単棟温室内の直達日射量を求めるための 電算機プログラム

古 在 豊 樹
(大阪府立大学農学部)

A Computer Program for the Calculation of the Direct Solar
Irradiation in Single-Span Greenhouses

Toyoki KOZAI

(College of Agriculture, University of Osaka Prefecture)
Sakai, Osaka, Japan. 〒591

1. は じ め に

最近、温室内への透過日射量を、電算機の多量・高速情報処理機能を利用して算定することが活発に行なわれ、その成果の一部は、温室設計の実務に役立ち始めているようである。

著者は温室内日射量を求めるための電算機プログラムの開発を行なってきたが、このたび、一応そのプログラムの一部を、誰もが容易に利用出来る形にまとめることが出来たので、それを提案の形で報告することにした。

このプログラムの開発の第一の目的は、電算機に関する初歩的な知識がある人ならば誰でも、任意の構造、形態、および建設方位の温室の、温室内への透過日射量を容易に求めることが出来るようにし、そこから得られる結果を、温室の構造設計あるいは温室群のレイアウトの決定に役立てることにある。同時に、このプログラムは、暖・冷房負荷の算定、あるいは、温室内温熱環境の解析の際には必須となる時刻別の温室内透過日射量を求めるためにも利用することが出来る。

諸外国においても、温室内日射量の計算法およびその計算例については多くの報告があるが、その電算機プログラムの公開利用はその例がほとんど見当たらない。ところが、温室内日射量を求めるための計算手順はきわめて複雑であり、また、そのプログラミング技術もかなり高度なものが要求される。したがって、計算法の概要が理解できたとしても、その電算機プログラムは簡単に作れ

るものではない。実際、今回提案するプログラムは FORTRAN 言語で 1,000 ステートメントを越えるものである。これだけのプログラムの作成には、それに専念したとしてもかなりの時間を必要とするであろう。

そこで、本報告では、飽くまで提案の形ではあるが、温室内の日射量そのものを研究目的とする訳ではないが、或る特定の温室内の日射量を計算によって推定してみたいと希望する人達のために、当プログラムの使用法およびプログラム内容を公開し、煩雑なプログラミング作業から利用者を解放することを目指した。したがって、利用者は計算法の概要を理解した上で、以下に述べる使用法に従って何枚かのデータカードを用意すれば、任意の温室内の日射量が求められることになる。

2. プログラムの概要

本プログラムは単棟温室の床面における平均直達日射量とその分布、および直達日射による構造物の床面への影の割合を任意の月日について、与えられた時間間隔毎に出力するものである。

このプログラムは次のことを仮定して作成された：(1) 直達日射は完全な平行光線とする、(2) 温室内における日射の内部反射は無視する、(3) 被覆材は非拡散性（すりガラスや梨地フィルムのような透過時に光を拡散させる性質を持たない）とする、(4) 温室は孤立的に、水平面上に建てられ、温室自身に影を投げかけるような建造物あるいは障害物は付近に存在しない。

プログラムからの主な出力は、(1) 各時刻における、温室全床面が受ける平均直達日射量の屋外のそれに対する割合（温室内平均相対直達日射量）、(2) 各時刻にお

本稿は、日本農業気象学会施設園芸研究集会（代表、三原義秋）、光部会（幹事 内藤文男）の一作業課題として取りまとめたものである。

図1 入力データ例(表1)に対応する温室の形態

図2 フレーム構造の指定法(本文参照)

ード)を1枚入れる(表1aの下から5行目参照)。

4. 構造材(フレーム)の厚さの指定(単位;メートル); **FORMAT(F10.0)**。図1aはフレームのまったくなく、総ガラス張りの仮想的な温室をあらわしているの、表1aの構造材の厚さを示す数値はゼロとしてある。

5. 温室の建設方位(度)およびその土地の緯度(度)の指定; **FORMAT(2F10.0)**。建設方位(温室の棟の方位)が東西、南北および南東-北西ならば、それぞれに対応する数値は、0°, 90°, 45°となる。緯度は、たとえば、東京ならば35.7°, 札幌ならば43.1°である(表1aでは南北棟で、札幌を指定している)。

