

## 土壌の物理性と畑地灌漑計画用水量の検討

駒 村 正 治\*

Consideration of soil physical properties  
and upland water requirement

Masaharu KOMAMURA

Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture

### 1. まえがき

我が国は比較的湿潤気候下にあり、適当な降雨量が存在する。従って我が国の畑地灌漑は作物の生育に必要な水分のうち、降雨のみでは不足する分を補う補給灌漑が主体であり、乾燥地のように作物に必要な水分の大部分を灌漑によって供給する場合は灌漑計画が異なる。

一方、今後の畑地灌漑事業を考えると、新規水源開発の困難化、取水・送配水のための高揚程ポンプの導入に伴う施設建開費や維持管理費の高騰化など、種々の困難な問題が予想される。

本資料は、我が国の畑地灌漑の実態が計画と比較して使用量が少ないという実情<sup>1)</sup>をふまえ、計画用水量をいかに縮小させるかを主眼とし、土壌の物理性に係わる部分について、具体的事例を示しつつ検討したものである。

### 2. 計画用水量縮小のための検討項目

畑地灌漑の計画用水量縮小を可能とする事項として、以下の項目が考えられる。

(1) 日消費量の縮小…畑作物の消費水量の測定精度を向上させ、計画用水量縮小の可能性を追求することである。作物の消費水量の測定は、土壌が湿潤な状態を始点として連続干天期間において実施する例が多く、そのため日消費量は概して大きい値を採用している傾向である。極端な場合には、重力水として下方へ降下浸透した水分量が消費水量に含まれている場合もある。また、ライシメータやチャンパー法など、有効土層深部ないしそれ以下の土層からの毛管補給水を考慮しない条件下の測定でも消費水量が大きい値となりやすい。

しかし連続干天期間中でも曇天日や無効雨量の少降雨日などの蒸発散量の少ない日や土壌水分量が少ない条件下での消費水量は少ない傾向にある。従ってこのような条件下で測定した値を含めた消費水量の平均値を採用することによって、計画用水量の縮小が考えられる。

(2) 有効雨量の拡大…現行基準<sup>2)</sup>では、有効雨量の下限を5mmとし、5mm未満の降雨を無効としているが、5mm未満の降雨でも土壌水分増加に役立ったり、蒸発散量の抑制となったりする。このため有効雨量の下限値の引き下げについて検討する必要がある。

TRAM範囲内の雨量はその大部分が土層中に浸透する。それゆえ5mm以上の降雨に対しても一律に雨量の80%を有効雨量とするのではなく、降雨量から初期損失雨量を減じた値をもって有効雨量とするのが合理的であると考えられる。降雨のうち無効となるものは、地表流出分が主体であり、これは降雨強度、土壌の浸透性、土地の傾斜および地被状態などの影響を受け、実際には対象地で異なっているので実測によって確認すべきである。

(3) 有効水分量の増大…1回の灌水量や土層中に貯留される有効雨量は、TRAMに大きく依存している。このため、TRAMの増大による有効雨量の増加は、用水量の縮小へとつながるものと判断される。TRAMの増大は、生長有効水分量(RAM)の増大と土壌水分消費型(SMEP)の均等化である。

このためには、有効土層中の根群域は勿論のこと水分補給域の土壌の構造を発達させ、毛管間隙量の増加と水分移動の促進を図ることが必要である。

(4) 計画基準年の再検討…現行の計画基準年は、10年に1回程度の確率で発生する少降雨年や連続干天数発生

\*東京農業大学農学部

年として決定され、この年の降水量に基づいて計算した必要水量をもって計画用水量としている。このため、計画基準年以外の年では、降水量が多く、灌水量が少なくなる。そこで、計画基準年を $1/10$ 非超過確率年から $1/5$ ないし $1/3$ とすれば、降水量が多くなり、計画用水量が縮小する。

少降雨年でも節水的灌漑方法によって畑作物の干バツ被害をかなり押えることができるから、この点に関しては、畑地灌漑施設のコストと灌漑効果の面から検討されている。

(5) 灌漑効率の向上…末端の圃場灌漑施設を改善して、灌漑効率を高める。たとえば点滴灌漑を導入して作物に必要な部分のみに灌漑して、用水量を縮小する。また、スプリンクラー灌漑法では水適用効率の向上（灌水の土壌中拡散による土壌水分分布の均等化）による用水量の縮小が考えられる。

