資　料

# 日射位・日照時間の推定プログラム

荒木眞之・内田煌二

Personal computer program for
estimation of potential solar radiation
and duration of sunshine

Masayuki ARAKI
and
Kohji UCHIDA

## 目　　次

Ⅰ．はじめに……141
Ⅱ．プログラムの構成・推定式……142
Ⅲ．考察……150
Ⅳ．まとめ……151
引用文献……151
計算結果の例・リスト……152

## Ⅰ．は　じ　め　に

現在，著者らによって森林の経営や管理の基礎を充実させるため，山地小地域における環境の評価及び解析を詳細かつ容易に行うパーソナルコンピューター用プログラムの開発が計画されている。計画中のプログラムは，あらかじめディスクに入力しておいた小区画ごとの標高や方位など1次情報の検索を行うと共に，組込まれている各種の推定式に1次情報を代入することによって，各種立地要因など2次情報を推定し提供するものである。

本プログラムは上記プログラムの基本的な1部分を構成し，任意の日・場所・地形における日射位と斜面日射量とを推定するものである。日射位とは，大気による減衰が無いと仮定した場合に斜面が受ける直射光の強度である。換言すれば，直達日射量に僅かに含まれる散乱光を無視し大気による光の減衰も無いと仮定した場合における，直達日射量の斜面成分に等しい。したがって，例えば傾斜45°の南向き斜面を照らす太陽の高度が南中時に45°となった場合，その日射位は太陽定数そのものとなる。すなわち，日射位は各々の時・所・地形ごとに斜面が受ける日射量の，これ以上の

値は理論的にもとり得ないという最大値であって，現実には出現しない値である。そのため，可能日射量などと云わず日射位と呼ばれる。日射位は日射量推定の基礎値となる他，適当な係数を乗じて日射量の近似値として使用される[6]こともあり，土壌凍結深[1]との関係なども求められている。

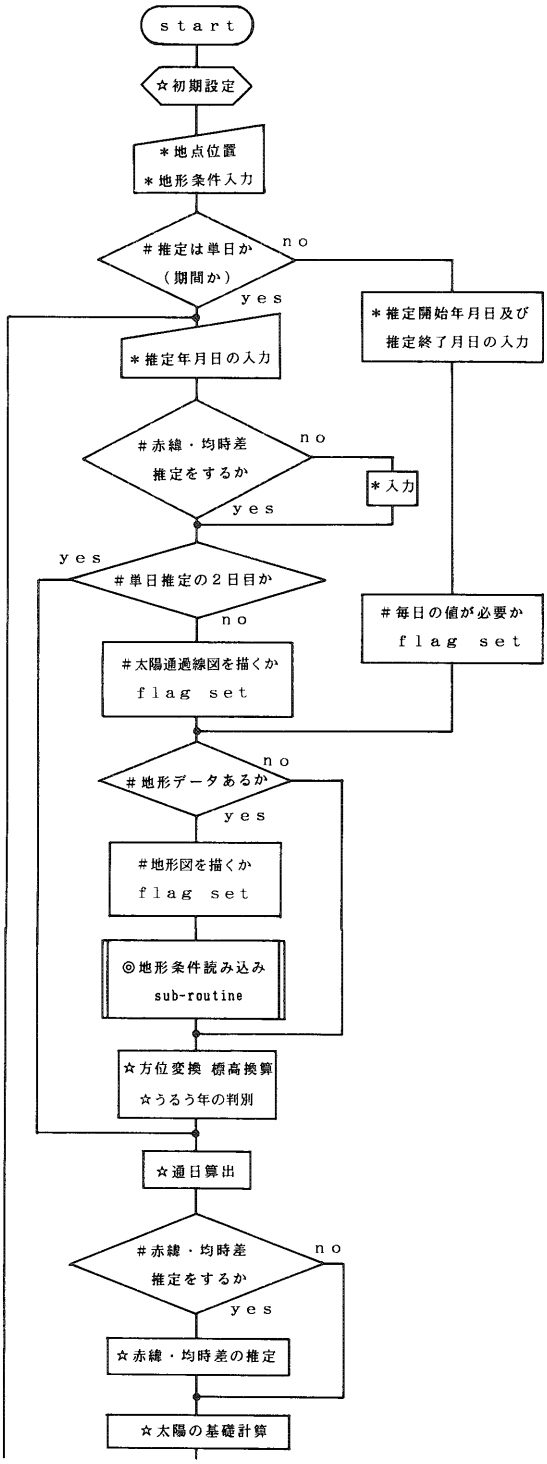
一方，ここでいう斜面日射量とは，日射量の暫定的な近似値とするため，日射位に平均的な減衰率を用いて求めた直達日射量の斜面成分である。日射位及び斜面日射量の計算にはその日の太陽赤緯の値が必要で，従来は毎日の値を入力して計算していた。本プログラムは別途開発した赤緯の略算式[2]を組込んであるため，従来の方式と比較して特に長期間の推定を行う際の計算能率が向上している。また，均時差の略算式[3]が組込んであるため日の出及び日の入り（日の出入り）時刻が中央標準時で示されること，及び太陽通過線図の作成や可照時間の算出が出来ることも，このプログラムの特徴である。

## Ⅱ．プログラムの構成・推定式

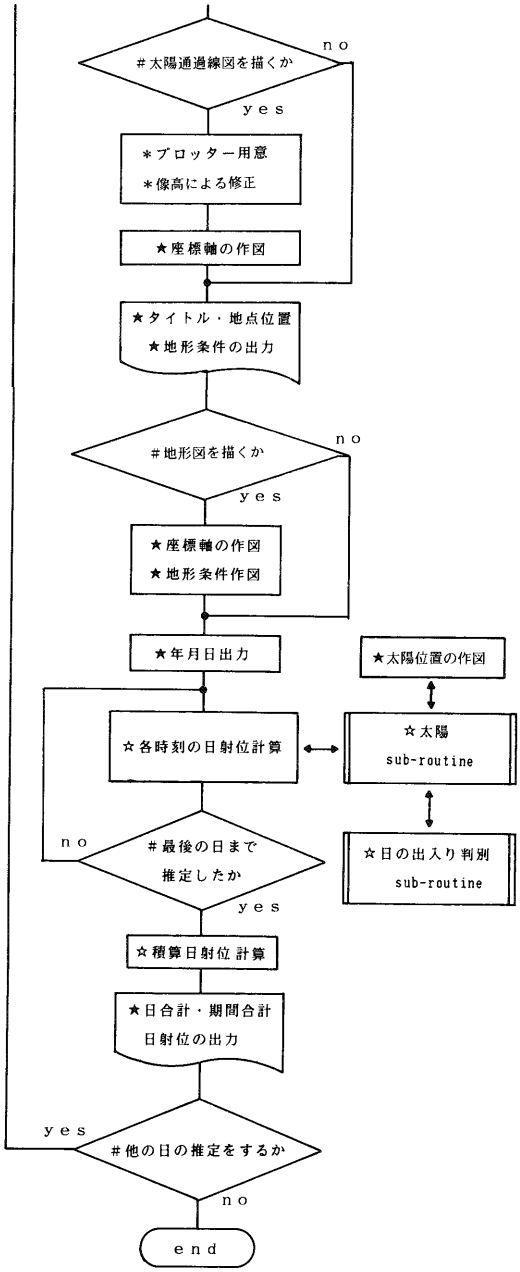
### 1．構成

本プログラムにおける推定作業の流れを図－1に示す。まず，緯度・経度など地点の位置と方位・傾斜などの地形条件を入力し，推定を特定の一日（単日）について行うか，ある連続した複数日（期間）について行うかを選択する。期間の設定は，最長の場合で年をまたがらない一年間まで可能である。単日を選択した場合は，計算対象日の年月日を入力し，赤緯と均時差値に真値を入力するか，あるいは組込みの推定式によるかを選択する。さらに太陽通過線図の作図が必要であるか否かを選択する。期間を選択した場合は，開始年月日及び終了月日を入力し，毎日の推定結果の出力が必要であるか否かを選択する。次に，単日及び期間共に地形データがあるか否かを選択し，ある場合には周囲地形図の作図が必要であるか否かを選択した後，地形データを入力する。さらに，標高を気圧表示に変換し，方位は南を基準とした半周方位角表示に変換する。その年がうるう年であるか否かも判別する。そして，赤緯と均時差を推定する場合にパラメーターとして必要となる計算対象日の通日，すなわち1月1日からの経過日数を求める。

