

# 集約多肥栽培畑地における土壤溶液の挙動と 有機質資材施用の影響に関する研究

伊 達 昇

Studies on the Behaviour of Soil Solution Components of Upland Field under Intensive Fertilizing and Compost Application.

Noboru DATE

## 目 次

緒 言 .....	108
第Ⅰ章 畑土壤に対する施肥がもたらす化学的負荷と土壤溶液への影響 .....	110
1. 土壤溶液の採取法に関する検討 .....	110
2. 露地野菜畑土壤に対する施肥負荷の影響解析（その1） .....	113
3. 露地野菜畑土壤に対する施肥負荷の影響解析（その2） .....	120
4. 施設栽培土壤に対する施肥負荷の影響 .....	125
5. 塩類集積土壤に対する陽イオン、陰イオン交換体あるいは堆肥施用の効果 .....	131
摘 要 .....	133
第Ⅱ章 塩類集積土壤の土壤溶液組成に及ぼす堆肥施用の影響 .....	134
1. 硝酸石灰添加土壤のコマツナ生育及び土壤溶液に及ぼす堆肥施用の影響 .....	134
2. 土壤溶液中の $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{NO}_3^-$ の行動と堆肥施用の影響 .....	141
3. 堆肥ならびに供試土壤の AEC と孔隙 .....	148
摘 要 .....	150
第Ⅲ章 堆肥代替資材としての都市ごみコンポストの機能評価 .....	152
1. 野菜に対する都市ごみコンポストの施用効果 .....	152
2. コンポストの孔隙特性 .....	159
摘 要 .....	160
総 合 考 察 .....	161
要 約 .....	166
引 用 文 献 .....	168
Summary .....	172

## 緒

近年、わが国畑作における土地生産力の向上は著しいものがあるが、その一因として施肥コストの安い化学肥料の多施用技術の発達を挙げることができる。

耕地に対する施肥の目的は、直接には作物への養分供給であるが、同時に、施用する肥料の種類と量に対応する化学的負荷を土壤に及ぼし、土壤の動物相<sup>1)</sup>、微生物相<sup>2)</sup>、根圈<sup>3,4)</sup>、化学性<sup>5,6)</sup>、窒素代謝<sup>7,8)</sup>などに影響する。

これらの負荷による影響が作物にプラスをもたらす場合は土壤改良効果として評価されるが、他方では土壤の理化特性を悪化させ、作物の生育阻害・収量低下と土壤生態系の機能低下をもたらす場合も少なくない。

東京都の場合を例にとって、耕地に施用される化学肥料と家畜糞等有機物による三要素負荷量の経年動向を調査した結果<sup>9)</sup>によると、耕地単位面積あたりの三要素負荷量は、昭和47年をピークとして漸減傾向にあるが、昭和52年においても、全耕地平均で、N 21kg/10a, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 21kg/10a, K<sub>2</sub>O 12kg/10aとかなり高水準にあり、かつNの2/3, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>の1/2, K<sub>2</sub>Oの4/5が、化学肥料に由来しており、化学肥料の影響の大きさがうかがわれる。

畑土壤に使用された化学肥料による負荷はまず肥料塩の土壤溶液への溶出となってあらわれ、このことによって土壤溶液の塩類濃度は増大し、一定の濃度水準、たとえばSCHOFIELDの塩類尺度<sup>10)</sup>における中塩域～高塩域に達すると、作物の生育を阻害するようになる。

作物に生育阻害を及ぼす土壤溶液濃度を、土壤の飽和水浸出液の比電導度であらわすと、SCHOFIELDは4～8mS(中塩域)で多くの作物に障害があるとしており、MCNAUGHTらはトマトの生育限界点は6～7mS、米田らは温室ブドウで6～7mS以上で障害が発現している<sup>11)</sup>

多量施肥に起因する作物の生育障害の機構について、藤沼らはつぎのように区分している<sup>12)</sup>

## A 一次的障害

{ 土壤溶液の浸透圧上昇  
肥料中の特定成分の作用  
土壤中の必要成分間の不均衡

## B 二次的障害

{ 肥料成分の土壤への残存  
多肥により助長される病虫害

上記のうち、Aにおける「肥料」、「土壤」をそれぞ

## 言

れ土壤溶液に読みかえれば、藤沼らの指摘する一次的障害は、土壤溶液と作物根のかかわり合いのなかで発現する生育阻害の原因を、端的に表現しているとみることができる。

施肥された肥料塩は、土壤溶液の濃度、組成に影響を及ぼす一方で、その化学的あるいは生理的反応、窒素の硝酸化成等によって土壤及び土壤溶液<sup>13～15)</sup>の反応を変化させ、作物の成育にさまざまな角度から影響を及ぼす<sup>16～19)</sup>

化学肥料による負荷に起因する生育阻害要因は、畑作物においては、上記2点を基幹として発現すると考えられるが、施肥集約度の高い野菜、果樹あるいは花き栽培土壤では、その発現ひん度は普通畑土壤より高い。

また、こうした生育阻害発現の様相は露地と施設で異なり、降雨による溶脱傾向の強いわが国の露地条件下では、主として土壤の酸性化に由来する生育阻害要因が発現<sup>20～23)</sup>するが、施設栽培土壤の場合は蒸発散量が灌水量を上回るため肥料塩が表層に集積し、土壤溶液濃度の上昇による濃度障害<sup>10～12)</sup>と、集積塩(無機窒素)のガス化にともなう障害<sup>10,31,32)</sup>とが、生育阻害の主因となる場合が多い。

しかし、露地条件下にあっても、多肥の場合にははげしい溶脱がおきる<sup>33～36)</sup>一方で、施肥直後に一時的な土壤溶液濃度の急上昇による生育阻害の起きる可能性があり<sup>36～38)</sup>またハウス土壤の場合にも、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>やSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の集積による土壤酸性化のみられることがある<sup>13)</sup>など、畑土壤に対する化学肥料の施肥負荷の内容は、単純には類型化できないものがある。

集約多肥栽培畑においては、このような化学的負荷による作物の生育阻害は、生産を不安定にする主因のひとつになっており、農業経営上大きな問題となっている。

こうした化学的負荷を緩和し、高位安定生産を確保するため、有機質資材の施用は有効と思われるが、近年有機質資材の形状、品質は多様化しており、土壤中における分解特性もそれぞれ異なるため、集約多肥栽培畑に対しては、どのような有機質資材がどのような機能を有するかを的確に解明し、用うべき資材の種類と施用法を明らかにしておく必要がある。

本研究は、こうした視点から、施肥が畑土壤にもたらす化学的負荷の内容を究明するとともに、在來の完熟わら堆肥の集約多肥野菜畑における施用効果を上述の化学

的負荷との関連を中心に検討し、続いて、最近大都市周辺の高度集約農業において、堆肥代替資材として利用可能性が検討されている都市ごみコンポストについて、堆肥に代り得る水準の土壤改良ならびに施肥負荷軽減効果が期待できるかを検討するため行ったものであるが、集約多肥野菜畠における有機質資材の施用効果に関するいくつかの知見を得たので、報告する。

## 第Ⅰ章 畑土壤に対する施肥がもたらす化学的負荷と 土壤溶液への影響

露地畑及び施設土壤における化学肥料の多施用がもたらす化学的負荷の影響を明らかにするために、土壤溶液の動態解析を通してアプローチする試みが嶋田<sup>13)</sup>によって展開され、また最近、岡島ら<sup>39～48)</sup>は、土壤溶液に関する一連の研究を推進して、土壤溶液中の陽イオンと陰イオンはイオン平衡を保ち、土壤に肥料塩を添加すると、土壤の陰イオン交換容量（AEC）による陰イオン吸着と平衡関係を保ちながら、土壤溶液中に存在する陰イオンの濃度がまず定まり、これに随伴して当量の陽イオンが溶存すること、及び窒素多肥条件下では、主としてNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度によって土壤溶液濃度が規定されることを明らかにしている。

さらに岡島ら<sup>49～53)</sup>は、土壤溶液の移動、拡散による養分の土壤中における動態について、固相表面の静電気特性によるイオン吸着、排除、篩別（Sieving）効果を論じている。

これらの知見は、化学肥料の多施用による負荷が土壤の化学性に及ぼす影響を解明するうえで、多くの貴重な示唆を与えるものであるが、実験の方法としては、いずれも土壤溶液をCEC、AECを有する固相表面に接する均質なうすい液相としてとらえ、一定のpF範囲のものを圧膜法<sup>13)</sup>あるいは遠心法<sup>39～48)</sup>で採取し、分析した結果を土壤溶液全体の組成を代表するものとして論じておらず、この点は従来提言されている土壤溶液採取法<sup>3,51～58)</sup>の域を出でていない。

しかし、土壤溶液としての液相の厚さは、土壤系内にあっては不均一であり、溶液のイオン濃度は、固相表面の静電気的特性ならびに固相からの距離<sup>59)</sup>さらには土壤の孔隙状態<sup>49)</sup>などに影響されるから、土壤溶液のイオン組成は均質ではないと考えるべきである。

また、佐藤ら<sup>60)</sup>は、土壤溶液の採取法によって採取溶液のイオン組成に違いがあるのではないかと考え、遠心法による採取溶液のpH、イオン組成を置換法、圧膜法の場合と比較し、遠心法と置換法との間には大きな差はみられないが、圧膜法の場合にはpH、イオン組成に差の生じることを指摘している。

以上の知見をふまえ、本章においては、土壤溶液を、土壤の孔隙性ならびに固相表面の静電気特性の影響下にある不均質な厚さ及びイオン組成を有する液相としてと

らえ、化学肥料の施用によってもたらされる負荷が畑土壤の生産力に及ぼす影響を、主として土壤溶液のイオン組成の面から解析するため、不均質性を前提とした土壤溶液の採取法を検討するとともに、現地集約多肥栽培畑、施設土壤の土壤溶液の特徴について、若干の考察を試みた。

### 1. 土壤溶液の採取法に関する検討

水分不飽和な状態にある畑土壤について土壤溶液の塩類組成を検討する場合、簡便法としては、水を加えて抽出した溶液が分析試料とされ、土壤（乾土重）と抽出水量の比は、飽水状態<sup>29)</sup>1:2<sup>10)</sup>、1:5<sup>24)</sup>などが採用されている。しかし、水抽出液の組成は原土壤溶液の組成とは異なり<sup>24,61)</sup>水抽出液の組成から原土壤における塩類集積動向の概要は推測できるものの、原土壤溶液の組成を知ることはできない。

土壤溶液を原状態に近い組成で取り出す方法としては、水、アルコール等による置換法、圧縮法、遠心法、吸引法、圧膜法などがあるが<sup>54,55,58)</sup>前述したように土壤溶液を固相表面からの距離あるいはそれが保持されている孔隙の特性に応じて、陽イオン、陰イオンそれぞれの濃度を異にする不均質な液相とみて、これを分画採取しようとすれば、pH別に土壤溶液を採取できる方法をえらぶ必要がある。

土壤溶液をpH別に採取できる方法としては、遠心法、吸引法、圧膜法があるが、吸引法はpF3までの限界があり、圧膜法の場合は加圧を高めるとイオン透過性に問題を生じ、とくにアルミニウムとリンの透過性の低下度合いが大きいなどの欠点を有することが指摘されている<sup>60)</sup>ので、本実験では遠心法を用いることとした。

その際、現地圃場における土壤溶液状態をなるべく変化させずに実験室へ持ち帰るために、現地土壤を100ml容採土円筒に採り、山崎ら<sup>55)</sup>が行ったように、採土管のまま高速遠心機に懸架する方法をとった。

遠心法によるpH別土壤溶液の採取検討と同時に、現場で容易に土壤溶液を採取できる方法として水による置換法に注目し、その意義及び実用性についても検討した。

## 1) 実験材料及び方法

## (1) 土壤溶液の採取

東京都田無市、保谷市内の腐植に富む黒ボク土のビニールハウス5カ所より、作土を100 ml採土円筒に採取して実験室に持ち帰り、土柱法でpF1.5の水分状態としたのち、pF測定用高速遠心機を土壤溶液採取用に改造したものの採土管のまま懸架し、回転数を変えることによって、pF別に土壤溶液を採取した。

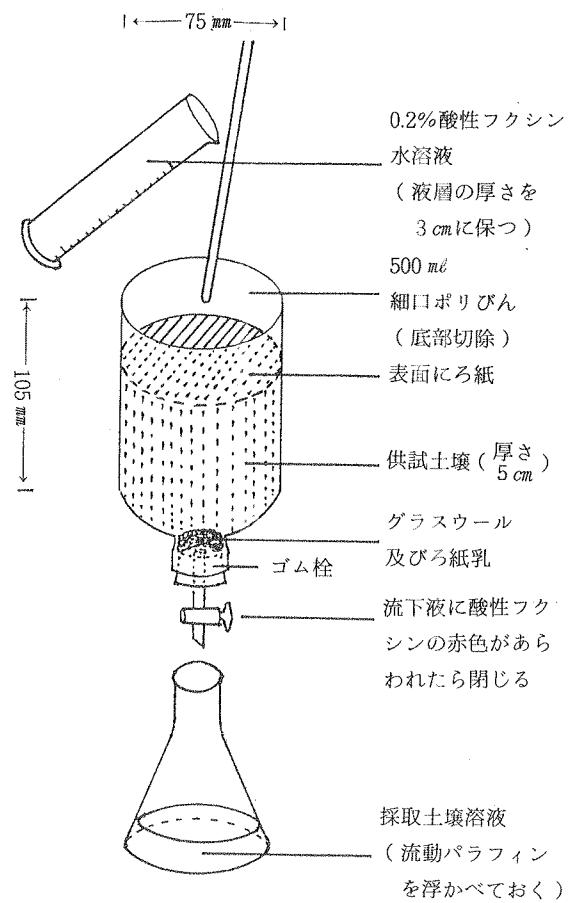
採取した土壤溶液は、pF1.5~2.1, 1.5~2.7, 1.5~3.1の3種類である。

調査各ハウスとも、土壤の断面形態は典型的な表層腐植質黒ボク土で、表土の厚さは約30 cm、作土(0~15cm)の分析値は表I-1に示すとおりであった。

これとは別に、図I-1に示す円筒型カラムに前述の方法でpF1.5とした土壤を採土円筒より取り出して圧密しつつ充てんし、ろ紙(東洋ろ紙No.2)をのせて、上部より0.2%酸性フクシン水溶液を静かに注ぎ、液層の厚さを約3 cmに保ちつつ、自然浸透降下させた。カラム下においていた三角フラスコに、圧出されて滴下する土壤溶液を受け、滴下液に酸性フクシンの赤色の混入が認められた時点で採取を打ち切った。

pF1.5の土壤をカラムに充てんする際の圧密方法は、まずカラムに土壤を2~3 cmの厚さまで入れ、カラムの面にあわせて作成した円形プレートをあてて手で数回圧密、再び土壤を2~3 cmの厚さを入れて圧密することを繰り返し、圧密土層の厚さを5 cmとした。

土層がうすいと採取液量が減少し、土層が厚すぎると、土壤溶液が土層を通過する際の再吸着によって、組成が変化するおそれが大きくなる。佐久間ら<sup>49,50)</sup>、鈴木ら<sup>62)</sup>、BALASUBRAMANIANら<sup>63)</sup>らのカラム実験例では、塩類溶液が通過する土層の、0~5 cmの部分では再吸着がほとんど認められないことから、土層の厚さを5 cmと定めた。



図I-1 土壤溶液の置換採取装置

表I-1 供試ハウス土壤の理化学性

供 試 土 壤	主作物・経過年数	CEC me	飽 和 度%		pH (KCl)	EC (1:5)mS
			Ca	Mg		
A. 田無市ハウス土壤	トマト・2年	28.2	79.7	12.4	6.2	0.60
B. " "	" · 2年	27.7	93.2	18.1	6.6	0.94
C. "	" · 3年	30.5	92.3	20.3	6.9	0.81
D. 保谷市ハウス土壤	キュウリ・1年	27.5	81.8	10.8	6.5	0.52
E. 農試ハウス土壤	" · 1年	31.5	77.2	9.6	6.2	0.47

