

畑作物の土壌水分管理に関する考察, とくに九州地方を対象にして

田辺, 邦美
九州大学農学部灌漑利水工学教室

黒田, 正治
九州大学農学部灌漑利水工学教室

田中, 明
九州大学農学部灌漑利水工学教室

舟越, 保
九州大学農学部灌漑利水工学教室

<https://doi.org/10.15017/23163>

出版情報 : 九州大学農学部学藝雑誌. 28 (3), pp.167-175, 1974-03. 九州大学農学部
バージョン :
権利関係 :

畑作物の土壌水分管理に関する考察、 とくに九州地方を対象にして

田 辺 邦 美・黒 田 正 治
田 中 明・舟 越 保

九州大学農学部灌漑利水工学教室
(1974年2月9日受理)

On the Soil Moisture Control of Crop Fields in Kyushu

KUNIMI TANABE, MASAHARU KURODA, AKIRA TANAKA
and TAMOTSU FUNAKOSHI

Laboratory of Irrigation Engineering, Faculty of
Agriculture, Kyushu University, Fukuoka

I. 緒 言

わが国における畑地カンガイの技術は、第2次大戦後現在までの比較的短い年月の間に急速に発展し、世界のトップレベルにまで躍進した。これについては政策上からの必要にせまられたとはいえ、関係者の努力の結果によることを認めないわけにはいかない。しかし急速に進歩したものには、取り残されている部分のあることがある。さてわが国の現在の畑地カンガイについて振り返ってみると、あるとすれば技術と直接結びつく研究に忙がしいあまり、基礎となり深い根拠となる部分の研究に欠けている点がないとはいえないと思われる。

さらに農業土木一般にもいえることかも知れないが、特に畑地カンガイにおいては生物を対象としているわけであるが、あまりに物理的に取り扱って生物としての取り扱いに弱さが感じられないでもなからう。

反面農業気象学者、作物学者、土壌肥科学者その他による研究が必ずしも十分取り入れられているとはいえない面もある。たとえば土壌水分と作物生育とを結びつけるにあまりに忙しく、生物としてその生育に必要な不可欠な他の土壌環境要素について触れることのないのもその一例であろう。

以上は今後時間と研究者の増加とによって解決されることを期待する。なお畑作物の土壌水分管理には、広域畑地帯を対象としたマクロ的とでもいうべきもの

と、ハウス内などでのミクロ的とでもいうべき管理とがある。そのいずれも今後カンガイ上重視すべきであるが、ここでは前者を中心に考えることとする。

II. 畑地用水量決定に対する 一般的考え方

畑作物の用水量決定に関係深い要素として、(1)気象条件、(2)土地条件、(3)作物条件、(4)栽培管理条件、(5)基準年、などがあげられる。このうち(1)～(4)はホ場において作物の用水消費に直接関連ある要素で、これらがそれぞれ結びついて用水消費がなされているものであり、これらの条件を1つでも無視しては正しい用水量は考えられないであろう。しかし(5)は長年間安全にカンガイが実施されるために特に重要な要素といえる。

以前、Thorntwaiteは多くの試験の結果、用水量の重要部分をなす蒸発散量について研究し、蒸発散量は他の条件が同一であっても、土壌水分の変化によって変化することを認め、土壌水分を十分与えたときの蒸発散量を蒸発散位(Potential Evapotranspiration (PE))とよんだ。このPEは日の長さによる補正を加えると気温のみの関数で表わせるとし、緯度と気温を知れば目的地のPEが求まるといった。

しかしこの方法は気象条件を重視した割合に他の条件の考慮が十分でなかった。然るにBlaney Criddle法は各作物によって異なる係数K(作物係数)を考慮

している。

このように作物条件の考慮されていることは一応前者より進歩といえるが、わが国のように土壌条件が複雑であり、気象条件も変化の多い場合には、より変化の少ない欧米の国々に比較して、適合性がよくないものと考えられる。

筆者の一人は以前南九州の畑地帯について、夏季の降雨量とその分布を旬別に調べ、陸稲を指標作物としてそのカンガイ必要度を推定したことがある。これは精度のよい研究とはいえないけれども、一見降雨条件に恵まれた南九州といえども、夏季における干バツ被害の多いこと、その地域差の多いことがわかった。また長年月間の平均旬別降雨量は比較的多いにもかかわらず、干バツ被害を受ける年の多いことも推定できた。

その後、国営綾川農業水利事業所管内（宮崎県東諸県郡国富町市の瀬）の黒色火山灰土地帯の試験地において、陸稲を使用し、カンガイ水量と土壌水分並びに生育収量についての試験研究を行なった（田辺 1955 a）。この研究は現地での試験を1954年と1955年に行なったが、陸稲を指標作物とし、カンガイ水量と根群内の土壌水分が作物生育状態でいかに変化するか、その結果としていかなる生育、収量となるかを知るために役立つもので、その現地での試験の結果は第1表のようである。

第1表. 陸稲のカンガイ効果 (1955).

