荒谷は時刻別天気(雲量で判別)が既知であれば直散分離の精度が上がるかと報告している¹²⁾。また日照率と雲量が相関を有することはよく知られており、日照率による分類が可能であれば直散分離の精度の向上に役立つと思われる。

②日平均日照率

Bouguer, Berlageの式より導かれる直散分離の理論式では大気透過率が重要な要因となる。この大気透過率は大気の混濁状態を表わす係数であり、水蒸気量や雲などの影響を大きく受ける。3.5でも述べたが、曇天(雲量10)と晴天(雲量0)はそれぞれ長時間継続する傾向があり、日平均日照率 SD_d によって天気の状態をある程度知ることができると考えられる。

③太陽高度

宇田川・木村は、 K_{Dt} と K_{Tt} の関係が太陽高度($\sin h$)によって傾向が異なることを示し、 $\sin h$ による分類を行った。また太陽高度は日射の通過大気量を示すため、直散分離の各理論式(4-2)~(4-10)でも変数となっている。

④南中時の太陽高度

宇田川・木村は、 K_{Dt} と K_{Tt} の関係の月による傾向の違いの原因を太陽高度の季節変化と考えると③に示した因子を採用した。しかし $\sin h$ を考慮した回帰式による直達日射の推定結果には、依然として月による傾向の違いがみられる¹³⁾。このことより $\sin h$ は、 K_{Dt} と K_{Tt} の年周期の変化を表す適切な因子になっていないと考えられる。そこで $\sin h$ のような日変動を含まず、かつ年周期を持つものとして南中時の太陽高度 $N\sin h$ が考えられる。

⑤日平均気温

大気中の水蒸気量の年変動は気温の年変動と強い相関がある。水蒸気量は日射の吸収や散乱に影響が大きく、大気の混濁係数を変化させる要因でもある。もし K_{Dt} と K_{Tt} の関係における季節変化が大気の混濁度の年変動によるものであるならば、これを日平均気温 TEM_d によって説明することが可能であると考えられる。

4.8 解析に用いる地点の選択

観測された全日射量、直達日射量はそれぞれ計器の感度差、地域性等を含み両者の関係は地点・年によ

り若干異なる。このため全日射量を用いた直達日射量の推定式を作成する場合、解析に用いる地点によって推定式が異なる。ここでは全国に適用できる標準的な直達日射量推定式を作成するために、解析に用いるデータについて次のチェックを行った。

①全日射量に関して

3の時刻別全日射量の推定式作成のときに用いた標準的な全日射量を示す地点

②直達日射量に関して

4.5で示した直達日射量の地域性の少ない地点

③全日射量と直達日射量に関して

K_{Dt} と K_{Tt} の相関図においてばらつきの少ない地点

①, ②, ③により、次の4地点のデータを用いて解析を行うこととする。

82年・輪島、米子、福岡、鹿児島

4.9 標準的な直達日射量推定式の作成

K_{Dt} を従属変数とし、4.7に示した①~⑤の各因子と K_{Tt} 、 K_{Tt}^2 、 K_{Tt}^3 、 K_{Tt}^4 を説明変数として重回帰分析を行なった。なお $SD_h=0$ のときは $K_{Dt}=0$ であり解析データから省いた。重回帰分析の結果次式を得た。

$$K_{Dt} = -0.0287 + 1.3371 \cdot K_{Tt}^3 + 0.0501 \cdot SD_d - 0.0224 \cdot (N\sin h)^2 \quad \cdots \cdots (4-29)$$

式(4-29)の重相関係数は0.950を得たが、 K_{Dt} の変動は K_{Tt}^3 の変動によるところが大きく(相関係数0.948)、他の因子は K_{Dt} の変動にあまり寄与していない。そこで重回帰分析の説明変数を K_{Tt}^3 だけにすると K_{Dt} の回帰式は次式となる。