表層腐植質黒ボク土作土(0~15 cm)

## (2) 採取溶液の分析

遠心法あるいは置換法で採取した土壤溶液は、代表的陽イオンとして  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  をキレート滴定法で、代表的陰イオンとして  $\text{NO}_3^-$  をフェノールジスルフォン酸法、 $\text{Cl}^-$  を硝酸銀滴定法でそれぞれ定量し、塩類組成の指標とした。

## 2) 実験結果ならびに考察

各方法で採取した土壤溶液の採取液量ならびにEC,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^- - \text{N}$ ,  $\text{Cl}^-$  の濃度は、それぞれ表I-2に示すとおりであった。同表であきらかのように、pFを変えて遠心法で採取した土壤溶液の塩類組成は、pFの高いほど陽イオン、陰イオンともに高濃度になっている。陽イオンについては、固相表面の負電荷の対イオンであることから、固相に近い高pF部ほど高濃度になることは容易に理解できるが、非対イオンである陰イオンも同様な傾向を示すことは、固相表面に近い高pF液相では、対イオンの吸着と非対イオンの排除による電気的拡散二重層(DDL)<sup>64)</sup>の形成が行われることと矛盾する。本実験の限りではこの矛盾は説明できないが、供試土壤が腐植に富み团粒の発達した黒ボク土表土であることから、团粒内の微細孔隙(高pF孔隙)内にとりこまれていた

塩類が、土柱法でpF1.5とした水分状態では、全溶液中に均等に溶出するには至らず、高pF部への残存濃度が高くなっているのではないかと推測される。

つぎに、同じ表I-2によって、酸性フクシン水溶液置換法による採取土壤液の塩類組成をみると、そのEC及び各成分濃度は、遠心法で採取したpF別各土壤溶液のうち、pF1.5~2.7溶液の組成ともっとも近似している。

このpF1.5~2.7の範囲は、いわゆる易効性有効水に相当するものであるが、酸性フクシン水溶液置換法によって、易効性有効水に近い性質の土壤溶液が採取できることは、現場土壤の肥沃度あるいは生産力を把握するうえで、大きな意義を有すると考えられる。

作物根がまず吸収するのは易効性有効水であり、その組成の適否が第一義的に作物の生育に影響するであろうことは想像に難くない。高速遠心機その他の土壤溶液採取装置を持たない農業改良普及所や農業協同組合の土壤診断室においても、図I-1のような置換浸出装置ならば容易につくることができ、土壤診断項目に土壤溶液組成を加えることによって、土壤診断をさらに現場生産力と密着したものにすることができる。

置換法によって採取できる液量は、図I-2のpF水分曲線から読みとれるpF1.5~2.7水分量に対し、土壤

表I-2 採取土壤溶液の液量と塩類組成

項目・採取法 試料	EC mS			$\text{Ca}^{2+} \text{ mg/ml}$			$\text{Mg}^{2+} \text{ mg/ml}$						
	遠心法			遠心法			遠心法						
	置換法	pF 2.1	pF 2.7	pF 3.1	置換法	pF 2.1	pF 2.7	pF 3.1	置換法	pF 2.1	pF 2.7	pF 3.1	
黒ボク土(ハウス)	A	1.72	1.65	1.70	1.85	0.38	0.35	0.38	0.40	0.12	0.11	0.13	0.15
	B	4.45	4.40	4.50	5.00	1.16	1.15	1.17	1.20	0.43	0.40	0.44	0.49
	C	3.80	3.70	3.80	3.90	1.13	1.01	1.12	1.18	0.40	0.35	0.38	0.43
	D	1.30	1.25	1.30	1.40	0.40	0.35	0.40	0.44	0.14	0.11	0.15	0.17
	E	1.30	1.30	1.35	1.45	0.40	0.36	0.41	0.46	0.10	0.07	0.11	0.15

項目・採取法 試料	$\text{NO}_3^- - \text{N} \text{ mg/ml}$				$\text{Cl}^- \text{ mg/ml}$				採取液量 $\text{ml}/100\text{ml}$ 原土		
	遠心法				遠心法				遠心法		
	置換法	pF 2.1	pF 2.7	pF 3.1	置換法	pF 2.1	pF 2.7	pF 3.1	置換法	(pF 2.7)	
黒ボク土(ハウス)	A	0.16	0.13	0.16	0.17	0.14	0.12	0.15	0.15	10.7	13.5
	B	0.39	0.36	0.39	0.40	0.21	0.18	0.20	0.21	11.5	15.0
	C	0.28	0.27	0.29	0.30	0.13	0.09	0.14	0.16	10.2	13.0
	D	0.05	0.04	0.06	0.07	0.10	0.08	0.11	0.13	13.3	16.5
	E	0.11	0.09	0.11	0.11	0.16	0.14	0.17	0.17	8.2	11.5

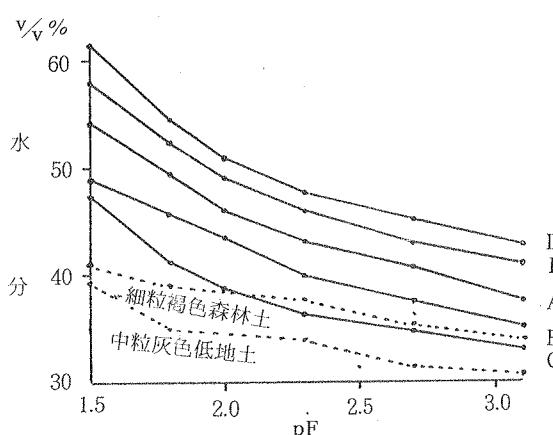


図 I-2 供試土壤の pF- 水分曲線

A 79 %, B 77 %, C 78 %, D 81 %, E 71 %と、腐植に富む黒ボク土ではおおむね 70 ~ 80 %の範囲にあり、この点でも比較的効率の良い採取法といえる。

しかし、pF 1.5 ~ 2.7 の水分量の少い中粗粒質沖積土や褐色森林土では、本実験で用いたカラムでは採取液量が少なく、より大きなカラムを準備する必要がある。

## 2. 露地野菜畠土壤に対する施肥負荷の影響解析（その 1）

化学肥料の施用による負荷が耕地土壤に及ぼす影響については、水田<sup>64~66)</sup>をはじめ、普通畠<sup>20~23,33~37)</sup>、果樹園<sup>38)</sup>、桑園<sup>67~69)</sup>、茶園<sup>70~73)</sup>など、土地利用形態と関連した検討が行われているが、被覆された土壤を除けば、添加された肥料塩による塩基溶脱促進が基幹的な問題点としてとらえられている。

しかし、近年の農業事情のなかで、畠・樹園地に多肥多収型の作物の導入が普及し、水田も高度利用がはかられるなど、全国的に多肥化傾向がみられ、とくに都市周辺では、高地高労賃に対応し得る土地生産力を確保するため、野菜を中心に高度に集約化された連作あるいは輪作が行われ、年間の施肥量は著しく多量になっている。

このため、都市周辺の露地野菜畠では、はげしい塩基溶脱がおきている一方で、溶脱した塩基を補給するため大量の石灰、苦土資材が継続的に投入され、施肥窒素の多施用とあいまって、作物の生育初期に一時的な塩類濃度障害のみられる事例が多発している。

露地野菜畠におけるこのような塩類濃度障害は、その

後の降雨によって軽減するが、影響は収量にまで及ぶ。また、溶脱した塩基の補給と窒素多施用が組み合わされば、いつでも再発する性質のものであり、適切な土壤管理と施肥によって、露地野菜畠の塩類状態を安定化し、生産力向上をはかる必要がある。

このため、圃場規模で化学肥料連用モデル試験を行い、露地野菜畠における塩類動向の解析と、塩類状態安定化の方策を検討した。

### 1) 試験材料及び方法

東京都農業試験場内の表層腐植質黒ボク土畠圃場における試験。

第1ステップとして、窒素肥料の種類を変えた4区（硫安、塩安、尿素、石灰窒素）を設け、昭和34年から41年まで、野菜を中心とし16作を継続した。この間堆肥あるいは石灰・苦土資材は施用していない。

統いて、第2ステップとして、上記4区をそれぞれ、化学肥料単用、石灰加用、堆肥加用、石灰・堆肥加用の4処理に細分し、昭和44年まで、野菜を中心とし5作を継続栽培した。（表I-3参照）

第1ステップ及び第2ステップの作物名と施用成分の累積投入量は、図I-3、I-4に示したとおりである。

試験前ならびに各作跡地土壤を採取し、分析に供したが、土壤の採取にあたっては、施肥部位と非施肥部位の塩類組成のちがいを考慮し、両部位の土壤を均等に混合採取できるよう、畦間の中央から隣接畦間の中央までを横断して土壤を採取し、混合縮分して実験室に持ち帰り、風乾調整した。

同時に、土壤溶液採取分析用として、作土を100 ml容採土円筒に採取したが、この場合は畦部と畦間部からそれぞれ同数の試料を採り、前項1で述べたと同様に、土柱法でpF 1.5の水分状態に安定させたのち、畦部試料と畦間部試料を等量混合して土壤溶液採取用カラム（前出図I-1参照）に充てんし、0.2%酸性フクシン水溶液による置換法で、pF = 1.5 ~ 2.7の範囲の土壤溶液を採取した。

採取した土壤ならびに土壤溶液の分析は次のように行った。

#### C E C : N 酢安洗滌・蒸溜法

置換性塩基：N 酢安洗滌浸出、Ca と Mg はキレート滴定、K は炎光光度法

土壤溶液： $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  はキレート滴定、 $\text{K}^+$  は炎光光度法、 $\text{Cl}^-$  は硝酸銀滴定、 $\text{SO}_4^{2-}$  は鉛イオン電極を用いた電位差滴定法<sup>74)</sup>

表 I - 3 試験のステップ

第1ステップ (1区 60 m <sup>2</sup> )	第2ステップ (各処理 15 m <sup>2</sup> )
化学肥料のみ施用	第1ステップ各区を細分
— 硫安・過石・硫加 (S区)	— 化学肥料のみ作条施用 [O処理]
— 塩安・過石・塩加 (Cl区)	— 作付前にタンカルで pH (KCl) 6.0 全面 [Ca処理]
— 尿素・過石・硫加 (U区)	— 堆肥毎作 1 t / 10 a を肥料とともに条施 [C処理]
— 石灰窒素・過石・硫加 (CN区)	— タンカルと堆肥を併用 [Ca・C処理]

注) 堆肥は稻わらに石灰窒素を加え、充分腐熟させたもの

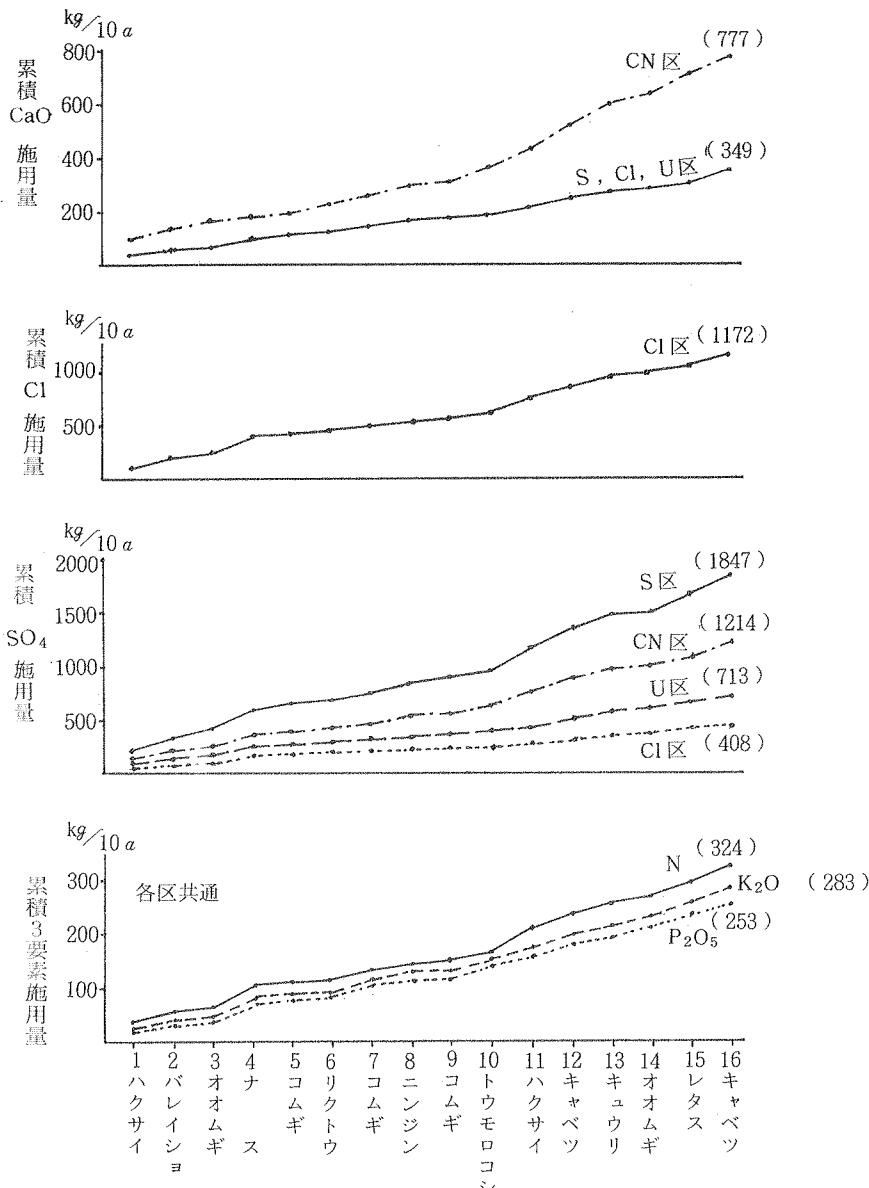


図 I - 3 第1ステップの栽培作物と成分累積投入量

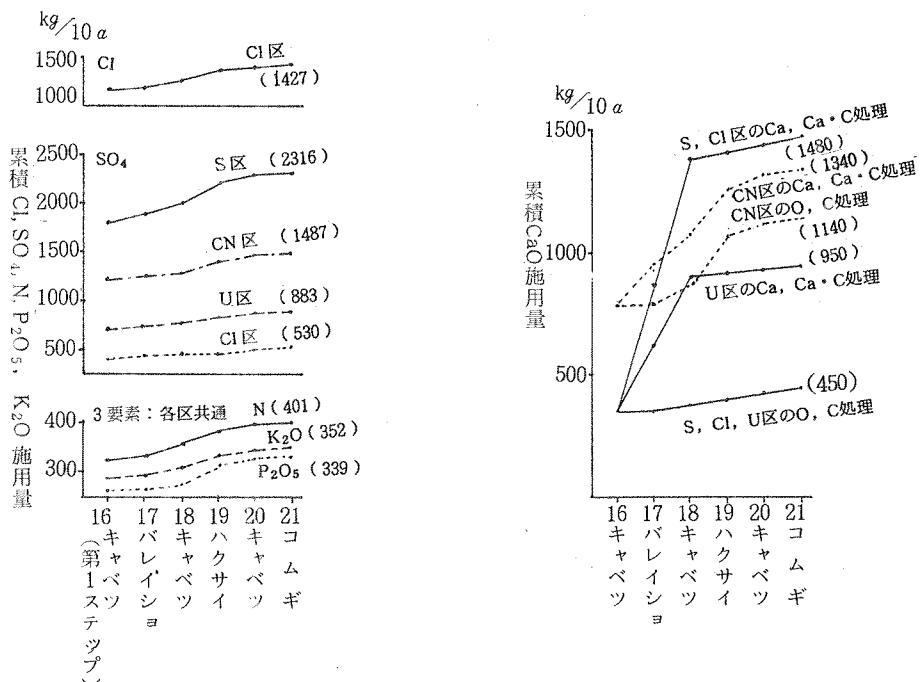


図 I-4 第2ステップの栽培作物と成分累積投入量

## 2) 試験結果ならびに考察

## (1) 第1ステップ

試験開始前及び第8作ニンジン、第16作キャベツ跡地の土壤分析結果は、表I-4に示すとおりであった。

試験前→第8作跡地→第16作跡地と、各区とも作を追って酸性化が進んでいるが、その程度は使用窒素肥料の生理的反応を反映して、硫安(S区)→塩安(Cl区) > 尿素(U区) > 石灰窒素(CN区)の順位となっている。

pHの低下傾向は、酸性化のもっとも著しいS区、Cl区の作土では第10作跡地あたりから横ばいとなり、pH(KCl) 4.1~4.2を維持する状態となったが、Y<sub>1</sub>はその後も逐次増大する傾向を示した。

