

## 干ばつ時のかんがい方法合理化に関する研究

農林省東海近畿農業試験場 畑作部

Studies on the Rationalization of the Irrigation Method under Drought  
Upland Farming Division, Tokai-Kinki Agricultural Experiment Station.

### Summary

We conducted an investigation of the practical utilization of irrigation equipments under drought, 1967 and tried the experiment of the rationalization of the irrigation method under drought.

In the latter case, we aimed to give data for the rationalization by leveling up the efficiency of the water use with the research of the applicable and consumptive use efficiency as the irrigation method varies.

New measuring instruments were devised, and the measurement of soil moisture and transpiration was carried out with the new devices, nevertheless, we could not make result of the efficiencies of the water application and consumptive use, and as the lysimeters were equipped apart from the plant populations, too much consumptive use of water was observed.

### 目 次

1. かんがい施設利用の実態と問題点	98	3.3 要 約	105
2. かんがい方法を異にした作物の水分消費効率	99	4. 開発した装置	105
2.1 試験方法	99	4.1 土層別自動給水装置	105
2.2 試験結果	99	4.2 土壌水分張力自記装置	107
3. 土壌水分の動態と層位別水分消費	102	4.3 水分上昇速度測定装置	110
3.1 試験方法	102	5. 摘 要	111
3.2 試験結果	103	参 考 文 献	111

### 1. かんがい施設利用の実態と問題点\*

調査の対象となった瀬戸内6県ならびに九州において今後畑地かんがいを必要とする面積はおよそ81.6千haであるが、事業が完了しないしは継続中のものは僅かに17.0千ha(要畑地かんがい面積の21%)にすぎない。

今次の干ばつにおける、これらかんがい施設の利用状況は、水源の状態、かんがい施設の内容、かんがい方法、かんがい器具、対象作物の種類などによって、かなりの差異が認められた。

比較的恵まれた水源とかんがい施設をもった久米、白石地区の水利用はほぼ計画に近い状態で行なわれたが、水源が浅井戸等で不安定な加茂地区や、かんがいの時期が水田用水と競合した向山、大添地区、あるいは島しょ部の林、宝地地区などのように水源水量の少ないところでは、計画よりもかなり下廻った水量(計画の約50%)しかかんがいでできなかった。

かんがい方法については、水源の不足した早瀬(瀬戸田町)の一部で注入式土中かんがい(動噴利用による)を採用したのもあったが、その他の地区ではホースまたはスプリンクラーによるかんがいが多かった。

散水かんがいのなかには、久米、白石などのようにやや大型の散水器を導入して、かんがいの省力化をはかったところもあったが、大半は中間圧式のスプリンクラーの利用であった。

一部ではあるが、ホースから定置式大型散水器(加茂地区)、また、中間圧スプリンクラーから移動式大型散水器に(山田原地区)、それぞれ切り替えを希望しているところもあった。

また、かんがい施設の共用(防除または施肥あるいは両者)については一部に防除施設との部分的な共用が見受けられた。

このように、かんがい施設のなかには、工事完了後の情勢の変化や用水管農の経験から施設内容の変更を希望するものも出ており、長期的な周到な展望にもとづいた企画が強く望まれている。

かんがい施設を薬剤散布や液肥(かん水施肥)施用に共用することを希望する地区が多いので、栽培管理の合理化(播種期、定植期のかんがい、機械作業効率促進のためのかんがい)や災害防止(風食、塩害、凍霜害防止のかんがい)、し尿か

んがい等を含めた多目的利用の技術について早急に検討を加える必要がある。

ただ、これらの中には、水分補給のためのかんがい組織をそのまま利用できるもの(栽培管理の合理化)、かんがい組織の中に適当な混入装置(液肥等の)を取りつけるだけでよいもの(施肥の省力化)など容易に共用できるものもあるが、計画に当って使用ノズルの種類や配置間隔、組織容量等について慎重に検討を要するもの(凍霜害防止)、使用圧力、流量、管内流速、混入装置、散布時間、パイプ内の残留液の処理などについて考慮を要するもの(病虫害防除)などあって、それぞれ複雑な問題をもっている。

果樹園や一般畑地における各種かんがい方法には、それぞれ技術的な得失があり、限られたとほしい水量での経済効果の大小はかならずしも明らかでない。ただ、散水かんがいは今回調査した地区の耕地条件や労力事情からみて最も適切なかんがい方法であるが、現地の適用に当っては、地形、土壌、区画等の土地条件と作物の種類、栽培様式等をはじめ、施設の共用範囲、使用頻度、維持管理、耐久性等について十分な検討が必要である。

現在とられている畑地かんがい事業の採択基準では、10年に1回発生する最大連続干天日数の年を計画基準年としており、多くの年において作柄を安定し、高い収量をあげるためには、この連続干天日数を大きくとることは有利であるが、この場合、計画年次以下の干ばつ年には施設の遊休度がたかまるため相対的な経済性は却って低くなるものと思われる。このようなことから水源水量に恵まれない島しょ部等の計画基準年についてはさらに検討する必要がある。

計画基準年以上の確率で発生する大きな干ばつ年には干ばつの程度に応じた水管理方式をとらねば干害を軽減することはできない。水源が河川や地下水等の流動水によるときは、このために大がかりな調整池を必要とするが、水源がダム等の貯水方式による場合には、ダムの残存量を干ばつの程度に応じて計画的に配分すれば、この問題の解決は比較的容易であり、干害の軽減に役立つ。

圃場整備に当っては、道路配置と区画の合理化をはかり、適正な配水組織にもとづいた定置式散

\* 本章執筆担当者：水之江政輝

水方式を採用し、営農ならびに水管理の自由度との関係でファームポンドの設置数を多くし、水源涵養林をのこし、なるべく山なり造成とし、また土層改良を行なって土地生産力の増強をはかる等の対策が必要である。

調査地区の計画かんがい水量は3～6mm/日であったが、42年干ばつ時における実際のかんがい水量は1.5～3.1mm/日でかなり少なかった。しかしこれらの地区におけるみかんの収量は平年作の約90%でそれほど大きな減収とはならなかった。42年度因島市および国東町で行なったかんがい水量試験では、みかんに対しほぼ3mm/日のかんがいが経済効果が最も大きく、普通作に比べて少量かんがいでもかなりの効果が期待できることが明らかとなった。

みかんの7～8月の消費水量が5mm/日内外であることから、このような永年作物については地下補給水量の定量と併せて樹体維持に必要な最小限のかんがい水量を明らかにする必要がある。

2. かんがい方法を異にした作物の水分消費効率\*

ふつう、かんがいは表層かんがいが行なわれているが、地中にかんがいを行なえば、土面蒸発量を少なくし消費効率の向上を計ることができると考えられるので、地中かんがいと地表かんがいの消費効率の差をヒマワリの蒸散経過により検討しようとした。

2.1 試験方法

試験区、土壤、供試作物は、“土壤水分の動態と層別別水分消費”に述べられたとおりで、各区1個体に直径30cm、円筒部120cm、円錐部40cmの透明塩ビ製のChamberをかぶせ、毎分250ℓの通気を行なって、Chamberの入口、出口の絶対湿度を乾球温度、湿球温度の自記々録から読み取り換算し、その差をChamber内植物体からの蒸散量とした。

測定期間は、1968年8月21日から8月23日、9月7日から9月11日までの2回、延べ8日間とし、測定期間中のかんがいは、8月21日、9月9日、各々10時から11時にわたって50mm、60mm行なった。

2.2 試験結果

1) 測定した個体の大きさ

1区個体数は24本であったが、第1表にみら

れるように、調査団体の乾葉重が1区全体の乾葉重に占める割合は、およそ30分の1であった。これは、調査個体が区の中心に近い個体であったため、周縁部の個体よりも小さくできているためである。

