

水田に隣接した園芸施設内の地下水位について

佐藤 寛*・古木 敏也*

On the Ground Water Level inside of the Horticultural House Abutting
on the Paddy Field

Hiroshi SATO Toshiya FURUKI

*Department of Land Improvement, National Research Institute of
Agricultural Engineering*

Summary From a view point of the utilization of the ground water with free surface for the horticultural facilities unblest with available water, the mechanism of the ground water variation should be investigated for the horticultural house installed in the alluvial paddy fields.

Herewith, a few informations were [obtained from the management of irrigation and drainage in the paddy fields, and the quantities of water consumption from roots of crop (cucumber) respond to the ground water variation. These consequences are summarised as follows ;

(1) The free water level under the field surface always goes up and down the paddy fields, owing to the seasonal water management.

These fluctuations of seasonal water level is cyclic for one year precisely.

Then, the water level inside of the house also moves following the fluctuation in paddy field around, and the response is sensitive. It takes within a day or so that the ground water level movement inside of the house about 10 meters from the boundary responds to outside.

(2) It was observed that water level was going down owing to the water consumption from roots of crop. Particularly, in this case, when the value of the water consumption exceeded 3~4 mm a day, the water lever went down remarkably.

(3) In case of the low ground water level, it was observed that the soil moisture was carried upwards as vapor near the soil surface. While the moisture in the form of the vapor moves up near the surface, it may be condensed to the available moisture, if the soil surface is wet with irrigated water. And this moisture ought to be utilized for the crop.

1. はじめに

農地における地下水位（自由面地下水を対象とする）は、異なる地目が接する場合、水平に保たれていない場合が多く、地下水流動が生じるのが普通である。一般に、深い排水路に接する農地では、排水路水位の昇降運動、降雨、カン排水、暗キヨ排水等により、地下水位が変動するのが知られている。また、このように急激な流入がない場合は、土中の降下浸透、作物による蒸発散が地下水位の変動に寄与する例もある。

当然ながら、水田地帯では地下水位が他地目に比べ高く、畑作物を対象とする施設においては、湿害対策上、

盛土基盤あるいは、排水明・暗キヨ形態が多くとられている。ここでは特に、低平地水田地帯に散在する園芸施設を研究対象とし盛土基盤における、地下水位変動の特性とその要因を追究した。

表1 試験施設の概要

地区名	飯 島	建ペイ率	86%
基 盤 面 積 (m ²)	水田上盛土 盛土高約0.75m (2100)	作 日	キュリ (年間3作)
ハウス 面 積 (m ²)	ガラス：4連棟 (1800)	用 水	地下水 ポンプアップ
		排水暗 キヨの有無	なし

* 農業土木試験場農地整備部

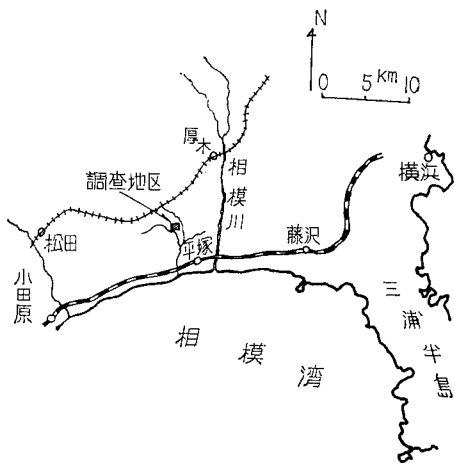
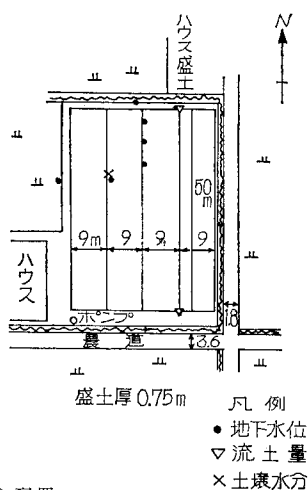


図1 試験地位置と配置



III 施設基盤の概要と土壤の物理性

1. 盛土の断面

施設盛土基盤と周辺の標高は図2に示すとおりであり以後述べる地下水位については、主としてこの断面に対応するものである。

2. 土壤断面、透水係数

図3に調査結果を示す。本地区は、沖積水田上に山土を搬入盛土したもので、水田土壌とは土性的には異なるが、透水性に大差は認められない。

3. 三相分布、pF~水分量

3. 図4, 5にそれぞれ、pF 2.5における三相分布とpF~水分量曲線を示す。図5の固相率を見ると、耕盤以下での顕著な差はなく、造成時の施工の良さがうかがわれる。また、図4より、粗間ゲキが、10, 20cm深さで

