

# 作土中の粗土塊の含有率がトマトと プリンスメロンの生育、収量に及ぼす影響

小 沢 聖\*

Effect of Coarse Clods Content in Plowed Soil on Growth and Yield of Tomato and Princemelon

Kiyoshi OZAWA

## Summary

The Ogasawara Islands are located at 27 degrees north in the subtropics where drought damage frequently disturbs the cultivation of ordinary commercial vegetables from summer to autumn. Agronomical measures are therefore required to prevent this and to remedy the relative lack of water resources. This paper reports the findings of a study on the influence of soil with a high coarse-clod content.

Coarse-clod-rich soil severely disturbed growth and yield of tomato and melon; growth and yield varied markedly according to coarse-clod content, with a sharp drop in growth occurring at a certain critical coarse-clod content; there appears to be seasonal variation in the critical coarse-clod content at which growth falls abruptly.

Melon growth was more severely affected than tomato growth by high coarse clod content.

The effect of soil water stress on root development was investigated using root containers. Soil water stress increased melon rootlet growth, but decreased tomato rootlet growth, though tomato rootlets still grew to considerable depth despite soil water stress. This appears to be one reason why the tomato is more resistant than melon to high coarse clod content.

Melon growth and yield were remarkably improved by mixing small quantities of a water-holding substance (KP-6214, a water absorption polymer synthesized from sodium polyacrylate) or sand with high coarse clod content soil below and around the roots when the plants were planted in the field.

The difference in growth and yield between low and high coarse clod content soils was not explained by differences in available water, because available water was equally poor in both.

\* 東京都小笠原亜熱帯農業センター (Ogasawara Subtropical Agricultural Experiment Center of Tokyo Metropolitan Government, Chichijima Island, Tokyo Japan, 100-21)

本研究の要旨の一部は、昭和60年春園芸学会講演会で発表した。

The difference in unsaturated hydraulic conductivities between low and high coarse clod content soils was evidently the explanation for the growth disturbances caused by high coarse clod content soil.

The low unsaturated hydraulic conductivity appears to cause fatal damage to plant root development because Ogasawara Islands soil has very little available water. This is probably why crop damage is greater when coarse clod content is high.

The problem can be solved by inducing roots to grow rapidly down into the subsoil layer where there is stable soil retention of much water. Roots can be induced to do this by mixing water-holding substance or sand with high coarse clod content soil below and around the plant to facilitate root development.

## I 緒 言

小笠原の野菜生産をとりまく気象環境は、夏から秋にかけては台風、酷暑、干ばつ、冬には季節風、短日と、非常に厳しい。冬期の内地出荷をねらって栽培される野菜の一部では、生育の前半が高温期にあたるため、干ばつ害が大きな生産阻害要因となっている。さらに、小笠原の土壤のほとんどは細粒赤色土に分類され、カベ状構造をなすため砂土性が悪く、高温期の作付ではしばしば粗土塊条件によると思われる干ばつ害の助長がみられる。

戦前には、「総ぼり」といわれ、夏の早い時期に開墾ぐわを使い人力で深耕し秋まで休閑し、乾湿をくり返すことにより土塊を細粒化し、冬作の作付に備えた。しかし、冬作だけで十分すぎる収益が得られた戦前と異なり、現在は夏の作付をせざるを得ない。また、「総ぼり」は労力的問題もあり、簡便な対策が必要である。

土壤の構造単位の分類法は研究者によって異なり<sup>4), 8), 16)</sup>必ずしも統一的な見解がない。ここでは、土壤物理研究会の「耕耘作業後の作土の中に分布する安定的な集合体」という定義<sup>24)</sup>に従って、土壤の構造単位を総じて土塊と表現した。

一方、土塊の大きさと作物の生育、収量に関する研究例を見ると、Russel<sup>14)</sup>は植物の生育には1から5mmの範囲が最適で、乾燥条件下ではこれより小さく、湿润条件下では大きいことが望ましいとしている。そして、5から6mm以上では苗の幼根に対し空間が大きすぎることを明らかにしている。しかし、ここでは粗土塊条件下での対策は論じられていない。また、佐藤ら<sup>17)</sup>は土塊が大きくなるとニンジンの収量が低下することを明らかにしており、7日間毎日30mmという多量のかん水が対策として

有効であるとしているが、これは、小笠原の水資源から考えると到底不可能な水量である。

そこで、小笠原で一般に高温期に作付される露地栽培のトマトとプリンスメロンを対象として、作土の粗土塊の含有率が生育、収量に及ぼす影響を検討した。さらに、粗土塊条件下での干ばつ害軽減の一手段として、有効な対策を見い出したので結果を報告する。

なお、一連の栽培試験は東京都小笠原亜熱帯農業センターの試験は場で行い、土壤物理性の実験には同は場の土壤を使用した。また、ここでは2mm以上の土塊を、便宜上粗土塊と定義し、栽培環境に即した値を得るため乾式法で篩別し、風乾重による作土中の含有率として示した。

## II トマトの生育、収量におよぼす粗土塊含有率の影響

小笠原では、トマトは通常8月下旬から9月上旬にかけては種し、野外でポット育苗して、10月に定植する。しかし、定植後、秋雨前線が到来する11月下旬から12月上旬までは、確実な降雨が期待できず、干ばつの危険にさらされている。このような条件下で粗土塊含有率の影響とかん水の効果を検討した。

### 材料および方法

**試験1** 東京都農業試験場育成‘あづま’を1982年8月25日には種し、10月27日に定植した。1.4mベッド、0.6m通路、株間0.5mの2条植えとし、ベット中央はトレングレーにより60cmまで深耕した。施肥は、N:2.9, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:3.7, K<sub>2</sub>O:1.7kg/aを元肥とし、N:1.0, K<sub>2</sub>O:1.3kg/aを追肥とした。収穫は7段花房まで行った。処理は、粗土塊含有率の差がはげしい一連のベッドに定植

した40本の苗を供試し、1mごとにベッドを区切り、1区4株、10区制とした。土壤は各区の中央、地表面から深さ5cmまでを定植時にサンプリングして、粗土塊含有率を求めた。

土壤水分は深さ20cmに埋設したテンシオメータにより吸引圧として11月23日から27日の平均で示し、葉面積は11月25日の展開葉の上位から2枚目の最大小葉の値をもって、比較した。単位葉面積当たりの乾物重は、11月9日に上位3から4枚目の展開葉からリーフパンチで葉脈を避け、1区12cm<sup>2</sup>をサンプリングして求めた。W.S.D.(飽和水分不足度)の測定には展開葉の上位3から4枚目の陽のよく当たる中位の小葉4枚を11月9日13時にサンプリングし、24時間の葉身浸漬法<sup>19)</sup>により次式で求めた。

$$W.S.D. (\%) = \frac{\text{飽和葉重} - \text{採葉時生体重}}{\text{飽和葉重} - \text{乾物葉重}} \times 100$$

草丈は11月25日に、グリーンメータの示度はW.S.D.と同じ葉を用いて11月9日に測定した。

**試験2** 試験1と同様に管理した‘あづま’を10月27日に定植し、粗土塊含有率の高・低とかん水量の多・少を組み合わせ、生育、収量におよぼす影響を検討した。ここで、粗土塊含有率の低い土壤の粗土塊含有率は82%で、高い土壤の粗土塊含有率は87から89%であった。定植時に各株5.6ℓを株元にかん水し、その後、多かん水区では11月9日までに14.4ℓを株元に、少かん水区では、同様に5.7ℓをかん水し、両区とも11月10月以降は無かん水とした。この間、降雨は全くなかった。1983年1月6日に生育調査を行なった。