(6) 作付率・栽培方法による対応…畑地灌漑事業の受益全面積に対して、灌漑対象作物は必ずしも100%とはならず、灌漑対象作物でも栽培期間全部を通じて灌漑を必要とせず、灌漑不要期間があるのが一般的である。とくに、イヤ地対策や地力維持・増強のため輪作体系<sup>3)</sup>を考慮し、クリーニングクロープ（清浄作物で主に禾木科作物）を導入すると灌漑の必要度が低くなる。このため、将来の営農計画を想定し、導入作物の推定によって期間別に灌漑必要面積を算定し、計画用水量を求める。

栽培方法に関しても、マルチ栽培による土壌面蒸発の抑制や少量灌漑による低水分節理によって消費水量の低減が可能である。

計画用水量の縮小をはかるため列挙した項目のうち、土壌の物理性に関連する項目を中心として次に具体的事例を紹介する。

3. 用水量縮小に関連する土壌の物理性

(1) 土壌水分量と消費水量およびSMEP

千葉県北総台地（黒ボク土）における野菜畑を対象として、土壌水分量（深さ10cm）と日消費水量の測定結果<sup>4)</sup>を図-1に示す。図-1から、土壌水分量が多い状態で消費水量が多く、土壌水分量が減少すると消費水量が少なくなることが判る。

図-2は東京農大厚木農場（神奈川県厚木市、黒ボク土の野菜圃場）におけるサトイモの場合の土壌水分量と蒸発散比の関係<sup>5)</sup>である。蒸発散比は、土壌水分状態に強く影響され、水分量の減少によって低下することが明らかである。従来、消費水量は土壌水分量が多い状態に

おける測定結果をもって採用している傾向であるので、RAM範囲内における乾燥側での測定値も加えて平均すれば、若干少ない値となる。

土壌水分量とSMEPの関係<sup>5)</sup>を図-3に示す。土壌水分量が多い状態では、表層部の消費水量が多く、表層消費型となり、土壌水分量が少ない状態では、表層での土壌面蒸発量の減少、作物の水分吸収の低下によって消費水量が少なく、下層消費型となる。RAM範囲内でのSMEPは、湿潤状態での表層消費型と乾燥状態での下層消費型と合わさった全層消費型の傾向となり、その結果TRAMが大きくなる可能性がある。

上述の具体例で示したように、土壌水分状態によって作物の消費水量およびSMEPが変化するため、TRAMや1回の灌水量および間断日数が変わってくる。このた

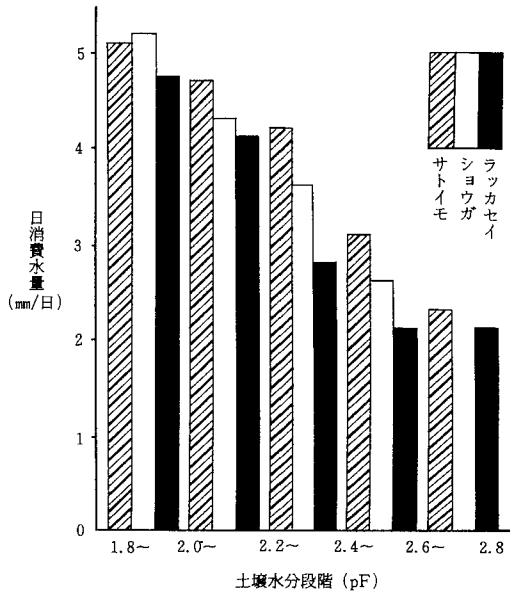


図-1 土壌水分と日消費水量（北総）

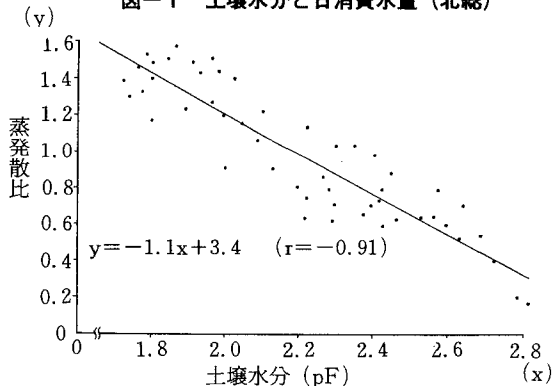


図-2 土壌水分と蒸発散比の関係（厚木農場サトイモ昭和58年）

め、灌漑開始時の土壌水分量をあらかじめ決定しておき、その場合でのRAM、消費水量およびSMEPを求める。いずれにしても、作物の消費水量は土壌水分状態に対して丹念に測定することによって、従来の結果と比較して少なくなる可能性がある。

