

# 地域別日射量分布に関する研究 (4)

—館野の時間積算日射量の推定精度—

紙井泰典・近森邦英

(高知大学農学部利水工学研究室)

## A Study on the Distribution of Insolation in Japan (4)

— Estimation accuracy on the hourly data in TATENO —

Yasunori KAMII and Kunihide CHIKAMORI

*Laboratory of Water-Utilization Engineering, Faculty of Agriculture*

**Abstract:** In considering slope area solar radiation, we have to get direct solar radiation. But it is rather difficult to get slope radiation data. So we very often have to estimate direct and diffuse solar radiation data from total solar radiation data and transform them to the slope individually. To do this for hourly data, the following equation is found to be the most useful one.

$$KDT = B_0 + B_1 * ((KT - A) / B)^p$$

where,  $KT = \text{total solar radiation} / Q_0$

$Q_0 = \text{Horizontal radiation outside the atmosphere}$

$KD = \text{direct solar radiation on the horizontal area} / Q_0$

$KDT = KD / KT$

$B_0 = 0.0036 - 0.1607 \sin h + 0.3116 \sin^2 h - 0.1622 \sin^3 h$

$B_1 = 0.1861 + 2.8526 \sin h - 3.8076 \sin^2 h + 1.6323 \sin^3 h$

$A = 0.136 + 0.017 \sin h$

$B = 0.397 + 0.473 \sin h - 0.256 \sin^2 h$

$p = 0.7839 + 2.2713 \sin h - 1.08 \sin^2 h$

### まえがき

農業水文学で取り扱う流域の水収支・熱収支に含まれる蒸発散量は、太陽からの日射エネルギーの大小に大きく影響される。しかし、実際の流域には様々な傾斜角・傾斜方向の斜面が含まれるにも拘わらず、斜面での日射量が計測されることは稀であり、大抵は水平面日射量から計算して求めることとなる。

水平面日射量は直達日射量と散乱放射量の2成分から成る。この2つは斜面日射量に変換する方法が異なるため、当面、水平面日射量を直達成分と散乱成分に分けることが必要と考えられる(『直散分離』と呼ぶ)。

ここで取り扱うのは1時間積算水平面全天日射量から、なるべく精度良く直達日射量を推定する

ための手法の検討である。

## I. データと研究方法

### 1. データ

館野高層気象台測定による、1982年～1984年の時間積算全天日射量・同直達日射量・同散乱放射量データを使用した。データは以下のように加工した。

① 太陽高度 (h) の sin を表す次式から、5分間毎の sin h を求め、気象観測のための常用表Ⅲ<sup>1)</sup>の「大気外日射量 I<sub>0</sub> の表」から引用した I<sub>0</sub> を掛けて1時間毎の平均値を計算し、これを cal. と MJ の換算率 1 MJ/m<sup>2</sup> = 23.89 cal/cm で割り、MJ 単位の時間積算大気外水平面日射量 Q<sub>0</sub> (MJ/m<sup>2</sup> hr) を求める。

$$\sin h = \sin \phi \cdot \sin \delta + \cos \phi \cdot \cos \delta \cdot \cos t \cdots (1)$$

ここに、 $\phi$ : 観測地点の緯度、 $\delta$ : 太陽の赤緯、 $t$ : 時角、 $h$ : 太陽高度

② 直達日射量は太陽方向に垂直な面で計測した法線面直達日射量 DN (MJ/m<sup>2</sup> · hr) であるから、これに(1)で求めた sin h の時間毎の平均値を乗じ、水平面直達日射量 DH (MJ/m<sup>2</sup> · hr) に直す。

$$DH = DN \cdot \sin h \cdots (2)$$

③ 時間積算散乱放射量 SH (MJ/m<sup>2</sup> · hr) > 時間積算全天日射量 TH (MJ/m<sup>2</sup> · hr) となるデータは SH = TH で置き換えた。DH > TH となるデータは DH = TH で置き換えた。

### 2. 無次元指標

TH, DH, SH を大気外水平面日射量 Q<sub>0</sub> で割って KT, KD, KS と表わす。すなわち、

$$\left. \begin{aligned} KT &= TH/Q_0 \\ KD &= DH/Q_0 \\ KS &= SH/Q_0 \end{aligned} \right\} (3.1)$$

さらに、渡辺・浦野・林の方法に準じて、次の無次元指標を導入する。

$$P = (DN/I_0)^{\sin h} = KD^{\sin h} \quad (3.2)$$

P は大気の混濁状態を表し、不照時 (P = 0) をも含めた見かけの透過率である。

$$\left. \begin{aligned} KDS &= DH/(Q_0 - SH) = KD/(1 - KS) \\ KSD &= SH/(Q_0 - DH) = KS/(1 - KD) \\ KDT &= DH/TH = KD/KT \end{aligned} \right\} (3.3)$$

さらに次なる指標を新しく追加した。

$$KD/KS = DH/SH \quad (3.4)$$

水平面全天日射量は、直達日射量と散乱放射量から構成されるから

$$TH = DH + SH \quad (4)$$

$$\therefore KT = KD + KS$$

故に、(4)式以外にもう1つの無次元指標間の関係が式で表わされれば、KT を元にして KD, KS を求めることができ、DH, SH を求めることができる。無次元式にはいくつ無次元指標を取りこんでも差支えないが、単純なのは2つの指標間の関係で表わすことである。それに限定すると考えられる組合せは、無次元指標の個数 m で表すと m (m - 1) 個ある。この場合、同じ指標間の関係でも、どちらを独立変数、どちらを従属変数として扱うかにより式が2本立つと考えた。上記無次元指標の中で、KS と KSD は今回の検討から省いた。その理由は、今回の検討では後述するように、KD の実測値 (変な呼び方であるが、実測 DN を I<sub>0</sub> で割った値) とその推定値  $\widehat{KD}$  との誤差平方

和を最小とするような推定値  $\widehat{KD}$  を良い推定値と判定することとしたため、散乱要素は  $KS=KT-KD$  で求め得ることもあって省略した。これは本論文では未検討として残される部分であり、別に検討の必要があるかも知れない。また、 $P$  は  $KD$  と直接的に (3.2) 式のように結びついているため、 $KD$  と実質的に同一とみなし省略した。

使用した無次元指標:  $KT, KD, KDS, KDT, KD/KS$ . ( $m=5$ ).

