

グアバのハウス栽培における 土壌水分動態と蒸発散量に関する研究

井上光弘*・野村安治*・矢野友久**

昭和61年5月31日受付

Study on the Soil Water Regime and Evapotranspiration from Guava (*psidium guajava*, L.) in the Greenhouse Culture

Mitsuhiro INOUE*, Yasuji NOMUMA* and Tomohisa YANO**

In order to monitor soil water regime and to estimate evapotranspiration from guava (*psidium guajava*, Linn) during the summer time, we made an experiment on water balance by using a lysimeter and a set of tensiometers. The method of estimation of evapotranspiration with a compartment model was proposed by considering upward water supply. Hydraulic conductivity necessary for this method was determined by the zero-flux plane method and the Jackson method. Evapotranspiration estimated by this proposed method was compared with the estimated values by the soil moisture depletion method.

Noticeable difference between evapotranspiration estimated from compartment model and the value determined by the soil moisture depletion method was not recognized, because upward water supply was comparatively small by the low value of hydraulic conductivity. The maximum daily evapotranspiration from guava was 7~8mm/day during the time when pan evaporation was heighest.

1 ま え が き

グアバ (*psidium guajava*, Linn) は、熱帯アメリカ原産のフトモモ科に属する常緑果樹である。果実重は一果約100~200gで、ビタミンCの含量は、新鮮青果の果肉100g当り100~260mgと果物中で最高に近く、生食用あるいは加工用に利用範囲が広い。葉は茶として糖尿病あるいは高血圧に効果があり、商品としての利用価値が高い。また、グアバは、生育する土壌の適、不適がなく、

病虫害も極めて少なく、栽培が容易であることから、過剰生産に悩むミカンの代替作物として、また、水田転作物として栽培され、注目を集めている。元来、グアバは熱帯性果樹であるが、品種改良によって耐寒性を有する品種が開発され、わが国でも、農林水産省の農業改良苗に指定され、すでに九州、四国、中国、近畿、東海、関東地方で栽培されている。しかしながら、グアバ栽培における生育環境および水消費に関する基礎的研究は、ほとんど見当たらない現状である。筆者らは、前報¹⁾でグア

* 鳥取大学農学部農業工学科農業水理学研究室
Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University
** 鳥取大学農学部附属砂丘利用研究施設水文かんがい部門
Sand Dune Research Institute, Faculty of Agriculture, Tottori University

バの生産環境について、とくに耐寒性グアバの鳥取における栽培の可能性について検討した。ここでは、グアバの水消費について、ライシメータとテンシオメータを用いて若干の実験を行ったので報告する。

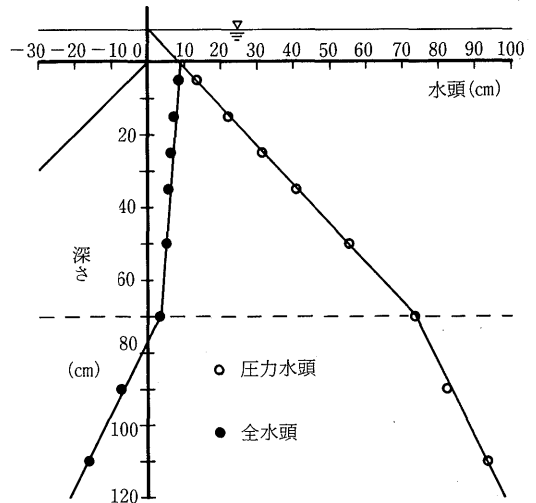
本研究は、グアバのハウス栽培における夏期の土壌水分動態を把握し、蒸発散量を推定することを目的として実験を行ったものである。一般に、水収支法による蒸発散量の推定には、有効土層内の土壌水分貯留量の変化と下方からの補給水量あるいは下方への浸透水量を明らかにする必要がある。

本論文では、まず、計算に必要な測定対象土層を決定し、土壌水分特性曲線を求めて、ゼロフラックス面を有する水収支法⁴⁾(以下、ゼロフラックス法という)とJackson法⁵⁾を適用して、地下水面から有効土層への方からの水分フラックスに關与する不飽和透水係数を求めた。次に、テンシオメータを用いて土壌水分動態を測定し、Sarmaらの水収支計算モデル³⁾を改良したコンパートメントモデルを用いて、下方からの補給水量と蒸発散量を推定した。さらに、得られた蒸発散量と、土壌水分減少法、地下水位を設定したライシメータによる蒸発散量および計器蒸発量と比較し、夏期のグアバの蒸発散量の推定を試みた。

