

駒ヶ岳火山灰地における畑地かんがい に関する土壤肥料的研究

第1報 かんがいによる土壤水分の動向と消費水量について

南 松 雄[†] 沢 口 正 利[†]

STUDIES OF THE SCIENCE OF SOIL AND MANURE ON UPLAND FIELD IRRIGATION IN KOMAGADAKE VOLCANIC ASH DISTRICT

I. On the Behavior of Soil Moisture by Irrigation
and the Consumptive Water Capacity

Matsuo MINAMI & Masatoshi SAWAGUCHI

駒ヶ岳火山灰地帯の旱ばつ対策研究の一環として、粗粒火山性土壤に対する畑地かんがいによる土壤水分の動向と消費水量について検討した結果、本土壌の土層別有効水分は10~15%前後で保水力に乏しく、有効根群域内の水分保有量は40 mm 程度であり、また、表層の水分消費率はいちじるしく高く、根群域全体の80%以上に達する。燕麦の時期別消費水量としては7月中旬、大豆では8月中旬が最高で、そのときの日消費水量は 8.2~10.2mm である。主要畑作物に対する効果的なかんがい時期は燕麦では出穂始、馬鈴薯および大豆は開花期前後であり、しかも、土壤水分消費量の面より、かんがい開始時期としては作物根群域内の土壤有効水分が50%程度消費されたときがもっとも実用的である。

I 結 言

畑地の生産力を高めるためには、適切な水分管理が必要である。そのためには、気象および土壤条件の改変、水分補給、排水など多くの方法が考えられるが、駒ヶ岳火山灰地帯で取り上げられる水分管理は主としてかんがいによって、土壤水分の **Control** を行ない、畑作物の収量の増大と安定をはかることを目的としている。

わが国の畑地かんがいに関する試験研究¹⁾は、主として第二次大戦後アメリカの技術を参考とし

て本格的に始められ、農業土木および作物分野の技術者がその主体をなしてきたので、土壤肥料に関する試験研究がきわめて少なく、特に、作物に対する最適土壤水分張力、土壤水分の移動、水分張力の変化、蒸発散量など土壤水分と作物生育との関連など土壤肥料分野で研究すべき課題は非常に多い。

また、最近では畑地かんがい単に畑作物の旱害防止に止まらず、畑作の安定と生産力向上の基盤となるものであるという考えに立脚した研究に発展しようとしている。

一方、畑地かんがいの方法^{2) 15)}は 1) Surface Irrigation (1) Basin Irrigation (2) Flooding

[†] 中央農業試験場

③ Border Irrigation ④ Corrugations ⑤ Furrow Irrigation 2) Sprinkler Irrigation 3) Sub. Irrigation に大別されており、このうち、わが国で多く採用されている畑地かんがいは Furrow Irrigation と Sprinkler Irrigation である。

一般に、畑地かんがいの必要性の程度は ①連続旱天の発生状況、②有効根群域内の畑地土壌の水分保有能力、③畑作物の生育時期に応じた蒸発散量の大小などの相関性によって左右される。すなわち、これらの要素の組合せがかんがいの必要度に関係することになる。

本研究では1960年～1964年の5か年間にわたり駒ヶ岳火山灰地において Sprinkler 法による畑地かんがいを実施し、粗粒火山性土壌の水分張力におよぼす影響、かんがい適期の判定、かんがい計画に必要な土壌水分恒数、消費水量などについて検討した結果⁶⁾を報告する。

なお、本試験の実施に際し、ご協力を頂いた元経営部大橋和平科長、森町役場、同地区農業改良普及所の職員諸氏に深甚の謝意を表する。

II 試験方法

本研究を実施した試験地の土壌断面および土壌の理化学性は Tab. 1～2 に示すとおりである。

試験地——茅部郡森町字森川（火山性土）

本地帯は駒ヶ岳 d 火山灰の被覆せる火山性土に属し、大部分は粗粒火山灰からなる砂土型土壌であり、保水力および保肥力の大小と密接な関係を持つ粘土、腐植含量がきわめて少ない瘠薄な土壌である。

次に、畑地かんがいの基礎的な資料を得るため、森測候所の気象観測値を整理すると、降水量は累年平均 1,100mm 程度で他府県のそれに比べて少なく、かつ、畑作物の生育期間中（5月～9月）の降水量も 520mm 前後で作物の必要水量としてはやや不足している。しかも同地帯の降雨分布によると、7 日以上連続旱天は年平均 5～6 回程度の割合で起こっており、特に 5 月、7 月、8 月に多く現われている。

本研究は次の 3 項目について実施した。

Tab. 1 Soil profile

Soil horizon	Depth cm	Mechanical texture	Soil color	Characters	Remarks
1	0～14	Ŧ S	Dark yellowish brown	Komagadake d volcanic ash	
2	14～28	Ŧ S	Yellowish brown	Brittle crumb structure. Pile is soft. No adhesion.	Depths of effective soil layer is 28cm.
3	28～	G S	Grayish white	Komagadake d volcanic ash. Single granular structure. Pile is compact. No adhesion.	

Tab. 2 Physical and chemical properties of soil

Soil horizon	Volume weight	Mechanical composition				pH		Total nitrogen (%)	Total humus (%)	Exchange capacity (me.)	Absorption index	
		Coarse sand	Fine sand	Silt	Clay	H ₂ O	KCl				N	P ₂ O ₅
1	1.45	83.6	10.4	2.6	2.3	6.30	5.25	0.14	1.84	7.37	214	914
2	1.44	83.9	10.3	2.2	1.9	6.50	5.60	0.11	1.26	5.85	141	610
3	1.34	91.4	6.4	0.2	1.0	6.54	5.75	0.05	0.24	0.65	79	400

- 1) 土壌水分張力の変化について
- 2) かんがい適期について
- 3) 消費水量と三要素の溶脱について

まず、1) は畑地かんがいにおける水利用の基礎資料をうるため、駒ヶ岳火山灰地における畑作物栽培期間中の土壌水分の変化を採土による直接法と Tensiometer 法²⁾ (毛管負圧-水分) で追跡しあわせて、かんがい計画に必要な土壌水分恒数と水分消費量を調査した。

2) は効果的なかんがい適期を判定するために燕麦、馬鈴薯および大豆を供試作物として、(1). 作物の生育時期とかんがい適期との関係、(2). 土壌有効水分の消費量とかんがい開始時期との関連について検討した。

まず、(1) 作物の生育時期とかんがい適期との関係についての試験区分として、燕麦では、① 無かんがい区、② 播種後45日目かんがい区、③ 出穂始かんがい区、④ 出穂後15日目かんがい区 馬鈴薯では、① 無かんがい区、② 播種後45日目かんがい区、③ 開花始かんがい区、④ 開花後15日目かんがい区。大豆では、① 無かんがい区、② 播種後50日目かんがい区、③ 開花始か