## II. これまでの方法の検討

### 1. 宇田川・木村の方法<sup>2)</sup>

推定の元となる指標は  $KT$  である。推定されるべきは  $KD$  である。よって直接的には  $KT$  を独立変数、 $KD$  を従属変数とする式を考えるべきであろう。この観点から宇田川・木村<sup>2)</sup>は1968年1~12月の館野高層気象台 ( $36^{\circ}03'N, 140^{\circ}08'E$ ) における水平面全天日射量と散乱放射量の毎時積算値を用いて次式を提案した。

$$KT \geq KTC \text{ の時 } KD = -0.43 + 1.43 KT \cdots (5.1)$$

$$KT < KTC \text{ の時 } KD = (2.277 - 1.258 \sin h + 0.2396 \sin^2 h) \cdot KT^3 \cdots (5.2)$$

但し、 $KTC$  は (5.1) 式と (5.2) 式との接続点であり、次式により与えられる。

$$KTC = 0.5163 + 0.333 \sin h + 0.00803 \sin^2 h \cdots (5.3)$$

これは Fig. 1 の  $KD$  が、 $KT < KTC$  では  $KT$  の3次式、 $KT \geq KTC$  では1次式として表わされることを意味している。

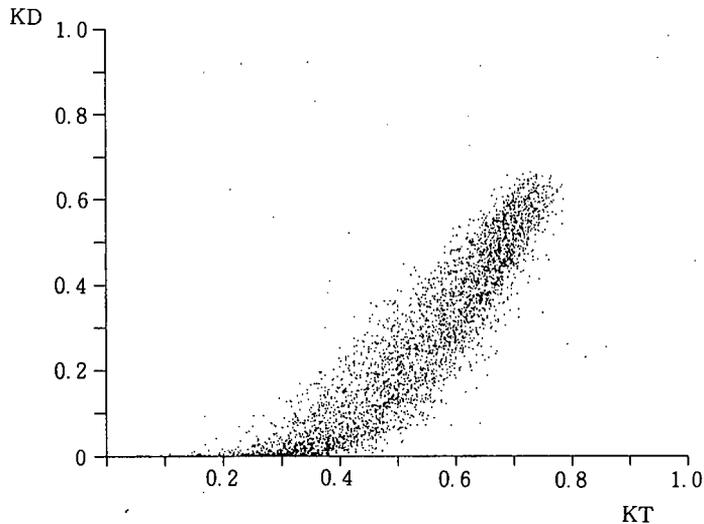


Fig. 1 Total solar radiation factor  $KT$  and direct solar radiation factor  $KD$

宇田川・木村は太陽高度が低いときはデータのばらつきが大きくなるを考え、 $\sin h > 0.3$  のデータについて式を求めている。筆者等は、1982年1月~1984年12月の館野高層気象台の全天・直達・散乱の各日射量の時間積算値の  $\sin h \geq 0.1$  のものを交互に A, B 2つのデータ群に2分割し、Aを式の係数同定用、Bを検証用として用いることとし、次の誤差評価関数を最小とする係数を試行により求め、(7)式を得た。

$$S = \sqrt{(\widehat{KD} - \widehat{KD})^2 / N} \quad (6)$$

ここに, S: 誤差評価関数, KD: 実測 DN/I<sub>0</sub> により求めた無次元指標,  $\widehat{KD}$ : 推定式から求めた KD の推定値, N: データ数 (=6018)

$\sin h \geq 0.3$  で  $KT \geq KTC$  のとき,

$$KD = -0.573 + 1.558 KT$$

$KT < KTC$  のとき,

$$KD = (2.416 - 1.991 \sin h + 0.775 \sin^2 h) KT^3$$

(7.1)

(7.1) 式の交点は  $0.3 \leq \sin h \leq 1.0$  の範囲では 1 点又は 2 点あり, 散布図の形から推して, 値の大きい方を採るべきであるので,

$$KTC = -0.2665 + 4.030 \sin h - 5.591 \sin^2 h + 4.00 \sin^3 h \cdots (7.2)$$

なお, KTC に関する (7.2) 式は,  $\sin h = 0.30, 0.35, 0.40, 0.45, 0.50, 0.55, 0.60$  の 7 点に対応する (7.1) 式の交点を求め (2 点求まるが, 値の大きい方をとる) それらの点を最も良く近似する 3 次元曲線を, 直交多項式の手法により求めた。 $\sin h > 0.6$  では (7.1) 式の交点は小さい方だけになり, Fig. 1 の散布図の形からしてこれは適さない。

次に, 後述する渡辺・浦野・林の方法の例にならい,  $\sin h \geq 0.1$  となるデータについて同様の方法により次式を得た。

$KT \geq KTC$  のとき

$$KD = -0.567 + 1.548 KT$$

$KT < KTC$  のとき

$$KD = (1.591 + 0.7127 \sin h - 1.2548 \sin^2 h) KT^3$$

(7.3)

$$KTC = 0.5358 + 0.1563 \sin h - 0.1313 \sin^2 h + 0.390 \sin^3 h \cdots (7.4)$$

(7.4) 式は  $\sin h$  の刻み 0.05 で  $0.3 \sim 1.0$  の間の 15 点を用いて定めた。

結果:  $\sin h \geq 0.3$  data に対して,

$$(7.1), (7.2) \text{ 式: } S = 0.05324 \quad (N = 4860)$$

$$(7.3), (7.4) \text{ 式: } S = 0.053828 \quad ( \quad )$$

$\sin h \geq 0.1$  data に対して,

$$(7.1), (7.2) \text{ 式: } S = 0.061544 \quad (N = 6007)$$

$$(7.3), (7.4) \text{ 式: } S = 0.052932 \quad ( \quad )$$

ちなみに, KTC を単に 0.65 に固定した場合,

$$\sin h \geq 0.3 \text{ data に対してそれぞれ } S = 0.05139, 0.05193$$

$$\sin h \geq 0.1 \text{ data に対してそれぞれ } S = 0.05318, 0.05143$$

(data 数は上と同じ) となり, 境界条件を複雑にしない方が精度が良かった。境界条件を Fig. 2.1 Fig. 2.2 に示す。

## 2. 渡辺・浦野・林の方法

引用文献 3) で渡辺・浦野が提案しているのは次の 2 つである。△ は推定変数を表わす。

$$\left. \begin{aligned} (1) \quad \widehat{KDS} &= KD + (0.9013 + 1.123 \sin h) \cdot KD^{1.489} (1 - KD) \\ \widehat{SH} &= I_0 \sin h \cdot Q / (1 + Q) \\ Q &= (0.9013 + 1.123 \sin h) P^{0.489 \operatorname{cosec} h} \cdot (1 - P^{\operatorname{cosec} h})^{2.525} \\ \widehat{DH} &= I_0 \sin h \cdot P^{\operatorname{cosec} h} \\ \widehat{TH} &= I_0 \sin h \left( P^{\operatorname{cosec} h} + \frac{Q}{1+Q} \right) \end{aligned} \right\} (8)$$