$$K_{Dt} = 1.3884 \cdot K_{Tt}^3 - 0.0152 \quad \cdots \cdots (4-30)$$

ここで

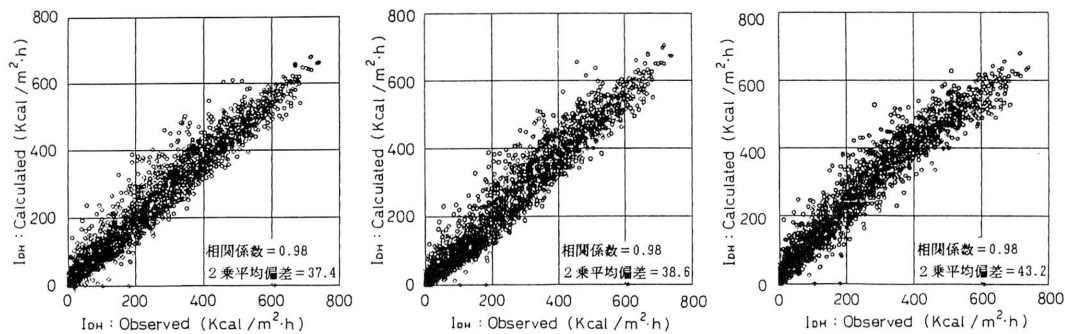
$$K_{Dt} = a \cdot K_{Tt}^3 - 0.0152 \quad \cdots \cdots (4-31)$$

において時刻別の a の値を従属変数とし、①~⑤の各因子を説明変数として重回帰分析を行った。重回帰分析の結果次式を得た。

$$a = 1.6928 - 0.5173 \cdot SD_h - 0.3512 \cdot (N\sin h)^2 + 0.2929 \cdot SD_d + 0.2675 \cdot \sin h \quad \cdots \cdots (4-32)$$

4.10 標準的な直達日射量の推定式と宇田川・木村式との推定結果の比較

図16a~cは各推定式による推定値と観測値の比較を82年の清水のデータで行ったものである。図より式(4-29)、(4-31)、(4-32)では、宇田川・木村式にみられる推定値が弧状になる傾向は除去されたこと



(a) 式(4-29)による推定結果 (b) 式(4-31), (4-32)による推定結果 (c) 宇田川・木村式による推定結果

図16 各推定式による推定結果 (82年・清水)

がわかる。82年のデータによる各推定式の推定結果は、秋田を除く12地点で式(4-29)による推定精度が最も良く、推定値と観測値の2乗平均偏差は全国13地点の平均で式(4-29)で41.26 Kcal/m²h, 式(4-31)・(4-32)で42.39 Kcal/m²h, 宇田川・木村式で45.76 Kcal/m²hであった。

5. 欠測データについて

5.1 概要

これまで考察に用いた AMeDAS のデータは、気象官署に併設されたものであり欠測データは少なかった。しかし、本来 AMeDAS は無人観測ロボットでありこれらの地点では欠測データが多くみられる。そのため AMeDAS のデータを用いる場合には、欠測データの処理が必要となる。そこで4要素観測における欠測の状況を82年の北海道のデータ(162地点)を用いて調べ、欠測の特徴をまとめる。

5・2 特別値の欠測の種類

AMeDAS 磁気テープの特別値の欠測識別には次の2種類がある。

①全要素欠測

これは観測ロボット本体の異常による欠測であり、4要素全部が欠測となる。AMeDAS の磁気テープデータには全要素欠測有無の判別のために、時刻毎に欠測識別欄があり次のコードのいずれかが記録されている。

- | | |
|------------------|------------|
| 0 ……正常 | 1 ……計画休止 |
| 2 ……障害休止 | 3 ……話中欠測 |
| 4 ……FORMAT・ERROR | |
| 5 ……その他の欠測 | 6 ……異常コマンド |

②要素別欠測

これは観測ロボットの各計器の異常による欠測であり、異常のみられる計器の要素のみが欠測となる。AMeDAS の磁気テープデータでは、時刻毎に要素別の欠測識別欄があり次のコードのいずれかが記録され

表6 欠測出現時間数に占める各要素の割合

欠測出現 時間数	地点数	欠測出現時間数 (%)					
		全要素欠測	降水量	風 向	風 速	日照率	気 温
0～9	24	1	4	22	16	88	22
10～19	23	1	8	74	36	45	79
20～29	29	4	10	86	36	47	90
30～39	15	5	9	78	34	29	70
40～49	12	3	6	91	45	29	83
50～69	14	0.5	22	71	28	14	62
70～100	11	0.3	18	78	41	7	46

注) 要素別の欠測には、全要素欠測の時間数を含む。
欠測出現時間数101時間以上の地点(34地点)は考察の対象から省いた。

ている。

0 ……正常

1 ……AQC・論理 ERROR^{註4)}

2 ……その他の欠測 3 ……障害休止

9 ……連続欠測時間降水量

5. 3 欠測状況

(1) 欠測時間数

表6はなんらかの欠測が発生した時間数を要素別にまとめたものである。表中、欠測出現時間数が0～9では日照率の欠測出現率が高い。これは毎年2回(82年では3月と10月)行われる電力チェックのための深夜1時～2時にかけての欠測によるものと思われる。この電力チェックによる欠測は全地点、全要素に出力されるものであるが、地点、要素によっては欠測になっていない場合もある。これは各気象官署により、データの差替えが可能な地点を対象にして、編集時に差替え可能なデータの差替えが行われているためである。日照率に関しては全地点とも欠測が出力されているが、深夜の欠測であり実質的には欠測なしと考えても支障はないと考えられる。表より風向、気温の欠測