んがい区、④ 開花後15日目かんがい区をそれぞれ設置し、各作物に対するかんがい期間は20日間とし、かんがい量を2日ごとに 10mm とした。

次に、(2) 土壌有効水分の消費量とかんがい開始時期との関係についての試験区分として、① 無かんがい区、② 有効水分25%消費時かんがい区、③ 有効水分50%消費時かんがい区、④ 有効水分75%消費時かんがい区を設置し、各処理区の1回のかん水量を0, 10, 20, 30mm とし、馬鈴薯に対するかんがい期間を6月15日～8月15日、大豆の場合は7月1日～9月20日までとした。なお、各作物に対する施肥量は次のとおりである。すなわち、燕麦—窒素 5 kg, 磷酸 8 kg, 加里 5 kg, 堆肥 1,200kg/10a, 馬鈴薯—窒素 10kg, 磷酸 15kg, 加里 10kg, 堆肥 1,800kg/10a, 大豆—窒素 2 kg, 磷酸 8 kg, 加里 5 kg, 堆肥 750 kg/10a である。

3) は本地帯の主要畑作物である燕麦、大豆の消費水量¹²⁾ならびにかん水に伴う三要素の滲透溶脱による損失量¹³⁾を Lysimeter を使用して調査し、その試験区分は次のとおりである。

燕麦に対する施肥量は窒素 3g, 磷酸 4g, 加

Tab. 3 Experiment design

No. of plot	Treatment	Soil sample	Quantity of irrigated water every time (mm)	Interval of irrigation
1	No irrigation	Volcanic ash soil	0	None, no culture
2	20mm irrigation	Volcanic ash soil	20	Five days
3	40mm irrigation	Volcanic ash soil	40	Five days

里 3g/Lysimeter, 大豆の場合は窒素 1.5g, 磷酸 3g, 加里 3g/Lysimeter であり、かんがい期間は燕麦では6月11日～8月10日、大豆では6月20日～9月30日までである。

なお、かん水は所定量を如露にて散水し、降雨があった場合のかん水量は次式より算出した。

$$I = X - A \left(1 - \frac{B}{Y}\right)$$

I ; かん水量 X ; 基準かん水量

A, B ; B 日前に A mm の降雨があった場合

Y ; 間断日数

滲透水量は前日の午前9時から翌日の午前9時までのものを前日の滲透水量と見なし、蒸発量、降雨量は Lysimeter に近接して設置した雨量計および蒸発計にて測定した。また、消費水量 (土壌面蒸発量+葉面蒸発量) は供給水量 (降雨量+かん水量) より滲透水量を差し引いて求め、消費水量測定には面積 1.4 m², 深さ 50 cm の 1/700 are Lysimeter を使用した。

Ⅲ 試験成績

(1) 土壌水分張力の変化

一般に、畑地の土壌水分の変化は「降水による補給」「土壌の保水容量」「作物による水消費」「土壌面からの蒸発」の4つの要素によって決定される。従って、まず駒ヶ岳火山灰地における降水量と土壌水分の消長との関係について検討するため、Tensiometer（毛管負圧—水分）を地表下10, 20, 30cmの深さに埋設して畑地の土壌水分の変化を連続的に追跡し、同時に降水量をも調査した結果は Fig. 1 に示すとおりである。

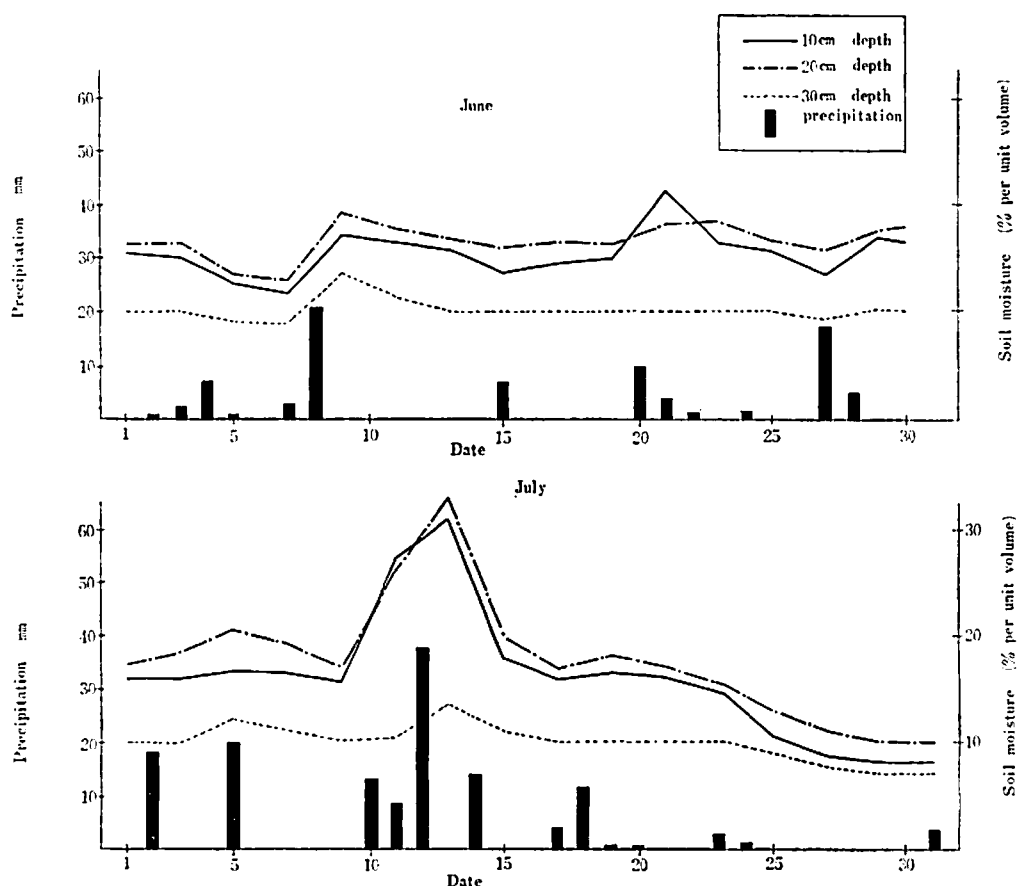
調査期間中（1961年6月～9月）の総降水量は499.8mmで平年（445.2mm）に比してやや多く、