2) 調査したヒマワリの蒸散量

測定個体のヒマワリの蒸散量は、第2表にみられるように、500gないし1,400gで、mm換算すると、8mmないし23mmであり、ヒマワリの生長点付近の高さに設置した蒸発計(直径20cm、深さ10cm、銅製)蒸発量に比べて多量の水が蒸散した。

3) 各区のヒマワリの蒸散量

第1表による比率を、第2表の個体あたりの蒸散量gにかけて、1区の総蒸散量gを計算し、それらを1区面積1.44m<sup>2</sup>で割ってmm表示したのが第3表である。

第1表 調査個体と1区の乾葉重比

項目	地中かんがい		地表かんがい	
	1	2	1	2
個体乾葉重	14.4	16.2	12.4	19.8
1区24本	531.3	522.6	469.9	533.0
比率	36.8	32.3	37.8	26.9

第2表 ヒマワリの蒸散量(個体)

測定月日	地中かんがい				地表かんがい				蒸発計蒸発量
	1		2		1		2		
	g	mm	g	mm	g	mm	g	mm	
8.21	797	13.3	697	11.6	1226	20.4	1312	21.8	4.6
22	1012	16.9	776	12.9	853	14.2	1149	19.2	5.6
23	745	12.4	772	12.0	640	10.7	1024	17.1	5.0
9.7	812	13.6	692	11.5	610	10.2	1043	17.4	4.4
8	654	10.9	696	11.6	641	10.7	1064	17.8	4.3
9	507	8.4	616	10.3	872	14.5	1245	20.8	4.9
10	814	13.6	742	12.4	905	15.1	1361	22.7	5.4
11	755	12.6	870	14.5	1151	19.2	1299	21.7	5.5

mmは、蒸散量を栽植密度30cm×20cm=0.06m<sup>2</sup>で割って求めた。

第3表 ヒマワリの蒸散量 mm

測定月日	地中かんがい		地表かんがい		蒸発計蒸発量
	1	2	1	2	
8.21	20.4	15.6	32.2	24.5	4.6
22	25.9	17.4	22.4	21.5	5.6
23	19.0	16.2	16.8	19.1	5.0
9.7	20.8	15.5	16.0	19.5	4.4
8	16.7	15.6	16.8	19.9	4.3
9	12.9	13.8	22.9	23.3	4.9
10	20.8	16.6	23.8	25.4	5.4
11	19.3	19.5	30.2	24.3	5.5

\* 本章執筆担当者：坂田公男

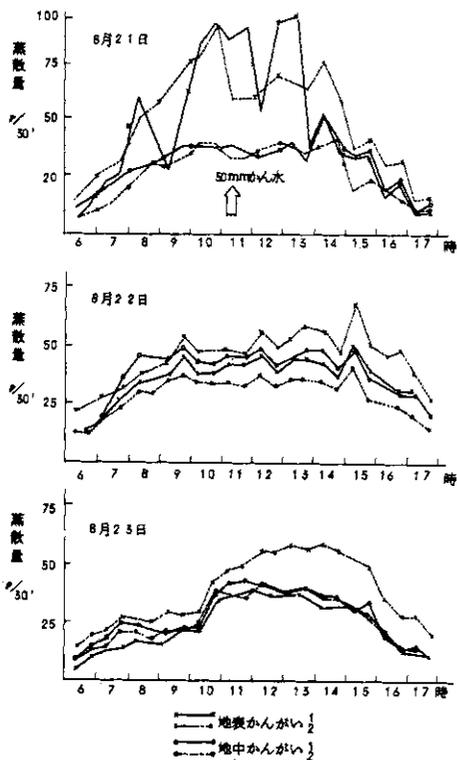


図-1 蒸散量の経時変化

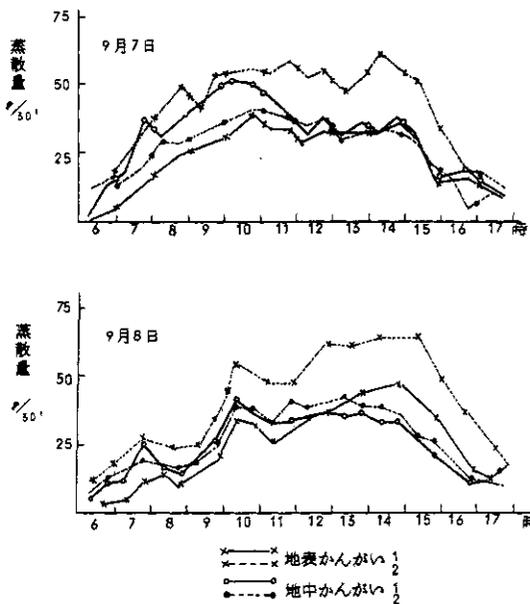


図-2 蒸散量の経時変化

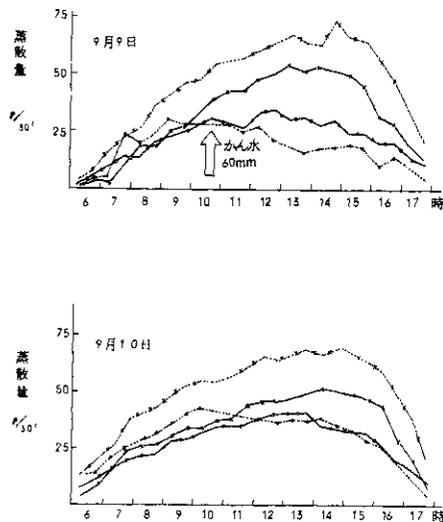


図-3 蒸散量の経時変化

第3表にみられるように、地表かんがい区は、地中かんがい区に比べて、かんがい直後（8月21日、9月9日各々午前10時）から蒸散量が増加するが、地中かんがい区は蒸散量の増加がおくれてみられる。

4) 測定個体の蒸散量の経時変化

測定したヒマワリの蒸散量の変化を経時的にみると、第1図～第3図にみられるように、地表かんがい区（赤線）は、かんがい直後（8月21日、9月9日午前10時）から、蒸散量のいちじるしい増加がみられたが、地中かんがい区のそれは（黒線）かんがいの翌日からおくれてみられた。

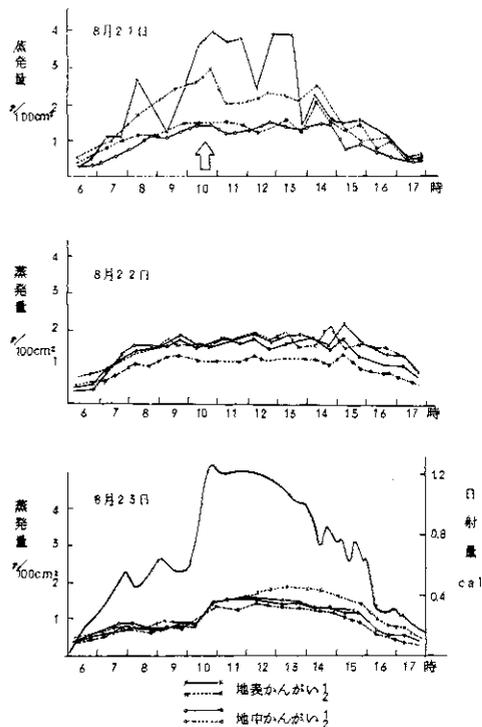


図-4 蒸散量の経時変化

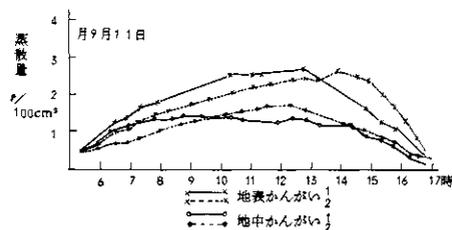
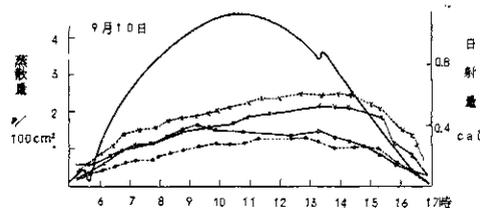
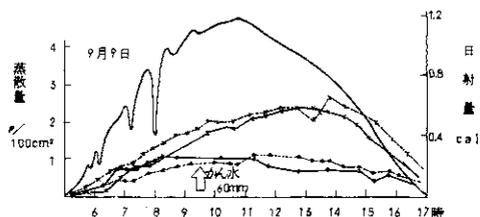