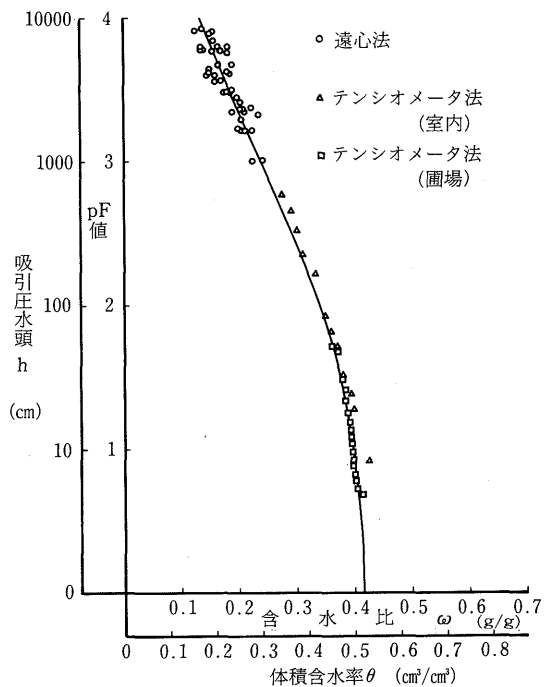
2 測定対象土層と不飽和透水係数の決定

有効土層への方からの水分フラックスを決定するためには、あらかじめ全水頭勾配と不飽和透水係数を求める必要がある。不飽和透水係数を決定する実験では、縦5 m、横5 m、深さ2 mの排水収支型ライシメータを用い、ライシメータ全体に対して、降雨遮断のため、縦6.4 m、横7.8 m、高さ3.5 mのビニールハウスを設けた。ライシメータ内の土壌は、器械分析によると、深さ130 cmまでは砂分68%、シルト分17%、粘土分15%の砂質壤土であり、下層は、川砂と玉砂利のフィルターである。ライシメータの中央に、直径1.8 mの円周上で深さ5、15、25、35、50、70、90、110、130 cmに、それぞれ3組のテンシオメータを埋設した。5 m × 5 mのライシメータに給水し、排水収支型ライシメータの排水口バルブを調節して、湛水定常浸潤状態を形成した。第1図に、湛水深が9 cmで、定常浸潤量が15.55 cm/dayの場合の圧力水頭プロファイルおよび全水頭プロファイルを示した。その結果、湛水定常浸潤状態での平均全水頭勾配と透水係数が、それぞれ、深さ70 cmまでの土層では-0.077と202.0 cm/dayで、深さ70 cm~110 cmの土層では-0.481と32.3 cm/dayとなり、同じ砂質壤土でも異なった浸透特性を示した。そこで、今回、実験に使用したライシメータの土壌は、第1図に示した湛水定常浸潤状態の全水頭プロファイルの実験結果か

ら、深さ70 cmまでの土層が均一であるとみなされること、また、この土層がグアバの根群域を十分に包括していることから、これを計算に必要な測定対象土層とした。



第1図 湛水定常浸潤状態における圧力水頭プロファイルと全水頭プロファイル



第2図 測定対象土層の土壌水分特性曲線

測定対象土層の土壌水分特性曲線は、遠心法と室内実験で得られたテンシオメータ法の結果、および湛水定常浸潤状態後における内部排水法の圃場実験で得られたテンシオメータ法の結果から、第2図に示すように、滑らかな曲線で描かれ、含水比 ω は、

$$\omega = 0.425 / \{ 1 + (0.004 h)^{0.6} \}^{0.49} \quad (1)$$

なる実験式で与えられた。ここで、 h は土壌水の吸引圧水頭である。下方からの補給水量を推定するための不飽和透水係数の推定値は、室内実験のJackson法¹⁾と圃場実験のゼロフラックス法⁴⁾を採用した。

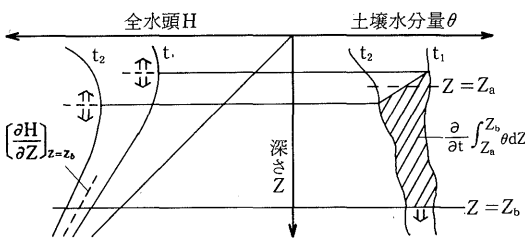
Jackson法では、土壌水分特性曲線の水分量の軸を等間隔に29個に分割し、それぞれの増分の midpoint の水分量に対応する圧力水頭 h_j を得ると、不飽和透水係数 K_1 は、

$$K_1 = K_s \left(\frac{\theta_j}{\theta_s} \right)^P \frac{\sum_{j=1}^m [(2j+1-2i)h_j^{-2}]}{\sum_{j=1}^m [(2j-1)h_j^{-2}]} \quad (2)$$