はどの欠測出現時間数に対しても高く、欠測しやすい気象要素であることがわかる。また、いずれの欠測出現時間数でも各要素の欠測出現率の合計は100%を越えており、欠測が単要素のみではなく幾つかの要素の欠測が同時に発生していることがわかる。

(2) 欠測時間数に対する地点数

表7は各気象要素毎の欠測出現時間数に対する地点数の比率を示したものである。なお、表中の日照率の欠測は電力チェックによる欠測を省いたものである。表より降水量、日照率は欠測時間数の少ない地点が多く、風向、気温は欠測時間数の多い地点が多いことがわかる。

(3) 欠測データの継続性

表8は各気象要素毎の欠測継続時間数に対する地点数の比率を示したものである。表中の日照率の欠測は電力チェックによる欠測を省いたものである。表より降水量、風速の欠測継続時間は1～2時間の短時間の地点が多く、風向、気温は5～6時間の比較的長時間の欠測が発生した地点が多いことがわかる。また、各要素とも21時間以上の欠測もかなり多くの地点で発生していることがわかる。

表7 82年の北海道における欠測出現時間数に対する地点数の比率(%)

欠測出現時間数	全要素欠測	降水量	風 向	風 速	日照率	気 温
0 (欠測なし)	85	66	13	18	44	15
1～5	10	17	8	22	32	9
6～10	1	2	8	32	12	10
11～20	2	2	17	8	4	19
21～30	0	2	23	4	3	21
31～40	0	1	9	4	0	8
41～	2	10	22	12	5	18

表8 82年の北海道における欠測継続時間数に対する地点数の比率(%)

欠測継続時間数	全要素欠測	降水量	風 向	風 速	日照率	気 温
0 (欠測なし)	85	66	13	18	44	15
1～2	9	13	14	39	14	15
3～4	1	4	13	16	27	15
5～6	1	1	26	5	5	29
7～8	0	1	6	0	3	9
9～20	2	2	7	6	2	5
21～	2	13	21	16	5	12

全体的にみると風向、気温は欠測が多く、しかも長時間継続する傾向がある。また、日照率のデータの欠測には電力チェック以外にも夜間の欠測が多く含まれているので、実質的な欠測数は少ないと考えられる。

以上電力チェックによる日照率の欠測を除いて、全要素について欠測データのなかった地点は162地点中7地点であった。しかし、連続欠測12時間未満のものは162地点中94地点であり、また欠測出現総時間数100時間（1年分のデータの約1%）以内のものは162地点中128地点であり、なんらかの形で欠測データを補間できるとすれば利用価値は十分あると考えられる。

6. ま と め

- 1) 月平均日積算日射量に関する全国の標準的推定式として式(2-4)を得た。この式の説明変数は吉田・篠木式(2-3)と同じにとったが、日照時間はジョルダン日照計ではなく AMeDAS の太陽電池式日照計による観測値を用いた。
- 2) 既報の時刻別日射量推定法を AMeDAS データに適用し、全国の標準的推定式として式(3-4)～(3-9)、(3-12)～(3-14)を作成した。これらの推定式の係数値を表4に整理した。また日射量の計算過程で必要となる降雨、降雪、積雪の判定は、前日との積雪深差及び外気温によって行えることを示し、前日との積雪深差の推定式を式(3-15)のように求めた。本法による推定精度が低いと予想される大分と、推定式の作成に用いた福岡について82年の推定結果を図11a, bに示した。
- 3) AMeDAS データから推定された時刻別水平面全天日射量に適用することを前提とした直散分離法として式(4-29)～(4-32)を作成した。これらの式と宇田川・木村式による直達日射量の推定例として、82年清水の結果を図16a～cに示した。また全国13ヶ所の推定結果より式(4-29)による推定精度が最も良いという結果が得られた。
- 4) 欠測データについては82年北海道のAMeDASの162地点における状況を確認し、風向、気温のデータに欠測が多い等の結果を得た。
- 5) 直散分離に関しては自記直達日射計のデータを用いたため、太陽周辺の日射強度の高い部分は天空日射とみなしている。しかし建築環境学的にはある程度指向性の強い日射であれば直達日射とみなした方が良いとされている。この直達と天空の閾域の問題

