

吹上砂丘地土壤の理化学的性質とキュウリの生育について

——特に吹上砂丘の網揚げ地区の土壤について——

品川 昭夫*・小倉 弘司**・宮内 信文*
城島 十三夫**・大塚 紘雄*

(1972年8月31日受理)

Studies on the Soils in Fukiage Dune and the Growth of Cucumber ——Especially on the Sand Soils in Amiage Area——

Akio SHINAGAWA*, Hiroshi OGURA**, Nobufumi MIYAUCHI*,
Tomio JOJIMA** and Hiroo OTSUKA*

* (Laboratory of Soil Science)

** (Laboratory of Vegetable Crops)

目 次

- I 緒 言
- II 土壤の諸性質とキュウリの栽培試験
 - 1. 土壤
 - 2. キュウリの栽培試験
 - 3. 論議
- III 吹上砂丘地における錫、硫化物および塩素について
 - 1. 土壤および農業用水中の錫、硫化物ならびに塩素
 - 2. キュウリの生育におよぼす錫の影響
 - 3. 論議
- IV 要 約

I 緒 言

日本の砂丘地の面積は24万ha、うち耕地は8.2万haといわれる。鳥取県等の一部の地方では、明治以前から砂丘地を農地として利用しようとの試みが行なわれ、現在では、裏日本の鳥取・石川・新潟・山形・青森、表日本の茨城・千葉・静岡および鹿児島各県で、立地条件と現在の経済事情に対応する砂丘地利用計画が立案され推進されつつある。¹⁾²⁾³⁾

海岸砂丘地を農地化するには、防砂・防風・防潮を目的とする海岸林の造成、用水施設の設置、土壤の熟成の促進が古くから採用されてきた基本方法であった。最近では、地下水位の高い砂丘地に対しては排水施設も必要であると提唱されている⁴⁾⁵⁾。

鹿児島県の吹上砂丘は、薩摩半島の西海岸で、東支那海に沿い、北は、日置郡市来町沖ノ浜から、南は加世田市万世町小湊にいたる延長28kmの砂丘地で、幅

は平均1.5km、北部は狭くて南部程広く、万之瀬川付近では2.6kmであり、総面積は約2545haである(第1図参照)。

吹上砂丘地の地形、気象、水資源、排水状況、土地の所有利用状況、砂丘地土壤の理化学性、地下水位、地温等々については、鹿児島県庁農政部、県農業試験場、南薩果樹指導所、九州農政局、加世田農業高校果樹試験地等々により調査され、調査報告書もかなり多く公刊されている。^{6)7)8)*,**}

鹿児島県庁は吹上砂丘の開発計画^{9)*}を立案し、吹上砂丘にタバコ、そ菜、ミカンを主にした集団農地を造成しようと計画し、ダムと導水路の建設、海岸林の

* 鹿児島県：第14回日本砂丘研究全国大会資料(鹿児島の砂丘の概要)昭和42年8月3日

鹿児島県農政部：吹上砂丘地の現状と課題、昭和43年3月

idem：吹上砂丘地農業開発基本構想(試案)、昭和44年2月

** 鹿児島県農業試験場調査部：昭和37年度地力保全基本調査成績書その2(南薩中間地域)、昭和38年

idem：昭和43年度地力保全基本調査成績書その2(南薩中間地域)昭和44年5月

idem：畑地土壤生産分級図(鹿児島県南薩中間地域加世田市、川辺町等)、昭和39年3月

idem：地力保全対策図(鹿児島県南薩中間地域加世田市、川辺町等)昭和39年3月

idem：水田および畑地生産分級図(金峰町、吹上町等)、昭和45年12月

idem：地力保全対策図(金峰町、吹上町等)昭和45年12月

造成等の諸工事を昭和52年度までに実施するため、九州農政局の直轄調査に協力し昭和46年度で一応の基礎調査を終了した。しかし計画された諸工事は諸般の事情により未だ開始されていない現状である（昭和47年8月現在）。

県の立案した開発計画とは無関係に、昭和41年11月に加世田市唐仁原の砂丘地（吹上砂丘の網揚地区）約110haで農事組合法人砂丘地実験農場が設立され、ミカンを主作物とする営農が開始された。しかるに、本地区は昭和43年9月24日の台風16号（典型的な風台風で各地に塩害をもたらした）による塩害を被り、さらに同年11月15、16日には異常寒波（15日： -3°C 、16日： -7°C ）に見舞われた。台風と寒波の襲来後にミカンの幼木が大量に枯死して営農に支障を来たし、本地区でのミカンを専業とする営農が断念され法人組織が解体するに至った経緯は周知の通りである。本地区での試みが、カンキツを主作物とし液肥施用による砂丘地の大規模営農の日本では最初の例として注目されていたので営農失敗の原因が関係諸機関で検討された。すなわち、失敗は気象災害の偶然の重複であるとの説、中間試験の欠除、資金調達の非合理性、砂栽培理論に対する疑問、土壌および農業用水中に含有されるかもしれぬ重金属に起因する生理障害説等々が挙げられた。しかし、諸批判は公的学術誌には掲載されていないようである。

著者等は網揚地区の砂丘地土壌そのものの基礎的調査と作物の生育を阻害する因子の存否、特に土壌および農業用水中の錫についての調査を鹿児島県庁の関係部局並びに農林中央金庫から依頼された。昭和46年6月に一応の報告*を行なったが、今回報告内容を再整理し公表する次第である。

以下の本文で使用する吹上砂丘、砂等々の用語は、本報告中では以下の如く定義して使用することにする。

砂：肉眼的観察では腐植を含まず、かつ粒径が $2 \sim 0.02\text{mm}$ の粗粒子が95%以上を占める土壌。

吹上砂丘地土壌：万之瀬川以北、以南を含めた所謂吹上砂丘地土壌全般。

網揚砂丘地土壌：万之瀬川以南の吹上砂丘地の網揚地区の旧砂丘地実験農場（約110ha）の土壌。

* 品川昭夫・小倉弘司：砂丘地土壌の理化学的性質と作物の生育に関する研究（特に加世田砂丘実験農場の土壌について）昭和46年6月（謄写版）

吹上砂：万之瀬川以北、以南を含めた吹上砂丘の砂。
網揚砂：旧砂丘地実験農場の砂。

金峰砂：万之瀬川以北の吹上砂丘で金峰町に所属し、著者等が試坑し採取した砂（第1図参照）。

客土：昭和18～20年飛行場建設に際し、旧砂丘地実験農場内に客土された風化頁岩礫に富む赤黄色の土壌と網揚砂との混合物。

客土材料：益山、佐方、当房地区（第1図）の風化角礫に富む赤黄色の土壌。飛行場建設の際に旧砂丘地実験農場に投入されたといわれる。

II 土壌の諸性質とキュウリの栽培試験

1. 土 壌

1) 吹上砂丘地土壌の概要

吹上砂丘地土壌についての過去の調査結果は大略以下の如く要約される。吹上砂丘の基本的断面は、表層から下層に向い以下の如き層序を示す。第1層：層厚10m前後の砂質シルトおよび青色粘土。第2層：層厚10m前後の砂礫層。第3層：層厚2m前後の2次シラス。第4層：層厚2m前後の砂礫層。第5層：層厚10m前後のシラス（一部水成、下部熔結）。第6層：熔結凝灰岩。第7層：砂岩・頁岩互層（時代未詳中世層）。

鹿児島県農業試験場が地力保全事業のために行なった土壌調査（141頁の脚註**）によれば、吹上砂丘地の土壌は、大隅半島の大崎町（曾於郡）の海岸砂丘に分布する土壌と類似した性質を示し、県下の統一土壌統名である横瀬統として分類されている。横瀬統に属する吹上砂丘地土壌の性質は以下の如く要約し得る。母材：非固結水成岩（海砂）。堆積様式：風積（非火山性）。分布：加世田市、金峰町および吹上町の海岸砂丘地に広く分布。理化学的性質、土性：SL～S、土色：7.5 YR 3/3～10 YR 6/6。未風化の細礫が存在、粒～単粒状構造、密度：すこぶる疎、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ ：5前後、下層との境界は判然とせず、下層ほど構造は粗（疎）となる。地力保全対策：有機物増施、保全灌漑、塩基類の施用、風害および侵食防止対策を必要とする。

網揚砂丘地土壌の来歴を、過去の地図、事務書類の検討並びに関係者からの聴取等から判断すると大略以下の如くになると思われる。昭和18～20年8月：昭和18年末頃から旧海軍万世飛行場の建設が開始され、昭和20年初頭に完成した。第2図に飛行場建設以前の地形図を示した。建設に際して、地区内の高所（標



第2図 網揚地区の旧地形図（昭和18年以前）（数字は当時の標高）

高：3～40m）を削り、水田、畑等を埋めて平坦地とした。また、網揚砂丘に近接している益山、当房、佐方、宮原地区（標高：30～60m）（第1図参照）地区の頁岩質の風化礫に富む赤黄色土を飛行場用地に客土し、特に滑走路には20～30cmの厚さに客土し表面を鎮圧した。以来網揚地区は平坦地となったのである。昭和20年9月～21年頃：万世飛行場用地（本報告で網揚砂丘地として記している地区のすべてを包括している）149.3haは農林省財産に移管され昭和20年度から開拓事業が始まった。入植時に耕作予定地の約80%がブルドーザーにより30～40cmの深さまで耕起された。20%はブルドーザー導入以前に人力により耕起されていたという。耕起に際して客土層は除去されていない。耕起後1.2haの正方形の区画に分割し、区画の縁辺には防風、防砂、防潮のため松を植栽した。昭和41年2月：構造改善事業（国営事業）により灌水主要導水路が完成。揚水能力1分間12トンの貯水槽が設置された。昭和41年11月8日以降：農事組合法人砂丘地実験農場が設立された。農場開設時に表層土である客土を一旦除去した後下層の砂を掘り上げ、除去した客土を下層に入れ掘り上げた砂を表層に埋め、耕地の全表層土を砂層に変えたといわれる。地区内の一部では客土の剥ぎ取り、下層への埋込みが行

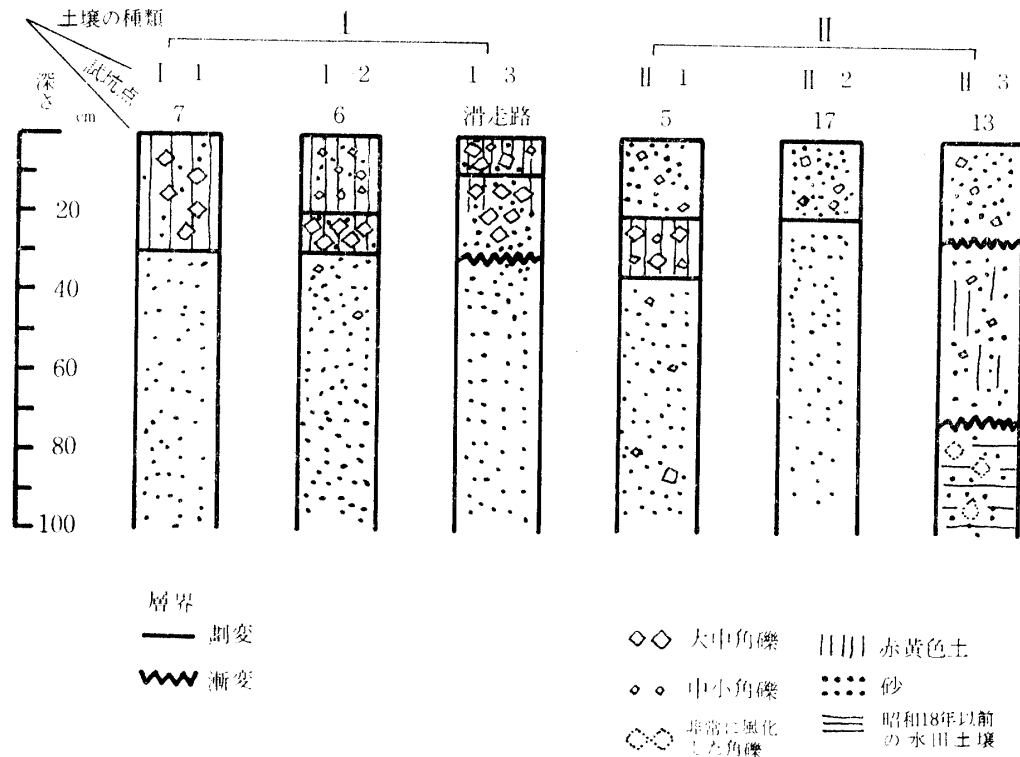
なわれなかったようである。また、入植時に整備された1.2haの区画を25等分し、その小区画の周囲にサラン製の防風網を張り、ミカンの液肥栽培を計画し、実行しつつあったが緒言に述べた如く営農は失敗した。

上述の如く網揚砂丘地土壌、特に現在の表層土は飛行場建設、入植、実験農場開設により複雑に攪乱され、自然状態とは断面の状態、土壌の理化学的性質等が著しく異なるであろうと予察し得る。

2) 土壌断面形態と分布

著者等は上記1)の予備知識を基礎として、昭和45年3月と7月に網揚地区を主対象とした吹上砂丘地の現地調査を行なった。

（ア）網揚砂丘地の土壌断面 表層下1mまでの土層の断面は、Ⅰ群：飛行場建設時に投入された風化頁岩角礫とその角礫より生成したと思われる赤黄色土が表層下10～30cmの深さに存在する。Ⅱ群：表層が砂である。の二群に大別し得よう。さらに細別すると第3図に示した如く、合計6種類に分類することが出来よう。これら6種類のそれぞれは、現在の土壌分類基準から判断すると土壌統以下のカテゴリーに属するであろう。



第3図 網揚地区の土壌断面模式図

各土壌断面形態を略記すると以下の通りである。

I-1 ……表層下10～30cmが風化した頁岩質角礫に富む赤黄色の土で以下は角礫を含み砂の層。

I-2 ……I-1と略同様な断面形態を示すが、0～20cmでは角礫の粒径が細かく、その直下層よりも礫含量が少ない。20～30cmの上層でも赤黄色土であるが角礫の粒径が大で含量も多い。30cm以下は砂の層である。

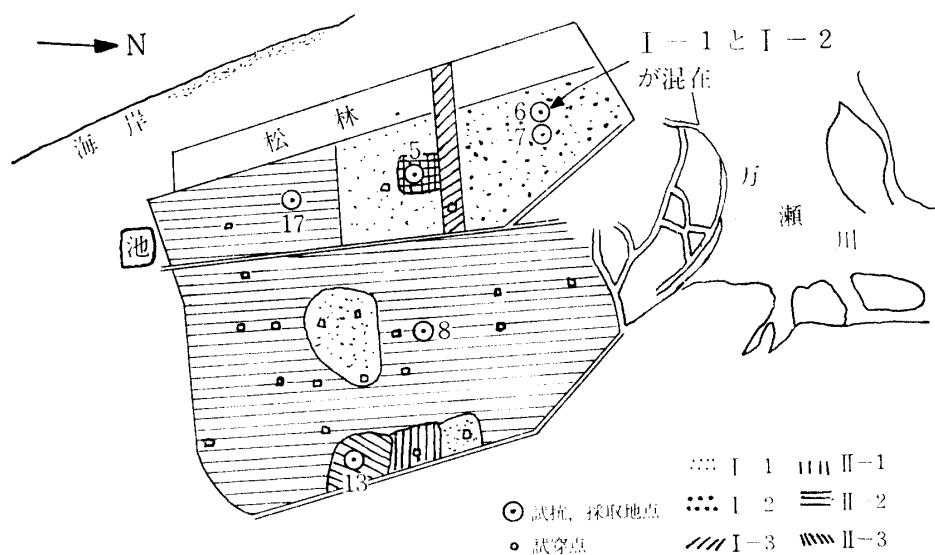
I-3 ……0～10cmは角礫にすこぶる富む赤黄色土、10～30cmは角礫をかなり含む砂層で、両層ともに強く鎮圧されている。以下は砂層である。旧飛行場の滑走路跡が耕起されずに原形を留めていると思われる。