次に，計算と結果の出力が行われる。例えば，太陽通過線図不要・地形データ無，という組合せの場合は，地点の名称・位置・地形条件などを含むタイトルと計算日の年月日がプリンターで印刷され，地方時毎の太陽の方位・高度，日射位，斜面日射量などが推定される。各地方時は，日中は毎正時及び毎30分のように30分間隔で設定されるが，日の出入り時刻を正確に推定するため，日の出入りとそれらに最も近い正時或いは30分の間は1分間隔で設定されるようになっている。単日の場合は，時刻毎の各項の計算結果と日射位及び斜面日射量の日合計値が印刷される。期間の場合は，日射位及び斜面日射量について日毎の日合計値と期間合計値が印刷される。どちらの場合も，他の日の計算を続行出来る状態に戻してプログラムの進行を休止する。但し，斜面日射量は全て日射量と印刷表示される。




図－１　推定作業のフロー（前半）




図－1　推定作業のフロー（後半）

## 2．結果の印刷様式

結果の印刷様式は，各種の計算条件に応じて８通り選択出来る。典型的な印刷様式である，単日・地形データ無，という条件を選択した場合の例を表－１に示す。このうち，Ａ部分は地点の名称・位置・地形条件などを記載する出力表のタイトル部分であって，８通りの全ての場合に共通である。$C_1$部分は年月日など計算日のデータを示す。Ｄ部分は時刻毎の計算結果で，表－１では省略したが，実際には午後の部分も午前の部分と同様に印刷される。$E_1$部分は日射位などの日合計値と標準時換算を行った日の出入り時刻を示す。一方，単日・地形データ有，という選択の場合は，

表－１　計算結果出力様式

```
                    ***** Tokyo における太陽 *****

                          ﾄｳｹｲ= 139 ﾄﾞ 44.68 ﾌﾝ ( 139.745 )
                          ﾎｸｲ= 35 ﾄﾞ 39.27 ﾌﾝ ( 35.6545 )
                          ｼｬﾒﾝ ﾎｳｲ= S 0  E ( 180 )
                          ｼｬﾒﾝ ｹｲｼｬ= 0 ﾄﾞ
                          ｹｲﾄﾞ ﾆ ﾖﾙ ｼﾞｻ = 18.9786 分
                          ﾀｲｷ ﾉ ﾄｰｶﾘﾂ = .6847
                          ﾋｮｳｺｳ = 0  m
** Tokyo  1988 年 3 月 1 日  ( 61 )   ﾀｲﾖｰ ｼｾｷｲ=-7.29072 ﾄﾞ
        ｼﾞｻ= 7.26206 分     ｷﾝｼﾞｻ=-11.7166 分

  ﾁﾎｰｼﾞ       ﾎｳｲ      ｺｳﾄﾞ       ﾆｯｼｬｲ     ﾆｯｼｬﾘｮｳ ﾎﾞｰﾉｶｹﾞ
12 :  0      0.00     47.05     0.9951     0.5931     0.93
11 : 30    -10.84     46.48     0.9857     0.5846     0.95
11 :  0    -21.21     44.79     0.9577     0.5594     1.01
10 : 30    -30.78     42.12     0.9117     0.5183     1.11
10 :  0    -39.40     38.61     0.8483     0.4623     1.25
 9 : 30    -47.06     34.43     0.7687     0.3934     1.46
 9 :  0    -53.87     29.73     0.6742     0.3141     1.75
 8 : 30    -59.96     24.63     0.5664     0.2282     2.18
 8 :  0    -65.46     19.21     0.4473     0.1414     2.87
 7 : 30    -70.51     13.56     0.3187     0.0634     4.15
 7 :  0    -75.22      7.74     0.1830     0.0110     7.36
 6 : 30    -79.71      1.79     0.0425     0.0000    32.00

  ﾁﾎｰｼﾞ       ﾎｳｲ      ｺｳﾄﾞ       ﾆｯｼｬｲ     ﾆｯｼｬﾘｮｳ ﾎﾞｰﾉｶｹﾞ
 6 : 29    -79.85      1.59     0.0377     0.0000    36.03
 6 : 28    -80.00      1.39     0.0330     0.0000    41.22
 6 : 27    -80.15      1.19     0.0282     0.0000    48.16
 6 : 26    -80.29      0.99     0.0235     0.0000    57.90
 6 : 25    -80.44      0.79     0.0187     0.0000    72.60
 6 : 24    -80.59      0.59     0.0140     0.0000    97.30
 6 : 23    -80.73      0.39     0.0092     0.0000   147.52
 6 : 22    -80.88      0.19     0.0045     0.0000   305.00

  ﾁﾎｰｼﾞ       ﾎｳｲ      ｺｳﾄﾞ       ﾆｯｼｬｲ     ﾆｯｼｬﾘｮｳ ﾎﾞｰﾉｶｹﾞ
12 :  0      0.00     47.05     0.9951     0.5931     0.93
      [illegible]   10.84     46.48     0.9857     0.5846     0.95
17 : 36      [illegible]                [illegible]  0.5594     1.01
17 : 37     80.73      0.39     0.0092     [illegible]
17 : 38     80.88      0.19     0.0045     0.0000   305.00

        ** ﾆﾁ ｺﾞｳｹｲ ﾆｯｼｬﾘｮｳ= 13.9296  MJ/m² **
        ** ｺﾞｳｹｲ ﾆｯｼｬｲ= 27.6621  MJ/m² **
        ** ﾋﾉﾃﾞ= 6 : 14     ﾋﾉｲﾘ= 17 : 32
```

表－１のＡ部分に続けて表－２に示すＢ部分が印刷され，$E_1$部分は$E_2$のようになる。また，期間・地形データ有・毎日の結果不要，という場合は表－１の$C_1$部分が表－２の$C_2$と，Ｄ部分が$E_3$と，そして$E_1$部分がＦと，それぞれ置換される。なお，太陽通過線図の作図例を図－２に示す。また，単日・時刻毎の結果要，という選択で地形データを入力しない場合は，Ｄ部分に示される午前と午後の計算結果が全く対象的になる。これに対し，例えば西南に山があるなどと地形データを入力した場合は，ある時刻から太陽が見えなくなるため日の入りとなり，日合計日射位や日照時間などがそれだけ短く計算される。

表－２　計算結果出力様式（部分）

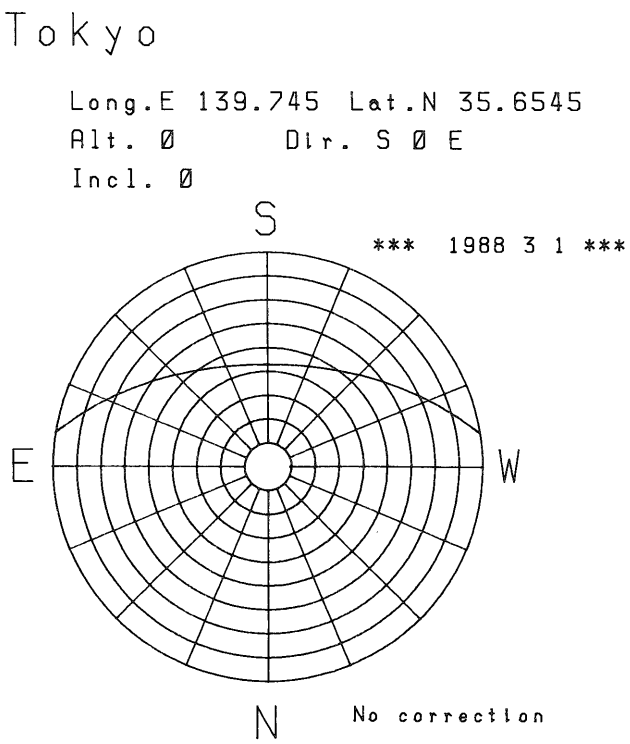
```
          ｼｭｰｲ ﾉ ﾔﾏ ﾉ ｷﾞｮｰｶｸ

        0    10    20    30    40    50    60    70    80    90
N  20.0  25.0  30.0  35.0  40.0  45.0  50.0  55.0  60.0  65.0  E
N   ---  35.0  30.0  25.0  20.0  15.0  10.0   5.0   0.0   5.0  W
S  40.0  45.0  50.0  55.0  60.0  65.0  70.0  75.0  70.0   ---  E
S   ---  45.0  40.0  35.0  30.0  25.0  20.0  15.0  10.0   ---  W

          ** ﾆﾁ ｺﾞｳｹｲ ﾆｯｼｬﾘｮｳ= 13.1528  MJ/m² **
          ** ｺﾞｳｹｲ ﾆｯｼｬｲ= 24.1489  MJ/m² **
          ** ﾋﾉﾃﾞ= 6 : 14    ﾋﾉｲﾘ= 17 : 32
          ** ﾋﾉｻｽｼﾞｶﾝ(分) = 480

                1988 ﾈﾝ 3 ｶﾞﾂ 1 ﾆﾁ ( 61 ) ｶﾗ
                        3 ｶﾞﾂ 10 ﾆﾁ ( 70 ) ﾏﾃﾞ

ﾂｰｼﾞｯ    ｼｾｷｲ      ｼﾞｻ    ﾆｯｼｬｲ  ﾆｯｼｬﾘｮｳ  ﾋﾉﾃﾞ   ﾋﾉｲﾘ   ﾋﾉｻｽｼﾞｶﾝ
  61    -7.29    7.262    576      314     6:14   17:32      480
  62    -6.92    7.448    581      318     6:12   17:34      480
  63    -6.54    7.638    585      321     6:10   17:34      480
  64    -6.17    7.834    589      325     6: 9   17:35      480
  65    -5.79    8.034    594      329     6: 8   17:36      480
  66    -5.41    8.239    598      332     6: 7   17:37      480
  67    -5.03    8.449    602      336     6: 6   17:38      480
  68    -4.65    8.663    607      340     6: 4   17:38      480
  69    -4.27    8.881    611      343     6: 3   17:39      480
  70    -3.88    9.104    615      347     6: 2   17:40      480

          ## ｷｶﾝ ｺﾞｳｹｲ ﾆｯｼｬﾘｮｳ= 3303.85  cal/cm² ##
          ## ｷｶﾝ ｺﾞｳｹｲ ﾆｯｼｬｲ= 5957.71  cal/cm² ##
```