図-6 蒸散量の経時変化

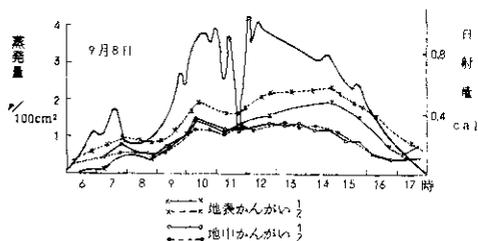
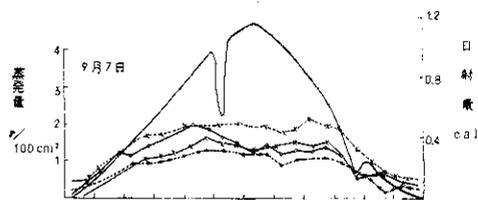


図-5 蒸散量の経時変化

5) 単位葉面積あたりの蒸散量の経時変化

第1図～第3図の蒸散量を、それぞれの固体の葉面積で割って100 cm<sup>2</sup>あたり30分間の蒸散量の経時変化を表わしたのが、第4図～第6図で、このようにすれば測定個体の大きさの違いによるフレを除去できると考えられる。

第4図にみられるように、8月21日、かんがいた後、地表かんがい区は直ちに蒸散量の増加がみられたが、地中かんがい区は、翌日、および翌々日に至って蒸散量の増加がみられた。

第6図にみられるように、9月9日かんがい直後から、地表かんがい区は蒸散量は急激に増大したが、地中かんがい区は翌10日に至って増加を

みせた。しかし、その増加量も地表かんがい区には10日、11日とも及ばなかった。

これらを要するに、地中かんがいは地表かんがいに比べて根域への水の滲透が時間を要し、蒸散の増加に与り難かったのではないかと考えられる。

さらに、第1回のかんがい処理(8月21日)後は、地中かんがいの蒸散量はおくれで地表かんがいのそれと同じになったのに、第3回の処理(9月9日)後には2日経っても蒸散量の増大が地表のそれに及ばないこと、かんがい前日(第5回)の蒸散量も地表のそれよりも少ないことは、第1回の処理後に展開してきた葉が、かんがい方法の違いに適応してきたのではないかと考えられる。

これらの試験結果を基にして、かんがい法を異にした場合の消費効率の差を定量的に表わすことは、後日の取りまとめ結果にまたなければならぬが、地中かんがいによる蒸散量の増大が、地表かんがい区のそれにおくれ、処理回数の増加に伴って地中かんがい区の蒸散量が地表かんがい区のものよりも少なくなってきたことは、地中かんがいにより水消費効率が地表かんがいよりも高くなってきているようである。

### 3. 土壌水分の動態と層位別水分消費\*

植物の水分消費の要求に合致した損失の少ない水施用をはかるために、種々の条件毎に多くのかんがい技術が考察されている。これらはかんがいの理論上の合理性は認められているが、実際にかんがい効率を測定して合理性を確認した例は少ない。かんがい効率は供与された水量に対する利用水量の比をもって表わされるもので、ともに土壌水分の動きから把握される。ここに、同一作物、同一土壌に対して異なるかんがい方法を適用した場合における土壌水分の動態、水分消費の相違を検討し、かんがい効率的にかんがい方法を評価する資とした。

#### 3.1 試験方法

##### 1) 試験区

地表かんがい区、地中かんがい区の2区とし、各2連を用いた。1区の区画は180cm×80cmで木枠で作成し深さ150cmの土壌槽とした。地中かんがい区に埋設した多孔質素焼管の深さは当初地下30cmであったが土壌充填後の締固め沈下

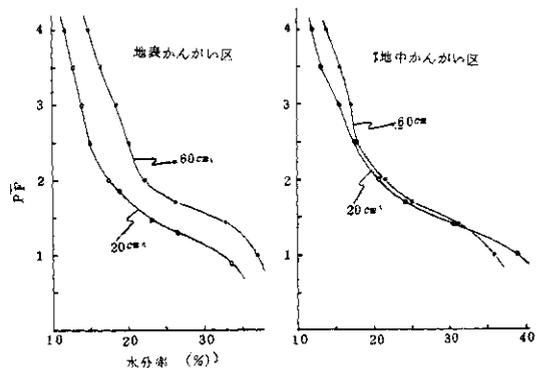
のため追加盛土修正により地下35~40cmに位置された。土壌槽は槽内地表面が原地盤と等しくなるよう地中に設置された。

##### 2) 土壌の充填

土壌槽と等容積のビニールフィルム製袋を槽内に挿入し、袋の最底部から砂利、砂、土壌の順に充填した。土壌は近傍圃場の表層壤土を篩分風乾したものを用いた。詰め方は深さ20cm毎に仮比重が約1.2となるよう踏圧しながらおこなった。充填完了後は最下部の排水管より注入して水締めをおこない、土壌の安定化をはかった。試験終了後に各層より採取した試料で最終的に安定化の進んだ土壌の物理性を検した結果は第4表のとおりで、下層ほど圧密され仮比重は1.4~1.5に進行したことが認められた。土壌の水分張力特性は第7図の例に示されるように壤土としての特徴が明

第4表 試験区の土壌

区名	深さ cm	真比重	仮比重	間隙率 %	固容率 %
地表かんがい区	5	2.77	1.20	56.8	43.2
	20	2.73	1.27	53.6	46.4
	40	2.75	1.38	50.0	50.0
	60	2.76	1.48	46.4	53.6
	80	2.70	1.51	44.2	55.8
	100	2.69	1.52	43.5	56.5
	平均	2.73	1.39	49.1	50.9
地中かんがい区	5	2.74	1.25	54.5	45.5
	20	2.78	1.28	54.0	46.0
	40	2.71	1.40	48.3	51.7
	60	2.70	1.44	46.7	53.3
	80	2.75	1.48	46.0	54.0
	100	2.74	1.50	45.1	54.9
	平均	2.74	1.39	49.1	50.9



第7図 P<sup>F</sup>~水分曲線

\* 本章執筆担当者：水之江政輝

らかであった。

3) 供試作物

ヒマワリ(大葉多葉系)を栽植した。播種期7月12日,栽植間隔 $20 \times 30$  cm, 1区当り栽植本数 $4 \times 6 = 24$ 本とした。

4) かんがい方法およびかんがい水量

地表かんがい区はサイフォンチューブを用いた越流かんがいとし,地中かんがい区は地中埋設多孔質素焼管による地中浸出かんがいとした。かんがい期日およびかんがい水量は表-5のとおりである。

第5表 かんがい期日とかんがい水量

月日	かんがい水量 mm	備 考
8-21	50(75ℓ)	地中かんがい区10mmを地表より給水
8-24	80(120)	
9-3	60(90)	
9-9	60(90)	