II-1 ……穴を掘って下層の砂層を掘り出し、赤黄色土を穴の下部に入れ、その上に砂を置いた状態で、I-1の第1層と第2層とを人工的に逆転せしめた形態といえよう。実際にはブルドーザー（幅約3m）でかなり深く掘り下げて下層の砂を掘り上げ、掘り下げた穴の中に周囲から剥ぎ取った赤黄色土を投入し、その上に掘り出した下層の砂を埋め平坦にしたようである。実験農場開設時の表土剥ぎ取り作業のために、網揚砂丘地の各所に、断続的にII-1のタイプの断面が認められる。1.2haを25等分した小区内ですらII-1とII-2が不連続に現出することが多い。

II-2 ……表層に赤黄色土が殆んど認められず、0～30cmの位置には風化頁岩礫を極めて僅かに含む。30cm以下は角礫を含み砂である。表層部に角礫を僅かに含むことは、実験農場開設以前には、赤黄色土が混入していたことを示すものである。II-2のタイプの断面形態は広く分布する。

II-3 ……飛行場建設以前の地形図（第2図）には水田と記載されていた地区に局部的に存在する。表層下60cmまでは風化角礫を僅かに含む砂の層であり、30～60cmには鉄の斑紋が僅かに認められる。70cm以下の土層は、飛行場建設以前には水田の表層土であったと思われる。粘土含量もかなり多い。しかし、70cm以下の土層といえども、飛行場建設、入植、実験農場開設に際して投入された客土材料と砂が混入していると思われる。また、II-3の断面が見出される場所では地下水位が高く、晴天続きの昭和45年7月末での地下水位は約70cmであった。このタイプの断面は局部的にしか存在しない。しかし、II-1とは異なり、昭和18年以前に水田であったと思われる場所に連続的に見出されるようである。

以上の調査結果を第3、4図に示した。厳密には、網揚砂丘地は3回にわたる土壌攪乱のため、1.2haの25分の1の小区内ですら前記6種類のタイプの土壌断面が不連続的に現われる可能性がある。第4図に



第4図 網揚地区の土壌分布図

第1表 供 試

試料 No.	深さ cm	層界	礫	土 色	
				湿	乾
4-2	0~20	漸変	殆んどなし	2.5 Y 4/4	2.5 Y 6/2
-3	20~130			10YR 4/6	10YR 6/2
-4	130~160			10YR 4/4	7.5YR 6/2
-5	160~			10YR 5/4	2.5 Y 6/2
5-1	0~20	割変	風化・未風化角礫を含む	10YR 5/6	2.5 Y 6/2
-2	20~35		" 頗る富む	10YR 5/8	10YR 5/4
-3	35~		" 含む	10YR 5/6	10YR 7/4
6-1	0~20	割変	(風化・未風化角礫に頗る富む)	10YR 4/4	10YR 6/4
-2	20~30		" 僅か	10YR 5/4	10YR 6/4
-3	35~		" 僅か	10YR 4/6	2.5 Y 7/2
7-1	0~30	割変	" 頗る富む	10YR 5/6	10YR 5/4
-2	30~		なし	2.5 Y 4/4	2.5 Y 6/2
8-1	10~20	割変	なし	2.5 Y 3/4	10YR 5/2
-2	20~			2.5 Y 5/6	2.5 Y 7/2
13-1	0~25	漸変	風化角礫を含む	2.5 Y 4/6	2.5 Y 5/4
-2	25~60			10YR 5/6	10YR 6/4
-3	60~			10YR 4/4	10YR 6/4
17-1	0~20	割変	風化・未風化角礫を含む	10YR 5/6	10YR 5/6
-2	20~			10YR 5/4	10YR 7/2
31	5~20		風化・未風化角礫に頗る富む	10YR 5/8	10YR 7/6

示した試坑点、試穿点の場所では第3図の模式図通りの断面を示す。しかし、I—2, I—3, II—1の三つのタイプの分布は極めて不連続である。

(イ) 万之瀬川以北の砂丘地の断面形態 吹上砂丘地は、かつては雑木混交の松林であったが、約200年前延宝年間に森林火災によって裸地となった。その後防砂、防風林の造成が行なわれ、特に文久～元治年間(1860年代)に宮内善左衛門が非常に努力して松の海岸林を造成した。明治以降も防砂と植林が続けられてきた。吹上砂丘地の万之瀬川以北の部分は、以南の網揚地区とは異なり、過去200年間、植林・防砂工事以外には甚しく土壌の層序を乱す人為操作は加えられなかったと判断し得る。人力の影響をかなり強く蒙っている網揚砂丘地と比較するため、第1図に示した場所で試坑、試穿し土壌断面を観察した。

松の植栽下での砂丘地土壌断面形態の概要は以下の通りである。A₀層は殆んど存在しないが、稀には厚さ5cmにも達するA₀層を見出すこともある。偶然に見出されたA₀層は殆んどL層若しくは枯葉の堆積層

でF, H層は確認し難い。試坑・試穿地点では0～2mの深さまですべて砂であった。1～2mまでの深さの範囲内の砂の土性は均一ではなく、粗粒質と細粒質の砂が互層をなしている場合が多い。土層断面で上から下に向い、細粒質な砂から粗粒質な砂に変わる場合には層界は漸変しているが、土性が下に向って細粒質となるとときには層界はやや劇変している。全層に黄褐色の斑紋が多少とも認められる。下層の斑紋は地下水の上下に起因する鉄等の移動が原因となって現出し、表層近くの斑紋は、生物遺体起源の有機物の流下に際して無機物も随伴して流下したために生成したと考えられる。

第1図の4の場所(金峰町の松林)では、130～170cmの深さに(その上の砂の層が剥脱されて表層土となっている場合もある)黄橙色で粘土含量が5.3%もある土層(第1表の試料の4—4)も見出された。この層が143頁右17行に述べた青色粘土層に相当するかどうかについてはさらに検討を要する。

4カ所の試坑、試穿地点の観察を分析結果(後記)

土 壤

地 目	植 生	備 考	採 取 地
松 林	クロマツ	褐色斑点 粒径の異なる砂層の累積 褐色斑点	日置郡金峰町 吹上浜 海岸より500mの地点(第1図)
ミカン 廃園地	アレチ ノギク	砂 客土を下げた状態 砂	加世田市唐仁原 田砂丘地実験農場(網揚地区第4図参照)
ミカン 廃園地	アレチ ノギク)客土 砂	〃
ミカン 廃園地	〃	客土 砂	〃
ミカン 廃園地	〃	飛行場建設以前の深い位置 の砂	〃
畑	タバコ)地下水位高し 飛行場以前の水田表土らしい	〃
畑	西瓜	砂 砂	〃
松 林	クロマツ	飛行場建設時に客土材料と して使用されたと推定	(益山地区) (第1図参照) 加世田市宮原高屋神社の裏山の 頂上部

も併せ考慮しながら取りまとめると、万之瀬川以北の吹上砂丘地の土壌断面形態は、少なくとも表層下2mまでは(粗砂+細砂)含量98%程度で礫(>2mm)を殆んど含まぬ砂の層であり、場所によっては細砂(0.2~0.02mm):70%程度、粘土:5%程度の細粒質の砂の層を挟んでいる。鹿児島県農業試験場による調査(141頁の脚註)では横瀬統に属する。

観察結果を主として、網揚砂丘地土壌断面と万之瀬川以北のそれを巨視的に比較すると、網揚砂丘地表層には、飛行場建設時に投入された風化礫岩礫あるいは頁岩より生成した土壌が存在するか、または一時期存在した痕跡を止めており、万之瀬川以北では表層下数mは砂のみであることが主な相違点である。

3) 土壌の理化学的性質

(7) 供試土壌 諸印刷物と現地調査を参考とし第1表に示した土壌試料を供試して分析することにした。供試土壌の選択理由を略記すると以下の通りであ

る。

4—2~5は人力が網揚地区ほどには加えられていない金峰町の砂丘地土壌。5—1は砂丘地実験農場開設時に下層から掘り出して表層に上げた砂。5—3, 6—3, 7—2は客土の下層の砂。8の採取地点は飛行場建設以前には標高30mの砂山であった(第2, 3図参照)。8—1(0~20cm)は人為的にわずかに攪乱された形跡が認められるが8—2(20cm以下)は外観上の攪乱は全くないようであり(営農による化学性の変化は当然あり得る)、飛行場建設以前の標高30mの砂山の底部の砂と考え得る。17—1, —2は実験農場開設時に客土を剥ぎ取られたと思われる場所で、且つ、地下水位がかなり低いと考えられる地点の上下の砂層。13の地点は飛行場建設以前には水田と思われ、13—3はかつての水田表層土に砂と客土がかなり混入した土壌。13—1, —2は飛行場建設、入植、実験農場設立の際に投入された砂と客土との混合物と思われる。5—2, 6—1, 6—2, 7—1は飛行場建設時に、益山、佐方、当房、

第2表 未風乾・未篩別土壌の物理性

試料 No.	比 真 比重	重 容 積 比重	全 孔 隙 率 %	三 相 分 布			飽 水 度 %	容 気 度 %	透水係数 cm/sec. ×10 ⁻²
				固 相 %	液 相 %	気 相 %			
4—2	2.6	0.9	63.1	36.9	10.1	53.0	16.0	84.0	2.3
—3	2.6	1.0	61.4	38.6	12.6	48.8	20.5	79.5	3.2
—4	2.8	1.3	67.6	32.4	37.8	29.8	55.9	44.1	0.4
—5	2.8	1.3	49.4	50.6	13.4	36.0	29.6	70.4	2.1
5—1	2.3	1.1	49.4	50.6	0.3	49.1	0.6	99.4	2.7
—2(客)*	2.2	1.3	30.7	69.3	0.7	30.0	2.3	97.7	0.1
—3	2.6	1.3	49.9	50.1	8.5	41.4	17.0	83.0	2.6
6—1(客)*	2.5	1.2	58.0	42.0	20.3	37.7	35.0	65.0	0.9
7—1(客)*	2.6	1.3	51.0	49.0	20.5	30.5	40.2	59.8	0.5
—2	2.7	1.2	57.1	42.9	9.3	47.8	16.3	83.7	3.8
8—2	2.6	1.3	49.4	50.6	6.0	43.4	12.1	87.9	3.0
13—1	2.5	1.2	65.3	34.7	23.8	41.5	36.4	63.6	0.9
—2	2.8	1.2	63.8	36.2	26.0	37.8	40.8	59.2	0.3
—3	2.7	1.3	52.9	47.1	38.5	14.4	72.8	27.2	0.2
17—1	2.3	1.3	50.7	49.3	4.2	46.5	8.3	91.7	1.1
—2	2.7	1.2	55.0	45.0	10.5	44.5	19.1	80.9	2.1

(4—2, —3, —4, —5は昭和45年3月4日採取
(5, 6, 7, 8, 13, 17は昭和45年7月27, 28, 29日採取)
* 客土材料と砂が混合している土層(本文では客土と記している)

宮原等の地区（第1図参照）で採取され網揚地区に投入された風化頁岩質礫と頁岩質赤黄色土と網揚砂との混合物（143頁右5行で述べた如く本報告ではこれらの混合物を客土と記す）。31は網揚地区ではなく益山地区より採取した角礫に頗る富む赤黄色土で、前記の客土の材料と考え得る（31を客土材料と記すこともある）。

網揚砂丘地の表層下1m以内の土壌は、程度の差はあっても客土材料が混入している可能性があるゆえ、網揚砂が混入していない客土材料としての31と、客土材料の混入が全く無い吹上砂試料として4-2~5を選び、網揚地区の砂と客土とともに分析することにした。

(イ) 土壌の理学的性質

a: 実験方法 未風乾、未篩別土壌（粒径2mm以上の礫を含む）の比重、三相分布はDIK容積重測定装置100型を用いて測定した。透水係数はDIKⅡ型透水性測定装置により定水位透水係数を測定した。細土

の最大容水量はHilgard法で測定。粒径分析では、NaOHを用いpH:10.5で微砂および粘土を分散させた。

b: 実験結果 第2表に未風乾、未篩別土壌の理学的性を、第3表に土壌の粒径組成と細土の最大容水量をそれぞれ示した。

孔隙量は砂で50~65%、客土でもほぼ50%。農場開設時に砂の下に下げられた客土である5-2では31%であった。恐らく鎮圧によるものであろう。金峰砂の孔隙量は一般に網揚砂よりも大きいようである。耕作、営農により砂丘地表層の孔隙率が減少するのではないかと推定される。透水係数は、砂で、 $1.0 \sim 3.0 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ で鳥取砂丘の砂のそれ $3.65 \times 10^{-2} \text{cm/sec}$ ⁹⁾ とほぼ同様の値を示した。客土では $0.1 \sim 0.5 \times 10^{-2}$ で砂は客土よりも透水性が良好である。真比重は砂で2.5~2.7、客土では2.2~2.7、容積比重は砂、客土ともに1~1.3である。以上述べた砂の理学的性は、鹿児島県以外の砂丘地のそれ^{9)~10)}と甚しく異なる点

第3表 土壌の粒径組成と細土の最大容水量

試料 No.	礫 %	細					土	
		粗砂 %	細砂 %	微砂 %	粘土 %	粗砂+ 細砂 %	土性	最大 容水量
4-2	0.3	60.6	36.9	0.8	1.7	97.5	LCS	49.3
-3	0.3	66.8	31.8	0.1	1.3	98.6	LCS	47.9
-4	tr.	13.5	77.0	4.3	5.2	90.5	LFS	34.2
-5	1.3	86.7	11.6	0.4	1.3	98.3	LCS	26.5
5-1	5.1	75.3	21.7	1.0	2.0	97.0	LCS	43.6
-2(客)	37.6	68.5	23.7	3.4	4.4	92.2	LCS	40.3
-3	7.1	55.7	42.7	0.6	1.0	98.4	LCS	38.1
6-1(客)	35.2	67.1	22.7	6.9	3.3	89.8	LCS	40.5
-2(客)	46.4	48.2	28.0	11.6	12.2	76.2	LCS	43.7
-3	1.0	81.9	15.1	1.1	1.9	97.0	LCS	50.8
7-1(客)	15.0	50.6	28.0	12.1	9.3	78.6	SCL	44.2
-2	tr.	57.4	40.5	0.9	1.2	97.9	LCS	36.6
8-1	0.2	64.8	30.3	1.9	3.0	95.1	LCS	50.7
-2	tr.	58.9	38.1	1.9	1.1	97.0	LCS	54.2
13-1	5.9	64.1	30.2	2.1	3.6	94.3	LCS	39.0
-2	4.7	53.8	40.5	1.8	3.9	94.3	LCS	39.3
-3	8.4	64.8	23.9	5.1	6.2	88.7	LCS	43.6
17-1	12.4	62.5	28.9	4.0	4.6	91.4	LCS	39.8
-2	0.1	57.8	42.2	/	/	100	LCS	34.8
31(客材)*	32.6	6.2	41.4	30.6	21.8	47.6	CL	43.0

* 客土材料

は認められぬようである。

粒径組成(第3表)は、金峰砂では礫($>2\text{mm}$)は殆んどなく、粗砂と細砂の合計はほぼ98%で粘土:1.3~1.7%(4-4のみは除外)、網揚砂では礫:0~12%,粗砂+細砂:90~100%,粘土:0~4%,客土では礫:15~46%,粗砂+細砂:76~92%,粘土:4~12%,客土材料では、礫:33%,粗砂+細砂:47.6%,粘土:21%である。客土および客土材料を除外すると13-3は供試土壤中で粘土含量が最も多い。網揚地区の各試坑点のいずれも下層ほど粘土が少ないが、13の場所のみ最下層の粘土含量が上層よりも多い。旧地形図(第2図)と現実に地下水位の高いことを併せ考えると、13-3は推測通りかつての水田の表層土であったと判断し得る。従って、13-3の粘土は昭和18年以降に投入された砂と客土に起因する部分よりも昭和18年以前に既に粘土であった部分が多いと思われる。