II 研究方法

神奈川県平塚市郊外の盛土基盤上に構築された、ガラスハウスを対象とし(図1に示す)、主として、地下水位、土壤水分量、蒸発量、カン水量を観測することにより、作物消費水量、地下水位変動特性を把握しようとした。施設の概要は表1に示すとおりである。

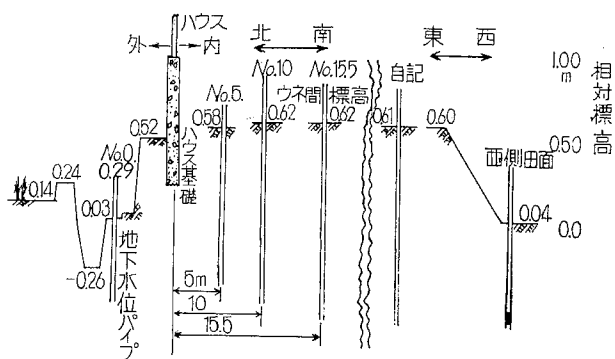


図2 盛土の断面

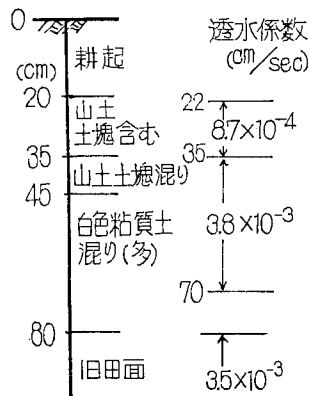


図3 土壤断面

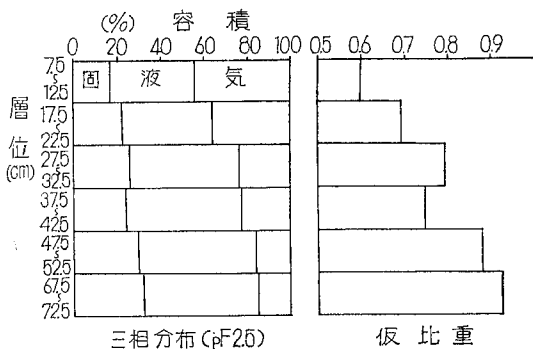


図4 三相分布と仮比重

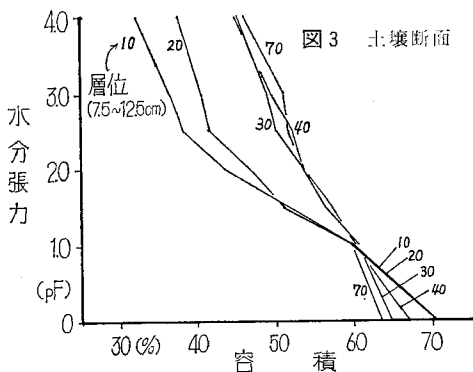


図5 pF~水分量曲線

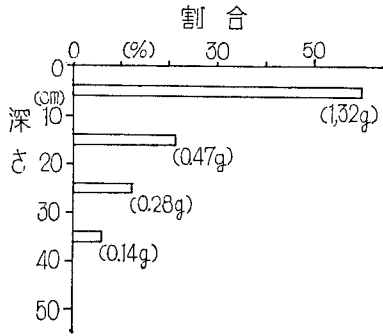


図6 根群分布

約20%(体積), 30, 40, 70cm深さで7~10%となっており, 透水性の良いことがわかる。

4. 根群分布(キウリ)

49年10月6日定植のキウリに対して, 50年1月21, 22日(1作完了直後)に根量調査を行った。採取は2株分行ない, 主幹を中心に置いた0.3×0.6m²の矩形断面の柱

状土塊の各層を, 根洗い(2mmフルイ水中シントウ), 炉乾燥後秤量したものである。結果を図6に示す。これによると, 表層分布型となっており, 30cm以深の層には10%未満の根量があるに過ぎず, 特に表層から20cmまでに80%以上の集中を見ている。よって0~20cmを主根群域と考えることができよう。