なる式で与えられる。ここで、 K_1 は体積含水量 θ_j に対応する不飽和透水係数、 K_s は飽和透水係数、 θ_s は飽和水分量、 P は実験係数、 m は分割数、 h_j は j 番目の吸引圧水頭である。

ゼロフラックス法では、湛水定常浸潤状態後の排水過程において、定容積採土法とテンシオメータ法によって、それぞれ土壌水分量と吸引圧水頭の経日変化を測定した。第3図に示すように、時間 t_1 と時間 t_2 の土壌水分プロファイルと全水頭プロファイルを描き、ゼロフラックス面の深さ Z_a を推定すると、ある深さ Z_b の不飽和透水係数 K が求まる。つまり、ダルシー則と連続の式から、全水頭を H 、水分フラックスを Q 、深さを Z 、時間を t とすると、

$$Q = -K \frac{\partial H}{\partial Z} \quad (3)$$



第3図 ゼロフラックス法の説明図

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = -\frac{\partial Q}{\partial Z} \quad (4)$$

となり、(3)式を(4)式に代入すると、

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial Z} \left(K \frac{\partial H}{\partial Z} \right) \quad (5)$$

なる式が得られる。(5)式を Z_a 、 Z_b ($Z_a < Z_b$) について積分すると、

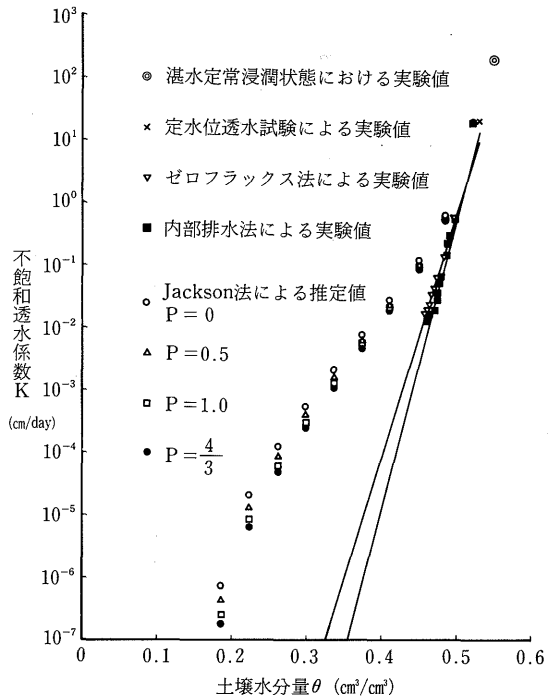
$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{Z_a}^{Z_b} \theta dz = \left[K \frac{\partial H}{\partial Z} \right]_{Z=Z_b} - \left[K \frac{\partial H}{\partial Z} \right]_{Z=Z_a} \quad (6)$$

となる。ここで、 $Z=Z_a$ はゼロフラックス面であるから、

$$\left[K \frac{\partial H}{\partial Z} \right]_{Z=Z_a} = 0 \quad (7)$$

したがって、深さ Z_b の不飽和透水係数 K は、

$$K = \frac{\frac{\partial}{\partial t} \int_{Z_a}^{Z_b} \theta dz}{\left[\frac{\partial H}{\partial Z} \right]_{Z=Z_b}} \quad (8)$$



第4図 種々の方法で求めた不飽和透水係数

で与えられる。すなわち、第3図に示すように深さ Z_a と Z_b の間で土壤水分貯留量の時間的変化と深さ Z_b の平均全水頭勾配を測定することによって、不飽和透水係数が(8)式を用いて決定できる。また、(8)式において、 $Z_a=0$ とした場合、つまり土壤表面をビニールシート等で被覆して土壤表面フラックスをゼロにした場合を内部排水法という。

Jackson法、ゼロフラックス法および内部排水法による不飽和透水係数の推定値を、第4図に比較した。ここで、Jackson法で使用した飽和透水係数 K_s と飽和水分量 θ_s には、それぞれ、定水位透水試験によって求めた実験値、19.8cm/dayと $0.53\text{cm}^3/\text{cm}^3$ を採用し、これを第4図に×印で示した。Jackson法では、実験係数 P として、 $P=0, 0.5, 1.0, 4/3$ を採用した。これらの推定結果を比較すると、 $P=0$ の不飽和透水係数がわずかに大きな値となる