5) 土壌水分測定法

テンシオメータ法によった。ポーラスカップ埋設深さは地下10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 90 cmとした。地表,地中両かんがい区の中央2区のテンシオメータのうち60cmまでのものは遠隔自記装置(4.土壌水分張力自記装置の試作と測定例参照)に接続し,他はマンメータ観測によった。測定はかんがい直前より開始し,かんがい後2~3日間継続した。測定間隔は自記装置を除き日中2~4時間とした。

3.2 試験結果

土壌水分張力測定は8月21日より開始した。主たる測定期間は8月21日~8月24日,9月8日~9月12日の2回で降雨を遮断し,かんがいのみによる水分補給の状態下で測定した。2回のうち初回は地中かんがい区も一部の水量が地表にかんがいされたことにより,区間差の発生が明瞭でなかったので,以下に概述した結果は後期の測定結果のみについて検討を加えたものである。

1) 土壌水分張力の推移

かんがい直後より約48時間における張力分布の変動を示したのが第8図である。地表かんがい区の張力変動がかんがい直後より下層に及んでいるのに対して,地中かんがい区ではかんがい開始後約8時間を経なければ土層の広い範囲にわたる

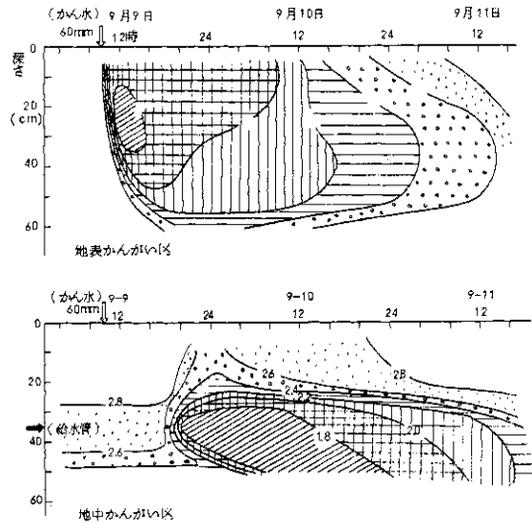


図-8 土壌水分張力分布の変動

張力変化は生じなかった。60mmのかんがいに要する時間は地表かんがいでは20~30分で終了するのに対して,地中かんがいでは浸出量約 $0.05 \text{ cc/min/cm}^2$ の多孔管を経由するところから全量の水が浸入するのは24時間近くを要するものと考えられ,張力低下域の増大は緩慢な経過をたどったものと判断された。

地表かんがい区ではかん水と同時に地表より張力の低下が始まり,約6時間で地下50cm位が $P^F 2.0$ に低下する。張力低下の影響の及ぶのは地下65~70cm程までで,影響到達時間は約18時間後と推定された。層位のいずれかの部分において $P^F 2.0$ 以下の低張力を維持できるのはかんがい後約24時間までであった。比較的低い張力を最も長く持続する層位は地下30~50cmであった。この層位は根系の吸収能力が十分活潑で水消費も多量であるが,表層水の下向移動が長時間続くことにより低張力を維持するものと判断された。

地中かんがい区では,浸入水の大部分は下向移動するものと思われ,上向の $P^F$ 値低下は地表近くには及んでいないのが特徴的である。給水管下方

の  $P^F$  低下域の拡大は緩かに続き、かなりの長時間低張力で経過した。かんがい水の浸入深さは地下 65~70 cm で地表かんがい区とほぼ同じであるが上向浸潤位が地下 25~30 cm にとどまっているので全浸潤域の巾は地表かんがい区より狭くなっている。水分保留域の狭いことは根系への吸収に制約を与えることになるが、多水分状態が持続することにより、後述する如く、消費水量の減衰は地表かんがい区に較べて少なかった。

2) 水分保留量および水分垂直分布

水分率は第 7 図の  $P^F$  ~ 水分曲線により張力値を変換して得られる。水分率より求めた層位別の水分保留量および全層保留量は第 9 図のような変動を示した。地表かんがい区と地中かんがい区とでは、かんがい後の変動に時差があり、全層保留量にみられるように最大保留量を示す時間は約 20 時間のおくれがあった。保留量が増大してか

ら再びかんがい前の保留量に近づくのは約 48 時間後で両区とも大差は認められない。従って、地表かんがいと地中かんがいで層位別の消費形態に相違はあっても全消費量(等しい期間内の)はほぼ相等しいものと推考された。

水分減少の各層の消長は第 10 図にみられるように両区間に明瞭な特徴が認められた。地中かんがい区は地下 20cm まではかんがい前後の水分変化は僅少で大部分の水分変動は下層でおこなわれている。この形態は地表かんがい区にみられるような一般的なかんがい、あるいは降雨後の水分消長形態とは異なり、地表面蒸発量が著しく少ないことを示している。地下 50cm 以下の水分減少が地中かんがい区において大きいのは、この部分に多量の水の供与があったためであるが、この部分の根系組織にその水量を消費する能力が存在したものと考えられた。ただし、このように大きい能力をもつのは土壤槽の限られた空間において密植栽培による深部に至るまでの密な根系組織が一因をなすものと考えられ、圃場状態とは明らかな相違をもつものと思われた。

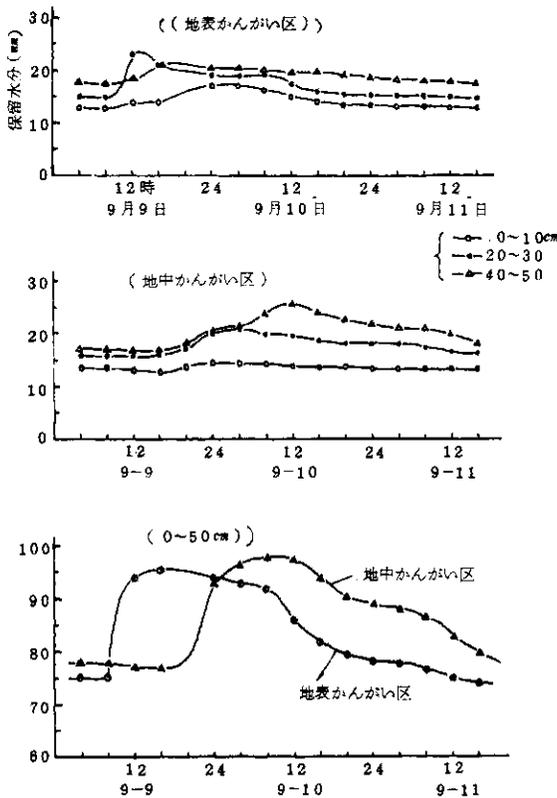


図-9 保留水分の変化

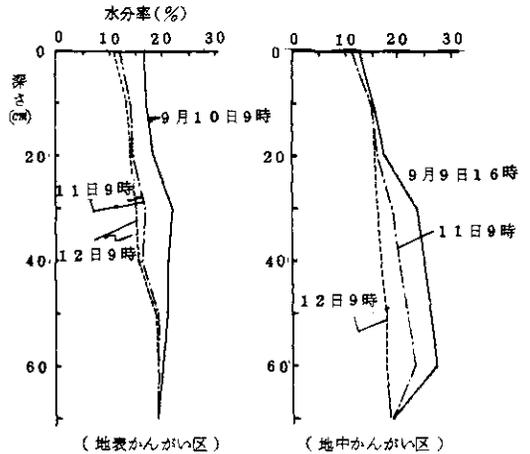


図-10 土壤水分垂直分布の変化

3) 消費水量と層別消費割合

水分保留量の変動から求めた消費水量は第 11 図のように示された。図は 9 月 9 日より 9 月 11 日に至るもので、表層より地下 50cm 間の 12 時間当りの消費量を表わしたものである。一般に、夜間消費は昼間消費に較べて著しく少ないのが通