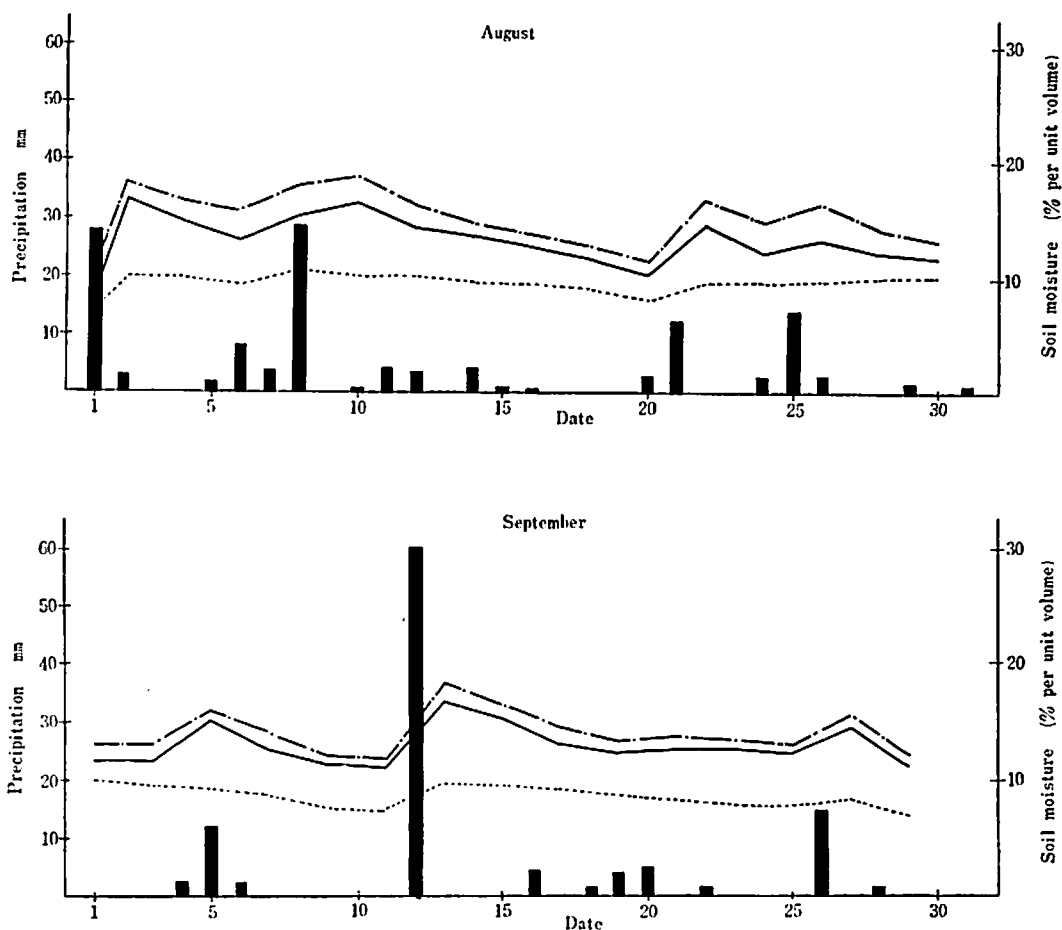
月別にみると、6月は60.9mm、7月は221.1mm、8月は41.6mm、9月は176.2mmであり、7月および9月は集中豪雨のために降水量が多く、6月と8月は極端に少なかった。

次に、Fig.1によれば、調査期間中の土壌水分は常に地表下20cmのところが高くなり、次いで10cm、30cmの順であり、しかも、降水量が少なく、早ばつの続いた7月下旬、8月中旬ごろには表層の土壌水分量が急激に減少して地表下10, 20, 30cmの土壌水分含量はほとんど同一になる。

また、表層（地表下10, 20cm）の土壌水分含量は降水量による影響が大きく、降雨後の水分含量は急激に増大する。しかし、5mm以下の降水量

Fig. 1 Effect of rainfall on soil moisture





の場合にはその影響がほとんど認められない。これに反して、下層（地表下30cm）の土壤水分は降水量の多少にかかわらず、常に7～8%前後であり、あまり大きな変化が認められない。

なお、畑地の同一地点の土壤水分を連続的に土壤や植生を攪乱することなく、かつ、簡便に測定する方法として電気抵抗法²⁾ Tensiometer 法²⁾ などが多く採用されているが、両法とも間接法であり電気抵抗—水分、毛管負圧—水分との Calibration curve を前もって作製しなければ水分量に換算できない。Tensiometer 法は飽水状態 (pF 0) より水分当量 (pF 3.0) の間の水分測定に有効であり、一方、電気抵抗法による測定範囲は大体 pF 3.0～4.2 の間である。

次にかんがい計画に必要な諸量と土壤水分恒数

との関連を求めるため、駒ヶ岳火山灰土壌の水分保有能力および pH—水分曲線について調査した結果は Tab.4, Fig.2 に示すとおりである。

層位別に採取した未風乾試料について、土壤水分恒数を土柱法²⁾ ¹¹⁾ (pF 0), 吸引法²⁾ ¹¹⁾ (pF 1.5～2.0), 遠心法²⁾ ¹¹⁾ (pF 3.0～4.2) によって測定したが、土柱法および吸引法の低 pF 領域は試料の大孔隙の量と分布の差を示すことになるので、現地構造の土壌を飽水—脱水して得た測定値を示す。なお、多量のかん水または降雨後24時間経過しても根群域に保留されている水分を24時間圃場容水量⁹⁾ とし、有効水分の上限として採用した。

一般に、有効水分については BAYER¹⁾, SHAW⁸⁾ の著書にもまとめられているように、張力 (pF) を基盤として圃場容水量から萎凋点の水分を差し引

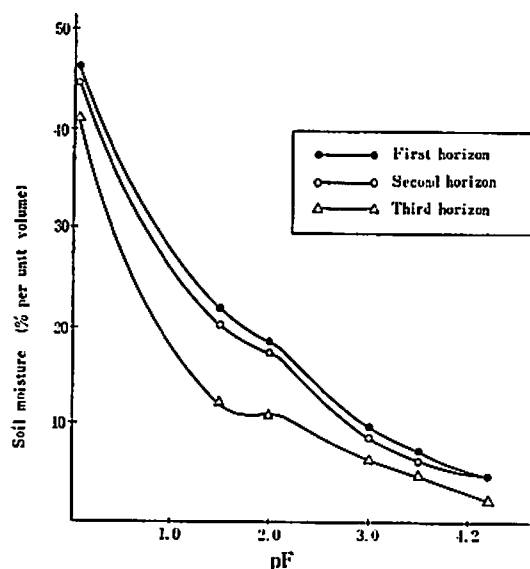
Tab. 4 Retention capacity of soil moisture

Soil horizon	Depth of soil (cm)	Volume weight	Volume composition			Pore space (%)	Soil moisture (% per unit volume)					
			Solid phase (%)	Liquid phase (%)	Air phase (%)		pF 0	pF 1.5	pF 2.0	pF 3.0	pF 3.5	pF 4.2
1	0~14	1.45	43.8	15.9	40.3	56.2	45.6	21.9	18.3	9.6	7.3	4.6
2	14~28	1.44	42.0	14.7	43.3	58.0	44.8	20.4	17.9	9.3	7.0	4.5
3	28~40	1.34	45.0	10.0	45.5	55.5	41.9	12.4	11.2	6.8	4.7	2.2

Soil horizon	24th hour field capacity (%)	pF correspond to 24th hour field capacity (%)	Available moisture (%)	Available moisture capacity (mm)	F. C~pF 3.0	pF 3.0~pF 4.2
1	20.1	1.80	15.5	21.7	10.5	5.0
2	19.4	1.70	14.9	20.9	10.1	4.8
3	11.5	1.75	9.3	11.2	4.7	4.6

- Remarks : 1. pF 0 is the maximum capillary water capacity.
 2. pF 1.5 is the water capacity exhausted with suction pressure of 32cm and the maximum capillary porosity.
 3. pF 2.0 is the water capacity exhausted with suction pressure of 100cm.
 4. pF 3.0 is the moisture equivalent.
 5. pF 4.2 is the wilting point.
 6. Available moisture is the moisture between field capacity and wilting point.
 7. Available moisture multiplied by depth of soil horizon is available moisture capacity.