供試した砂試料の粗砂と細砂の比は大略2~2.5:1程度であるが、この比は採取場所の相違によりかなり変動している。鹿児島県農試による吹上町吹上湯の砂の粒径組成のデーターでも細砂含量は4~1%,あるいは38%(141頁の**)とかなり異なる。147頁に述べた如く万之瀬川以北の砂丘地断面では、粗粒質の砂と細粒質の砂が互層をなしていることが多い。表層の砂が飛砂として散逸すれば、異なる土性の砂が表層となる場合もあり得る。よって巨視的には吹上砂の粒径組成はほぼ一定であると思われ得ても、場所により粗砂と細砂の比がかなり異なるのは当然であろう。

金峰砂の4-4では、粘土含量:5.2%,粗砂:13.5%,細砂:77.1%であり、供試した他の砂の粒径組成とは明らかに異なる。4-4は砂の土壌化が非常に進んだものか、青色粘土(143頁参照)が混入したものか、あるいは他の母材に由来するかについては現段階では判定し得ない。

網揚砂中には多少とも礫が含まれ、金峰砂中には殆んど含まれていないことは155頁で論議するが、現在の網揚砂特にその表層部にはかつて投入された頁岩質礫に富む土壌が多少とも混入している証拠となり得るであろう。

(ウ) 土壌の化学的性質

第4表に風乾細土の化学的性質を示した。

化学的性質の各項目はいずれも常法により定量したものである。得られた結果の概要は以下の通りである。

土壌酸性、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$:砂で6~6.8、客土で5~6、

$\text{pH}(\text{N-KCl})$:砂で4~5、客土で3.5~4.6、滴定酸度:砂では置換酸度、加水酸度いずれも極めて小であるが、加水酸度は金峰砂よりも網揚砂の方が明らかに大である。客土および13-3の滴定酸度は砂よりも明らかに大である。客土材料の滴定酸度は64~68と極めて大であり、かつ置換酸度が加水酸度より大である。

CECは、砂では2~8me/100gと極めて小であり、客土:14~18me、客土材料は20meとかなり大となる。置換性陽イオンは、Caは砂で0.6~2me/100gであるが、網揚砂丘の表層部の置換性Ca含量は金峰砂のそれよりも明らかに多い。客土材料では1.3meであるのに客土では1.1~9.5meである。網揚地区の表層の砂と客土の置換性石灰含量が、金峰砂と客土材料のそれよりも明らかに多いのは、網揚地区が昭和20年以来農地として利用され、Ca特に液肥として硝酸石灰が施用された事実起因するであろう。置換性Mg含量は客土材料では2.6meと非常に多い。砂で0.2~0.8meと少なく客土材料が混入している客土では当然砂よりも含量が多い。置換性KもMgと同様な傾向が認められる。しかし網揚砂の置換性K含量が金峰砂のそれよりも明らかに多い理由は客土材料の投入と施肥の両者、特に施肥に基づくと考えたい。

全炭素は砂では殆んど存在せず、客土のそれは0.4~0.7%である。従って砂には有機物は殆んど集積せず客土にはやや集積し得ることを示している。

磷酸吸収係数は砂で80~180、客土ではやや多く、客土材料では450である。有効態磷は全試料いずれも少ないが網揚砂丘の表層土では他の試料よりも明らかに多い。この理由は置換性Ca、Kの場合と同じく施肥に起因するであろう。

上記を整理すると、網揚砂丘地土壌は、人力が殆んど加っていない金峰砂よりも営農に伴う施肥等のために置換性Ca、K、有効態磷の含量が多くなり、客土材料の投入によりCEC、加水酸度が大きくなり緩衝能が強くなり、かつ置換性Mg含量が多くなっていると結論し得るであろう。

(エ) 土壌の鉱物学的性質

a:一次鉱物 網揚砂として7-2、網揚砂のかつての下部として8-2、金峰砂の4-2、客土材料31、客土としての7-1、かつての水田土壌の13-3の合計6点の試料を選んだ。それぞれの粗砂(2~0.2mm)と細砂(0.2~0.02mm)部を脱鉄処理²⁰⁾した後テトラブロムエタンを用いて重液分離し、重鉱物と軽鉱物の重量比を算出した後、粗砂および細砂の重鉱物と軽

第4表 細土の化学的性質

試料 No.	土 壤 酸 性				土 有 機 物		土 壤 の 置 換 性								磷酸 吸収係 数	有効 態 磷 ppm
	pH		置換 酸度 Y ₁ KCl	加 水 酸 度 Y ₁ CaOAc	全 炭素 %	炭 素 率	CEC me/ 100g	塩 基 飽和度 %	石 基 飽和度 %	灰 飽和度 %	置換性塩基 me/100g					
	H ₂ O	N- KCl									Ca	Mg	K	Na		
4—2	6.3	4.7	0.3	3.3	0.2		4.6	56.7	15.0	0.69	0.34	0.100	0.068	181	17.9	
—3	6.5	5.2	0.1	1.3	0.1		2.3	65.9	30.0	0.69	0.64	0.094	0.093	100	16.7	
—4	6.4	5.2	0.1	2.3	0.1		4.4	46.6	28.2	1.24	0.54	0.146	0.126	272	15.2	
—5	6.4	5.1	0.1	1.0	0.1		2.3	59.5	34.8	0.80	0.37	0.122	0.076	129	14.4	
5—1	7.1	5.9	0.1	0.4	0.1		3.6	71.9	55.3	1.99	0.10	0.236	0.164	137	28.1	
—2(客)	5.6	4.1	1.6	5.2	0.5	15.2	6.0	50.9	32.3	1.94	0.85	0.127	0.134	152	32.4	
—3	5.8	4.2	1.4	3.0	0.1		3.9	43.1	28.2	1.10	0.32	0.179	0.080	100	25.0	
6—1(客)	6.1	4.6	0.3	7.3	0.7	11.4	17.0	72.0	55.2	9.38	2.49	0.177	0.197	128	57.2	
—2(客)	5.2	3.8	9.1	13.9	0.4		14.8	53.0	31.1	4.60	2.94	0.099	0.208	361	24.1	
—3	6.2	4.6	0.2	0.3	tr.		2.1	54.7	30.5	0.64	0.38	0.065	0.064	34	13.5	
7—1(客)	5.2	3.8	7.3	19.2	0.5	10.0	10.4	15.7	11.2	1.16	0.30	0.136	0.038	269	18.7	
—2	5.8	4.4	0.7	4.0	0.1		2.8	57.3	27.1	0.76	0.66	0.133	0.051	100	7.0	
8—1	5.9	4.6	1.1	13.3	0.8		7.1	36.8	28.6	2.03	0.37	0.137	0.076	123	10.5	
—2	6.6	5.1	0.3	5.8	0.1		4.5	33.2	25.0	1.14	0.19	0.132	0.043	89	9.1	
13—1	6.8	5.5	0.3	5.9	0.2		4.3	81.3	53.0	2.28	0.85	0.236	0.030	123	40.1	
—2	6.4	4.6	0.4	7.4	0.2		4.2	62.0	40.7	1.71	0.61	0.203	0.081	123	19.6	
—3	5.8	4.2	1.2	12.0	0.3	10.0	6.3	50.3	32.2	2.03	0.85	0.200	0.090	160	32.2	
17—1	5.6	4.2	1.4	11.3	0.3	10.0	4.6	44.8	36.5	1.68	0.10	0.249	0.034	152	24.1	
—2	5.9	4.1	2.5	9.3	0.2		2.8	44.5	23.2	0.65	0.24	0.316	0.041	80	9.3	
31(客材)	5.3	3.8	68.2	64.2	0.1		20.1	21.9	6.5	1.30	2.62	0.328	0.125	446	0.7	

第5表 粗砂・細砂の鉱物組成

試料	粒 径	鉱 物 種	軽 鉱 物 (比重 2.95 以下)					重 鉱 物 (比重 2.95 以上)							
			火山 ガラス	斜 長 石	石 英	そ の 他	量 比 %	シ ン 輝 石	普 通 輝 石	角 閃 石	かん らん 石	磁 鉄 鉱	チ タン 鉄 鉱	そ の 他	量 比 %
4—2 (金 峰 砂)	粗砂	◎	◎	○			99.2	○	tr.	○	tr.	○	tr.	tr.	0.8
	細砂	●	◎	●			98.0	○	tr.	○	tr.	○	tr.	tr.	2.0
7—1 (客 土)	粗砂	○	●	◎			98.2	○	tr.	○	tr.	○	tr.	tr.	1.8
	細砂	○	●	◎			97.2	○	tr.	○	tr.	○	tr.	tr.	2.8
7—2 (網 揚 砂)	粗砂	◎	◎	○			99.0	○	tr.	○	tr.	○	tr.	tr.	1.0
	細砂	○	◎	●	tr.		96.5	○	tr.	○	tr.	○	tr.	tr.	3.5
8—2 (網揚砂下部)	粗砂	◎	◎	○			99.3	○	tr.	tr.	tr.	○	tr.	tr.	0.7
	細砂	○	◎	●			95.2	○	tr.	○	tr.	○	tr.	tr.	4.8
13—3 (かつ ての水田土壌)	粗砂	◎	○	●			99.0	○	tr.	○	tr.	○	tr.	tr.	1.0
	細砂	○	◎	◎			95.4	○	tr.	○	tr.	○	tr.	tr.	4.6
31 (客 土 材 料)	粗砂	○	●	●			99.5	tr.	tr.	tr.	tr.	○	tr.	tr.	0.5
	細砂	○	○	◎			99.6	tr.	tr.	tr.	tr.	○	tr.	tr.	0.4

◎ 非常に多い ● 多い ○ やや多い ○ 少ない tr. 稀

鉱物を検鏡した。また、風乾未篩別の土壌試料をメノウ乳鉢で磨砕し、Geigerflex D—3F を用い X 線分析を行なった。得られた結果はそれぞれ第 5 表と第 5 図に示した。

第 5 表に見る如く、供試土壌中の一次鉱物中には、比重が 2.95 以上の重鉱物は極めて少なく 0.5～5% に過ぎず、火山ガラス、斜長石、石英等の軽鉱物が主体を占めている。

4—2, 7—2, 8—2 の砂試料では、火山ガラスが粗砂部に特に多く、さらに第 5 図の X 線スペクトル（非晶質の火山ガラスは X 線スペクトルにはピークを示さない）では斜長石のピークが石英のピークよりもはるかに強い。第 5 表と第 5 図のデータから、砂の一次鉱物組成は火山ガラスが 50～80% 程度、斜長石が 20～40% 程度、石英：5～10% 程度でその他は諸重鉱物と考えるのが妥当であろう。火山ガラス、石英はいずれも脱鉄処理により無色となるが、斜長石表面は無色とはならず粘土化していることが認められた。石英は粗砂部分よりも細砂部分に多く含まれているようである。磁鉄鉱はわずかながら各試料に必ず含まれており、X 線スペクトルにおいても、2.53, 1.48, 1.62Å のピークが必ず現われている。磁鉄鉱以外の重鉱物としては、シソ輝石、角閃石、普通輝石、カンラン石、チタン鉄鉱等を認め得るようである。

錫石は砂試料のいずれにも全く見出されなかった。

客土材料である 31 は頁岩質礫を 33% も含んでいるが、細土の土壌化はかなり進行しており粘土含量は 22% にもおよぶ（第 3 表）。重鉱物は殆んど認め得ず、軽鉱物は石英、斜長石が主体を占め火山ガラスも混入している。斜長石表面の粘土化は砂よりも著しく進んでいる。土壌そのものの X 線スペクトルにも 14Å, 10Å, 7Å に 2:1 型, 1:1 型粘土鉱物に基づくピークがかなり判然と認められ、斜長石のピークは非常に弱く、石英のピークが強く現われている。31 は、頁岩質土壌の表層土ではないのに、31 の一次鉱物中に火山ガラスが存在する理由には、シラスそのものまたは吹土砂丘砂が飛砂として 31 に混入した可能性、間間火山等の火山抛出物中の火山ガラスが 31 に堆積し混入した可能性等が考えられよう。

客土の 7—1 は砂と客土材料の両者が混合した一次鉱物組成を示す。X 線スペクトルにおける斜長石のピークが砂よりも著しく弱い点、火山ガラス含量が砂よりも少ない点等から、砂よりも客土材料の鉱物組成に類似していると判断し得よう。

かつての水田表層土であった 13—3 の一次鉱物組成

は、客土と砂との中間的性質を示す。すなわち斜長石含量は砂よりも少なく、客土よりも多いようである。

前述の如く、著者等が供試した試料では、吹土砂丘の砂の一次鉱物組成にはシラスの性格がかなり強く反映されており、吹土砂丘はシラスを主体とするとの示唆も巨視的には正しいと思われる。

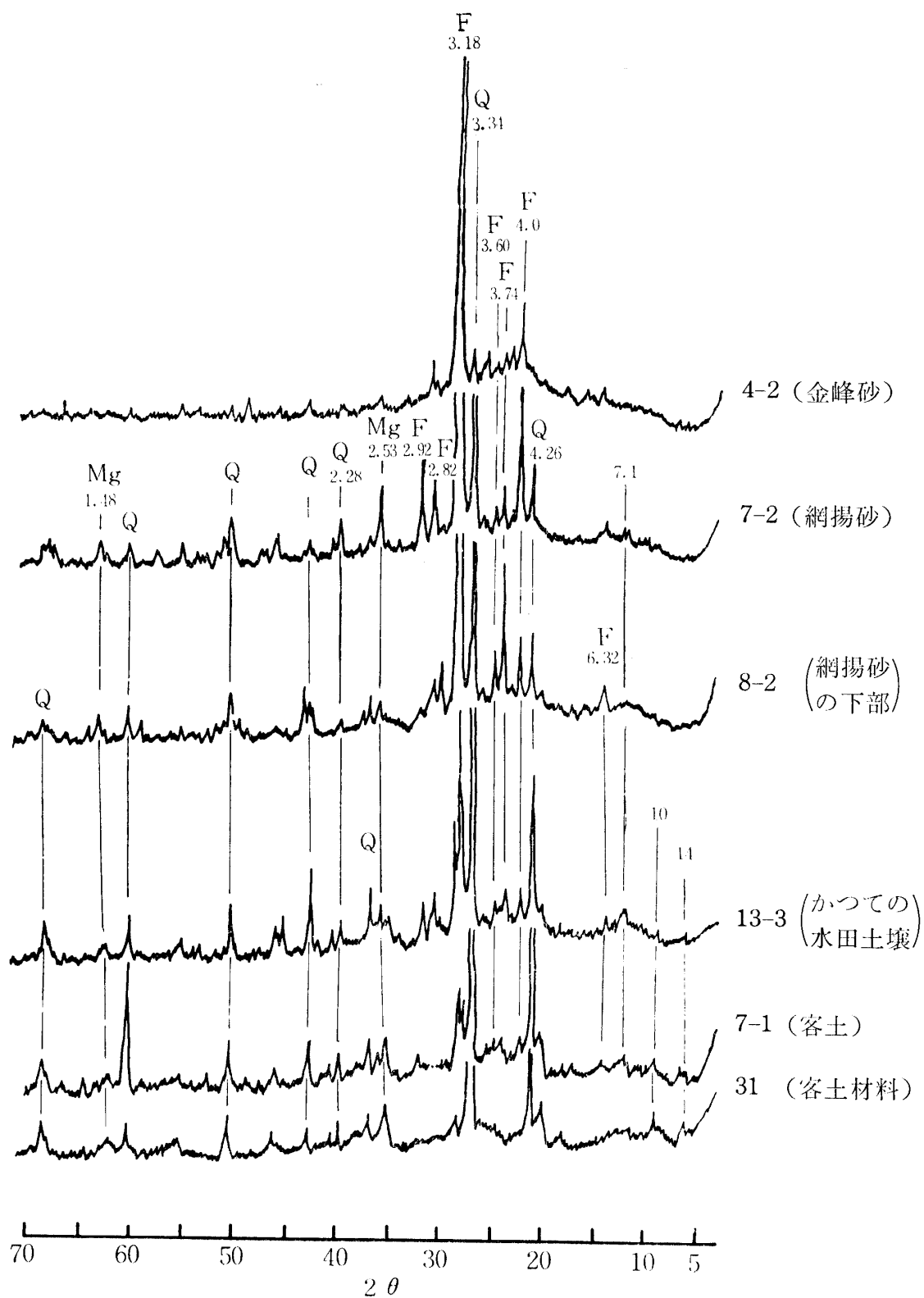
b: 粘土鉱物 一次鉱物の検討に用いた 6 点の供試土壌から、常法により 0.002mm 以下の粘土を採取し、脱鉄処理²⁰⁾後、定方位試料として、Mg—粘土, Mg—エチレンジアミン粘土, K—粘土, K—粘土 350°C 処理, K—粘土 550°C 処理の 5 種類を一次鉱物と同様に X 線分析した。