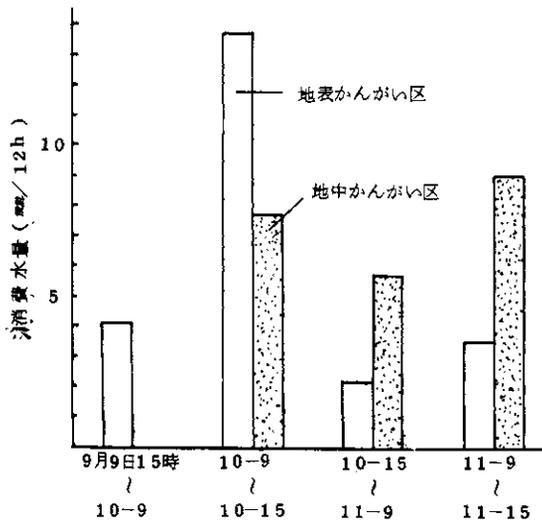


図-1-1 50 cm層間における消費水量

例であるが、9月10日夜の地中かんがい区では5.7 mm/12hとやや大きな値を示している。その理由は第8図の張力推移にみられるように、この時点ではまだ水分の向下移動が続いているため50cm以下への浸透量が消費量として計上されたとみるべきである。9月9日夜の地表かんがい区についても同様の傾向をみる事ができる。概括的にみて地表かんがい区がかんがい後、比較的短時間で多量の消費をおこない急激に衰えるのに対して、地中かんがい区では地表かんがい区より少ない水量の消費がやや長時間保たれる傾向がある。しかし、かんがい中断中における総消費水量は、前述した如く両区での大差は認められなかった。

かんがい後12時間毎の土層別水分消費割合を求めたのが第12図である。地中かんがい区は明らかに下層消費型を呈し、地表かんがい区の消費型と判然と異なった。下層消費型は地表かんがいでも9月11日昼間の消費型のようにあらわれるが、地表かんがいの場合は著しい水分不足の状態においてあらわれるのに対して地中かんがいでは余裕のある水分状態ですでに下層消費型であることを区別すべきである。地表かんがいでは普通には表層消費型からはじまって漸時、全層消費型に移向するが、本試験では特殊な環境であることに

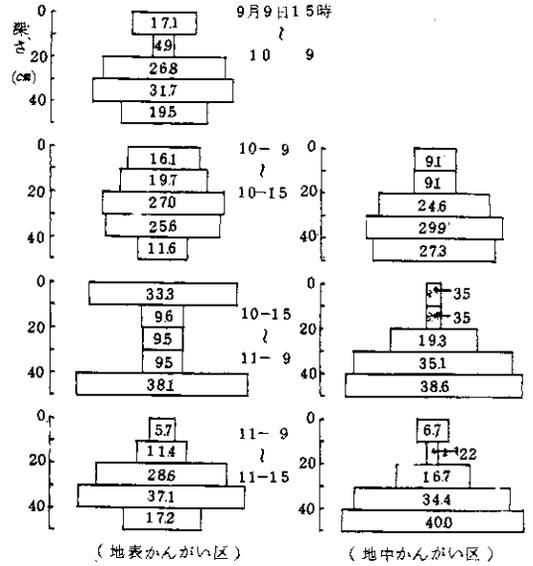


図-1-2 時間別水分消費割合 (%)

より当初より全層消費型の傾向をたどった。

### 3.3 要約

本試験は、かんがい方法の相違とかんがい効率の優劣の関係について検討するのを究極の目的としているが、正確な結論を与える資料を提供するには実験の種類、回数が十分とはいえない。しかしながら、土壌水分の測定を通して些少なから次の知見が得られた。

地表かんがいと地中かんがいとは、地表面蒸発量、作物の時間別消費水量に差異が認められるが、1回のかんがい中断期間を通じての全消費水量には両方法の間に大きな差はないものと考えられる。但し、全消費水量は等しくても消費形態に異なりがあるため、作物生育にとっていずれが適法であるかは今後の課題として残されている。

地中かんがいではかんがい水の大部分が下層に移行するため、根系の深い作物あるいは下層消費能力が大きく発揮できる環境では有効であるが、普通作物における一般の栽培環境では適用効率がかなり低下するおそれがある。

## 4. 開発した装置

### 4.1 土層別自動給水装置\*

#### 4.1.1 試作の目的

かんがい水の利用効率を高めるためには、土面

\* 本節執筆担当者：安藤隆夫

蒸発や地下浸透による損失を最少限に留める必要がある。そのためには、マルチなどによる土面蒸発防止は勿論、給水は地中かんがいによることが有利ではないかと考えられる。

しかし、地中かんがいの給水深さや、間断間隔、水量などは、土性、土壌の構造、作物の種類などによって異なるはずで、かんがい水の利用効率を高めるかんがい方法を策定するために必要な基礎数値を明らかにしなければならない。

この目的のために、土層別の構造や、かん水位置、かん水量などを自由に定めることのできる土層別自動給水装置を試作した。

#### 4.1.2 装置の概要と使用法

この装置は、10cm深さごとに分離可能な土壌槽、平衡用の台秤、Uゲージ、ひずみ検出器、自動給水用電磁弁、水槽からなっている。それぞれの仕様は図示のとおりである。

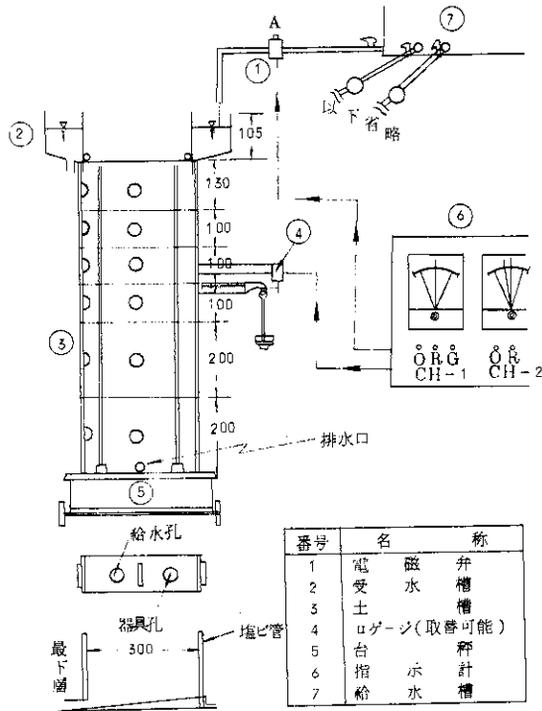


図-13 土層別自動給水装置(単位mm)

まず、土壌槽に所定の土壌を詰める。地下給水を行なうときは希望の深さに給水管を埋設し、給水口に連結する。作物を植付け十分にかん水した

後、余剰水を最下層の排水口から排出させる。

検出器はUゲージに圧が加わらぬ状態で出力調整を行ない、指針を0に合わせる。秤の平衡を取り、フルスケールを測定しようとする最大圧にとる。

メーターに附設してある on, off の遊標を所定の位置にセットする。

作物が水を消費すると、土壌槽は軽くなり、秤は平衡を失なって、秤は下り、Uゲージはその圧をうける。検出器はその圧に応じた値を示すので、指針の読みは消費水量をあらわす。

予め設定した on 遊標の位置まで圧が加わる(水消費がすすむ)と、スイッチが入り電磁弁の回路が開かれ自動的に給水される。所定量の給水が終るとスイッチの off が働き弁が閉じる。