が、実験係数による大きな差異は認められなかった。

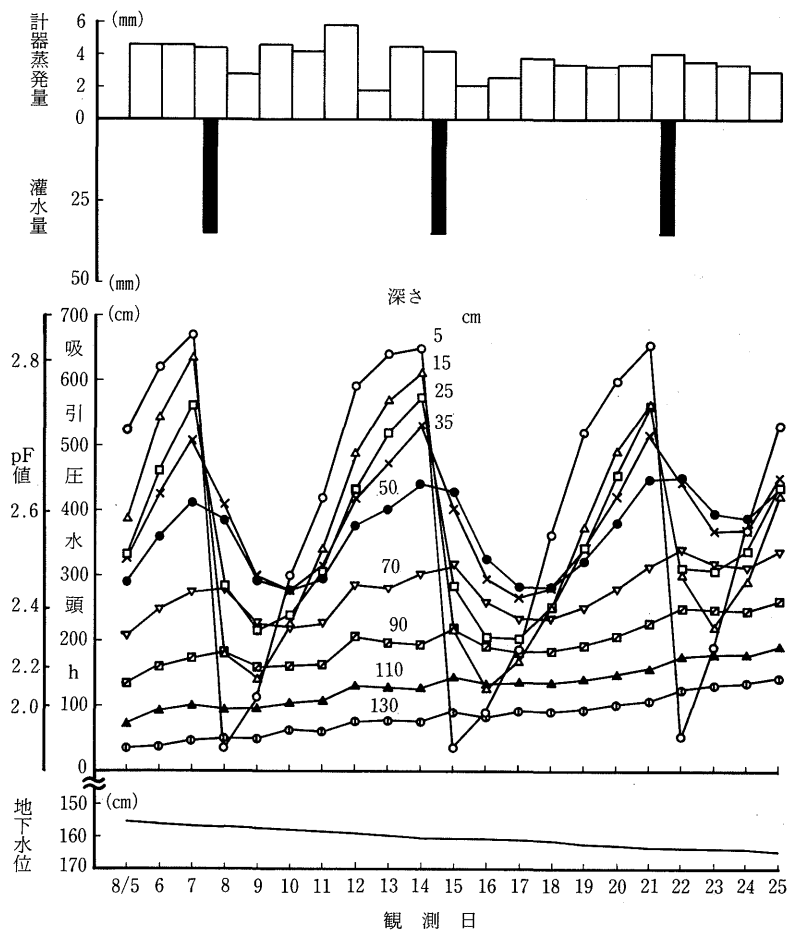
灌水定常浸潤状態の透水係数と土壤水分量は、それぞれ、 202cm/day と $0.55\text{cm}^3/\text{cm}^3$ で第4図に◎印で示した。灌水定常浸潤状態後の排水過程100日間の内部排水法の実験あるいはゼロフラックス法の実験では、深さ50cmの土壤水分量は約 $0.45\text{cm}^3/\text{cm}^3$ までしか乾燥しなかったため、それよりも低水分領域は、実験式で外挿することにした。内部排水法による不飽和透水係数 K の実験式は、

$$K = 13.3 \exp(107.6\theta - 57.0) \quad (9)$$

となり、また、ゼロフラックス法による不飽和透水係数 K の実験式は、

$$K = 9.9 \exp(90.0\theta - 47.7) \quad (10)$$

となった。これらの値をJackson法による不飽和透水係数の推定値と比較すると、飽和水分量付近では、両者は良

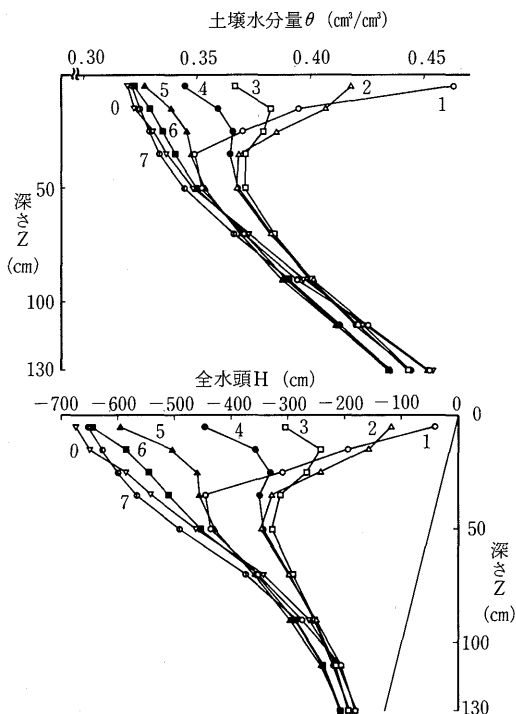


第5図 計器蒸発量，灌水量，吸引圧水頭，地下水位の経日変化

く一致しているが、土壌水分量が $0.4\text{cm}^3/\text{cm}^3$ 付近では、Jackson法による不飽和透水係数の推定値が、(9)式あるいは(10)式によって外挿した値よりも、約 10^3 倍も大きい値となることが認められた。