Fig. 2 pF—moisture curve



いた水分量と定義され、同時に作物の水分利用可能な土層の深さが考慮されるべきであり、きわめて概括的にみれば、有効水分は腐植質土、鈣質土、砂質土壌の順で少ないことは明らかである。

このように、有効水分の上限である圃場含水量は畑地かんがいの計画に必要なかん水量を決定する上に重要な水分恒数であり、従来、pF 2.7 と考えられてきたが、降雨またはかん水日後の現地 pF がかなり低く、吉良⁵⁾、横井ら¹⁶⁾はわが国のように湿潤な地帯では圃場含水量の pF は 2.0 以下と考えるべきであると報告している。本土壌の 24 時間圃場含水量が pF 1.7~1.8 に相当するため、圃場含水量としては pF 2.0 よりも pF 1.8 を採用した方が妥当と思われる。

Tab. 4 より分かるように、駒ヶ岳火山灰地における各土層の有効水分は第 1, 2 層ともに 15%, 第 3 層は 10% 前後であり、従って、有効根群域内 (28cm) の全利用可能水分量、すなわち、有効保水容量は 40mm 前後である。

次に、有効水分 (F. C~pF 4.2) を pF 3.0 で上

下2つの領域に区分すると pF 3.0~pF 4.2 の間の水分量は各層の土性と土壌の物理性が異なるにもかかわらず、第1, 2, 3層とも5%前後で変わらないが、一方、F.C~pF 3.0 の間の水分量は各土層によってかなり異なることにより、本土壌の全容易利用可能水分量としてはむしろ、F.C~pF 3.0 の間に重点を置いた方が妥当と思われる。

一方、有効根群域内に付与された水分量が消費される要因としては、土壌面からの蒸発と作物による吸収、蒸散とが考えられ、この両者の和を蒸発散量または消費水量という。一般に、この蒸発散量は下層に比べて上層ほど消費が激しく、かつ、土壌の種類、土層構造、作物の種類、その生育段階などによって同一作物について見ても多少差異はあるが、畑地に多量の降雨があったり、また、十分な水量をかん水した後晴天が続くと、作物の吸水および蒸発による土壌水分の減少は地表よりの深さによって必ずしも一様でなく、垂直断面における水分消費の割合は、深さとともに変化する。この水分消費の割合を土壌水分消費型^{3) 7) 15)}といい、畑地かんがいにおけるかんがい水量とかんがい時期を決定する上からも重要である。

DALE, SCHOCKLEY ら¹⁵⁾によれば、この水分消費型は単一土層であれば根群域を4等分したとき上層から順に40, 30, 20, 10%の比率で水分消費が行なわれると報告している。

従って、本地帯の大豆栽培畑について、1963年の7月上旬と8月上旬の二度にわたり、蒸発散量と土壌水分消費型について調査した結果は Tab. 5 に示すとおりである。

このように、根群域全体の水分消費量を100%とし、根群域を3等分すると、表層より36~40%, 42%, 18~23%の割合で水分消費が行なわれ、特に、第2層(10~20cm)の水分消費量が大きく、しかも、0~20cmの水分消費量は全体の80%以上に達している。また、夏季の作物生育最盛期の蒸発散量は1日当たり5.0~5.5mm程度である。

次に、畑地かんがい計画に必要な諸量としての1回のかん水量と間断日数を決定するためには、

Tab. 5 Evapotranspiration and soil moisture exhaust pattern

Depth of soil (cm)	3/Ⅶ ~ 7/Ⅶ		31/Ⅶ ~ 8/Ⅶ	
	Δ W (mm)	S.M.E.P (%)	Δ W (mm)	S.M.E.P (%)
0~10	8.7	35.8	19.5	39.5
10~20	10.1	41.5	20.8	42.2
20~30	5.5	22.7	9.0	18.3
E T (mm)	24.3	100.0	49.3	100.0
Δ E T (mm)	4.9		5.5	

- Remarks : 1. Δ W is amount of consumptive water use of every soil horizon.
 2. ET is an abbreviation of evapotranspiration and indicates ΔW.
 3. ΔET is amount of evapotranspiration per day.
 4. S. M. E. P is an abbreviation of soil moisture exhaust pattern.

まず、総生長有効水分量^{7) 9)} Total readily available moisture と消費水量^{7) 9)} Consumptive water use を求めねばならない。この総生長有効水分量とは作物が順調な生育を維持するために、有効根群域内の土壌から作物によって容易に吸収利用される水分量であって、有効土層中の保留水分の最大量と正常生育に障害をおよぼす状態の有効土層中の水分量の差であり、具体的には、制限層の生長有効水分量と消費割合によって求められる。また、制限層とは有効土層中でもっとも早く生長有効水分量がなくなる土層であり、この制限層の水分が萎凋点に達したときが全層にかんがいを必要とする時期になる。すなわち、有効根群域内に含まれる総生長有効水分量は作物根の吸収能に対する一種の貯水槽に当たり、作物の順調な生育を維持するためには各土層のうち、どれか1つが最初に萎凋点まで水分が減少した時期をかんがい適期とするのである。

従って、この考え方に基づいて、Tab. 4, 5を組み合わせて、駒ヶ岳火山灰地における制限土層、総生長有効水分量について調査した結果は Tab. 6 に示すとおりである。

Tab. 6 Total readily available moisture in Komagadake volcanic ash district (obtained from Tab. 4 and Tab. 5)

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
Soil horizon	Depth of soil horizon (cm)	Available moisture (mm)	Total available moisture (mm)	Rate of water consumption (%)	Total consumptive water capacity (mm)	Ristricted soil horizon	T.R.A.M (mm)	Consumptive water capacity at every layer in T. R. A. M (mm)	T.R.A.M / T.A.M (%)
1	0~10	15.5		38	41			13.7	
2	10~20	14.9	39.7	42	36	0	36	15.1	90
3	20~30	9.3		20	47			7.2	

- Remarks : 1. (6) = (3) ÷ (5)
 2. (9) = (8) × (5)
 3. T. R. A. M is an abbreviation of total readily available moisture.
 4. T. A. M is an abbreviation of total available moisture.

すなわち、本地帯における総生長有効水分量は36mmであり、これが理論的な1回のかん水量となるが、当然、これにはかんがい効率の概念を導入しなければならない。また、間断日数はこの総生長有効水分量を作物別の最大蒸発散量を除した値であり、一応5日となる。

このように、畑地かんがい計画においては、土壌タイプごとに有効土層の深さ、制限土層の深さと位置、制限層の生長有効水分量と消費割合、消費水量などの測定が必要である。

結局、駒ヶ岳火山灰地における各土層の有効水分は10~15%前後であり、有効根群域内の水分保有量は40mm程度である。しかし、作物に容易に吸収利用される水分量としてはF.C~pF 3.0の間に重点を置く方が妥当と思われ、総生長有効水分量は36mmであった。

また、本地帯の下層（地表下30cm）の土壌水分は降水量によりほとんど影響されないが、表層（地表下10、20cm）の水分含量はその影響がきわめて大きく、かつ、水分消費率も作物根域全体の80%以上に達し、夏季の蒸発散量は1日当たり5mm前後である。