B　E2　C2　E3　F

## ３．日射位の推定

日射量は，植物による物質生産の基本的要因であり，気温・地温[4]などの微気象環境を形成する主要因でもある。そのため，従来から任意地点における日射量を推定する各種の式[5-7]が考案されて来た。これらの推定式の相違は，主に太陽が投射する光線と地表がなす角度を表現する際の幾何学的取り扱いの差にある。また，これらの代表的な式[6]においては，大気の光透過率及び晴天・雨天といった天気配分を勘案して，太陽定数に実際よりはるかに低い値があててある。しかし，適用可能な地域範囲が明確でないため使用しずらい面がある。

最近，日射位と大気の光透過率から推定した直達光成分と散乱光成分，及び別途に推定した反射




図－2　太陽通過線図の例

光成分の各々を日照率を用いて補正し合計することによって，現地の天気配分を考慮した日射量を推定する方法[8]が提案された。この方法は，理論構成が明瞭で高精度の推定が可能である。したがって，前記プログラムにはこの方法を組込み日射量推定を行うことが望ましい。しかしながら，光透過率を観測している気象官署は極めて少数であるため，対象とする森林と観測地との距離は一般に遠い。また，光透過率の地域的変化が充分明らかになっているとは云い難い。そこで，当面は日射位を主体に推定することとした。すなわち，コンドラチェフの推定式[9]を用い太陽高度がゼロになった時刻を日の出入りとし，その間の各時刻の日射位を推定し数値積分して日合計日射位としている。

## 4．斜面日射量の推定

前述の方法[8]などによって日射量の推定を行うべきであるが，現在のところ対象とする森林地域における光透過率値が無いため，早急には実行できない。一方，日射位は前述のように確実な値であるが，日射量の近似値とするには無理がある。そこで，日射量の暫定的な近似値とするため，直達日射量の斜面成分を求め斜面日射量と名付けた。（1）式を使用して平均透過率と路程から減衰率を求め，日射位を補正したのである。したがって，この値は直射光条件下では実測値とほぼ等しくなるが，曇天・雨天条件下には過大となる。

直達日射量は，太陽高度が低い時間帯に弱い。光が大気層を斜に通過するために，路程が長くなり，大気による減衰を強く受けるからである。一方，山岳地では標高に応じて大気層の厚さが薄いため，平地と比較し太陽高度が同一であっても路程が短くなる。これらのことを考慮して（1）式[10]が作られている。

$$I=I_0\cdot q^{\mathrm{cosec}\ h\cdot p/1013} \quad \cdots(1)$$

I: 直達日射量，$I_0$：大気が無いと仮定した直達日射量，

q: 大気の光透過率，h:太陽高度，p:地点の気圧，

この式において，法線強度を斜面受光量に置換するため $I_0$の定義を上記のものから日射位に変更すると，Iも上記のものから斜面日射量へと変化する。また，一般に任意地点の気圧は求められないため，ここでは標高値から推定することとした。すなわち，測高公式に国際標準大気に使用されている地上気温及び気温減率を代入して作成した推定式を組込んである。

現在，直達日射量ならびに大気の光透過率は全国の14地点でしか観測されていない。このため，光透過率の地域的変動などは不明である。一方，任意地点の天気配分の推定法なども不明である。したがって，14地点における1961－1970年の間の観測値から得られた，各地の各月の月平均透過率を地点方向にも，月方向にも平均して求めた0.68を透過率の代表値として用いることとした。

## 5．太陽赤緯の推定

日射位・斜面日射量・太陽方位・太陽高度などを計算するには，その日の太陽赤緯が必要である。この値は理科年表に記載されているが，未来の予測的計算を行う場合はなんらかの方法によって値を想定する必要がある。一方，生長のシミュレーションなどにおいては数か年にわたって毎日の日射位などを推定する必要も生じるであろうが，毎日の赤緯値を入力することは容易ではない。そこで，本プログラムでは別途作成した太陽赤緯の略算式[2]を組込むことによって，赤緯入力の手間を省略すると共に未来の予測的計算を可能にしている。しかしながら，図－1に示すように単日推定の場合には赤緯値を入力して計算精度を高めることも可能になっている。

### 1）略算式

太陽の赤緯は1年が365.25日よりやや短いことによる経年変動を示すため，1965～1980年の間の値によって立春・春分など8節気における平均赤緯を求めた。これらの値は，春分を0°及び秋分を180°とするsinカーブに近似した経時変化を示す。そこで，1月1日からの経過日数である通日をXとし，それに地球が1年で太陽の周りを公転する速度を表わす日公転角$\alpha$を乗じて，その日の地球の公転軌道上の位置角$\alpha$.(X－80)を求めた。そして，この位置角のsinをとり，それに最大振幅を示す夏至時の太陽高度である23.4430°を乗じて式の第1近似部分とした。さらに，このままでは赤緯の位相と位置角との差が大きいのでそれを修正する項を付加して（2）式とした。

$$\delta' = 23.4430\cdot\sin\{0.9856\cdot(X-80)-3.8100\cdot\sin[0.4825\cdot(X-80)]\} \quad \cdots\cdots\cdots(2)$$

### 2）誤差

1977年に例をとり，8節気とその各中間日の計16日について理科年表に記載された値と本法によ

った略算値間の差を求めた。その結果，平均推定誤差は－5'4"，標本標準誤差は3'41"，また年表記載値と略算値間の相関係数はr＝0.99989と計算された。次に，これら略算赤緯を用いて太陽の高度・方位を計算した場合に生ずる正しい値との差は，高度において平均2'，方位においては平均1'程度であることが判った。

## 6．均時差の推定

太陽の方位・高度や日の出入り時刻などは地方時で計算される。したがって，推定値を実測値と照合するためには中央標準時と地方時の差を知る必要がある。時差は2つの部分からなる。1つの部分は周知のとおり，経度1°の増加につき南中時が4分ずつ早まることで，他の部分が均時差である。均時差は，地球の公転軌道が正円でないこと及び黄道面と天の赤道面が一致していないため，地球の自転速度に季節的変化があるが，それによって発生する時差である。

### 1）略算式

均時差には，通日の増加に対して大まかに云えば sinカーブに近似した傾向を示す経時変化がある。但し，通日の増加に伴って，sinカーブの基線が順次上昇し，さらに値の変動幅も順次拡大して行くような複合された傾向である。そこで，これらの特徴をそれぞれ定式化し相互に組合せることによって，通日ごとにことなる1連の4種の式[3]を得た。（3）式として通日が171日以降307日以前の場合に適合する式を例示する。

$$t' = -(0.000213X + 0.0857) \cdot \sin[(X - 159) \cdot 1.8570] + (0.000996X - 0.1840) \quad \cdots\cdots (3)$$

### 2）誤差

この略算式と真値との差は，1977年の各月の10，20，30日を通年選定した合計35日の場合について見ると，平均算出誤差は28.8秒で相関係数は0.9860であった。

## 7．地球と太陽間の距離

地球と太陽間の平均距離は$1.495 \times 10^8$ kmであるが，地球の公転軌道が正しい円ではないため，平均距離に対して±3%程度の季節変化がある。したがって，大気外の法線光強度にも季節変化が発生するので，本プログラムにおいてはそれをLundeの式[8]を用いて修正している。