砂の粘土部分 (<0.002mm) 中の粘土鉱物は、第 6 図に見る如く、イライト、バーミキュライト等の 2:1 型鉱物と恐らくはメタハロサイト等を主としているようである。X 線スペクトルを詳細に検討すると、8—2 ではバーミキュライトと 1:1 型鉱物のピークが強く現われ、イライトのピークは非常に弱く、4—2 と 7—2 では 1:1 型鉱物、イライト、バーミキュライト三者のピークが現われているが、8—2 よりも 1:1 型鉱物のピークが相対的に強いようである。砂の粘土部分中の結晶性粘土鉱物のピークは客土 (7—1)、客土材料 (31)、かつての水田表層土 (13—3) のそれに比し著しく弱い。このことは砂の一次鉱物中に火山ガラス含量が多いことと併せ考え、砂の粘土部分中には非晶質のアロフエン含量が多いことを示唆するであろう。

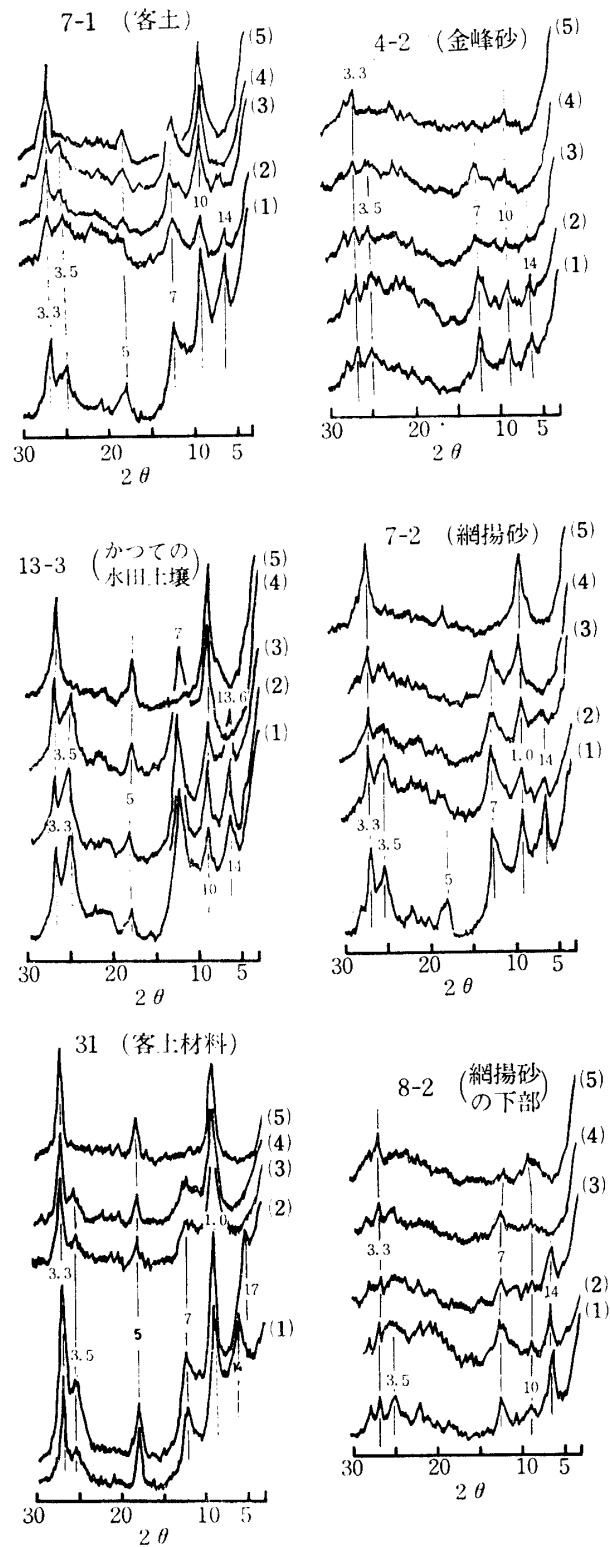
客土である 7—1 では、イライト、バーミキュライト、1:1 型鉱物のピークが認められ、中でもイライトのピークが最も強く、1:1 型鉱物のピークは相対的にかなり弱いようである。

客土材料の 31 は第 4 表に見る如く置換酸度が加水酸度よりも大で塩基飽和度も低いので膨張性 2:1 型鉱物の存在が予測され、X 線スペクトルにおいても、Mg—エチレンジアミン粘土は 17Å を示している。その中でモンモリロナイト族鉱物が存在している。その他、イライトも含まれ、1:1 型鉱物のピークは相対的に弱い。供試した客土も客土材料もそれぞれ一点のみである故、客土材料中に存在するモンモリロナイト族鉱物が客土中に見出されぬ理由は本報告では推論し得ぬ。対象地区の多くの場所から採取した客土と客土材料を比較検討する必要がある。

かつて水田表層土であった 13—3 には、イライト、バーミキュライト、1:1 型鉱物のピークが認められ、客土、客土材料とは異なり 1:1 型鉱物のピークが相対的に強いようである。



第5図 土壌粉末試料の X 線スペクトル
 CuK α -ray, 管球電圧 30KV, 管球電流 15mA
 F: 斜長石 Q: 石英 Mg: 磁鉄鉱



第6図 粘土 ($< 2 \mu$) の脱鉄定方位試料の X 線スペクトル
 CuK α -ray, 管球電圧30KV, 管球電流 10mA
 (1) Mg-clay (2) Mg-ethylenglycol-clay (3) K-clay
 (4) K-clay 350°C (5) K-clay 550°C

砂丘地土壌の一次鉱物、粘土鉱物組成は、砂丘地内の河川の上、中流域の岩石、土壌の性質を複雑に反映する筈であるから、現在の土壌の一次鉱物組成と粘土鉱物組成とは必ずしも密接な関係を保たぬことも起り得よう。また、万之瀬川流域にはシラスのみならず中生代の頁岩、砂岩、新第3紀の斑岩、花崗岩類も分布しているので、供試した砂の粘土鉱物にはこれら諸岩石の風化物が混入している可能性もあろう。しかし、第6図の結果のみから判定すると4—2、7—2は宮内等²⁵⁾が分類したシラスの粘土鉱物中の1:1型鉱物を主とするもの、8—2は2:1型鉱物を主体とするものに近いのではないかと考え得よう。

(オ) 他の砂丘地土壌との比較

a: 理学的性質 鹿児島県以外の砂丘地土壌の土性を既刊の報告書^{9)~19)}により調べると、鳥取、新潟、島根各県の日本海岸砂丘では礫が殆んど無く(粗砂+細砂):95%以上、粘土は1%以下である。静岡県太平洋砂丘地でも礫を含まず、(粗砂+細砂):97~98%、粘土は1.5%以下である。また原の著書²¹⁾によると、砂丘を形成する砂の粒径は地域により一定限度があり、山陰砂丘は1~0.25mm部分が多く、秋田県能代砂丘では4~2mm部分がかなり多く、新潟県藤浜塚では2~0.2mm部分が93%を占める。吉井によれば吹上砂丘は1~0.25mm部分が多いといわれる。このように、日本の多くの砂丘の表層の砂には粒径2mm以上の礫は殆んど含まれず、粘土含量は1~2%で、(粗砂+細砂):97~98%程度の土性を示すものが多いようである。供試した金峰砂の粒径組成は、巨視的には、全国の他の砂丘地の砂のそれとほぼ同様であると見做し得よう。従って、149頁に記した如く透水系数も相似た値を示すのであろう。

しかるに網揚砂には頁岩角礫がかなり混入している。また、客土材料ならびに客土の頁岩角礫含量はかなり多い。よって網揚砂試料の中5—1、5—3、13—1、13—2、17—1には客土材料が大なり小なり混入していると考え得る。礫が殆んど含まれていない6—3、7—2、8—2、17—2は、粒径組成のみの面では飛行場建設以前の状態に近いと推測し得よう。一方客土(5—2、6—1、6—2、7—1)の礫含量は客土材料のそれと同程度であるが、(粗砂+細砂)含量は客土材料よりも多く粘土含量は少ない。従って、網揚砂丘地内の客土は投入以前の状態ではなく、砂がかなり混入して土性が粗になっていると結論し得る。

b: 化学的性質 金峰砂の化学的性質を全国各地の砂丘地^{9)~19)}と比較すると、酸性がやや強く、一方置換

性塩基含量はやや多いようである。しかし、本報告で供試した金峰砂は松林下の砂である。細田¹⁰⁾によると、新潟砂丘地の海岸砂は、 $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}): 6.68$, $\text{pH}(\text{N-KCl}): 6.65$ であるが、松林下の砂は $\text{pH}(\text{H}_2\text{O}): 5.00$, $\text{pH}(\text{N}/10\text{KCl}): 4.00$ であった。このように松林下では土壌の酸性化が進むとも考えられるし、供試した金峰砂は僅か1ヶ所である故に、松林下の吹上砂丘地土壌が全国の同じ植生条件下の砂丘地よりも酸性が弱いとは断じ得ず、多数の試料を調べる必要がある。しかし、置換性Ca含量は金峰砂で0.7~1.2me, 新潟砂丘の未耕地と松林下の表土で $\text{tr.} \sim 0.17\text{me}$ ¹⁰⁾よりも著しく多い。砂の塩基含量は砂を構成する一次鉱物組成に影響されるであろう。事実、日本海岸に見出されるというレス混入砂丘²²⁾は長石含量が多く肥沃度もまた高いと考えられているので恐らく置換性塩基含量も多いと推測し得る。吹上砂丘の一次鉱物組成はシラスと類似し、斜長石含量もかなり多いので、斜長石の分解に伴って遊離する塩基類特にCaとKが吹上砂丘地土壌の置換性CaおよびK含量の増加をもたらしていると考え得よう。

また、網揚砂は150頁にも述べた如く金峰砂よりも、置換性Ca、K、有効態磷含量が営農のために多くなり、客土材料が多く残っている場所ではCECが大となり置換性Mg含量が多くなっている。

c: 鉱物学的性質 シラスそのものの一次鉱物組成²³⁾は、火山ガラス:約80%, 斜長石:約21%, 石英:約5%, シソ輝石:約2.4%, 普通輝石:約0.1%, 角閃石:tr., 磁鉄鉱:約1.1%で、 SiO_2 含量は68~72%と報告された例もある。また、鳥取砂丘の鉱物組成¹⁶⁾は、石英:60~75%, 斜長石:2~4%, 輝石・角閃石類:0.5~5%, 磁鉄鉱・チタン鉄鉱:0.5~5%で、一般に下層になるほど斜長石、重鉱物が多くなり石英が少なくなり、平均的な SiO_2 含量²⁴⁾は76~78%と報告されている。第5表と第5図の結果を、シラスそのものおよび鳥取砂丘砂と比較すると、吹上砂丘の砂はシラスそのものよりも火山ガラスと重鉱物が少なく石英が多いと推定し得よう。また、石英を主な構成鉱物とする鳥取砂丘の砂よりも斜長石が著しく多く、鳥取砂丘ではその存在が報告されていない火山ガラスが主要鉱物である点が主な相違点である。吹上砂丘の砂特に著者等が主な対象とした網揚砂は、万之瀬川により運積されたシラスが主要な構成成分であると考え得よう。海中に押し出されたシラスが波により海岸に再堆積して砂丘を形成する際に、シラス構成鉱物中の重鉱物や火山ガラスは石英よりも

容易に破壊されるので、網揚砂はシラスそのものよりも石英含有率が高くなったのであろう。しかし、石英を主要鉱物とする鳥取砂丘とは鉱物組成が非常に異なり斜長石がかなり多い。このことは前記の化学的性質でも述べた如く、植物に対する Ca, K 等の自然供給源が多いと解し得よう。

シラスそのものの粘土鉱物の研究は非常に少なく、わずかに宮内等²⁵⁾がシラス層中に見出される粘土鉱物は、1:1型鉱物、2:1型鉱物、非晶質物のそれぞれを主体とする三群に分け得ると述べているに過ぎぬ。また、砂丘地土壤の粘土鉱物の研究例も少ない。鳥取砂丘の砂（粘土含量は表層土で2~3%, 下層で0.7%）の粘土鉱物について、細田¹³⁾は、カオリナイト、ハロイサイト、パーミキュライトであるとし、楯岡²⁶⁾は六角板状あるいは六角星状の degraded illite, カオリナイト、ギブサイトならびにかなり多量の石英が混入していると述べている。吹上砂丘地土壤の結晶性粘土鉱物は前述の如く、イライト、パーミキュライト、1:1型鉱物恐らくはメタハロイサイトを主体とし、さらに、かなり多量の非晶質物が含まれると思われる。シラスの粘土鉱物組成と類似している。結晶性粘土鉱物の質は鳥取砂丘のそれと大差はないが、非晶質物の量はかなり多いであろうと予測出来る。

2 キュウリの栽培試験

一般に砂や砂質土は埴質・壤質土壤に比較して粘土に乏しく、単粒構造をとり²⁷⁾、極端な乾湿状態におちいりやすく²⁸⁾、施用した肥料の分解、流亡が甚だしいうえに²⁹⁾、土壤の緩衝能が弱いなどの諸理由から、特定の作物をのぞいて、大多数の作物にとっては栽培困難な不良土壤とされてきた³⁰⁾³¹⁾。しかしながら他方では地温の上昇速度が早く、透水性ならびに通気性がよく、耕起、中耕、除草など各種の農作業が比較的容易であるなどの特性も認められている。このようなことから、砂土の特性を十分に把握し、適当な灌水施設を設けて合理的に肥培管理を行なうならば、従来欠点として指摘されてきた諸性質を克服することも可能であり、さらにそれらの性質を積極的に活用することも可能であるとの説も台頭してきた²⁸⁾³²⁾。

このような情勢のもとで、広大な砂丘土地帯を有する山形、新潟、石川、鳥取、島根、静岡などの各県では砂丘地土壤での作物の合理的栽培法あるいは適作物についての研究、検討が行なわれている^{3)5)33)~37)}。また近年は、砂丘地での作物の栽培は、米、麦、甘藷などからその重点が特用作物、果樹、そ菜、花卉など

に移行しつつある^{30)38)~40)}。

吹上砂丘地土壤は、全国の他の砂丘地と比較して巨視的には強い特異性はないであろうとの前提下で、砂丘地土壤での作物栽培についての基礎研究の一環として、吹上砂丘地土壤を用いキュウリの栽培試験を行なった。

1) 砂丘地土壤でのキュウリの初期生育と土壌水分との関係について

砂丘地土壤でのそ菜栽培にあたって最も重要な問題の一つは当該そ菜に対する好適な土壌水分条件の解明にあろう。古くから開発が行なわれている鳥取県の砂丘土地帯の一部に“嫁ごろし”という言葉がある。これは、砂丘地土壤で作物を栽培するときさけることができなかった乾燥期の灌水作業の重要性和その労働の苛酷さを端的に物語るものといえよう。吹上砂丘地の開発に際しても砂丘地土壤の水管理についての基礎的知見なくしてはその順調な進展は期し得ないであろう。このような視点から、まず、水管理の適否がその生育状態に鋭敏に反映するキュウリを用いて土壌水分と生育の関係を検討した。