塩基飽和度は、当初は作土で57.7%，作土下層で72.8%を示していたが、第8作跡地では、U区、CN区の作土下層に未だ塩基溶脱の影響が及んでいないほかは、各区とも塩基の溶脱による飽和度の低下が認められ、塩基組成の面ではK/Mg比及びK/Ca比の増大がみられている。Ca/Mg比は当初とあまり変わっていない。

第16作キャベツ跡地では、作土の塩基飽和度がCl区で20.2%，S区で25.6%と極度に低下し、CECも明らかに小さくなっている。この両区の酸性化は、現地で実際に

見出される酸性土壤と対比した場合、ほぼ極限的状態にあるとみられる。U区の作土の塩基飽和度は36.9%，CN区のそれは51.0%であった。

作土下層の塩基飽和度の低下は、Cl区でとくに著しく、S区がこれに次ぎ、U区、CN区の塩基飽和度も、明らかに低下した。

第16作跡地の塩基組成では、U区、CN区の作土下層を除き、Ca/Mg比、K/Mg比は第8作跡地よりさらに高くなっている。

以上述べた置換性塩基の動向から、CaにくらべてMgの溶脱傾向は作を追って加速度的に強まり、これに対してもKは施肥効果が上乗せされるため、明確な減少傾向は示さないことが確かめられた。

酸性フクシソ液によって置換採取された低pF土壤溶液の分析結果を表I-4に併記したが、その概要は次のとおりであった。

土壤溶液のイオン組成をみると、Ca<sup>2+</sup>に代表される陽イオン濃度は、酸性化傾向の強い区ほど高く、Cl区>S区>U区>CN区の順に低くなった。Ca<sup>2+</sup>の濃度は8作跡地より16作跡地の方がさらに高まっており、酸性化が進むにつれて塩基の溶脱傾向はさらに強まることが示さ

表 I - 4 土壤分析成績: 第1ステップ

項目 区	採土 深さ	pH		Y <sub>1</sub>	CEC	Ex-			塩基 飽和度	土壤溶液中 me/100mℓ							
		H <sub>2</sub> O	KCl			Ca	Mg	K		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>			
		cm				me	me	me		%							
試験前	0~15	5.5	4.9	0.8	28.1	13.8	1.3	1.1	57.7	1.1	0.2	0.4	0.5	0.0	0.8		
	15~30	6.2	5.7	0.1	29.4	18.7	1.8	0.9	72.8	0.7	0.2	0.3	0.2	0.0	0.6		
	S	0~15	5.2	4.6	3.6	28.5	8.0	0.8	1.8	33.7	1.3	0.3	0.6	0.9	0.0	0.8	
		15~30	6.1	5.5	0.2	29.8	17.1	1.7	1.3	67.4	1.1	0.2	0.4	0.5	0.0	0.7	
	第8作 ニンジン跡地	Cl	0~15	5.1	4.5	4.3	27.4	7.6	0.6	2.2	38.0	1.5	0.4	0.6	1.2	0.1	0.9
			15~30	6.0	5.3	0.5	28.0	15.6	1.3	1.0	63.9	1.2	0.2	0.3	0.4	0.0	0.7
	U	0~15	5.6	4.8	1.0	28.0	11.2	1.0	1.7	49.6	1.1	0.3	0.7	0.9	0.0	0.8	
			15~30	6.3	5.6	0.1	29.5	18.6	1.8	1.6	71.2	1.0	0.2	0.4	0.4	0.0	0.7
	CN	0~15	5.5	4.9	0.7	29.4	12.9	1.2	1.4	52.7	0.9	0.2	0.5	0.5	0.0	0.7	
			15~30	6.2	5.7	0.1	27.8	17.1	1.6	1.1	71.2	0.9	0.2	0.4	0.3	0.0	0.8
第16作 キャベツ跡地	S	0~15	4.5	4.1	16.8	25.6	4.6	0.3	1.5	25.6	2.1	0.4	0.6	1.5	0.0	0.9	
		15~30	5.3	4.8	5.0	28.1	13.4	0.5	1.7	55.5	1.8	0.3	0.5	1.1	0.0	0.7	
	Cl	0~15	4.6	4.1	12.8	25.2	3.9	0.2	1.0	20.2	2.2	0.3	0.7	1.8	0.2	0.9	
		15~30	5.1	4.6	7.7	27.8	9.4	0.4	0.6	37.4	2.0	0.3	0.4	1.3	0.0	0.8	
	U	0~15	4.9	4.4	7.1	28.2	8.2	0.5	1.7	36.9	1.7	0.4	0.6	1.2	0.0	0.7	
		15~30	5.8	5.2	0.3	28.9	15.4	2.0	1.2	64.4	0.9	0.3	0.3	0.4	0.0	1.0	
	CN	0~15	5.5	4.9	1.6	28.8	12.9	0.9	0.9	51.0	1.3	0.4	0.6	0.7	0.0	0.9	
		15~30	5.6	5.0	0.5	29.6	15.1	1.5	0.7	58.4	1.0	0.3	0.4	0.5	0.0	0.8	

注) 土壤溶液は酸性フクシン液置換法で採取

れている。一方、陰イオン濃度についてみると、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>はCa<sup>2+</sup>とほぼ同様な傾向を示しているが、Cl<sup>-</sup>はほとんど存在せず、またSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>はコンスタントな濃度で推移している。

土壤溶液の陽イオン組成は陰イオンによって律せられ、通常の施肥条件下では、この陰イオンの主役がNO<sub>3</sub><sup>-</sup>であることは、多くの報告<sup>20~30,35~48)</sup>によって明らかにされているが、本試験では、NO<sub>3</sub><sup>-</sup>とCa<sup>2+</sup>は互いに並行して増減し、上述の諸報告と合致する動向を示す。一方、Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の濃度には区間差がほとんどみられない。

見かけ上は NO<sub>3</sub><sup>-</sup>対 Ca<sup>2+</sup>と、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>対 Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>の2組のイオン対が、それぞれ独自の動きをしているかの如くである。

岡島ら<sup>41,42)</sup>によれば、土壤溶液に溶存するSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>の濃度は、アロフェンの多い火山灰土では比較的低く、かつ安定している。本試験の土壤溶液中のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度は、岡島らがSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度の低い土壤としている北(海道)農試土壤溶液中のSO<sub>4</sub><sup>2-</sup>とほぼ同じレベルであり、北農試土壤同様、土壤溶液中SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>濃度が安定的に低く保たれていると推測される。本試験土壤と岡島らの北農試土壤と

は、ともに表層腐植質黒ボク土として、同一土壤類型に区分されるものである。

さらに、この北農試土壤においても、本試験土壤同様、土壤溶液中の  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ 濃度には大きな変化はみられず、このことからも、施肥とともに土壤溶液組成の変動は、腐植質黒ボク土にあっては、主として  $NO_3^-$  と  $Ca^{2+}$  にあらわれ、 $SO_4^{2-}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$ への影響は、それほど大きなものではないと考えられる。

なお、本試験では、 $HCO_3^-$ など重要ないくつかのイオンの分析を行っていないため、分析した成分だけの合計量では、陽イオンと陰イオンのイオン平衡は保たれていない。また、酸根と塩基は一定の解離度のもとにイオン化しているが、便宜的な表現の方法として、土壤溶液中の酸根、塩基はそれぞれ陰イオン、陽イオンの形であらわすこととした。

## (2) 第2ステップ

用いた肥料のそれぞれの生理的反応に応じて酸性化している第1ステップの第16作キャベツ跡地の各区を、化学肥料単用(O処理), 石灰施用(Ca処理), 堆肥施用

(C処理), 石灰・堆肥施用(Ca・C処理)の4処理に細区分し、栽培試験を行った結果を表I-5に示す。用いた堆肥はわらを主体に、少量の窒素源(石灰窒素)を加えて腐熟させた速成堆肥で、毎作  $1t/10a$ 相当量を作成施用した。石灰施用は、pH(KCl)6.0に矯正するのに必要量を施用したが、一回で全量施用するとあまり多量になるため、第17作バレイショ作付前と、第18作キャベツ作付前の2回に分けて施用した。

第17作バレイショの収量に及ぼすCa処理の効果は、土壤酸性化の著しいS, Cl両区でもそれほど大きなものとはならず、U区では効果が乏しく、CN区の場合はCa処理によりかえって減収した。このことは、バレイショがアルカリ性を嫌う作物であることに加え、前出表I-4で明らかなように、第1ステップにおける溶脱過程でMgが減少し、Ca処理の結果  $Ca/Mg$ 比が著しくCa側に偏したことによるものと思われる。バレイショに対するC処理の効果は高く、また、C処理と併用すればCa処理の効果も高まるところから、堆肥施用によってMgその他の溶脱成分が補われ、Ca処理効果を抑制していた因

表I-5 各作物の収量: 第2ステップ

 $t/10a$ 

作物 区、処理		第17作 バレイショ	第18作 キャベツ	第19作 ハクサイ	第20作 キャベツ	第21作 コムギ
S	O	2.56	2.42	4.80	4.35	0.07
	Ca	3.02	2.03	5.00	4.22	0.24
	C	3.13	2.73	5.15	5.15	0.19
	Ca・C	4.27	2.93	7.05	5.31	0.26
Cl	O	2.31	2.43	3.90	3.58	0.02
	Ca	2.92	1.73	4.15	2.58	0.19
	C	3.73	2.57	5.45	5.36	0.20
	Ca・C	4.42	2.73	7.00	4.45	0.28
U	O	3.05	3.07	5.90	4.99	0.20
	Ca	3.14	3.15	7.40	4.62	0.27
	C	4.27	3.60	7.05	5.16	0.26
	Ca・C	4.66	3.66	7.55	5.30	0.29
CN	O	3.66	3.40	6.40	3.04	0.22
	Ca	3.27	3.53	5.75	3.83	0.22
	C	3.89	3.69	7.30	3.83	0.29
	Ca・C	4.07	3.67	6.25	4.62	0.29

子が軽減されたことがうかがわれる。

表I-6, I-7は、第2ステップ各作跡地土壤ならびに土壤溶液の分析結果を示したものであるが、第17作

バレイショ跡地作土の分析値は、上記推測をおおむね裏付けるように、Ca処理のpH(KCl)が目標値の6.0より未だかなり低く、かつ置換性のCa/Mg比が著しく高

表I-6 各作跡地土壤分析成績：第2ステップ

作土: 0~15cm

作, 項目		第 17 作				第 18 作			
区, 処理		pH(KCl)	Y <sub>1</sub>	Ex-Ca	Ex-Mg	pH(KCl)	Y <sub>1</sub>	Ex-Ca	Ex-Mg
S	O	4.15	10.4	4.5 me	0.1 me	4.15	11.4	4.7 me	0.1 me
	Ca	5.30	1.1	11.7	0.1	6.05	0.4	19.2	0.2
	C	4.20	10.2	4.8	0.4	4.25	10.9	5.0	0.5
	Ca・C	5.40	0.9	13.4	0.4	6.10	0.3	22.0	0.5
Cl	O	4.15	9.8	4.1	0.1	4.20	9.0	4.0	0.1
	Ca	5.30	1.2	12.5	0.1	6.15	0.5	21.3	0.3
	C	4.15	8.2	4.9	0.5	4.25	8.0	5.1	0.6
	Ca・C	5.45	0.8	13.6	0.6	6.30	0.2	23.2	0.6
U	O	4.40	2.4	7.9	0.6	4.40	2.5	8.0	0.5
	Ca	5.35	1.1	15.0	0.9	5.95	0.6	22.4	1.0
	C	4.45	2.4	8.3	0.5	4.35	2.0	8.2	0.9
	Ca・C	5.40	0.8	15.6	1.3	6.10	0.5	23.0	1.3
CN <sub>a</sub>	O	4.90	0.6	11.9	0.5	4.80	0.7	12.5	0.6
	Ca	5.25	0.4	14.0	0.6	6.65	0.1	25.4	0.6
	C	4.85	0.6	12.2	0.5	4.75	0.7	11.5	0.7
	Ca・C	5.20	0.4	13.5	1.1	6.40	0.1	24.6	1.1

作, 項目		第 19 作				第 20 作			
区, 処理		pH(KCl)	Y <sub>1</sub>	Ex-Ca	Ex-Mg	pH(KCl)	Y <sub>1</sub>	Ex-Ca	Ex-Mg
S	O	4.3	11.5	4.5 me	0.1 me	4.3	12.5	4.1 me	0.1 me
	Ca	6.2	0.2	18.9	0.2	5.8	0.3	17.2	0.1
	C	4.2	10.1	5.7	0.4	4.3	10.9	5.0	0.5
	Ca・C	5.9	0.6	20.6	0.5	5.4	0.6	16.5	0.4
Cl	O	4.2	7.5	4.1	0.1	4.3	10.2	3.7	0.1
	Ca	6.4	0.1	19.1	0.2	5.7	0.2	17.1	0.3
	C	4.3	8.3	4.5	0.4	4.3	9.5	4.0	0.5
	Ca・C	5.9	0.5	19.2	0.4	5.5	0.5	16.2	0.5
U	O	4.5	2.0	8.6	0.5	4.5	3.1	8.1	0.4
	Ca	6.1	0.2	20.1	0.6	5.9	0.2	18.7	0.7
	C	4.3	1.9	9.2	1.4	4.7	2.3	8.5	1.1
	Ca・C	6.1	0.2	20.9	1.6	5.6	0.2	18.0	1.2
CN	O	4.9	0.8	11.6	0.7	5.0	0.5	13.2	0.6
	Ca	6.5	0.1	23.0	0.6	5.9	0.1	21.8	0.7
	C	4.8	1.0	11.0	0.7	4.9	0.6	11.2	0.6
	Ca・C	6.6	0.1	23.5	0.9	5.9	0.2	21.0	1.0

表 I - 7 各作跡地土壤の EC と土壤溶液中  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  : 第 2 ステップ

作土: 0 ~ 15 cm

区, 処理	作, 項目	各作跡地 EC (1 : 5)				第 18 作跡地土壤溶液中	
		第 17 作	第 18 作	第 19 作	第 20 作	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{NO}_3^-$
S	O	0.4	0.6	0.3	0.3	1.5	1.0
	Ca	0.7	1.1	0.7	0.6	1.8	1.5
	C	0.3	0.5	0.4	0.4	1.4	1.1
	Ca・C	0.4	0.6	0.5	0.4	1.4	1.2
Cl	O	0.3	0.5	0.4	0.4	1.7	1.3
	Ca	0.9	1.3	0.8	0.7	2.1	2.0
	C	0.3	0.4	0.4	0.3	1.5	1.2
	Ca・C	0.7	0.8	0.4	0.4	1.8	1.5
U	O	0.3	0.4	0.3	0.4	1.2	0.8
	Ca	0.5	0.7	0.6	0.4	1.3	1.1
	C	0.3	0.3	0.3	0.3	1.2	0.9
	Ca・C	0.4	0.5	0.4	0.3	1.2	0.9
CN	O	0.4	0.5	0.4	0.3	1.0	0.5
	Ca	0.6	0.6	0.7	0.5	1.2	0.7
	C	0.4	0.4	0.5	0.5	0.9	0.6
	Ca・C	0.4	0.5	0.4	0.3	1.1	0.5

