

資 料

酸性降下物の土壌影響予測に関するデータ整備

— 気象メッシュデータからの蒸発散量推定 —

調枝 勝幸

Arrangement of Data to Simulate the Impact  
of Acid Deposition on Soils

— On the Evapotranspiration from Meteorological Mesh-Data —

KATSUYUKI CHOSHI

(Received Oct. 12, 1993)

1・はじめに

近年の酸性雨影響が懸念されている自然環境のうち、自然土壌に関しては現状の把握と併せてその将来予測が重要な課題となっている。しかし、予測手法に関しては袴田 [1] が紹介したように、日本土壌肥料学会の『酸性雨による土壌影響調査』報告書で予察的な影響予測のモデルの構築が試みられた例を除いて定量的な手法の開発事例はほとんど見あたらない。このような現状のなかで、袴田 [2] は日本の土壌を対象としたシミュレーションモデルの開発には、アメリカの Levin & Ciolkosz のモデル [3] が参考になると提言している。両者は、土壌の化学性の変化過程での酸性降下物の収支に関する概念を重視し、特に、後者のモデルでは、更に物質の移動媒体となる水の収支をも精緻にシミュレートしている。

県内での酸性雨の自然土壌への影響予測を行うには、予測モデルの開発と併せてデータ整備が不可欠であるが、モデルが精緻になれば必要なデータ整備も容易でなくなる。水収支に関するデータもその類いであり、ことに蒸発散量データは実測データが得難く、整備する上で最も困難なものの一つである。この解決のためには、可能な限り既存データを活用することが考えられる。そこで、既存データの活用例として、気象メッシュデータ<sup>4)</sup>を利用して、新たに蒸発散量メッシュデータの作成を試みた。ここでは、その内容について若干の評価を加えて報告する。

2. 可能蒸発散量メッシュデータの作成方法

2-1 気象メッシュデータ

蒸発散の推定法には、蒸発計の観測値に経験的な係

数を乗じて求める方法と、気象データから推定する方法があり、後者はソーンスウェイト式による気温を変数として月蒸発散量を求める方法と、ペンマン式に代表される熱収支的に求める方法があることはよく知られている。ここでは、既存データの活用という観点から、気象メッシュデータを用いてソーンスウェイト式による可能蒸発散量のメッシュデータ化を行った。使用した気象メッシュデータは月平均気温である。これらのデータは昭和16年から45年までの30年間を平均した値で、県内41地点と県周辺の20地点を合わせた61地点の観測データを使用して緯度、経度、標高、海岸からの距離等の地形因子を用いた多変量重回帰式から全ての基準地域メッシュ(いわゆる1kmメッシュ)に対して計算値を得て作成されている [5]。

2-2 ソーンスウェイト式とその処理プログラム

実際の計算方法は榎根 [6] と岩崎 [7] によった。要約すると、ソーンスウェイト式は次式のように表される。

$$E_t = 1.6 (10T_t/I)^a \quad \dots\dots(1)$$

ここに、 $E_t$ は可能蒸発散量 ( $\text{cm mon}^{-1}$ )、 $T_t$ は月平均気温 ( $^{\circ}\text{C}$ )、

$$I = \sum_{t=1}^{12} (T_t/5)^{1.514} \quad \dots\dots(2)$$

$$a = (492,390 + 17,920 I - 77.1 I^2 + 0.675 I^3) \times 10^{-6} \quad \dots\dots(3)$$

式(1)の関係は気温  $0 \sim 26.5^{\circ}\text{C}$  の範囲について有効で、それ以上の気温での  $E_t$  は用意された換算表から求める。  $0^{\circ}\text{C}$  以下の月は  $E_t = 0$  と仮定される。また、式(3)の  $a$  は場所によって異なる値をもつ定数で、式(2)はそれを決めるために導入された経験式であるが、

さらに、同じ月平均気温でも緯度によって日照時間に差があるため、式(1)で得られた $E_t$ 値を緯度に応じて補正する表が用意されている。以上の諸要素を取り入れ、任意の地点の基準地域メッシュコードと月別の気温データからそのメッシュの可能蒸発散量を推定する処理プログラムをFORTRAN 77で作成した。その際、気温による換算表からTが $26.5^{\circ}\text{C}$ 以上の場合の $E_t$ を求める関係式(図1)を導いてプログラムに組