6. 計算を行ないたい月および日の指定; **FORMAT(2I5)**。このカードを複数枚続けて並べておけば、それぞれの月日について計算が続行される。最後のカードをブランクカード(あるいはEOFカード)にしておけば、そのカードが読まれた時点で計算を停止する(表1aでは3月21日、6月21日と12月31日について計算を行なう)。

3.2 一般法

1. ガラスの総枚数 N の指定。簡便法と同様。
2. 各ガラス板の端点座標の指定。簡便法と同様。
3. a) 各ガラス板端点の x , y および z 座標に関する縮率 **SCALEX**, **SCALEY** および **SCALEZ** の指定。

$$X1(I) = \text{SCALEX} * X1(I)$$

$$X2(I) = \text{SCALEX} * X2(I)$$

...

.....

$$Y4(I) = \text{SCALEY} * Y4(I)$$

...

.....

$$Z4(I) = \text{SCALEY} * Z4(I)$$

において、右辺の $X1(I)$, $X2(I)$ 等は上記の入力手順2においてデータカードから読み込んだ数値であり、左辺の $X1(I)$, $X2(I)$ 等は以後の計算に実際に使われるガラス板端点の座標である。すなわち、これらの縮率に関する係数は、一度作成したデータカードを各座標軸に関する縮率(または拡大率)だけを変えて再計算させるためのものである。これらの数値は、特に指定しなければ(当該カラムをブランクにしておいた場合), $\text{SCALEX} = \text{SCALEY} = \text{SCALEZ} = 1.0$ とみなされる。

b) 各時刻および一日間の床面における直達日射量分布を求めるための x 軸および y 軸方向の床面格子間隔の倍率 IX および IY の指定。 $IX = IY = 1$ のとき、日射量分布は x 軸, y 軸方向共に1メートル間隔に求められる。一般に, $IX = M$, $IY = L$ とすれば、床面上の日射量は, x 軸(奥行)方向には $1/M$ メートル間隔に, y 軸(間口)方向には $1/L$ メートル間隔に計算される。したがって、温室の奥行および間口を、それぞれ、 $LXEND$, $LYEND$ としたとき、床面上の透過率は、 $IXEND = LXEND * IX$, $IYEND = LYEND * IY$ とすれば、 $IXEND * IYEND$ 個の点について計算されることになる。ただし、 $IXEND \leq 40$, $IYEND \leq 40$ でなければならない。なお、 $IX = IY = 0$ を指定した場合は、プログラム上で $IX = IY = 1$ に修正される。

c) 時刻別直達日射量分布の出力間隔 IZ の指定。日射量分布の計算は10分間隔に行なわれるが、プリンタ用紙への結果の出力は $IZ * 10$ 分間隔で行なわれる。特に指定がなければ $IZ = 3$ (30分間隔)とされる。

d) 構造に関する指定 **IFRAME**。

i) 図2はガラス板をフレーム構造とともに図示したものであり、同図の斜線部分がガラス板を表わしている。図2において、フレームの厚さがすべて同じ($x_1 = x_4 = y_1 = y_4$)で、かつ、 $x_2 = x_3 = y_2 = y_3 = 0$ の場合は **IFRAME** = 0 とする(実際のフレームの厚さは次のステップで指定する)。特に指定しなければ **IFRAME** = 0 となる。ただし、 x_2 , x_3 , y_2 および y_3 はガラス面上の不透明部分、

たとえば、ガラスを固定するためのパテ等の固定材料の幅を指定するものである。また、同図において、 P_1, P_2 の x 座標を $X1, X2$ とし、 P_2, P_3 の y 座標を $Y2, Y3$ としたとき、 $X1 > X2$ 、および $Y2 < Y3$ とする。

ii) 図2において、 $x_2 = x_3 = y_3 = y_4 = 0$ で、かつ、 $x_1 = x_4$ 、 $y_1 = y_4$ であるが、 $x_1 \neq y_1$ である場合は $IFRAME=1$ とする(実際のフレームの厚さは次のステップで指定する)。