(8) 式中の TH の式が P についての単調増加関数であることから, TH と  $\sin h$  が与えられれば P は

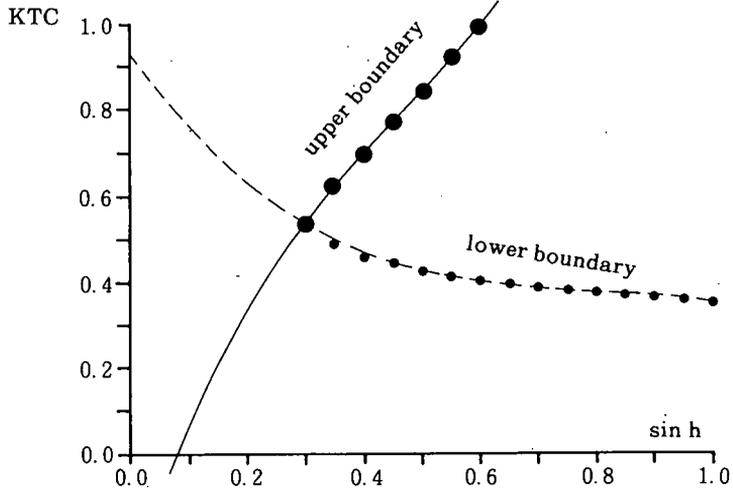


Fig. 2.1 Boundary KTC

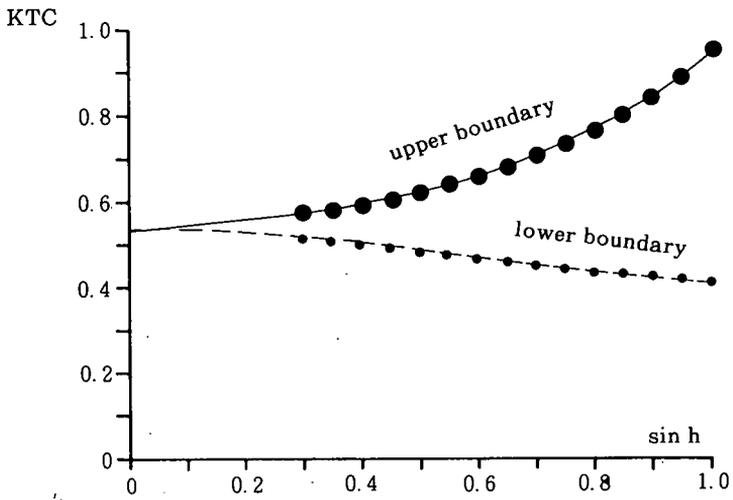


Fig. 2.2 Boundary KTC

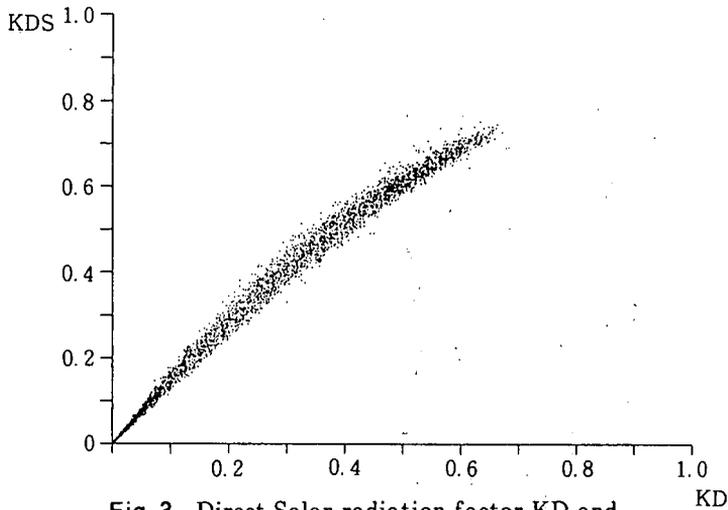


Fig. 3 Direct Solar radiation factor KD and diffuse-modified direct solar radiation factor KDS

決まり、そのPから $\widehat{DH}$ と $\widehat{SH}$ が求め得るとしている。KDSとKDとの関係についてはFig. 3を参照。

渡辺・浦野・林の方法では、1980年の福岡市箱崎における、毎正時からの30分間積算水平面全日射量と散乱放射量を用いている。この方法を1982~1984年の館野のAデータに適用して諸係数を $\sqrt{(KDS - \widehat{KDS})^2 / N}$ を最小とするように定めると、次のようである (KDS実測値,  $\widehat{KDS}$ : 推定値)

$$\widehat{KDS} = KD + (0.5189 + 0.3907 \sin h) \cdot KD^{1.096} \cdot (1 - KD)^{1.9634} \dots (9)$$

館野のデータBを用いて(9)式より(6)式の誤差評価を行うと、 $S = 0.05108$  ( $N = 6007$ )となった。

(2) Fig. 4のKTとKDSとの関係に注目し、渡辺・浦野・林は次式も提案している。

KT  $\geq$  KTC のとき

$$\widehat{KDS} = KT - (d_0 + d_1 \sin h + d_2 \sin^2 h) (1 - KT)^3$$

KT < KTC のとき

$$\widehat{KDS} = (e_0 + e_1 \sin h + e_2 \sin^2 h) KT^3$$

$$KTC = 0.4268 + 0.1934 \sin h$$

$$d_0 = 1.107, d_1 = 0.03569, d_2 = 1.681$$

$$e_0 = 3.996, e_1 = -3.862, e_2 = 1.540$$

(10)

KTCは(10)式の3次式と3次式との交点であるが、大体 $\sin h \geq 0.5$ では2点で交わり、 $\sin h < 0.5$ では $0 \leq \sin h \leq 1.0$ の範囲で2つの3次曲線は交点をもたないとし、2交点は2つのKTC、交点なしは両3次式のKDSの値が最も近接するときのKTをもって境界点KTCと考え、それらの点を $\sin h$ を独立変数、KTCを従属変数とした単回帰式を作ることにより(10)の境界式を導いている。(Fig. 5参照)