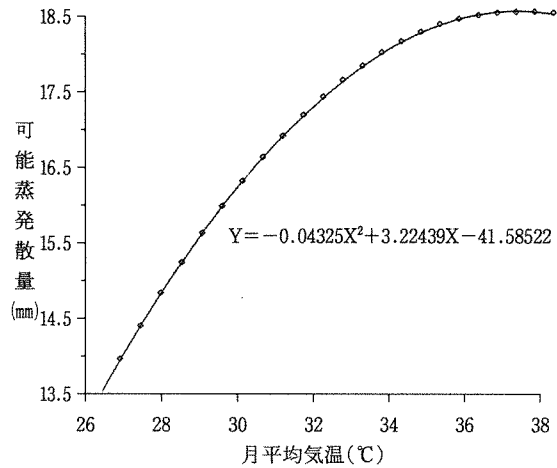


図1 平均気温 $26.5^{\circ}\text{C}$ 以上の月の可能蒸発散量

み入れた。

また、県域の基準地域メッシュは北緯 $34^{\circ}1'30''$ ～ $35^{\circ}6'30''$ の範囲にあり、この緯度に応じた補正係数も組み入れた(付録1)。なお、任意の地点の標準地域メッシュコード(JIS-X0402)を経度・緯度から導くプログラムも作成し付録2に示した。これら一連の

処理は、主として当センターの汎用コンピュータシステム(FACOM)を用いて行った。

### 3. 結果と考察

#### 3-1 蒸発計による観測例

県内で蒸発計を用いて継続的に蒸発量を観測している例は限られるようである。ここでは、農林水産省果樹試験場安芸津支場の試験研究年報に毎年掲載された気象観測露場(北緯 $34^{\circ}19'45''$ 、東経 $132^{\circ}49'38''$ 、標高130m)での気象記録表[8]から、蒸発計による観測データを用い表1に示した。

なお、1969年から1980年までは小型蒸発計による観測が行われていたが、1981年以降装置が大型蒸発計に変更されたため、表1には小型蒸発計でのデータは平均値のみを示した。また、1991年と1992年のデータについては1991年8月の計測機械更新に伴いその前後で欠測期間が多かったためここでは採用しなかった。これらの観測値と推定値とを比較検討するため該当する基準地域メッシュ(51323696)の計算値も併せて表1に示した。

#### 3-2 計算結果と観測値との関係

前述の安芸津支場が属する基準地域メッシュの計算結果から得た月別可能蒸発散量と、観測データとの関係を図2に示す。図2は、ソーンスウェイト法による計算値が、実測値に比べて季節的には冬から春にかけて過小、夏から秋にかけて過大な値になることを示し

表1 蒸発計蒸発量観測データと該当メッシュ(51323696)における計算値(mm)

月	小型蒸発計	大型蒸発計											平均	該当メッシュ計算値
	'69~'80	'81	'82	'83	'84	'85	'86	'87	'88	'89	'90			
1	49.8	29.0	22.9	27.4	20.4	29.6	25.0	39.6	32.4	20.6	18.0	26.5	5.8	
2	50.4	18.0	29.1	34.8	24.9	18.7	—	40.9	34.1	29.1	29.5	28.8	6.5	
3	76.5	41.0	—	30.4	46.7	46.1	—	46.6	45.0	57.7	38.8	44.2	18.5	
4	92.3	84.3	47.9	52.6	76.5	78.5	78.8	76.3	80.9	88.1	71.6	73.6	46.0	
5	113.8	93.5	96.7	113.8	97.5	94.0	82.0	99.0	92.5	72.6	93.0	93.5	82.7	
6	96.2	69.1	98.6	92.4	67.9	63.3	86.1	—	89.0	85.4	90.4	82.5	115.0	
7	121.6	100.0	51.9	85.0	112.6	109.1	85.1	—	84.2	121.2	—	93.6	158.0	
8	138.2	120.3	—	116.1	119.6	135.0	144.2	98.3	94.6	83.9	143.1	117.2	163.8	
9	100.6	66.1	55.7	50.8	79.6	89.1	80.1	75.6	71.7	59.8	30.8	65.9	111.5	
10	81.5	36.8	52.0	43.8	75.8	64.7	58.0	65.3	61.1	66.9	38.5	56.3	63.2	
11	59.8	24.8	25.41	40.8	44.0	43.8	38.8	39.5	43.8	39.9	43.6	38.4	31.4	
12	39.8	30.8	31.6	34.6	26.9	25.4	19.7	35.6	30.4	36.6	—	30.2	11.7	
計	1020.5	713.7	—	722.5	792.4	797.3	—	—	759.7	761.8	—	757.9	814.1	