#### 装置の特徴と予測される成果

従来発表されている自動給水装置は秤の秤の上下によりスイッチが作動するように設計されているので、極めて少量の頻ばん給水となり、土壌水分の変動巾を変えて試験することができず、かんがいの研究には適合しない。

測定の精度、水分の変動巾はUゲージを取替え使用することにより、同一の検出機により、自由に定めることができる。この試作機は秤に秤量 150kg, 感量 100g のものを使用しており、秤の先端には重量変化が  $\frac{1}{100}$  の値であらわれるので、100g のUゲージで安全を十分にみて最大 2kg, 600g のUゲージで最大 15kg の変化を、それぞれの  $\frac{1}{100}$  の精度で検出することができる。

土壌槽は 10cm ごとに取外しが可能であって、根の分布と水分の消費パターンとの関係を明らかにすることができ、土壌の構造、土性等を深度別に変えるなど、各種土壌条件下における消費特性や、それに適合した給水位置を明らかにすることができる。

この装置を用いることにより、以上のような項目のほか、各種作物の生育に適合する土壌水分の変動巾や、土壌水分量を、土層の構成との関係で明らかにすることが可能で、最も適正なかんがい方法や、水量、間断間隔などに関する知見を得ることができるであろう。

なお、現在はキュウリについて、試験を行なっている。

## 4.2 土壌水分張力自記装置の試作と測定例\*

### 4.2.1 装置開発の趣旨

土壌水分変動を頻繁な時間間隔で測定することは、従来のかんがい水量決定の立場からは強い要請がされていなかったが、水利用の経済性をより向上させる近來の方策にのって消費水量の精密な把握、要かんがい時判定の理論確立を期すため、土層層序間の動的な水収支を連続的にとらえる必要性が高まっている。ここに、土壌水分の自記測定の要望がなされ、間接法として、埋設吸湿体の電気抵抗自記測定が既に研究段階で開発されている。しかし、電気抵抗測定では水分量との較正が著しく不便であり土壌相互間の比較検討にも難点があった。土壌水分表示法では電気抵抗よりも土粒子間負圧で示す方が応用面で優れておりテンシオメータによる土壌水分張力測定法が現今広く普及している。テンシオメータについての詳しい記載は省略したが、以下に紹介したのはテンシオメータの自記測定に関する試作装置開発の概要で、ほぼ期待に近い成果を得たものである。テンシオメータの自記測定法には数種の方式が考えられ、本方式が必ずしも他の方式に較べて全面的に優れているとは断言できないが、高い精度を得るためにストレインゲージを応用し、遠隔測定できることに優れた意義をもつものと考えられる。

### 4.2.2 測定法の原理

圃場で土壌水分張力を測定する最も普遍的な方法はテンシオメータである。その原理は、多孔質材料を土壌への接触端とする半密閉系において、中に満たされた水を媒介して土壌負圧（張力）の検出、伝達をおこなうものである。張力の指示にはブルドン管真空計あるいは比重の大きい液体マノメータを用いるのが普通であるが、ダイヤフラムまたはベローズをとりつけその変位を測ってもよい。隔測を望むときはこれらの計測素子の変位を電気信号に変換することによって可能となる。本実験に用いた装置は直管型水銀マノメータの水銀槽にストレインゲージを装着したもので、張力の増減によって生じる水銀の重量変動を電圧変動に変えて記録計に導くものである。200g用120Ωの非接着型ストレインゲージ（Uゲージ）は印加電圧5Vで1gの重量変化に対して約±4μVの出力を有する。内径2mmのマノメータを

用いるものとする、水銀柱の昇降1cm当り約±2μVの出力となる。この微小電圧を10mVフルスケール汎用記録計に入れるにはかなり大きい増巾度をもつ増巾回路を経なければならぬ。増巾度を低くおさえるには、ゲージサイズを小さくするかあるいはマノメータ内径を大きくして水銀重量変動の巾を大きくすればよい。得られた電圧変化は水銀柱昇降に正しく比例するので較正曲線を作成しておき水分張力に換算する。

### 4.2.3 装置の構造と操作法

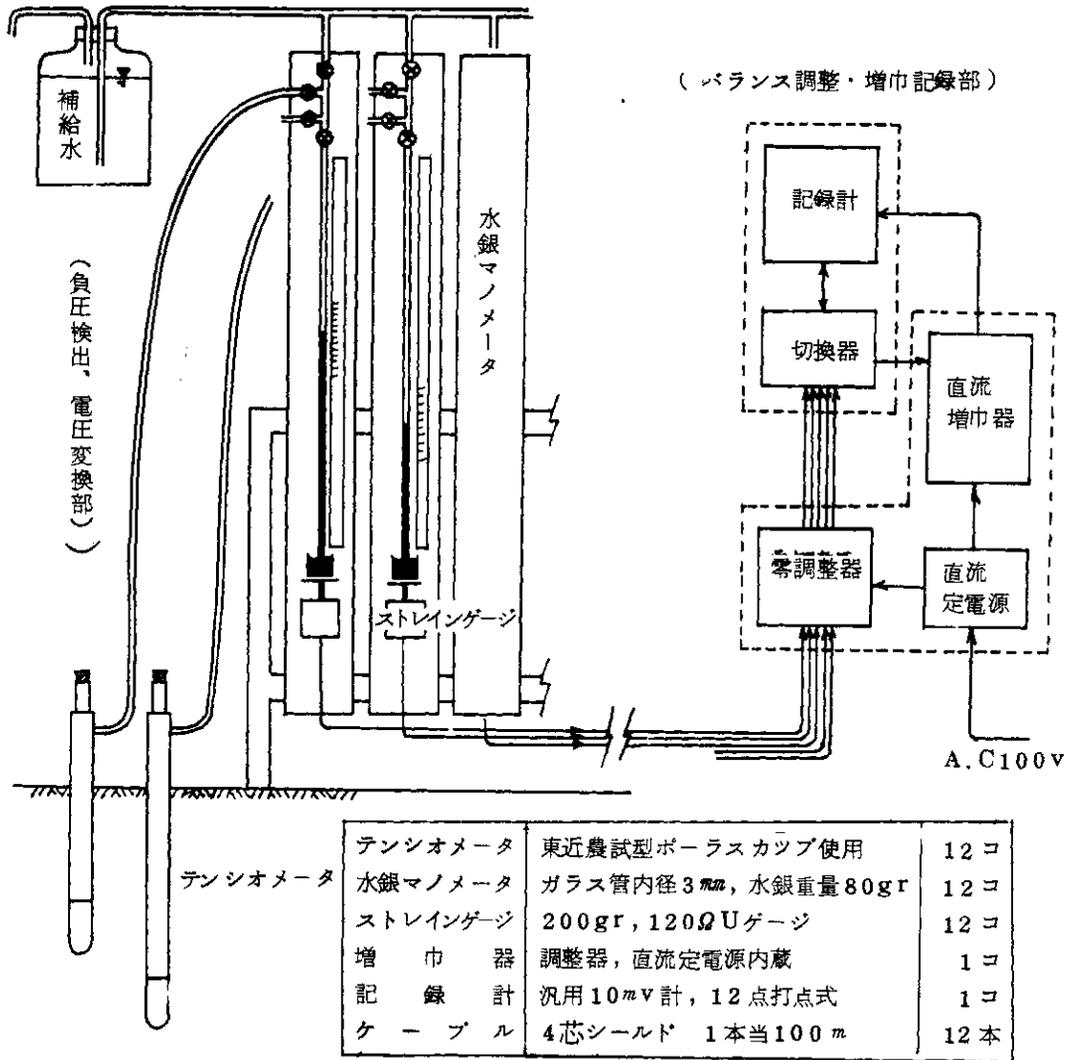
本装置の主要な部分は第14図に示されるように、土壌中に埋設されるテンシオメータにはじまり、張力伝達水チューブを通じて切換コックならびに200g120ΩUゲージ付内径3mmの水銀マノメータに導かれる。張力変動はUゲージで電圧変換されその出力は100mのケーブルで調整器に入る。調整器は回路の抵抗バランスの加減により指針の基準位置を任意に設定する。ゲージの出力電圧は直流増巾器で約500倍に増巾されて記録計に記録される。多点同時測定のためには同数個の増巾器が必要であるが、本装置では増巾回路に入る前に記録計の切換回路を用いてUゲージからの信号を選択するので複数個の増巾器は必要とされない。記録計は10mVフルスケール12点式電子管平衡記録計を用いた。