(ア) 実験材料および方法

a: 実験場所および時期 鹿児島大学農学部構内の温室で昭和45年9月から12月にかけて行なった。

b: 育苗ならびに栽植方法 供試品種・久留米落合H型。は種・9月12日、川砂、箱まき。

定植・子葉展開時期に下記要領で用土を充填した $\frac{1}{2000}$ aポットに3本植えとし、後に間引きして1本立てとした。

c: 供試土壤 網揚砂丘地土壤。この土壤は、第4図8の位置近辺で採土したもので最大容水量40.81%で、供試直前の土壌水分は8.04%であった。14kgを秤取しその約 $\frac{2}{3}$ 量を $\frac{1}{2000}$ aのポットに入れ、15cmの高さから3回落下させて充填したのち残りの $\frac{1}{3}$ 量をこれに加えてさらに30cmの高さから2回落下させてできるだけ均一に充填した。

d: 実験区の構成 標準区。(液肥を施用する以外は無灌水)。5mm灌水区。(液肥の施用以外に5mm相当量の灌水を行なった。以下同様)。10mm灌水区。20mm灌水区の4区を設け、各区10ポットを供用した。

e: 栽培管理 定植直後の5日間は苗の活着を斉一にするために、各区とも隔日に1ポットあたり0.5l灌水し、8日目から計画にしたがって隔日に灌水処理を

第6表 1ポットあたり施肥量 (g)

基 肥		追 肥		備 考		
CDUS 555	3.3	大塚ハウス 1 号	3.445	同左合計成分量		
珪酸苦土石灰	8.0	大塚ハウス 2 号	2.995			
同 上 成分量	N	0.5	N	0.67	1.17	
	P ₂ O ₅	0.5	同 上 成分量	P ₂ O ₅	0.28	0.78
	K ₂ O	0.5		K ₂ O	0.96	1.46

第7表 草たけおよび葉数の変化 (cm, 枚)

区	項目	調査日	10. 4	10. 11	10. 18	10. 25	11. 8	11. 15	11. 22	11. 29	12. 5
		月 日									
標 準 区	草 た け		8.8	27.4	51.5	82.0	98.7	109.5	119.3	122.0	128.0
	葉 数		3.3	5.1	7.0	9.5	12.2	14.7	17.0	17.7	18.5
5mm 灌 水 区	草 た け		9.4	34.6	67.0	122.0	167.5	186.5	207.0	212.0	218.0
	葉 数		3.6	5.7	8.0	11.8	17.3	19.8	21.7	23.3	24.8
10mm 灌 水 区	草 た け		10.4	46.3	92.8	149.3	216.3	239.5	261.0	273.0	279.0
	葉 数		3.7	6.4	8.1	13.1	19.2	22.7	24.7	27.0	28.3
20mm 灌 水 区	草 た け		10.4	44.2	88.6	141.8	201.0	232.0	250.8	258.0	264.0
	葉 数		3.8	6.2	8.1	12.8	18.7	22.5	24.5	26.5	27.8

第8表 茎葉重の変化 (1株あたり乾物重) (g)

区	項目	茎 葉 重			根 重		
	調査日	10月16日	11. 8	12. 5	10.16	11. 8	12. 5
標 準 区		3.6	7.2	9.9	1.0	1.5	1.2
5mm 灌 水 区		4.6	16.5	25.7	1.9	3.6	3.1
10mm 灌 水 区		6.3	31.6	38.4	2.3	9.5	6.6
20mm 灌 水 区		5.5	27.2	35.5	2.0	8.8	6.1

行なった。施肥量は各区とも同量とし、追肥はすべて液肥の形で分施した。施肥量は第6表のとおりである。追肥は、9月と10月には5日目ごとに、植物が生長し、開花期に到達した11月以降は灌水のたびに施用した。追肥のみの場合の水分供給量は毎回0.1ℓで2mm灌水に相当する量であった。間引きは本葉3～4枚時期に第1回を行ない2本立てとし、5～6枚時に第2回の間引きを行なって1本立てとした。

f: 測定法 生育測定・草たけ、葉数を1週間ごとに全個体について測定するとともに、生育初期、中期、後期の3回、抜き取り調査を行なった。土壌水分の測定・抜き取り調査の際にポット内の土層土として地表下1～2cm、中層土として地表下14～15cm、下層土として地表下27～28cmの位置の用土を各処理区について採土し測定した。

(i) 実験結果ならびに考察

草たけについては第7表に示したように全生育期間

を通じて10mm灌水区が最も高く、ついで20mm灌水区が高い。5mm灌水および標準区は前記の2つの区に比べていちじるしく低い。

葉数の変化も草たけの場合とほぼ同様の傾向がうかがわれる。

茎葉および根の乾物重の変化は第8表のとおりである。即ち、10mm灌水区が最も重く、ついで20mm灌水で5mm灌水区と標準区はいちじるしく軽い。

この実験条件下での土壌水分の状態は第9表のとおりである。標準区と5mm灌水区はキュウリの生育にとっては乾燥にすぎ、20mm灌水区では下層土が過湿におちいり、生育に悪影響をあたえたものと思われる。10mm灌水区の場合は、中、下層土の平均水分含量が最大容水量の70%程度であってキュウリの生育にとって好適条件により近いものであったと推察される。

実戸は庄内砂丘地土壌を用い、異なる土壌水分条件下でソバの栽培試験を行ない、容水量の70%のときに

第9表 土 壌 水 分 の 変 化 (%)

区	層 別	第1回	第2回	第3回
		10月16日	11月8日	12月5日
標準区	上層	2.05	5.37	9.88
	中	5.97	3.39	6.75
	下	6.97	4.35	2.48
5mm 灌水區	上	9.58	7.05	13.40
	中	10.75	4.96	7.08
	下	15.93	3.47	2.74
10mm 灌水區	上	16.89	17.25	18.57
	中	21.84	19.97	23.01
	下	33.74	33.32	34.54
20mm 灌水區	上	29.24	34.62	24.46
	中	40.81	40.81	38.45
	下	40.81	40.81	40.81

生育ならびに子実の収量が秀れていることをしめした⁴¹⁾。この数値は網揚砂丘地土壤でキュウリについて得られた成績に近いものであり、成因、組成が異なる砂丘地土壤にあっても、作物の生育に好適な土壤水分含量には大差ないであろうことを暗示するものであろう。また、砂丘地土壤でのキュウリの生育は土壤水分がやや過湿気味に保持されることが好ましいであろうと推察される。この点に関して、位田が通気のよい砂土でのキュウリの有効水分の下限は従来考えられていたよりも水分張力がかなり低い点で検討さるべきであるとしていることとも⁴²⁾⁴³⁾類似した結果をしめしており、さらに此本らも同様の傾向を指摘している⁴⁴⁾。

2) 吹上砂丘地土壤と鹿児島大学農学部土壤でのキュウリの比較栽培、特に初期生育について

前述の如く、網揚砂丘地土壤でのキュウリの生育は、土壤水分が最大容水量の70%程度の場合に最もよい結果を得たので一応この程度の水分維持を砂丘地土壤の水分管理の基準と想定して、網揚砂丘地土壤と鹿児島大学農学部の畑土壤でのキュウリの比較栽培を行なった。

(ア) 実験材料および方法

a: 実験場所および時期 鹿児島大学農学部構内の温室で9月16日から11月末にかけて行なった。

b: 育苗ならびに栽植方法 供試品種・久留米落合H型。は種・9月16日、川砂、箱まき。

育苗・子葉展開期にくん炭を充填した9cmの素焼鉢に1本ずつ鉢上げし、第10表に示した組成の培養液を約2cmの深さに湛えた培養床に配置して育苗した。定植・本葉4枚に達した苗を、5kgの供試用土を

充填した $\frac{1}{5000}$ aのポットに1本ずつ定植した。

c: 供試用土ならびに実験区の構成 網揚砂丘土壤5点と、鹿児島大学農学部構内の畑土壤1点を下記のよう

- に区分して供用した。
- 1区 網揚砂丘地土壤(8-2)
 - 2区 同上
 - 3区 同上
 - 4区 網揚砂丘地土壤(客土7-1)
 - 5区 同上 (砂 7-2 以下)
 - 6区 鹿児島大学農学部構内農場畑土壤
(各区10ポット)

1区～3区の用土は土壤の理化学的性質の研究に供用した8-2で示した土壤、4区は7-1で示した客土に相当する第4図の7の位置の表層土、5区は4区土壤の下層土である。6区の農学部構内の畑土壤は沖積性シラス土壤と称されているが、農地の整備に際し、客土、土壤かくらんが再々行なわれてきたため、シラス、火山灰土、非火山灰土の混合物であると解すべきである。かなり熟畑化しており、一般の作物は普通の栽培管理によって正常に生育する。

d: 栽培管理 定植後1週間は活着を斉一にするため十分な灌水を行なった。以後の灌水は天候によって若干の加減を加えながら3日ごとに第10表の養液を0.5ℓずつ施用し、隔日の灌水に換算して12.5mm相当量の水分を与えた。

第10表 育苗および培養に用いた養液の組成

蒸留水 100ℓ あたり

KNO ₃	81g	H ₃ BO ₃	0.30g
Ca(NO ₃) ₂ ·4H ₂ O	95〃	MnSO ₄ ·4H ₂ O	0.20〃
MgSO ₄ ·7H ₂ O	50〃	キレート鉄	0.27〃
NH ₄ (H ₂ PO ₄)	15〃		

e: 測定法 生育測定・草たけと葉数を毎週全個体について測定した。また生育の度合いを知る目安として、上から3番目と4番目の展開葉の間の莖の太さと、上位4枚の展開葉の葉面積を測定した。

(イ) 実験結果ならびに考察

各区とも順調に活着、生育し、調査末期までは特別の生育障害は見られなかった。11月下旬以降は植物体が大きくなって $\frac{1}{5000}$ aのポットでの栽培が困難となり実験を打ち切った。収量までふくめた生育全期間についての栽培試験は現地を中心にしてあらためて行なう要があろう。この実験は着果初期までの生育を中心としたものではあるが現地での凡その生育傾向をしめ

第11表 草 た け の 変 化 (cm, %)

月日 \ 区	1 区	2 区	3 区	4 区	5 区	6 区
10 月 22 日	54.3	48.9	53.4	51.8	52.1	52.2
対 6 区 比	104.2	93.7	102.3	99.2	99.8	100
10 月 29 日	95.7	89.0	93.0	93.7	92.4	97.2
対 6 区 比	98.5	91.6	96.4	95.1	95.1	100
11 月 5 日	118.7	113.2	118.4	114.7	116.5	121.0
対 6 区 比	98.1	93.6	97.9	94.8	96.1	100
11 月 12 日	144.0	138.2	142.4	134.0	140.2	144.6
対 6 区 比	99.6	95.6	98.5	92.7	97.0	100
11 月 19 日	178.5	172.1	174.9	166.5	175.4	179.2
対 6 区 比	99.6	96.0	97.6	92.9	97.9	100

第12表 展 開 葉 数 の 変 化 (枚, %)

月日 \ 区	1 区	2 区	3 区	4 区	5 区	6 区
10 月 22 日	7.6	7.4	7.4	7.2	7.2	7.4
対 6 区 比	102.7	100	100	97.3	97.3	100
10 月 29 日	11.2	11.0	11.0	11.2	10.8	11.2
対 6 区 比	100	98.2	98.2	100	96.4	100
11 月 5 日	13.8	13.6	13.8	13.4	13.2	14.0
対 6 区 比	98.6	97.1	98.6	98.6	94.3	100
11 月 12 日	16.8	16.8	16.4	16.0	16.0	16.8
対 6 区 比	100	100	97.6	95.2	95.2	100
11 月 19 日	19.8	20.4	19.8	19.2	19.8	20.0
対 6 区 比	99.0	102.0	99.0	96.0	99.0	100

第13表 茎の太さの変化（上位第3葉、第4葉間）(cm, %)

月日 \ 区	1 区	2 区	3 区	4 区	5 区	6 区
10 月 22 日	0.47	0.49	0.50	0.48	0.47	0.47
対 6 区 比	100	104.3	106.4	102.1	100	100
10 月 29 日	0.49	0.46	0.50	0.49	0.44	0.47
対 6 区 比	104.3	97.9	106.4	104.3	93.6	100
11 月 5 日	0.55	0.56	0.57	0.58	0.56	0.55
対 6 区 比	100	101.8	103.6	105.5	101.8	100
11 月 12 日	0.60	0.60	0.62	0.61	0.62	0.61
対 6 区 比	98.4	98.4	101.6	100	101.6	100
11 月 19 日	0.62	0.64	0.62	0.61	0.63	0.62
対 6 区 比	100	103.2	100	98.4	101.6	100

すものと考えられる。

草たけについては第11表に示したように、第4区の生育がわずかに劣っていたほかは各区とも生育に大差は見られず、網揚砂丘地土壌での生育は農学部構内の畑土壌での場合とほぼ同程度であった。

展開葉数ならびに茎の太さについても第12,13表に見られるように草たけの場合とほぼ同様の傾向をしめ

している。

葉面積については第14表に見られるように、測定ごとにかんがりの変動が見られ、草たけ、葉数、茎の太さなどと若干異なった傾向がうかがわれる。このことは、葉面積の生育にあらわれる特徴なのか、あるいは測定方法に原因するものかさらに検討を要する。

以上の結果から、網揚砂丘地土壌は、キュウリに関

第14表 上位4枚の展開葉面積の変化 (cm², %)

月日 \ 区	1 区	2 区	3 区	4 区	5 区	6 区
10 月 22 日	216.2	248.2	246.3	228.8	244.0	258.3
対 6 区 比	83.7	96.1	95.4	88.6	94.5	100
10 月 29 日	213.1	200.4	220.7	210.6	211.5	241.6
対 6 区 比	88.2	82.9	91.3	87.2	87.5	100
11 月 5 日	216.2	220.5	202.6	262.0	222.3	195.0
対 6 区 比	110.9	113.1	103.9	134.4	114.4	100
11 月 12 日	178.0	209.7	223.7	210.8	215.2	199
対 6 区 比	89.4	105.4	112.4	105.9	108.1	100
11 月 19 日	188.3	151.4	167.0	196.9	164.6	199.6
対 6 区 比	95.8	77.0	84.9	100.2	83.7	100

して、灌水、施肥を中心に適当な肥培管理を行なうことによって農学部構内農場の畑土壌とほぼ同程度の生育をもたらす、特別の障害はないと考察される。飛行場造成の際に搬入され、表面に客土されたと考えられる第4区土壌では他の5つの区に比べて生育が劣っていた。このことは第4区土壌の化学性に起因するといふよりは客土の土性(特に礫含量)の不均一性に由来するものと思われる。即ち、第3表に示されているように第4区土壌は礫の含有量が多く、かつその含量は場所によって大きな差が見られ、極めて不均質な状態である。この不均質な状態を極端に破壊し、その1部をとってポットに充填したものについて、7-2あるいは8-2に相当する比較的均一な砂質土壌にとって好適と考えられる水分管理によって栽培が行なわれたためと考えられる。

3 論 議

1) 吹上砂丘地土壌の特徴

Ⅱ, 1, 3) で述べた如く、吹上砂の三相分布, 比重, 孔隙量, 透水係数, 粒径組成等の理学的性質および, 酸性, 腐植, CEC, 置換性塩基含量等の化学的性質は, 巨視的には日本の他の県の砂丘地土壌のそれと大きく異なる点はないようである。

しかし, 砂の鉱物組成並びに全体としての化学組成(置換性塩基等ではなく)は日本の各地域によってかなり異なるように思われる。すなわち, (1) 結晶性の石英を主鉱物とする砂, (2) 火山ガラスの如く, 非晶質珪酸塩を主成分とし, (1)よりも斜長石含量が多い砂, (3) 石灰砂で, 珊瑚礁あるいは貝殻などの磨砕物, に大別しようと著者等は考える。もち論(1)に大別された砂でも副成分の一次鉱物, 二次鉱物がかなり異なる

ものがあるのは当然である。このことは, (2)(3)に大別された砂においても同様である。吉岡等²²⁾が述べた石川県のレス混入砂丘は斜長石, 置換性塩基含量が多く CEC が大で肥沃度も高いが, 主要構成鉱物と全元素組成の観点からすると, (1)(2)(3)のいずれかの範ちゅうに入るであろう。