#### 結果および考察

Fig.1に示すように、粗土塊含有率の高い土壤条件では生育は草丈が明らかに減少し、葉面積の低下もみられた。また、単位葉面積当たりの乾物重は増加し、グリーンメータの示度は低下した。体内水分は粗土塊含有率の低い土壤に比べ明らかに多く、土壤水分も多かった。上物収量は少なく、特に、初期収量で著しかった。

これらの粗土塊含有率が高い土壤条件下で起こる諸現象は、供試土壤では粗土塊含有率がほぼ85%を越えるあたりからみられた。

一方、かん水の影響はTable 1に示すように、草丈、葉数、地上部乾物重、葉面積にはみられず、これらは粗土塊含有率の低い土壤条件下で上回る結果を得た。収量も同様でかん水の影響は不明確であった。

以上のことから、粗土塊含有率の高い土壤条件下での

諸現象は、十分にある土壤水分を作物体が吸収できないことに起因しているとみられる。その結果、蒸散を抑制する形態を作物体がとるものと思われた。すなわち、葉面積が低下し、葉が厚くなることにより作物体が水ストレスをまぬがれるものとみられた。このため、作物体内に何らかの異常をきたし、草丈、葉色の低下が起きたと考えられ、これが、特に、初期収量の低下を招いたと思われる。これらのことから、生育初期に根系の発達が粗土塊により阻害されたものとみられ、この影響は本試験における程度のかん水量では、打ち消し切れず、総収量も低下したといえる。

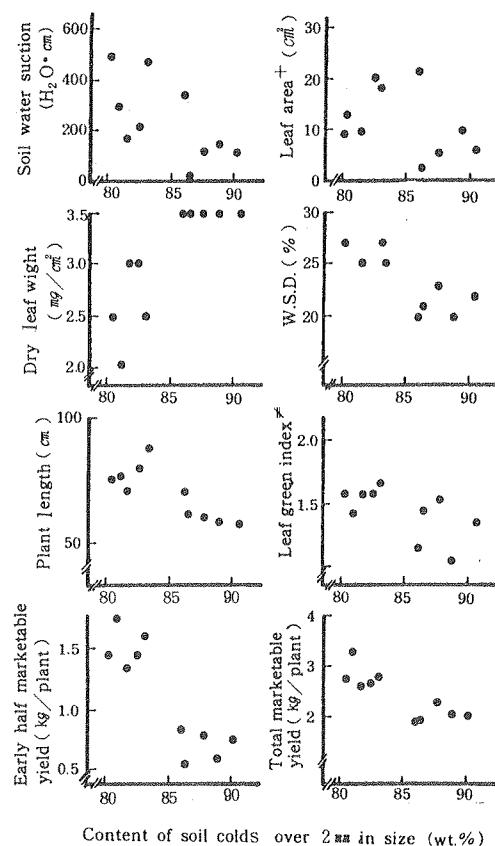


Fig.1 Effect of coarse clods content on growth and yield of tomato

\*: Maximum leaflet of the second highest leaf

\*: Greater shows stronger green

Table 1 Effect of irrigation and coarse clods content  
on growth and yield of tomato

Irrigation <sup>+</sup>	Content of coarse soil clods <sup>#</sup>	Growth (at 71 days after planted)						Total marketable yield (kg/plant)	
		Plant length (cm)	Number of leaves	Dry weight (g)			Leaf area (cm <sup>2</sup> )		
				Leaf blade	Petiole	Stem			
Much	Low	200	31.5	32.7	15.1	22.8	10470	3149	
Much	High	130	25.5	16.9	6.7	10.7	4969	2448	
Little	Low	190	28.5	39.8	18.5	22.7	13950	3122	
Little	High	140	26.0	19.3	9.2	12.3	6820	2034	

<sup>+</sup> Much : irrigated 14.4 l/plant through 2 weeks after planted, Little : 5.7 l/plant of same

<sup>#</sup> High : 87~89% of soil clods were over 2 mm in size, Low : 82% of them were same

### III プリンスメロンの生育におよぼす粗土塊含有率の影響

プリンスメロンは一般に9月上旬には種され、9月下旬に定植される。したがって、トマト以上に干ばつに遭遇する可能性が強い。そこで、プリンスメロンにおよぼす粗土塊含有率の影響と対策を同様に検討した。

#### 材料および方法

1983年9月3日は種、プリンスメロンPF6号(サカタ)を供試した。粗土塊含有率に58から95%の幅がある場合に、9月22日に定植した。N:2.0, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:2.5, K<sub>2</sub>O:1.5kg/aを施肥し、ベッド幅1.4m, 通路0.6m, 株間1.0mとして、ベッド中央はトレッシャーにより60cmまで深耕した。

処理は、育苗鉢の大・小(10.5cmと9.0cm), かん水量の多・少(株元に18.0lと25.6l), シルバーマルチの有・無, 整枝の有・無, を組み合せて合計6処理、1区5株の4区制とした。粗土塊含有率は地表面から深さ5cmまでの土壤を定植時にサンプリングして調査した。

葉が覆う地表面の割合を被度とし1m<sup>2</sup>当たり10点の精度で10月7日に測定した。葉水分ポテンシャルは、プレッシャーチャンバーを用いて、上位2から4枚目のよく陽の当った展開葉を各処理4葉供試して、10月9日から10日にかけて、3時間ごとに24時間測定し日平均として示した。

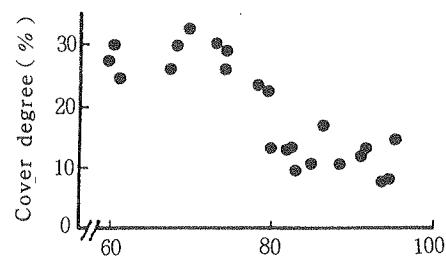
根の調査は、11月15日にTrench Profile method<sup>1)</sup>を簡略化して、株元を通る幅10cm, 深さ60cmの土壤断面を切る根の数を深さ10cmごとに数えた。ただし、深さ10cmまでは育苗土に当るため調査から除外した。

#### 結果および考察

Fig.2に示すように、粗土塊の含有率が74%以下の細土塊が多い条件下では、被度、葉水分ポテンシャルとも安定的な高い値を示したもの、粗土塊含有率が74%を越す条件下では双方とも著しく低下した。また、処理による差は不明確で、多かん水により若干高い値がみられたものの、粗土塊含有率の高い土壤条件を克服するには至らず、さらに、持続性に乏しかった。

また、深さ40から60cmの根の数と粗土塊含有率の関係をみたところ、Fig.3に示すように、粗土塊含有率が高まるに従がい漸次根は減少し、粗土塊含有率が84%を越えると皆無になった。

以上のことから、プリンスメロンも粗土塊含有率が高まると生育が著しく阻害されることが明らかとなった。しかし、体内水分を見る限り、これといった粗土塊含有率の高い土壤条件下での防御的な機作は生じなかった。