試験区	収量(g)		乾 燥		乾 燥	
	生総重	乾全重	精粒重	精粒重	乾 燥	乾 燥
無 灌 漑 区	1.00	1.00	1.00	1.00		
20 mm 区	1.09	1.00	1.27	0.83		
30 mm 区	1.16	1.10	1.18	0.83		
40 mm 区	1.40	1.31	1.45	1.22		
50 mm 区	1.36	1.31	1.50	1.19		

注：無カンガイ区を1.00とする。

この試験においては、5日間以上の連続干天が続いたときにカンガイを行なうもので、各種カンガイ区をつくり、1回のカンガイ水量を決め、各区の生育収量

を調査すれば、以外の調査を除いても目的を達するかのごとく考えられないでもないが、ここで重要なことは、栽培期間において根群域土壌水分がいかに変化するか、生育収量に対して好適条件を保たせるための土壌水分はなにほどであるか、を知ることが土壌水分管理上必要であり、目的とする地上部の生育収量を重視しながら、絶えず土壌水分の消長について検討を加えた。この研究は前述とは逆に、気象条件、栽培管理条件を一定にし、カンガイ水量を変化させながら作物の生育収量に及ぼす影響（カンガイ効果）と土壌水分の消長について調べたものである。1955年は8月2日から同20日までほとんど無降雨で、第1表のように十分なカンガイ効果があらわれた。しかし植付当初の降雨状態が良好であったため、無カンガイ区もほとんど平年作に近く、40 mm 区、50 mm 区においてはさらにその約1.5倍の収量があった。

筆者の一人は、当時各種土壌水分恒数を表示するのに含水比が多く使用されていたのに対し、畑地カンガイの立場からの土壌水分表示には、土壌間ゲキ内に存在する水分量と空気量が同時にわかる方法がより好ましいことを述べ、その表示方法として間ゲキ含水率と名付け（田辺 1955 b）これを使用した。その後これと同義語で飽和度（degree of saturation）なる用語をみつけ、以後飽和度と統一することにした。たとえば第2表は、ある海岸砂と火山灰黒色土のある堆積状態における2～3の含水量について比較したものである。この第2表で明らかなように、海岸砂では飽和したときの含水比が29.7%であり、火山灰黒色土では108%となる。また同一土壌において、含水比は0～100%の範囲以上となることがあるが、飽和度は0～100%の範囲内において変化する。この第2表は海岸砂の真比重2.65、仮比重1.48、間ゲキ率44.1%、火山灰黒色土の真比重2.30、仮比重0.66、間ゲキ率71.3%の場合の一例である。また同一水分量で同一間ゲキ率の場合も、含水比においては土壌の重量によって値が大きく異なるため、異種土壌の水分量比較が困難となる。なお他の実験結果によると、含水比が

第2表. 海岸砂・火山灰黒色土における含水比、飽和度の比較。

土壌 100cc 当り水分量 (g)	海 岸 砂		火 山 灰 黒 色 土		備 考		
	含 水 比 (%)	飽 和 度 (%)	含 水 比 (%)	飽 和 度 (%)	供 試 土 の 物 理 性		
20.0	13.5	45.3	30.3	28.0	真 比 重	海 岸 砂	
30.0	20.2	68.0	45.4	42.0			2.65
44.1	29.7	100.0	66.8	61.8	仮 比 重	1.48	0.66
71.3	—	—	108.0	100.0	間ゲキ率(%)	44.1	71.3

150%以上となることもある。飽和度は同一間ゲキ量、同一水分量においては、重量に関係なく同一値を示し、0~100%の範囲内で変化するので比較にも便利であり、かつ重量の異なる二種以上の土壌における水分量の比較も意味がある。