テンシオメータおよびマノメータにそれぞれ水、水銀を満たし、測定の準備が整うと、まず調整器の零調整により記録計の基準指度調整をおこなう。このときは水銀柱は零位を示し、コックは全部閉じられていなければならない。次いで真空ポンプによってマノメータを減圧し水銀柱の単位昇降巾と記録計指示巾の較正を感度調整によって任意に設定する。感度調整をおこなうと最初に調整した基準位置が少しずれるので再び零調整をおこなう。調整が終るとテンシオメータ側のコックを開いて張力をマノメータに伝える。

### 4.2.4 水分張力測定値

テンシオメータの理論的測定限界は約740mmHgであるが、実際にはポーラスカップを通しての空気の混入あるいは使用水中における気泡の析出等により600～650mmHgが実用限界とされている。したがって実験に際しては、600mmHgを記録計のほぼ最大スケールとなるよう感度

\* 本節執筆担当者：長谷部次郎



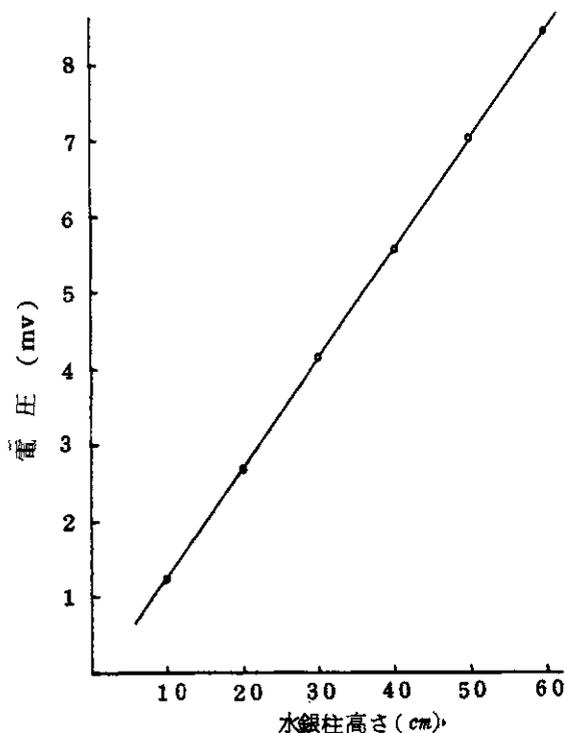
第14図 テンシオメーターおよび自記装置の概要図

調整をした。このときの水銀柱の読みと記録計指示値の関係を第15図に示した。この両者の関係はマンメータおよびストレインゲージに固体差があるため各テンシオメータ毎に関係曲線を求めておかななくてはならない。ポーラスカップの埋設深さを10, 20, 30, 40, 50cmとし、それぞれの土壌水分張力を記録紙の読みから第15図のような関係曲線で水銀柱に換算して求めた経時変化は第16図のようになった。この測定はかんがい直後から次回のかんがいまでの間の水分変動を

調査したもので各層の水分変動の特徴が明瞭にあらわれている。この結果によると、かんがいによる土壌水分増大は時差をもって下層に移行し、50cmの深さでは最大の水分率を示すのはかんがい後約10時間であると判定された。

#### 4.2.5 改善すべき問題点

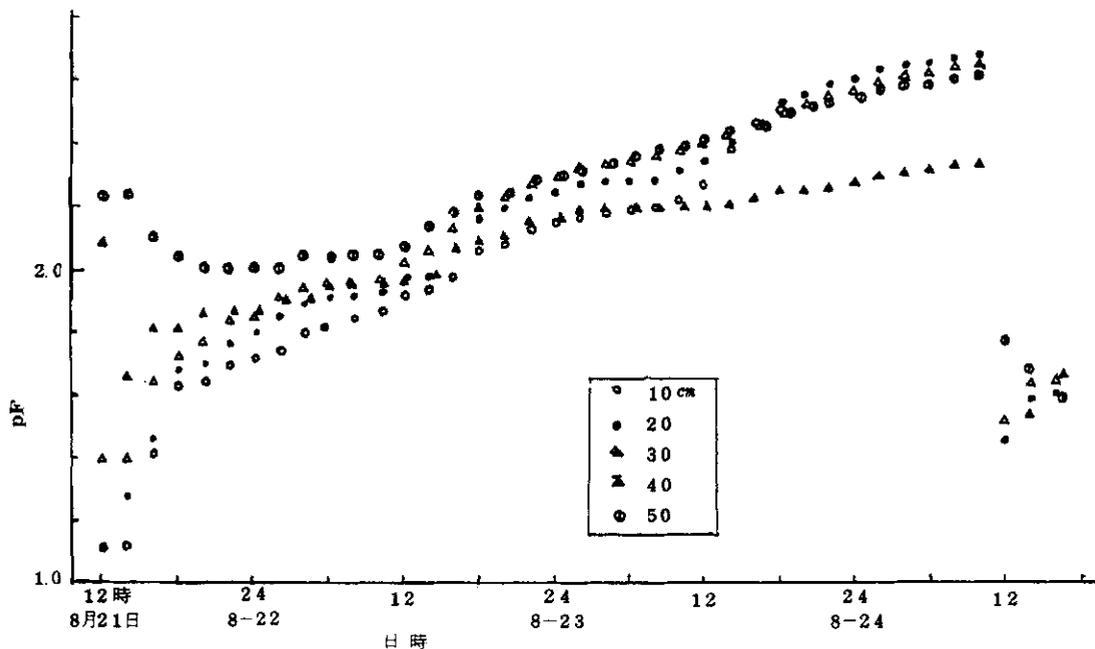
水分張力変動の如き比較的静的な現象を長時間にわたって測定する際に考慮しなければならない重要な問題の一つは増巾回路の安定性である。安定性に関係する因子の主なるものとして電源電圧



第15図 水銀柱高さと指示電圧(例)

の変動、環境温度の変化があげられる。本装置の増巾回路には安定化電源回路が組み込まれているが、ゲージ側印加電圧には経費上の理由で電圧安定化を省略した。このためゲージ入力電圧に若干の乱れのあることが認められたので別の電源装置を用いねばならなかった。温度変化に対しては本装置は防護処置をとっておらず昼間と夜間の温度差によってかなり著しい指度の偏向を示した。温度差による偏向は通常の変動による乱れよりも大きく、特に増巾回路に強く影響することが認められたので、12個のUゲージのうち1個をテンソメータと無関係とし、これの示す値を他のUゲージ指示値より消去して温度の影響を除いた真の張力を示す電圧値に補正した。このため、1個のUゲージは常に補正用に確保しておかねばならず装置の使用効率上の損失となった。この問題は回路に温度補償対策を施すことによってある程度解決するが、完全に消去することは技術的に困難であろうと考えられる。