館野のデータAにこの方法を適用したところ、Fig. 6に示すように境界線は $\sin h$ の2次式で表わされることとなった。すなわち、

$$KTC = 0.629 - 0.283 \sin h + 0.345 \sin^2 h$$

$$\text{係数: } d_0 = 4.215, d_1 = -9.504, d_2 = 9.769$$

$$e_0 = 2.371, e_1 = -0.423, e_2 = -0.271$$

(11)

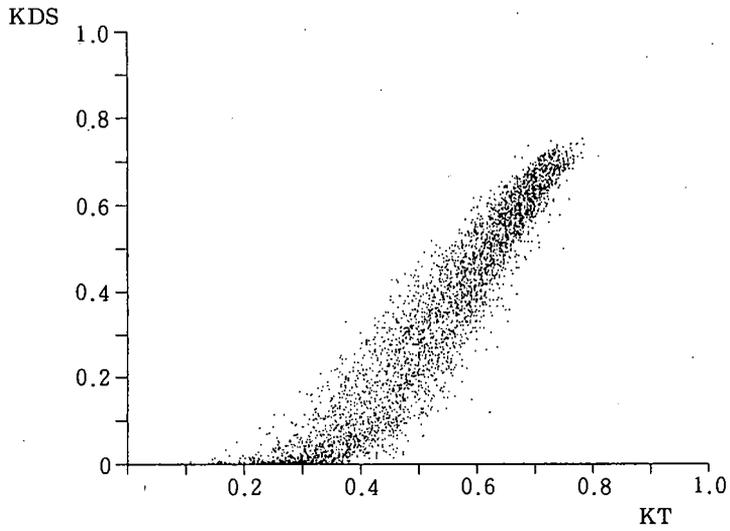


Fig. 4 KT and KDS

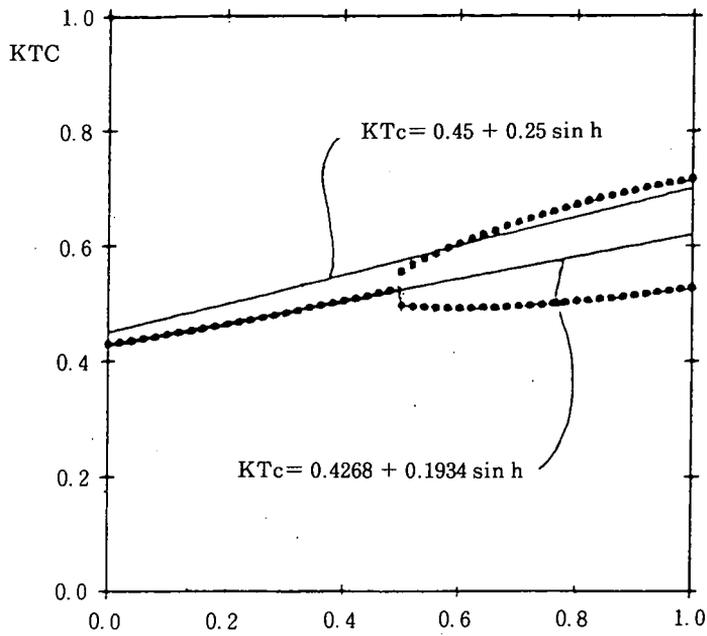


Fig. 5  $\sin h$  and KTC in Hakozaki  
(文献 3) より引用

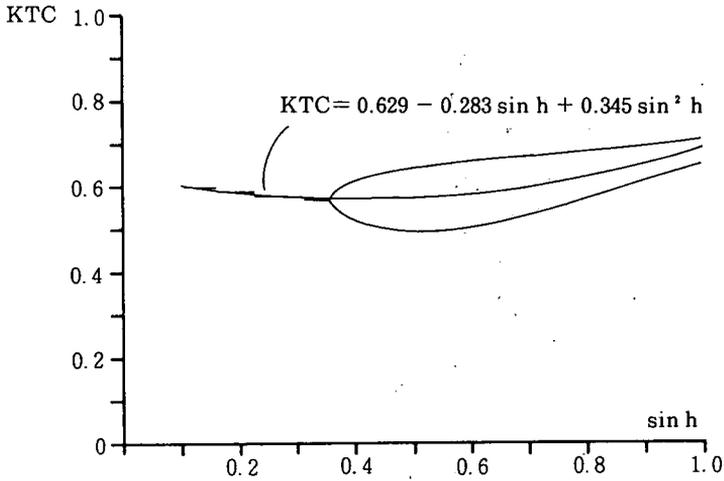


Fig. 6 sin h and KTC in Tateno

この係数で館野のデータ B について、(6)式の  $S=0.05136$  ( $N=6007$ )。多くの直散分離式が提案されているが、上記(1), (2)の方法がこれまでの最良のものと思われる。

### III. その他の検討

#### 1. 直散比 $KD/KS$ の利用可能性

##### (1) 直接 $KD$ の推定

$KD/KS$  の比を  $KD$  に対比させると、Fig. 7 のようになる。 $\frac{1}{10}(KD/KS)$  を  $KD$  の 5 次関数で表わしてみると、

$$\left. \begin{aligned} \frac{KD/KS}{10} &= (a_0 + a_1 \sin h + a_2 \sin^2 h) KD^5 + \{m_0 (a_0 + a_1 \sin h + a_2 \sin^2 h) + n_0\} \cdot KD^3 + c_0 \\ \text{係数: } a_0 &= -1.875, a_1 = 12.595, a_2 = -6.1255 \\ m_0 &= -0.454, n_0 = 1.536, c_0 = 0.342 \end{aligned} \right\} (12)$$

$KD/KS$  を  $\frac{1}{10}$  倍してあるのは、 $KD/KS$  が  $KD$  等の無次元指標より 1 桁大きくなるので桁合わせをしたものである。館野データ B : (6)式の  $S=0.05490$ 。

$KD$  の求め方は、試行錯誤演算で誤差  $E = \frac{|KDD - KDH|}{KDH}$  の値が最小となる  $KDH$  (仮定的  $KD$ ) を  $\hat{KD}$  とみなすという方法で求めた。最初  $KDH = 0.01$  から順次  $KDH = 1$  まで 0.01 刻みで  $KDH$  の値を増大させ、その都度 (12) 式の  $KD$  に  $KDH$  を入れて仮の  $KD/KS$  を求め ( $= \alpha$  とおく)、 $KD/KS = \alpha$  より  $KS = KD/\alpha \therefore KT = KD + KS = (1 + 1/\alpha) KD$  より  $KD = \alpha/(\alpha + 1) KT$  として修正  $KDH$  である  $KDH'$  を求め、 $E = (KDH' - KDH) / KDH$  の絶対値を最小とする  $KDH$  が求める  $\hat{KD}$  であるとする方法によった。これは、 $KDH'$  を新しい  $KDH$  として繰り返し演算で  $E$  が極小さい数となるまで求め直すという方法でも求めることができるが、前者の方がアルゴリズムが単純なので前者を用いたのである。結果は、前節の方法に比べ良いとは言えなかった。

