

関東ローム畑地の土壌水分動態

軽部重太郎・中石克也・佐藤総成*・安富六郎**

1. はじめに

茨城県南部地域では年平均降水量が1300mm前後で、7-8月にもそれぞれ月平均よりやや多い120mm程度の降水がある。しかし、7-8月は蒸発散量が多くて降雨日が偏るために、数年に1度の割合で干ばつが起こる危険性があると言われている¹⁾。したがって、この地域では必ずしも毎年畑地かんがいが必要ではないが、畑地を高度に利用する事も含めると畑地かんがいが有効であることも確かである。

このような比較的湿潤な地域での畑地かんがいの効用、方法等を議論するには、その基礎として圃場の水分動態を正確に把握しておくことが必要である。そこで茨城大学農学部付属農場の関東ロームの畑地で、自然条件のもとでの水分動態を観測した。

内容の主眼は、圃場の水分の状態を正確に観測し、水分移動の向きを上向きと下向きに区別して、各々の向きの消費水量やフラックスを経時的に算出することとした。また、その結果から得られる蒸発量を、計器蒸発量や他の方法による予測値と比較し、さらに水分移動を定量的に把握する目的で、現場不飽和透水係数と室内法による不飽和透水係数を求めて比較検討した。

2. 観測方法

茨城大学農学部付属農場内に20m×10mの観測区を設け、自記式テンシオメータ(データロガー式:30分間隔で観測)と水銀マノメータ式テンシオメータを、深さ5, 15, 25, 35, 50, 70, 100cmに設置した。水銀マノメータ式テンシオメータはまた深さ150cmと200cmにも設置した。そのほか地下水位測定用パイプ、雨量計、小型蒸発計などを設置した。それらの配置図を図-1に示す。栽培作物は大豆で、1988年には枝豆用大豆を5月上旬に播種し(7月下旬に枝豆の収穫期となったがそのまま9月まで放置した)、1989年にはインレイを6月下旬に播種(9月下旬に収穫)した。

なお、1987年の夏にも水銀マノメータ式テンシ

オメータを用いてほぼ同様の観測を行ったが、ここでは比較的まとまって観測できた1988年の場合を中心に述べ、その前後の87, 89年については結果の要点だけを述べることにする。

3. 観測結果と考察

1988年5月26日から8月31日までの土壌水分吸引圧と雨量を図-2に示す。この年の夏も異常気象で、観測期間中の連続干天日数は最大4日間であった。1987-89の3年間とも、待機していた7, 8

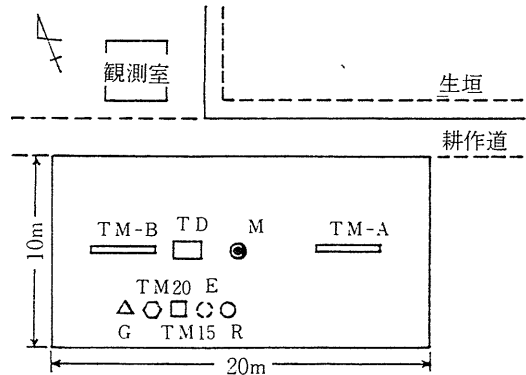


図-1 観測圃場配置図

- TD: データロガー式テンシオメータ R: 雨量計
- TM: 水銀マノメータ式テンシオメータ E: 小型蒸発計
- TM 15: 水銀テンシオメータ(深150cm) G: 地下水位観測用パイプ
- TM 20: 水銀テンシオメータ(深200cm) M: 気象観測用ホール

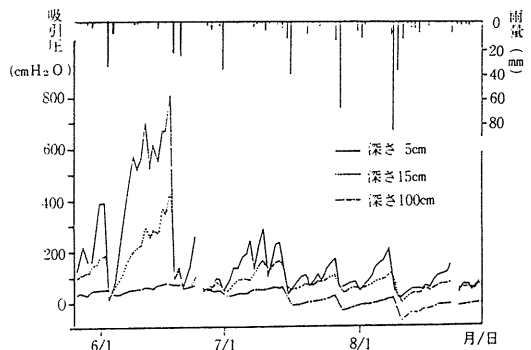


図-2 観測期間中の吸引圧の変化(1988 5/26 ~ 8/31)