3 土壌水分動態

排水収支型ライシメータの排水口に地下水位を設定できる装置を設け、ライシメータ内に樹高が140cm程度の9本の6年生グアバを、植生間隔が1.7mになるように正条植えにした。中央のグアバから半径90cmの円周上に、それぞれ3組のテンシオメータを深さ5, 15, 25, 35, 50, 70, 90, 110, 130cmに埋設して、深さ別の吸引圧水頭 h を測定した。ライシメータ内の計器蒸発量は、内径20cmの8個の蒸発計とメスシリングを用いて測定し、灌水量はシャワー付のホースに市販の流量メータを取付けて測定した。地下水位は排水口のピエゾメータで測定し、ライシメータからの排水は、設定した地下水位(深さ130cm)よりも、地下水が浅くなったときに生じるもので、排水量はポリ容器とメスシリングを用いて測定することにした。



第6図 一灌漑期間の土壌水分プロフィールと全水頭プロフィールの経日変化(昭和60年8月7日~8月14日)

これらの値は昭和60年6月12日から9月10日まで毎朝8時に測定した。実験期間中の灌水量と計器蒸発量の経日変化を後述する第8図の一部に示した。ここで、計器蒸発量については、半旬移動平均値をプロットした。灌水量は実験期間の後半には、不足がちであったため、徐々に灌水量を増やした。計器蒸発量の傾向を検討すると、6月20日頃から7月17日頃までが比較的小さい値であり、8月上旬が最大となった。

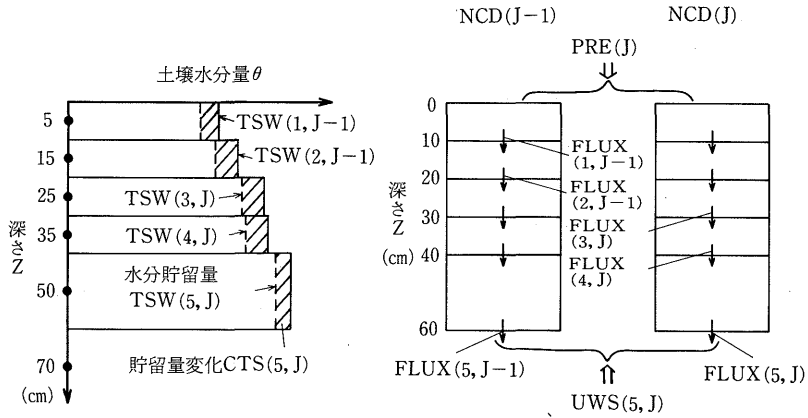
グアバのハウス栽培において、ライシメータ内の土壌水分動態を把握するために、計器蒸発量が大きく、灌水量が一定である8月5日から8月25日までの実験結果を第5図に示した。この期間は、1回の灌水量を35mm、間断日数を7日、日消費水量を5mmに設定して実験を行った。その結果、経日変化に伴って、浅層の吸引圧水頭 h は、それぞれ灌漑期間中で比較的規則正しく変化しているが、深さ50cm以上の土層の吸引圧水頭 h (pF値にも換算)は、全体的に徐々に大きくなっていることが観測された。この期間中、排水量は全くなく、地下水位も低下していることから、日消費水量は5mm以上であることが推定される。

土壌水分動態をより詳しく知るために、8月7日から8月14日までの、テンシオメータで測定した土壌水分プロフィールと全水頭プロフィールの経日変化を第6図に示した。その結果、深さ0~50cmの層では、浸透速度が遅いため浸潤現象と乾燥現象が混在する再分布過程が認められた。このことは土壌水分減少法では計算に要する期間のとり方に注意が必要であることを示唆している。また、深さ0~50cmの層では土壌水分移動が著しく、50cmより深い層では吸引圧水頭の変化も小さく、常に上向きのフラックスがあることが認められる。つまり、灌漑水は、ほとんど深さ50cmまでの土層で消費されていることが確認された。また、深さ50cm以上の土壌中の水分も、上向きの土壌水分フラックスとして、深さ50cmまでの土壌水分消費に寄与していることが認められる。

4 蒸発散量の推定

蒸発散量を推定する方法には、いろいろな方法があるが、本研究では、Jackson法とゼロフラックス法によって不飽和透水係数を推定し、Sarmaらの水収支計算モデル³⁾を改良したコンパートメントモデルを用いて蒸発散量を推定する方法を試みた。