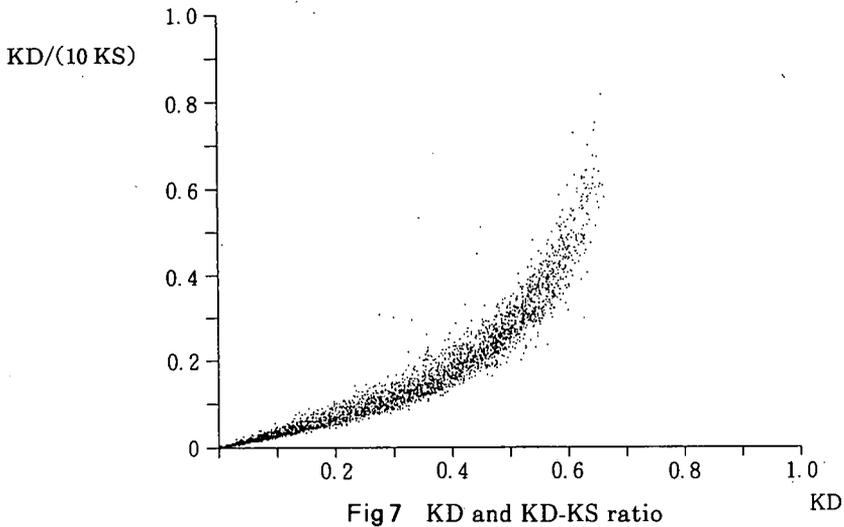


Fig 7 KD and KD-KS ratio

(2) 対数表示の試み

$\log. \left( \frac{KD}{KS} \right)$  と  $\log. KD$  を各々  $-0.1$  を掛けて正值に直した図を Fig. 8 に示す。

対数をとってもなお残る曲線性を、次式で表現することにした。

$$KD = \exp [a_0 + a_1 \cdot \sin h + a_2 \sin^2 h] \cdot \exp (b \times | \log. \left( \frac{KD}{KS} \right) |^{1.6}) \quad (13)$$

係数 :  $a_0 = -0.36, a_1 = 0.24, a_2 = -0.041, b = -0.325$

館野のデータBについて前述の評価基準  $S = 0.05189$ 。

$\log. KT$  と  $\log. \left( \frac{KD}{KS} \right)$  に、各々  $-0.1$  を掛けて正值に直した図を Fig. 9.2 に示す。

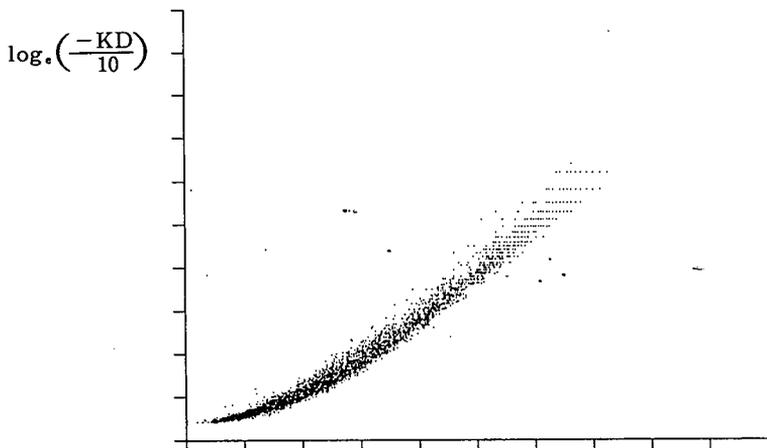


Fig. 8 Logarithmic expression of  $\log. \left( \frac{-KD}{10KS} \right)$  and KD

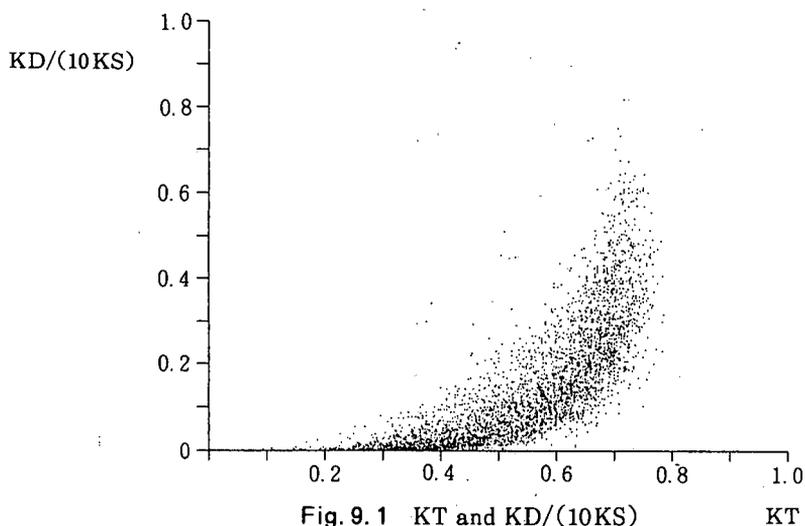
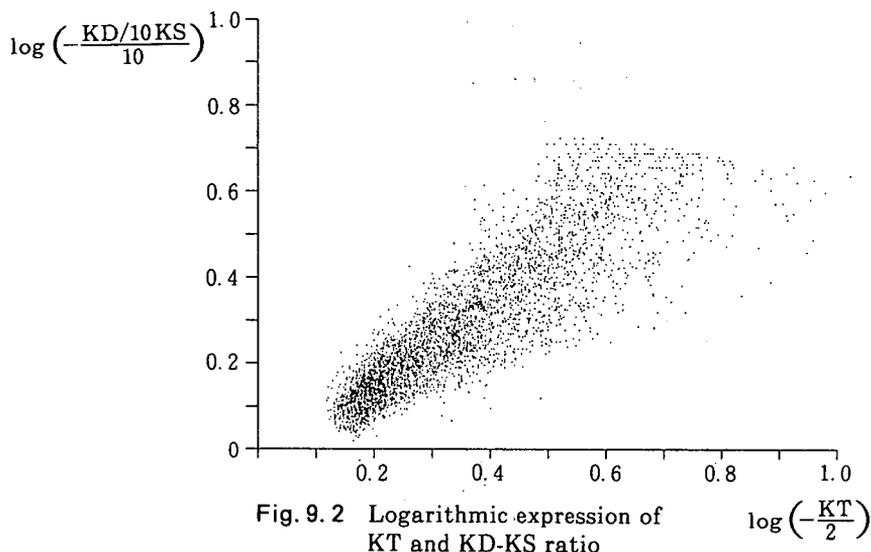