* 現在 太陽コンサルタンツ

**現在 東京農工大学

月に雨の日が続き、十分乾燥した状態を観測できなかった。したがって、観測期間中で比較的乾燥した1988年5月27日から6月20日までのデータ(図-3)を中心に以下で検討する。なおこの期間は、表層5cmでは42mmの降雨後5~6日でpF2.8まで乾いたが、その後は小雨があったため最大でもpF

2.9までしか乾かず、pFの変化はすべてテンシオメータで追跡できた。

1) トータルポテンシャルのプロファイル

図-5に日平均の毛管ポテンシャルとトータルポテンシャルの深さ方向の変化を示す。毛管ポテンシャルがゼロになる深さは地下水面に相当するので、こ

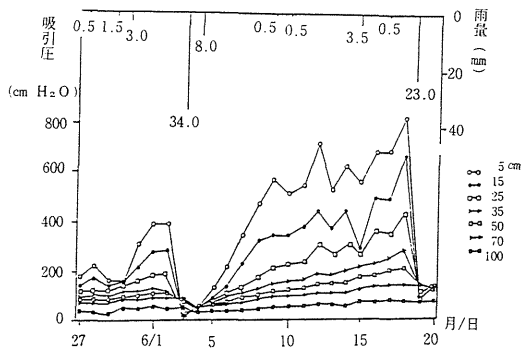


図-3 5/27~6/20までの吸引圧の変化

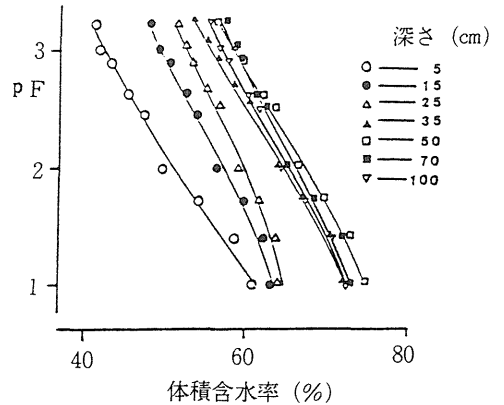


図-4 pF-水分曲線

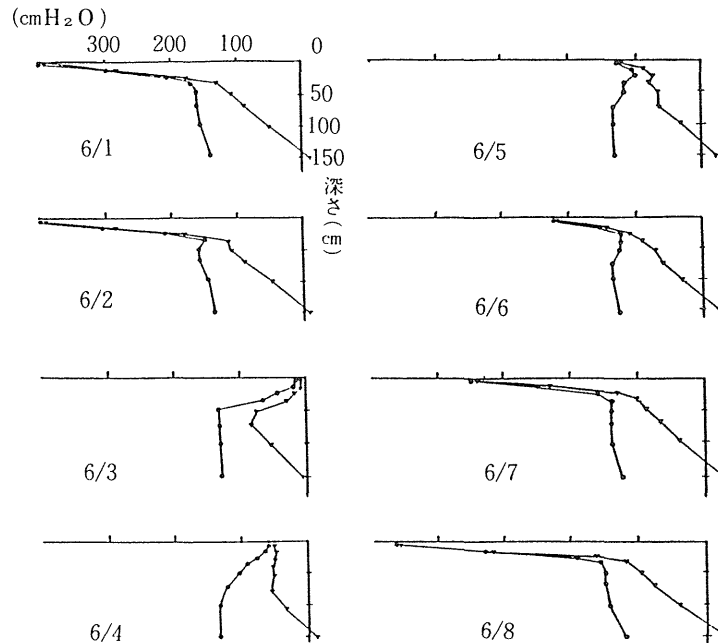


図-5 トータルポテンシャルのプロファイル

▲—トータルポテンシャル
○—毛管ポテンシャル

の時の地下水位は 130 - 150 cm でかなり浅い。これは、深さ 220 cm 付近に常総粘土層があってそれが不透水層となっているためである。トータルポテンシャルは、毛管ポテンシャルに地表面を基準にとった重力ポテンシャルを加えて算出したものである。