Ⅱ 1. 3) に記した如く, 吹上砂の鉱物組成, 特に一次鉱物組成はシラス構成鉱物, すなわち火山ガラスと斜長石を主体とし, 上記の(2)に相当するので石英砂を主体とする鳥取砂丘等とは非常に異なると思われる。火山ガラスと斜長石はいずれも石英よりも風化し易い。従って, 吹上砂の Ca, K 等の塩基成分の天然給源は, 塩基を殆んど含まず分解し難い鉱物を主体とする砂丘地よりも多いと思われる。事実金峰砂の置換性石灰含量が新潟砂丘の砂のそれよりも多いことは著者等は一次鉱物組成の差に基づくと考えている。しかし, 岩石の崩壊, 塩基の遊離は長年月にわたり徐々に進行するであろう故にわずかな数年で一次鉱物組成が作物収量に影響を与えるとは考え難い。特に砂丘地は透水性良好であるので, 斜長石中の灰長石成分が分解して Ca が遊離しても, Ca を土壌に留めておく腐植や粘土等の陰性コロイドが殆んど含まれていないため, Ca は直ちに溶脱してしまうであろう。よって, 砂丘地の砂が粗粒のまま放置されると理学的, 化学性は地域により大差はないであろう。しかし客土投入等により土性の精細化をはかった後に農地とすれば, 長年月の間に, 一次鉱物, 二次鉱物の相違が肥沃度の相違として現れてくるであろう。吹上砂丘地を直ちに農地として利用し, 利用に際して一次鉱物中に含まれる塩基や微量成分を有効に利用しようと配慮するならば, 塩基を溶脱させないために有機物, 粘土等を人工的に増加させるなければならない。

2) 客土について

砂丘地土壤の熟化（主に化学的性質の改良）については、粘土含量を2%に、腐植含量を1%に、CECは8me/100gに、置換性塩基含量は4me/100gに変えることを目標にすべきであると一般にいられている。第4表に示した如く、5-2、6-1、6-2、7-1などの砂と客土材料が混合している試料の細土のCECは6~16me/100gで塩基飽和度は50%内外であり、粘土含量も4~12%程度である。従って、過去に、他県の砂丘地において、長い経験から生み出された砂丘地土壤改良法（緩衝能等の土壤の化学的性質を有効に利用するため、客土か有機質資材投入を行ないコロイドを人工的に増大させる）を行なうことを前提として、網揚砂丘地で営農するとすれば飛行場建設という農業とは無関係に投入された、CECが大で置換性Mg含量の多い客土をを剥ぎとらずに充分に活用し、さらに有機物の施用を考慮すべきであったであろう。また、今後客土するとすれば、客土材料の粘土含量と粘土鉱物の質を充分に配慮する必要がある。

飽くまでも、土壤コロイドの存在を営農に対する負因子と判断し、客土ならびに有機物施用を全く行なわずに農業を実行しようとするならば、砂には緩衝能がないことを特に銘記しておかねばならぬ。すなわち生理酸性肥料を施用した場合に土壤が急激に酸性化する可能性（Ⅲで述べる如く、酸性化すると重金属が可溶態となる。土壤の酸性化によるその他の害は周知のとおりである）、あるいは金肥施用による植物根の脱水枯死の危険性等の対策を十二分に確立しておかねばならぬ。

他方、表層土が砂であることは下層土との毛管孔隙を断つことにもなるので、夏期の干天時に砂の表層は乾燥しているのに下層はかなり湿潤状態であることは当然予測し得るし、著者等も昭和45年7月末の現地調査において、サンドマルチの蒸散抑制効果については確認している。この点については福島等が述べている通りである。

文明の進歩に伴ない農業は、(1)土壤依存農業（養分天然供給量依存、維持型）から(2)肥料依存農業（人為的に土壤に加えた肥料成分に依存する型で、土壤は天然養分供給源としてのみでなく、CEC、緩衝能などによる調節機能の供与体として利用される）を経てさらに(3)施設農業（無土壤農業の方向に近い。礫耕、砂耕、化繊耕、水耕等で、土壤の調節機能を考慮しない）へと移行するという見解もある*。植物の水耕栽培に見るとおり、生育環境調節を完全に行なえば土耕栽培よ

りも水耕栽培によった方が植物は完全に生育し、その収量も増加する。しかし日本農業において多くの作物が実際の栽培面では(2)の肥料依存農業の状態であり、(3)の無土壤農業の形態ではないのは経営的にこれを成立せしめる理論と技術に欠けるものがあるからであろう。従って、ビニールハウス等の被覆（温度調節と土壤養分の溶脱防止はできる）を行なわず、裸地において、無土壤農業的な営農法によって収益をあげようとする場合には、(2)の肥料依存農業における土壤の調節機能を充分に検討し、土壤のプラス因子を安価で置き、かつ、不良環境条件に遭遇した場合にもよく対処しうるものであり、実地においてその成果がくりかえし再現されるものでなければならないであろう。

3) 吹上砂丘地土壤の土壤水分とそ菜の生育

砂丘地土壤で作物を栽培するときいつも土壤水分がまっさきに問題となっている。各地の砂丘地土壤あるいは砂についての土壤水分の成績を見ると、土壤は異なっても、そ菜栽培にとって適当な土壤水分は、最大容水量のほぼ70%前後である。網揚砂丘地土壤でのキュウリの栽培の成績も類似の結果をしめしている。このことから網揚砂丘地土壤の水分管理に関しては、土性が大きく変えられることがないかぎり他地域の砂丘地土壤あるいは砂土でのそれと大体同様に行ない得ると結論されよう。飛行場造成の際に多量の客土が行なわれて本来の砂丘地土壤の上に異質の土層を形成している網揚砂丘地の1部の土壤については一般の砂丘地土壤に対する場合と異なった水分あるいは肥培管理を行なう要があらう。吹上砂丘地土壤でも適当な水分管理と砂土の特性に応じた肥培管理を行なうことによってそ菜栽培は充分に達成されよう。

III 吹上砂丘地における錫、硫化合物および塩素について

1 土壤および農業用水中の錫、硫化合物ならびに塩素

緒言で述べた如く砂丘地でのミカンの大規模栽培という、砂丘地開発にとって新しい構想で出発し、その発展が注目されていた旧加世田砂丘地実験農場で栽植後1兩年目のミカンが大量に枯死するという不幸な事態を生じた（昭和43年11月以降）。枯死原因の一つ

* 石塚喜明：地力雑感，日本土壤肥料学会昭和42年度臨時大会記念論文，昭和43年9月

として、万之瀬川上流、川辺市以東 12km の錫田に産する錫石と、瀬戸付近に産する砂錫並びに錫と随伴して産出する磁鉄鉱、各種硫化物に起因する錫と硫化物等が、万之瀬川河口に集積し、網揚砂丘地実験農場に生育する作物に影響を与える可能性が示唆されたことがある。また網揚砂丘地は海岸に近く、地下水あるいは用水池中の水に塩分が混入する可能性も考えられた。このようなことから著者らは農業用水中の錫、硫化物、および塩素と、土壤中の錫と硫化物を定量した。

1) 供試材料

Ⅱで述べた供試土壌のなかから、砂試料として、1—2, 4—3, 4—4, 4—5, 7—2, 8—2, 客土材料の 31, 客土として 7—1, さらに、旧水田跡で土壌攪乱の甚しい 13—1, 13—2, 13—3 の 11 点の土壌を選んだ。

万ノ瀬川の水は宮原部落の貯水槽（以下本文では貯水槽と記す）に貯水された後、導水管を通して旧実験農場に送られ、灌漑水として使用される。また、旧砂丘地実験農場南端には地下水、雨水および表面流水が溜っていると思われる人工的な池（以下池とのみ記す。第 4 図の池）があり、早魃時には灌漑水としても使用される。貯水槽と池の水質を定期的に調べることによって、旧砂丘地実験農場に利用された農業用水の害成分を察知し得よう。よって、昭和 45 年 7 月 29 日から 46 年 1 月 1 日までの 5 カ月間、1 カ月に 2 回、計 11 回貯水槽と池から採水し試料水とした。

2) 実験方法

(ア) 錫の定量

a: 土壌の全錫含量 風乾末篩別土壌（粒径 2mm 以上の礫を含む）をメノウ乳鉢中で十分に磨砕後 2g を白金ルツボ中で (HF+H₂SO₄) 処理を反覆して珪酸塩を分解し、Si を揮発させた後残部を H₂SO₄ に溶解して約 50ml とし、その全量を用いてフェニールフルオロン法に準拠し錫を定量した⁴⁵⁾⁴⁶⁾⁴⁷⁾。

b: 土壌から N-醋酸アンモニア (pH: 4.5) により溶出される錫 易溶性あるいは植物に吸収され得る形態の錫を土壌中から溶出する適量な方法はまだ明らかにされていないようである。よって、著者らは、銅、亜鉛、およびカドミウムに用いられる方法^{*,**}にしたがって、風乾細土 10g に N-醋酸アンモニア (pH:

* 農林省農政局：土壌中の銅・亜鉛およびカドミウムの分析法（謄写版）

** idem：地力保全調査事業における重金属類の分析法（地力保全対策資料第 33 号）昭和 45 年 11 月

4.5) 溶液 100ml/ を加え 1 時間振盪した後濾過し、濾液全量の錫を定量した。

c: 供試農業用水中の錫 貯水槽および池の水はいずれも 300ml/ 秤取し、50ml/ に濃縮した後錫を定量した。

(イ) 硫化物の定量

a: 土壌の Sulfide 態 S 鈴木らの方法⁴⁸⁾⁴⁹⁾に準拠し、風乾細土 40g に H₂O 40ml/ と亜鉛末 2.5g を添加し振盪した後、20% H₂SO₄ 20ml/ を加え、湯浴中で 35°C に保ちながら洗滌空気を通し、発生した H₂S を醋酸亜鉛液に吸収させ、ヨード法により S を定量した。

b: 供試農業用水中の硫化物 パラアミノジメチルアミンを用いる比色法⁵⁰⁾⁵¹⁾により、供試水 15ml/ に試薬を加えて 25ml/ として比色定量した。

(ウ) 塩素の定量

a: 農業用水中の塩素 ジフェニルカルバゾンを指示薬とした硝酸第二水銀による滴定法⁵²⁾により定量した。

3) 実験結果と考察

第 15, 16 表に見る如く、供試土壌および農業用水

第15表 供試水中の錫、硫化物、塩素、pH

採集 日	池の貯水槽	全Sn	Sulfide —S	Cl ppm	pH
昭和45. 7.29	貯水槽 池	tr.*	tr.**	13 15	6.98 7.13
45. 8.15	貯水槽 池	tr.*	tr.**	14 11	7.28 7.13
45. 8.31	貯水槽 池	tr.*	tr.**	12 9	7.22 7.72
45. 9.16	貯水槽 池	tr.*	tr.**	14 8	6.90 6.87
45. 10.1	貯水槽 池	tr.*	tr.**	12 11	7.11 7.07
45. 10.1	貯水槽 池	tr.*	tr.**	9 10	7.27 7.78
45. 11.1	貯水槽 池	tr.*	tr.**	13 11	7.05 7.35
45. 11.18	貯水槽 池	tr.*	tr.**	14 9	7.22 7.52
45. 12.1	貯水槽 池	tr.*	tr.**	13 10	7.75 7.64
45. 12.15	貯水槽 池	tr.*	tr.**	12 13	7.84 7.53
46. 1.1	貯水槽 池	tr.*	tr.**	12 13	7.62 7.75

* この項の tr. は 0.02ppm 以下

** この項の tr. は 0.13 ppm 以下

第16表 供試土壌中の錫及び硫化物

試料No.	4—2	4—3	4—4	4—5	7—1	7—2	8—2	13—1	13—2	13—3	31
全 Sn	tr.*	tr.*	tr.*	tr.*	tr.*	tr.*	tr.*	tr.*	tr.*	tr.*	tr.*
N-NH ₄ OAc (pH:4.5) 可溶 Sn	tr.**	tr.**	tr.**	tr.**	tr.**	tr.**	tr.**	tr.**	tr.**	tr.**	tr.**
全 sulfide-S	tr.***	tr.***	tr.***	tr.***	tr.***	tr.***	tr.***	tr.***	tr.***	tr.***	tr.***

* この項の tr. は 2.5ppm 以下

** この項の tr. は 0.5ppm 以下

*** この項の tr. は 0.25ppm 以下

中には錫と硫化物は殆んど認め得ないようである。定量に実際に用いた試料の量から錫および硫化物濃度を再検討してみる。

錫は特級試薬の金属 Sn を用いた盲検では、溶液 50 ml 中に 5 ~ 50 μ g, すなわち、濃度 0.1ppm までは本報で採用した方法によって定量が可能であった。土壌の全 Sn 定量には土壌 2g を、土壌の醋酸アンモニヤ可溶の Sn の定量には土壌 10g を、農業用水中の Sn 定量には用水 300ml を用いて分析している。よって、第 15, 16 表の Sn 含量が tr. との表示は、土壌中の全 Sn として 2.5ppm 以下、IN-醋酸アンモニヤ可溶の Sn は 0.5ppm 以下、農業用水の Sn は 0.02ppm 以下と解し得よう。

硫化物についても同様に計算すると、硫化鉄を用いての盲検では、土壌の Sulfide-S は 50 μ g, 水中の総硫化物は 10 μ g までは正確に定量し得るので、それぞれの値の 5 分の 1, すなわち土壌では 10 μ g, 水では 2 μ g までは明らかに検出可能である。実際の分析では土壌 40g を使用し、農業用水では 15ml を 25ml に稀釈して測定した。よって第 15, 16 表の硫化物の tr. の表示は、土壌では 0.25ppm 以下、農業用水では 0.13ppm 以下と判断できる。

第 16 表に見る如く、貯水槽、池の水いずれも塩素濃度は最高 15ppm (0.0015%) 程度である。海水の NaCl 濃度は約 2.5%, したがって Cl 濃度は 1.5% 程度である。よって昭和 45 年 7 月末から 46 年 1 月 1 日までの 5 ヶ月間では、農業用水の塩素濃度は海水の約 1000 分の 1 程度しか示さず、海水の影響は殆んどないと考えてよからう。土壌の塩水は定量しなかった。しかし、池田⁵³⁾によれば、鳥取砂丘地で流岸から 50m 離れた場所の砂の Cl 含量は 0.0067%, 300m 離れた場所では 0.0045% であった。網揚砂丘地でも平常の状態であれば土壌の塩素を特に注意する必要はないと思われる。しかし、昭和 43 年 9 月 24 日の台風 16 号 (典型的な風台風) の例に見るとおり潮風による作物地上部の塩害を生じる可能性は常に考えておらねばな

らないであらう。

2 キュウリの生育におよぼす錫の影響について

果樹、そ菜あるいは普通作物の栽培において、農耕土壌中、あるいは灌漑水中に錫が存在し、それが作物の生育に影響を与えて問題視され、研究された事例はないであらう。また III, 3 において詳述するごとく、網揚砂丘地での作物栽培に際して、現時点では錫による害を考慮する必要はないと思われる。しかし、万一一つの可能性もないと思われる事態、すなわち、不活性の水酸化錫の沈澱が河川浮遊物として網揚砂丘地帯に堆積し、且つ土壌が強酸性である場合を想定し、実験条件として、錫が極めて微量溶存し、可能な限りの酸性で、しかもかなり多量の不活性の錫が浮遊した培養液でのキュウリの栽培試験を行なった。

(ア) 実験材料および方法

a: 実験場所および時期 鹿児島大学農学部構内の温室で昭和 45 年 10 月 18 日から翌年 1 月 13 日にかけて行なった。

b: 育苗ならびに栽培法 供試品種・久留米落合 H 型、は種・10 月 19 日、川砂、箱まき。育苗・子葉展開期に川砂を充填した 15cm の素焼き鉢に 1 本ずつ鉢上げし、培養液を満えた育苗床に配置し養液育苗を行なった。定植・12 月 9 日、展開葉平均 6 枚に達した苗を底側部の排水孔に通気管を設置し、第 10 表にしめした組成の培養液を満えた $\frac{1}{5000}$ a ポットに定植した。ポットは 100cm×50cm に配列した。苗はポットにかぶせた厚さ 2.5cm の発泡スチロール板に直径 2cm の孔をあけ、これに根をさしこみ、子葉部直下の位置に綿をまきつけて基部を固定するとともに地上部は高さ 200cm に張った鉄線からたらししたテープによって引きあげ保持した。