観測データは農林水産省果樹試験場安芸津支場試験研究年報気象表<sup>9)</sup>による

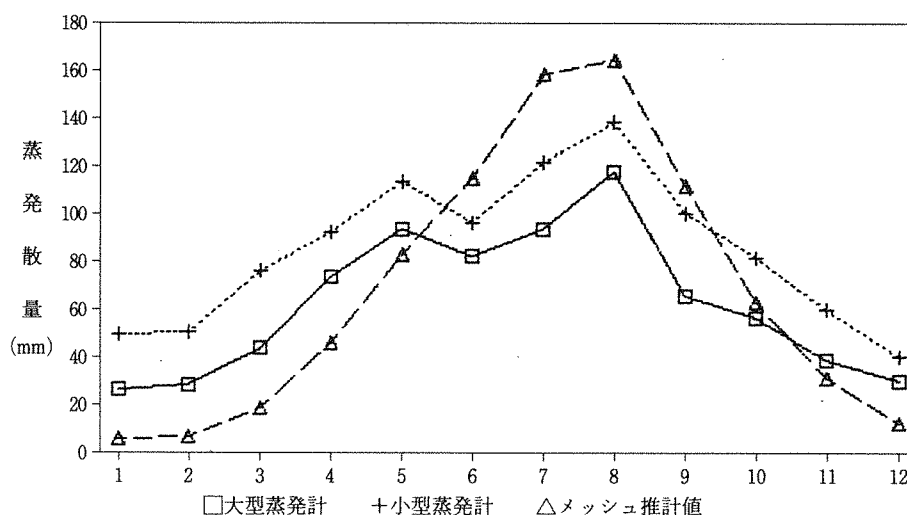


図2 蒸発計蒸発量とメッシュ推計値の月別変化

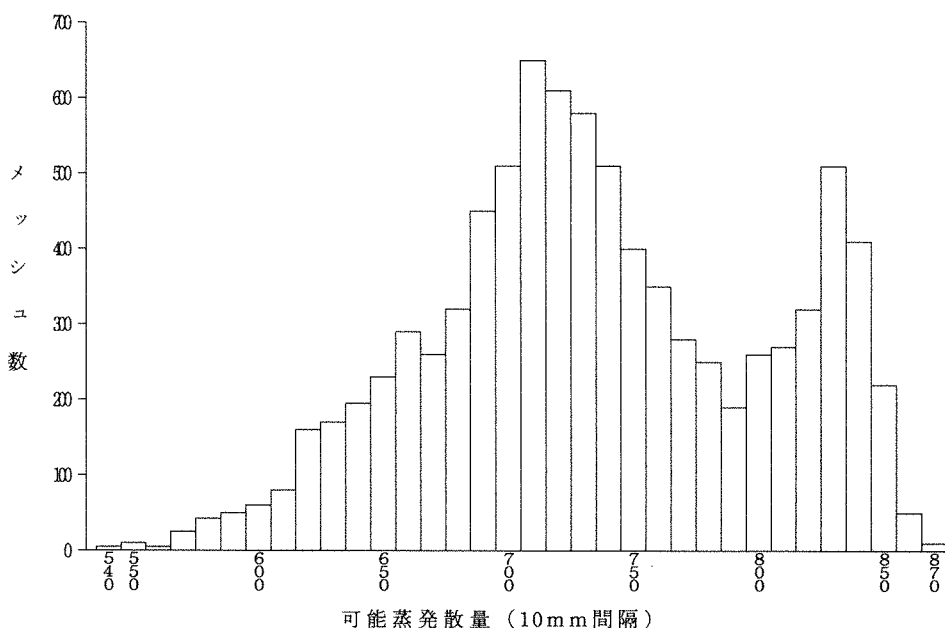


図3 メッシュ別可能蒸発散量のヒストグラム

ている。このことは、一般に指摘されるように、(1)式が気温のみの入力項目からなり、日射量、湿度等の項目を欠き、周辺土壌や植生の差違が反映されていない等による。

一方、月別の値を積算した年間値は、観測値の平均が小型蒸発計の1020.5mm、大型蒸発計の750.9mmに対して、該当メッシュ(51323696)の計算値は814.6mmであった。ここで、観測値とメッシュの計算値を直接比較するには、各々の観測期間が異なり、また観測地の点に対する基準地域メッシュの空間といった代表性の違い等があり、これらの詳しい検討がなされねばならないが、金子[9]によると、水田をほとんど含まない場合の広域面からの年蒸発散量が小型蒸発計の値