なおこの表示方法は、今後さらに土壌空気中の炭酸ガス、酸素その他ガスの含量など、土壌環境について研究、管理する場合にも便利である。

また第1表における40 mm区、50 mm区の土壌水分は、根群域において飽和度45%（地表面から0~10 cm、10~20 cm、20~30 cm間における各1点の平均値）の維持ができたが、部分的には41%まで低下したこともあった。このように40 mm、50 mm区など相当量のカンガイを行なっても晴天が続けば、その供給水によって稲体の栄養生長が無カンガイ区に比較して著しく旺盛となり、ときにはかえって無カンガイ区（あるいはカンガイ少量区）より多くの水分を蒸散消費することになり、土壌水分の消耗もより大となる。丁度気候的にもカンガイを多く必要とする8~9月は、稲体も大部分が穂孕期、出穂期と水分消費の大きい時期でもあり、カンガイ区と無カンガイ区の土壌水分の差が思ったようには判然としなくなる。しかし40 mm、50 mm区のカンガイ効果は、生育、収量によってよくあらわれている。これらの研究によれば、連続干天が長期にわたるときは、カンガイ期間における飽和度を黒色火山灰土で50%以上に絶えず維持するには、多量の用水を短期間ごとに供給する以外には困難なごとく推定され、40~45%でも十分満足な収量をあげ得ることを知った。なお陸稲における試験、研究の結果によれば、かような火山灰黒色土地帯で、1回のカンガイ水量40 mm程度で5日ごとの間断カンガイにより、一応、以上の水分が維持できると推定した。

III. 畑地カンガイにおける土壌水分管理の基本理念

作物根の生育場所である土壌環境についての研究は、土壌肥科学的すなわち化学的分野からの研究が相当進んでいるが、生物学的分野からも、作物根群の研究とともにこの方面の研究が近年多くなった。

一方物理的分野すなわち、農業土壌学、農業気象学分野からの研究も古くから行なわれ、特に農業土壌学分野では、土壌水分とその運動についての多くの業績がある。これらの細部については省略するが、しかしこれらも土壌環境—土壌、作物、空気系—における水

の運動についての研究は多いとはいえない。わが国でも中原ら（1963）はこれに関して果樹、タバコについての研究を行なっている。またGardner（1960）の研究、Budagovsky（内島訳1965）のこの系のなかでの水の運動についての研究は、多くの仮定のもとではあるが、よく数式を取り入れ、物理的に発展させているところに興味がある。

さらにRoseら（1965、1967）は、土層内における各深さ別に根による水の吸収強度を知る方法について報告し、具体的にワタ畑について計算し、40 cmより浅い土層内で大部分の水が消費されるといっている。

しかしこのような計算、現地での研究のうちには、カンガイしないホ場における作物根の根群域内での分布性状を対象として、その作物の根群域の決定、カンガイ後の吸水を論じたものがあるが、カンガイ後はその根群分布に変化が生じるため、これらを考慮したものでないと計画し十分とはいえない。

以上は土壌—作物—空気系について、水の消費を中心に述べたが、カンガイ計画に当っては、さらに主目的が作物の生育、収量（あるいは品質）にあるので、これ以外に土壌粒子と間ゲキ、水、空気の各性質、すなわち、土壌粒子の性質、間ゲキの形状、大小、空気中の炭酸ガス、酸素、その他のガス、水中の各種イオン、その他物理的性質など、総合したいわゆる最適環境なるものが、作物の種類、時期によってそれぞれ考えられるので、理想的にはこのような観点から、カンガイ計画がたてられることがより効果的であろう。

従来から、土壌中の酸素、炭酸ガス、その他のガスと作物の水分、養分吸収などの、作物栄養、肥料学的研究は非常に多い。Lippsら（1964）は、作物根の活力は土壌水分、土壌温度および土壌空気中の酸素量などの増減と関係が大きいことを知り、アルファルファを使用して測定した。結果として土壌表層部の水分と温度が最も適した春先では、地表面から14.6 cmまでの根の活力が全体の88%を占め、時期が経過するにつれて土壌水分の不足が表層であらわれ、同時に土壌温度が地表面から211~366 cmの毛管水帯で最も好適となるときは、根の活力も次第に毛管水帯に移り、生育後期には活力の62%が毛管水帯であらわれと述べている。また菅原（1944）は土壌空気中における酸素、炭酸ガス濃度とバレイショの蒸散量との関係について報告した。その結果をまとめると第3表のようである。

この第3表からも土壌中の空気、とくにその酸素量が少なく、炭酸ガスの量が増加することは、蒸散量を

第3表. 土壤間ゲキ空気と蒸散量.

試験区	土壤空气中		蒸散量 (全生育 期間)	蒸散係数
	酸素 (%)	炭酸ガス (%)		
1	19.35	0.34	21.720	181
2	17.24	1.15	20.816	191
3	15.91	1.78	18.960	208
4	15.58	3.21	19.842	232
5	10.55	6.31	14.605	283

注: 1鉢当り, 全生育期間につき, 毎日または隔日に測定した.

減少させること, またそのような状態においては, 有機物の合成が少なく, かえって蒸散係数は大きくなることを示し, 用水消費上効率がわるく, カンガイ計画に注意すべき事項と考える.