iii) 図2において、($x_i, y_i, i=1 \sim 4$)を個別に指定する場合は $IFRAME \geq 2$ とする。ただし、 $IFRAME$ の値は、異なる($x_i, y_i, i=1 \sim 4$)の組が何組あるかを示す数字である。以上の入力データは以下の入力命令によって読み込まれる:
`READ(5,2010) SCALEX, SCALEY, SCALEZ, IX, IY, IZ, IFRAME 2010 FORMAT(3F10.0,4I5)。`

e) フレームの厚さFRAMEの指定(単位:メートル)。上記の手順3.dにおいてi)に相当する場合($IFRAME=0$)は、その厚さを`FORMAT(F10.0)`で入力する。ii)の場合($IFRAME=1$)は、厚さ $x_1 (=x_4)$ 、 $y_1 (=y_4)$ を`FORMAT(2F10.0)`で入力する。iii)の場合($IFRAME \geq 2$)は、以下のデータカード($x_1, x_2, x_3, x_4, y_1, y_2, y_3, y_4$)をこの順にパンチする;
`FORMAT(8F5.0)`。これらのデータカードは $IFRAME$ 枚だけ続く(表1bの中の下から9~11行目がこれに相当)。更に、この場合は、上で指定した構造材に関するデータがいずれのガラス板の四周の構造材に関するものであるかを、以下に続くデータカードによって次のように指定する。ただし、三角形ガラスに関しては、これらの指定はできない。`FORMAT(80I1)`。

たとえば、手順2で1番目に入力したガラスの座標データの構造材が、順序3のeで指定した3番目のフレーム構造を、また、同様に、2,3,4および5番目のガラスが、それぞれ、順序3のeの1,5,4および3番目のフレーム構造を有するならば、このデータカードは、31543……となる(表1bの入力例における下から6~8行目がそれに相当する)。ただし、 $IFRAME \leq 9$ でなければいけない。

4. 温室の建設方位およびその土地の緯度の指定。簡

図3 グラフ出力の一例(本文参照)

便法と同様。

5. 計算を行ないたい月および日の指定。簡便法と同様。

表1bは図1bに示した構造を有する温室に対する入力データの一部である。

4. 出力データの形式

出力データの形式は、入力データ形式が簡便法であったか一般法であったかにかかわらず、同一形式をとる。表2には表1aの入力データに対する出力データが示されているので、それにもとづいて出力データの読み方を順を追って述べる。以下の各説明文中に出てくる、大文字で書かれた英単語はラインプリンタ用紙上に書かれる各数値の「見出し語」あるいは、FORTRAN文である。

1. 各ガラス板の端点座標 $X1 \sim Z4$ 、ガラスの傾斜方位 $ALPHA$ (単位;度)、ガラスの傾斜角 $THETA$ (単位;度)およびフレーム構造の分類 IN の印刷。 $THETA$ はガラス板の端点座標から電算機内部で計算されたものである。

2. ガラスの総枚数、 IX, IY, IZ および $IFRAME$ の印刷(3.2.3.参照)。

3. 温室の長さ(単位;メートル)、 $SCALEX, SCALEY, SCALEZ$ の印刷(3.2.3.参照)。

4. フレーム構造の指定 $FRAME(x_1, x_2, x_3, x_4, y_1, y_2, y_3, y_4)$ の印刷(図2参照)。

5. 計算の対象となる月 $MONTH$ 、日 DAY 、緯度

表 2

NUMBER	X1	X2	X3	X4	Y1	Y2	Y3	Y4	Z1	Z2	Z3	Z4	ALPHA	THETA	IN
1	0.00	20.00	20.00	0.00	8.00	8.00	8.00	8.00	0.00	0.00	2.00	2.00	0.0	90.0	1
2	0.00	20.00	20.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.00	2.00	180.0	90.0	1
3	20.00	20.00	20.00	20.00	0.00	0.00	8.00	8.00	0.00	2.00	2.00	0.00	90.0	90.0	1
4	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.00	8.00	2.00	0.00	0.00	2.00	-90.0	90.0	1
5	0.00	20.00	20.00	0.00	0.00	4.00	4.00	8.00	8.00	4.50	4.50	2.00	0.0	32.0	1
6	0.00	20.00	20.00	0.00	0.00	0.00	4.00	4.00	2.00	2.00	4.50	4.50	180.0	32.0	1
7	0.00	0.00	0.00	99.99	0.00	8.00	4.00	0.00	2.00	2.00	4.50	0.00	-90.0	90.0	1
8	20.00	20.00	20.00	99.99	0.00	8.00	4.00	0.00	2.00	2.00	4.50	0.00	90.0	90.0	1