IV 結果

1. 期別地下水位について

水田地帯における地下水位は, 地区全体の用水需要量の変化に応じ, 比較的広域に変動するのが一般的であり, 時期的水田水管理の実態を先ず知っておく必要がある。本地区では, 水利権が6月初め~9月中旬に設定されており, 上下流部に数日の差はあっても, 平均的には代カキ, 田植えが6月1日~15, 中干し7月下旬~8月上旬, 落水9月中旬頃となっている。これに対し, 施設内キウリの作付けは, 春作の促成, 夏作, 秋~冬作の抑制と, 年間3作を基本型にしており, このうち夏作がほぼ水田のカンガイ期に, こ

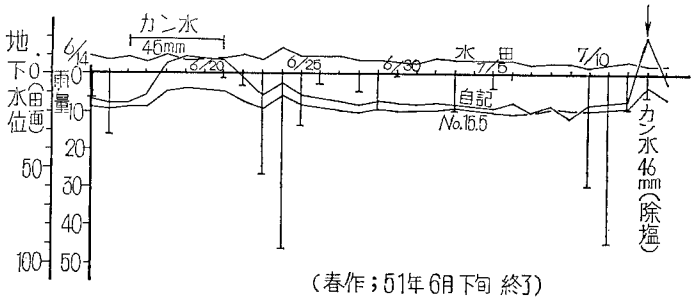
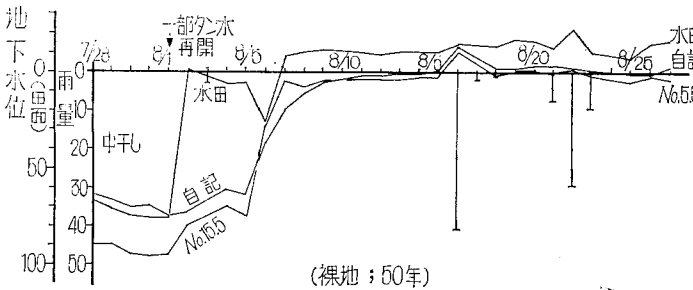
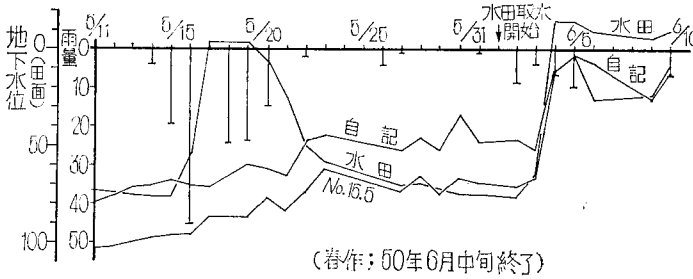


図7 期別地下水位

表2 隣接水田に対する各点地下水位の相互相関係数

期	遅れ (日)	自記計地点 (水田境界より11m内部)	No.15.5地点 (水田境界より20m内部)	備考
50年 4月	0	★0.737	★0.790	水田 非カン ガイ期 (5月31 日まで) 春作
	1	0.706	0.736	
	2	0.649	0.660	
	3	0.587	0.619	
	4	0.531	0.575	
	5	0.492	0.532	
	6	0.442	0.482	
50年 7月	0	0.769	★0.824	中干し 期 (8月5 日頃ま で) 裸地
	1	★0.784	0.800	
	2	0.783	0.775	
	3	0.769	0.733	
	4	0.775	0.724	
	5	0.721	0.729	
	6	0.625	0.494	
51年 6月	0	★0.471	0.393	カンガ イ期 (春作 終了6 日末)
	1	0.423	0.304	
	2	0.370	0.304	
	3	0.270	0.304	
	4	0.358	0.393	
	5	0.366	★0.473	
	6	0.186	0.205	
7	0.294	0.292		