図-5で、水分はトータルポテンシャルの低い向きに移動し、移動速度はこのトータルポテンシャルの勾配に依存する。特にトータルポテンシャルの符号によって水分の上向き移動と下向き移動が区別され、その境界(ゼロフラックス面³⁾)の深さが定まる。

図-5によれば、6月4日(以下6/4と略す)は、下層の勾配は小さいが全層下向きでゼロフラックス面が地表面まで上がり、6/8はゼロフラックス面が50 cmまで下がった。このゼロフラックス面の深さの変化を図-6に示す。6/10~6/18はゼロフラックス面が1 m以下まで下がった。このことは、1 m以下の層から上向きの水分移動があったことを意味する。

2) 上向きと下向きの消費水量

水分移動の向きを、ゼロフラックス面を境として上向きと下向きに区別した層別の日消費水量を図-7に示す。なお、日消費水量を求めるのに、トータルポテンシャルは前後の日の平均値を用い、ゼロフラックス面を含む層からは、その層の消費水量の各1/2が上下の向きに消費されたものとした。ただ、今回はトータルポテンシャルを日平均としてとり、また最も浅いゼロフラックス面で水分移動の向きを決めたが、こうすると時間的、空間的な水分移動の小さな変化を無視してしまうことがあるので、今後はその点に注意する必要があると思われる。

図-7によれば、降雨後日を経つにつれて表層での消費水量が減少し、より深い層から上向きの消費水量が見られるようになった。ここでは、6/3~

6/4の2日間に合わせて42 mmの降雨があったのち、6日後に全層(0-120 cm)上向きになった。

6/10に表層での消費が0になったのは、この日の天候が悪く、わずかではあるが降雨があって水分消費が相殺されたためである。このことは、1 mm以下のわずかな降雨であっても無効な降雨ではないことを示すものである。

図-8は、降雨があった次の日から6日間(この間合計1 mmの小雨あり)の層別消費水量を積算したものの(図-7の積算)である。この図-8を用い、有効土層を50 cmまでとしてTRAMを求めると表-1のようになった。ここで、上向きの消費水量だけをとってSMEPを求め、それを用いてTRAMを計算すると、従来のように向きを考慮せずに計算した場合より、約20%程度TRAMが小さくなった。このことは、従来のTRAMの算出法によると、その約20%がロスになる可能性を示すものであり、