(2) かんがい適期

降雨またはかんがいによって、根群域に保留された有効水分は、作物による蒸散作用と土壌面からの蒸発作用によって失われ、土壌水分は次第に

減少し、しかも、その消費割合は地表よりの深さによって異なることを前項で明らかにした。

一般に、作物が明瞭な萎凋を起こす前に当然、土壌水分不足の影響を受けている場合がある。従って、かんがい適期の判定の中には、作物根群域内の土壌水分がどの程度に減少したときにかんがいを開始するのが効果的であるかという土壌水分消費の面よりの問題と、また、作物は水を多く吸収する時期ほど早ばつの際の被害が大きいのが普通であるので、作物の水分要求量の面より、作物のどの生育時期にかんがいを開始するのが効率的であるかという2つの問題が包含されている。

まず、前半はTensiometerを使用して土壌水分の変化を連続的に追跡して、かんがい適期と土壌有効水分量の消費量との関係を明らかにするために、土壌有効水分量の消費量が25%、50%および75%になったときに、かんがいた場合の馬鈴薯および大豆の生育、収量について調査した結果をTab. 7~8にかかげた。なお、かん水方法は多孔ホースによる散水かんがいをうい、有効土層の深さを30cm、本土壌の有効水分量を40mmとした。

また、作付期間中（1964年5月~9月）の総降水量は500.8mmで平年（517.4mm）とほぼ同程度であり、月別にみると7月はやや多く、9月の降水量がやや少なかった。

Tab. 7 Effect of irrigation at the time of 25, 50 and 75% of soil available moisture on the yield of potato

No. of plot	Treatment	Growth at flowering		Yield of potato (kg per 10 are)				Yield index (%)	Numbers of time of irrigation during growing period
		Height of crop (cm)	Numbers of stalk	Large tuber	Middle tuber	Small tuber	Total		
1	No irrigation	46.1	2.9	564	1,197	1,054	2,815	100	0
2	Irrigation when 25% by volume of soil available moisture is consumed	46.1	3.4	652	1,630	840	3,122	111	8
3	Irrigation when 50% by volume of soil available moisture is consumed	51.5	3.2	796	1,586	836	3,218	114	4
4	Irrigation when 75% by volume of soil available moisture is consumed	48.5	3.0	617	1,635	933	3,185	113	2

- Remarks : 1. Total precipitation during growing period is 411mm.
 2. Quantity of irrigated water at every time of plot 2 is 10mm, soil moisture tension of plot 2 corresponds to pF 1.5 and total amounts of supplied water (precipitation plus irrigated water) is 491mm.
 3. That of plot 3 is 20mm, soil moisture tension corresponds to pF 2.35 and total amounts of supplied water is 491mm.
 4. That of plot 4 is 30mm, soil moisture tension corresponds to pF 2.65 and total amounts of supplied water is 471mm.
 5. Irrigated period is from 15 June to 15 August.
 6. Fertilizers applied ;
 10kg N as Ammonium sulphate, 15kg P₂O₅ as Superphosphate of lime,
 10kg K₂O as Potassium sulphate and 1,800kg compost per 10 are respectively were supplied.

かんがい効果の比較的低い馬鈴薯では、生育全般を通じて、無かんがい区とかんがい処理区の間には判然たる差異が認められず、収量面においてもかんがいにより11~14%前後の増収を示し、かんがい開始時期による差はほとんど認められない。

しかし、土壌中の有効水分の50%が消費されたときにかんがいを始める区がほかの処理区に比して塊茎平均1個重および塊茎収量がややまざっているように思われる。

Tab. 8 Effect of irrigation at the time of 25, 50 and 75% of soil available moisture on the yield of soybean

No. of plot	Treatment	Growth at flowering			Yield of soybean (kg per 10 are)		Yield index (%)	Numbers of time of irrigation during growing period
		Height of crop (cm)	Numbers of stalk	Numbers of shell	Weight of straw	Weight of grain		
1	No irrigation	73.6	4.2	40	286	208	100	0
2	Irrigation when 25% by volume of soil available moisture is consumed	75.9	3.4	40	266	194	93	9
3	Irrigation when 50% by volume of soil available moisture is consumed	82.9	4.3	50	309	240	115	6
4	Irrigation when 75% by volume of soil available moisture is consumed	81.0	4.4	49	307	232	111	4

- Remarks : 1. Total precipitation during growing period is 439mm.
 2. Total amounts of supplied water (precipitation plus irrigated water) of plot 2 is 529mm, plot 3 is 559mm, plot 4 is 559mm.
 3. Irrigated period is from 1 July to 20 September.
 4. Fertilizers applied ;
 3kg N as Ammonium sulphate, 8kg P₂O₅ as Superphosphate of lime,
 5kg K₂O as Potassium sulphate and 750kg Compost per 10 are respectively were supplied.

大豆は馬鈴薯と異なり、かんがい効果およびかんがい時期による処理間の差が顕著に現われ、かんがい回数の多い処理区（土壌中の有効水分の25%が消費されたときにかんがいを始める区）は無かんがい区と同様に他区に比して草丈および着莢数が少なく、やや軟弱気味であり、しかも、根系調査によると、常時土壌水分が潤沢である関係上、根が表層のみに多く、かつ、根粒の着生数も少ない傾向を示した。

収量面においても、無かんがい区の子実収量を100とした場合、土壌中の有効水分量の50%が消費されたときにかんがいを始める区がもっとも高い収量指数（115）を示した。

一般に、土壌面よりの蒸発による水分消費は気温相対湿度、風などの気象条件、土性、土壌の圧密状態および含水状態などによって左右されるが、

結局、土壌水分消費量の面より、馬鈴薯および大豆に対するかんがい適期としては土壌中（有効根域内）の有効水分（pF 2.0~3.0）の50%程度が消費されたときを下限としてかんがいを始めるのが生育および収量に好結果を与え、もっとも実用的であると思われる。

次に、燕麥、馬鈴薯および大豆を供試作物として、各作物の生育時期とかんがい開始時期との関係について調査した結果は Tab. 9 ~ 11 に示すとおりである。なお、かん水方法は前記試験と同様に、多孔ホースによる散水かんがいをを用いた。

また、作付期間中（1963年5月~9月）の総降水量は566.6mmで平年（517.4mm）に比してやや多く、月別にみると、5月、6月、7月の降雨量が著しく多く、8月と9月は極端に少なく、一部に早ばつの害も現われた。

Tab. 9 Effect of irrigation at the different growing stage on the yield of oats

No. of plot	Treatment	Growth at harvest			Yield of oats (kg per 10 are)		Yield index (%)
		Height of crop (cm)	Height of ear (cm)	Numbers of stalk	Weight of straw	Weight of grain	
1	No irrigation	95.3	20.6	30	269	215	100
2	Irrigation, 45 days after seeding	111.4	22.3	40	385	259	120
3	Irrigation, time of ear opening	111.6	21.5	42	365	275	128
4	Irrigation, 15 days after earing	107.7	21.1	37	331	264	123

Remarks : 1. Total precipitation during growing period is 462mm.

2. Irrigation is continued for 15 days in all plots and amount of irrigated water is 10 mm every 2nd day.

3. Fertilizers applied ;

5kg N as Ammonium sulphate, 8kg P_2O_5 as Superphosphate of lime,

5kg K_2O as Potassium sulphate and 1,200kg Compost per 10 are respectively were supplied.