Content of soil clods over 2 mm in size(wt.%)  
Fig.2 Effect of coarse clods content on growth  
of melon

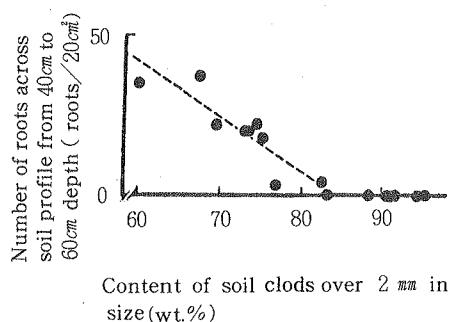


Fig.3 Relation between coarse clods content and root development of melon

さらに、粗土塊含有率の高い土壤条件下で根の発達が著しく抑制されていたことから、作物体は、水ストレスを受けた上に、占有する土壤容積を増やせないという悪循環に陥っているといえる。

また、粗土塊含有率の低下に従い根の数は直線的に増えているにもかかわらず、地上部の生育は頭うちとなつた。このことから、地上部の生育は根が一定以上発達すれば制限されないと考えられる。

なお、ここで深さ40から60cmの根の数を解析に利用した理由は、浅層の根に比べて葉の被度および葉水分ポテンシャルとそれぞれに  $r=0.81^{***}$  より  $r=0.91^{***}$  と高い相関が得られたためである。

一方、本試験では期待できる対策は見い出せず、粗土塊含有率の高い土壤そのものの本質的な改善を検討する必要があるといえる。

#### IV トマトとプリンスメロンの粗土塊含有率に対する感受性の比較

これまで不明確であった両作物の粗土塊含有率に対する感受性の差を明らかにする。

##### 材料および方法

1984年8月20日は種のトマト‘強力さすが’(東京シード)、同9月3日は種のプリンスメロンPF6号(サカタ)を供試した。粗土塊含有率が異なる同じ場所のは場に1.6m × 4.5mの区画を12区もつけ、9月27日に各区にトマト2株とプリンスメロン3株を定植した。施肥は各成分N:2.6, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:2.5, K<sub>2</sub>O:1.8kg/aとした。10月25日に全作物体をサンプリングして、乾物重を測定するとともに、いつ泌液量を測定した。なお、いつ泌液量には日周期が報告されているので<sup>22)</sup>、サンプリングは24時間とし

た。土壤水分は、10月25日に深さ20cmの土壤をサンプリングし、含水比で示した。土壤溶液は、吸引式の土壤溶液採取器により10月25日から26日にかけて深さ20cmから採取し、濃度はE.C.(電気伝導率)で示した。

いつ泌液量は、無傷な植物の水の流れとほとんど関係がない<sup>2)</sup>といわれる一方、ダイズで吸水量、根量と正の相関があり、呼吸の盛んな新根が多い<sup>5)</sup>とされたり、イネでは根が発達しやすいような土壤で多い<sup>3)</sup>とされている。ここでは、いつ泌液量が吸水と何らかの関係があるものとして取扱った。

##### 結果および考察

Fig.4 に示すように、地上部乾物重は、トマト、プリンスメロン双方とも、粗土塊含有率が高まると低下し、その程度はプリンスメロンで大きかった。生育の阻害が始まると粗土塊含有率は、トマト、プリンスメロンとも78%程度であった。

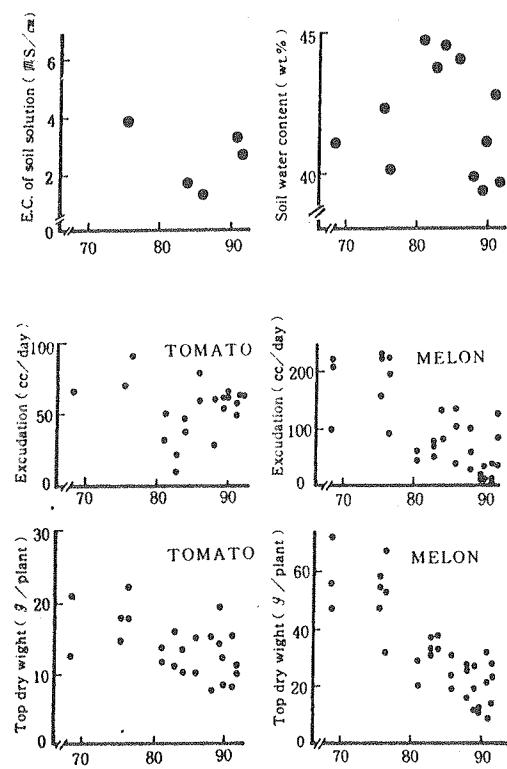


Fig.4 Effect of coarse clods content on dry weight and exudation of tomato and melon

粗土塊含有率84%程度で土壤溶液のE.C.は低く、この前後では土壤溶液のE.C.は高かった。また、土壤水分はこれとは逆に、粗土塊含有率80から86%で多く、この前後では少なかった。

24時間いっ泌液量は、トマト、プリンスメロンとも粗土塊含有率が低下すると高まった。そして、この差は、トマト、プリンスメロンとも、粗土塊含有率78%程度を境にして起り、差の程度はプリンスメロンで大きかった。

粗土塊含有率の80から84%で24時間いっ泌液量が特に少なかった。この現象はトマトでより明白に認められた。

これらのことから、プリンスメロンがトマトに比べ粗土塊含有率の高い条件下での生育阻害が大きいといえた。しかし、阻害が始まる粗土塊含有率には、双方に差が認められなかった。

ここで、粗土塊含有率が80%以下の条件下でいっ泌液量が多く、生育が良かったことから、これらの作物体の吸水量は多かったと判断できる。そして、この吸水は深さ20cmの土壤水分が少なかったことから、さらに深い土層から行われていたとみられる。ここで、深さ20cmでの土壤溶液のE.C.が高かったことについては、総合考察で検討する。

一方、粗土塊含有率が86%以上の条件下で、深さ20cmの土壤水分が少なかったのは、作物の生育が悪かったことからみると、保水性の不足によると思われる。いっ泌液量は両作物とも粗土塊含有率の低い条件下に比べ低下したが、トマトでその程度は少なく、この一因として後に述べる根の形態が関与しているものとみられる。

また、粗土塊含有率が80から86%の条件下では、両作物ともいっ泌液量が、より粗土塊含有率の高いものより低下し、特に、トマトで著しかった。この時、含水比は多かったことから、作物による吸水は著しく抑制されていたとみられる。しかし、乾物重をみると、これに対応する低下は明確に認められず、したがって、前述の現象は生育がかなり進んでから発生したことがわかる。

## V 土壤水分の欠乏に対するトマトとプリンスメロンの根の形態的反応

粗土塊含有率の高い条件下での生育阻害は、プリンスメロンに比べトマトで少ないことが明らかとなった。そこで、この原因をさぐるために、ルートボックスに栽培した作物体の土壤水分を欠乏させ、根系の形態におよぼす影響を検討した。