NUMBER OF GLASS SHEETS = 8 IX = 1 IY = 3 IZ = 8 IFRAME = 0
 XEND=20.00 YEND= 8.00 SCALEX= 1.00 SCALEY= 1.00 SCALEZ= 1.00
 THICKNESS OF FRAMES
 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000 0.000
 MONTH= 3 DAY= 23 LATITUDE= 43.05 SOLAR CONSTANT = 1164.0 KCAL/M*2/HOUR
 (RADIUS VECTOR OF THE EARTH)**2 = 0.9932 TRANS. COEFF. OF ATMOSPHERE = 0.64
 KK= 65 GREENHOUSE ORIENTATION = 90.00

K= 1 ALTITUDE= 10.01 AZIMUTH= -90.31 FJHS= 50.0 FJH= 15.6 TOTAL= 65.6
 TIME= 6.67 AVE= 13.2 RATIO= 0.846 SHADED AREA= 0.0002 SS= 0.806

K= 2 ALTITUDE= 12.51 AZIMUTH= -90.27 FJHS= 58.9 FJH= 32.3 TOTAL= 91.2
 TIME= 6.83 AVE= 23.7 RATIO= 0.734 SHADED AREA= 0.0205 SS= 0.753

LATITUDEの印刷。

6. 計算に使用した定数：太陽定数 ($\text{kcal m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)，地球の動径の2乗，KK，大気の日射透過率，建設方位 ORIENTATIONの印刷。ただし，KKは1日間における温室の透過率の計算回数，計算は10分間隔に行なわれるから，この計算は午前 $(12 - \text{KK} / 12)$ 時から午後 $\text{KK} / 12$ 時まで行なうことになる。

以上は入力データの再生印刷，または計算に必要な定数の設定値の印刷であるが，以下には各時刻毎の各種計算値が印刷される。

7. 通し番号 ($K=1, \text{KK}$) K ，太陽高度(度)，太陽方位(度)，天空日射量 ($\text{kcal m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)，直達日射量 ($\text{kcal m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)，全天日射量 ($\text{kcal m}^{-2} \text{hr}^{-1}$)，時刻 (hour)，床面平均直達日射量 (AVE)，床面平均相対直達日射量 (RATIO) (屋外水平面との比)，床面日影面積率 SS の印刷。 SS は床面上格子交点の平均直達相対日射量，すなわち，床面上の点 (I, J) の直達日射量を $\text{DIR}(I, J)$ ， $I=1 \sim \text{IXEND}$ ， $J=1 \sim \text{IYEND}$ とするとき SS は次式によって表わされる：

$$SS = \frac{\sum \sum \text{DIR}(I, J)}{\text{FLOAT}(\text{IXEND} * \text{IYEND}) / \text{FJH}(K)}$$

ここで， $\text{FJH}(K)$ はそのときの屋外水平面直達日射量である。他方，上記の RATIO の値は格子交点における日射量の平均ではなく，各ガラス板の床面への投影面積の計算によって求めた平均相対日射量である。温室に構造材がない総ガラス張りの温室においては，RATIO = SS となる。

8. 上記 K ，RATIO， SS 等の印刷が IZ 回続いた後， $\text{DIR}(I, J)$ の印刷が行なわれる。その書式は：

WRITE (6,1030)(($\text{DIR}(I, J)$), $I=1, \text{IXEND}$),

$J=1, \text{IYEND}$) 1030 FORMAT (1H□, 19F6.0) である。すなわち，行方向に x 軸が，列方向に y 軸がとられる。

上記のステップ7および8は $K=\text{KK}$ となるまで続けられる。表2に示されているのはこのステップまでである。ただし， $\text{DIR}(I, J)$ は示されていない。