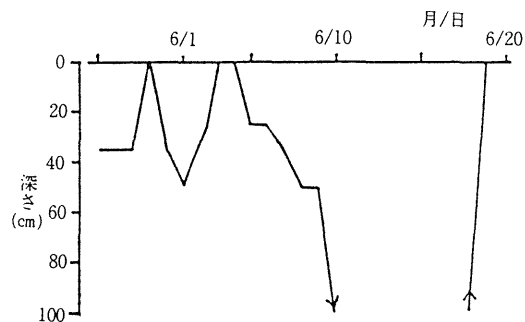


図-6 ゼロフラックス面の深さの変化

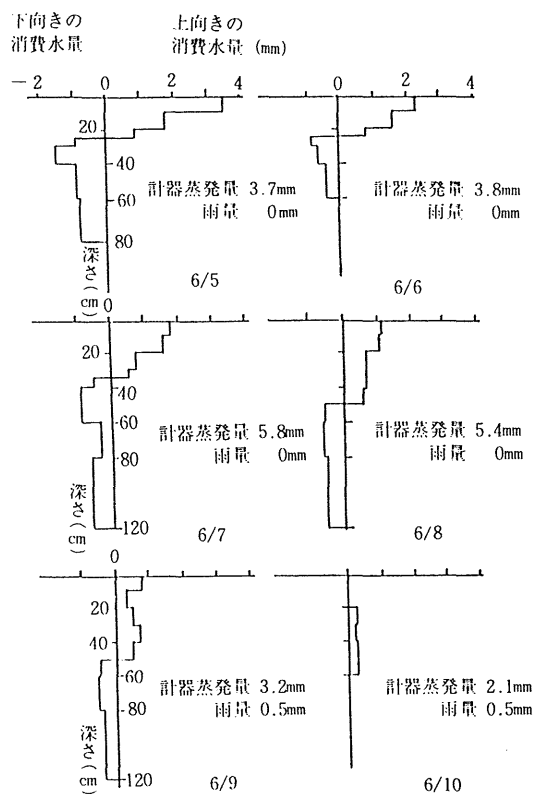


図-7 上向きと下向きの層別日消費水量(6/5~6/10)

表-1 下向きの消費水量を除いた SMEP と TRAM
(SMEP は降雨 1 日後から 6 日間, 制限土層の pF2.8 までのもの)

土 層	RAM (mm) p F 2 ~ 3	SMEP (%)		TRAM (mm)	
		下向きを含む	上向きだけ	下向きを含む	上向きだけ
0 - 10 cm	9.1	36	44	25	21
10 - 20	8.1	24	29		
20 - 30	7.2	13	13		
30 - 40	8.9	15	8		
40 - 50	8.8	12	6		

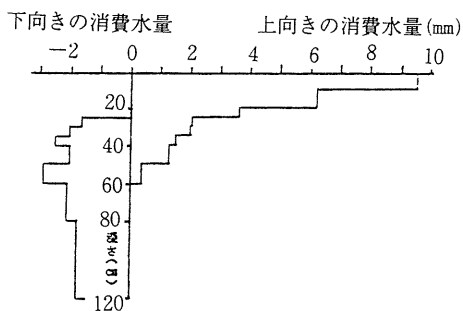


図-8 乾燥過程の層別積算消費水量(6/5から6/10の積算)

この内容は駒村⁴⁾の提案と矛盾しないものである。

なお、1987 年の観測によれば、ある程度乾燥した後の、深さ 20 ~ 30 cm 付近の層からの水分消費量は、植生がある場合の方が無い場合よりも多いことがわかっている⁵⁾。

3) 上向きのフラックス

トータルポテンシャルのプロファイルは常に変化しているため、1 日平均の値からフラックスを求めると、水分移動の上下の向きさえ変わることがあり不正確である。したがって、30 分毎の観測データを用いることとし、データのバラツキに対しては前後 5 点 (2 時間) の移動平均をとることとした (図-9 に移動平均をとった pF の時間変化を示す)。フラックスは、層別消費水量をゼロフラックス面から上層または下層に向けて積算して求めた。

こうして求めた上向きフラックスが地表面を通る量は蒸発散量に等しくなるはずであるが、計器蒸発量との関係は図-10 のようになった。両者の相関があまりよくないのは、この時の圧力変換式テンシオメータの最小読み取り限度が水柱高で 6.3 cm と感度がやや悪かったことが原因している。すなわち、その場合特に低 pF 領域で測定精度が悪くなる事と、その低 pF 領域では不飽和透水係数が高くなるので、

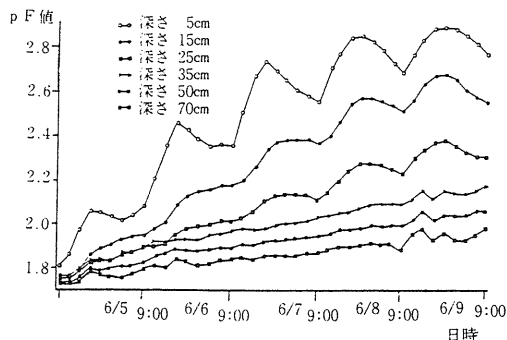


図-9 pF 値の経時変化(1988. 6 / 5 ~ 6 / 9)