### 材料および方法

1985年9月7日は種トマト「強力さすが(東京シード)」同年10月16日は種プリンスメロンPF17号を供試して、11月8日に、たて15cm、横30cm、深さ50cmのルートボックスに、深さ45cmまで粗土塊含有率の低い細粒赤色土を充てんして定植した。1区2株として、両作物とも対照区と土壤水分ストレス区をもうけ、定植時に各株4ℓ(89mm)をかん水し、重力水は排水した。定植時のプリンスメロンは3葉期、トマトは6葉期であった。11月16日に対照区のみ株当たり2ℓ(44mm)をかん水し、11月19日にルートボックス壁面に現われた根を写真撮影した。また、光合成速度は、11月20日に両作物とも上位から4枚目の展開葉を供試して、リーフチャンバーを使用して赤外線分析計で測定した。

### 結果および考察

光合成速度はFig.5に示すようにプリンスメロンでトマトより高く、土壤水分の不足により両作物とも低下したが、時に、トマトで著しかった。根数はFig.6に示すように、対照区ではトマトで著しく多かった。土壤水分の不足により、プリンスメロンでは対照区に比べ根数は増加したが、トマトでは、逆に、減少した。調査期間中のトマトの根は、プリンスメロンより深くまで分布していた。

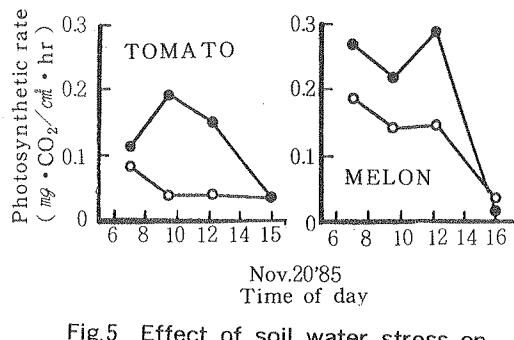


Fig.5 Effect of soil water stress on photosynthetic rate of tomato and melon

- Control
- Soil water stress

以上のことから、土壤水分の不足に対する根の形態的反応が、トマトとプリンスメロンで全く違うことがわかった。すなわち、プリンスメロンは根の密度を高めるのに対し、トマトは、逆に、抑制した。これは、土壤水分

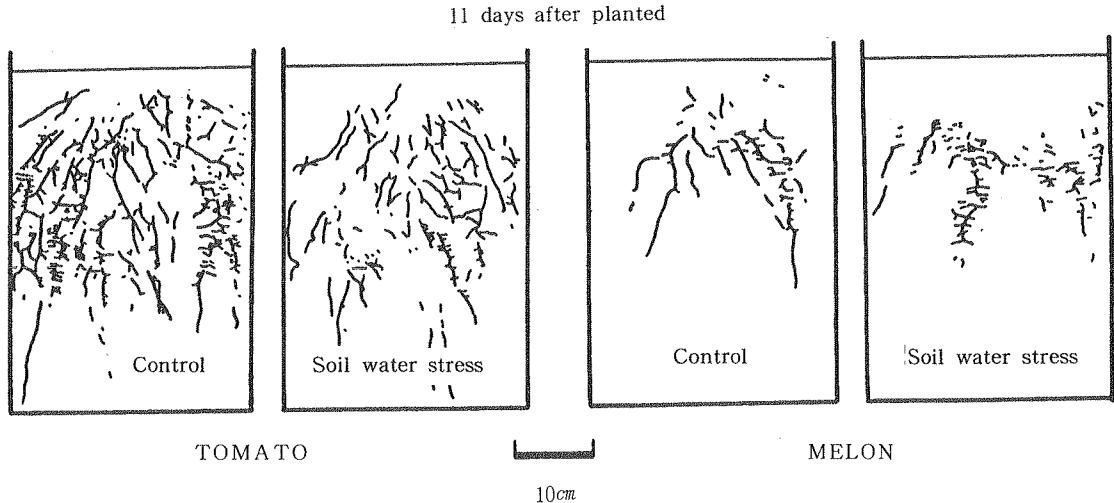


Fig.6 Effect of soil water stress on root development of tomato and melon

の不足により著しく光合成速度が低下したトマトが深根性を維持するのに、むだのない対応といえよう。そして、粗土塊含有率の高い条件下での耐性を考えると、同じ土層からより多くを吸水しようとするプリンスメロンよりも、確実に土壤水分の多い深層まで根を伸ばそうとするトマトの方が強いといえよう。これがFig.4でみられたトマトとプリンスメロンでの粗土塊含有率の高い条件下での耐性の差の一因とも考えられる。

## VI プリンスメロンに対する粗土塊含有率の高い土壤条件での対策

トマトに比べて、プリンスメロンが粗土塊含有率の高い土壤条件に対して強い感受性を示すことが明らかとなつた。そこで、プリンスメロンを対象として、株元の極所的な土壤改良の効果を検討した。

### 材料および方法

1984年9月3日は種、プリンスメロンPF6号(サカタ)を供試し、9月27日に幅1.4m、通路0.6mのベッドに株間1.0mで定植した。施肥はN:3.2, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:2.5, K<sub>2</sub>O:1.8kg/aで、耕土層の深さを35cmとした。

トレッチャードにより、ベッド中央を幅30cm、深さ60cmに深耕した。また、定植前の耕土層の土壤の粗土塊含有率に70から90%のばらつきを持たせ、各処理のそれぞれの区をこの範囲内に均一に配置した。

処理は、無処理、保水剤処理、砂処理とした。保水剤

処理区には、KP-6214(花王石鹼)85gを、定植前日に各株元の直径35cm、深さ30cmまでの土壤とよく混和した。砂処理区には、0.25から1.0mmの粒度分布が95.1%の除塩海砂2.5ℓを同様に施用した。各処理は1区3株とし、5から6区制とした。

地上部の生育は被度で表わした。根の垂直分布は収穫終了後の1985年1月8日に、各処理の粗土塊含有率の高い土壤(88.0から88.9%)と低い土壤(70.2から72.7%)の代表的な株について、Trench profile method<sup>1)</sup>を簡略化した方法で調査した。すなわち、育苗土に当たる深さ10cmまでは対象外とし、株元を通る幅10cm、深さ60cmの土壤断面を切る根の数を深さ10cmごとに調査した。

### 結果および考察

Fig.7に示すように、無処理区では粗土塊含有率の高い土壤での地上部の生育は著しく劣ったものの、砂処理により大きく改善された。また、保水剤処理によってもかなりの改善が認められた。さらに、上物収量もFig.8に示すように、地上部の生育と同様の改善が認められた。

各処理の根の垂直分布はFig.9に示すように、粗土塊含有率の低い土壤では深さ60cmまで分布が認められた。しかし、粗土塊含有率の高い土壤の無処理区では根の発達は著しく悪く、30cm以深では全く存在が認められなかった。一方、粗土塊含有率の高い土壤においても、砂処理により、深さ50cmまでの分布が認められ、また、保水剤処理によっても、深さ60cmまで認められた。深さ30cmまでの浅い土層での分布は砂処理に比べ保水剤処理で高

密度だった。

保水剤は高分子吸水性樹脂の通称で、土壤改良剤としての利用<sup>21),22)</sup>が研究されている。しかし、欠点として、高価であること、施肥により分解しやすくなること<sup>6)</sup>、目に入ると炎症を起こす等、取扱いに注意を要すること<sup>6)</sup>が上げられる。ここで使用したKP-6214は、ポリアクリル酸ナトリウムを主成分とした吸水ポリマーとパルプを混合して顆粒状に加工したもので、吸水倍率は自重の50倍以上で純度の高い製品の10分の1程度<sup>6),22)</sup>であるが、取扱いが容易な点から採用した。また、施用量の85gは、遠山ら<sup>21)</sup>が実験的に得た適正施用量の、土壤重量に対する0.3%という数値から算出して決定した。