(2) 有効雨量の拡大

現行基準による有効雨量の下限値である5mmについて、計画用水量の縮小という観点から検討する。図-4は新潟県津南町苗場山麓の黒ボク土野菜圃場における少雨量の降雨発生日の土壌水分増減量である。降雨があっても土層中の水分量の増加がみられない限界の降雨量は3mm程度と判断される。したがって、これ以上の降雨は土層内水収支に加わると考えられる。また、降雨日においても消費水量がある程度(実測値で1~2mm)存在するので、有効雨量の下限はさらに少なくなると思われる。このように5mm未満の少量の降雨は、土層内水収支に加わったり、日消費水量相当分を補給するので、この意味でも有効であると判断される。その他、普通畑、果樹園などでも、5mm程度の降雨量の有効性を示す事例が報告<sup>6)</sup>されている。

次に、5mm以上の降雨に対してその80%を有効雨量とする点について検討する。透水性の悪い重粘土地や傾斜地では、総降水量や降雨強度が大きくなると表面流出を生じ、無効雨量が多くなる。しかし、我が国の畑地は黒ボク土など概して浸透性の高い土壌が多く、TRAM程度の降雨はその大部分が土壌中に浸透するものと思われる。降雨強度についても、たとえばスプリンクラーの散水強度(10mm/hr程度)以下であれば十分浸透し、土壌中に貯留されるといえる。

このように、有効雨量は、畑地灌漑対象地の立地条件をふまえて個別の値を採用すべきであり、現地における土壌の物理性や土壌水分動態に関する十分な調査や観測

が必要である。

(3) 有効水分量の増大

降雨のうち土層中に貯留される水量はTRAMの影響を受け、有効雨量に差異が生じ、その結果、用水量にも影響する。一般にTRAMの増大は、有効雨量の増加をもたらすものと考えられる。この点を明らかにするためにシミュレーションによってTRAMを変えた場合の有効雨量と灌水量について試算した。検討の対象地は、群馬県赤城山麓の黒ボク土の畑地である。計画基準年は昭和35年であり、この年の7月13日~8月16日の前橋気象台の降雨データによった。灌漑は間断日数6日、1回の灌水量30mm、日消費水量(夏季ピーク値の平均)4.7mmとし、次式によって毎日の土壌水分量を計算した。

$$W_i = W_{i-1} - ET + IR + ER$$

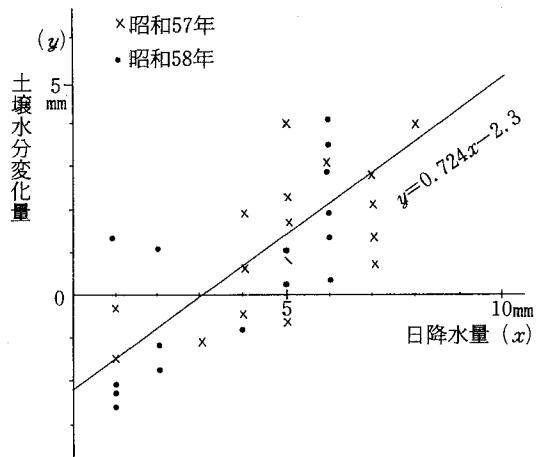


図-4 日降水量と土壌水分変化量の関係 (新潟県苗場山麓)