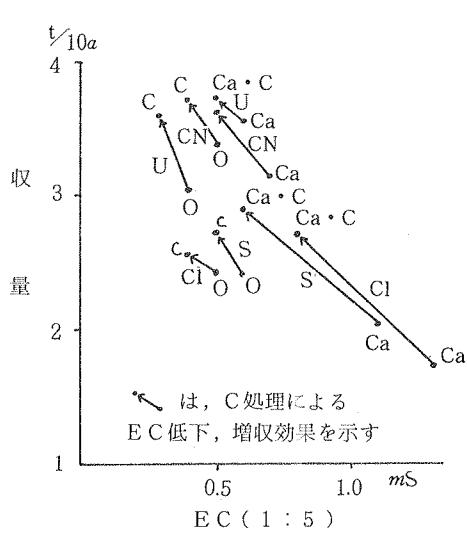
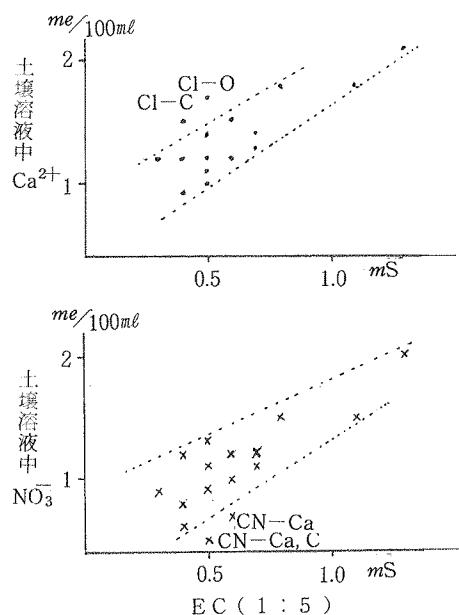
注) EC は  $m\text{S}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{NO}_3^-$  は  $me/100ml$ 土壤溶液は酸性フクシン液置換法で採取 ( $p\text{F} \neq 1.5 \sim 2.7$ )

図 I - 5 第 18 作キャベツ収量と跡地作土の EC

図 I - 6 第 18 作跡地作土 EC と  
土壤溶液  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$

くなっている。Ca処理にC処理が加わることによって、 $\text{Ca}/\text{Mg}$ 比は改善された。

所定のCa処理を完了した第18作キャベツ跡地は、表I-6に示したように、Ca処理によりpH(KCl)は6を上回り、Y<sub>1</sub>は1以下になったが、キャベツの収量はCa処理によってS区、C1区ではかえって減少、U区では変らず、CN区でわずかに増加し、前作バレイショで曲りなりにも効果がみられたこととは対照的な結果となった。第18作キャベツ跡地の塩基状態は、Ca処理による置換性Caの増加と $\text{Ca}/\text{Mg}$ 比の極端な増大を示しているほか、表I-7のECも、第18作跡地では、S区Ca処理とC1区Ca処理で目立って大きくなっている、これらのことと収量低下の主因になったと考えられる。

土壤溶液の組成は、窒素施肥量が同じであるにもかかわらず、Ca処理によって、 $\text{Ca}^{2+}$ とともに $\text{NO}_3^-$ 濃度も上昇しており、Ca処理によって、土壤のN無機化→硝酸化成が促進されたことがうかがわれる。

S、C1両区のC処理は収量に有効で、Ca処理と併用するとさらに収量は向上するが、U、CN両区ではこれらの効果は比較的小さい。このようなC処理の効果は、跡地のECとよく対応しており、Ca処理だけではECが高まって収量が阻害されるが、C処理はECの上昇を防ぎ、C処理とCa処理の併用によって、濃度障害を防ぎながら、Ca施用効果を有効に機能させることができることが見出された。

S、C1両区のC処理、Ca・C処理が収量に及ぼす効果は、上述のようなECあるいは土壤溶液濃度の抑制ばかりでなく、Mgその他溶脱成分の補給もその要因のひとつと思われるが、図I-5に示すように、C処理が土壤溶液中の $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 濃度抑制に及ぼす効果は明白で、この点がC処理による第18作キャベツ増収の主因と考えても、大きな誤りはないようと思われる。

また、図I-6によれば、ECと土壤溶液の $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 濃度との間には、おおむね一次の正相関がみられるが、土壤の溶脱傾向の強いC1区のO、C両処理では、ECに比して土壤溶液の $\text{Ca}^{2+}$ 濃度が高く、土壤の残存塩基の多いCN区のCa、Ca・C両処理では、ECに比して土壤溶液の $\text{NO}_3^-$ 濃度が低い。前者の原因是、土壤溶液中に $\text{Ca}^{2+}$ 以外の陽イオンが乏しいため、陽イオン組成に対するCaの寄与率が他区、他処理より高いことにあると思われ、後者の原因是、多量に存在する $\text{Ca}^{2+}$ に捕捉された $\text{SO}_4^{2-}$ の一部が土壤溶液中に溶出し、 $\text{NO}_3^-$ の陰イオン組成への寄与率を低めたためと考えられる。

第18作キャベツ跡地に対する以上の結果を総括すると、

① 極度に溶脱の進んだS区、C1区に、酸度矯正のために石灰質資材を多用すると、施肥窒素に由来する $\text{NO}_3^-$ -Nの集積とあいまって、土壤溶液の $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 濃度が急上昇し、作物に塩類濃度障害を及ぼす。

② この障害は、堆肥施用によって軽減される。堆肥を施用した場合の土壤溶液には、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 濃度の低下が認められる。

第18作キャベツにおけるこれらの傾向は、第19作ハクサイ、第20作キャベツにも同様に受け継がれ、各作跡地の塩基組成、pH、Y<sub>1</sub>も第18作跡地とあまり変わらない形で推移した。しかし、ECが著しく高かったS区及びC1区のCa処理は、第19作、第20作と作を追ってECが次第に低下し、第20作跡地ではほぼ正常域に近づいた。

第21作コムギは酸性に弱く、かつCa処理による $\text{Ca}/\text{Mg}$ 比の偏りや土壤溶液濃度上昇の影響がうすらいできたこともあって、Ca処理の効果がそのままあらわれた。

### 3. 露地野菜畠土壤に対する施肥負荷の影響（その2）

前節2で述べたように、極度に塩基の溶脱した野菜畠土壤に石灰質資材を多用すると、窒素多肥とあいまって、土壤溶液中に多量の $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$ が溶存し、作物に塩類濃度障害を及ぼす。

このような極端な負荷を土壤に及ぼさないようにするために、土壤から溶脱する塩基量を最小限にとどめ、かつ必要な施肥量を確保できるよう、ECをめやすに施肥量を適宜減らし、あわせて塩基も少量ずつ絶えず補給しつつ野菜の輪作を続けた場合、それでもなお土壤に加わる負荷と作物への影響、及びこの場合の堆肥施用にどのような意味があるかを知るため、一連の長期輪作試験を行った。

#### 1) 試験材料及び方法

この試験の実施にあたっては、上述のような土壤への負荷を必要最小限にとどめる水準の施肥を生産現場で実際に行いながら、年間5～6作の作付ひん度で、長年月にわたって軟弱野菜類の安定生産を続けている東京都江戸川区の荒川沖積土畠作地帯の土壤を対象とし、この地帯の中枢に位置する東京都農業試験場江戸川分場内の圃場を用いた。

現地で続けられている栽培状況を再現するため、上記

圃場に、コマツナ、シュンギク、サラダナ、ホウレンソウの4種類の軟弱野菜を連作あるいは輪作し、各作物の収量と跡地土壤の化学性を調査した。

試験の第1ステップとして、第1作～第12作の間は、

毎作N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>O各20kg/10a（全量元肥、全面施用）の多肥栽培を続け、各作物の生育低下傾向が明らかとなつた第13作以降は、第2ステップとして、施肥節減と塩基補給を行いつつ、第26作まで栽培を続けた。さら

表 I-8 試験圃場の土壤条件（試験前）

層位、深さ	断面の概要	CEC me	飽和度%		pH (KCl)
			Ca	Mg	
1.0 ~ 12 cm	作土、弱Gn, ち密度14, 土性SCL, 腐植含	24.5	65.1	9.7	5.7
2.12 ~ 40	Ms, ち密度21, 土性SCL, 腐植含	23.2	56.0	6.2	5.1
3.40 ~	Ms, 弱グライ化, 溢水面60~25cm(季節変動)	—	—	—	—

表 I-9 試験区と作付内容

試験区	作付体系(6作1サイクル)					
	1作目	2作目	3作目	4作目	5作目	6作目
連作区	コマツナ	—	—	—	—	→
	シュンギク	—	—	—	—	→
	サラダナ	—	—	—	—	→
	ホウレンソウ	—	—	—	—	→
A	サラダナ	シュンギク	ホウレンソウ	コマツナ	サラダナ	シュンギク
B	ホウレンソウ	コマツナ	シュンギク	サラダナ	ホウレンソウ	コマツナ
C	コマツナ	ホウレンソウ	サラダナ	シュンギク	コマツナ	サラダナ
D	シュンギク	サラダナ	コマツナ	ホウレンソウ	シュンギク	ホウレンソウ

表 I-10 作付、施肥経過

第1ステップ			第2ステップ			第3ステップ					
作	栽培期間	N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O 各kg/10a	作	栽培期間	N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O 各kg/10a	作	栽培期間	N, P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , K <sub>2</sub> O 各kg/10a	苦土石灰 kg/10a	堆肥(施用区のみ) kg/10a	
1	44年10月~12月	20	13	47.4~5	10	200	27	50.4~5	10	200	4000
2	44.12~45.3	"	14	47.6~7	15	—	28	50.6~7	"	—	"
3	45.3~5	"	15	47.7~8	15	100	29	50.7~8	"	200	"
4	45.6~7	"	16	47.9~10	15	—	30	50.9~10	"	—	"
5	45.7~9	"	17	47.11~48.2	7	200	31	51.3~5	"	—	"
6	45.9~10	"	18	48.3~5	10	—	32	51.6~7	"	200	"
7	45.10~46.2	"	19	48.5~6	"	100	33	51.8~9	"	—	"
8	46.4~5	"	20	48.7~8	"	100	34	51.10~11	"	—	"
9	46.5~6	"	21	48.9~10	"	100	35	52.5~6	"	200	"
10	46.7~8	"	22	48.11~49.3	"	—	36	52.7~8	"	—	"
11	46.8~10	"	23	49.4~5	"	—	37	52.9~10	"	—	"
12	46.11~47.3	"	24	49.6~8	"	—					
			25	49.8~10	"	—					
			26	49.11~50.2	"	—					

に第3ステップとして、第27作より堆肥施用区と無堆肥区に分けて、第37作まで栽培して試験を終了した。第1及び第2ステップは無堆肥で栽培した。

圃場の土壤条件は、荒川沖積植土の上に、新中川掘削時の河成砂質土を客土し、天地返しをしてから約20年間野菜畑として使用してきたもので、その概要は表I-8に示すところである。

1区5.5m<sup>2</sup>、3連制、巾1mの栽培ベッドにサラダナは20cm×20cmの移植栽培、他の3作物はくわ巾3条の直播栽培を行った。肥料は硫安、過石、硫加を用い、全面施用して深さ15cmに混合、堆肥を施用する場合は同様に全面施用とした。

試験区は表I-9のとおりで、作付経過、施肥経過は表I-10に示す。第2ステップにおける施肥調節のめやすは、EC(1:5)が0.5mSをこえない施肥量にすることとし、塩基補給のめやすは、pH(KCl)が5.5～6.0を

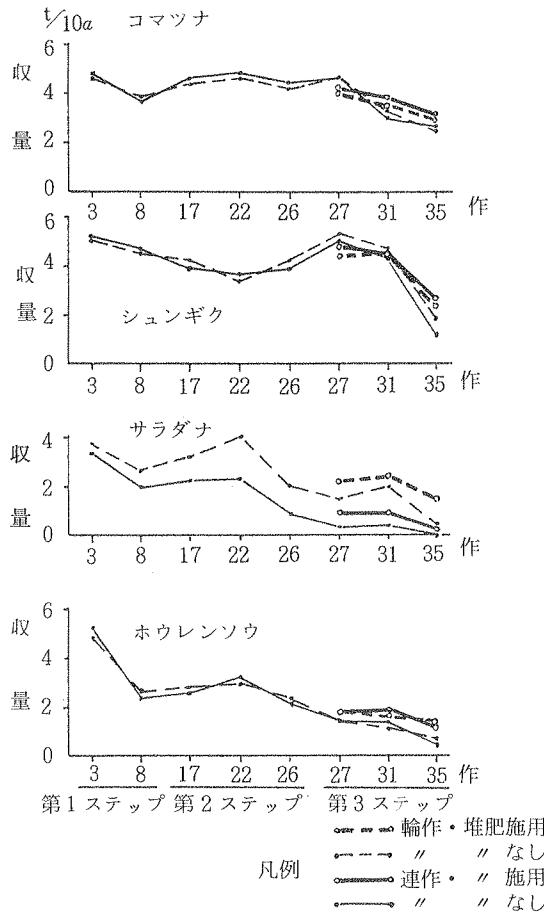
保つこととした。

使用した堆肥は、わらを主とした屠畜場のきゅう肥を約6カ月間堆積腐熟させたもので、水分70%，T-N 0.39%（現物中），C/N 20，P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.63%（現物中），K<sub>2</sub>O 0.12%（現物中）である。

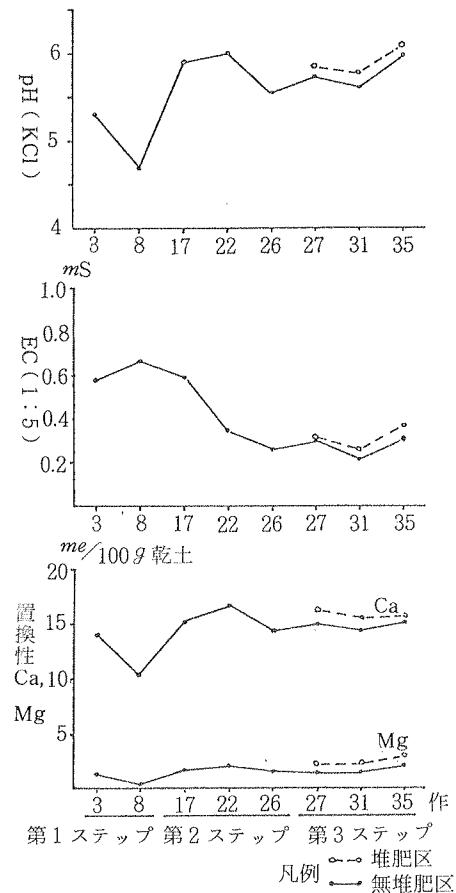
## 2) 試験結果ならびに考察

各ステップにおける収量の推移を図I-7に示す。供試した各作物の収量は、季節や降雨状況などによって毎作大きく変動するので、年間を通じて最高の収量を挙げた作の収量を、土壤以外の各種生育阻害要因の干渉がもっとも小さいものとみて、その年における標準収量として図示した。また、同図には、第3ステップにおける堆肥施用の効果をあわせて示した。

第1ステップの初年目（第3作）と2年目（第8作）では、各作物とも2年目の収量が明らかに低下した。各



図I-7 収量の年次推移  
(各年における最高収量を挙げた作の収量を示す)



図I-8 跡地土壤分析値の推移

作跡地の土壤分析値を示した図I-8をみると、2年目の第8作ではpH低下、EC上昇、塩基溶脱（とくにMgの減少）が認められ、化学肥料多施用による負荷が収量低下の原因であったことが知られる。

塩基補給、施肥節減を実施し、化学肥料による負荷の軽減をはかった第2ステップでは、図I-8にみられるおり、pHと塩基はほぼ一定の範囲に保たれたが、ECは次第に低下した。図I-7で明らかなように、第2ステップのコマツナの収量は、第1ステップ初年目（第3作）の収量水準近くまで回復したが、ホウレンソウの収量はわずかに回復したにとどまり、シュンギクの収量は第1ステップ2年目（第8作）より更に低い水準で推移した。この間、これら3作物の連作区と輪作区の収量差は認められないが、サラダナの場合は連作区と輪作区の収量差が作（年）を追って大きくなり、第2ステップの1～2年目（第17～22作）には、輪作区の収量は当初の収量水準近くまで回復したものの、連作区の収量はほとんど回復しなかった。第2ステップ3年目（第26作）には、輪作区、連作区ともサラダナの収量は著しく低下し、サラダナは年1作程度の輪作でも、5年くらいで明らかな収量低下を来すことが知られた。