土壌プロフィールは、第7図に示すように、コンピュータによる根群域内の水収支計算³⁾と、わが国で慣用されている土壌水分減少法に基づいて、深さ0~60cmに設定し



第7図 コンパートメントモデルの説明図

た有効土層を5つの領域、つまり、0～10cm, 10～20cm, 20～30cm, 30～40cm, 40～60cmに分割した。また、この分割した領域の中央に相当する深さ5, 15, 25, 35, 50 cm, および70cmにテンシオメータを埋設し、領域内の平均的な吸引圧水頭と土壌水分量の経時変化を追跡できるようにした。

領域内の土壌水分移動がダルシー則に従うと考えて、各領域間の下向きの土壌水分フラックスは、(3)式から、 $FLUX(I, J) = -K(\Delta H/\Delta Z)$ で与えられる。ここで、Iは領域の上方からの番号、Jは測定日の番号である。また、下方からの補給水量 $UWS(I, J)$ は、第

7図に示すように、各領域でJ番目と(J-1)番目の測定日の間に生じるものであり、土壌水分フラックスの平均と、これら2つの実際の時間間隔との積で与えられる。つまり、下方からの補給水量は、有効土層を深さ60 cmとすると、 $UWS(5, J) = -0.5 \cdot [FLUX(5, J-1) + FLUX(5, J)] \cdot [NCD(J) - NCD(J-1)]$ で与えられる。各領域内の土壌水分貯留量は、圃場で測定した吸引圧水頭の値から土壌水分特性曲線を用いて土壌水分量を求め、これと領域の厚さ ΔZ との積として計算される。第7図に示されるように、(J-1)番目の測定日の有効土層内の水分貯留量 $TSW(5, J-1)$ は、5