このような土壤中の炭酸ガスに関する研究は, 近年だんだん多くなり, わが国でも矢吹, 内島, 位田その他によって多く報告されている. 矢吹 (1966) は炭酸ガス環境について以前から多くの報告を行なっているが, とくに土壤空气中の炭酸ガス濃度について, 裸地では極めて顕著な日変化を示し, 一般に夜間が大で, 振幅は増大し, 位相はずれていくことを測定によって明らかにしている. さらに畦立栽培について, 炭酸ガス濃度が平畦の場合とどう違うか, タバコなどを使用して砂丘地で測定比較した. これによると, 砂丘裸地の炭酸ガス濃度は極めて低く, 壤土の3分の1に過ぎない. また畦立においてタバコを栽培しているところは, 栽培していないところの濃度の1.5倍位となると述べている. これらは砂丘地に有機物が少なく, 炭酸ガスの発生が少ないこと, 砂丘がガス拡散の大きいこと, また同じ砂丘でも作物栽培によって, 炭酸ガスの増加することは, その呼吸作用にもとづくものであると述べている.

また位田 (1963) は蔬菜類について, 土壤環境とくに土壤空气の酸素濃度と果菜の生育, 水分の吸収, 養分の吸収などについて多くの実験的研究を行ない, また蔬菜の根の酸素吸収などについても詳細な報告を行なっている.

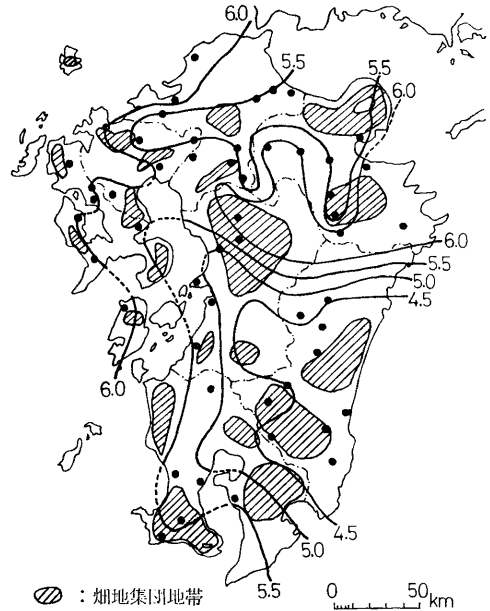
IV. 九州における畑作物用水消費の地域的差異

畑作物用水消費の主要部分をしめる蒸発散量は, 気象要素に左右されることが大きい, そのうちでも日射, 気温, 湿度, 風の影響がとくに大きい. この詳細については省略する.

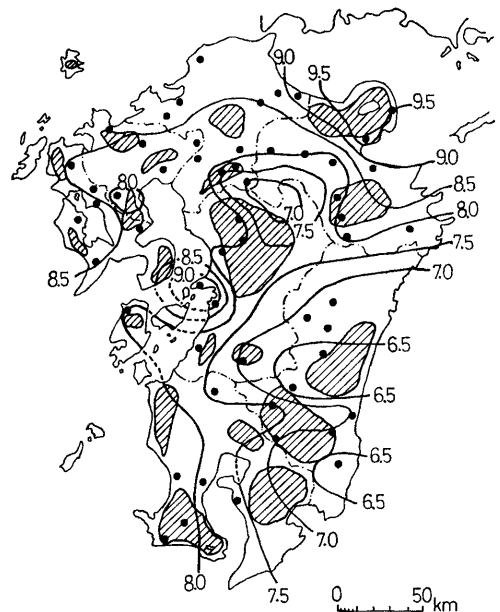
つぎに筆者ら (1973) は以前九州における56ヶ所,

25年間 (1936~1960) について, 夏季の連続干天日数の Return period ($T=1/5\sim 50$ 年間) を求め, 連続干天の分布図をかいた. これに畑地集団地帯を記入してみた (第1~13図参照).

まずこれからわかることは, 九州でも地域によって



第1図. 畑地集団地帯と確率連続干天日数分布図. (Return period 1/5年)

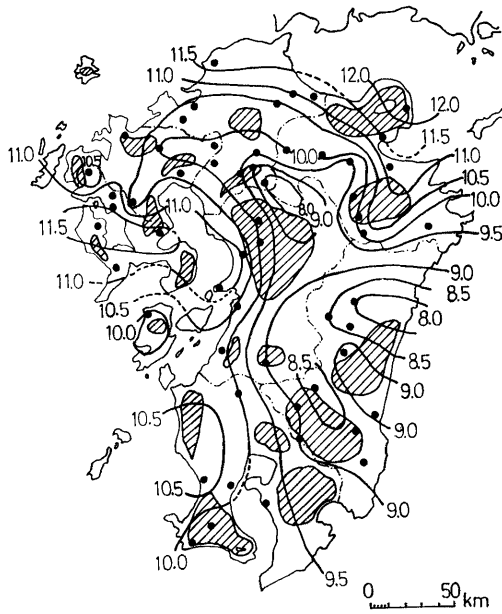


第2図. 同 (Return period 1/3年).