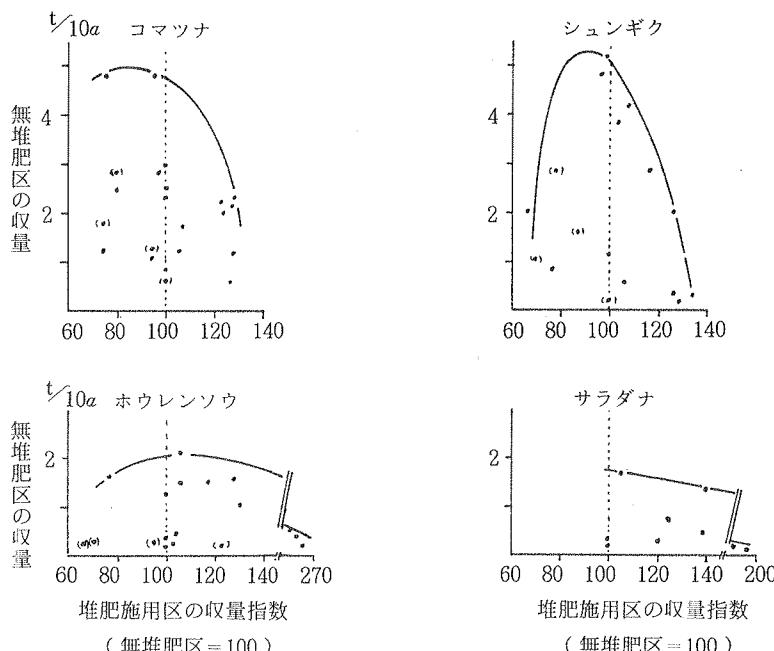
サラダナの連作害の原因是、菅田ら<sup>75)</sup>の調査により、フザリウム菌による根腐れ病の発生によるものであることが判明している。

サラダナ以外の3作物の、第2ステップにおける収量回復状況のちがいは、連作害ではなく、EC低下に対する感受性の差によるものと考えられ、収量回復のはかばかしくないシュンギク、ホウレンソウの場合は、土壤への負荷を軽減するための施肥節減が、施肥不足へつながったものとみられる。

堆肥施用区を設けた第3ステップでは、堆肥施用により、塩基溶脱防止、pH低下防止効果が認められ、あわせてECの上昇がみられる（図I-8）。その結果、堆肥施用によるEC上昇の巾が大きくなった第3ステップ3年目（第35作）には、図I-7にみられるように、各作物とも収量向上に及ぼす堆肥施用の効果が明らかになった。

また、サラダナに対しては、堆肥施用効果は他作物にくらべ、きわめて明白であるが、これは前述のフザリウム菌による根腐れ病<sup>75)</sup>の発生軽減に、堆肥施用が寄与した結果と思われる。

第3ステップ各作（第27作～第37作）における無堆



図I-9 無堆肥区の収量水準と堆肥施用効果  
(\*)は干害、湿害を受けたとみられる場合)

肥区の収量と、これに堆肥を施用した場合の堆肥施用区の増収程度（無堆肥を100とした収量指数）との関係を図示すると、図I-9のようになる。どの作物も、無堆肥区の収量が充分高い場合は、堆肥施用区の収量指数が100前後ないしそれ以下で、堆肥施用効果はみられないが、無堆肥区の収量水準が低い場合は、サラダナではほとんどすべての場合に堆肥は有効であったが、他の3作物では、堆肥が有効である場合と、かえって収量を低下させる場合とがあった。堆肥施用がかえって収量を低下させた事例の大部分は、気象的原因による土壤の過湿、過乾、及びカミキリムシによる食害で、気象条件が順調で、かつカミキリムシの発生が少ない場合で低収となっ

ているケース、すなわち土壤的要因が低収の主因となっているケースでは、ほとんどの場合、堆肥施用は収量を高めるのに役立った。

つぎに、土壤の理化学性に及ぼす堆肥の効果についてみると、前出図I-8に示した塩基溶脱防止、EC上昇効果に加えて、表I-11に示す物理性改善（孔隙増加、保水性向上）効果、及び表I-12に示す化学生改善（pH、ECの適範囲への上昇と安定化）効果が認められる。pHとECについては、各地点の平均値が堆肥施用によって適正域へ高まるばかりでなく、地点間のバラツキが小さくなり、有機物施用による土壤の緩衝能の増大を指摘した小林の報告<sup>66)</sup>と同様、堆肥の施用が土壤の緩衝能を高

表I-11 第34作跡地の物理性に及ぼす堆肥の効果

処理	三相 %			孔隙量 %	容積重		水分 %
	固	液	気		原土	乾土	
無堆肥	50	26	24	50	166	140	15.7
堆肥	38	28	34	62	130	102	21.5

表I-12 跡地土壤のpH、ECに及ぼす堆肥の効果

試料	処理	pH (KCl)			EC (1:5) mS		
		m ± S	max	min	m ± S	max	min
27~34作跡地 n = 8	無堆肥	5.5 ± 0.5	6.5	5.3	0.17 ± 0.05	0.25	0.10
	堆肥	6.0 ± 0.3	6.6	5.6	0.20 ± 0.03	0.24	0.15
34作各区跡地 n = 32	無堆肥	5.3 ± 0.4	6.3	4.6	0.15 ± 0.05	0.26	0.10
	堆肥	5.9 ± 0.2	6.2	5.2	0.18 ± 0.02	0.20	0.16

表I-13 各作物の成分含有率（地上部乾物中%）

作	成分	コマツナ		ホウレンソウ		シャンギク		サラダナ	
		無堆肥	堆肥	無堆肥	堆肥	無堆肥	堆肥	無堆肥	堆肥
32	T-N	3.18	2.98	4.14	3.94	4.22	4.04	3.61	3.52
	NO <sub>3</sub> -N	0.47	0.43	0.48	0.47	1.17	0.92	0.44	0.49
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1.79	1.58	1.53	1.55	1.67	1.58	1.46	1.45
	K <sub>2</sub> O	5.20	6.80	9.60	10.40	9.20	9.80	7.60	7.60
	CaO	3.75	4.37	2.12	2.63	2.07	2.13	2.35	2.52
	MgO	0.64	0.69	2.08	2.20	0.68	0.72	0.98	1.04
34	T-N	4.44	4.73	5.49	5.63	4.94	5.32	4.05	4.08
	NO <sub>3</sub> -N	0.46	0.51	0.43	0.54	1.10	1.53	1.16	1.23
35	T-N	5.09	5.56	5.05	5.28	5.07	5.13		
	NO <sub>3</sub> -N	0.35	0.60	0.20	0.33	0.32	0.43		
36	T-N	5.21	5.47	5.07	5.25	4.70	4.65	4.69	4.68
	NO <sub>3</sub> -N	0.55	0.65	0.19	0.23	0.30	0.28	0.17	0.34

めることが確かめられた。

さらに、第3ステップにおける堆肥施用区と無堆肥区の、作物の乾物中成分含有率を表I-13によってみると、第3ステップ2年目の第32作の時点では、堆肥施用区の塩基類の含有率がやや高まって、堆肥による塩基の吸着・溶脱防止の効果がうかがわれるが、NとP<sub>2</sub>O<sub>5</sub>には、明らかな差はみられない。その後の第34作以降は、堆肥施用によるN含有率向上が認められており、堆肥施用区のEC上昇は無機窒素の放出が主因で、このことが作物の増収に結びついたと考えられる。

以上の結果を、前節の化学肥料高負荷の場合と比較すると、まず第1に、高負荷では塩基のはげしい溶脱を補うための石灰質資材の多用と、窒素多施用によって、土壤溶液のCa<sup>2+</sup>とNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の濃度が著しく高まり、作物に塩類濃度障害を及ぼしたのに対し、本節における低負荷の場合のように、土壤の塩基状態に急激なストレスを与えないレベルの窒素施肥では、コマツナ以外の供試作物にとってはやや施肥不足となり、充分な収量を確保できなかつた。

第2に、堆肥の施用効果は、高負荷の場合は、直接的には土壤溶液中の塩類濃度の上昇抑制による収量の回復であったが、低負荷の場合には、窒素の無機化・放出と塩基溶脱防止が収量回復の主因であった。

#### 4. 施設栽培土壤に対する施肥負荷の影響

前節2、3で述べたように、露地畑においても、多肥

条件下では塩類集積によって作物に塩類濃度障害を及ぼす可能性があるが、ビニールハウスや温室など、降雨による溶脱を受けない施設栽培土壤では、露地畑土壤より塩類集積傾向がはるかに強く、塩類集積といえばまず施設栽培土壤が想起されるのがふつうである。

施設栽培土壤における塩類の動向は、施肥、作物による吸収、及び土壤水分の運動方向によって決定されるが、露地畑とちがって、蒸発量が灌水量よりずっと多いので、土壤水分は上昇傾向が強く、表層土壤に水溶性塩類が集積する。<sup>76~78</sup>

このような塩類集積の動態を把握し、土壤溶液への影響を明らかにするため、経過年数別にビニールハウス（野菜作主体）土壤を調査した。

##### 1) 調査対象及び方法

東京都田無市の、厚層腐植質黒ボク土に立地するビニールハウス4カ所（表I-14）を対象とした。調査時期は3月（作付前）、4月（作付直後）、6月（生育途中）、8月（休閑期）、11月（休閑期）の5回で、ハウスならびに隣接露地畑土壤の断面調査を行うとともに、土壤を20cmごとに深さ60cmまで、畦間、株間よりそれぞれ等量採取、混合縮分して分析試料とした。これとは別に、100mL容採土円筒に、表層（0~20cm）土壤を採取し、土柱法でpH1.5としたのち、前節1で述べた方法（前出図I-1参照）によって、土壤溶液を置換採取し、分析した。

各成分の分析方法は、前節2と同様である。

表I-14 調査ハウスの概要

ハウス記号	前 作				現 在	備 考
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	堆		
A <sub>1</sub>	キュウリ→レタス→トマト→キク→				トマト	5作（3年目）
A <sub>2</sub>		トマト→フリージア→			トマト	3作（2年目）
B			フリージア→		トマト	2作（2年目）
C					トマト	1作（初年目）

ハウス記号	a 当施用量 (Kg)				使 用 肥 料	備 考
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	堆		
A <sub>1</sub>	4	5	3	400	高度化成・熔磷・堆肥（鶏糞）	
A <sub>2</sub>	4	5	3	400	同 上	各ハウスとも年間ビニール被覆、ただしA <sub>2</sub> のみ9~11月の間ビニール破損のため雨水にさらした。
B	4	4	3	400	高度化成・油粕・ワラ灰・堆肥（鶏糞）	
C	4	4	3	350	高度化成・堆肥（鶏糞）	

表 I-15 調査ハウスと隣接畑の土壤断面

調査対象	深さ cm	土性	土色	構造	ち密度 mm	◎	湿り
ハウス A <sub>1</sub>	0~40	Li C	5.0 YR 2/2	gn (gn)	12~15 15	なし 〃	乾
	40~60		2/2.5				半乾
ハウス A <sub>2</sub>	0~20	〃	2/2	gn (gn)	15	〃	乾
	20~60		3/2				半乾
畠 A	0~20	〃	2/2	gn (gn)	10 10~12	〃	半乾
	20~60		2/2				半乾
ハウス B	0~20	〃	2/2	gn (gn)	12 15	〃	乾
	20~60		2/2.5				半乾
畠 B	0~40	〃	2/2	gn ~ (gn) (gn)	11~14 13	〃	半乾
	40~60		2/2.5				半乾
ハウス C	0~40	〃	7.5 YR 2/2	gn ~ (gn) (gn)	12~14 14	〃	乾~半乾
	40~60		2/2.5				半乾
畠 C	0~40	〃	2/2	gn ~ (gn) (gn)	11~13 15	〃	半乾
	40~60		2/2				半乾

(8月14日調査)

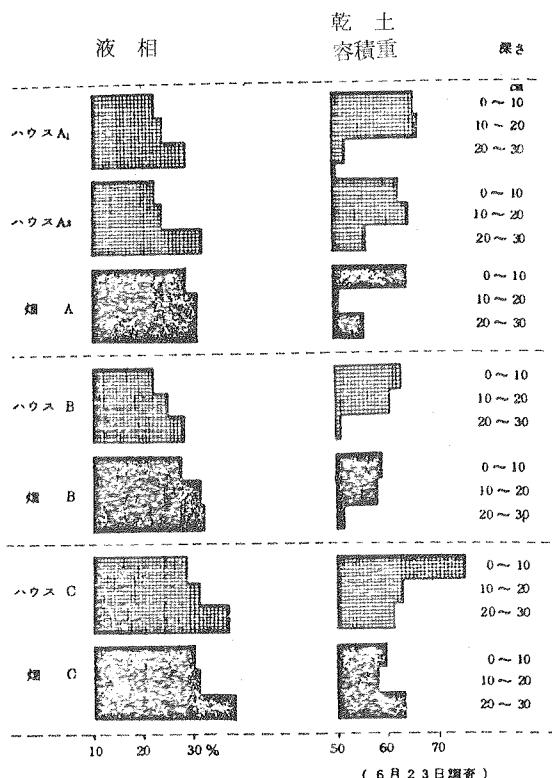


図 I-10 液相と容積重

## 2) 調査結果ならびに考察

## (1) 土壌断面と3相分布

ハウス、隣接畠とも、表 I-15 に示すとおり、基本的な断面形態は同様で、いずれも厚層腐植質黒ボク土の特徴がよくあらわれている。ハウスと隣接畠では3相分布の特徴がやや異なり、図 I-10 のように、ハウス土壌は地表から 0~40 cm の部分が概して畠土壌より乾燥し、容積重も大きくなっている。すなわち、ハウス土壌における乾燥の影響は地表から 40 cm くらいの深さまで及び、この部分では乾燥による土壌の収縮が固相率あるいは容積重の増大となってあらわれている。

## (2) 置換性塩基の動き

ハウス土壌の置換性塩基の動向を、調査時期別に隣接畠土壌と比較した結果を、図 I-11 及び I-12 に示す。まず図 I-11 によって置換性 Ca の動向をみると、5 作を経過したハウス A<sub>1</sub> では、3 月の時点ですでに隣接畠を上回る Ca 含量を示しているが、その他のハウスでは、この時期にはまだ隣接畠との差は明らかではない。その後、盛夏へ向って水分蒸発が盛んになると、各ハウスとも隣接畠にくらべて Ca 含量が高まり、6 月以降はすべてのハウスで Ca 集積傾向が明らかになった。ハウスと隣接畠の Ca 含量の差は、6 月→8 月→11 月と次第に大きくなり、しかも経歴の古いハウスほど Ca 集積傾向は強くあらわれた。