## 8．太陽通過線図及び像高による修正

本プログラムは，プロッターを用いて図－2に例示するような太陽通過線図を作図させることが出来る。すなわち，高度角を表す同心円と方位角を表す放射状線からなる座標軸上に，各時刻の太陽の軌道を記入する。地点から周囲の山体の稜線を見た方位ごとの仰角のデータがある場合は，それを入力することによって山体の稜線が通過線図に併記される。そして，通過線と山体との関係から日照時間を読取るのである。一方，仰角を測量する代りに全天写真を用いる場合があることを考慮し，以下のように像高の式によって補正を加えながら太陽通過線図を描くことも可能になっている。すなわち，太陽通過線図を透明なフィルム上に転写し，それを日照時間を求めたい地点で撮影

して通過線図と同径に引伸した全天写真に重ね，通過線の背景が空である時間を読取り日照時間とする方法に対応するためである。

全天写真の利用は記録性・簡便性に優れているが，これと対照する太陽通過線図の作成にあたって以下の補正が必要な場合がある。例えば，理想的に製作された等距離投影方式の魚眼レンズの場合，仰角における一定角度の差は値の存在範囲が異なっても，陽画上で半径方向に一定距離だけ離れた位置差となる。しかし，実際には特に明るいレンズにおける製作上の制約から，各仰角の軌跡が理想の位置からずれて来るものもある。そこでメーカーでは，像高の式を決めている。被写体がレンズの光軸から離れている程度は，レンズの中心から見た角度で表すことが出来，フィルム上の画面中心と被写体との距離によって表すことも出来る。像高とは，この角度と距離の関係である。

## Ⅲ．考　　察

### 1．赤緯の略算が日射位推定に与える影響

このプログラムでは，前述のように組込まれた略算式によって毎日の赤緯値を推定することが出来る。したがって，年合計日射位の推定などが容易に行える。しかし，一方で正しい赤緯値でなく略算値を基礎に日射位推定を行うための誤差が発生する。この程度を確認するため，1988年について毎月1日と16日の合計24日を例に取り，正しい赤緯と略算赤緯によった日射位の2つの推定値間の差を求めた。結果の一部を表－3に示す。このようなサンプルの場合，赤緯推定における最大誤差は35.8'と前述した1977年の8節気の場合よりやや増加するものの，平均誤差は殆ど同じ－5.4'にとどまることが判った。次に，日射位の真値は正しい赤緯値を用いて計算した値とし，それと略算赤緯を用いて計算した日射位とを比較した。この場合，真値と略算値の差を，真値と略算値の平均値で除して差の程度を表現した。この値の最大値は2.2%で平均値は0.2%であったから，誤差が問題になることは実際上ないであろう。

表－3　赤緯・均時差の略算が日射位・日の出入り時刻に与える影響

| 月　日 | | 1月1日 | 2月1日 | 3月1日 | 4月1日 | 5月1日 | 6月1日 | 7月1日 | 8月1日 | 9月1日 | 10月1日 | 11月1日 | 12月1日 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 赤緯 | 推定値 | -22.6974 | -16.8095 | -7.2907 | 4.6509 | 15.0925 | 21.9942 | 23.1787 | 18.3143 | 8.4484 | -3.4212 | -14.7989 | -21.9060 | (°) |
| 〃 | 真値 | -23.0828 | -17.3808 | -7.5842 | 4.5428 | 15.0797 | 22.0569 | 23.1111 | 18.0194 | 8.2822 | -3.1858 | -14.4303 | -21.8047 | (〃) |
| 均時差 | 推定値 | -4.5665 | -12.8736 | -11.7166 | -4.3095 | 2.4418 | 3.8723 | -5.3936 | -5.9225 | 0.9419 | 10.6637 | 16.2557 | 6.6384 | (分) |
| 〃 | 真値 | -3.0400 | -13.4483 | -12.4117 | -3.9517 | 2.8967 | 2.2533 | -3.7633 | -6.3017 | -0.0450 | 10.2750 | 16.3967 | 11.0333 | (〃) |
| 日射位 | 推定値 | 17.0455 | 21.0673 | 27.6621 | 35.7480 | 42.4044 | 46.5570 | 47.3598 | 44.6956 | 38.6731 | 30.7198 | 22.7034 | 17.6679 | (MJ/m²) |
| 〃 | 真値 | 16.7898 | 20.6861 | 27.4703 | 35.6825 | 42.3974 | 46.5883 | 47.3264 | 44.5397 | 38.5745 | 30.8726 | 22.9515 | 17.7356 | (〃) |
| 日の出 | 推定値 | 6:55 | 6:45 | 6:14 | 5:31 | 4:54 | 4:29 | 4:34 | 4:52 | 5:15 | 5:39 | 6:08 | 6:41 | (－) |
| 〃 | 真値 | 6:50 | 6:42 | 6:11 | 5:28 | 4:49 | 4:27 | 4:29 | 4:49 | 5:13 | 5:36 | 6:03 | 6:32 | (〃) |

注：1988年の例

### 2．赤緯・均時差の略算などが日の出入り時刻に与える影響

本プログラムによって得られた日の出入り時刻は，以下のように正しい値と多くの面で異なって

いる。太陽の高度角を求めるのに必要な赤緯が略算値であること，地点の標高に拘らず地点から見た太陽の位置が水平となることをもって日の出入り時刻としたこと，日の出入り共に太陽の中心をもって太陽の位置としたこと，大気による光の屈折が考慮されていないこと，得られた地方時を略算均時差を用いて中央標準時に換算したことなどである。

したがって，大差があると予想されたが，表－3に併記したように最大誤差は9分で，平均誤差は4分7秒であることが判った。このうち，均時差の推定誤差は前述した1977年の例では平均28.8”であったが，この1988年の例では－13.6”と少なかった。但し，最大誤差は12月1日の例で見るように－4’24”と大きな場合もある。いずれにせよ，この程度の誤差は，林木の生産環境を明らかにするという目的からは容認される程度であろう。

## Ⅳ．ま　と　め

任意地点・任意地形における日射位及び斜面日射量を推定するプログラムを作成した。このプログラムはNEC－9800シリーズのパーソナルコンピューターを前提とし，$N_{88}$disk BASICを用いて対話式に作成されており，使用条件などは特にない。

## 引　用　文　献


1）岡上正夫・佐々木長儀：北関東におけるスギ・ヒノキの寒害について（1）．斜面の方位および傾斜角と土壌凍結深度との関係についての一観測結果．日林誌42：339－342，1960

2）荒木眞之：太陽視赤緯の略算式．日林誌63：141－143，1981

3）荒木眞之：均時差の略算式．日林誌63：165－168，1981

4）岡上正夫ら：亜高山地帯の造林技術．(1970)，183pp，創文

5）鈴木清太郎：農業物理学．(1948)，286pp，養賢堂

6）岡上正夫：斜面の受ける日射量を求める簡単な一方法．日林誌39：435－437，1957

7）武田京一：斜面の日射量について．農業気象19：59－60，1963

8）古藤田一雄：直達・散乱成分を考慮した斜面全天日射量の簡易推定法．農業気象42：249－259．1986

9）K．Ya．コンドラチェフ：斜面の放射状態．WMOテクニカルノートNo．152，1977，内嶋・桜谷・岩崎・山田訳，農林水産省農林水産技術会議事務局連絡調整課，エネルギー関連文献翻訳シリーズ4：163－225，1980