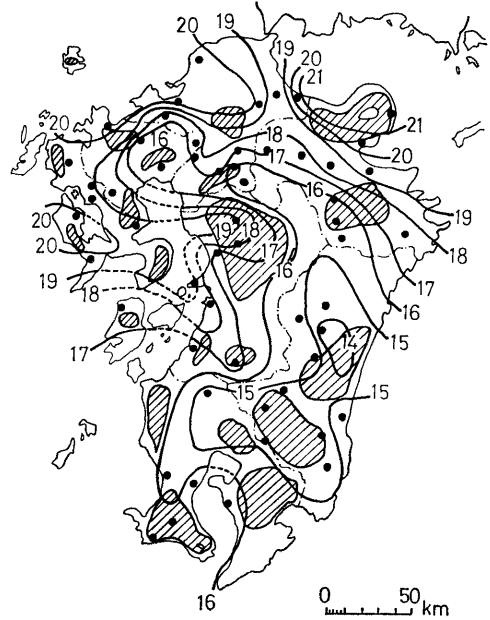
同一年の連続干天日数に大差があること、また基準年を何年にとるかによって地域的連続干天日数に変化がみられることである。しかし連続干天といっても内容的に差異があり、さらに地形、土性、地下水、土壌表層の植被の状態、とくに作物の種類、栽培管理の方法などによっても蒸発散量には差異がある。しかし一般

的にはカンガイ必要度は降水のない、あるいは降水の少ない期間の長さの関数として増加すると考えてよい(上村 1965)。

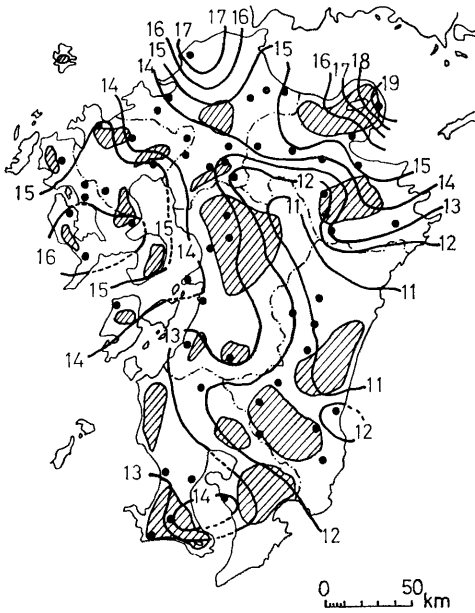
この連続干天日における日射量の値が、日々測定されていない場合、天気現象のみから Budyko (内島 沢 1959) は、雲量と日射量との関係を次式で表わさ



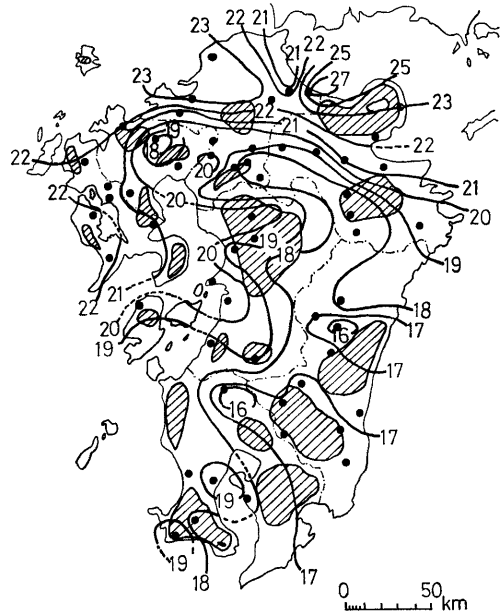
第3図. 同 (Return period 1/2年).



第5図. 同 (Return period 2年).



第4図. 同 (Return period 1年).



第6図. 同 (Return period 3年).