(注) 3個の移動平均値をデータとし, ★印が最大値である。

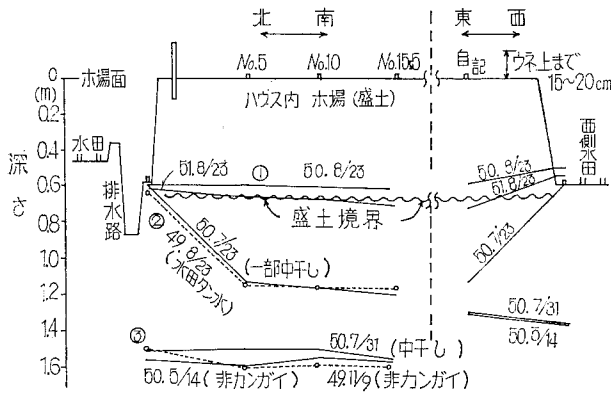


図8 期別地下水水位縦断面図

れ以外の抑制，促成は非カンガイ期に相当している。

図7に時期別水田地下水水位の変動状況を図8にこれに対応した施設内地下水水位の代表的断面を示しているが，水田の用排水操作に応じて大きく変動し，応答も迅速であることがうかがわれる。このことは，地下水水位測水管No.0（水田），自記計地点，No.15.5の間の相互相関係数を示した表2で傾向が読みとれる。表中の★印が相関のピークであり上，中段ともに水田水位の変動とともに，施設内水位も変動が大きい。下段は水田水位に変動が少ない時期で，極端に大きいカン水による影響が現われるため，高い相関になっていないが，いずれも地下水波（河海等の水位の振動に伴って，これに接した地下水面にも振動が伝わること）の応答時間としては1日以内と見ることができる。また，低い地下水水位条件から，水田タン水によって地下水水位が急激に上昇する場合は，地下水波の伝播よりむしろ，不透層の位置が比較的浅い（水田面下約1.5~2.0m）ため，水平方向の地下水流入

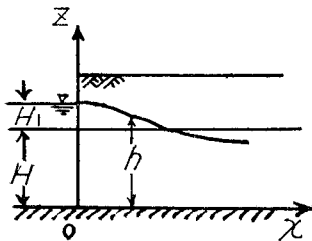


図9

連続の式 $\lambda \frac{\partial h}{\partial t} + H \frac{\partial u}{\partial x} = 0$ と

運動の式 $\frac{1}{\lambda g} \frac{\partial u}{\partial t} = - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{u}{k}$

(ただし $h = z + P/\rho g$)

から，外水位の変動に対する内陸部自由面地下水水位の振動に関する基礎方程式

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x^2} - \frac{1}{gH} \cdot \frac{\partial^2 h}{\partial t^2} - \frac{\lambda}{kH} \cdot \frac{\partial h}{\partial t} = 0$$

が得られる。

ただし 波速 $(= \frac{2\pi}{T} : T : \text{周期})$

t : 時刻

k : 透水係数

また，土中水の流速が小さいので，加速度項（第2項）を無視し， σ が微小値であることを考慮すると， $x = 0$ で水位の正弦的变化

$$h = H + H_1 \sin \sigma t$$

を満たす解は，

$$h = H + H_1 \exp \left(-\sqrt{\frac{\lambda \sigma}{2kH}} \cdot x \right) \sin \left(\sigma t + \sqrt{\frac{\lambda \sigma}{2kH}} \cdot x \right)$$

となり，地下水波の伝播速度

$$v = \sqrt{\frac{2\sigma kH}{\lambda}}$$

が得られる。

この式に， $k = 3 \times 10^{-5}$ (m/sec)， $\lambda = 0.3$ ， $H = 2$ T = 7日（50年6月2~6月4日における上昇部を適用）を入れると， $v = 6.5 \times 10^{-4}$ m/sec となり，内陸部10m地点で，約1.7日要し，非常に速い傾向がでている。

2. 作物消費水量と地下水水位

図8の施設内地下水水位の縦断面を見ると，水田カンガイ期と非カンガイ期より，3つの型に分けることができた。②，③はいずれも作物が栽培されている場合であるが，①の型はカンガイ期に作物を栽培していない（裸地）場合であり，このことは，作物による水分消費が地下水水位昇降の要因となることを想定させる。

そこで，①と②の状態の間における水分の収支について考えてみる。

まず，①の状態において，各深さ別の土壌水分張力は表3に示すように，ほぼ毛管容水量（各毛管ポテンシャルにおける最大容水量）に相当しており，この期間，安定して下層からの補給水があったことを表わしている。

表3 土壌水分観測値 (50.8/15~8/28)

	pF 値				地下水水位	データ数	備考
	深さ 10cm	20	30	50			
平均値	1.69	1.55	1.41	1.03	0.59		
標準偏差	0.02	0.04	0.02	0.08			12裸地
水分量 (容積)	48.5	50.6	57.0	59.5			

すなわち，土壌面蒸発量分の毛管補給が行なわれていたことになるが，この量を知るためには，土壌面蒸発を制御する条件（土湿，気温，気湿，日射等）を等しくし

た。測定値が必要であり、現場の条件に合う実測例は少ない。この条件のうち、土性および地下水位を類似させた実験例によると²⁾、ほぼ計器蒸発量の半分が土壌面蒸発量とされている。よって①の時期における計器蒸発量が日平均約4mmと観測されているので、2mm/day程度が、土壌面蒸発量ということになる。