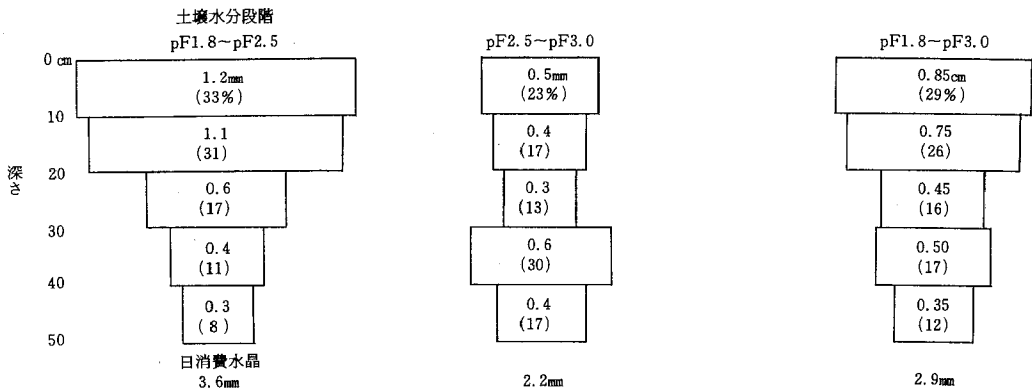


図-3 土壌水分と日消費水量および土壌水分消費型 (厚木農場サトイモ)

土壌の物理性と畑地灌漑計画用水量の検討

ここで、 $W_i$  = 当日の土壌水分量 (mm)

$W_{i-1}$  = 前日の土壌水分量 (mm)

ET = 当日の日消費水量 (mm)

IR = 当日 (灌水日の場合) の灌水量 (mm)

ER = 当日の有効雨量 (mm)

ただし、灌水日と降雨が重なった場合は、先に灌水し、なおTRAMに空容量があれば有効雨量を加える。また、灌水日は第1日目から6日目まで、すべての日に対して計算し、これらの平均値を求めた。

土壌水分量の変動の計算結果を図-5に示す。すなわちTRAMが異なっても1回の灌水と間断日数が同じであれば、土壌水分量が平行移動した形となって、有効雨量の増加、灌水量の減少に結びつかない。

そこで、1回の灌水量を変えた場合の検討を行なった。この結果は、表-1に示すように、1回の灌水量が少なくなるほど有効雨量が増大し、総灌水量が少なくなる。図-6に示すように、TRAMが大きい土壌では、少量灌漑によっても土壌水分が生長阻害水分点以下とならず、ここに節水灌漑の可能性が生じる。TRAMと有効雨量の関係は、灌漑操作 (間断数および1回の灌水量) に左右されるといえる。

#### (4) 少量灌漑による方法<sup>7)</sup>

前項で示したように、TRAMがある程度の大きさを

もっており、1回の灌水量を少なく設定することにより、有効雨量を増加することができ、灌水量節減の可能性がある。

その具体的試算例として、厚木農場において、計画基準年相当の降雨月 (昭和48年8月) の降水量に基づいてシミュレーションを行った。ここでのTRAMは実測値から30mmとし、図-2のpF-蒸発散比の関係と計器蒸発量から消費水量を求めた。計算に当り、日当り灌水量を4mm、7日間断28mm灌水とした。結果の1例を表-2に示す。この灌漑方法が現行の畑地灌漑の基本的な考え方であり、土壌水分量はTRAM範囲内で変動している。

次に、7日間断28mm灌水で日当り灌水量を3mm (1回の灌水量21mm) とした場合の計算結果の1例を図-7に示す。この例では、8月中旬の連続干天期間中に土壌水分が生長阻害水分点以下になってしまい計画上適当でな

表-1 TRAMおよび灌水量の差による総灌水量・有効雨量

| TRAM<br>(mm) | 1回の灌水量<br>(mm) | 期間雨量<br>(mm) | 有効雨量<br>(mm) | 総灌水量<br>(mm) | 備考 |
|--------------|----------------|--------------|--------------|--------------|----|
| 30           | 30             | 136          | 47           | 108          | ○  |
| 30           | 25             | 136          | 50           | 105          | ○  |
| 30           | 20             | 136          | 70           | 85           | ×  |
| 40           | 30             | 136          | 47           | 108          | ○  |
| 40           | 25             | 136          | 50           | 105          | ○  |
| 40           | 20             | 136          | 70           | 85           | ○  |