10）荒木眞之：直射光・散光の測定法及び散光の性質．森林立地22：38－41，1980

# 付　　表

```
1000 '*********************      任意地点の太陽 (V 71)      ******************
1010 '
1020 '**      日射位・直射光強度・日の出没時刻・可照時間・日照時間の推定     **
1030 '
1040 '----------------------      initial setting      -----------------------
1050 WIDTH 80,25:CLS:PRINT SPC(10);"***** 任意地点の太陽 *****"
1060 PRINT:PRINT SPC(20);"**** 初期条件設定中 ****":DIM SD(367),DV(367),DT(367)
1070 DIM SHH(20),SE(20),SH(20),IA(20),IB(20),JJ(20),JL(20),CJ(36)
1080 PF=0:KK=68.47/100:PLW=0:CJZ=0:PI=3.14159/180:WAT=.6983:JOU=.0419:PRINT
1090 PRINT " ** 地点や計算の条件を順次入れて下さい":PRINT:INPUT"     地点の名前は ";NN$
1100 PRINT:INPUT "     東経は（度と分の間に ，を置く）";LB,LC:PRINT
1110 INPUT "     北緯は（東経と同様）";LD,LE:PRINT
1120 INPUT "     斜面方位は (N,40,E のように入力）";D1$,D,D2$:PRINT
1130 IF D1$="N" OR D1$="S" THEN 1140 ELSE 1150
1140 IF D2$="W" OR D2$="E" THEN 1160
1150 PRINT " * 間違いです,やり直し":GOTO 1120
1160 INPUT "     斜面傾斜は ";IS:PRINT :INPUT "     標高は（ｍ単位）";ALT:PRINT
1170 PRINT" ** ある期間について推定するならｋ，単日の推定ならｔを入れる ":PRINT
1180 INPUT "       （但し、同じ条件で連続しない日を推定する時もｔ） ";A$
1190 IF A$="K" THEN G=1 :GOTO 1380
1200 IF A$="T" THEN G=0 :GOTO 1220
1210 PRINT  " * 間違いです,やり直し":GOTO 1170
1220 PRINT:INPUT"     推定する日の西暦年月日を順に，で区切って入れる ";Y0,M0,T0
1230 PRINT:INPUT "     この日の太陽赤緯の値を入力しますか（ｙ／ｎ）";Y5$
1240 IF Y5$="Y" THEN DCF=0 :GOTO 1270
1250 IF Y5$="N" THEN DCF=1 :GOTO 1280
1260 PRINT " * 間違いです,やり直し":GOTO 1230
1270 PRINT:INPUT "     太陽の赤緯（度単位で）";DCS
1280 PRINT:INPUT "     この日の均時差の値を入力しますか（ｙ／ｎ） ";Y6$
1290 IF Y6$="Y" THEN EQF=0 :GOTO 1320
1300 IF Y6$="N" THEN EQF=1 :GOTO 1330
1310 PRINT " * 間違いです,やり直し":GOTO 1280
1320 PRINT:INPUT "       均時差（分単位で）";EQS
1330 IF PF=1 THEN 1640
1340 PRINT:INPUT " ** 太陽通過線を描きますか（ｙ／ｎ） ";PLW$
1350 IF PLW$="Y" THEN PLW=1:GOTO 1450
1360 IF PLW$="N" THEN PLW=0:GOTO 1450
1370 PRINT " * 間違いです,やり直し":GOTO 1340
1380 PRINT:INPUT "     計算開始時の西暦年月日を，で区切って入れる ";Y0,M1,T1
1390 PRINT:INPUT "     計算終了時の月日を同様に入れる，年は不要 ";M2,T2
1400 PRINT:INPUT "     期間中の毎日の値も必要ですか（ｙ／ｎ） ";GCK$
1410 IF GCK$="Y" THEN GCK=1:GOTO 1450
1420 IF GCK$="N" THEN GCK=0:GOTO 1450
1430 PRINT " * 間違いです,やり直し":GOTO 1400
1440 PRINT:INPUT "     次の日の月日を，で区切って入れる ";M0,T0:GOTO 1230
1450 PRINT:INPUT "     地形データがありますか（ｙ／ｎ）";B$
1460 IF B$="Y" THEN H=1 : GOTO 1490
1470 IF B$="N" THEN H=0 : GOTO 1550
1480 PRINT " * 間違いです,やり直し":GOTO 1450
1490 IF G=1 THEN 1530 ELSE PRINT:INPUT "     地形条件を図示しますか（ｙ／ｎ） ";CJZ$
1500 IF CJZ$="Y" THEN CJZ=1 :GOTO 1530
1510 IF CJZ$="N" THEN CJZ=0 :GOTO 1530
1520 PRINT " * 間違いです,やり直し":PRINT:GOTO 1490
1530 REM * 地形条件 Sub-Routine *
1540 GOSUB 5150
1550 '----------------------      basic calculation      ---------------------
1560 PRINT:PRINT " ** 只今基礎計算の実行中です **"
1570 LO=LB+LC/60:LA=LD+LE/60
1580 IF D1$="N" AND D2$="E" THEN DS=D            :ADS=D      :GOTO 1620
1590 IF D1$="N" AND D2$="W" THEN DS=D*(-1)       :ADS=360-D :GOTO 1620
1600 IF D1$="S" AND D2$="E" THEN DS=180-D        :ADS=180-D :GOTO 1620
1610 IF D1$="S" AND D2$="W" THEN DS=(180-D)*(-1):ADS=180+D :GOTO 1620
1620 ALT1=1013/EXP(ALT/18535*2.3026):ALT2=ALT1/1013:IZ=1.98
1630 Y1=Y0/4:Y2=Y1-INT(Y1)
1640 O=0
1650 IF G=1 THEN 1670
1660 MM=M0:TT=T0:GOTO 1690
1670 MM=M1:TT=T1:GOTO 1690
1680 O=1:MM=M2:TT=T2
1690 IF MM=1 THEN NN=0+TT:GOTO 1810
1700 IF MM=2 THEN NN=31+TT:GOTO 1810
1710 IF MM=3 THEN NN=59+TT:GOTO 1810
1720 IF MM=4 THEN NN=90+TT:GOTO 1810
1730 IF MM=5 THEN NN=120+TT:GOTO 1810
1740 IF MM=6 THEN NN=151+TT:GOTO 1810
1750 IF MM=7 THEN NN=181+TT:GOTO 1810
1760 IF MM=8 THEN NN=212+TT:GOTO 1810
1770 IF MM=9 THEN NN=243+TT:GOTO 1810
1780 IF MM=10 THEN NN=273+TT:GOTO 1810
1790 IF MM=11 THEN NN=304+TT:GOTO 1810
```

```
1800 IF MM=12 THEN NN=334+TT:GOTO 1810
1810 IF Y2=0 AND MM>=3 THEN NN=NN+1
1820 IF G=0 THEN ND=NN :GOTO 1850
1830 IF G=1 AND O=0 THEN N1=NN :GOTO 1680
1840 IF G=1 AND O=1 THEN N2=NN :GOTO 1880
1850 Q=ND
1860 IF DCF=1 THEN 1890
1870 SD(Q)=DCS :GOTO 1920
1880 FOR Q=N1 TO N2
1890 SA=.4825*(Q-80):SB=.9856*(Q-80)-(3.81*SIN(SA*PI)):SD(Q)=23.443*SIN(SB*PI)
1900 IF G=0 THEN GOTO 1920
1910 NEXT Q
1920 DU=(LO-135)*4
1930 IF G=1 THEN 1960
1940 IF EQF=1 THEN 1970
1950 DV(Q)=EQS/60:GOTO 2080
1960 FOR Q=N1 TO N2
1970 IF Q<=41 THEN GOTO 2060
1980 IF Q<=170 THEN GOTO 2040
1990 IF Q<=307 THEN GOTO 2020
2000 DW=-(-.000559*(Q-366)+.1191)*SIN((Q-159)*1.875*PI)
2010 DV(Q)=DW+(-.002611*(Q-366)-.03174):GOTO 2080
2020 DW=-(.000213*Q+.0857)*SIN((Q-159)*1.875*PI)
2030 DV(Q)=DW+(.000996*Q-.184):GOTO 2080
2040 DW=-(.000213*Q+.0857)*SIN((Q-182)*1.875*PI)
2050 DV(Q)=DW+(.000996*Q-.184):GOTO 2080
2060 DW=-(-.000559*Q+.1191)*SIN((Q-182)*1.875*PI)
2070 DV(Q)=DW+(-.002611*Q-.03174)
2080 DT(Q)=DU+DV(Q)*60
2090 IF G=0 THEN GOTO 2110
2100 NEXT Q
2110 SI=SIN(IS*PI):CI=COS(IS*PI):SL=SIN(LA*PI):CL=COS(LA*PI)
2120 '----------------------      plotter setting     ---------------------
2130 IF PLW=0 THEN 2580
2140 IF CJZ=1 THEN 2580
2150 PRINT:PRINT "    * プロッターを用意して下さい "