培養液は 10 日ごとに新しい液で更新した。この間は、毎日減少した液量だけ蒸留水を加えてほぼ一定容に保った。

実験中はエアーコンプレッサーによって連続通気を行なった。各ポットの通気管とコンプレッサーの間には約 20ℓ の気圧緩衝用タンクを設置するとともに各ポットに通気調節弁をとりつけ常時、通気が均一に行なわれるようにするとともに毎日朝夕の 2 回は必ず通気の状態を点検した。

c: 実験区の構成 上記のように定植後, Sn として 0, 5, 15 および 45ppm となるように $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ を培養液に溶解添加した。各区 8 ポット計 32 ポットを供試した。

培養液の pH を 6.0 ~ 6.5 前後に調整し、溶解した錫溶液を添加すると、透明であった培養液は添加後間もなくうすい乳白色を呈するようになる。これを一夜放置すると白濁ゲル状の沈澱を生じる。生成する沈澱の量は添加した錫の量に正比例し、45ppm 区で最も多くついで 15ppm, 5ppm の順であった。無添加区は沈澱はほとんど生成しなかった。

培養液の pH と錫の添加によって生じる沈澱の関係を観察すると、pH が低下するにつれて沈澱量が減少するとともに沈澱生成の速度も遅くなる。pH 2 前後の場合には沈澱はほとんど生成しない。強酸性環境という実験目的のみからすれば pH は低いほどのぞましいが作物の栽培からは供試作物が正常に生育しうる範囲内で低い pH を選ばねばならない。キュウリを用いた本実験では培養液の pH は 4.2 ~ 4.4 に調整維持して錫を添加した。pH 4.2 前後では錫の添加による培養液の乳白化および沈澱の生成はおもむろに進行し、添加後 3 ~ 4 日目に最も多くなる状態であった。なお、錫の溶解度についてはⅢ, 3 で再び考察する。

d: 生育測定 草たけ、節数および茎の太さを毎週、

全個体について測定した。茎の太さの測定は前述の実験と同様に行なった。なお 1 月 13 日の最終測定日から 5 日後の 18 日に全個体を抜きとり生体重、乾物重を測定した。

(i) 実験結果ならびに考察

a: 全般的な生育状態 ポットに定植した頭初は各区とも順調な活着状態をしめしたが、錫 45ppm 添加区は、数日目から下葉が萎凋状態を呈し、下垂気味となり、日時がたつにつれて植物全体からみずみずしさと生気が失われ生育が劣った。また定植時には真白で生き生きとしていた根は錫の添加によってその後の発育が低下し、根ぎわ部を中心に淡褐色化し、甚だしいものは死滅するにいたった。このような徴候は錫の添加量が増加するにつれて強くあらわれた。5ppm 区ではこの程度が軽微で、無添加区の正常なものに近い状態にあった。葉の大きさについては、0, 5, 15ppm の 3 つの区の間にはいちぢるしい差はないようであった。ただ 45ppm 区では葉は極端に小さくなり、無添加区の葉の大きさの約半分大となった。葉色については、錫の添加によって濃くなり、錫の添加が多くなるにつれてその度合が強まり 45ppm 区では濃暗緑色となった。(写真 1~6)

b: 草たけ 第 17 表に示したように 0, 5, 15ppm の各区の間にはほとんど差はないが 15ppm 区において実験の後半期に若干の伸長の低下を生じている。しかしながら 45ppm 区では、実験開始後間もなく錫添加の影響が強くあらわれ 2 ヶ月後には無処理区の草たけの半分程度という状態となった。

c: 節数 第 18 表の如く、草たけの場合と相似た傾向をしめしている。すなわち、0 と 5ppm 区の間には

第17表 草たけにおよぼす錫の濃度の影響 (cm)

錫の濃度	月日	12. 9	12. 16	12. 23	12. 30	1. 6	1. 13
0 ppm		44.4	77.4	120.6	153.9	184.3	211.7
5 ppm		44.8	81.5	127.1	156.9	188.2	216.8
15 ppm		47.2	80.2	123.9	152.1	177.1	203.4
45 ppm		44.6	55.9	72.3	81.0	91.7	104.0

第18表 節数におよぼす錫の濃度の影響

錫の濃度	月日	12. 9	12. 16	12. 23	12. 30	1. 6	1. 13
0 ppm		7.4	11.7	14.4	17.9	20.7	24.1
5 ppm		8.1	11.6	14.2	17.4	20.3	23.9
15 ppm		7.4	11.3	13.9	16.9	19.4	22.3
45 ppm		7.2	9.8	11.6	13.2	14.8	16.8

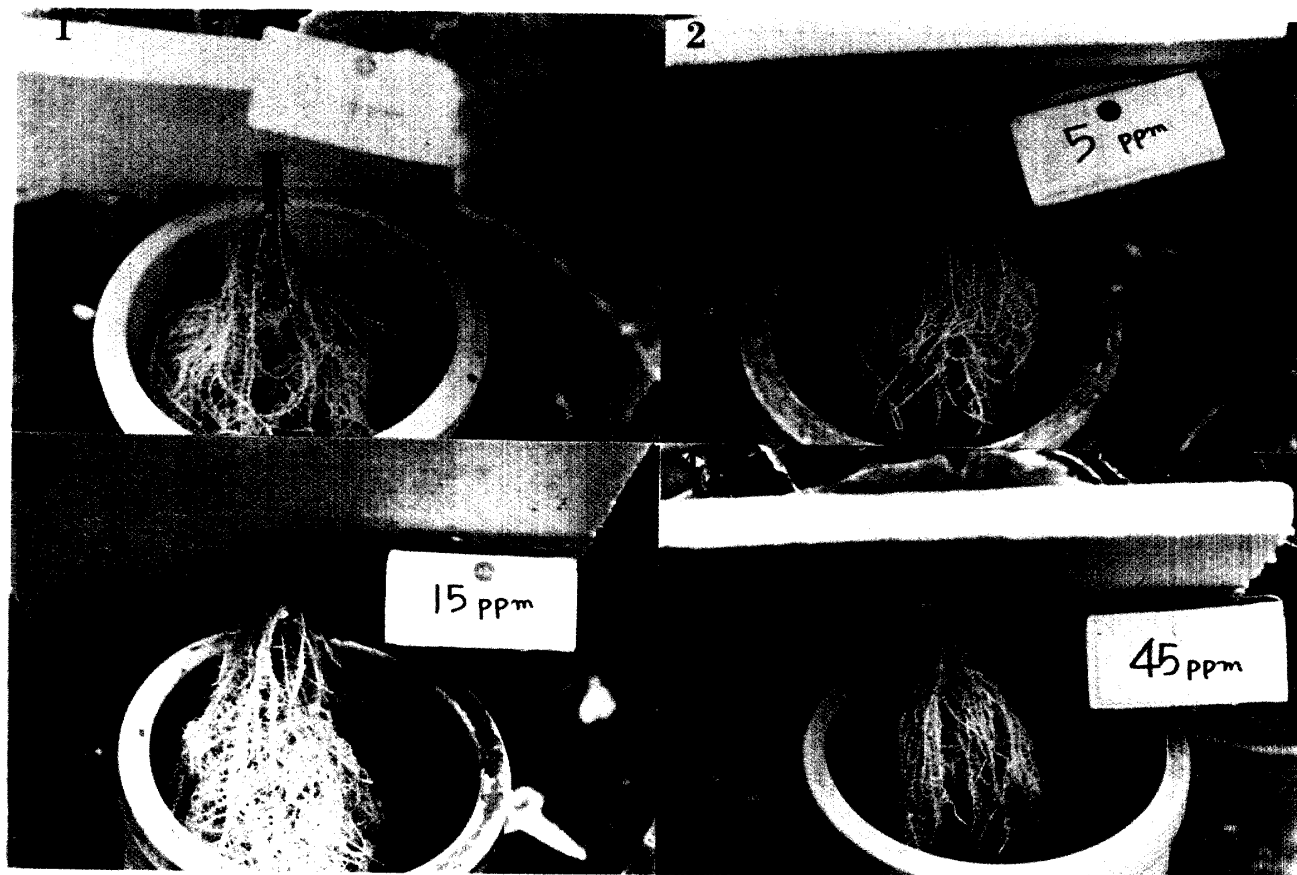


写真1 水耕試験におけるキュウリの正常な根の状態。

写真2 Sn5ppm 添加区のキュウリの根の状態。わずかに褐色を帯びる。

写真3 Sn15ppm 添加区のキュウリの根の状態。上部に分布する根の1部は褐変枯死し、根量がかなり減少する。

写真4 Sn45ppm 添加区のキュウリの根の状態。培養液面に近い上部に分布する根は褐変し、甚だしいものは死滅する。液面上部の位置から新根が発生するが根系全体が萎縮したように貧弱となる。



写真5

水耕試験における Sn の添加とキュウリの生育。

左 標準（無添加区）

右 Sn5ppm 添加区

Sn5ppm 添加区では、標準区とほぼ同じような生育を行なう。

写真6

水耕試験における Sn の添加とキュウリの生育状態。

左 標準（無添加区）

右 Sn45ppm 添加区

Sn45ppm 添加区は初期から根の褐変、障害が甚だしく地上部の伸長劣り、葉色は暗緑を呈し生気を失なう。

第19表 茎の太さにおよぼす錫の濃度の影響 (cm)

錫の濃度	月日	12. 9	12. 16	12. 23	12. 30	1. 6	1. 13
0 ppm		0.47	0.51	0.60	0.67	0.60	0.61
5 ppm		0.44	0.49	0.58	0.65	0.56	0.57
15 ppm		0.45	0.48	0.54	0.61	0.56	0.57
45 ppm		0.47	0.41	0.54	0.40	0.40	0.42

第20表 生体重および乾物重におよぼす錫の濃度の影響 (g)

生 体 重						
錫の濃度	部位	地下部	上位葉	下位葉	上位茎	下位茎
0 ppm		115.4g	92.3	69.4	86.5	61.8
5 ppm		99.0	86.4	66.5	80.7	60.3
15 ppm		77.7	71.6	53.9	67.3	54.0
45 ppm		31.4	14.8	28.5	14.9	29.2
乾 物 重						
0 ppm		6.0	11.2	8.2	7.0	5.1
5 ppm		5.4	10.0	7.2	6.7	5.1
15 ppm		5.0	8.2	6.8	5.8	4.9
45 ppm		1.9	1.8	4.0	1.5	2.7

ほとんど差はない。15ppm区では無処理区に比べて若干の減少が見られるがこの程度の差は、実際栽培では問題となるほどのものとは考えがたい。これに比べて、45ppm区では節数が非常に少なく、草たけの場合と同様に錫によって強い影響をうけている。

d：茎の太さ 第19表に示したように、草たけ、節数などと類似の傾向がうかがわれる。0, 5, 15ppmの各区の間にはほとんど差はないが、45ppm区では一見して他の3区と識別しうるほど茎は細くなった。

e：生体重および乾物重 第20表に見られるように生体重、乾物重については、草たけ、節数、および茎の太さなどではほとんど差が見られなかった0, 5, および15ppmの3つの区の間にもかなり明瞭な差があることがしめされている。生体重ならびに乾物重は、草姿、草色、茎葉の新鮮感、みずみずしさなどのような数値化して比較することが困難な微妙な形質の変化、あるいは総体的になんとなく感じられる相違などに対しも比較的正確かつ鋭敏に反応するものと考えられる。

以上の結果からここで行なった実験条件のもとでは、錫はキュウリの生育に対し、5ppm処理ではそれ程の影響はないが、15ppm以上の濃度ではかなりの影響を生じ45ppmでは正常な生育は期し難いといえよう。

3 論 議

1) 錫について

錫 (Sn) は岩石中に微量元素として含まれ、角閃石、黒雲母等には5～10ppm、斜長石には1.5～2ppm、正長石には1～1.5ppm、石英には0.5～1ppm程度含有されているという⁵⁴⁾。比色定量以前の試料処理法についてはなお検討の余地はあるが、供試した吹土砂、客土および客土材料の全Sn含量は2.5ppm以下、N-醋酸アンモン (pH: 4.5) 可溶のSnは0.5ppm以下、農業用水では0.02ppm以下である。また大西によれば^{*}、1959年12月13日および1960年12月14日に加世田市万之瀬橋下で採水した万之瀬川のSn含量はそれぞれ0.63 $\mu\text{g/l}$ と0.77 $\mu\text{g/l}$ すなわち0.00063ppm～0.00077ppmであったという。

2で述べたようにSn: 5ppm, pH: 4.2～4.4の水耕培養液でのキュウリの栽培試験ではキュウリの生育には大きな影響は生じない。Sn(OH)₂の溶解度から{Sn(OH)₂+H₂O}系のSn²⁺の溶解量を計算すると、pH: 4において約0.19ppmとなる。すなわち、キュウリではSn²⁺濃度0.19ppm溶液でも一応正常に近い生育をすることになる。カンキツの生育に対するSnの

* 大西富雄 河川水中における重金属の存在状態 日本化学会地球化学討論会にて講演 1971

影響についてはまだ公にされた報告はないので推論は急ぐべきではない。しかし、長崎県の玄武岩質土壌の如く、吹上砂丘地土壌よりも塩基性鉱物をより多く含む母材から生成した土壌地帯（玄武岩質土壌の全 Sn 含量は吹上砂のそれよりも多いであろうと予測できる）でもミカンが正常に生育し、錫の過剰に起因する生理障害について報告されたことはない。また万之瀬川の水を農業用水に用いている加世田市近郊の農家の聴取り調査によっても、古くから、少なくとも万之瀬川下流流域の作物、特に水稻に原因不明の生理障害らしいものは認められていないようである。

大西⁵⁵⁾の河川分析結果によれば 1959 年 12 月 13 日加世田市万之瀬橋下で採水した万之瀬川水の Cu, Zn, Pb, Hg の含量を南九州 39 河川のそれと比較しても非常な相違点は認められぬようである。一般に金属鉱床の影響を強くうけた河川水ほど (Zn : Cu : Pb) において Zn の割合が大となる。万之瀬川橋下の水の Zn : Cu : Pb = 4.5 ~ 5.5 : 1.0 ~ 2.1 : 0.9 であり、金銀鉱の影響をうけている串木野市の五反田川での 65 : 0.8 : 1.9 の比と比べると Zn の割合はいちぢるしく小である。錫鉱山附近の廃水に Sn が ppm のオーダーで溶存している場合でも、Zn はその 10 倍のオーダーで含有されるのが常であるという。Zn については、水稻の水耕試験では溶液中に Zn が 10 ~ 15 ppm 程度存在すると収量が半減するという。大西のデータによれば加世田市万之瀬橋下の万之瀬川水の Sn 含量は 0.0007 ppm, Zn は 0.005 ppm であるという。故に万之瀬川下流では川水に溶解している重金属は極めて微量で、もはや金属鉱床、特に Sn の影響はほとんどないと考えてよからう。

さらに、 $\{Sn(OH)_2 + H_2O\}$ 系において Sn^{2+} の溶解量を計算すると、pH : 2 では Sn^{2+} として約 1900 ppm が溶存し、pH : 4 では約 0.19 ppm, pH : 5 では 0.0019 ppm しか溶存しない。したがって、河川水そのものの pH が中性付近であれば、水中に溶存している Sn^{2+} は $Sn(OH)_2$ となり不活性な沈澱としてのみ存在しほとんど溶存することはないであろう。また、もしも土壌中に多量の Sn が存在したと仮定しても土壌反応が強酸性にならぬ限りは Sn は植物に吸収され得る形態とはならず植物に対して害を与えることはないと思われる。

上記の諸点、すなわち、1) 砂の重鉱物中に錫石は見出されない(152頁左 25 行)。2) 土壌および農業用水中の Sn 含量は極めて微量である（土壌では普通の岩石の Sn 含量以下、農業用水では ppm の $\frac{1}{1000}$ のオー