かんがいの効果は生育時期によって燕麥におよぼす影響が異なり、播種後45日目かんがい区、出穂始かんがい区、出穂後15日目かんがい区の順に生育の早い時期にかんがいたものほど、草丈の伸長および莢数の増加量は顕著で、栄養生長はおう盛であり、莢重は生育経過と同様に早い時期にかんがいたものほど高いが、子実収量の間にはかんがい時期による差はほとんど認められず、20~28%の増収を示したが、出穂始かんがい区が

ややまさっているように思われる。

一方、馬鈴薯では、無かんがい区とかんがい処理区の間に判然たる生育の差が認められないが、全般的に、生育後期にかんがいたものほど葉色が濃く、莖葉の枯凋も遅延の傾向を示した。塊茎収量もかんがいにより22~28%前後の増収を示し、その内容についてみると、播種後45日目かんがい区、開花始かんがい区、開花後15日目かんがい区の順に生育後期にかんがいたものほど大芋

Tab. 10 Effect of irrigation at the different growing stage on the yield of potato

No. of plot	Treatment	Growth at flowering		Yield of potato (kg per 10 are)				Yield index (%)
		Height of crop (cm)	Numbers of stalk	Large tuber	Middle tuber	Small tuber	Total	
1	No irrigation	37.5	4.5	205	803	1,362	2,370	100
2	Irrigation, 45 days after seeding	36.5	4.6	565	1,451	873	2,880	122
3	Irrigation, time of flower opening	36.3	4.7	578	1,484	929	2,991	128
4	Irrigation, 15 days after flowering	35.1	4.8	664	1,509	802	2,975	126

Remarks : 1. Total precipitation during growing period is 529 mm.
 2. Irrigation is continued for 15 days in all plots and amounts of irrigated water is 10 mm every 2nd day.
 3. Fertilizers applied :
 10kg N as Ammonium sulphate, 15kg P_2O_5 as Superphosphate of lime,
 10kg K_2O as Potassium sulphate and 1,800kg Compost per 10 are respectively were supplied.

Tab. 11 Effect of irrigation at the different growing stage on the yield of soybean

No. of plot	Treatment	Growth of harvest			Yield of soybean (kg per 10are)		Yield index (%)
		Height of crop (cm)	Numbers of stalk	Numbers of shell	Weight of straw	Weight of grain	
1	No irrigation	68.7	8.0	57	285	183	100
2	Irrigation, 50 days after seeding	70.0	7.8	59	240	133	73
3	Irrigation, time of flower opening	77.7	7.8	68	268	260	142
4	Irrigation, 15 days after flowering	77.0	8.3	71	268	250	136

Remarks : 1. Total precipitation during growing period is 553 mm.
 2. Irrigation is continued for 15 days in all plots and amount of irrigated water is 10 mm every 2nd day.
 3. Fertilizers applied :
 2kg N as Ammonium sulphate, 8 kg P_2O_5 as Superphosphate of lime, 5kg K_2O as Potassium sulphate and 750kg compost per 10 are respectively were supplied.

および中芋の量が多く、塊茎の肥大化に効果があるように思われる。また、かんがい時期による差はほとんど認められないが、開花始かんがい区がややまさっているように思われた。

大豆は燕麦および馬鈴薯と異なり、かんがい開始時期による処理間の差が顕著に現われて、一般に早期にかんがいた播種後50日目かんがい区は無かんがい区と同様に他区に比して、草丈が小さく、落葉が早く、しかも、着莢数も少ない。これに反して、開花始以降かんがいたものは葉色も

濃く推移し、草丈の伸長および着莢数も多い傾向を示した。

従って、子実収量においても、播種後50日目かんがい区は無かんがい区に比して30%程度減収し、一方、開花始以降かんがい区は逆に40%前後の高い増収を示した。

一般に、作物はその生育時期によって水の吸収量が異なっており、水を多く吸収する時期ほど早ぼつの際の被害は大きいのが普通であり、また、作物はこのような吸水量の多少とは別に本質的に

旱害に強い時期、弱い時期があり、結局、燕麥に対する効果的なかんがい時期は生育および収量の面よりみて出穂始であり、馬鈴薯では開花始、大豆では開花始～開花期ころである。また、燕麥および馬鈴薯はかんがい時期による処理間の差は少ないが、大豆の場合は処理による差が顕著に認められた。

(3) 消費水量と三要素の溶脱

本地帯の主要畑作物である燕麥および大豆の消費水量¹²⁾ならびにかん水に伴う窒素、リン酸、加里の滲透溶脱による損失量¹³⁾を、駒ヶ丘火山性土壌を供試し、1/700 are Lysimeter を使用して調査

した成績は Tab. 12～14, Fig. 3 に示すとおりである。

燕麥の収量および窒素、リン酸、加里吸収量は火山砂 40 mm かんがい区＞火山砂 20 mm かんがい区の順に、かんがい水量の多い方がまさっているが、一方、大豆の場合は火山砂 20 mm かんがい区＞火山砂 40 mm かんがい区の順に逆に減少している。

生育全期間の燕麥の消費水量は火山砂 20 mm かんがい区では 372 mm、火山砂 40 mm かんがい区は 545 mm であり、全期間平均の日消費水量はそれぞれ 5.3 mm、7.8 mm であった。一方、

Tab. 12 Effect of irrigation on yield and absorption of nutrient of oat and soybean (Lysimeter experiment)

Sort of crop	Oats						Soybean					
Treatment	Yield (g per lysimeter)		Yield index (%)	Amount of nutrient absorbed (mg per lysimeter)			Yield (g per lysimeter)		Yield index (%)	Amount of nutrient absorbed (mg per lysimeter)		
	Weight of straw	Weight of grain		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Weight of straw	Weight of grain		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
20mm irrigation	96.2	53.8	100	2,302	711	2,311	48.7	36.8	100	2,974	842	1,648
40mm irrigation	111.3	80.2	149	2,795	1,017	2,801	55.9	33.6	91	2,660	811	1,723

Remarks : 1. Oats.
Seeding—20 May. Harvesting—19 August.
Period of irrigation is from 11 June to 10 August.
2. Soybean.
Seeding—18 May. Harvesting—10 October.
Period of irrigation is from 20 June to 30 September.