2160 PRINT:PRINT "          ペンストックＮｏ．１に青・３に赤色のペンをセットし"
2170 PRINT:INPUT "          Ａ４の紙を画面の左下にセットして，Ｐを押す。 ";PLO$
2180 IF PLO$="P" THEN 2190 ELSE PRINT " * 間違えです,:GOTO 2470
2190 OPEN "COM:N73" AS #1:PRINT #1,"H"0,0
2200 PRINT:PRINT "    * 撮影に使用した魚眼レンズの番号を入れる ":PRINT #1,"J0"
2210 INPUT "       (1)****** 8mm-F2.8  (2)****** 8mm-F8  (3)No correction ";GRN
2220 IF GRN=1 OR GRN=2 OR GRN=3 THEN 2230 ELSE PRINT " * 間違いです,やり直し":GOTO 2200
2230 PRINT:PRINT "    * 全天写真の引き伸ばし画像の直径は１０ｃｍとします"
2240 PRINT #1,"J1":PRINT #1,"M"700,700:XR=90
2250 IF GRN=1 THEN 2270
2260 IF GRN=2 THEN 2280 ELSE 2290
2270 XR1=500*COS(XR*3.1416/180)/(1+(.0093*XR)-(.000048*(XR^2))):GOTO 2300
2280 XR1=500*COS(XR*3.1416/180)/(1+(.0113*XR)-(.00006*(XR^2))):GOTO 2300
2290 XR1=(100-XR)*5*1.1111
2300 PRINT #1,"W"700,700,XR1,XR1,0,3600
2310 IF GRN=1 AND XR=0 THEN 2350
2320 IF GRN=2 AND XR=0 THEN 2350
2330 IF GRN=3 AND XR=10 THEN 2350
2340 XR=XR-10:GOTO 2250
2350 PRINT #1,"H"0,0:SHT=0
2360 XZ0=700+50*COS(SHT*PI)*1.1111:YZ0=700+50*SIN(SHT*PI)*1.1111
2370 XZ1=700+450*COS(SHT*PI)*1.1111:YZ1=700+450*SIN(SHT*PI)*1.1111
2380 PRINT #1,"M"700,700:PRINT #1,"M"XZ0,YZ0:PRINT #1,"D"XZ1,YZ1
2390 SHT=SHT+22.5:IF SHT=360 THEN 2400 ELSE 2360
2400 PRINT #1,"H"0,0:PRINT #1,"S10":PRINT #1,"M"110,665:PRINT #1,"PE"
2410 PRINT #1,"M"1240,665:PRINT #1,"PW":PRINT #1,"M"675,1240:PRINT #1,"PS"
2420 PRINT #1,"M"673,70:PRINT #1,"PN"
2430 D0$=STR$(D):LA$=STR$(LA):LO$=STR$(LO):IS$=STR$(IS):ALT$=STR$(ALT)
2440 Y0$=STR$(Y0):M0$=STR$(M0):T0$=STR$(T0):PRINT #1,"M"100,1680
2450 PRINT #1,"P"NN$:PRINT #1,"S5"
2460 PRINT #1,"M"250,1530:PRINT #1,"PLong.E":PRINT #1,"P"LO$
2470 PRINT #1,"M"900,1530:PRINT #1,"PLat.N":PRINT #1,"P"LA$
2480 PRINT #1,"M"250,1440:PRINT #1,"PAlt.":PRINT #1,"P"ALT$
2490 PRINT #1,"M"750,1440:PRINT #1,"PDir. ":PRINT #1,"P"D1$:PRINT #1,"P"D0$
2500 PRINT #1,"P ":PRINT #1,"P"D2$:PRINT #1,"M"250,1350:PRINT #1,"PIncl."IS$
2510 PRINT #1,"S4":PRINT #1,"M"950,1200:PRINT #1,"P*** ":PRINT #1,"P"Y0$
2520 PRINT #1,"P"M0$:PRINT #1,"P"T0$:PRINT #1,"P ***":PRINT #1,"M"900,110
2530 IF GRN=1 THEN RNA$="****** 8mm-F2.8":GOTO 2560
2540 IF GRN=2 THEN RNA$="****** 8mm-F8":GOTO 2560
2550 IF GRN=3 THEN RNA$="No correction"
2560 PRINT #1,"P"RNA$:PRINT #1,"J0":PRINT #1,"H"0,0
2570 CLOSE
2580 '------------------------      title print     -------------------------
2590 IF PF=1 THEN 2800
2600 LPRINT:LPRINT:LPRINT SPC(12);"***** ";NN$;" における太陽 *****"
2610 LPRINT:LPRINT SPC(17);"ﾄｳｹｲ=";LB;"ﾄﾞ";LC;"ﾌﾝ (";LO;")"
2620 LPRINT SPC(17);"ﾎｸｲ=";LD;"ﾄﾞ";LE;"ﾌﾝ (";LA;")"
```

```
2630 LPRINT SPC(17);"ｼｬﾒﾝ ﾎｳｲ= ";D1$;D;" "D2$;" (";DS;")"
2640 LPRINT SPC(17);"ｼｬﾒﾝ ｹｲｼｬ=";IS;"ﾄﾞ"
2650 LPRINT SPC(17);"ｹｲﾄﾞ ﾆ ﾖﾙ ｼﾞｻ =";DU;"分 "
2660 LPRINT SPC(17);"ﾀｲｷ ﾉ ﾄｰｶﾘﾂ =";KK
2670 LPRINT SPC(17);"ﾋｮｳｺｳ =";ALT;" m"
2680 IF H=0 THEN 2800
2690 LPRINT SPC(17);"ｼｭｰｲ ﾉ ﾔﾏ ﾉ ｷﾞｮｰｶｸ":LPRINT
2700 LPRINT SPC(10);"      0     10     20     30     40     50     60     70     80     90"
2710 LPRINT SPC(9);"N";
2720 FOR RN=0 TO 9 :LPRINT USING "####.#";CJ(RN);:NEXT RN:LPRINT "  E"
2730 LPRINT SPC(9);"N   ---";
2740 FOR RN=35 TO 27 STEP -1:LPRINT USING "####.#";CJ(RN);:NEXT RN:LPRINT "  W"
2750 LPRINT SPC(9);"S";
2760 FOR RN=18 TO 10 STEP -1:LPRINT USING "####.#";CJ(RN);:NEXT RN:LPRINT "   ---  E"
2770 LPRINT SPC(9);"S   ---";
2780 FOR RN=19 TO 26:LPRINT USING "####.#";CJ(RN);:NEXT RN:LPRINT "   ---  W"
2790 LPRINT
2800 '---------------------        plotter setting      ---------------------
2810 IF PLW=0 THEN 3210
2820 IF CJZ=0 THEN 3210
2830 PRINT:PRINT "    * プロッターを用意して下さい "
2840 PRINT:PRINT "            ペンストックＮｏ．１に青・２に黒・３に赤色のペンをセットし"
2850 PRINT:INPUT "            Ａ４の紙を画面の左下にセットしＰを押す ";PLO$
2860 IF PLO$="P" THEN 2870 ELSE PRINT " * 間違いです,やり直し":GOTO 2830
2870 OPEN "COM:N73" AS #1 :PRINT #1,"H"0,0:PRINT #1,"J0":PRINT #1,"J1":PRINT #1,"M"700,700 :XR=90
2880 XR1=(100-XR)*5*1.1111:PRINT #1,"W"700,700,XR1,XR1,0,3600
2890 IF XR=10 THEN 2900 ELSE XR=XR-10:GOTO 2880
2900 PRINT #1,"H"0,0:SHT=0
2910 XZ0=700+50*COS(SHT*PI)*1.1111:YZ0=700+50*SIN(SHT*PI)*1.1111
2920 XZ1=700+450*COS(SHT*PI)*1.1111:YZ1=700+450*SIN(SHT*PI)*1.1111
2930 PRINT #1,"M"700,700:PRINT #1,"M"XZ0,YZ0:PRINT #1,"D"XZ1,YZ1
2940 SHT=SHT+10:IF SHT=360 THEN 2950 ELSE 2910
2950 PRINT #1,"H"0,0:PRINT #1,"S10":PRINT #1,"M"110,665:PRINT #1,"PE"
2960 PRINT #1,"M"1240,665:PRINT #1,"PW":PRINT #1,"M"675,1240:PRINT #1,"PS"
2970 PRINT #1,"M"673,70:PRINT #1,"PN"
2980 D0$=STR$(D):LA$=STR$(LA):LO$=STR$(LO):IS$=STR$(IS):ALT$=STR$(ALT)
2990 Y0$=STR$(Y0):M0$=STR$(M0):T0$=STR$(T0):PRINT #1,"M"100,1680
3000 PRINT #1,"P"NN$:PRINT #1,"S5"
3010 PRINT #1,"M"250,1530:PRINT #1,"PLong.E":PRINT #1,"P"LO$
3020 PRINT #1,"M"900,1530:PRINT #1,"PLat.N":PRINT #1,"P"LA$
3030 PRINT #1,"M"250,1440:PRINT #1,"PAlt.":PRINT #1,"P"ALT$
3040 PRINT #1,"M"750,1440:PRINT #1,"PDir. ":PRINT #1,"P"D1$:PRINT #1,"P"D0$
3050 PRINT #1,"P ":PRINT #1,"P"D2$ :PRINT #1,"M"250,1350:PRINT #1,"PIncl."IS$