れるとした。

$$(Q+q)=(Q+q)_0(1-nk_2-0.38n^2)$$

ただし

$(Q+q)_0$: 完全晴天日の日射量

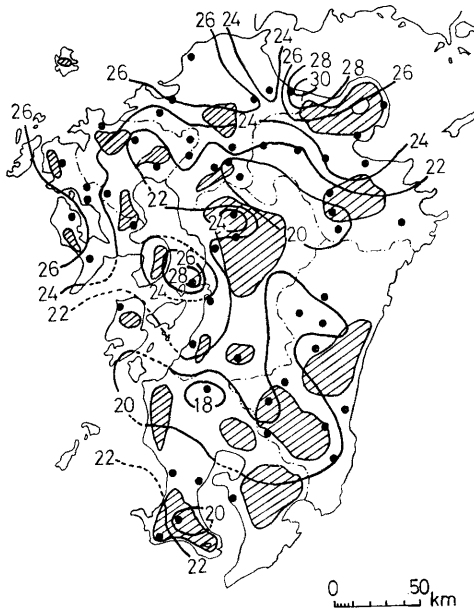
$(Q+q)$: 雲量 n のときの日射量

k_2 : 緯度に応じた係数

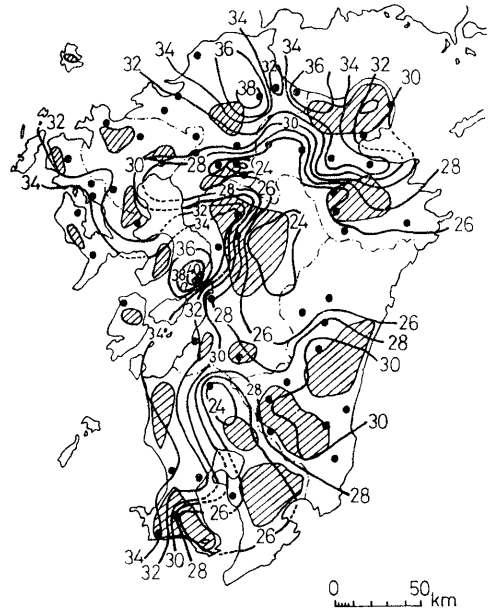
($33^\circ N$ における $k_2=0.37$)

n : 雲量 (0~1)

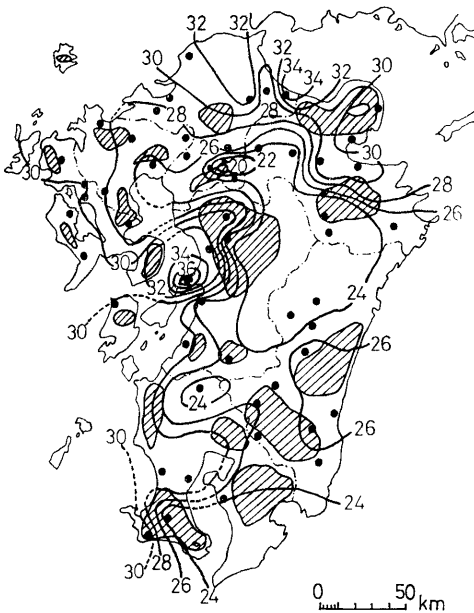
この式は雲量による日射の減衰量をしめしているの
で、天気現象がわかれば、概略的な日射量の推定は可
能である。ここで $(1-nk_2-0.38n^2)$ は雲量 10 割で
0.28, 5 割で 0.71, 2 割で 0.86 と変化する。



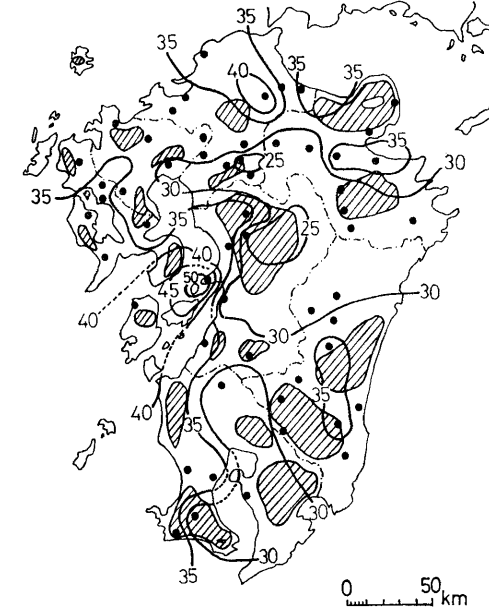
第7図. 同 (Return period 5年).



第9図. 同 (Return period 15年).



第8図. 同 (Return period 10年).



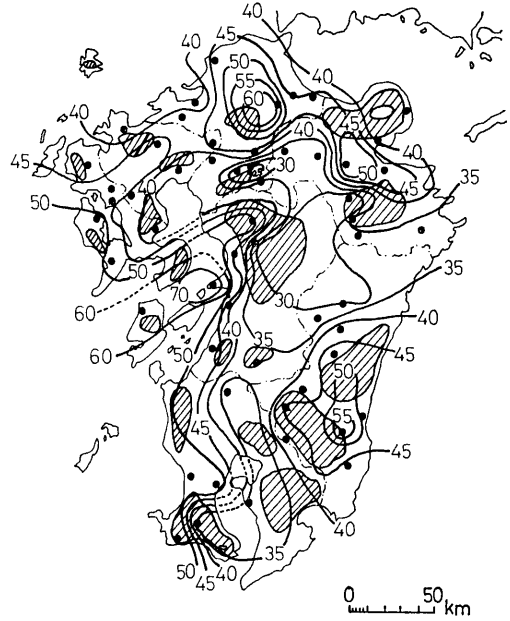
第10図. 同 (Return period 20年).