に関しては今後検討を行う予定である。

謝辞) 本研究は昭和59, 60年度文部省科学研究(一般研究(C), 課題番号: 59550390), 並びに建築学会九州支部奨励研究助成金の援助を受けて行われたものである。ここに記して謝意を表する。

注

- 1) 標準気象データとは、地点毎の10年間の気象観測データを用いて実際に標準となる建物を設定してコンピュータによる詳細な熱負荷計算を行い、月毎の熱負荷計算結果が10年間で最も平均的になるような月を選択し、仮想の1年を組み立てたものであり、次の7要素より構成される。
①乾球温度, ②絶対湿度, ③法線面直達日射量, ④水平面天空日射量, ⑤雲量, ⑥風向, ⑦風速
- 2) AMeDAS は地域気象観測として位置づけられており、1要素(降水量)、4要素(降水量, 風向・風速, 日照率, 気温)を対象に1979年以降全国1312地点(内4要素観測は840地点)で観測が開始された。観測は無人観測ロボットで行われ各観測地点の出力信号は電話回線を通じて気象庁内のAMeDASセンターに収録される。また現在降雪地を対象に積雪深計の設置も行われており、最終的には全国214地点で積雪深の観測が行われる計画である。
- 3) 直達日射の観測には入射筒の開口角が、3.98 degの自記直達日射計が使用されている。
- 4) AQC・論理ERRORとは観測されたデータより数値的にありえないデータをコンピュータが検出した欠測である。

参考文献

- 1) 吉田・篠木：日本における月平均全天日射量およびその年々の変動度のマップ作成，天気，VOL. 25, No. 5, 1978年5月。
- 2) 三木信博：建物熱負荷計算のための気象データの標準化に関する研究，第2報－日照時間による月平均日射量の近似，空気調和・衛生工学会論文集，No. 15, Feb., 1981。
- 3) 吉田・篠木：日射量の全国マップ－その7，太陽エネルギー，VOL. 11, No. 3, 1985。
- 4) 赤坂 裕：日照率・雲量等による時刻別日射量の推定，日本建築学会論文報告集，第352号，昭和60年6月。

- 5) N. Robinson : SOLAR RADIATION, ELSEVIER PUBLISHING COMPANY, 1966, PP. 113 ~ 131.
- 6) 赤坂 裕 : 年間毎時刻雲量データの作成法, 日本建築学会論文報告集, 第326号, 昭和58年4月.
- 7) 赤坂・池畑 : 月平均気象データ推定 (その2 水蒸気圧), 日本建築学会大会学術講演梗概集 (関東), 昭和54年9月.
- 8) Berlage, H. P. : Zur Theorie der Beleuchtung einer horizontalen Fläche durch Tageslicht, Meteorologische Zeitschrift., VOL. 45, 1928.
- 9) 小木曾・斉藤・松尾 : 快晴時の日射について (日射に関する研究2), 日本建築学会論文報告集, 第66号, 1960.
- 10) 永田忠彦 : 天空日射に関する Berlage の式に対する疑問, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (計画系), 1975.
- 11) 永田・沢田 : 晴天空による水平面散乱日射の式の試案, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (計画系), 1978.
- 12) 鈴木・荒谷 : 日射量計算式の開発, 日本建築学会論文報告集, 第279号, 1979.
- 13) 宇田川・木村 : 水平面全天日射量観測値よりの直達日射量の推定, 日本建築学会論文報告集, 第267号, 1978.
- 14) 渡辺・浦野・林 : 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, 第330号, 1983.
- 15) Parmelee, G. V., Irradiation of Vertical and Horizontal Surfaces by Diffuse Solar Radiation from Cloudless skies, ASHVE TRANSACTION, Vol. 60, 1954.
- 16) Liu, B. Y. H & Jordan, R. C., The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation, Solar Energy, 4[3], July 1960.
- 17) Nehring, G., Über den Wärmefluss durch Außenwände und Dächer in klimatisierte Räume der periodischen Tagesgänge der bestimmenden Meteorologischen Elemente, Gesundheits-Ingenieur Heft 7/8, 1962.
- 18) ASHRAE Guide, Handbook of Fundamentals 1967.
- 19) 松尾 陽 : 日射の工学的扱い, 日本太陽エネルギー学会編, 太陽エネルギーの基礎と応用, オーム社, 1978.
- 20) 松尾 陽 : 天空日射量の推定と直散分離, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (計画系), 1973.
- 21) 松尾・赤坂・石野・滝沢・ほか : 標準気象データに関する研究, 空気調和・衛生工学, 第48巻, 第7号, 1974.