の約70%程度であり、このことを考慮すれば、今回得られたソースウェイト法による該当メッシュの年間値は、大型蒸発計での年間値に近似していることから、ほぼ妥当な値とみなすことができる。

### 3-3 可能蒸発散量メッシュマップの出力例

全県の可能蒸発散量メッシュは各月の値を合計した年値で546~875mmの範囲にあり、10mm間隔でのメッシュ数の頻度分布をみると660~670、710~720、830~840mmの3つのピークが認められる(図3)。

このことを考慮して、地図出力ソフト『PLANNER/MAPPING』[10]を使用して県域の年間可能蒸発散量のメッシュ分布図を出力した(図4)。

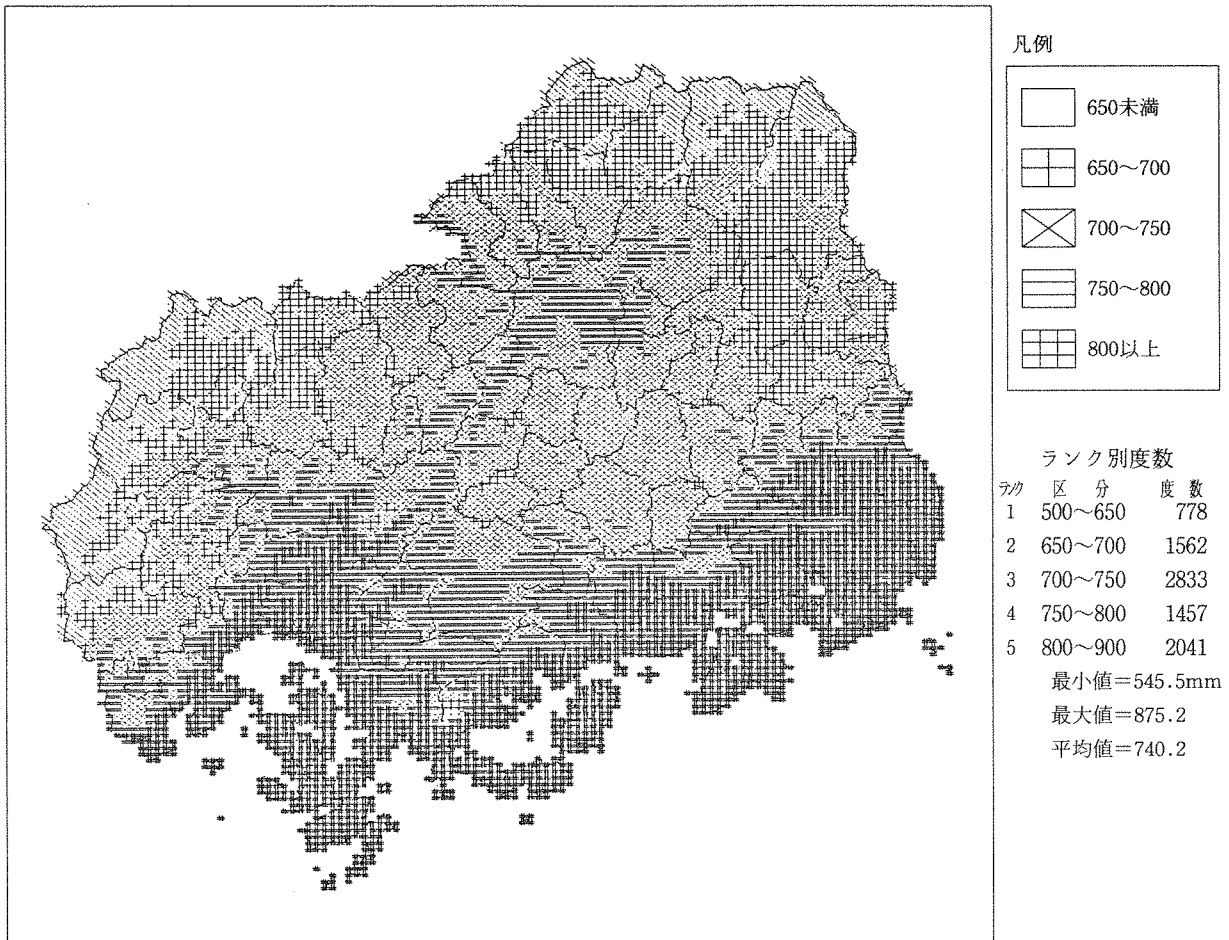


図4 年間可能蒸発散量メッシュマップ

分布図から、可能蒸発散量は県南部の瀬戸内海沿岸地域で大きな値を示し、県北の高所地域で小さい値を示す等、県の気候特性の一端が読み取れる。しかし、可能蒸発散量のみでの分布パターンはゾンスウェイト法の特長から気温の等値線分布パターンと大差がないと推察される。

### 3-4 水収支メッシュマップの出力例

気象メッシュデータの年降雨量データと年可能蒸発散量のメッシュデータとの差の分布図を作成、出力した例を図5に示す。