また、砂処理の2.5ℓは、戦前に小笠原で実施していたという例を再現して決定した。

ここで、保水剤と砂の処理は深さ30cmまでとしたが、かん水により株元の土壤は密圧された。また、処理土壤は円筒形を想定したもの、実際には半球形に近かった。したがって、特に保水剤の施用は当初の設定よりも過剰となった。砂および保水剤の株元への施用は、粗土塊含有率の高い土壤での生育、収量を改善する上で非常に有効と認められたものの、保水剤処理区で定植後の生育不良株が36%にも達した。これは過剰施用による影響と思われ、保水剤処理区で、砂処理区ほどの改善効果が見られなかった一因とも思われた。

ルートボックスで観察していると、湿潤な粗孔隙の中で作物の根の著しい発達を見ることがしばしばある。また、保水剤を0.3%混入しても粗土塊の有効水分は増加しなかった<sup>12)</sup>。これらのことから、ここでは土壤の保水性の不足が根の伸長を抑制したのではなく、粗土塊含有率の高い条件下での土壤空気の乾燥が抑制の主要因であったともみられる。ここで、保水剤、砂を株元にだけ施用した粗土塊含有率の高い土壤で根が十分に発達したことは、根の伸長通路にあたる粗孔隙をこれらの素材で充てんすれば、その先の根の伸長は阻害されないことを示している。そして、この方法は、作物によってはは場全体を処理するような対策<sup>21),22)</sup>に比べ著しく合理的といえる。

保水剤KP-6214の価格は、1g当たり1円程度である。したがって、例え1株に85gを施用したとしても、1a当たり5,000円以下の経費ですみ、Fig.8に示す効果が期待できれば普及性は十分に高いといえる。また、この処理方法では、保水剤の長期的な能力は必要とせず、分解しやすい欠点も克復できる。そして、砂処理区に比べ保水剤

処理区の根の発達は、特に、処理土層では良かった。このことから、処理量をさらに適正化すれば、砂処理区並の収量が期待できるものとも思われる。

一方、砂処理は一部の農家で実用化され始めたものの、1aの処理に200kg近くが必要なため労力が多大であり、また、小笠原では国立公園法により砂の採集が禁止されていることから、対策としては問題が残るといえる。

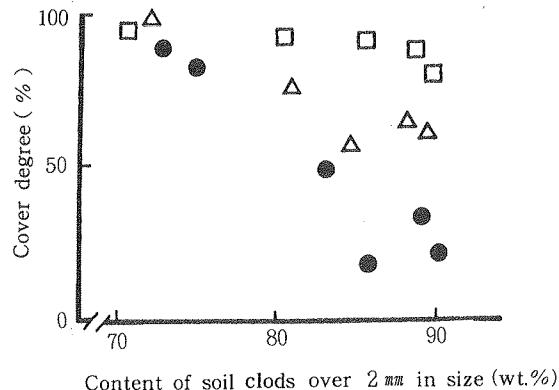


Fig.7 Effect of water holding substance and sand treat on growth of melon

- Un-treat
- △ Water holding substance treat
- Sand treat

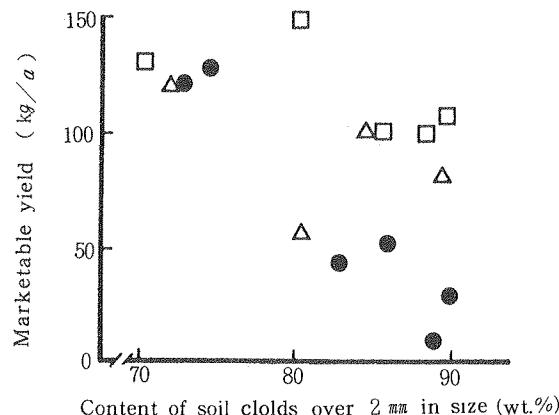
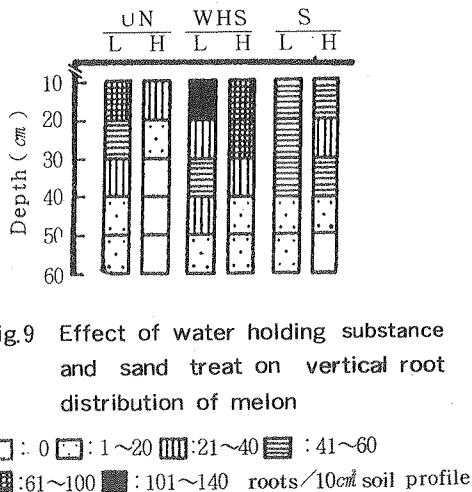


Fig.8 Effect of water holding substance and sand treat on yield of melon

- Un-treat
- △ Water holding substance treat
- Sand treat



US : Un-treat  
 WHS : Water holding substance treat  
 S : Sand treat  
 L : Low content of coarse soil clods  
 H : High content of coarse soil clods

## VII 粗土塊含有率が土壤の有効水分におよぼす影響

以上述べた粗土塊含有率が高い土壤で生育不良の原因を土壤特性から検討するために、有効水分を比較した。

### 材料および方法

自然条件下の粗土塊含有率が高い土壤と低い土壤を深さ10cmごとに80cmまで、100ccの採土管でサンプリングし、pHと含水比の関係を調べた。ここで、pF1.0から1.5を土柱法、pF1.5から3.2を加圧板法により脱水過程で測定した。サンプリング場所の作土の土塊の大きさはTable 2

のとおりであった。有効水分の範囲には種々の意見があるが、ここでは対象が野菜であることから乾燥に弱い作物に適応される生育阻害点、PF3.0<sup>18)</sup>を採用して、pF1.5から3.0を有効水分として算出した。

### 結果および考察

深さ28cmまでは作土で、それ以深はカベ状構造であった。Fig.10に示すように、有効水分は作土では粗土塊含有率の低い土壤で多かったものの8%以下にすぎなかった。作土層以深では両者に差は見られず、深さ80cmでもとに有効水分が増加した。ここで、深さ30cmまでを作土と仮定すると、作土層内の有効水分は、粗土塊含有率の高い土壤で13.4mm、粗土塊含有率の低い土壤で19.4mmと算出された。

このことから、有効水分の不足が、粗土塊含有率の高い土壤での作物の生育不良を起こす一因とも考えられた。しかし、粗土塊含有率の低い土壤の作土においても、表層腐植黒ボク土と比べると、有効水分は30%ほどにすぎない<sup>13)</sup>。さらに、粗土塊含有率の低い土壤の作土層の有効水分である19.4mmにしても、高温期の晴天日の蒸発計蒸発量の3日分にも満たない。したがって、粗土塊含有率の高い土壤での作物の生育不良の原因を有効水分の不足にだけ求めることには無理があり、原因の多くは他の要因に求められるべきと思われた。

## VIII 土塊の大きさが不飽和透水係数におよぼす影響

粗土塊含有率の高い土壤での生育不良の原因を検討するため、不飽和透水係数を比較した。

### 材料および方法

Fig.11に示す不飽和透水係数測定装置を作製した。測定部には、水位を一定にしたポリビンから、上部セラミ

Table 2 Size distribution of soil clods in plowed soil sampled for available moisture test