Uゲージのサイズ決定にあたって、マンメータ水銀の瞬間的な降下による衝撃の強さを管内水銀重量の2倍程度と想定し、これに2.0の安全率を見込んで200g用のUゲージを採用したが、当初設計の内径2mmのマンメータを用いることに



第16図 電圧記録より求めた  $P^F$  値の推移

よる最大の水銀変化量は約30gにすぎず、このゲージ出力では著しく大きな増巾を与えなければ記録計のフルスケールをとることは難しかった。このため、マンメータ内径を3mmとし水銀変化量を増大させたがなおかつ増巾度は500倍が要求された。増巾度を高めると回路の安定性が損われるので、低増巾ですむようにUゲージは不必要に大きなものを選ぶことは避けるべきである。なお、容量の大きいマンメータはポーラスカップにおける水の入出量を増大させ、付近土壌水分の平衡にタイムラグを生じる原因となるので測定の趣旨からみて望ましいことではない。マンメータは管内摩擦あるいは附着による測定の支障を無視できる限度において細径とすべきである。

以上のように、試作装置にはいくつかの改善されなければならない欠点を含んでいるが、若干の操作の繁雑さをいとわなければ現状のままでもかなり満足できる測定値を得ることができる。前述の諸点の改良によって測定操作の至便性は増し、測定値の精度の向上が期待される。

#### 4.3 水分上昇速度測定装置\*

熱電法は導管内の水の上昇速度をよく捕え、蒸散量と一致した結果が得られるなど水分生理の研究に有用であることが知られている。欧米で開発されたが、わが国では小林(日作紀32:105~108)が試作して報告している。

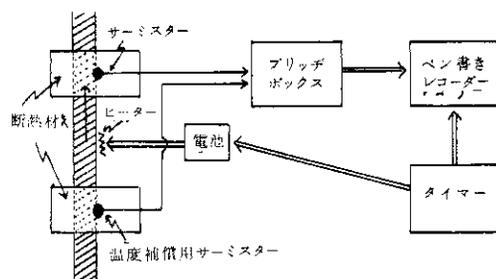
作物体内の水の動きを捕える手法の一つとしてこの熱電法に着目し、さらに改良を加えて、長期間連続自動測定をするための多点自記装置を製作した。

##### 4.3.1 装置の原理と構造

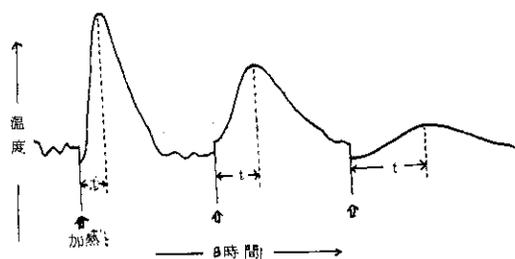
第17図のように、莖に装置したヒーターに短時間電流を通じて加熱し、水の上昇によって運ばれる熱を約1.5cm上方にセットしたサーミスターで検出して、それに要する時間(t)と距離から流速を求める。

ブリッジボックスは4連とし、4ペンレコーダーを用いて、4箇所の測定を同時に行なうように組んだ。タイマー部は3個のタイマーからなり、ヒーターへの通電時間(0~10秒)、測定時間(0~10分)、休止時間(0~30分)をそれぞれセットすることによって、5~40分の間で一定時間ごとに測定を自動的に繰り返す。

サーミスター位置の温度変化が第18図のように記録される。tは流速が早いほど短かく、遅いほど長くなる。また加熱時間が一定なら、カーブの山の高さ、すなわち温度は流速が早いほど高く、遅いと低くなる。



第17図 装置の概要



第18図 記録例(模式図)

##### 4.3.2 測定結果

イネ科作物では不安定な結果しかえられなかったが、双子葉の作物ではかなり長期間(2~10日)にわたって測定できた。ことにツル性作物で好結果がえられた。維管束の分布形態、葉面積および莖の太さの相互関係が測定の難易を分けたと考えられる。

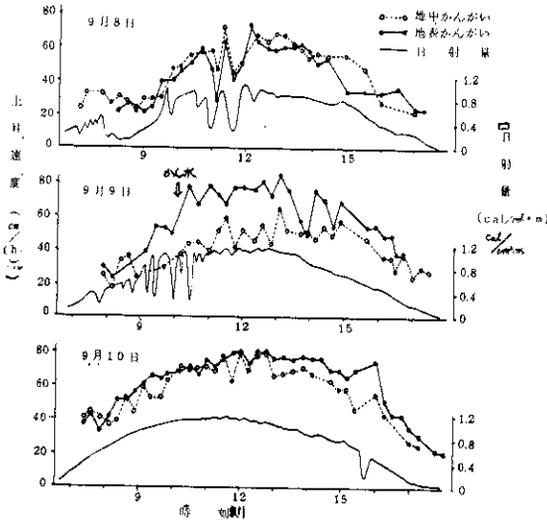
上昇速度は晴天の日中に大であったが、夜間、曇雨天や干ばつ、葉面散水、摘葉などで低下し、気象要因によく対応して変化した。ポットに栽培した作物では、上昇速度とポット減重量はよく一致した推移を示した。

かんすい方法を変えたヒマワリ(前記に同じ)

\* 本節執筆担当者：西村剛

について測定した結果を第19図に示した。ここでは生育、葉面積が類似した測定莖を各区から1個体ずつ選んで示した。

9月9日にかん水したことによって、地表かん水区ではかん水直後から上昇速度が増大したのに対して、地中かん水区では、水の浸透が遅かったため水不足が続き、上昇速度の停滞がみられた。



第19図 上昇速度および日射量の日変化

上昇速度から流量あるいは蒸散量を求めるには問題が多いが、この装置によって水の上昇速度の相対的な変化をかなり正確に観測することができるので、これと土壌水分、作物体内水分、蒸散量などを同時に測定することによって、水を一連の動きの中でとらえうると考えられる。

### 5. 摘要

干ばつ時におけるかんがい施設利用の実態を調査し、干ばつ時におけるかんがい方法の合理化に関する試験を実施した。

後者においては、少ない水で高い効率をあげるためにかんがい法の異なる場合の適用効率、および消費効率を調査し、合理化に資しようとした。

必要測器の開発と、土壌水分の測定および蒸散量の測定は計画通りに行なわれたが、適用効率および消費効率を結果するには至らず、土壌槽の設置も作物群落の中に設けられなかったので、消費水量は過大の傾向が認められた。

なお、この研究は当场畑作部のほとんど全研究室が参加して実施されたものである。報告の執筆者は章・節の巻頭脚注に示されたとおりであるが、全体の企画・最終的取まとめには加藤一郎・川竹基弘の両名が当たった。

### 参考文献

富士岡義一、西出勤：畑地用水量決定の合理化に関する研究

農士論 12号 1965

原 周作：メロンに対する地中かんがい試験

畑かん研集IX 1967

椎名乾治：蒸発散による畑地水分の減少機構に関する研究

農士試報 1号 1963

竹中 肇：下層土よりの水分補給と畑地かんがい用水量

農士学会講演会要旨 1964

Kato, Naito, Taniguchi and Kamota

(1960) : Proc. Crop Sci, Japan 28, 286-288.

BIANCHI, W. C. : Measuring Soil Moisture Tension Changes

Agr. Eng. Vol. 26 1962

長谷部次郎：試作テンシオメータによる土壌水分張力の測定

農業技術 18巻9号 1963

小林 一：畑地土壌水分の電気的測定法に関する研究

岐大農研報 8号 1957

SEDGLEY, R. H. & MILLINGTON, R. J. :

A Rapidly Equilibrating

Soil Moisture Tensiometer

Soil. Sci. Vol. 84 1957

鈴木重義：テンシオメータの製作

農士研 30巻8号 1963