これにより、県域の相対的な水収支の状況を類型化すると、県南部の年800mm以下の地域と、年800~1000mmの範囲を示す県中央部の地域、及び年1000mm以上の県西部、県北部の地域に分けられる。特に、県西部と北部の山林地帯では年1400mm以上となるのに対して、県東部の瀬戸内海沿岸地域では年600mm以下の地域の分布がみられる等の際だった地域特性を指摘できる。この様な地域特性は、地形や土壌、植生の分布特性とも密接な関係があることをうかがわせ、

酸性雨の土壌影響予測を行う場合無視できない重要な要素となることを示唆している。

### 3-5 酸性雨の土壌影響シミュレーションへの利用性の展望

袴田 [1] が紹介した日本土壌肥料学会の『酸性雨による土壌影響調査』報告書では、土壌酸性化所要年数の算出モデルの中で、降雨量・蒸発散量・表面流出水量から水収支を算出しているが、何れも年間値を扱っている。先に検討したようにゾンスウェイト法による可能蒸発散量データの年間値は実用上差し支えない値と考えられるので、年間値でシミュレートするモデルには有効と判断できる。

一方、Levin & Ciolkosz のモデル [3] でも水収支に関する蒸発散量は年間値で与えられるが、落葉樹と針葉樹の森林タイプ別に、それぞれの成長シーズンと休眠シーズンとに分けて水収支を算出する等精緻な手法を導入している。このため、一義的にはゾンスウェイト法による年間可能蒸発散量データが利用できるであろうが、このモデルに限らず、植生の季節変化