Fig. 9.1 KT and KD/(10KS)

Fig. 9.2 Logarithmic expression of  
KT and KD-KS ratio

対数をとってもなお残る曲線性及び、勾配とY切片が  $\sin = 0.5$  近辺で急変することを次式で表わした。

$$\frac{KD/KS}{10} = \exp [a_0 + a_1 \sinh + (b_0 + b_1 \sinh) | \log_2 KT |^c] \quad (14)$$

係数 :

$$\left. \begin{aligned} \sinh \geq 0.5 \text{ のとき, } a_0 &= 4.945, a_1 = -2.064, b_0 = -8.734, \\ & b_1 = 1.855, c = 0.438 \\ \sinh < 0.5 \text{ のとき, } a_0 &= 0.852, a_1 = 9.847, b_0 = -3.523, \\ & b_1 = -11.110, c = 0.294 \end{aligned} \right\}$$

館野データBを使って、(6)式の評価基準  $S = 0.05278$  ( $N = 6007$ )

2. 直達比 KDT (KD/KT) の利用可能性

(1) 直接 KD の推定

KDT と KD との関係を図 10 に示す。両者の対数をとった場合 (Fig. 11) の直線相関に着目して次式を試みた。

$$KD = \exp [a_0 + a_1 \operatorname{cosech} h] KDT^b \quad (15)$$

係数等 :  $a_0 = -0.2, a_1 = -0.057, b = 1.333$

データ B による (6) 式の  $S = 0.06916$

独立変数と従属変数を入れかえて

$$KDT = \exp [a_0 + a_1 \cdot \sin h + a_2 \sin h] KD^b$$

係数等 :  $a_0 = 0.525, a_1 = -0.882, a_2 = 0.574$  (16)

$b = 0.701$

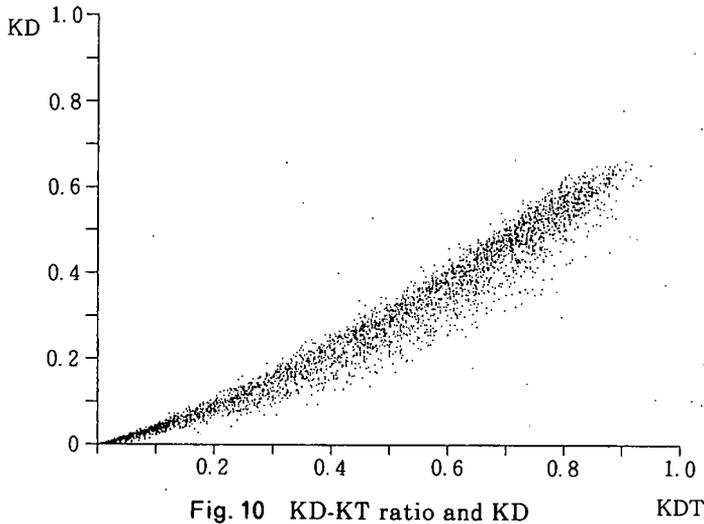


Fig. 10 KD-KT ratio and KD

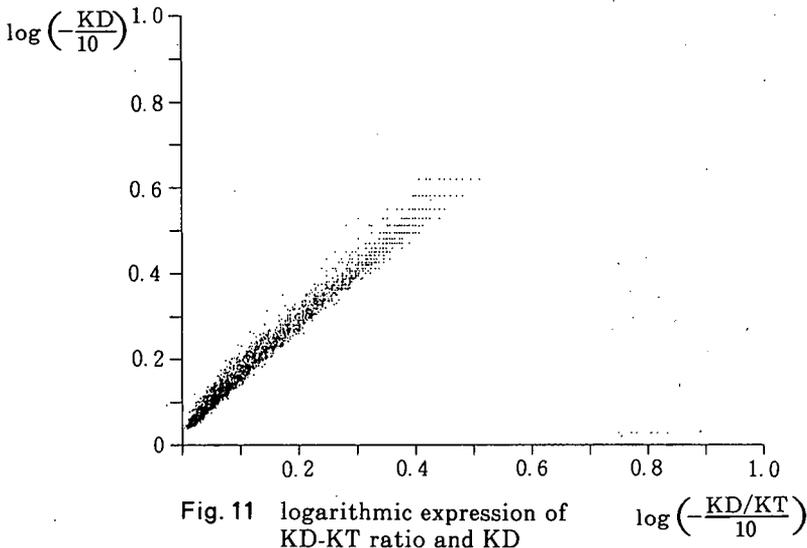


Fig. 11 logarithmic expression of KD-KT ratio and KD

データBによる  $S = 0.08037$  ( $N = 6007$ )

この場合、KDの値を仮定して(16)式からKDTを求め、それと元の仮定したKDをKT(実測)で割ったものとの差が最も小さいものを $\widehat{KD}$ (推定値)とし、(6)式でSを求めた。(15)の場合はKDTを仮定して $\widehat{KD}$ を求め、当初仮定したKDTにKTを掛けたものとの誤差を最小とするKDTを $\widehat{KDT}$ として $\widehat{KD} = \widehat{KDT} \times KT$ としている。

### (2) 対数表示

$\log \cdot KDT$  と  $\log \cdot KD$  を Fig. 11 に示す。ほぼ直線とみて、

$$\left. \begin{aligned} \log \cdot KD &= A + B \log \cdot KDT \\ \therefore KD &= \exp[A] \cdot KDT^B \\ \text{係数: } A &= a_0 + a_1 \sin h + a_2 \sin^2 h \\ a_0 &= -0.681, a_1 = 1.174, a_2 = -0.768 \\ B &= 1.402 \end{aligned} \right\} (17)$$