ダー)。3) 土壌および農業用水の pH は強酸性ではない。4) キュウリは Sn : 5 ppm 濃度（理論的な Sn^{2+} 溶存濃度約 0.19 ppm）でもほぼ正常に生育する。5) 万之瀬川下流流域において作物の原因不明な生理障害はないようであり、母材的に Sn 含量が多いと思われる土壌地帯でも Sn の害作用については報告されていない。などから現時点では網揚砂丘地での、ミカン栽培に対する Sn の過剰害は起り得ないと判断し得よう。

しかし、万之瀬川上流には錫産地が存在することは事実である故、一般論として Sn を含めた諸重金属 (Zn, Pb, Cu, Sb 等々) による土壌汚染の可能性については留意する必要もあろう。農業用水中の重金属がイオンとして作物に害を与えるのは水が強酸性となった場合に限ると思われる。しかし、考え得る非常に稀な場合として地震、洪水等の不測の事態によって、不活性な重金属沈澱物が河川浮遊物として河口に堆積すると作物に何らかの影響を与えるかもしれない。Sn についてのキュウリの栽培実験はこの万の一つの可能性をも想定して行なったものである。すでに述べたとおり 5 ppm 区ではほぼ正常な正育をとげるが、15, 45 ppm 区では生育がいちぢるしく阻害される結果を得た。この場合の生育阻害はただちにそれぞれの数値でしめされた濃度の Sn 溶液によるものとするにはいくつかの難点があげられる。実験部分でも述べたように、培養液の pH を 4.2 ~ 4.4 にした場合 Sn 溶液を添加すると沈澱を生じること、さらには Sn 添加による被害徴候は根部にも強くあらわれるが、それを詳細に見ると、Sn 添加によって生成した沈澱が通気によって生じる発泡によってかく拌され、浮上して根に附着した部分を中心に見られ、附着量が多い程被害が甚だしいこと、さらに Sn 自体の溶解度などからして、単純な Sn 溶液によるものとは考えがたい。このような諸点から Sn 添加区で生育が悪かった理由として、溶液中の Sn イオンをキュウリが吸収したためと考える前に、水酸化錫のゲル状沈澱物の附着による根への直接の害あるいは、附着した沈澱状の錫が、根が分泌する有機酸その他によって可溶態となって吸収されたためと考えたい。

以上、くり返すが、かなりの量（5 ppm）の不活性錫と約 0.2 ppm の Sn イオンが存在し、酸性（pH 4.2 ~ 4.4）でしかも培養液を通気かく拌して Sn の沈澱を常時浮遊させるという実際の砂地栽培では起り得ない条件下でもキュウリはほぼ正常に生長した。よって、かりに土壌中に多量の不活性 Sn が存在しても土壌が強酸性にならぬ限りはそ菜栽培に際して障害を生

じることはまずないであろう。

2) 硫化物と塩素

著者らが調べた砂、客土および客土材料のいずれにも少量の磁鉄鉱が必ず含まれていた。磁鉄鉱が存在すれば硫化鉄が随伴することは当然考えられよう。しかし、実測した土壌の全硫化物は0.25ppm以下、農業用水の硫化物は0.13ppm以下であった。且つ、第2、第3表に見る如く供試土壌は土性が粗で透水性良好である故に当然酸化還元電位は高いであろう。よって、土壌中に多量の硫化物が含有されていたとしても、砂地では硫酸根へと酸化されてしまうと思われるので、硫化水素発生の可能性はなく、植物の硫化水素による生育障害は考えられぬであろう。まして、供試した土壌と農業用水中に硫化物を殆んど検出し得ない現況では、耕土が酸化的環境にあれば、土壌および農業用水に由来する硫化物からの硫化水素発生の可能性はないと考えられる。

Ⅲ, 1, 3) に述べた如く、現況では土壌および農業用水中の塩分に起因する作物の塩害について特に留意する必要はないと思われる。しかし、大干魃時に地下水に海水がどの程度混入するかについては本報告では明らかにし得なかったもので、地下水中の塩類濃度変化に対する長期的観察が必要であろう。くり返すが、潮風により作物の地上部が塩害を被る可能性は常にあろう。よって網揚砂丘地で、特に、果樹のような永年作物を基幹作物として営農を行なうときは直ちに塩分を洗い去る設備の整備が必要であろう。

IV 要 約

吹上砂丘(約2540ha)の南部をしめる網揚地区(約110ha)において、1966年(昭和41年)からミカン専業による営農が試みられた。日本では初めての、砂丘地での大規模なミカン栽培であったこと、液肥のみの施用による栽植(砂栽培)が行なわれたことなどにより経過が注目されていたが、営農は失敗に終わった。この失敗について、台風による塩害とそれに続く異常寒波の襲来という度重なる気象災害によるとする説、さらに、栽植ならびに肥培管理にも問題があるとするもの、また、網揚地区の砂の一般理化学性あるいは、上流地域にある錫鉱山からの錫の流出を推測し、その錫による土壌および農業用水の汚染も一因となったかもしれないなどさまざまな推察がなされてきた。

著者等は、吹上砂丘地土壌、特に網揚地区の砂丘地

土壌の諸性質の検討と、その土壌を用いてのキュウリの栽培試験を行なうとともに土壌中と農業用水の錫含量を調べ錫を含む培養液を用いてのキュウリの栽培試験を行ない以下の結果を得た。

1. 吹上砂丘地土壌の理化学的性質

1) 吹上砂丘の砂の鉱物組成はシラスの鉱物組成と類似し、非晶質珪酸塩である火山ガラスが主体を占め、石英砂を主要鉱物とする砂丘の砂よりも斜長石含量が多く、置換性石灰、およびカリ含量もやや多い。

2) 粒径組成、透水性、三相分布などの物理性並びに置換性石灰、カリを除外した化学性は他の砂丘地土壌のそれと類似している。

2. 吹上砂丘の網揚地区では、客土の導入と平坦化(1943～1945)、営農(1946以降)、客土の剥ぎとり(1966年)が行なわれたので、客土と営農の影響が各所に残存している。

1) 客土の導入は、土性の精細化、透水性の低下、CECの増大、置換性塩基特に苦土含量の増加をもたらしている。

2) 営農により置換性塩基特に石灰と有効態磷の含量が増加している。

3. 客土が殆んど混入していない網揚地区の砂丘地土壌を用いて、土壌最大容水量の約70%の条件下でキュウリのポット栽培を行なうと、キュウリは正常に生育した。この水分条件は、日本各地の砂丘地土壌で得られた、そ菜類の生育に対する好適水分含量とはほぼ一致していた。

4. 錫イオンとして0.19ppm、不溶性水酸化錫5ppmの濃度で、pH: 4.0～4.2の培養液を用いてキュウリを水耕栽培すると、錫無添加区とほぼ同様に生育した。

吹上砂丘の網揚地区の土壌ならびに農業用水中には錫は殆んど含まれず、用水でも大凡0.0007ppm程度と推定される。土壌のpH(H₂O)も6以上である。よって現時点では、網揚地区では作物栽培にあたって、錫に起因する生育障害は生じないであろう。

謝 辞

本研究の遂行に対し貴重な御助言を賜った鹿児島大学教養部大西富雄教授、助力して頂いた鹿児島県果樹試験場永井芳雄場長、水流洋、土持武男両技師、南薩果樹指導所の花野晴繁所長、福重茂美技師ならびに砂丘地実験農場の川崎利雄氏、鹿児島大学農学部池田照男事務官、米沢貴子技官、仰木慎一郎研究生に謝意を表す。

引用文献

- 1) 鳥取県農政部：鳥取県の砂地農業（第10回記念日本砂丘研究会全国大会刊行）（1963）
- 2) 脇坂聿雄：砂丘研究，**17**(1)，58～62（1970）
- 3) 遠山正瑛：ibid., **15**(2)，1～6（1969）
- 4) 長智男・矢野友久・山本太平：ibid., **16**(2)，40～45（1969）
- 5) 矢野友久：ibid., **17**(2)，71～73（1970）
- 6) 上野義徳：ibid., **14**(1)，57～59（1967）
- 7) 谷口達夫：ibid., **16**(1)，106～110（1969）
- 8) 岡本広也：ibid., **14**(1)，60～63（1967）
- 9) 佐藤一郎：砂丘地におけるナガイモ生産に関する研究，鳥取大学農学部砂丘利用研究施設，（1965）
- 10) 細田克己・丸山恭二・鳥取農学会報，**10**(3)，1～18（1954）
- 11) 細田克己：砂丘研究，**1**(1)，27～36（1954）
- 12) idem：ibid., **2**(1)，53～56（1956）
- 13) idem：鳥取農学会報，**19**，20～27（1967）
- 14) 細田克己・高田秀夫：ibid., **17**，31～38（1964）
- 15) 山内益夫・長井武雄・西村禎二：砂丘研究，**12**(2)，9～20（1966）
- 16) 橋岡良介：土肥誌，**26**，445～449（1956）
- 17) 永田武雄：静岡大農報告，**4**，140～143（1954）
- 18) idem：ibid., **5**，245～248（1955）
- 19) idem：土肥誌，**28**，331～311（1957）
- 20) Jackson, M.L. : Soil chemical analysis advanced course, p.47 Madison, Wisc. U. S. A. (1956)
- 21) 原勝：砂防造林，p. 41～43，朝倉書店（1950）
- 22) 吉岡金市・大木謙一：砂丘研究，**15**(1)，63～64（1968）
- 23) 大庭昇・露木利貞・海老原紘子：岩石鉱物鉱床学雑誌，**58**，81～97（1967）
- 24) 田中昌也・赤木二郎・松本文之・西村捷義：鳥取大学教育学部研究報告（自然化学），**17**，48～67（1966）
- 25) 宮内信文・仰木慎一郎・春山元寿：鹿大農学術報告，**22**，123～130（1972）
- 26) 橋岡良介：土肥誌，**29**，141～144（1958）
- 27) 小谷佳人：鳥取農学会報，**15**，84～91（1963）
- 28) 福島栄二・上本俊平：砂丘研究，**14**(1)，33～39（1967）
- 29) 高馬進・内藤隆次・吾郷博司：島根農科大学研究報告，**18**，30～36（1960）
- 30) 船内富美雄：砂丘研究，**15**(1)，82～83（1968）
- 31) 田中賢一：ibid., **17**(1)，77～81（1970）
- 32) 福島栄二・岸本博二：砂栽培の理論と実際，p. 53～56 富民協会出版部（1966）
- 33) 羽根田栄四郎：山形大学紀要（農学），**1**，117～127（1950）
- 34) 尖戸英雄・本間廉造：山形農林学会報，**9**，53～57（1955）
- 35) idem：山形大学紀要（農学），**2**(2)，75～92（1965）
- 36) 高馬進・渡辺和夫：島根農科大学研究報告，**8**，37～42（1960）
- 37) 内藤隆次・竹下修・伊藤武義：ibid., **11**，14～19（1963）
- 38) 脇坂聿雄：砂丘研究，**15**(1)85～89（1968）
- 39) 川岸幸男：ibid., **17**(2)，74～76（1970）
- 40) 戸田敏郎：ibid., **15**(1)，80～81（1968）
- 41) 尖戸英雄・本間廉造：山形大学紀要（農学），**3**(1)，289～306（1959）
- 42) 位田藤久太郎：農業および園芸，**36**(12)，1977～1978（1961）
- 43) 位田藤久太郎・尾上重幸：ibid., **38**(2)，371～372（1963）
- 44) 此本晴夫・野中民雄・鈴木義彦・戸田敏郎：静岡農業試験場研究報告 **13**，97～103（1968）
- 45) Pollock, E. N. and Zopatti, L.P. : Anal. Chem., **37**，290～291（1965）
- 46) Eberle, A. R. and Lerner, M. W. : ibid., **34**，627～632（1962）.
- 47) Luke, C. L. : ibid., **28**，1276～1277（1956）.
- 48) 鈴木新一・志賀一：中国四国農業試験場報告，**1**(1)，45～62（1952）
- 49) idem：ibid., **2**(1)，43～56（1953）
- 50) Snell, F. D. and Snell, C. T. : Colorimetric Method of Analysis. II p. 757～759, D. Van Nostrand Company, Inc. New Jersey (1958).
- 51) 日本水道協会：下水試験方法，141～145p（1964）
- 52) 日本分析化学会・北海道支部編：水の分析，p 147～149，化学同人
- 53) Ikeda, S. : J. Fac. Tottori Univ., IV (2)，99～181（1963）.
- 54) Hamaguchi, H. and Kuroda, R. : Handbook of Geochemistry, 2, 1, Tin, 50, 50-D-1～50-D-4, Springer-Verlag Berlin (1969).
- 55) 大西富雄：鹿児島大学理科報告，**21**，21～34（1965）

Summary

In Amiage area (ab. 110 ha) lying at the southern parts of Fukiage Dune (ab. 2540 ha), an agricultural management through Satsuma mandarin-growing has been carried out since 1966.

A wide-spread attention has been given to the progress of above-mentioned system, because it was the first case of Satsuma mandarin-growing in the sand dune, on a large scale in Japan, and because it was developing original plan to grow Satsuma mandarin only by liquid fertilizer; however, this undertaking ended in failure. The causes have been discussed from various points of view, as follows; firstly there was the opinion attributing the causes to the repeated meteorological accidents, namely, the attack of the typhoon which brought the salt-pollution causing considerable damages for young Satsuma mandarin plants and to that of an abnormal cold wave; secondly, the view that the theory of sand culture and application of liquid fertilizers only, also may have formed one of the causes; thirdly, the opinion that the failure is based on the inappropriate properties of Amiage

Dune; fourthly, the assumption attributing the cause to the tin originated from the tin mine located in the upper area and left to be permeated into the soil and water used for agriculture in Amiage area, e. t. c..

Accordingly the authors carried out the following studies.

1. Investigation of physical, chemical and mineralogical properties of the sand dune soils in Fukiage Dune, especially in Amiage area.

2. The cultivation experiment of cucumber by pot filled with the Amiage sand dune soil.

3. The examination of tin-contents in the soils and water used for agriculture.

4. The cultivation experiment of cucumber by solution medium including small amount of tin.

Obtained results may be summarized as follows:

1. The properties of the sand dune soil in Fukiage Dune.

1) The primary mineralogical composition of Fukiage sand is similar to that of "Shirasu" (pyroclastic formation), and the main minerals of that sand are volcanic glass as amorphous silicate, containing certain amounts of feldspar besides that. Therefore, the soil in Fukiage Dune contains more plagioclases and exchangeable Ca and K than the soils whose main primary mineral is quartz.

2) The mechanical composition, water permeability and chemical properties (excepting exchangeable Ca and K) of the sand soil in Fukiage Dune are similar to those of sand dune soils of the other places in Japan.

2. In Amiage area, as the results of (1) the mixing of reddish yellow soils with the surface soil (those reddish soils contain large amount of shale-like gravels and whose localities are near Amiage area), (2) the ground-leveling (1943-1945), the cultivation and application of manure and fertilizers (after 1945), (3) the remove of the reddish soil (1966), the properties of the sand dune soil altered a little.

1) Reddish yellow soil admixture brought, finer texture of the soils, decreasing of the water permeability, large CEC, and increasing of exchangeable base contents, especially Mg.

2) Applied fertilizers brought the increase of exchangeable Ca, K and available phosphorus contents.

3. Cucumbers showed normal growth when they were cultured in the pots replenished with the sand dune soil in Amiage area, no mixture taking place with reddish soil, the soil moisture maintaining about 70 percent of its maximum water holding capacity. The results obtained were similar to the data denoting the relationship between the vegetable growth and the moisture condition of soils in other sand dunes.

4. Under the solution culture condition, cucumber growth was normal provided that the solution contained tin ion of 0.19 ppm and insoluble stannous hydroxide of 5 ppm, under pH: 4.0-4.2.

Tin was scarcely contained in the sand dune soil and it was presumed that the tin content in the water for agriculture was only 0.0007 ppm and pH (H₂O) of the soil was over 6.

From these results it may be assumed that at present time, there is no obstacle to check the plant-growth, owing to the tin in Amiage area.