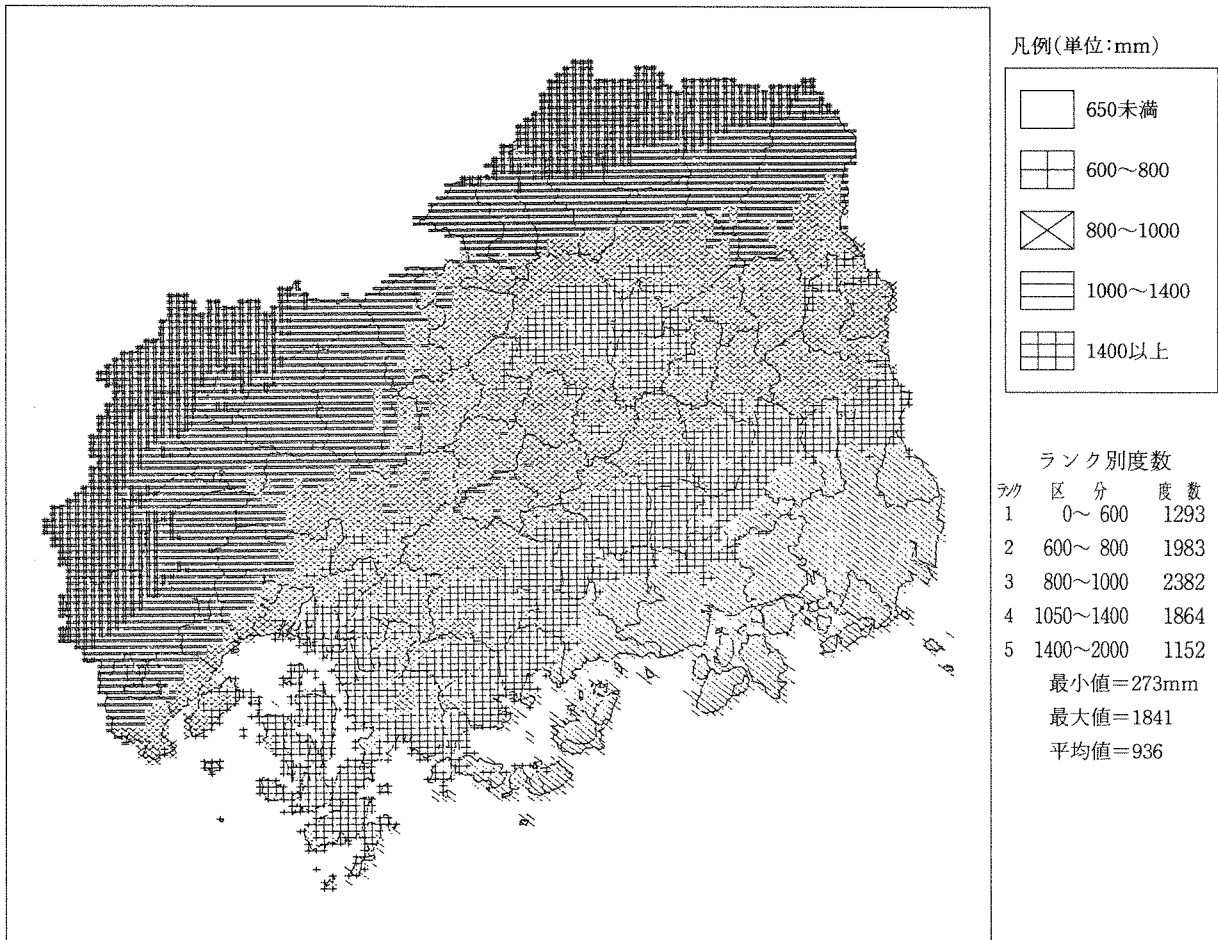


図5 年間水収支(降雨量と可能蒸発散量の差)のメッシュマップ

をも考慮した水収支をより正確に行うには、月毎の可能蒸発散量データが要求され、この場合はゾーンスウェイト法による可能蒸発散量データでは冬から春にかけて過小、夏から秋にかけて過大な値になるという欠点があり、これを補うための工夫が必要となる。このような目的のためには、地域の植生、森林土壌メッシュデータ [11] や、土地利用メッシュデータ [12] 等を取り入れた推定モデル式を作成すべきである。さらに、新たに日射量、湿度等のデータが得られれば、熱収支に立脚した適合性の良い推定モデル式の作成が可能になると考える。この場合、上原 [13] の日照メッシュデータ等の利用が实际的であろう。これらについては本稿とは別のテーマとして検討する。

#### 4. まとめ

汎用コンピュータを使用して、気象メッシュデータからゾーンスウェイト法によるメッシュ別可能蒸発散量の推定を行った。推定値は蒸発計による観測データと比較して月間値では問題があるものの年間値ではお

おむね妥当であった。全県の可能蒸発散量メッシュは各月の値を合計した年間値で546~875mmの範囲にあった。

可能蒸発散量、及び、降雨量と可能蒸発散量との差の分布状況をメッシュマップ化することにより区域の水収支の相対的な特性が把握でき、このことは酸性雨の土壌影響シミュレーションを行う際、地域区分の重要な要素となることが示唆された。また、シミュレーションモデルで要求される蒸発散量データとしての精度について検討を行い、モデルの精度が季節単位であれば工夫が必要となるが、年単位であれば実用上問題ないとの予見を得た。

#### 5. 参考文献と資料

- [1] 袴田共之, 酸性雨の土壌影響予測モデル, 環境情報科学, 19(1), 83-90(1990).
- [2] 袴田共之, 酸性雨の土壌影響予測モデル—文献レビュー—, 農業環境技術研究所資源・生態管理科研究収録集, 6, 87-96(1990).