館野のデータBによる検証:  $S = 0.07056$

### (3) KT との関係

KDT と KT との関係 を Fig. 12 に示す。やはりべき乗形が合いそうである。

$$\left. \begin{aligned} KT &= A + B (KDT)^P \\ \text{係数: } P &= 0.4 \text{ (固定)} \\ A &= 0.136 + 0.017 \sin h \\ B &= 0.397 + 0.473 \sin h - 0.256 \sin^2 h \end{aligned} \right\} (18)$$

館野のデータBによる検証では  $S = 0.07025$ 。

この時のKDの求め方は、KDの仮定値を0.01刻みで設定し、それらの中で(18)式により求めた $\widehat{KT}$ が実測KTと最も近いものを $\widehat{KD}$ とし、KD実測値と $\widehat{KD}$ との残差平方和をN(データ数)で割って平方根をとった。

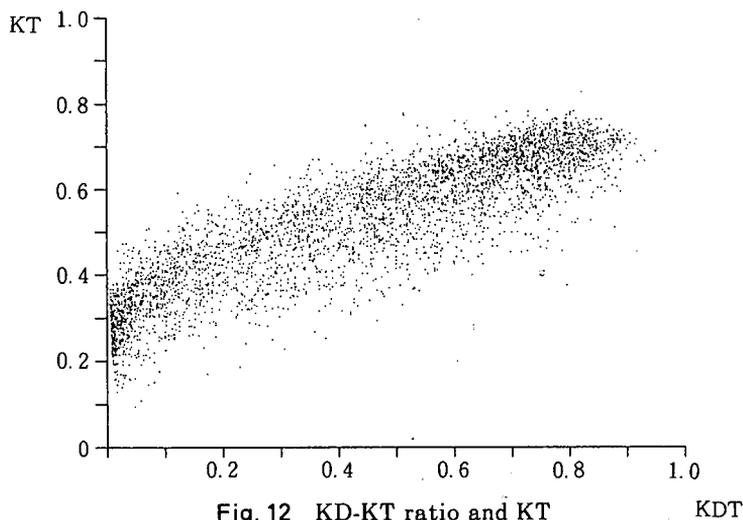


Fig. 12 KD-KT ratio and KT

式としてはKTを独立変数にとる方がKDは求めやすい。上式をKDTについて解いて

$$KDT = B_0 + B_1 \left( \frac{KT-A}{B} \right)^{P'} \quad (19)$$

の形に導くと、形が複雑で係数が決定しにくい。ここでA, Bは(18式のそれらと同一とする。そこで sin h を 0.1~1.0 まで 0.1 刻みに級分けし、各級別の P, B<sub>0</sub>, B<sub>1</sub> を求めて sin h との関係を図示すると Fig. 13. 1, 13. 2 のようになる。

これから P, B<sub>0</sub>, B<sub>1</sub> を sin h の直交多項式で表わすと

$$\left. \begin{aligned} \text{係数:} \\ P' &= 0.7839 + 2.2713 \sin h - 1.08 \sin^2 h \\ B_0 &= 0.0036 - 0.1607 \sin h + 0.3116 \sin^2 h - 0.1622 \sin^3 h \\ B_1 &= 0.1861 + 2.8526 \sin h - 3.8076 \sin^2 h + 1.6323 \sin^3 h \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

このとき、データBに対し、S = 0.04943。

### (3) KDS との関係

Fig. 13. 1, 13. 2に鑑み、次式を作成した。

$$\left. \begin{aligned} KDS &= \exp [a + b \cdot \sin h] KDT^c \\ \text{係数: } a &= -0.37, b = 0.327, c = 1.106 \end{aligned} \right\} \quad (21. 1)$$

データBによる(6)式の S = 0.05549 (N = 6007)

次に、次式を検討してみた。

$$\left. \begin{aligned} KDT &= \exp [A + B \sin h] \cdot KDS^c \\ \text{係数: } a &= 0.26, b = -0.256, c = 0.831 \end{aligned} \right\} \quad (21. 2)$$

データBの S = 0.05177。

### 3. KDS の利用可能性

(8), (10)式で渡辺・浦野・林がKDSの有用性を主張している。ここでは(8), (10)式以外の式形ということで次式を検討した。

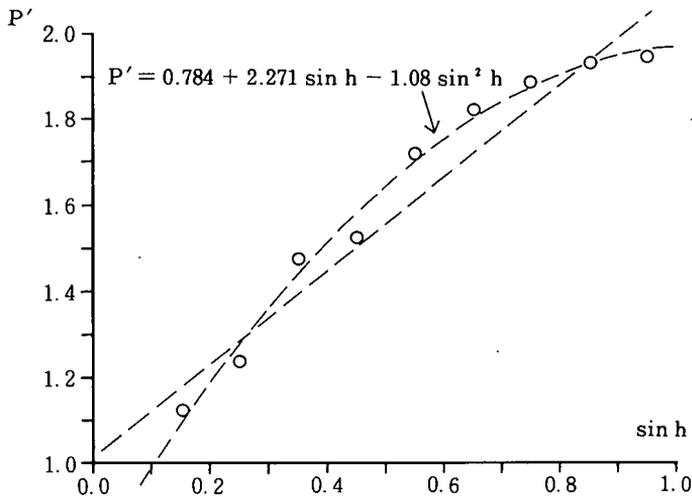


Fig. 13. 1 Sin h and P' value (Eq. (20))

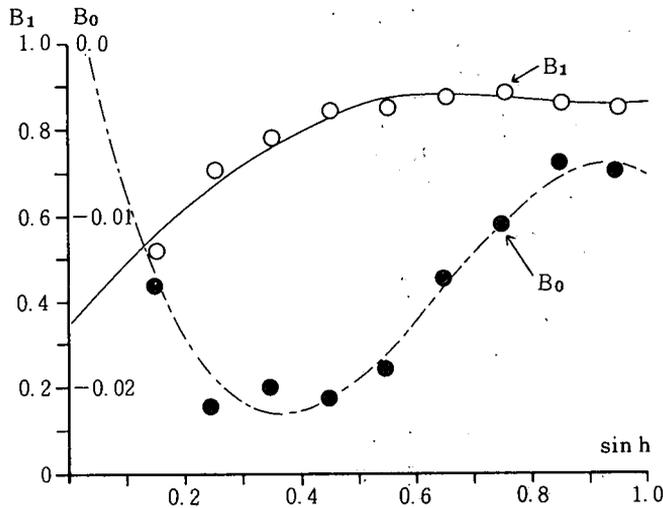


Fig. 13.2  $\sinh$  and  $B_0, B_1$  (Eq. (20))

$$\left. \begin{aligned}
 & KD = KDS + (a_0 + a_1 \sinh) KDS^b \cdot (1 - KDS)^c \\
 & \text{係数:} \\
 & a_0 = -0.384, a_1 = -0.246, b = 1.144, c = 1.059
 \end{aligned} \right\} (22)$$