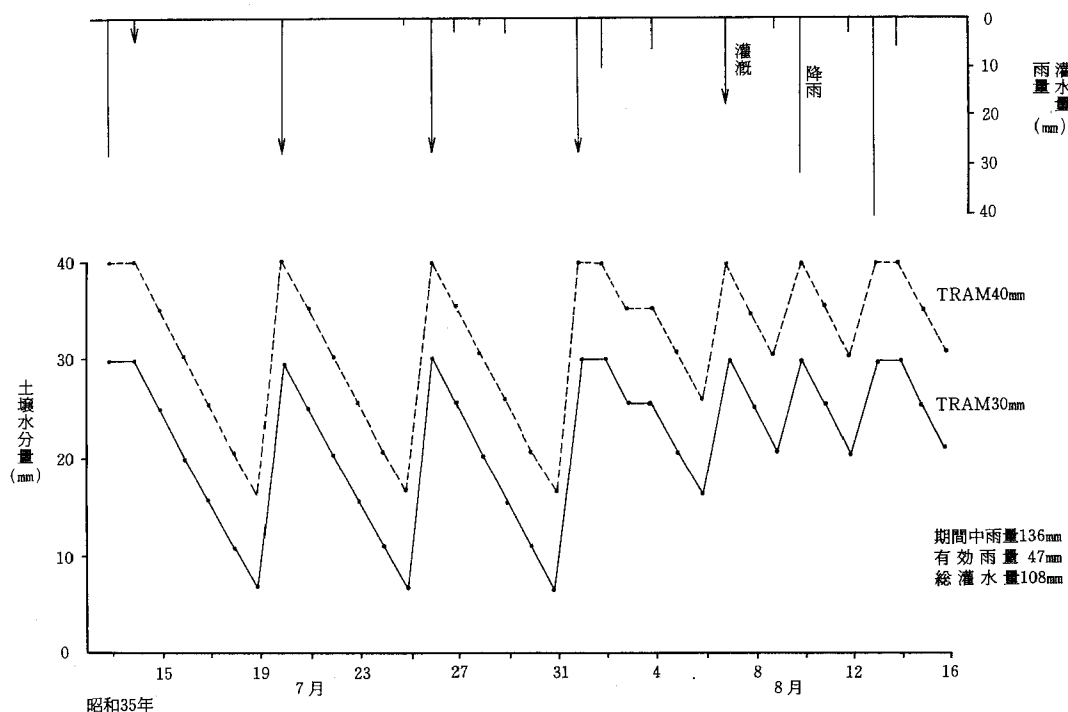


図-5 土壌水分量 (TRAM残量) 計算結果 (6日間断30mm灌水)

い。間断日数を短縮して、5日間断、15mm灌水とした場合の計算結果では（図-7参照）、土壌水分はTRAM範囲内で変動しており、生長阻害水分量まで減少しない。

種々の間断日数についての計算結果を図-8にまとめた。日当り3mm灌水では間断日数6日以下で、水分不足の危険性がなくなるが、有効雨量が減少し、総灌水量が増大し、灌水の初期損失量も増加し、用水量縮小の目的に沿わなくなる。このように、計画用水量縮小のためには、あまり間断日数を短くせず、土壌水分の不足が発生しない範囲での最大間断日数（本事例では6日間断）が妥当であると判断される。

#### (5) 24時間容水量の検討<sup>4)</sup>

RAMの上限は、かつては圃場容水量とされていたが、湿潤な我が国においては、実用的に上限を24時間容水量と定め、pFで1.5~2.0とされている。ここで黒ボク土（関東ローム表土）に対して、TRAM相当量の灌水によ

て有効土層の土壌水分量を24時間容水量（pF1.8）に復元する試験を行った。図-9に示すように、灌水終了24時間後の土壌水分量の分布は、一様にpF1.8とはならず、表層で低含水量、下層で高含水量となり、有効土層以下への降雨浸透量がかなり生じた。

またTRAMの60%灌水による土壌水分量は、表層ではTRAM灌水と同程度の水分量であり、下層への降水浸透が発生せず、灌漑水は有効土層中に止まり、貯留された（図-9参照）。

すなわち、黒ボク土のように透水性が良好な土壌における24時間容水量は、土層の位置によって異なり、従来値と比較して表層ではやや低含水比であり、pFで2.0~2.1程度になる。