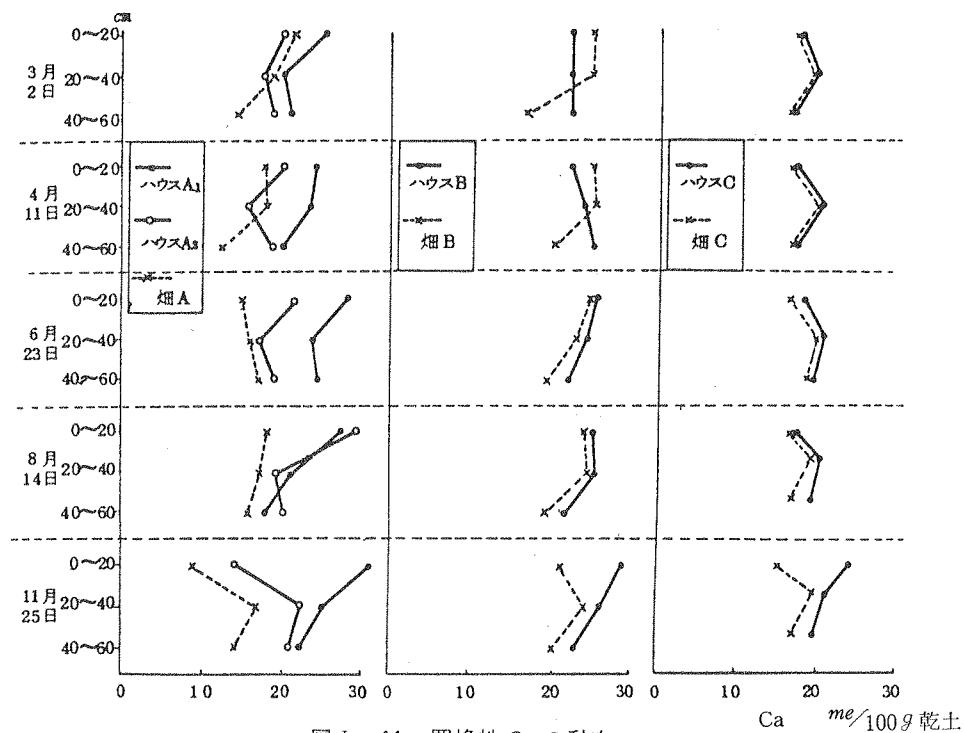


図 I-11 置換性 Ca の動向

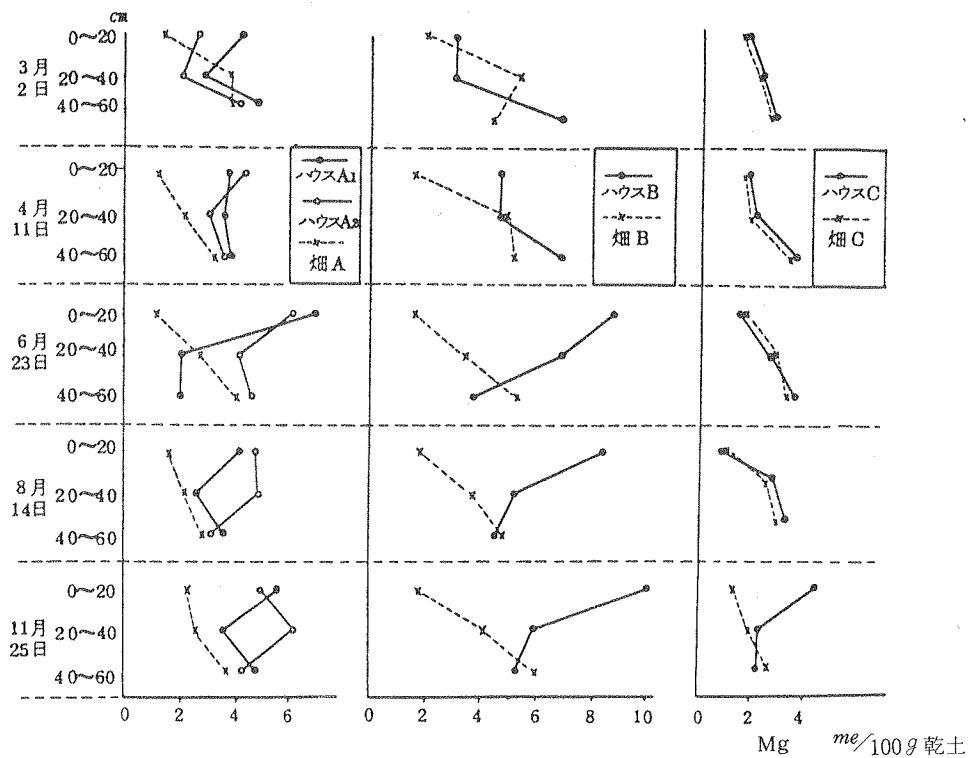
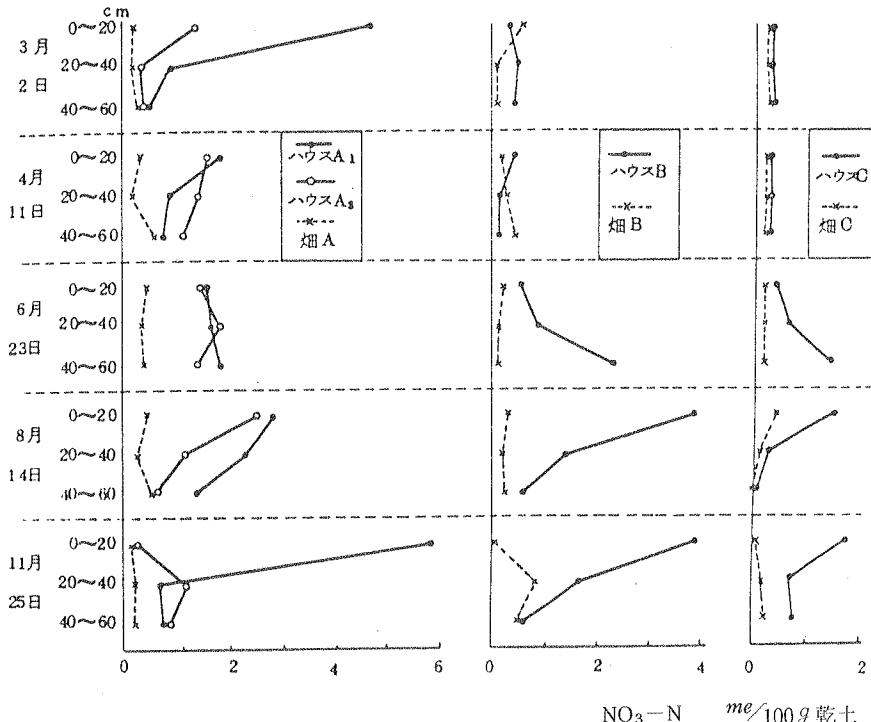


図 I-12 置換性 Mg の動向

図I-13 NO<sub>3</sub>-Nの動向

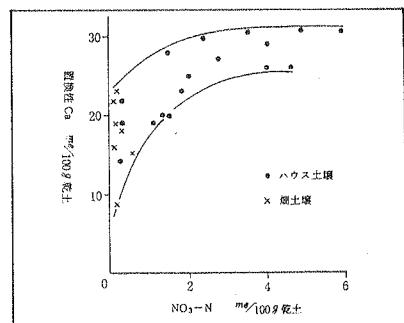
ハウス土壌における置換性Mgの集積傾向はCaよりも明らかで(図I-12), ハウスA<sub>1</sub>は3月から, ハウスA<sub>2</sub>とBは4月から, 新設のハウスCでも11月には隣接畑より明らかにMgが多くなっている。

このような塩基の動向が, 土壌溶液中の陰イオン, ときにNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の影響を受けたものであることは, すでに良く知られているところである。<sup>34~36, 40~42)</sup>そこで, 土壌中のNO<sub>3</sub>-Nの消長を時期別に追跡し, 図I-13の結果を得た。同図にみられるように, ハウス土壌には多量のNO<sub>3</sub>-Nが集積し, しかも調査時期と経過年数による差が著しい。すなわち, 5作を経たハウスA<sub>1</sub>は3月の時点ですでにNO<sub>3</sub>-Nが多量に集積しており, 4月には作付とともに灌水の影響で一時減少するが, 6~8月には水分蒸発とともに下層から表層への集積傾向が強まり, 11月には極端な表層集積が認められる。他のハウスも月を追ってNO<sub>3</sub>-Nの集積傾向が強まっているが, ハウスA<sub>2</sub>は9月の台風期にビニールが破損したため, 降雨によるNO<sub>3</sub>-Nの流亡がおき, 11月にはNO<sub>3</sub>-Nが減少した。新設のハウスCにおけるNO<sub>3</sub>-Nの集積量は, 経歴の古い他のハウスよりは少ない。

調査土壌の, 各調査時期における第1層(0~20cm)の置換性Ca量とNO<sub>3</sub>-N量を対比させてみると, 図I-14のように, NO<sub>3</sub>-N 3 me/100g乾土前後までは, 置換性Ca量との間に正の相関性がうかがわれるが, これ以上はNO<sub>3</sub>-Nが増えても, 置換性Ca量には増加がみられない。

### (3) pHとY<sub>1</sub>の動き

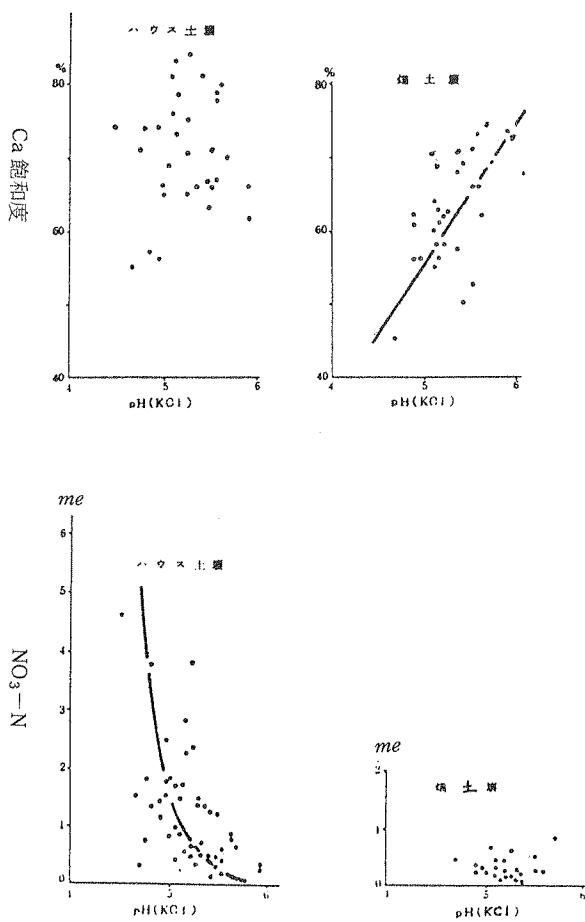
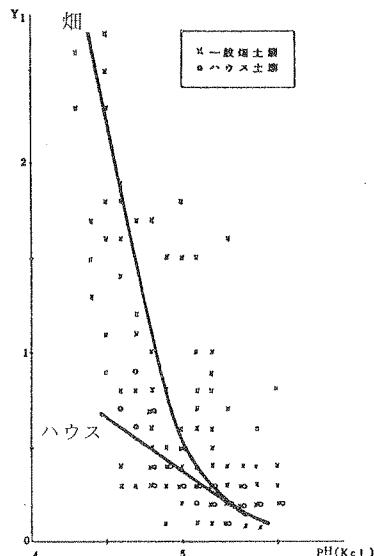
ハウス土壌と隣接畑土壌のpH, Y<sub>1</sub>とCa飽和度,

図I-14 置換性CaとNO<sub>3</sub>-N

$\text{NO}_3-\text{N}$ 量を対比すると、図I-15に示すように、 $\text{NO}_3-\text{N}$ 集積量の少ない畠土壤では、 $\text{pH}(\text{KCl})$ とCa飽和度との間に正相関性が認められるが、ハウス土壤の場合は、 $\text{NO}_3-\text{N}$ の影響が加わるため、 $\text{pH}(\text{KCl})$ とCa飽和度の関係は見かけ上は一定しない。ハウス土壤の場合は、 $\text{pH}(\text{KCl})$ と $\text{NO}_3-\text{N}$ の負相関性の方が、むしろ明らかである。しかし、ハウス土壤では、 $\text{NO}_3-\text{N}$ の集積が著しい場合でも、 $\text{pH}(\text{KCl})$ が4.7以下になることはなかった。この点は、前節2で記述した露地畠のpHの動向と相違しており、溶脱のないハウス土壤では、露地畠土壤にみられる $\text{pH}(\text{KCl})$ 4.2～4.3あるいはそれ以下の弱酸性になることは、ほとんどないように思われる。

また、 $\text{pH}(\text{KCl})$ と $Y_1$ の関係も、ハウス土壤と露地畠土壤では異なり、図I-16のように、同じ $\text{pH}$ の場合には、ハウス土壤の方が $Y_1$ が小さい。

以上から明らかなように、 $\text{NO}_3-\text{N}$ の集積が少なく、かつ塩基溶脱傾向の強い露地畠では $\text{pH}$ の低下と $Y_1$ の著しい増大があらわれやすいが、ハウスの場合は、 $\text{pH}$ の低下は主として $\text{NO}_3-\text{N}$ 集積によるもので、塩基飽和度は高いため、 $\text{pH}$ の低下には一定の限界があり、 $Y_1$ もあまり大きくならない。ハウス土壤のように塩基飽和度の高い場合は、見かけの $\text{pH}$ は低下してもアルミニウムの溶出は少なく、このことが $Y_1$ を高めない原因になっていると思われる。

図I-15 pHとCa飽和度、 $\text{NO}_3-\text{N}$ 図I-16  $\text{pH}(\text{KCl})$ と $Y_1$

## (4) 土壌溶液の組成

酸性フクシン液を用いた置換法で採取した土壌溶液の、カチオン合計濃度 ( $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+$ ) と、アニオン合計濃度 ( $\text{NO}_3^- + \text{Cl}^- + \text{SO}_4^{2-}$ ) はほぼ等しく、それぞれ図 I-17 に示すように、EC との間に極めて高い一次正相関性を有している。また、土壌溶液中の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  の動向は図 I-18 に示すとおりで、5作経過のハウス A<sub>1</sub> と 3 作経過のハウス A<sub>2</sub> では、調査各時期を通じて、 $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  濃度が隣接露地畠を大巾に上回り、かつ表層の高濃度化傾向が強い。2 作経過のハウス B と新設のハウス C は、3~4 月は隣接露地畠と変わらないが、6~8 月の盛夏期になると、隣接畠土壤より明らかに高い  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  濃度を示すようになる。

経時的にみれば、いずれのハウスも 6 月にまず下層の土壌溶液濃度（特に  $\text{NO}_3^-$ ）が高まり、8 月の休閑期には表層の濃度が著しく高まった。

土壌溶液中の  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$  は、それぞれ  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  と同様な動向を示したが、 $\text{SO}_4^{2-}$  はこれらと異なり、陽イオンと陰イオンの荷電量の差を埋め、イオンバランスを保つ形で増減した。

以上のような土壌溶液濃度の動向は、ハウス土壌の表層における塩類集積が、毛管水の上昇に伴って水溶性成分が表層に集中した結果であることを、端的に示している。

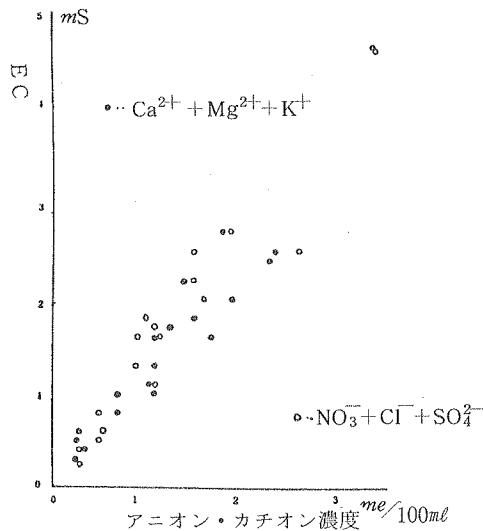
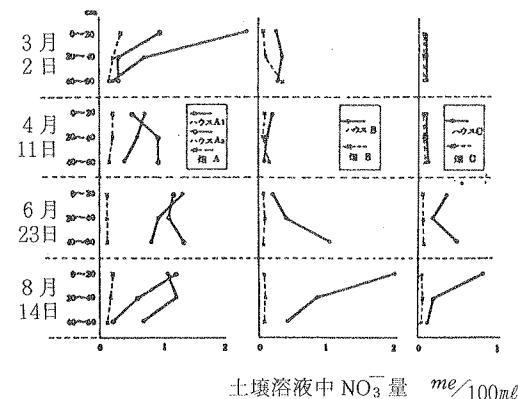
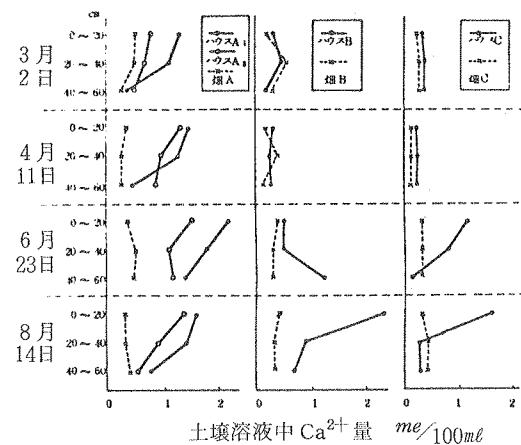