3060 PRINT #1,"S4":PRINT #1,"M"950,1200:PRINT #1,"P*** "
3070 PRINT #1,"P"Y0$:PRINT #1,"P"M0$:PRINT #1,"P"T0$:PRINT #1,"P ***"
3080 PRINT #1,"J0"
3090 '-----------------------------------------------------------------------
3100 CXZ0=700+(90-CJ(27))*5.5555:CYZ0=700:PRINT #1,"J2"
3110 PRINT #1,"M"CXZ0,CYZ0:ANG=10
3120 FOR RN=26 TO 0 STEP -1
3130 CXZ1=700+COS(ANG*PI)*(90-CJ(RN))*5.5555
3140 CYZ1=700+SIN(ANG*PI)*(90-CJ(RN))*5.5555
3150 PRINT #1,"D"CXZ1,CYZ1:ANG=ANG+10:NEXT RN
3160 ANG=280:FOR RN=35 TO 27 STEP -1
3170 CXZ1=700+COS(ANG*PI)*(90-CJ(RN))*5.5555
3180 CYZ1=700+SIN(ANG*PI)*(90-CJ(RN))*5.5555
3190 PRINT #1,"D"CXZ1,CYZ1:ANG=ANG+10:NEXT RN
3200 PRINT #1,"J0":PRINT #1,"H"0,0:PLW=1:CLOSE
3210 '-------------------------      date (p)     ----------------------------
3220 IF G=0 THEN 3310
3230 LPRINT SPC(16);Y0;"年";M1;"月";T1;"日 (";N1;") ｶﾗ"
3240 LPRINT SPC(23);M2;"月";T2;"日 (";N2;") ﾏﾃﾞ":LPRINT
3250 IF GCK=1 THEN 3270
3260 PRINT:PRINT "ﾂｰｼﾞｯﾂ      ｼｾｷｲ        ｼﾞｻ    ﾆｯｼｬｲ   ﾆｯｼｬﾘｮｳ":GOTO 3330
3270 LPRINT SPC(3);"ﾂｰｼﾞｯﾂ      ｼｾｷｲ        ｼﾞｻ    ﾆｯｼｬｲ   ﾆｯｼｬﾘｮｳ    ﾋﾉﾃﾞ    ﾋﾉｲﾘ";
3280 IF H=1 THEN LPRINT;"    ﾋﾉｻｽｼﾞｶﾝ"
3290 LPRINT:GOTO 3330
3300 '*************************      Main Pro      ****************************
3310 IF PLW=1 THEN OPEN "COM:N73" AS #1:PRINT #1,"J3":PRINT #1,"H"0,0
3320 Q=ND:GOTO 3340
3330 Q=N1:K=0:RC=0:SIC=0:SICC=0
3340 SNR=0:IC=0:ICC=0:SS=SIN(SD(Q)*PI):CS=COS(SD(Q)*PI):TS=TAN(SD(Q)*PI)
3350 '-------------------------      date    (s)     ---------------------------
3360 IF EQF=1 THEN EQS=DV(Q)*60
3370 JF=0
3380 IF G=1 THEN 3430
3390 LPRINT "** ";NN$;" ";Y0;"年";M0;"月";T0;"日  (";Q;")    ﾀｲﾖｰ ｼｾｷｲ=";SD(Q);"ﾄﾞ"
3400 LPRINT "          ｼﾞｻ=";DT(Q);"分     ";"ｷﾝｼﾞｻ=";EQS;"分":LPRINT
3410 '-------------------------      a.m.h      ------------------------------
3420 LPRINT:LPRINT "  ﾁﾎｰｼﾞ      ﾎｳｲ      ｺｳﾄﾞ       ﾆｯｼｬｲ    ﾆｯｼｬﾘｮｳ ﾎﾞｰﾉｶｹﾞ"
3430 JK=0:R=1
3440 RR=(R-1)*(-7.5)
3450 IF RR=0 THEN JK=12:GOTO 3470
```

```
3460 JK=12+(RR*4/60)
3470 E=0:L=0:JM=JK-INT(JK)
3480 IF JM=0 THEN GOTO 3500
3490 JJ(R)=INT(JK):JL(R)=30:GOTO 3510
3500 JJ(R)=JK:JL(R)=0
3510 REM * Sun's Sub-Routine *
3520 SBR=1:GOTO 4510
3530 R=R+1:IF R<=17 THEN 3440
3540 GOTO 3970
3550 '-------------------------      a.m.m      ------------------------------
3560 IF G=1 THEN 3590
3570 LPRINT:LPRINT "  ﾁﾎｰｼﾞ      ﾎｳｲ     ｺｳﾄﾞ       ﾆｯｼｬｲ    ﾆｯｼｬﾘｮｳ ﾎﾞｰﾉｶｹﾞ "
3580 IF SE(1)<=0 THEN IC=0:ICC=0:GOTO 3960
3590 IC=IC-IA(R-1)*15:ICC=ICC-IB(R-1)*15:S=1
3600 RR=S*(-.25)+(R-2)*(-7.5):L=1
3610 IF JL(R-1)=0 THEN GOTO 3630
3620 JL(R)=30-S:GOTO 3650
3630 JL(R)=60-S:JJ(R)=JJ(R-1)-1
3640 IF JL(R)<0 THEN JL(R)=JL(R)+60 :JJ(R)=JJ(R-1)
3650 REM * Sun's Sub-Routine *
3660 SBR=2:GOTO 4510
3670 S=S+1:IF S<=30 THEN 3600
3680 GOTO 3970
3690 '-------------------------      p.m.h      ------------------------------
3700 JF=0
3710 IF G=1 THEN 3730
3720 LPRINT:LPRINT "  ﾁﾎｰｼﾞ      ﾎｳｲ     ｺｳﾄﾞ       ﾆｯｼｬｲ    ﾆｯｼｬﾘｮｳ ﾎﾞｰﾉｶｹﾞ "
3730 JK=0:R=1
3740 RR=(R-1)*7.5:E=1:L=0
3750 IF RR=0 THEN JK=12:GOTO 3770
3760 JK=12+(RR*4/60)
3770 JM=JK-INT(JK)
3780 IF JM=0 THEN GOTO 3800
3790 JJ(R)=INT(JK):JL(R)=30:GOTO 3810
3800 JJ(R)=JK:JL(R)=0
3810 REM * Sun's Sub-Routine *
3820 SBR=3:GOTO 4510
3830 R=R+1:IF R<=17 THEN 3740
3840 GOTO 3970
3850 '-------------------------      p.m.m      ------------------------------
3860 IF G=1 THEN 3880
3870 LPRINT:LPRINT "  ﾁﾎｰｼﾞ      ﾎｳｲ     ｺｳﾄﾞ       ﾆｯｼｬｲ    ﾆｯｼｬﾘｮｳ ﾎﾞｰﾉｶｹﾞ "
3880 IC=IC-IA(R-1)*15:ICC=ICC-IB(R-1)*15:S=1
3890 RR=S*.25+(R-2)*7.5:L=1
3900 IF JL(R-1)=0 THEN GOTO 3920
3910 JL(R)=30+S:JJ(R)=JJ(R-1):GOTO 3930
3920 JL(R)=S:JJ(R)=JJ(R-1)
3930 REM * Sun's Sub-Routine *
3940 SBR=4:GOTO 4510
3950 S=S+1:IF S<=30 THEN 3890
3960 '-----------------------   final set and out put   -------------------
3970 SSM=JL(R)-DT(Q):SSH=JJ(R)
3980 IF SSM<0 THEN 4010
3990 IF SSM>60 THEN 4040
4000 GOTO 4060
4010 SSM=SSM+60:SSH=SSH-1
4020 IF SSM<0 THEN 4010
4030 GOTO 4060
4040 SSM=SSM-60:SSH=SSH+1
4050 IF SSM>60 THEN 4040
4060 SRM1=60-JL(R):SRH1=23-JJ(R):SRM=SRM1-DT(Q):SRH=SRH1
4070 IF SRM<0 THEN 4100
4080 IF SRM>60 THEN 4130
4090 GOTO 4150
4100 SRM=SRM+60:SRH=SRH-1
4110 IF SRM<0 THEN 4100
4120 GOTO 4150
4130 SRM=SRM-60:SRH=SRH+1
4140 IF SRM>60 THEN 4130
4150 IF G=0 THEN 4270
4160 IF GCK=1 THEN 4170 ELSE 4240
4170 LPRINT SPC(3);:LPRINT USING "#####";Q;:LPRINT USING "######.##";SD(Q);
4180 LPRINT USING "######.###";DT(Q);:LPRINT USING "####.###";IC*JOU;
4190 LPRINT USING "#####.###";ICC*JOU;:LPRINT USING "####";SRH;:LPRINT ":";
4200 LPRINT USING "##";SRM;:LPRINT USING "####";SSH;:LPRINT ":";
4210 LPRINT USING "##";SSM;:IF H=0 THEN 4230
4220 LPRINT USING "###########";SNR;
4230 LPRINT:GOTO 4360
4240 PRINT USING "#####";Q;:PRINT USING "######.##";SD(Q);
4250 PRINT USING "######.###";DT(Q);:PRINT USING "####.###";IC*JOU;
4260 PRINT USING "#####.###";ICC*JOU:GOTO 4370
4270 LPRINT
```

```