Tab. 13 Amount of water supplied, permeated and consumed during growing period

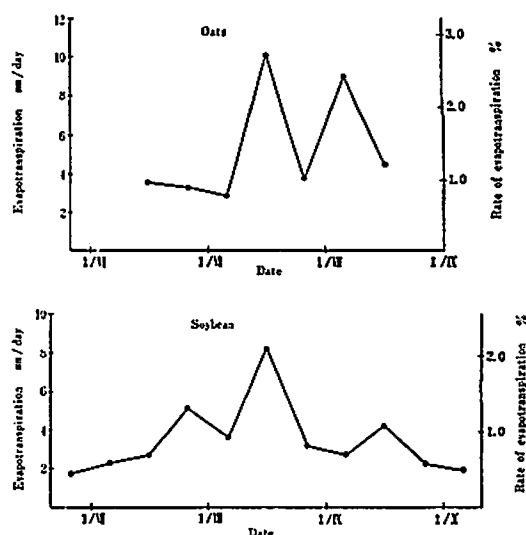
Sort of crop	Oats						Soybean					
	ΣR	ΣI	ΣP	$\Sigma \{(R+I)-P\}$	$\Sigma \{(R+I)-P\}$ day	Days of growing period	ΣR	ΣI	ΣP	$\Sigma \{(R+I)-P\}$	$\Sigma \{(R+I)-P\}$ day	Days of growing period
	Precipitation (mm)	Amount of water irrigated (mm)	Amount of water permeated (mm)	Amount of water consumed (mm)	Amount of water consumed per day (mm)		Precipitation (mm)	Amount of water irrigated (mm)	Amount of water permeated (mm)	Amount of water consumed (mm)	Amount of water consumed per day (mm)	
No irrigation	259.0	0	145.8	113.2	1.61	70	458.3	0	284.5	173.8	1.55	112
20mm irrigation	259.0	153.1	40.0	372.1	5.31	70	458.3	96.7	166.6	388.4	3.46	112
40mm irrigation	256.0	391.3	105.8	544.5	7.77	70	458.3	328.0	262.7	523.6	4.67	112

大豆の消費水量は火山砂 20 mm かんがい区では 388 mm, 火山砂 40 mm かんがい区は 524 mm であり, 全期間平均の日消費水量は 3.5 mm, 4.7 mm であった。また, 無植生, 無かんがい区では, 燕麦および大豆の両作物ともに降雨量の 60% 前後が滲透しており, 粗粒火山性土壌の保水力がきわめて小さいことを暗示している。

次に, 両作物の時期別の日消費水量についてみると, 燕麦では 7 月中旬 (出穂始) が最高値を示して 10.2 mm であり, 一方, 大豆では 8 月中旬 (開花期) が最高で, その値は 8.2 mm であった。

生育全期間にわたる窒素, 磷酸, 加里の溶脱量および溶脱率についてみると, 燕麦および大豆の両作物ともに火山砂 40 mm かんがい区 > 火山砂 20 mm かんがい区の順であり, 一般に, かん水量の増加に伴って, 要素溶脱量が一層促進される。また, かんがいに伴う要素の滲透溶脱率は施

Fig. 3 Evapotranspiration by lysimeter experiment



Remarks : Evapotranspiration by oats and soybean in 20 mm irrigation treatment is shown.

Tab. 14 Amount of loss of N, P₂O₅ and K₂O by permeation and it's rate to the amount added initially

Sort of crop	Oats						Soybean					
	N		P ₂ O ₅		K ₂ O		N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	Amount of loss by permeation	Rate of loss by permeation	Amount of loss by permeation	Rate of loss by permeation	Amount of loss by permeation	Rate of loss by permeation	Amount of loss by permeation	Rate of loss by permeation	Amount of loss by permeation	Rate of loss by permeation	Amount of loss by permeation	Rate of loss by permeation
Treatment	(mg)	(%)	(mg)	(%)	(mg)	(%)	(mg)	(%)	(mg)	(%)	(mg)	(%)
20mm irrigation	265.34	8.84	0.25	0.0006	176.33	5.84	57.13	3.81	2.46	0.082	90.10	3.00
40mm irrigation	484.20	16.14	0.51	0.013	364.22	12.14	110.96	7.39	3.37	0.112	112.38	3.74

肥量および作物の種類によって異なるが, 窒素の溶脱率は燕麦では 9~16%, 大豆では 4~7% であり, 加里の溶脱率はそれぞれ 6~12% と 3~4% であって, 磷酸の溶脱率は両作物ともに 0.1% 以下であり, 窒素と加里の溶脱率が比較的高い。また, 両作物とも, 消費水量の少ない生育の初期と登熟の後期には窒素および加里の溶脱割合が大きくなっている。

このように, 駒ヶ岳火山性土壌の時期別消費水量は, 燕麦では 7 月中旬 (出穂始), 大豆では 8

月中旬ころ (開花期) が最高で, それぞれ 10.2 mm, 8.2 mm であった。また, 平均日消費水量は燕麦では 6 mm, 大豆では 4 mm 前後である。一方, かんがいに伴う窒素, 加里の溶脱率が比較的高く, 磷酸の溶脱率は逆にきわめて少なく, 一般に, かんがい水量が増加すれば要素溶脱量も一層増大する。

IV 考 察

本報告では, 主として, 駒ヶ岳火山灰地帯にお

ける土壌水分関係について、調査検討を加えてみた。

本地帯における畑作物の生育期間中（5月～9月）の過去10年間（1955年～1964年）の平均降水量は、520 mm 前後であり、その降雨状況によると、7日以上連続旱天は年平均5～6回の割合で起こっており、かつ、土壌条件が保水性のきわめて乏しく、旱害を受けやすい粗粒火山性土壌であるため、本地帯の畑地の生産力を高めるためには、適切な水分管理が必要である。従って、畑作の安定と計画性のためには畑地かんがい不可欠なことは明らかである。

米国では、年平均降水量を基準として 750 mm 以上の地帯では畑地かんがいが必要でないと判定しているが、わが国ではこのような単純な基準でかんがいの必要度を判定するわけにはいかない。実際、全国各地で行なわれた畑地かんがい試験でも、年により、作物の種類によって多少差異はあるが、わずか 100～200 mm 程度のかんがいによる増収率は10～50%前後であり、わが国のように年間降雨量が 1,200～2,400 mm の湿润地帯でも畑地かんがいは確かに効果がある。

従って、わが国のような湿润地帯の土壌水分形態の測定方法については、乾燥地帯で発達した土壌水分に関する知見が、そのままあてはまらないことが多い⁹⁾。一般に、有効水分は圃場容水量より萎凋点を差し引いて算出され、同時に作物の水分利用可能土層（有効土層）の深さが考慮されているが、まず、有効水分の上限である圃場容水量にしても、一応、pF 2.7 と従来考えられていたが、吉良⁹⁾はわが国のような湿润地帯では、降雨後 pF 2.7 に達するには3～4日を要することより、圃場容水量の pF は 2.0 と考えるべきであると、また、横井¹⁵⁾も愛知県下の鈣質土壌で降雨後の pF が 2.0 より著しく低いことを報告している。椎名⁹⁾は24時間水分量を有効水分の上限として採用すべきであると報告している点よりみて、筆者は粗粒火山性土壌では圃場容水量の pF を 1.8～2.0 にすべきであると考えている。

また畑地かんがいの研究では、畑地の土壌水分の変化を追跡する必要があるため、同一地点を連

続して測定できる電気抵抗法、Tensiometer 法が多く採用されているが、両法とも間接法であり、電気抵抗—水分、吸引圧—水分の関係を室内実験で作製することにはなお、原理的に疑問が残されており、現段階では直接法としての採土を併用することが望ましいと考えられる。