図 I-17 土壌溶液濃度と比電導度

## (5) 塩類集積の影響

ハウス土壌における塩類集積は、山内<sup>35)</sup>が砂丘地土壌で指摘したと同様に、pF 1.5 付近の水分状態からこの傾向が生じる可能性があると思われる。調査した現地ハウスの水分張力は、表層 40 cm 以内では pF 1.5 を常時大巾に上回る状態にあることは、断面の外観や土塊を手のひらで握った触感により、明白であった。

土壌溶液の塩類組成と濃度が作物の生育に及ぼす影響は、水分張力と溶液浸透圧を加えた土壌水分の遊離エネルギー、すなわち水分応力の函数としてあらわされる<sup>79)</sup>

図 I-18 土壌溶液中  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$

が、肥料塩の土壤への添加は水分応力に大きな影響を及ぼし、寺沢の例<sup>80)</sup>によれば、無施肥土壤における水分応力が pF 1.9 であるのに対し、施肥土壤では pF 2.48 に上昇している。

従来、ハウス土壤等における塩類濃度障害についての検討は、主として浸透圧あるいは電気伝導度と、イオンの特異的影響について進められ、水分張力を含めた考察<sup>81)</sup>は必ずしも充分ではなかったようと思われる。

本論文においても、この点に論及できるデータはないが、置換法で採取した調査ハウス土壤溶液の比電導度は、最高値で 4.7 mS、栽培期間中はおむね 2 mS 以下であり、この限りでは作物（トマト）の生育を明らかに阻害する濃度レベル<sup>11)</sup>ではない（え、カチオンのなかで特異的生育阻害をおこしやすい  $Mg^{2+}$ <sup>13, 79, 84)</sup>  $NH_4^+$ <sup>82~85)</sup> もそれほど多くはないにもかかわらず、作付けられたトマトの生育は良好とはいえない状態を示し、経験の古いハウスほど生育は不良であった。このことから、水分張力の高まりやすいハウス土壤では、塩類集積と水分張力増大の両方の要因による水分応力の高まりによって作物の生育が阻害され、これまでの知見<sup>11)</sup>からすれば低集積と思われる塩類濃度でも、生育障害のあらわれることが知られる。

つぎに、ハウス土壤の pH (KCl) については、この調査では下限値は 4.7 であったが、嶋田<sup>13)</sup>は  $NO_3^-$ -N 集積土壤の pH について、土壤溶液自体は硝酸石灰の生成によって中性に近い pH を保つが、pH 測定操作時に  $Ca^{2+}$  の土壤への再吸着がおきるため、低い pH 値が測定されるとしている。たん水土壤のように、 $Fe^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $HCO_3^-$  が支配的な土壤溶液素では、pH は理論上 5.2~6.7 の範囲内にあることが山根<sup>14)</sup>によって示されているが、ハウス土壤溶液の場合には、 $Ca^{2+}$  と  $NO_3^-$  が支配的であるうえ、 $SO_4^{2-}$  の影響が加わるため、たん水土壤よりさらに低い pH を示す場合も少なくないと思われる。この意味で前記の嶋田の指摘<sup>13)</sup>には必ずしも同意しがたく、また、嶋田の土壤溶液は圧膜法で採取したものであるため、P や Al イオンの透過性が充分でなく、このことが土壤溶液の pH を見かけ上中性にした原因ではないかとの見解<sup>60)</sup>も出されている。

## 5. 塩類集積土壤に対する陽イオン、陰イオン交換体あるいは堆肥施用の効果

前節 2 の試験によって、露地畑土壤の酸度矯正のため

の石灰質資材の多用と窒素多肥によってひきおこされた塩類濃度障害の軽減に、完熟堆肥の施用が有効なことが知られたので、ハウス土壤のような塩類集積土壤に対しても、完熟堆肥の施用が同様に有効かどうかを確認するため、以下の試験を行った。

また、アロフェンと腐植に富む黒ボク土は、他の土壤にくらべて塩類濃度障害のおこりにくいことが経験的に知られているが、その理由のひとつは、アロフェンと腐植の CEC が変異荷電に由来し、通常の土壤 pH の範囲ではかなり大きいことと、アロフェンの Al 酸化物、水酸化物による AEC<sup>87)</sup>によるのではないかと思われる、陽イオン交換樹脂、陰イオン交換樹脂の添加効果についても検討した。

### 1) 試験材料及び方法

腐植に富む黒ボク土（ハウス土壤）を用いた  $\frac{1}{5000}$  ワグネルポット試験。

土壤の性質は表 I-16 に示したとおりである。3 連制でポット当たり乾土 2.3 kg 相当量を充てんし、ホウレンソウを供試作物として、3 月 25 日播種～5 月 8 日収穫、施肥は N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  各 1 g/ポットを硫安、過石、硫加で施用、供試資材は完熟糞わら堆肥、アンバーライト IR 120、同 IRA 410 の 3 種類で、ポット当たり添加量は堆肥は乾物重 5 g 相当量、IR と IRA は各々 7 me 相当量とした。IR は HCl で洗滌して H 型に、IRA は NaOH で洗滌して OH 型にして添加した。

### 2) 試験結果ならびに考察

ホウレンソウの収量と、栽培跡地の飽和水浸液中の  $Ca^{2+}$ ,  $NO_3^-$  濃度は、図 I-19 に示すとおりであった。まず収量についてみると、無処理区にくらべて堆肥区、IRA 区はそれぞれ増収したが、IR 区はかえって減収した。

供試土壤は、EC が 1.1 mS とかなり高く、塩類集積の認められる状態で、飽和水浸液の  $Ca^{2+}$  は 2.5 me/100 g 乾土、同  $NO_3^-$  は 1.5 me/100 g 乾土に達している。

堆肥あるいは IR の添加は飽和水浸液の  $Ca^{2+}$  濃度の減少、堆肥あるいは IRA の添加は同  $NO_3^-$  濃度の減少に寄与したが、収量との関係が明らかなのは  $NO_3^-$  の動向で、無処理区に比較して  $NO_3^-$  の減少の著しい IRA 区の増収効果がもっとも大きく、 $NO_3^-$  がやや減少した堆肥区がこれに次いだ。

供試土壤の CEC は 27.6 me/100 g 乾土で、IR を CEC

表 I-16 供試土壤の理化学性

東京都農試場内ハウス土壤(腐植質黒ボク土)

土性・構造	腐植	CEC	Ca飽和度	pH(KCl)	EC(1:5)	$\text{NO}_3^-$ -N
Lic · gn	富む	me	%		mS	mg
		27.6	78.5	6.4	1.10	21.8

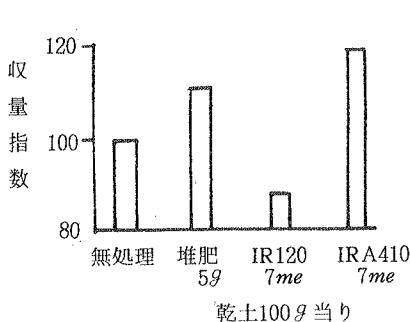


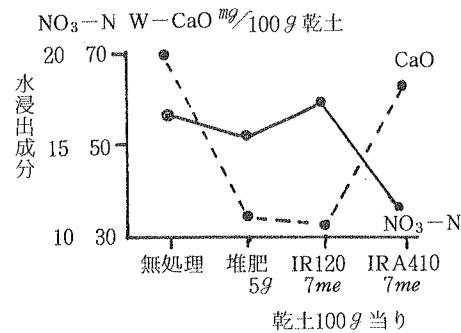
図 I-19 塩類集積土壤に栽培したホウレンソウに対する堆肥とイオン交換樹脂の効果

7 me/100 g 乾土相当量添加すると、計算上 CEC は 26% 高まる。その結果飽和水浸液の  $\text{Ca}^{2+}$  はほぼ半減したが、 $\text{NO}_3^-$  濃度はほとんど変わらなかった。

一方、供試土壤の AEC は測っていないが、既往の知見<sup>92~95</sup>から推察すれば、数 me/100 g 乾土以内と思われ、IRA の CEC 7 me/100 g 乾土相当量の添加は、供試土壤の AEC を飛躍的に増大させたことになる。しかし、飽和水浸液の  $\text{NO}_3^-$  の減少度は約  $1/3$  で、AEC の増加割合に比較すると減少度は小さい。この原因は、 $\text{NO}_3^-$  の陰イオン選択順位が低い<sup>86</sup> ことにあると思われる。IRA の添加による  $\text{Ca}^{2+}$  の濃度変化はほとんどみられなかった。

IR あるいは IRA 添加で、土壤飽和水浸液の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  濃度はそれぞれ独立的に減少しているが、堆肥の添加は  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  を共に減少させており、従来アロフェンを中心論議<sup>86, 87, 92~95</sup>されてきた AEC も含めて、堆肥による陰イオン保持について、検討する必要があるようと思われる。土壤有機物による陰イオン吸着を示唆するものとしては、浪岡ら<sup>88</sup>, SCHALSCHA ら<sup>93</sup>の報告がある。

なお、堆肥添加による  $\text{NO}_3^-$  減少の原因のひとつに、脱窒も考えられるが、本試験が通気性の良い黒ボク土の畑条件下で行われたこと、及び堆肥が充分腐熟しており、安定化したものであることから、堆肥施用が大量の脱窒



の原因になるとは考え難い。

土壤溶液中の陽イオンと陰イオンの濃度について、陽イオン濃度は陰イオン濃度によって規制され、また、陰イオンの溶脱に随伴して陽イオン溶脱のおきることが指摘<sup>12, 43~45, 89~91</sup>されているが、本試験における飽和水浸液中の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  は互に独立して減少している。これについては、用いたイオン交換樹脂がそれぞれ H型, OH型で、 $\text{Ca}^{2+}$  にかわって  $\text{H}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  にかわって  $\text{OH}^-$  が、それぞれイオン平衡を保ったことによると思われる。

土壤への陰イオン交換体の添加は陰イオンの溶脱を防止<sup>90</sup>し、作物の無機養分吸収を促す<sup>89</sup>ことが鳴田により明らかにされているが、さらに本試験によって、土壤溶液の塩類濃度による生育障害の抑制にも有効であることが知られた。

堆肥にも同様な効果が認められるが、飽和水浸液中の  $\text{NO}_3^-$  濃度の減少程度で比較すると、IRA 7 me 添加で  $-5 \text{ mg } \text{NO}_3^- \text{-N}$ 、堆肥乾物 5 g 相当量添加で  $-1 \text{ mg } \text{NO}_3^- \text{-N}$  であることから、堆肥乾物 100 g 相当量には、

$$-1 \text{ mg} \times 100 \text{ g} / 5 \text{ g} \times 7 \text{ me} / -5 \text{ mg} = 28 \text{ me}$$

に相当する IRA を添加したと同じ  $\text{NO}_3^-$  濃度抑制効果があると計算される。

## 摘

## 要

集約多肥栽培条件下にある野菜畠土壌に対する施肥負荷の結果として生じる塩類集積動向について、土壤溶液の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  濃度を中心としたアプローチを試みた。

## 1) 土壤溶液の採取法に関する検討

塩類集積土壌の土壤溶液を、pF 1.5 (土柱法) の状態から、遠心法で pF 別 (1.5 ~ 2.1, 1.5 ~ 2.7, 1.5 ~ 3.1) に採取、分析した。

$\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  濃度は高 pF 域まで採取するほど高まり、その増加傾向は直線的ないし加速度的である。一方、 $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$  濃度は、その合計値は  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  の合計濃度より低いが、pF 域別濃度は、1.5 ~ 2.1 < 1.5 ~ 2.7 ≈ 1.5 ~ 3.1 と、pF 2.7 までは陽イオン同様の濃度上昇がみられた。しかし、pF 2.7 ~ 3.1 の領域では陰イオン濃度は横ばいとなり、この点で陽イオンとは異なる傾向を示した。

同じ土壌を、pF 1.5 (土柱法) の状態でカラムに充てんし、0.2% 酸性フクシン水溶液を用いて土壤溶液を置換採取し、分析した。その  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  濃度は pF 1.5 ~ 2.7 遠心法採取土壤溶液とおおむね一致した。この pF 範囲の土壤溶液は易効性有効水に相当し、作物の生育に重要なかわりを有する点で注目される。

## 2) 露地野菜畠土壌に対する施肥負荷の影響(その1)

多肥により塩基がはげしく溶脱した黒ボク土の露地野菜畠に、一時に多量の石灰質資材を施用すると、施肥窒素から生成された  $\text{NO}_3-\text{N}$  とあいまって、土壤溶液の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  濃度が急激に高まり、露地条件であっても作物に塩類濃度障害を及ぼす。障害の内容は浸透圧上昇と  $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  の著しい偏りであって、完熟堆肥の施用はこれらの障害要因を緩和した。

## 3) 露地野菜畠土壌に対する施肥負荷の影響(その2)

土壤の塩基状態にストレスを与えないため、EC(1:5) を 0.3 ~ 0.5 mS 程度に保つよう施肥節減を行い、あわせて毎作少しずつ塩基を補給した沖積土の野菜畠では、作物によっては施肥不足となったが、完熟堆肥の施用によって収量が安定化した。

## 4) 施設栽培土壌に対する施肥負荷の影響

経過年数の異なる黒ボク土のビニールハウス土壌(野菜主作)の塩類集積傾向を調査した。経験の古いハウス

ほど塩類集積傾向が強く、塩類集積度に対応して春作トマトに生育抑制が認められた。しかし、土壤溶液の塩類濃度は、既往の知見からすれば、トマトの生育を阻害するレベル (6 ~ 7 mS) よりはかなり低く、塩類濃度に加えて、土壤の乾燥による水分張力上昇の影響をあわせた全吸引圧(水分応力)の増大がトマトの生育抑制に結びついたと考えられる。

## 5) 塩類集積土壌に対するイオン交換体あるいは堆肥施用の効果

塩類集積土壌への陽イオン交換体あるいは陰イオン交換体の添加は、それぞれ土壤溶液の  $\text{Ca}^{2+}$  あるいは  $\text{NO}_3^-$  濃度を抑制した。

完熟堆肥の施用は  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  をともに減少させ、堆肥乾物 100 g 相当量の施用は、土壤に、AEC 28 me に相当する陰イオン濃度抑制効果をもたらした。

土壤溶液の  $\text{NO}_3^-$  濃度を抑制した陰イオン交換体添加、堆肥施用両区のホウレンソウは増収したが、 $\text{Ca}^{2+}$  濃度を抑制した陽イオン交換体添加区のホウレンソウは、増収しなかった。

6) 以上から、土壤溶液中の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  濃度は作物の生育に深くかかわっており、①生育を安定させるには  $\text{NO}_3^-$  濃度を適切な範囲にコントロールする必要があること、②濃度指標としては pF 1.5 ~ 2.7 の土壤溶液中の  $\text{NO}_3^-$  に留意すること、③この土壤溶液は置換法で容易に得られること、④従来の知見では土壤溶液の EC が 6 ~ 7 mS でトマトなどに生育障害がおきるとされているが、EC がこれよりも低くても、土壤の水分張力が高まると、EC と水分張力をあわせた全吸引圧(水分応力)の高まりによって、生育障害がおきること、などが明らかとなった。さらに、完熟堆肥の施用が土壤溶液中の  $\text{NO}_3^-$  濃度の安定化に寄与することが認められ、集約多肥栽培の行われている野菜畠における堆肥の機能の新たな一面がうかがわれた。

## 第Ⅱ章 塩類集積土壌の土壌溶液組成に及ぼす堆肥施用の影響

畑作物に対する堆肥等有機物の施用効果については、主として土壌肥沃度の向上、あるいは土壤理化性改善の面から論じられることが多い、最近は、長期連用試験の結果にもとづいた適正施用基準が検討されつつある<sup>100,101)</sup>