このことから前項で述べた少量灌漑は、有効土層以下への降水浸透を防ぎ、無効灌水量をなくするという点からも重要である。

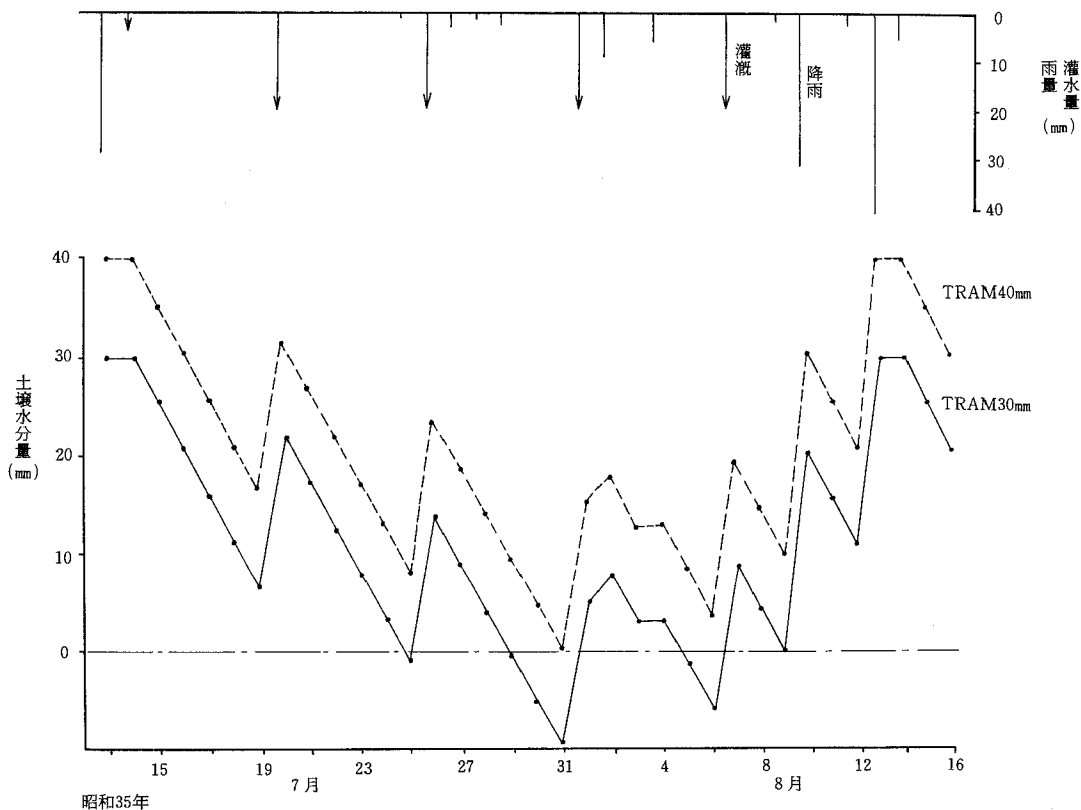
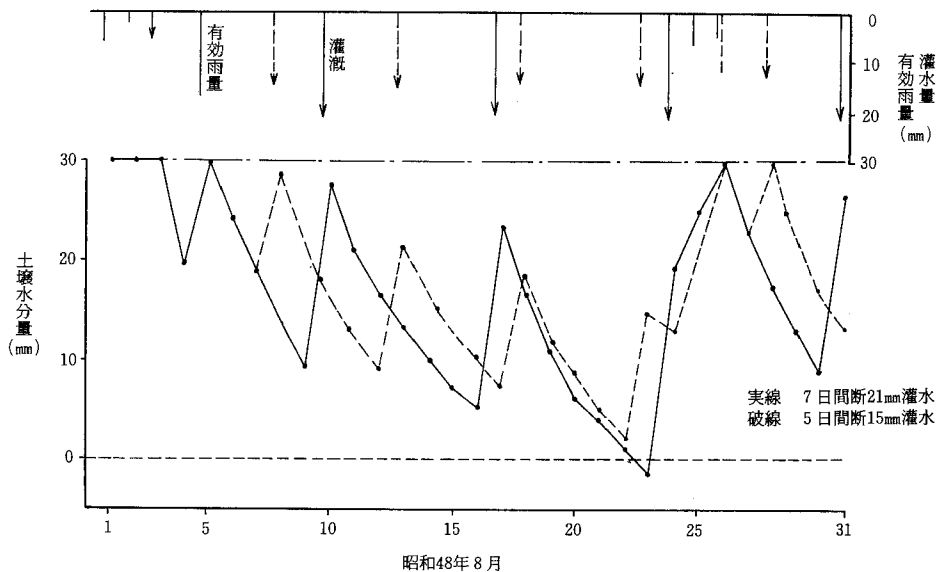
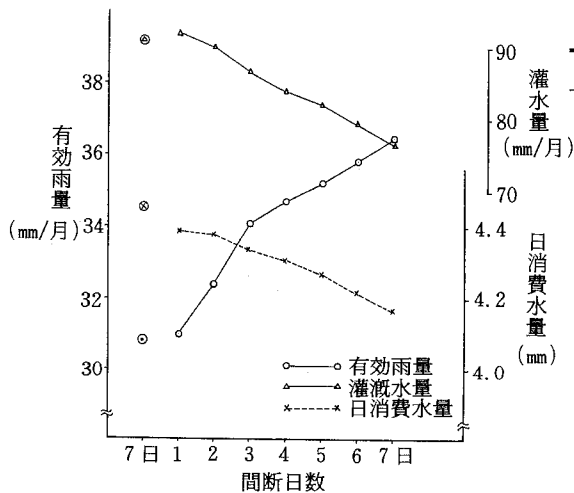