4280 LPRINT SPC(7);"** ﾆﾁ ｺﾞｳｹｲ ﾆｯｼｬﾘｮｳ=";ICC*JOU;" MJ/㎡ **"
4290 LPRINT SPC(7);"** ｺﾞｳｹｲ ﾆｯｼｬｲ=";IC*JOU;" MJ/㎡ **"
4300 LPRINT SPC(7);"** ﾋﾉﾃﾞ =";:LPRINT USING "##";SRH;:LPRINT " : ";:LPRINT USING "##";SRM;
4310 LPRINT "    ﾋﾉｲﾘ= ";:LPRINT USING "##";SSH;:LPRINT " : ";:LPRINT USING"##";SSM
4320 IF H=0 THEN LPRINT:GOTO 4340
4330 LPRINT SPC(7);"** ﾋﾉｻｽｼﾞｶﾝ(分) =";:LPRINT USING "####";SNR
4340 IF PLW=0 THEN 4360
4350 PRINT #1,"J0":PRINT #1,"H"0,0:CLOSE
4360 K=1:RC=1
4370 IF G=0 THEN GOTO 4440
4380 Q=Q+1:SIC=SIC+IC:SICC=SICC+ICC
4390 IF Q=>N2+1 THEN 4400 ELSE 3340
4400 LPRINT:LPRINT
4410 LPRINT SPC(7);"## ｷｶﾝ ｺﾞｳｹｲ ﾆｯｼｬﾘｮｳ=";SICC*JOU;" MJ/㎡ ##"
4420 LPRINT SPC(7);"## ｷｶﾝ ｺﾞｳｹｲ ﾆｯｼｬｲ=";SIC*JOU;" MJ/㎡ ##"
4430 FOR SUD=1 TO 5:BEEP:NEXT SUD :GOTO 4490
4440 LPRINT:PRINT:INPUT " ** 別の日を計算しますか（ｙ／ｎ）";P$
4450 IF P$="Y" THEN 4480
4460 IF P$="N" THEN 4490
4470 PRINT " * 間違いです,やり直し":GOTO 4440
4480 PF=1:GOTO 1440
4490 CLS:LOCATE 22,10:PRINT "***    全ての計算が終了しました    ***" :END
4500 '
4510 '********************      Sun's Sub-Routine      ************************
4520 '
4530 S2=SL*SS+CL*CS*COS(RR*PI)
4540 S3=S2/SQR(1-(S2^2)):SE(R)=ATN(S3)/PI
4550 IF RR=0 THEN SH(R)=0 : GOTO 4610
4560 IF SL=0 AND TS=0 THEN SL=.000001:TS=.000001
4570 S4=SL*(1/TAN(RR*PI))-TS*CL*(1/SIN(RR*PI))
4580 SH(R)=ATN(1/S4)/PI
4590 IF E=0 AND SH(R)>0 THEN SH(R)=-180+SH(R)
4600 IF E=1 AND SH(R)<0 THEN SH(R)=180+SH(R)
4610 IF H=1 THEN GOTO 4660
4620 REM * ﾑｹﾞﾝ ｼｬﾒﾝ ﾉ ﾋﾉﾃﾞ Sub-Routine *
4630 GOSUB 5400
4640 REM
4650 GOTO 4680
4660 REM * ﾕｰｹﾞﾝ ｼｬﾒﾝ ﾉ ﾋﾉﾃﾞ Sub-Routine*
4670 GOSUB 5460
4680 REM
4690 IF F=1 AND L=0 AND E=0 THEN 3550
4700 IF F=1 AND L=1 AND E=0 THEN 3690
4710 IF F=1 AND L=0 AND E=1 THEN 3850
4720 IF F=1 AND L=1 AND E=1 THEN 3970
4730 '-----------------------------------------------------------------------
4740 I0=IZ*(1-.033*COS(360*Q/370*PI)):ASH=180+SH(R)
4750 IF SE(R)<=0 THEN 4820
4760 SSE=SIN(SE(R)*PI):RT=1/SSE
4770 IA(R)=I0*(SSE*CI+COS(SE(R)*PI)*SI*COS((ASH-ADS)*PI))
4780 IF IA(R)<0  THEN IA(R)=0
4790 IF SE(R)<CJ(RN) THEN IA(R)=0
4800 IB(R)=IA(R)*(KK^(RT*ALT2))
4810 GOTO 4830
4820 IA(R)=0:IB(R)=0
4830 IF L=1 THEN GOTO 4870
4840 IF R=0 THEN GOTO 4860
4850 IC=IC+(IA(R))*30:ICC=ICC+IB(R)*30:GOTO 4880
4860 IC=IC+(IA(R))*15:ICC=ICC+IB(R)*15:GOTO 4880
4870 IC=IC+IA(R):ICC=ICC+IB(R)
4880 IF G=1 THEN GOTO 5130
4890 LPRINT USING "##";JJ(R);:LPRINT " : ";:LPRINT USING "##";JL(R);
4900 LPRINT USING "#####.##";SH(R);
4910 LPRINT USING "#####.##";SE(R);
4920 LPRINT USING "#####.####";IA(R)*WAT;
4930 LPRINT USING "#####.####";IB(R)*WAT;
4940 BL=1/TAN(SE(R)*PI)
4950 LPRINT USING "    ";
4960 LPRINT USING "####.##";BL
4970 '**LPRINT USING "####.##";SHH(R)***
4980 '-------------------------      track of sun      -----------------------
4990 IF PLW=0 THEN 5130
5000 IF (LA-SD(Q))>0 THEN TFG=+1 ELSE TFG=-1
5010 IF CJZ=1 THEN 5070
5020 IF GRN=1 THEN 5050
5030 IF GRN=2 THEN 5060
5040 IF GRN=3 THEN 5070
5050 GYK=500*COS(SE(R)*PI)/(1+(.0093*SE(R))-(.000048*(SE(R)^2))):GOTO 5080
5060 GYK=500*COS(SE(R)*PI)/(1+(.0113*SE(R))-(.00006*(SE(R)^2))):GOTO 5080
5070 GYK=(90-SE(R))*5.5555
5080 IF R<>1  THEN 5100
5090 PRINT #1,"M"700,700+GYK*TFG:GOTO 5130
5100 ZTX=700+GYK*SIN(SH(R)*PI):ZTY=700+GYK*COS(SH(R)*PI)
```

```
5110 PRINT #1,"D"ZTX,ZTY
5120 '
5130 ON SBR GOTO 3530,3670,3830,3950
5140 '
5150 '**********************      topo. factor    **************************
5160 '
5170 PRINT:PRINT " ** １０度毎に仰角を入れます"
5180 FOR RN=0 TO 9:SKA=RN*10
5190 PRINT SPC(6);"N ";:PRINT USING "####";SKA;
5200 INPUT "  E方向の仰角は ";CJ(RN)
5210 IF CJ(RN)<0 THEN PRINT " * 間違いです,やり直し":GOTO 5190
5220 NEXT RN
5230 FOR RN=10 TO 18:SKA=(18-RN)*10
5240 PRINT SPC(6);"S ";:PRINT USING "####";SKA;
5250 INPUT "  E方向の仰角は ";CJ(RN)
5260 IF CJ(RN)<0 THEN PRINT " * 間違いです,やり直し":GOTO 5240
5270 NEXT RN
5280 FOR RN=35 TO 27 STEP -1:SKA=(36-RN)*10
5290 PRINT SPC(6);"N ";:PRINT USING "####";SKA;
5300 INPUT "  W方向の仰角は ";CJ(RN)
5310 IF CJ(RN)<0 THEN PRINT " * 間違いです,やり直し":GOTO 5290
5320 NEXT RN
5330 FOR RN=26 TO 19 STEP -1:SKA=(RN-18)*10
5340 PRINT SPC(6);"S ";:PRINT USING "####";SKA;
5350 INPUT "  W方向の仰角は ";CJ(RN)
5360 IF CJ(RN)<0 THEN PRINT " * 間違いです,やり直し":GOTO 5350
5370 NEXT RN
5380 RETURN
5390 '
5400 '************************      sun raise (p)      ************************
5410 '
5420 IF SE(R)>0 THEN F=0 :GOTO 5440
5430 F=1
5440 RETURN
5450 '
5460 '************************      sun raise (t)      ************************
5470 '
5480 IF SE(R)>0 THEN F=0:GOTO 5500
5490 F=1:GOTO 5630
5500 IF SH(R)<0 THEN  5540
5510 SH1=INT(SH(R)/10):RN=18+SH1:SH2=SH(R)-SH1*10
5520 IF SH2>=5 THEN RN=RN+1
5530 GOTO 5560
5540 SH1=INT(ABS(SH(R))/10):RN=18-SH1:SH2=ABS(SH(R))-SH1*10
5550 IF SH2>=5 THEN RN=RN-1
5560 IF SE(R)<CJ(RN) THEN 5630
5570 IF R=0 THEN SNR=SNR+15:GOTO 5630
5580 IF L=1 THEN 5600
5590 SNR=SNR+30:GOTO 5630
5600 IF JF=1 THEN 5620
5610 SNR=SNR-14:JF=1:GOTO 5630
5620 SNR=SNR+1
5630 RETURN
```