Soil sample	size of clods	Over	2.83	2.00	1.00	Below	Over
		10 mm	10 mm	2.83mm	2.00mm	1.00 mm	2mm
High content of coarse soil clods		(%)					
High content of coarse soil clods		57.2	31.9	5.3	3.8	1.8	94.4
Low content of coarse soil clods		29.9	36.1	8.9	13.2	11.9	74.9

ック板を通して土壤サンプルに水が供給され、透水した水は下部セラミック板で捕捉されるようにした。土壤サンプルは長さ20cm、断面積19.6cm<sup>2</sup>の円筒形とした。下部セラミック板で捕捉した水は、自記水位計で記録した。なお、セラミック板は厚さ3mmに加工した。

土壤サンプルの2ヶ所に、高さを10cmはなしてA、B 2本のテンシオメータを挿入して土壤水分を測定した。感部は直径7mmの素焼管を加工し、自記マノメータに直結した。

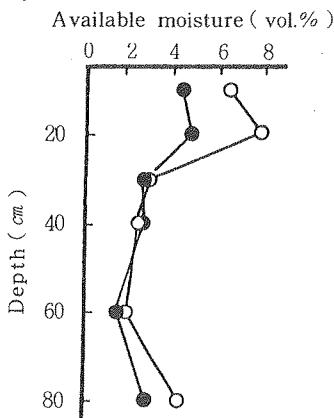


Fig.10 Effect of coarse clods content on available moisture

- Low content of coarse soil clods
- High content of coarse soil clods

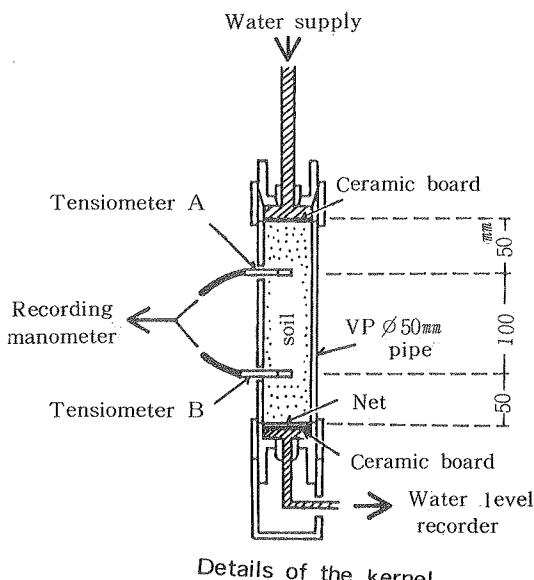


Fig. 11 Measurment system of unsaturated hydraulic conductivity

上部セラミック板までと下部セラミック板からの水経路を脱気してポリビンの水位を上部セラミック板より0.5cm下げて測定した。

また、サンプル内の空気が加圧されないよう、テンシオメータA、Bの挿入部分のVPØ50mm管にすき間をもうけた。

土壤サンプルの土塊の大きさは、0.5mm以下、0.5から1.0mm、1.0から2.0mm、2.0から2.83mm、2.83から10.0mmの5処理とした。土壤は軽く充てんし、数cmの高さから2、3回サンプル管を落とし、不足分を加える製作を2回くり返した。

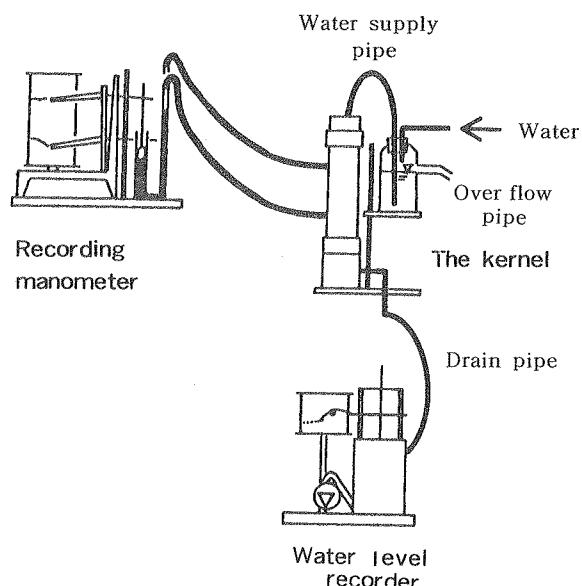
不飽和透水係数の計算には以下の式<sup>4)</sup>を用いた。

$$\bar{K}_{AB} = \frac{Q \cdot l}{(\Delta P + l) \times t \times A}$$

ここで、 $\bar{K}_{AB}$ はテンシオメータA、B間の平均吸引圧に対応する不飽和透水係数、 $\Delta P$ はA、B間の吸引圧の差、 $l$ はA B間の距離、 $t$ は時間、 $A$ は土壤サンプルの断面積、 $Q$ は流量。

#### 結果および考察

不飽和透水係数は、Fig.12に示すように土塊が大きくなるに従って減少した。特に、2mmの土塊までの減少が著しく、それ以上の大きさではゆるやかな減少を示した。これらに対応する土壤の吸引圧は、土塊が大きくなるに従って若干低下した。



不飽和透水係数は土壤水分の関数であることが知られており、土壤水分の増加にともない対数的に増加する<sup>24)</sup>。本装置では土壤の吸引圧を十分に調節できなかつたため、不飽和透水係数の低い大きな土塊で吸引圧は低かった。このことは、同一の吸引圧では小さな土塊と大きな土塊の不飽和透水係数の差は一層大きくなることを示している。

## IX 総合考察

1969年から1978年までの小笠原父島の降水量の年平均は1242mmであるが、直径20cmの計器蒸発計蒸発量は、梅雨期の5月と秋雨期の11月を除いて降水量を上回っている。特に、梅雨期以降、秋雨期までは計器蒸発計蒸発量の月合計は150mm前後にもなる<sup>13)</sup>。したがって、この期間に干ばつ対策が必要で、現実に粗土塊含有率の高いとみられる土壤で生育不良が見られる時期とも一致する。

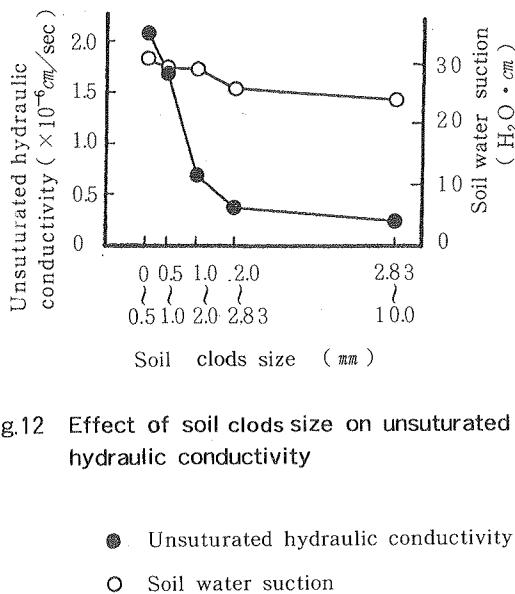


Fig.12 Effect of soil clods size on unsaturated hydraulic conductivity

- Unsaturated hydraulic conductivity
- Soil water suction

Fig.12での値を見ると、例えば、2.0から2.83mmの土塊の不飽和透水係数は、0.5から1.0mmでの4分の1以下となる。ほ場では、かん水直後を除いて、土壤水分の移動は不飽和状態によるとみてさしつかえないことから、この差は極めて大きいといえ、粗土塊含有率の高い土壤では、作物が有効水分を十分に活用できないことを示している。