図-6 土壌水分量 (TRAM残量) 計算結果 (6日間断20mm灌水)

土壤の物理性と畑地灌漑計画用水量の検討



図一七 土壤水分量計算結果



図一八 間断日数と有効雨量，日消費水量の関係  
(日当り3mm灌漑)  
(◎印 日当たり4mm，28mm灌漑)

表一2 土壤水分量計算結果

昭和48年8月 7日間断 28mm灌漑  
平均消費水量 4.56mm/日 平均蒸発量 4.5mm/日

| 日     | 雨量 (mm) | 有効雨量 (mm) | 蒸発量 (mm) | 蒸発散比   | 日消費水量 (mm) | 灌水量 (mm) | 土壤水分子 (mm) |
|-------|---------|-----------|----------|--------|------------|----------|------------|
| 1     | 8.3     | 0.0       | 4.0      | 1.4    | 5.5        | 5.5      | 30.0       |
| 2     | 6.9     | 1.9       | 1.4      | 1.4    | 1.9        | 0.0      | 30.0       |
| 3     | 0.6     | 0.0       | 3.9      | 1.4    | 5.4        | 0.0      | 24.6       |
| 4     | 0.0     | 0.0       | 7.5      | 1.2    | 8.9        | 0.0      | 15.7       |
| 5     | 23.6    | 18.9      | 6.6      | 0.9    | 5.7        | 0.0      | 28.9       |
| 6     | 0.0     | 0.0       | 3.9      | 1.3    | 5.2        | 0.0      | 23.7       |
| 7     | 0.0     | 0.0       | 4.6      | 1.2    | 5.3        | 0.0      | 18.4       |
| 8     | 0.0     | 0.0       | 5.2      | 1.0    | 5.0        | 16.6     | 30.0       |
| 9     | 0.0     | 0.0       | 5.6      | 1.4    | 7.7        | 0.0      | 22.3       |
| 10    | 0.0     | 0.0       | 4.4      | 1.1    | 4.8        | 0.0      | 17.4       |
| 11    | 0.0     | 0.0       | 5.0      | 0.9    | 4.6        | 0.0      | 12.8       |
| 12    | 0.0     | 0.0       | 4.1      | 0.8    | 3.1        | 0.0      | 9.7        |
| 13    | 0.0     | 0.0       | 3.8      | 0.6    | 2.5        | 0.0      | 7.2        |
| 14    | 0.0     | 0.0       | 3.9      | 0.6    | 2.2        | 0.0      | 5.0        |
| 15    | 2.6     | 0.0       | 4.8      | 0.5    | 2.3        | 27.3     | 30.0       |
| 16    | 4.5     | 0.0       | 2.6      | 1.4    | 3.6        | 0.0      | 26.4       |
| 17    | 0.0     | 0.0       | 5.6      | 1.3    | 7.0        | 0.0      | 19.4       |
| 18    | 0.0     | 0.0       | 5.9      | 1.0    | 5.9        | 0.0      | 13.5       |
| 19    | 0.0     | 0.0       | 6.5      | 0.8    | 5.1        | 0.0      | 8.4        |
| 20    | 0.0     | 0.0       | 6.3      | 0.6    | 3.8        | 0.0      | 4.6        |
| 21    | 0.0     | 0.0       | 4.3      | 0.5    | 2.0        | 0.0      | 2.6        |
| 22    | 0.0     | 0.0       | 5.5      | 0.4    | 2.2        | 28.0     | 28.4       |
| 23    | 0.0     | 0.0       | 7.0      | 1.3    | 9.3        | 0.0      | 19.2       |
| 24    | 2.1     | 0.0       | 2.0      | 1.0    | 2.0        | 0.0      | 17.2       |
| 25    | 8.4     | 6.7       | 1.0      | 0.9    | 0.9        | 0.0      | 23.0       |
| 26    | 24.6    | 7.0       | 0.0      | 1.1    | 0.0        | 0.0      | 30.0       |
| 27    | 0.0     | 0.0       | 5.3      | 1.4    | 7.3        | 0.0      | 22.7       |
| 28    | 0.0     | 0.0       | 4.8      | 1.1    | 5.4        | 0.0      | 17.3       |
| 29    | 0.0     | 0.0       | 4.5      | 0.9    | 4.2        | 16.8     | 30.0       |
| 30    | 0.0     | 0.0       | 5.4      | 1.4    | 7.5        | 0.0      | 22.5       |
| 31    | 0.0     | 0.0       | 4.6      | 1.1    | 5.1        | 0.0      | 17.4       |
| 計(平均) | 81.6    | 34.5      | 140.0    | (1.02) | 141.4      | 94.3     |            |