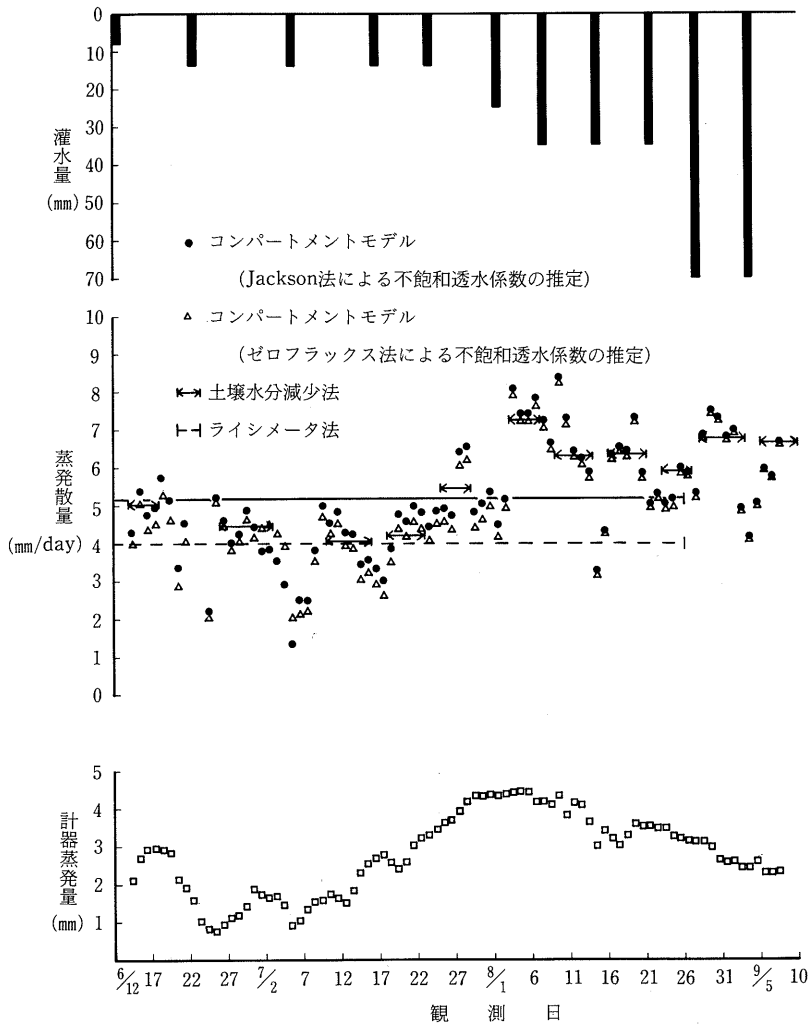
第1表 コンパートメントモデルによる蒸発散量の推定と土壌水分減少法との比較

測定日	透水係数 K (cm/day)		全水頭 勾配 $\Delta H/\Delta Z$	消費水量 CTS (cm)	下方からの補給水量 UWS (mm)		蒸発散量 ET (mm)		計器 蒸発量 EP (mm)
	Jackson法	ゼロフラックス法		土壌水分 減少法	Jackson法	ゼロフラックス法	Jackson法	ゼロフラックス法	
8月9日	5.84E-3	1.05E-5	-2.51	○	—	—	○	○	—
8月10日	6.31E-3	1.27E-5	-1.86	7.0 (1.53)	1.32E-1	2.49E-4	7.2 (1.56)	7.0 (1.53)	4.6
				7.2 (1.72)			7.4 (1.75)	7.2 (1.72)	4.2
8月11日	5.93E-3	1.09E-5	-2.11	10.5 (1.80)	1.38E-1	1.94E-4	10.6 (1.83)	10.4 (1.80)	5.8
				3.9 (2.18)			4.1 (2.27)	3.9 (2.16)	1.8
8月12日	3.60E-3	3.26E-6	-3.62	計 28.7	計 5.56E-1	計 8.40E-4	計 29.2	計 28.6	計 16.4
8月13日	3.48E-3	3.34E-6	-5.08	7.2 (1.75)	1.39E-1	2.10E-4	7.3 (1.78)	7.2 (1.75)	4.1
平均	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注) 有効土層は60cm, 蒸発散量ET=消費水量CTS+下方からの補給水量UWS, ()内は蒸発散比 (ET/EP) の値

つの領域の土壌水分貯留量を全て加えたものであり、次のJ番目の測定日の有効土層内の水分貯留量TSW(5, J)との差が貯留量変化CTS(5, J)である。つまり、 $CTS(5, J) = TSW(5, J-1) - TSW(5, J)$ となる。貯留量変化CTS(5, J), いわゆる消費水分量は、灌水量PRE(J), 下方からの補給水量UWS(5, J), 蒸発散量ET(5, J)との間に質量の保存則が成立する。したがって、J番目と(J-1)番目の測定日の間に生じた日蒸発散量は、 $ET(5, J) = [PRE(J) + CTS(5, J) + UWS(5, J)] / [NCD(J) - NCD(J-1)]$ で計算される。

そこで、昭和60年8月9日から8月13日までの実験データに対して、不飽和透水係数をJackson法とゼロフラックス法で推定し、それぞれ、上述のコンパートメントモデルを用いた場合の蒸発散量の推定値、および下方からの補給水量を考慮しない土壌水分減少法による消費水量の推定値を、第1表の○印の欄に示し比較した。その結果、蒸発散量の推定値をそれぞれ比較すると、ゼロフラックス法よりもJackson法による不飽和透水係数を用いた方が0.2mm程度多い値を示している。これは、全水頭勾配が同一であるから、当然、Jackson法による不飽和透水係数の推定値が大きいことに起因している。また、土壌水分



第8図 灌水量，蒸発散量，計器蒸発量の経日変化

減少法による消費水量とゼロフラックス法による蒸発散量の推定値は、ほぼ同じ値となっている。これは、ゼロフラックス法を用いた場合、下方からの補給水量が極めて小さかったことを意味している。いずれにしても、今回の実験では、不飽和透水係数の値が小さいため、下方からの補給水量を考慮しなくても、蒸発散量ETの推定値には大きな違いが認められなかった。計器蒸発量EPとの比、つまり、蒸発散比(ET/EP)は、この期間、約1.75であった。

次に、全実験期間(昭和60年6月12日から9月10日)のコンパートメントモデルによる蒸発散量と計器蒸発量を第8図に半旬移動平均値で示した。また、従来から慣用されている土壌水分減少法のデータを、各灌漑期間毎に求め、第8図に矢印で示した。その結果、コンパートメントモデルによる蒸発散量は、不飽和透水係数に関して、Jackson法による推定値(第8図中●印)とゼロフラックス法による推定値(第8図中△印)とでは大差がなく、また、各灌漑期間毎に求めた土壌水分減少法による消費水量と比較しても、大差がないことが認められる。これらの経日的な変動は、計器蒸発量の経日変化とほぼ同様の変動を示し、蒸発散量は、8月上旬に、7~8mm/dayの値を示した。また、蒸発散比は、8月中旬までは、1.5から2.0程度であるが、8月下旬から9月上旬にかけての蒸発散比は約2.7となり、計器蒸発量が減少しても蒸発散量は減少する傾向をみせなかった。これは、灌水量が増加したことと、葉面積指数が実験期間前後で0.35から5.54へと変化し、8月中旬から急激に大きくなったことと関連しているものと推察される。ここで、葉面積は、葉の長辺と短辺の長さとの測定値から推定し、葉面積指数は全葉面積をライシメータの面積(25m²)で除して求めた。