これに対し、施設内での土壌面蒸発量の実測結果を表4に示す。()内数字が土壌面蒸発量である。これによると、地下水位および土壌水分量に対する傾向性はつかめないが、計器蒸発量の6~8割の土壌面蒸発が見られた。

表4 ハウス内土壌面蒸発量観測値

(1) ウネ部、通路部の蒸発量(キュウリ栽培中)

	区 分	6 月		
		7 日	8 日	9 日
(蒸発量) (mm) 含水比 (%)	通路	(1.8) 60.2	(1.4) 56.0	52.5
	ウネ	(1.0) 58.3	(0.6) 54.2	51.8
10cm深さの水分張力(pF)	通路	2.68	2.62	2.61
	ウネ	1.68	1.25	1.22
φ200計器蒸発量(mm)		2.5	2.1	

地下水位：地表面下0.97m

(2) 下層からの水分補給量(裸地)

		7 月		8 月	
		12日	13日	3日	4日
(蒸発量) (mm) 含水比 (%)	A	(1.1) 57.8	55.3	(1.2) 39.8	36.9
	B		57.6		42.3
10cm深さの水分張力(pF)		1.96	1.97	2.74	2.80
φ200計器蒸発量(mm)		2.0		1.4	
地下水位地表面下(mm)		0.75		1.15	

(注) (1), (2)とも測定は100cc円筒を使用、3個の平均

なお、測定は100cc円筒にて表層0~5cmを採土、秤量後下ブタ付きで再度埋め込み、水分量の減少を見たものである。(1)のウネ部においては、キュウリの樹下での測定であるため、小さい値をとったものと考えられる。(1)

(2)表とも、いずれも計器蒸発量が小さい日に当たったが、この時期には、3~5mm/dayの蒸発量が平均的であったので、土壌面蒸発量も3mm/dayを越える日もあったと考えてよいであろう。

(2)表に、下層からの水分補給量に関して掲げている。これらいずれも100cc円筒にて採土後、A欄では7、8月ともに下ブタ付きで埋設し、B欄では7月がフタなし埋設自然状態、8月が上ブタ付きで埋設(上面からの蒸発防止)したものである。これによると、7月12日A欄と13日B欄の数値はほぼ等しいことから、サンプル間に差がないものと考えて、57.8-55.3=2.5(%, 含水比)の水分補給となる。同様に8月においては、39.8~42.3=2.5(%)の下層からの補給と、39.8-36.9=2.9(%)の蒸発による水分消失が生じたことを示している。すなわち、下層からの水分補給が、液体が気体か液体か気体かは別として、継続的に行なわれることを表わしていよう。よって表3に示される土壌水分張力の変動が小さい、いいかえれば各層の水分が安定している時期の土壌面蒸発量は常に下層から補給されていたことになる。

一方②の型においては、作物根による吸水が加わるので、地下水面の凹配による水田からの地下水流入と、地表カン水とのバランスで形成されていると考えられ、両者の和が、施設内必要水量に相当する。キュウリはソ菜の中でも要水量が大きく、日蒸散量を5mm程度考慮すると³⁾、これに裸地面からの蒸発量をいく分見込み6~8mm/dayの用水を必要とすると考えられることができる。しかし、以上はいずれも局所的な水分取支を中心に算出しているため、これに対し、やや無理な点もあるが、大ざっぱに以下により、地下水位低下と地下水の上方補給に関して計算を試みた。

図10に示すようなモデルに対して、地下水面の高低が少なく、鉛直断面内での水平流速が一樣であると仮定して、ブーネスクから導かれる定常解、

$$H = \frac{w}{k} \cdot x(L-x) + H_0 \text{ から}$$

地下水位分布を計算することができる⁴⁾。

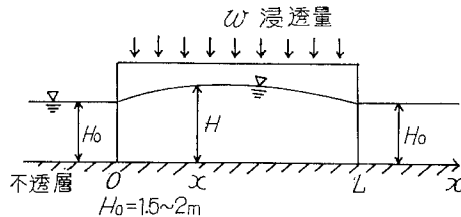


図10

ここで、①の型に対して $w = -3 \text{ mm/day}$
 $k = 3 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$, $L = 40 \text{ m}$ とすると、 $x = 10 \text{ m}$

で $H = -0.3 + H_0$ が得られ、外水位より30cm 低下することが知られている。 w は本来重力水の浸透量であることから、この場合、毛管水の移動に対応する k を検討する必要があるが、この k を最大値と考えると外水位より30cm以上低下するということになる。②の型では上方からのカン水による水分補給があるため、 w が一定でなく、鉛直方向に複雑な水分分布を示すので、地下水面コウ配から、地下水流入量を試算する。