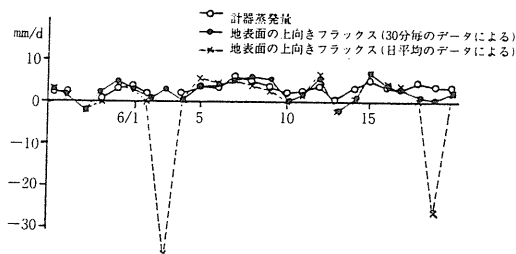


図-10 地表面の上向きフラックスと計器蒸発量

フラックスを求めるときに誤差が増幅されるためである。なお、図-10 で日平均のデータによるフラックスとは、1 日の平均をとってから計算したために不正確になった例として示したものである。

4) 蒸発散量について (1989 年の結果から)

1989 年には圧力変換式テンシオメータの感度を 10 倍に高め、また純放射 (高さ 2.5 m)、通風乾湿計 (高さ 2.0 m と 1.0 m)、風速計 (高さ 2.0 m)、地中熱量計等のデータを 30 分毎に観測して、計器蒸発量、土壤水分減少法による蒸発散量のほか、ペ

ンマン法による蒸発散位と熱収支法による蒸発散量を求めた。

ところが、この年の夏は観測期間中地下水水位が100 - 150 cmと高く、ゼロフラックス面が地表付近にあったため、土壌水分減少法による蒸発量が計器蒸発量を大きく下回る事が多くなり、観測誤差も大きくなった。これは、土壌水分減少法では地下水表面から直接供給される水分量は測定できない事と、ゼロフラックス面より上の数少ない観測データしか計算に使えないためである。

ただし、土壌がよく湿っていてペンマン法によく合う条件だったため、ペンマン法による蒸発散位は計器蒸発量と比較的によく一致した(図-11)。

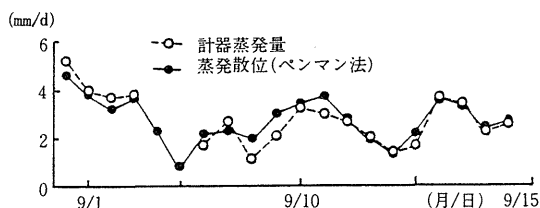


図-11 計器蒸発量とペンマン法による蒸発散位の比較

熱収支法による計算結果は計器蒸発量などと比べてやや高過ぎる結果となった。これには次の理由が考えられる。すなわち、熱収支法では通風乾湿計の設定高さが1 m (低い方の場合)では低すぎて、乾湿温度が植生(大豆の葉)からの蒸散の影響を直接受けてしまった事である。普通、昼のポーエン比(顕熱伝達量/潜熱伝達量)は正になるのに負の値を示す事があったのはそのためと考えられる。蒸発散量の時間変化を追うには熱収支法が優れているので、今後、乾湿計の位置をもっと高くし、できれば3点以上で観測したいものである。なお、観測場所も近くに生垣などの障害物のないところをもちろん望ましい。

5) 現場法と室内法による不飽和透水係数

水分フラックスは、トータルポテンシャルの勾配と不飽和透水係数の積として与えられるので、不飽和透水係数について知っておくことは圃場の水分動態を推定するのに有効と思われる。そこで、ここでは現場法と室内法で不飽和透水係数を求め、それらの結果を比較した。

現場法としては、十分な灌水後、蒸発を遮断してテンシオメータで観測し、下向きのフラックスから求める方法⁶⁾と、通常のテンシオメータの観測データから、上向き、下向きのフラックスを計算し、そ

れから求める方法で行った。結果的には、図-12に見られるようにこれら両者にほとんど差異はなかった。そして、むしろ通常の観測データから求めた方が手間がかからず、高 pF まで求められるので都合がよいと思われた。ただし、今回は低 pF 領域でのテンシオメータの観測精度が足りなかったため、下層のフラックスが不正確となり、ゼロフラックス面が下がったときにそれを下層から上に積算するので、むしろ表層では pF 2 よりも高い領域での不飽和透水係数のバラツキが大きくなった。