このとき、データBによる  $S = 0.05012$

4. 2式以上の併合利用の可能性

— KDS を中心として

KDS と KD との関係は、Fig. 3 にある通りで、ほぼ  $KDS = 0.45$  付近を境界として、 $KDS \geq 0.45$ ,  $KDS < 0.45$  の各々の領域で直線近似できる。

$KDS \geq 0.45$  のとき

$$KD = (a_0 + a_1 \sinh) + (b_0 + b_1 \sinh) KDS$$

$KDS < 0.45$  のとき

$$KD = (b_0 + b_1 \sinh) \cdot KDS$$

係数:  $KDS \geq 0.45$  のとき

$$a_0 = -0.115, a_1 = -0.09, b_0 = 1.0, b_1 = 0.15$$

$KDS < 0.45$  のとき

$$\sinh \geq 0.55 : b_0 = 0.739, b_1 = -0.0525$$

$$0.25 \leq \sinh < 0.55 : b_0 = 0.818, b_1 = -0.197$$

$$\sinh < 0.25 : b_0 = 0.7215, b_1 = 0.19$$

(23)

これだけのデータAによる  $S = 0.05442$  で悪くはない。これと渡辺・浦野・林の式(10), (11)を併用すると  $S = 0.04975$  となった。まずKTがKTCより大かどうかで(10), (11)の2つの式のどちらかに導かれ、 $\widehat{KDS}$ が計算される。このKDSが0.45より大かどうかで(23)式の2本の式のどちらかとなり、 $\widehat{KDS}$ から $\widehat{KD}$ が求められる。

(23)式のかわりに(22)式を用いると、(10), (11)式の $\widehat{KDS}$ を(22)式に適用して $\widehat{KD}$ が計算され、 $S = 0.04971$  となった。

IV. 結 論

時間積算量の水平面全天日射量を、直散分離する基本的手法は、宇田川・木村の方法と渡辺・浦野・林の方法によってほぼ尽されるであろう。単純な回帰式で(7.3)・(7.4), (9), (11)式の $S = 0.052932, 0.05108, 0.05136$ に匹敵したのは(22)式の $0.05012$ くらいであった。これとて渡辺・浦野・林式の2変数を入れかえただけにすぎないが。式としては(9), (20)式は $S = 0.04943$ を生じており良好な結果と見られるが(19)(20)式に含まれるA, Bはもともと(18)式で定めたものであるので、2本の式を使っているとも見られる。2本の式の複合ならば、(10)・(11), (22)の併合によって $S = 0.04971$ とほぼ同等の成果が出ている。ただ、(20)式は、係数決定を $\sin h$ の区間分割による直交多項式により定めており、計算に要する時間は(18)式に要する時間とほとんど変わらない簡便さがある。

ここでは、まだ未定のKDを独立変数に含む形の式形を多く扱った。渡辺・浦野・林は文献3)の中で(8)式からKDを導くのにPを介在させた上手な方法を使っている。筆者等は、それと同じ式形の(9)式を検証するのに同じ方法を用いたが、その他の式では、KDを仮定して(KDH), 条件式をあてはめてその従属変数から $\widehat{KD}$ を導いて、当初の仮定したKDHとの差の割合 $(\widehat{KD} - KDH) / KDH$ を最小にするKDHを求める $\widehat{KD}$ であるとして解いた。同じ方法で渡辺・浦野・林の式(9)も解いてみたが、 $S = 0.05023$ と筆者らの推定値計算方法の方が良かった。たった1例で軽々しく判断

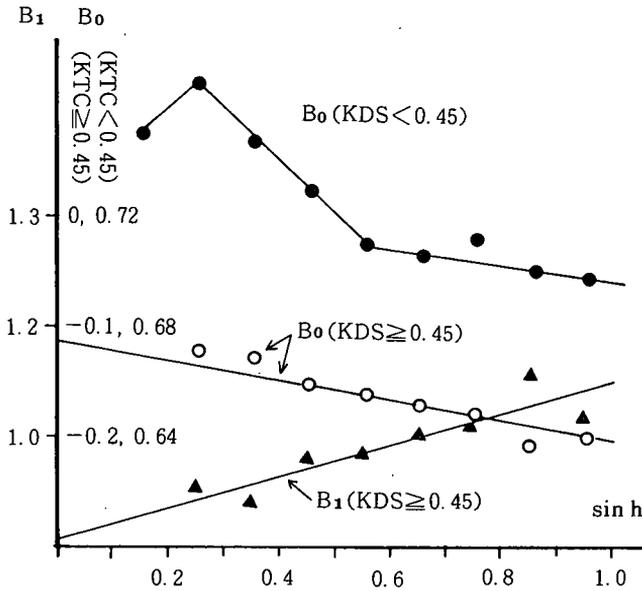


Fig. 14  $\sin h$  and  $B_0, B_1$  (Eq (23))

はできないが、このように、式中にKDを独立変数として含む場合の解き方というのも、推定誤差の計算に影響はあるであろう。筆者等は対数変換して線形関係を探るという手法を多用し、あるものはうまく行ったが、大したことのない結果も多かった。散布図のバラつきも、良い推定式が得られるかどうかの判断の目安となるし、また、ある非線形式を変形して独立変数を従属変数に入れかえること、べき乗係数など大きく変わってしまうことがあった。 $X^{0.4}$ をXについて解いた形の式で最適化計算をしたところ、べき乗指数は $1/0.4 = 2.5$ 近辺ではなくて1.5乗くらいになってしまうこ

とがあったのである。うかつに式の変形をすると係数の意味も変わってしまうので注意が必要である。

検定用データBの  $KT = 0$ ,  $KS = 0$  となるデータ 11 個はとり除いて計算した。

### 参 考 文 献

- 1) 日本気象協会：気象観測のための常用表Ⅲ, (1971)
- 2) 宇田川光弘・木村建一：水平面全天日射量観測値よりの直達日射量の推定, 建築学会論集 267, 83—89 (1978)
- 3) 渡辺俊行・浦野良美・林徹夫：水平面全天日射量の直散分離と傾斜面日射量の推定, 建築学会論集330, 96—108 (1983)

(昭和62年9月30日受理)

(昭和62年12月28日発行)