## 4. あとがき

現行の畑地灌漑の計画用水量は、安全側の数値を採用し、この数値によって施設設計を行っているため、過大設計・過大施設といわれる側面が一部あると思われる。そこで、畑地灌漑における計画用水量の縮小の可能性について、土壌の物理性に関連する部分を中心に、種々の試験結果および計算結果を基にして検討した。

今日、限られた水資源や経済的な維持管理に即した節水灌漑が重要視されており、計画用水量縮小のための具体的かつ現実的対応には、さらに土壌の物理性の解明や土壌中の水分移動の動的解析が必要である。

## 参考文献

- 1) 江崎 要：畑地用水の量的水準について—農業用水利用に関する実証的研究 (VI) —農土論集, 100, 41~54 (1982)
- 2) 農林水産省：土地改良事業計画設計基準 (畑地かんがい), (1982)
- 3) 大久保隆弘：灌漑と作付体系, 普通畑の畑地灌漑, 農土学会畑地灌漑研究部会, p32~50 (1983)
- 4) 駒村正治：畑地灌漑用水計画における有効水分の再検討に関する研究, 東京農大農学集報31, 1, 36~44 (1986)

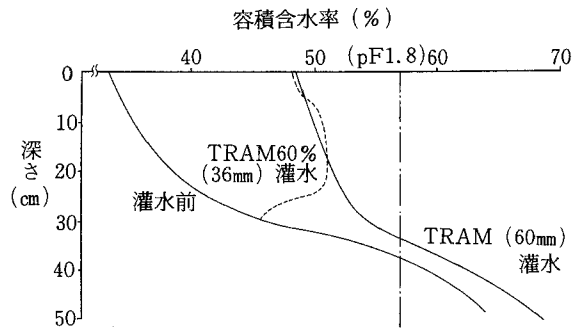


図-9 灌漑24時間後の土壌水分量 (黒ボク土)

- 5) 駒村正治他：節水灌漑よりみた消費水量と灌漑効果について, 東京農大農学集報29, 1, 23~35 (1984)
- 6) 農業土木総合研究所：用排水・ほ場諸元基礎諸元調査, p88~89 (1983)
- 7) 竹中 肇, 駒村正治：節水を考慮した1回の灌漑水量についての再検討, 農土論集111, 25~33 (1984) (1986. 10. 8受理)