本試験では、自然状態で土壤をうまくサンプリングできないため、人為的に篩別した土塊を供試した。自然状態では著しく大きさの異なる土塊が混り合っているため Fig.12に示す関係は緩和されるとみられる。しかし、粗土塊は、直接根の吸水を阻害するばかりか、細土塊への透水も妨げることから、特に、2mm以上の土塊の含有率が著しく高い場合には、作物の吸水は不飽和透水係数の低下により著しく阻害されているとみなされる。

以上のことから、粗土塊含有率の高い土壤条件下での作物の生育、収量を抑制する原因として、不飽和透水係数の低下は無視できないといえる。

このような生育、収量の明確な分化が起こる原因を知る上で、Fig.4に若干の考察材料を求めることができる。すなわち、粗土塊含水率が80から84%の条件下で、いっ込液量が減少したものの、乾物重の減少はトマト、プリンスメロンとも明確に認められなかった。これはかなり生育が進んでから、根の吸水機能に何らかの阻害が起きたと考えるのが妥当である。Fig.12の結果から、土塊が大きくなると作物への水の供給速度が制限されると仮定すれば、粗土塊含有率80から84%の土壤では、水の供給速度が作物の生育初期には要求を上回っていたものの、作物の生育にともなって要求の増大を満足できなくなつたと推定できる。地上部の生育もこの影響によって、時間の経過にともなって阻害されると予想される。この現

象が一層進むことによって、終局的には水の供給と要求が均衡する粗土塊含有率を境に生育、収量の良否に明確な差を生じるものと推察できる。

一方、土壤水分が必ずしも十分でない条件下で作物が蒸散に応じた吸水をするためには、根のごく周辺の土壤から吸水した後にさらに周囲の土壤から水分が急速に補われる必要がある。吸水が盛んでは根のごく周辺の土壤水分が少ない条件を仮定すれば、有効水分はDarcy則<sup>24)</sup>での水頭勾配の最大値を示し、不飽和透水係数は通過係数に当るといえ、さらに根の吸収係数を仮定すればこれらの積が単位長さ当たりの根の吸水速度の潜在的な値といえる。こうしてみると、有効水分が極端に少ない小笠原の土壤(Fig.10)では、不飽和透水係数が小さいと作物の吸水は致命的に打撃を受けることが明らかで、粗土塊含有率の高い土壤での問題をFig.12の結果が示しているといえる。

作物の吸水速度を高める上で、根の伸長を無視することはできない。しかし、Fig.4とFig.6の結果からも明らかなように作物にとって浅い土層での根の密度を高めるよりも深い土層に根を伸ばすことが、少なくとも小笠原の土壤においては有利といえた。干ばつ条件下で、トマト、プリンスメロンを栽培して土壤水分の垂直分布を経目的に調べてみると、生育がかなり進んでも、例え深さ100cm付近ではpF2.4程度にしか減少しない。深さ100cmまでの土壤の有効水分が25mm程度にすぎないことから、深層の土壤水分は吉良ら<sup>7)</sup>、寺沢<sup>20)</sup>、中山ら<sup>9)</sup>の認めているように下層土からの移動によってまかなわれていることが考えられる。これらのことから、深層に根が発達することにより作物は干ばつ条件下においても安定的な水の供給を受けられるとみるのが妥当である。したがって、耕種法により干ばつ対策を講ずる上で、いかに早く、多くの根を深層に到達させるかが大きな鍵といえる。そして、これを阻害しているひとつの要因がここで述べた粗土塊含有率の高さである。

一般に、野菜のように施肥量の多い作物では、土壤水分の不足とともにう土壤溶液濃度の上昇も考える必要がある。ここで施肥論について深くは触れないが、Fig.4で明らかのように、トマトの生育が良かった粗土塊含有率の低い土壤で、土壤溶液のE.C.は高まった。この原因については判然としないものの、同様な現象は窒素の施肥量をかけたプリンスメロンの栽培試験でもみられた。すなわち、生育の良い標準窒素施肥区の深さ15cmでの土壤溶液のE.C.は、定植24日目には生育が著しく不良だっ

た窒素2倍量施肥区の土壤溶液のE.C.と差がなくなった<sup>10)</sup>。ここで、土壤溶液のE.C.が土壤溶液濃度を反映しているとすれば、これらの現象は、生育が良好で被度の高い作物で見られたことから、土壤面蒸発の促進に原因を求ることはできず、この土層から水が選択的に多く吸収されたことに原因を求めるを得ない。これを十分に説明できる研究例は見当らないが、Russell<sup>16)</sup>は好適な条件下にかけられた根群の吸収量が増加すると、高塩類濃度条件下の同じ個体の根に地上部から代謝産物の転流が速やかに促進されるとしている。また、プリンスメロンの側枝から独立した2つの根群を発根させ、異なる2種類の濃度の培養液にそれぞれを入れ同一個体を栽培したところ、単独では枯死する高濃度においても、一方の根群が低濃度の培養液中にある場合には生育も健全で、高濃度の培養液からも吸収が認められた(小沢、未発表)。

これらのことから、自然界で根が、吸肥、吸水機能を分担させていると仮定すれば、生育の良い条件下的浅い土層で土壤溶液濃度が高まる現象を説明できるであろう。この仮説を証明するためには、今後、多くの検討を重ねる必要があるが、事実だとすれば、根が深く発達することが作物の生育、収量の安定性に大きく寄与しているといえる。さらに、小笠原の高温期の降水量の少なさ<sup>13)</sup>、土壤の有効水分の少なさ<sup>13)</sup>に対する作物の適応性のひとつとも考えられる。

一連の研究から、保水剤あるいは砂の株元への混入は粗土塊含有率の高い土壤での対策として非常に有効であった。しかし、一方では粗土塊含有率の高い場を避ける、あるいは粗土塊含有率を高めない努力も必要である。特に、トマトのように比較的の栽植密度の高い作物では、このような回避策がより有効といえる。そして、粗土塊含有率を高める要因のひとつとして、ロータリー耕があげられる。すなわち、小笠原の土壤では含水比が35%以上の時にロータリーで耕耘すると土塊が発達する<sup>11)</sup>。ところが、干ばつ期を除いて土壤の含水比が35%を割ることはまれである。この対策としては、耕耘の発達抑制を兼ねて、不耕起栽培を導入することが有効で、この点については別報をもうける予定である。

栽培試験に使ったのは場は、单一の場で、粗土塊含有率に潜在的なちがいが見られた。この場の土壤を構成する粘土鉱物は、X線回析の結果、粗土塊含有率にかかわらずカオリナイトが多く含んでおり、2:1型鉱物、ハロイサイトは含まれなかった。しかし、粗土塊含有率が少ない土壤でカオリナイトを多く含んでおり、土色は