この日射量の蒸発散量におよぼす影響は、緯度によって異なることはもちろん、地形、土性、作物の種類と栽培管理の状態、その他によって影響されることは明らかである。現在斜面の日射量についての研究、晴天日数と畑地土壤水分の減少との関係など一部で研究

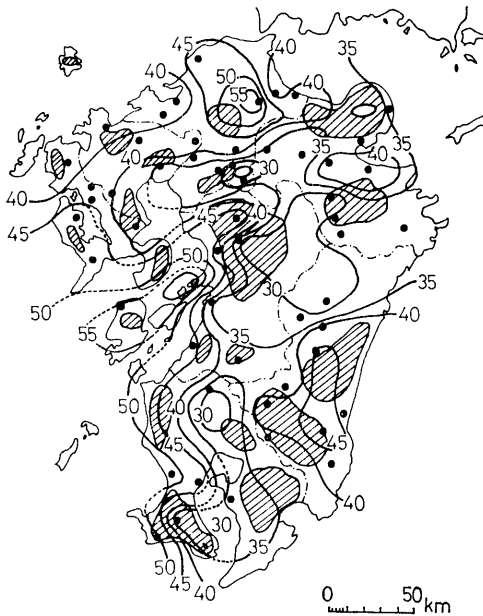
が進められてはいるが、作物消費水量、カンガイ間断日数の計画などの基準を作成するためには、現地を中心としたこの種の研究の早急な進展が必要であろう。



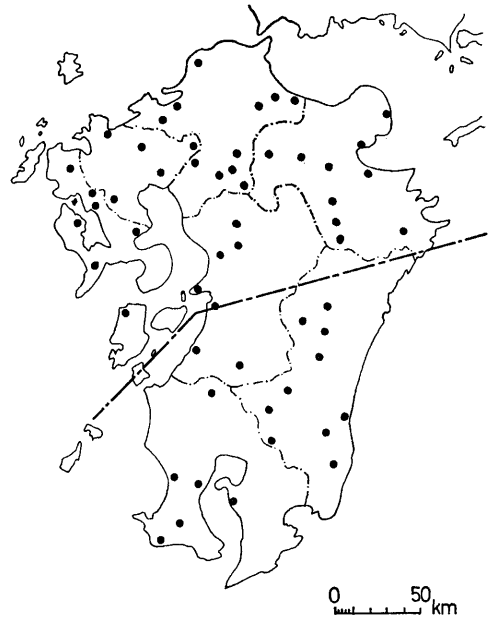
第11図. 同 (Return period 30年).



第13図. 同 (Return period 50年).



第12図. 同 (Return period 40年).



第14図. 九州における畑作物の日消費水量の地域分布 (伊藤).

● : 観測所の位置

V. 九州における主要畑地集団地帯の畑作物消費水量基準について

わが国における畑地カンガイの口消費水量については実測例が多いが、各地区の資料にバラツキが大きく、各地区を関連づける根拠がなかった。九州農政局では、計画を能率的に進めるため、畑作物消費水量基準表(案)を作成した(九州農政局計画部 1970; 伊藤 1973 a, b)。

この基準表(案)は新井(1966)の日本全域の8月における蒸発量の分布図を基準にしたもので、九州における畑作物消費水量の分布についての、科学的基準を与えた最初の試みであり、重要な意義を有するものとする。これによると第14図のように九州を宮崎県北部から熊本県中部にわたる境界によって南北に2分している。しかしこの基準案は地域的差異が少なすぎるとか、各種基準年を考慮するのに不便であるとか欠点、不備がないとはいえないが、実用的には一応妥当な区分と考えられる。これは今後の九州地域の畑地カンガイ計画上に便宜を与えるものといえよう。

また筆者らの確率連続干天日数の分布に関する研究は、九州における主要畑地帯の作物消費水量、カンガイ間断日数の計画などに便宜を与え、畑地カンガイ計画に意義を有するものとする。

VI. 摘 要

戦後におけるわが国の畑地カンガイ技術は急速に進歩したが、その技術と直接結びつく研究に忙しいあまり、その基礎となり深い根拠となる部分の研究に欠けている点がないとはいえない。

筆者の一人は、以前から畑作物の土壌水分の管理に当り、他の土壌環境要素を考慮しながら管理する必要のあることを述べ、土壌水分の表示には飽和度を使用することがより便利なることを述べた(田辺 1955 b)。

さらに2~3の土性の異なるホ場について研究し、土壌水分と空気、酸素、炭酸ガスなどとの関係を考慮しながら水分の管理を行なうためには、飽和度による水分の表示方法が便利なることを具体的に説明した。