- [ 3 ] Levine, E. R. and E. J. Ciolkosz, Computer simulation of soil sensitivity to acid rain. Soil Sci. Soc. Am. Jour., **52**, 209-215 (1988).
- [ 4 ] 河野富香・森 康明・房尾一宏・上原由子, 広島県メッシュ気候図の利用に関する研究 第1報 農耕地を対象とした気温補正と日別変換による利用, 広島県立農業試験場報告, **48**, 113-122 (1984).
- [ 5 ] 栗原弘一・村上律雄, 広島県メッシュ気候図 (1) 1km2メッシュ平均気温の推定, 研究時報, **34**, (1), 17-28 (1982).
- [ 6 ] 榎根 勇自然地理学講座 (3) 水文学, 大明堂, 東京 (1975), 99-101.
- [ 7 ] 岩崎 尚, 新編農業気象ハンドブック, 養賢堂, 東京 (1974), 808-812.
- [ 8 ] 農林水産省果樹試験場安芸支場果樹試験場安芸支場試験研究年報, **9**, 66; **10**, 63; **11**, 63; **12**, 61; **13**, 65; **14**, 68; **15**, 50; **16**, 59; **17**, 62; **18**, 64; **19**, 68, **20**; **60**, **21**, 59 (1981)~(1993).
- [ 9 ] 金子 良, 水文学講座(12)農業水文学, 共立出版, 東京 (1973), 147-148.
- [ 10 ] 富士通株式会社, PLANNER/MAPPING 使用手引書 V11用 (1986), p.292.
- [ 11 ] 兵藤 博, 広島県のメッシュ森林利用区分, 広島県林業試験場研究報告, **21**, 1-29 (1986).
- [ 12 ] 国土庁計画・調整局, 建設省国土地理院編, 国土情報シリーズ2-国土数値情報-1, 大蔵省印刷局, 東京 (1987), p. 130.
- [ 13 ] 上原由子・清野 裕・原田昭彦, 広島県メッシュ気候図に関する研究第10報 日照データのメッシュ化, 広島県立農業試験場報告, **53**, 63-78 (1990).

付録1 可能蒸発散量を算出するFORTRANプログラムのリスト

```

C***** 可能蒸発散量算出プログラム *****
C MC:メッシュコード, T(1)~T(12) = 月別気温 (°C)
C E(1)~E(12) = 月別蒸発散量 (cm)
C 【ソーンズウェイトの式】
C E=1.6*((10*T/TE)**A) ----- (3)
C A=(492390+17920*TE-77.1*TE**2+0.675TE**3)*10**(-6)
C TE: 月々の (T/5)**1.514 の合計値
C (3)式は 0~26.5°C の範囲で有効, 0°C以下の月は E=0.0
C 26.5°C以上の月は E=-0.04325*T**2+3.22439*T-41.58522
C 【月別の昼の長さ補正值】
C DT34(1)~DT34(12) = 北緯33° 30' ~34° 29' の補正值
C DT35(1)~DT35(12) = 北緯34° 30' ~35° 29' の補正值
C-----*-----
      REAL*8 E(12),T(12),TE,A,B,C,DT34(12),DT35(12),TOTAL
      DIMENSION KK(12)
      DATA DT34/0.88,0.85,1.03,1.09,1.20,1.20,
+          1.22,1.16,1.03,0.97,6.87,0.86/
      DATA DT35/0.87,0.85,1.03,1.09,1.21,1.21,
+          1.23,1.16,1.03,0.97,0.86,0.85/
1 DO 10 I=1,12
   E(I)=0.0
   T(I)=0.0
   KK(I)=0
10 CONTINUE
   READ(10,'(I8,12F4.1,74X)',END=900)MC,(T(I),I=1,12)
   TE=0.0
   DO 20 J=1,12
     IF (T(J) .LE. 0.0) THEN
       KK(J)=0
     ELSE
       IF (T(J) .GE. 26.5) THEN
         KK(J)=26
       ELSE
         KK(J)=J
       END IF
       TE=TE+(T(J)/5.0)**1.514
     END IF
20 CONTINUE
   B=TE**2
   C=TE**3
   A=(492390.0+17920.0*TE-77.1*B+0.675*C)*10.0**(-6)
   DO 30 K=1,12
     IF (KK(K) .EQ. 0) GO TO 2
     IF (KK(K) .EQ. 26) GO TO 3
     E(K)=1.6*((10.0*T(K))/TE)**A
     GO TO 30
2   E(K)=0.0
   GO TO 30
3   E(K)=-0.04325*T(K)**2+3.22439*T(K)-41.58522
30 CONTINUE
   MM=MC/100
   TOTAL=0.0
   DO 40 J=1,12
     IF ((MM .LE. 513257).OR.
+      (MM .GE. 513320 .AND. MM .LE. 513353)) THEN
       E(J)=E(J)*DT34(J)
     ELSE
       E(J)=E(J)*DT35(J)
     END IF
     TOTAL=TOTAL+E(J)
40 CONTINUE
   WRITE(20,'(I8,13(F5.2))')MC,(E(J),J=1,12),TOTAL
   GO TO 1
900 STOP
END