室内法としては、加圧を用いて定常法とワンステップ法⁷⁾で測定を行った。定常法はデータの信頼性が高いが、比較的低い pF の範囲で用いられ、ワンステップ法はそれより高い水分範囲まで比較的迅速に測定するのに用いられる。測定の結果、定常法は現場法とよく一致するのに対し、ワンステップ法の測定値はそれよりやや(2~5倍ほど)小さくなる傾向がみられた。これはワンステップ法のポーラスプレート (high flow rate用) 内部、またはそれと試料との接触面のどこかに透水抵抗の大きい部分が生じ、その影響がでたものと考えられる。とはいっても、pF 2 よりも高い領域では現場法のバラツキも大きいので、pF 2~3 の不飽和透水係数についてはさらに検討の余地がある。ただ一般的にみれば、不飽和透水係数の測定精度は低 pF を除けば低いので、これを用いて現場の水分移動量を求めることはあまり実用的ではない。

4. まとめ

関東ロームの自然の畑地でのテンシオメータの観測値から、トータルポテンシャルを用いて、上向きと下向きの消費水量や水分フラックスを求めた。この研究を通じてわかったことは次のようにまとめられる。

- ① 上向きの消費水量だけをとって SMEP を求め、それを用いて TRAM を計算すると、従来のように向きを考慮せずに計算した場合より、約 20% 程度 TRAM が小さくなった。このことは、従来の TRAM の算出法によると、その約 20% がロスになる可能性を示すものである。
- ② 水分移動の上向きと下向きの境となるゼロフラックス面の深さは、降雨後大きく変化する。観測圃場では降雨後6日目に1m以下に下がった。このことは、1mを越える深さからも上方への水分補給があったことを意味する。
- ③ 従来の畑地かんがい計画では、5mm未満の降雨は無効降雨とされてきたが、水分消費の実態から見

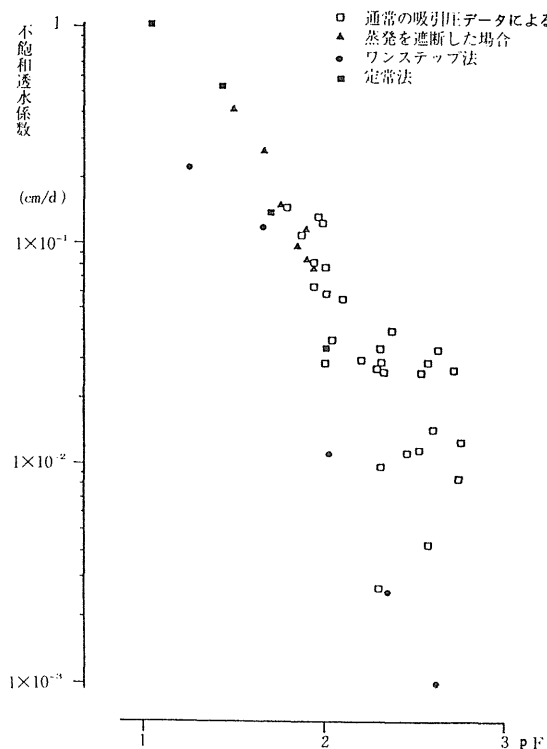


図-12 pF に対する不飽和透水係数 (深さ 10 cm)

ると 1mm 程度のわずかな降雨でも十分有効であると
考えられた。

④ ある程度乾燥した後の深さ 20 - 30 cm 程度の層
からの水分消費量は、植生がある場合の方が
ない場合よりも多くなる事が分かった。

⑤ 30 分毎に観測した自記テンシオメータのデー
タを用いることによって、降雨前後の水分フラク
スの時間変化を追跡することができた。ただ、今
回はトータルポテンシャルを日平均としてとり、
ゼロフラックス面を最も浅いもの 1 つだけと
って水分移動の向きを決めたために、時間・
空間的な変化を十分追跡しきれなかった。また、
特に低 pF 領域でのテンシオメータの測定精
度を上げる事が大切である事が分かった。