乾燥すると黄色がかかる特徴を有していた。一連の研究は栽培学的見知に基づいて実施したため、土壤生成論は取扱わなかった。したがって、この点は今後の研究を待つことにしたい。

## X 摘 要

小笠原では夏から秋にかけて干ばつにみまわれることがしばしばある。しかし、必ずしも水資源は豊かでないため、耕種法による対策が必要である。本報では、2mm以上の土塊を粗土塊と仮定し、作土中の粗土塊含有率が作物の生育、収量に及ぼす影響とその対策を検討した。

1 粗土塊含有率がトマトとプリンスメロンに及ぼす影響を検討したところ、粗土塊含有率の高い土壤では生育、収量とも著しく抑制され、かん水による改善効果は認められなかった。そして、粗土塊の一定の含有率を境にして生育の良否が明確に分かれ、この含有率は季節的に変動するようにみられた。

2 粗土塊含有率の高い土壤条件下での生育抑制はプリンスメロンがトマトに比べ大きかった。

3 土壤水分の不足に対する根の形態的変化をルートボックスで観察した。その結果、プリンスメロンでは細根を増やすのに対し、逆に、トマトでは細根を減らし深根性を維持した。これが、粗土塊含有率の高い土壤に対してトマトがプリンスメロンより強いひとつの理由と思われた。

4 プリンスメロンの株元に、定植時に保水剤あるいは砂を混入することにより、粗土塊含有率の高い土壤での生育、収量は著しく改善された。

5 粗土塊含有率の差による有効水分の差に、粗土塊含有率の高い土壤での生育、収量の抑制の原因を求めるることはできなかった。

6 一方、土塊の大きさのちがいによる不飽和透水係数の差は著しく、粗土塊含有率の高い土壤における一連の現象を説明する有力な要因といえる。

7 有効水分が少ない小笠原の土壤では、これに加えて不飽和透水係数が低いことが、作物、特に根の発達を致命的に阻害するものとみられる。これが、粗土塊含有率の高い土壤で見られる諸現象の原因のひとつと考えられる。この対策として、よりすみやかに多くの根を土壤水分の安定した深層に発達させる必要があり、その手段として、保水剤あるいは砂を株元の土壤に混入し、根の浸入しやすい経路を作ることが有効といえた。

## 謝 辞

本研究の遂行に当り、東京都農業試験場竹迫 紘研究员、加藤哲郎研究员、東京農工大学農学部坂上寛一助手に多大な御援助をいただいた。また、千葉大学園芸学部中山敬一助教授には率直な御批評をいただいた。さらに、東京都小笠原亜熱帯農業センター佐藤和美氏にはほ場試験に御協力いただいた。ここに改めて御礼申し上げる。

## 引用文献

- 1) Böhm, W., 1979 : Methods of Studying Root Systems, Brühlsche Universitätsdruckerei Lahngiesßen, Springer-Verlag, pp.48~60.
- 2) Bowling, D.J.F., 1980 : 植物によるイオン吸収 (柳沢宗男, 堤 義房, 小竹 章共訳) 産業図書, pp.93~114.
- 3) 石原 邦, 1987 : 水分の動態と生産能, 農業技術大系, 土壤施肥編2, 農文協, pp. II 57~66.
- 4) 岩田進午, 1976 : 不飽和透水係数, 土壌物理性測定法, 養賢堂, pp.191~197.
- 5) 加藤一郎, 川原政夫, 内藤文男, 谷口利策, 1957 : 大豆の培土に関する研究, 第Ⅲ報大豆の溢液現象とこれより見た培土による不定根発生の効果, 東海近畿農業試験場研究報告, 栽培部 5, 118~128.
- 6) 川島和夫, 1984 : 農業用土壤改良剤——新規保水剤, 農及園59(5), 665~669.
- 7) 吉良芳夫, 相馬恒一, 竹中 肇, 1963 : 関東ロームの畑地水分(Ⅲ), 農業土木論文集, 7, 81~86.
- 8) 長田 昇, 東山 勇, 1976 : 土壌構造, 土壌物理(山崎不二夫監修), 養賢堂, pp.34~45.
- 9) 中山敬一, 羽生寿郎, 山中捷一郎, 小沢 聖, 尾形光造, 1980 : ハウス内耕土層への水分移動, 農業気象, 35, 215~220.
- 10) 小沢 聖, 1984 : 耕種法によるプリンスメロンの干ばつ対策, (3)施肥量, 施肥方法の影響, 昭和58年度東京都小笠原亜熱帯農業センター野菜試験成績書, pp. 32~40.
- 11) 小沢 聖, 1985 : 土塊粒径に関する試験, (5)土塊の粒径組成におよぼすロータリー耕の影響, 昭和59年度東京都小笠原亜熱帯農業センター野菜試験成績書, pp. 48~49.
- 12) 小沢 聖, 加藤哲郎, 1986 : 土壌への保水剤の混入がpF-含水比曲線に及ぼす影響, 昭和60年度東京都小

- 笠原亜熱帯農業センター野菜試験成績書, pp.72-74.
- 13) 小沢 聖, 和田 実, 高尾保之, 山下三雄, 登坂三紀夫, 井口正雄, 友松俊夫, 1987: シカクマメ新品種‘ウリズン’の小笠原における適応性, 東京都農業試験場研究報告20, 1-18.
- 14) Russell, E.J., Russell, E.W., 1956: 植物生育と土壤, 第8版(藤原彰夫, 大平幸次, 黒沢 諦, 堤 道雄, 小島邦彦共訳), 朝倉書店, pp.467-498.
- 15) Russell, E.W., 1973: Soil conditions and plant growth 10th edition, William Clower (Beccles) Limited, London, pp.479-519.
- 16) Russell, R.S., 1981: 作物の根系と土壤(田中典幸訳), 農文協, pp.111-120.
- 17) 佐藤雄夫, 湯村義男, 1970: 耕耘の立場からみた重粘性土壤の物理性に関する研究, 東海近畿農業試験場研究報告, 19, 127-149.
- 18) 椎名乾治, 1976: 有効水分と生長有効水分, 土壤物理測定法, 養賢堂, pp.230-234.
- 19) 鈴木鉄男, 金子 衛, 鳥飼博高, 1968: 温州ミカンの水分均衡に関する研究(第2報), 葉のW.S.D.における二, 三の問題点と土壤水分, 施肥濃度がW.S.D.および見かけの同化量におよぼす影響について, 園芸学雑, 38, 1-8.
- 20) 寺沢四郎, 1966: 土壌断面における水分の移動形態, 土壌物理研究, 3, 21-26.
- 21) 遠山征雄, 竹内芳親, 中出吉彦, 杉本勝男, 1984: 保水剤利用による乾燥地緑化に関する研究(第3報), 2種の保水剤混合によるパクチョイの生育, 鳥取大学砂丘研究所報告23, 35-44.
- 22) 遠山征雄, 竹内芳親, 中出吉房, 杉本勝男, 1984: 保水剤利用による乾燥地緑化に関する研究(第4報), 7種の保水剤混合による冬野菜の生育とかんがい効率, 砂丘研究31, (1), 51-68.
- 23) Went, F.W., 1957: 植物の生長と環境(輪田 潔, 富田農雄共訳), 朝倉書店, pp.261.
- 24) 土壌物理研究会, 1976: 土壌物理用語事典, 養賢堂 pp.33, 48, 62, 63.