図11において地下水面コウ配が非常にゆるやかであるとすると

$$Q = \frac{k(H_1^2 - H_2^2)}{2L}$$

から計算でき⁵⁾、 $k = 3 \times 10^{-5}$ m/sec, $H_1 = 1.5$ m, $H_2 = 1.0$ m, $L = 20$ m (ホ場中央までを地下水面コウ配一定と仮定) に対して、地下水流入量は水深にして 4.7 mm/day, 同じく $H_1 = 2.0$, $H_2 = 1.5$ に対して 6.6 mm/day となった。

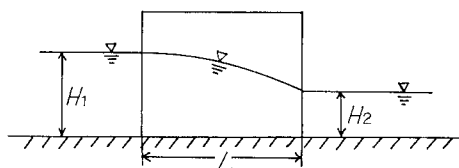


図11

しかし、この期間のカン水量は日平均49年度が2.7mm, となっていて、上記のうち小さい方に対し7.4mm, 大きい方に対して9.3mmが施設内で消費されたことになり、前記の6~8mmに比較し、やや過大な数値となっている。また、地下水面から主根群(地表面下20cmとする: 前出)までの高さが約90cmで、本土壌における毛管上昇高の上限に近く、この間で直接5mm/dayの毛管水の補給量は例がないと考えられる。よって、本施設に対して強いて値を示せば、3~4mm/day程度の地下補給が地下水面の大きな低下を招くことなしに可能であることなる。

V 考 察

1. 施設内地下水位の期別変動

施設内地下水位は、周辺水田の用排水管理と密接な関係があり、水田の作期に対応して明確な差が生じた(図7)。水田と施設基盤の透水性にもよるが、地下水面変動の伝播は地下水流動に比べ非常に速い。

2. 作物消費水量と地下水位

水田用排水管理は、正確に1年周期をとるので、毎年同時期にほぼ同一地下水位を再現するが、施設内では作

物の有無により地下水位に差が認められた。これは、土壌面蒸発および作物蒸散による、地下水の上方移動のためと考えられ、本施設ではその量が3~4mm/dayを超過した場合、地下水位の顕著な降下が現われるものと推定された。

なお、 $H = w \cdot x \cdot (L - x) / k + H_0$ において、粗間ゲキ量が小さく(透水性小)また、不透層が深くなるに従い、それぞれ、地下水面のコウ配が大きくなること、鉛直断面内での水平一様流速が崩れることで、前出の仮定に合わなくなる。

3. 土壌面蒸発

計器蒸発量が、周囲の空気の温、湿度、日射等に直接制御されるのに対し、土壌面蒸発量は、これらに加え、土壌中に蓄積された熱エネルギーの大きさが重要な因子となる。施設内は露地に比べ貯熱量も大きく、熱放出も大きいと考えられ、放射熱あるいは蒸発の潜熱として放出されている。すなわち、毛管水の地表面蒸発のみならず、地中での蒸気体による上方移動も含まれ、特に表4(2)の8月においては、この現象が認められよう。

地表カンガイがある場合には、上昇した地中蒸気が凝結するために、深部の地下水もまた用水として利用されているものと考えられる。

また粗間ゲキ(普通pF 1.5以下の間ゲキ)を主として通る飽和透水に対し、毛管水はこれより小間ゲキ(毛管間ゲキ、特に通水量的にはこのうち大間ゲキ)を通るので、毛管水の蒸発と透水係数 k とは直接には関係ないが、現実の土壌においては、粗間ゲキとこれに連続する毛管大間ゲキの量には正の相関が存在する。よって実用上 k を測定することにより、蒸発散量も推定することができよう。

VI おわりに

水源確保条件の悪い施設園芸における地下水利用の点を念頭におき、述べてきたが、さらに有効利用のための、基盤土壌の物理性と造成法、毛管伝導度と k との相関、有効根群と吸水性の問題を細かく詰めて行く必要がある。

参 考 文 献

- 1) 本間 仁, 石原藤次郎: 応用水理学上207~208, 1971
- 2) 上村春美: 農業技術研究所報告, F13, 1961
- 3) 東海農政局: 畑カン立地区分調査参考資料, 1965
- 4) 田辺邦美, 田中明ほか: 九大農学芸誌, 105~113, 1974
- 5) 水理公式集: 231, 1971