⑥ 現場法による不飽和透水係数は、蒸発を遮断
する事なく、通常の 30 分毎のテンシオメータ
のデータから精度よく求まることが分かった。
ただし今回は、下層の低 pF 領域でのテンシ
オメータの観測精度が低かったため、下層
でのフラックスが不正確となり、pF 2 より
も高い領域でバラツキが大きくなった。室内
不飽和透水係数は、定常法の場合に現場法
とよく一致した。ワンステップ法ではやや低
めに出

たが、ポラスプレートとの接触等測定上問題があ
ったものと考えられた。

〔謝辞〕 この研究は、予備調査を含めると 1986
年から 1989 年までの 4 年間にわたって、土地改良
研究室の課題研究生 (86 年 = 飯野晴美, 早乙女治,
87 年 = 飯田英男, 大和直文, 小島坂次, 鈴木克律,
88 年 = 熊走佳代子, 五十嵐孝浩, 重松昌樹, 89 年
= 倉持明彦, 千葉啓行), 久保田悦子技官, 付属農
場の教官, 技官, その他多くの方々協力によって
行われたものである。記して厚く感謝致します。

引用文献

- 1) 山崎不二夫・長谷川新一:「畑地かんがい」P.
25, 農文協 (1959)
- 2) 大久保隆弘:畑作の可能性一畑にかんがいは不
要か-, 科学(岩波) 48 (10), 634 ~ 640 (1978)
- 3) 山村善洋・長智男・黒田正治:土壌水分動態を
考慮した消費水量の実証的推定, 農土論集 134,
35 ~ 44 (1988)
- 4) 駒村正治:畑地かんがい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)
- 5) 軽部重太郎・中石克也・佐藤総成・安富六郎:
関東ローム畑地の土壌水分動態, 農土学会講,
128 ~ 129 (1988)
- 6) 岩田進午:圃場含水量について, 農土研 30
(7), 385 ~ 393 (1962)
- 7) E. J. DOERING:Soil-water diffusivity by the
one-step method, Soil Sci.99(5),322 ~ 326(1965)

Soil Moisture Movement in Kanto Loam Field

J. KARUBE, K. NAKAISHI, F. SATO* and R. YASUTOMI**

* Taiyo Consultants Co. Ltd.

** Tokyo University of Agriculture and Technology

The annual precipitation of a southern area in Ibaraki prefecture is about 1300 mm and the probability of drought may be once in a summer over a period of several years. The demand for field irrigation is not severe for ordinary cropping, but field irrigation should be found useful for intensive use of upland field.

Basic data are required for discussing the effectiveness of a method suitable for field irrigation in this area. Therefore, soil moisture movement was observed in a Kanto loam field under natural conditions.

The objective of this study was to examine actual soil moisture conditions that change with time in the field, and calculate water consumption and flux upward and downward.

The following results were obtained.

1. When TRAM (total readily available moisture) was calculated from SMEP (soil moisture extraction pattern) observed as upward water consumption, it was found to be about 20% less than that calculated by the usual procedure in which the direction of water movement is not considered. This means that TRAM, when calculated by the usual procedure lost downward by about 20%.
2. The depth of the zero flux plane, which divided water movement into upward and downward directions, greatly changed before and after rainfall, to dropping to less than 1 m of 6 days after rainfall, indicating water move upward from below a depth of 1 m.
3. Rainfall less than 5 mm is regarded as non effective by current irrigation planning, but in this study, all rainfall was found sufficiently effective on the basis of actual water consumption.
4. Water consumption from the soil 20-30 cm below the surface was higher for a field covered by vegetation (soy bean) than bare ground.
5. The change in water flux could be followed with time using data taken every 30-minutes by self recording tensiometers. It was found that total potential should be calculated every 30 minutes not as an average for each day, and plural zero flux planes should be considered for several days after rainfall for estimating precise water movement.
6. Unsaturated hydraulic conductivity could be calculated based on data taken every 30-minute observed using tensiometers in situ without insulation of evaporation. The results agreed well with those obtained the steady state method in the laboratory.

(Sic. Rep. Fac. Agr. Ibaraki Univ., No.38, 23 ~ 29, 1990)