次に、有効水分に関連して、作物が明瞭な萎凋現象を起こす前に、当然、植生上ながしかの水分不足の影響を受けている場合が多い。このような潜在旱ばつの早期発見、すなわち、作物が順調な生育を維持するために、有効根群域内の容易に吸収利用される水分量がどの程度減少したときにかんがいを始めるべきかというかんがい適期および限度について、馬鈴薯および大豆の両作物を用いて調査した成績によると、根群域内の土壌中の有効水分の50%程度が消費されたときを下限としてかんがいを始めるのが実用的と思われ、島淵¹⁴⁾、玉井¹⁶⁾も果樹について、同様に、有効水分の50%を限度としてこれを維持すべきであると報告している。

一方、植生上のかんがい開始時期については、一般に、作物が水を多く吸収する時期ほど旱ばつの際の被害が大きいのは当然であり、作物の水分要求量の面より、陸稲では穂ばらみ初期、燕麦では出穂始、馬鈴薯および大豆では開花始～開花期にかんがいをしたものをもっとも効果的であると多くの研究者が報告¹⁵⁾している。

また、椎名⁹⁾は畑地かんがい計画に必要な諸量として、有効土層の深さ、制限土層の深さと位置、制限土層の生長有効水分量と消費割合、消費水量などを明らかにするとともに、対象地域の土壌保水力に関する要因ならびに保水力の指標因子（24時間水分量、毛管連絡切断含水量、intake rate 等）の測定を基盤とする土壌調査法の確立が必要であると報告している。

V 摘 要

駒ヶ岳火山灰地において、Sprinkler 法による畑地かんがいが粗粒火山性土壌の水分張力におよぼす影響、かんがい計画に必要な諸量、消費水量およびかんがい適期などについて調査した結果を

要約すれば次のとおりである。

1) 駒ヶ岳火山灰地における各土層の有効水分は10~15%前後であり、有効根群域内の水分保有量は40mm程度である。しかし、総生長有効水分量としては Field water capacity~pF 3.0 の間に重点を置く方が妥当と思われ、その値は36mmであった。かつ、制限土層の位置は第2層(10~20cm)である。

2) 本地帯の下層(地表下30cm)の土壤水分は降水量により、ほとんど影響されないが、表層(地表下10, 20cm)の水分含量はその影響がきわめて大きく、かつ、水分消費率も作物根群域全体の80%以上に達している。

3) 主要畑作物に対する効果的なかんがい時期は生育過程の面よりみて、燕麦では出穂始、馬鈴薯および大豆は開花期ころであり、特に、大豆の場合はかんがい時期による差がきわめて大きい。

4) 土壤有効水分量とかんがい開始時期との関係については、馬鈴薯および大豆の両作物ともに根群域内の土壤有効水分の50%程度消費されたときを下限としてかんがいを始めるのが実用的である。

5) 燕麦の時期別消費水量としては、7月中旬(出穂始)、大豆では8月中旬(開花期)が最高で、そのときの日消費水量はそれぞれ10.2mm, 8.2mmであった。一方、かんがいに伴う三要素の溶脱率は作物の種類によって若干異なるが、窒素は5~12%、加里は3~9%であり、磷酸の溶脱率はきわめて少ない。また、消費水量の少ない生育の初期と登熟の後期には要素の溶脱割合が大きくなっている。

引用文献

- 1) BAYER, L. D., 1956; Soil physics, 3rd ed.
- 2) 長谷川新一, 小田桂三郎, 美園 繁, 1960; 土壤水分測定法, 総作物試験法, 453.
- 3) 長谷部次郎, 河野 広, 1961; 作物の水分消費と土層内水分分布の調査, 畑地かんがいに関する研究集録, VI, 518.
- 4) 今井富蔵, 山本 毅, 1958; 畑地かんがい, 土壤肥料全編, 498.
- 5) 吉良芳夫, 1960; 畑地かんがいに関する研究, 畑地かんがいに関する研究集録, V, 366.
- 6) 南 松雄, 沢口正利, 長谷川 進, 1965; 駒ヶ岳火

山灰地における畑地かんがいに関する試験, 日本土壤肥科学会講演要旨集, 11, 17.

- 7) 大島一志, 1963; 畑地かんがいの計画と設計, 31.
- 8) SHAW, B. T., 1952; Soil physical conditions and plant growth, 93, 203.
- 9) 椎名幹治, 1965; 畑地の水分管理に必要な2, 3の水分恒数とその測定法, 土壤の物理性, No 11~12, 83.
- 10) 玉井虎太郎, 1956; 畑作用水法の合理化に関する研究, 愛媛大学紀要第6部, Vol.2, No.2, 1.
- 11) 寺沢四郎, 1965; 土壤水の吸引力の測定法, 土壤の物理性, No 11~12, 69.
- 12) 鳥居管生, 佐藤一郎, 小谷佳人, 1961; 砂丘畑のかんがいに関する研究, 鳥取大学農学部砂丘研究実験所報告, No 2, 1.
- 13) 長井武雄, 佐藤一郎, 小谷佳人, 1961; 砂丘畑のかんがいに関する研究, 鳥取大学農学部砂丘研究実験所報告, No 2, 13.
- 14) 鳥羽博高, 1961; 果樹と水, 農業および園芸, Vol. 36, No 6, 961.
- 15) 山崎不二夫, 長谷川新一, 1956; 畑地かんがい, 14.
- 16) 横井 肇, 中島田 誠, 1962; 畑土壤水分の動的的研究(第3報), 日本土壤肥科学会講演要旨集, 8, 1.

Summary

The drought has become the greatest impediment factor for expansion of crop production in Komagadake volcanic ash district, then the farmers attempted to enforce the soil dressing of clay soil, application of large amounts of organic matters, field irrigation as counter-measures against drought.

In this paper, the authors investigated the changing effect of moisture tension, suitable time of irrigation, loss of elements permeated by irrigation and soil moisture coefficient to plan field irrigation.

The results were summarized as follows;

1) Available moisture content of each layer in Komagadake volcanic ash soil is from 10 to 15 percent by volume and the degree of moisture capacity retained in effective root zone is about 40 mm by volume. But it is appropriate to assume moisture between field water capacity and pF 3.0 as total readily available moisture. And its value 36 mm. Soil layer restricting growth is found to be situated in the second layer.

2) Moisture content of subsoil (30 cm under soil surface) is hardly influenced by amount of precipitation, but that of surface soil (0-20

cm) is influenced strongly and it was observed that rate of moisture consumed in this surface layer reached above 80 percent of all root zone.

3) Concerning the most effective time of irrigation for main crops throughout growing period, it is the beginning in ear for oats, in flowering for potato and soybean. Especially, in the case of soybean, its yield was much influenced by the time of irrigation.

4) Concerning the relation between amount of available moisture in soil and suitable time of irrigation, it is practical for potato and soybean to begin irrigation when amount of available moisture in all root zone reaches 50 percent by volume.

5) The maximum consumptive water capacity appears in the middle of July (beginning in ear) in oats plot, in the middle of August (in blossom) in soybean plot. At that time, the daily consumptive water capacities of oats and soybean are 10.2 mm and 8.2 mm respectively.

Rate of nitrogen loss caused by irrigation during growing season is from 5 to 12 percent, that of potassium loss is 3 to 9 percent. On the other hand, phosphate loss is very small. However, in the early stage of growth and the latter stage of ripeness when consumptive water capacity is little, the losses of those elements become large.