ライシメータを用いた長期間の水収支法による蒸発散量の推定値は、ライシメータからの排水量がなかったので、灌水量の総和と地下水位低下量のデータ、および土壌水分貯留量の変化から計算できる。例えば、地下水位の変動を測定した6月12日から8月26日までの75日間を対象にして、長期間の水収支計算を行うと、次の結果が得られた。灌水量の総和は194mmとなり、灌水量による消費に対する寄与は2.6mm/dayとなる。地下水位は深さ135.9cmから深さ164.5cmへと28.6cm低下しており、仮にフィルタ部の有効間隙率を37%とすれば、105.8mmが消費されたことになり、地下水位低下による消費に対する寄与は1.4mm/dayとなる。つまり、灌水量と地下水位低下量のデータから、75日間の日平均蒸発散量を求めると4mm/

dayとなり、これを第8図中に点線で示した。また、深さ130cmまでの土壌水分貯留量は、6月12日には597.1mm、7月20日には591.9mmと、それほど減少していないが、7月下旬から蒸発散が盛んになり、8月26日には505.4mmとなった。この土壌水分貯留量の減少量91.7mmから計算すると、75日間の土壌水分貯留量の減少による消費に対する寄与は1.2mm/dayとなる。したがって、長期間の水収支法で、計算期間の前後の土壌水分貯留量の変化を考慮すると、75日間の日平均蒸発散量は5.2mm/dayとなり、これを第8図中に実線で示した。一方、コンパートメントモデルによる75日間の蒸発散量の総和から推定した日平均蒸発散量は、不飽和透水係数をJackson法によって計算した場合は5.0mm/dayとなり、ゼロフラックス法によって計算した場合は4.8mm/dayとなった。これらの値を土壌水分貯留量の変化を考慮した長期間の水収支法による蒸発散量と比較してみると、かなり良く一致していることが認められた。

3 ま と め

本研究では、ライシメータとテンシオメータを用いて、グアバ栽培における土壌水分動態を明らかにし、コンパートメントモデルを用いて、グアバの蒸発散量の推定法を試みた。

グアバのハウス栽培における夏期の蒸発散量は、灌水量あるいは生育量等の影響を受けるけれども、8月上旬の計器蒸発量のピーク時に、最大で1日当たり7~8mmであることが示された。また、Jackson法とゼロフラックス法のいずれにしても、不飽和透水係数の推定値が小さいため、今回の実験では、下方からの補給水量が小さく、土壌水分減少法による消費水量と、コンパートメントモデルによる蒸発散量の推定値とに差が認められなかった。さらに、土壌水分貯留量の変化を考慮した長期間の水収支法による日平均蒸発散量とコンパートメントモデルによる長期間の日平均蒸発散量を比較した結果、かなり良く一致し、本研究で試みたコンパートメントモデルによる蒸発散量の推定法の有効性が示唆された。

しかしながら、これから検討すべき問題も多い。今回の実験では、有効土層を60cmとしたが、グアバの生育に伴って根群域も深くなるので、今後、根の分布調査を行い、活性化根群域を把握するとともに、有効土層の変化を考慮した方法を検討する必要があると思われる。また、実験前後だけでなく、2週間に1回程度の割合で、生育指標としての葉面積指数の測定を行い、蒸発散量と葉面積指数との関係も明らかにしていく必要がある。

さらに、本実験の場合のように、同一土壌プロファイル内に浸潤過程と乾燥過程が混在する場合には、各コンパートメント内の土壌水分貯留量が大きく変化するので、どの程度の時間間隔で、また、どの程度の距離間隔でテンシオメータを測定すれば、所定の精度で土壌水分貯留量を把握できるかという問題を検討する必要がある。

最後に、本実験のため協力してくれた農業水文学研究室の専攻生、浦柄周二君に深く感謝の意を表すとともに、本研究が科学研究費（一般研究B『ハウス内の果樹栽培における水消費機構の解明と水管理方式に関する研究』：代表者・野村安治）の補助によって遂行されたことを付記する。

文 献

- 1) Jackson, R. D. : On the calculation of hydraulic conductivity, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, **36**, 380—382 (1972)
- 2) 野村安治・長谷川紘一・井上光弘：グアバ果樹の生育環境について、第37回農業土木学会中国四国支部講演要旨，70—71 (1982)
- 3) Sarma, P. B. S., Rao, N. H. and Rao, K. V. P. : Calculation of water balance in the crop root zone by computer, *J. Hydrol.*, **45**, 123—131 (1980)
- 4) Vachaud, G., C. Dancette, S. Sonko and J. L. Thony : Methodes de caracterisation hydrodynamique in-situ d'un sol non sature, Rapport IMG, IRAT, ISRA, 1—28 (1977)