```

付録2 経緯度から地域メッシュコードを算出するプログラムのリスト

```

C***** 地点のメッシュコード算出プログラム (MS-FORTRAN) *****
C IDO: {IDO(1)=度 IDO(2)=分 IDO(3)=秒}
C KDO: {KDO(1)=度 KDO(2)=分 KDO(3)=秒}
C NAME: 地点名
C M(1),M(2)= 一次メッシュコード上2桁,下2桁
C M(3),M(4)= 二次メッシュコード上1桁,下1桁
C M(5),M(6)= 三次メッシュコード上1桁,下1桁
C M(7)= 1/2 分割メッシュコード
C---*---1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-
DIMENSION IDO(3),KDO(3),M(7)
CHARACTER NAME*12,OUTFL*14
WRITE(6,*)' 出力ファイル名?'
READ(*,'(A14)') OUTFL
IF(OUTFL.EQ.' ')GO TO 1
OPEN(16,FILE=OUTFL,FORM='FORMATTED')
WRITE(16,555)
555 FORMAT(7X,' 地点名',4X,
+ '北緯',8X,'東経',6X,'メッシュコード')
1 DO 11 I=1,3
DO 11 J=1,7
IDO(I)=0
KDO(I)=0
M(J)=0
11 CONTINUE
WRITE(6,*)' 地点名? (6文字以内,終了=ENTERキー)'
READ(*,'(A12)')NAME
IF(NAME.EQ.' ')GO TO 990
WRITE(6,*)' 北緯? (度分秒)'
READ(*,'(3I2)')(IDO(I),I=1,3)
AA=(IDO(1)*60.+IDO(2)+IDO(3)/60.)/40.
M(1)=INT(AA)
BB=(AA-INT(AA))*8.
M(3)=INT(BB)
CC=(BB-INT(BB))*10.
M(5)=INT(CC)
H=CC-INT(CC)
WRITE(6,*)' 東経? (度分秒)'
READ(*,'(I3,2I2)')(KDO(J),J=1,3)
DD=(KDO(1)*60.+KDO(2)+KDO(3)/60.)/60.
M(2)=INT(DD)-100
EE=(DD-INT(DD))*8.
M(4)=INT(EE)
FF=(EE-INT(EE))*10.
M(6)=INT(FF)
G=FF-INT(FF)
IF (H .GE. 0.5 .AND. G .GE. 0.5) GO TO 30
IF (H .GE. 0.5 .AND. G .LT. 0.5) GO TO 20
IF (H .LT. 0.5 .AND. G .GE. 0.5) GO TO 10
M(7)=1
GO TO 900
10 M(7)=2
GO TO 900
20 M(7)=3
GO TO 900
30 M(7)=4
C---*---1-----2-----3-----4-----5-----6-----7-
900 WRITE(*,500)
WRITE(*,600)NAME,(IDO(I),I=1,3),(KDO(J),J=1,3),(M(K),K=1,7)
500 FORMAT(/,7X,' 地点名',4X,
+ '北緯',8X,'東経',6X,'メッシュコード',/)
600 FORMAT(1H,6X,A12,2X,I2,'°',I2,''',I2,'"',
+ 2X,I3,'°',I2,''',I2,''' → ',2I2,4I1,'-',I1,/)
IF(OUTFL.NE.' ')GO TO 2
GO TO 1
2 WRITE(16,660)NAME,(IDO(I),I=1,3),(KDO(J),J=1,3),(M(K),K=1,7)
660 FORMAT(1H,6X,A12,2X,I2,'°',I2,''',I2,'"',
+ 2X,I3,'°',I2,''',I2,''' → ',2I2,4I1,'-',I1)
GO TO 1
990 STOP
END

```