9. 屋外水平面の1日間の積算直達日射量 (SFJH)，温室内床面の1日間の平均積算直達日射量 (HINT) および床面相対積算日射量 ($= \text{HINT} / \text{SFJH}$) の印刷。

10. 床面における積算直達日射量分布の印刷。書式はステップ8の $\text{DIR}(I, J)$ と同様。

11. 床面における相対積算直達日射量 $\text{SDIR}(I, J)$ (屋外のそれとの比) の印刷。書式はステップ8の $\text{DIR}(I, J)$ と同様。

12. 通し番号 K ，床面日影面積率 $R\text{SHADE}$ ，相対直達日射量 RATIO の各数値を $K=1 \sim \text{KK}$ について印刷の後，それらをグラフ表示する。グラフ中の *印は $R\text{SHADE}$ を，また，+印は RATIO を表わしている。

13. $\text{SDIR}(I, J)$ を相対積算日射量， $I=1 \sim \text{IXEND}$ ， $J=1 \sim \text{IYEND}$ としたとき，それらに関する以下のようないくつかの平均値を，この順序で印刷あるいはグラフ表示 (図3参照) する。

i) 総平均 AVE

$$\text{AVE} = \frac{\sum \sum \text{SDIR}(I, J)}{\text{FLOAT}(\text{IXEND} * \text{IYEND})},$$

ii) 間口方向の平均 PLOT1

$$\text{PLOT1}(J) = \frac{\sum \text{SDIR}(I, J)}{\text{FLOAT}(\text{IXEND})}, (J=1, \text{IYEND}),$$

iii) 棟方向の平均 PLOT2

$$\text{PLOT2}(I) = \frac{\sum \text{SDIR}(I, J)}{\text{FLOAT}(\text{IYEND})},$$

END), (I=1, IXEND)。

5. 計算に用いた各種の定数

数値計算を進める際に、いくつかの定数の値を設定する必要が生じる。それら定数値は一般的な値を設定するように注意したが、それらの主なものを以下に示す。

各人の利用に際してそれら定数値を等に変更したい場合は、本プログラムの当該箇所の変更が必要となる。

1. 大気の日射透過率ATMOSは月毎に変化させたが、1日を通じて不変とした。1月～12月のATMOSは、それぞれ、0.69, 0.69, 0.64, 0.61, 0.59, 0.62, 0.59, 0.61, 0.64, 0.64, 0.70, 0.69である。

2. 太陽定数は $1164 \text{ kcal m}^{-2} \text{ hr}^{-1}$ とした。

3. ガラスの入射角別日射透過率はフレネルの式を利用して計算した。計算法は、たとえば、古在(1973)に掲げられている。ただし、ガラスの厚さは0.32 cm, 屈折率は1.526, 吸収係数は0.177とした。このとき、入射角 0° , 70° , 80° 等における透過率は0.86, 0.65, 0.40等となる。

6. あ と が き

今回、資料として報告された電算機プログラムは、温

室内直達日射量が、温室の形態・構造、建設方位、その土地の緯度、季節等によって、どのように影響されるかを容易に算定し得る機能を有したものである。ただし、このプログラムはまだ必ずしも完全なものとはいえないので、学会員諸氏その他に出来る限りこのプログラムを利用していただき、また、実測との比較・検討をも加えつつ、改良すべき点は改良していきたい。

なお、この電算機プログラムは、単棟温室内の直達日射量を求めるためだけのものであるが、その範囲内でのプログラムの汎用性は十分に計ったつもりである。以後、引き続き、連棟温室内の直達日射量および温室内天空日射量等を求めるためのプログラムをも提案していく予定である。

プログラム全体のリストは紙数の関係でここには掲載出来ないが、それ、あるいはカードデッキを希望の方には、御一報いただければお送りいたします。

引 用 文 献

- 1) 古在豊樹, 1973: 温室の光透過に関する数値実験(1), 農業気象, **29**, 179-187.
- 2) ———, 1974: 温室の光透過に関する数値実験(2), *Ibid.*, **29**, 239-248.