さらにさきに研究した九州を対象とした夏季の確率連続干天日数の分布図に、主要畑地集団地帯を入れ、比較考察した結果、九州地域においても場所により確率連続干天日数に大差があり、畑地カンガイ計画に注意すべきことを述べた。

また九州農政局の畑作物消費水量基準(案)についても検討のうえ、欠点、不備がないとはいえないが、

今後計画を能率的に進めるために、この案は実目的には一応妥当なものと考え、これは九州地域の畑地カンガイ計画に便宜を与えるものと考えた。

最後に筆者らのこの確率連続干天日数の分布に関する研究は、九州における主要畑地帯の作物消費水量、カンガイ間断日数の計画などに参考になるものとする。

文 献

- 新井正 1966 蒸発計蒸発量と計算による蒸発量との比較. 農業気象, **21**(1): 23-27
- Gardner, W. R. 1960 Dynamic aspects of water availability to plants. *Soil Science*, **89**: 67-73
- 位田藤久太郎 1963 蔬菜の根の通気必要度. 土壌の物理性, **8**: 13-19
- 伊藤光 1973 a 畑地カンガイの計画日消費水量について. 水と土, **12**: 30-36
- 伊藤光 1973 b かんがいの計画基準年について. 水と土, **13**: 71-74
- 上村賢治 1965 無降水継続期間を基礎とするカンガイ必要度の推定方法. 農業気象, **21**(3): 87-92
- 九州農政局計画部 1970 畑作物消費水量基準表(案)
- Lipps, R. C. and Fox, R. L. 1964 Root activity of subirrigated Alfalfa as related to soil moisture, temperature and oxygen supply. *Soil Science*, **97**: 4-12
- 中原孫吉, 羽田和三郎 1963 傾斜地果樹園の地象環境について(1). 千葉大園芸学術報告, **11**: 37-43
- 野村安治, 田辺邦美 1973 水稲田の用水消費要素に関する基礎的研究. 九州地方の夏季干天日数に関する考察. 九大農芸誌, **28**(1): 1~30
- Rose, C. W., W. R. Stern and J. E. Drummond 1965 Determination of hydraulic Conductivity as a function of depth for soil in situ. *Aust. Jou. of Soil Research*, **3**(1): 1-9
- Rose, C. W. and Stern, W. R. 1967 Determination of withdrawal of water from soil by crop roots as function of depth and time. *Aust. Jou. of Soil Research*, **5**: 11-19
- 菅原友太 1944 作物の生育に対する土壌通気の影響(第1報). 日本土壌肥科学雑誌, **18**(4-5): 185-190
- 田辺邦美 1955 a 畑地カンガイ試験報告[畑地カンガイにおける最適土壌水分量とその表示法]. 1-57
- 田辺邦美 1955 b 畑地におけるかんがい水の浸透と土壌水分の表示方法について. 農業土木学会大会講演会講演要旨, 54
- 内島善兵衛訳 1959 Budyko: 地表面の熱収支. 河川水温調査会, 東京
- 内島善兵衛訳 1965 Budagovsky: 耕地の蒸発散. 畑地農業研究会, 東京
- 矢吹万寿 1966 炭酸ガス環境について(I). グリーン研究報告集, 10:

Summary

The ability of the soil to produce crop is dependent not only upon the proper supply of nutrients but also upon air and water relations that would make possible the most efficient usage of available nutrients by crop.

The composition of the soil air depends primarily upon the extent of biological processes and the ease with which it is renewed by exchange with atmospheric air. Growing plants as well as most soil micro-organisms utilize oxygen of the soil air and give off carbon dioxide. These values change with season, soil, crop, tillage and activity.

In this paper, therefore, the authors study especially the mechanism of moisture decrease in the field soil, as the first step to establish seasonal moisture management of field in Kyushu region. From this study the following results were obtained.

1) It was confirmed that at the low soil moisture content, crop controls the evapotranspiration rate itself with disregard of the climate condition.

2) The evapotranspiration rate during the vegetative period changes accordingly to kind of crop, the vegetative stage and period of the vegetative season.

3) In expressing the soil moisture content, the volumetric expression has following advantages in comparison with the gravimetric expression. First, the relationship among soil, air and water can be known easily. Secondly, in the case of two soils of different weight, even if soil moisture contents of these soil in term of gravimetric expression are equal, soil moisture contents in term of volumetric expression may not be equal (Table-2).

4) The validity of dividing Kyushu region into the north and south districts, on the estimation of the evapotranspiration rate of crop as criteria in Kyushu region was investigated, as a result it was concluded that this division is valid practically.

5) The result of this study can be used as basic data in deciding the consumptive use of the crop and irrigation interval in the main field in Kyushu region.