しかし、野菜畑のような集約多肥栽培条件下における土壌の場合には、堆肥等の有機物を施用しても、土壌肥沃度の向上による直接的な増収効果はあらわれにくい。

このような集約多肥栽培条件下の畑作で期待される堆肥等有機物の施用効果は、化学肥料の多用によって発生するさまざまな化学的負荷の軽減と、負荷に耐え得る土壤緩衝能の増大によって、作物の生育収量を高水準に安定させることである。

これを具体的な機能としてとらえれば、土壤小動物相<sup>1)</sup>微生物相<sup>2)</sup>の活性化、陽イオン交換容量(CEC)の増大による塩基離脱防止<sup>20,66)</sup>さらに、前章Ⅰで述べたように、土壌溶液濃度を高め作物の生育を阻害する「塩類集積」の主因である肥料塩、とくにCaとNO<sub>3</sub>-Nの土壌溶液中への高濃度溶出の抑制、などを挙げることができる。

土壌溶液の塩類濃度上昇による作物の生育阻害や、塩基類の土壌溶液への溶出→溶脱を防ぐためには、土壌溶液の陰イオン濃度を抑制する必要があり、それには、土壌の陰イオン正吸着機能<sup>86,92~98)</sup>の向上、たとえば陰イオン交換体の添加が有効<sup>89,90)</sup>であることが知られている。

前章の結果によれば、堆肥にも土壌溶液のアニオン濃度を抑制し、作物に対する塩類濃度障害を軽減する機能があり、よく腐熟したわら堆肥の完熟部(5mmのふるいを通過した部分)乾物100g相当量は、陰イオン交換容量(AEC)28me相当量の陰イオン交換樹脂の添加効果に匹敵する陰イオン濃度抑制作用を土壌溶液にもたらした。

本章においては、わら堆肥の完熟部に認められた土壌溶液陰イオン濃度抑制機能をより具体的に究明するために行なったいくつかの実験結果をふまえ、野菜畑のような集約多肥栽培畑土壌に対する有機物施用の意義について考察する。

### 1. 硝酸石灰添加土壌のコマツナ生育及び土壌溶液に及ぼす堆肥施用の影響

前章Ⅰにおいて現地圃場で認められた堆肥による土壌溶液濃度の抑制効果を再現、確認するため、塩類集積土壌のモデルとして、硝酸石灰添加土壌をつくり、コマツナの生育及び土壌溶液中のCa<sup>2+</sup>ならびにNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度に及ぼす堆肥施用の影響を検討した。

#### 1) 実験材料及び方法

前章Ⅰの結果から、集約多肥栽培畑土壌における集積塩類の主体は、肥料塩に由来するCaとNO<sub>3</sub>-Nであることが把握できたので、硝酸石灰の添加によって、塩類集積状態をつくることとした。

供試土壌は、購入した黒ボク土壌下層土(以下赤土といふ)及び東京都農業試験場江戸川分場内野菜栽培圃場の灰色低地土作土(以下沖積土といふ)で、後者は堆肥連用区(年間4t/10a, 3年経過)と無堆肥区(3年経過)に分かれている。堆肥連用区より採取した沖積土を沖積A、無堆肥区より採取した沖積土を沖積Bとあらわすこととする。

各土壌の概要は表Ⅱ-1に示すとおりで、各土壌のpHをそろえるため、中和緩衝曲線法(NaOH)により、pH(KCl)6.5相当量の炭酸石灰を加えた。

赤土の土性は、カルゴン分散・ピペット分析法で測定した粒径組成から、国際法による土性区分を行うと、SLに相当するが、カルゴン分散では粘土の分散が不充分であるため、指先の感触によって修正し、LiCを採用することにした。表Ⅱ-1に示した赤土の水分特性からみても、土性はLiCとするのが妥当と思われる。

沖積土はA、Bともカルゴンによる粘土の分散に問題なく、土性はSLであった。

赤土と沖積A、Bとの間には、土性と水分保持力の点で大きな違いがみられるほか、有機物の含有状況も異なり、T-Cはいずれも4%前後であるものの、赤土の方が沖積A、BよりT-Nが少なく、C/N比が高い。

以上のような性質を持つ3種の供試土壌を風乾重で500gずつ秤取してプラスチック製ノイバウエルポットに入れ、各土壌ごとに、堆肥施用と無堆肥の2群を設け

表 II-1 供試土壤の概要

土 壤	土性	pH (KCl)	炭酸石灰	風乾土水分	最大容水量	T-C	T-N
赤 土	LiC	6.1 → 6.5	0.5 g/pot	16.2 %	98	3.8 %	0.17 %
沖積 A	S L	6.5	0	2.6	41	4.2	0.23
沖積 B	S L	5.4 → 6.5	0.9	2.6	41	4.0	0.21

注) Aは堆肥4t/10a/年3年連用土壤, Bは無堆肥栽培(3年)土壤

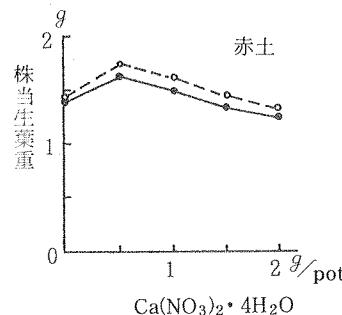
た。

堆肥は、前章 I-5 の場合と同じく、よく腐熟したわら堆肥の5mmふるい通過部を用い、これを水分70%換算でポット当たり25g施用し、土壤と均一に混合した。

堆肥施用、無堆肥の両群それぞれに、硝酸石灰4水塩( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )をポット当たり、0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0g加えた5区を設定し、1区3連制とした。

硝酸石灰の添加とは別に、各区共通施肥として、N,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{K}_2\text{O}$  各0.1g相当量を、硫安、過石、硫加を用いて、全ポットに加えた。

処理を施したポットを無加温ガラス室内の台車上におき、最大容水量の60%に相当する水分状態となるよう脱塩水を加え、11月15日にコマツナを播種、蒸発散による水分減少を毎日1回脱塩水によって補い、ポット当たり5株に間引きし、12月17日に抜取調査した。栽培期間中農薬の散布はしなかった。



凡例  
+堆肥  
無堆肥

栽培跡地土壤は、正確に最大容水量の60%の水分状態に調整、章 I-1 で述べた0.2%の酸性フクシン水溶液置換法で土壤溶液を採取する一方、乾土1:脱塩水5の1時間振盪浸出液をも採取し、それぞれ  $\text{Ca}^{2+}$  をキレート滴定法、 $\text{NO}_3^-$ -Nをフェノールジスルファン酸法で分析した。

## 2) 実験結果ならびに考察

### (1) コマツナの生育状況

12月17日に抜き取ったコマツナの、株当たり生葉重(5株/ポット × 3連の平均値)は、図 II-1 に示すとおりであった。

赤土の場合は、ポット当たり0.5gの硝酸石灰の添加で生育量は最高となり、それ以上の量の硝酸石灰添加は、生育量を減少させた。しかし、後述する沖積土の場合に比

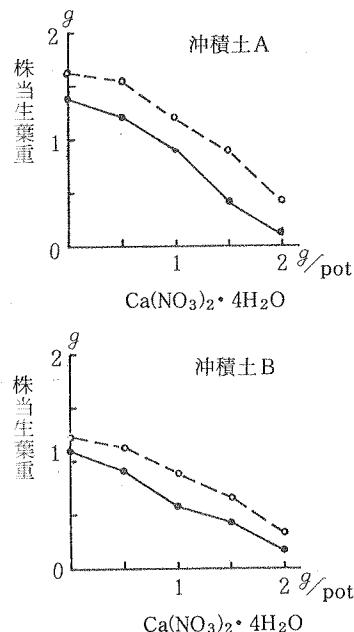


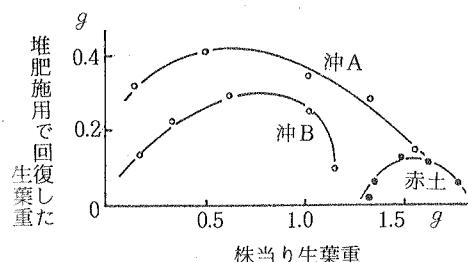
図 II-1 硝酸石灰添加がコマツナの生育に及ぼす影響

べれば、硝酸石灰添加量の多少による生育量の変動幅は小さく、赤土は濃度障害に対する緩衝性の大きい土壤であることが知られる。

赤土に堆肥を施用することにより、各区とも生育量はわずかに増加したが、その程度は無視できるほどのものに過ぎなかった。

沖積土の場合は、A、Bいずれも硝酸石灰の添加によってコマツナの生育が明らかに阻害され、硝酸石灰の添加量の多いほど、生育阻害の程度も大きくなつた。また、堆肥の施用によって、コマツナの硝酸石灰による生育阻害は、明らかに軽減された。

図II-2は、硝酸石灰によるコマツナの生育阻害の程度（無堆肥の場合）と、これに堆肥を施用した場合の生育回復量との関係を示したものである。



図II-2 生育阻害の強弱と堆肥の効果

赤土では、コマツナの受ける塩類濃度障害が軽く、堆肥の効果も小さいことが、この図からもうかがわれるが、しいていえば、株当たり生葉重が1.5g前後のときに堆肥の施用効果がやや大きく、1.7g以上の良い生育、1.2g以下の悪い生育のときには、堆肥の効果は失われる結果を示した。

沖積Aの場合には、生育が阻害されて株当たり生葉重が0.5g前後まで低下したときに、堆肥の施用効果がもっとも大きくあらわれた。

これより生育が良くなると、堆肥の施用効果は次第に小さくなり、株当たり生葉重が1.7gになると、堆肥の施用効果は失われる。また、生育が著しく悪い場合も、堆肥の効果は小さくなる。

沖積Bも、Aに近いパターンを示しているが、同じ生葉重の場合、Aよりも堆肥の施用効果が小さく、また、生育が良くなって堆肥の効果がみられなくなる水準も株当たり生葉重で1.2gと、Aより低いレベルにとどまっている。

いずれにしても、一定レベル以上の生育量が確保される土壤条件では、堆肥の施用効果は認められず、生育阻

害要因である硝酸石灰添加量が多くなり生育量が低下すると、堆肥の施用効果があらわることが、図II-2によつて確認された。

作物にとって、土壤環境が好適なものであれば、堆肥その他の土壤改良資材の施用は、効果をあらわさないのが当然と考えられる。もちろんこの場合にも、堆肥が不要ということではなく、将来にわたって好適な土壤環境を維持するため、当面の効果の有無にかかわらず、堆肥は継続的に施用しなくてはならない。

本実験の場合は、供試各土壤とも、コマツナの生育量が生葉重で株当たり1.2～1.7g前後まで高まると、堆肥を施用しても効果がほとんどみられなくなる。したがつて、コマツナにとって、株当たり生葉重が1.2～1.7g以上となつた各区、すなわち赤土における硝酸石灰0～1g/ポット添加区及び沖積A、Bにおける硝酸石灰無添加区の土壤条件が「好適」と判断される。

以上から、作物の生育阻害要因（この場合は塩類濃度障害）の強弱と堆肥の施用効果との関係を整理すると、

①生育阻害要因の極めて強い土壤では、作物の生育は著しく不良で、堆肥を施用しても、生育はあまり回復しない。

②この生育阻害要因がある程度緩和されると、生育が向上するとともに、堆肥の施用効果がよくあらわれるようになる。

③生育阻害要因がおおむね解消されると、生育はよくなるが、堆肥の効果は再び表面にあらわれなくなる。

上述の過程を①不良期、②向上期、③成熟期と呼ぶことにする。

沖積土として共通の性質と来歴を有し、3年間堆肥を連用したか、無堆肥であったかという点だけが違うAとBを比較すると、同一処理条件における生育量はAがBにまさり、かつ、堆肥施用による生育量回復の点でも、Aの方がBにまさっている。A、B両土壤は、コマツナの生育状況と堆肥の効果のあらわれ方からみて、上述の②向上期にある土壤とみることができるが、Aは3年間の堆肥連用で、無堆肥のBより生産力が高まり、堆肥の施用効果もより出やすくなるなど、③成熟期に一步近づいたことがうかがわれる。

## (2) 土壌溶液、土壌浸出液の成分

コマツナを栽培したあとの、赤土と沖積Bから、酸性フクシソーラー液置換法で採取した土壌溶液、及び1:5水浸液の分析結果を、図II-3、II-4に示す。

沖積Aについては、pHとECだけを測定し、結果を

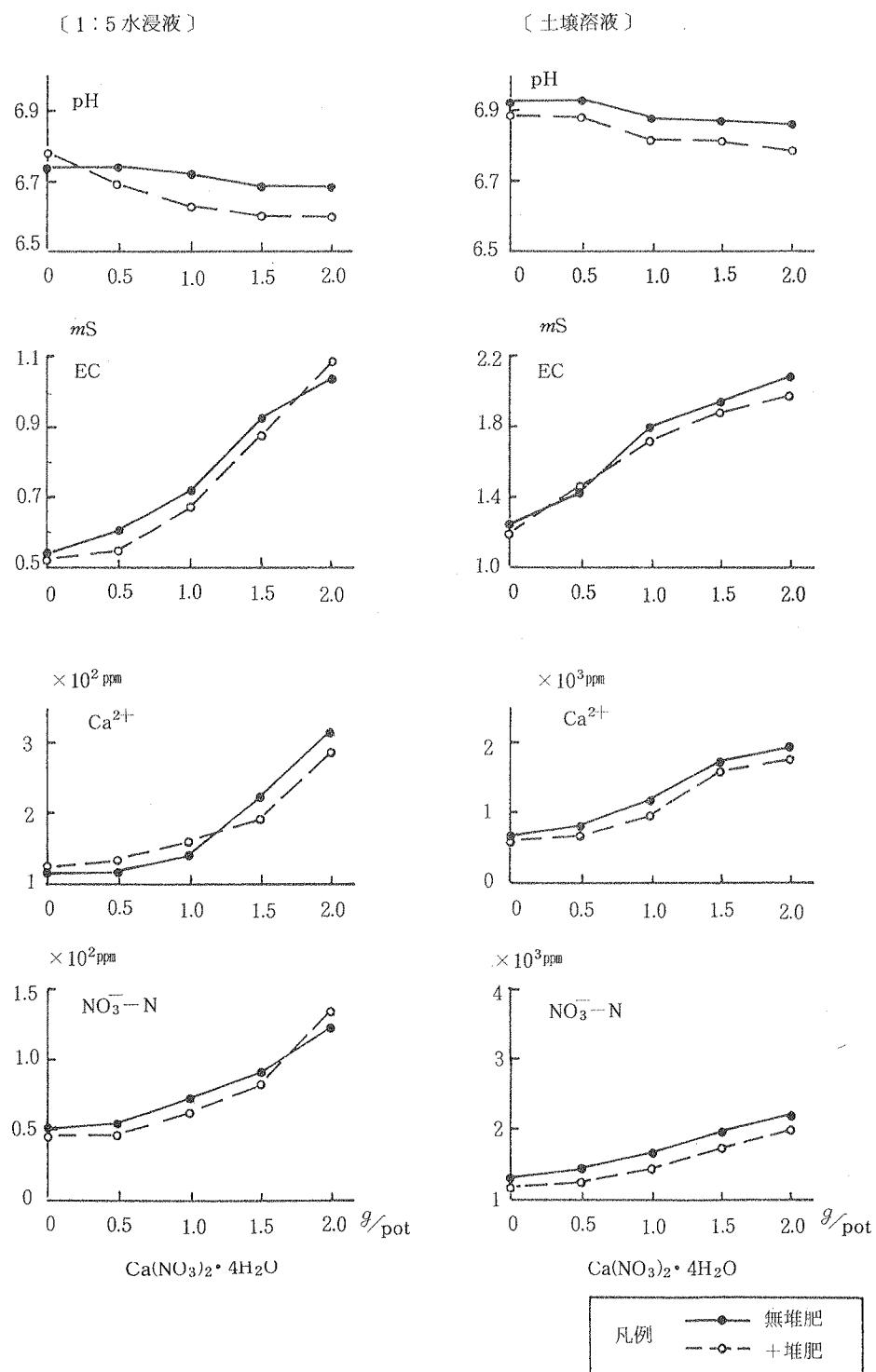


図 II-3 土壤溶液、水浸液の組成比較（その 1 赤土）

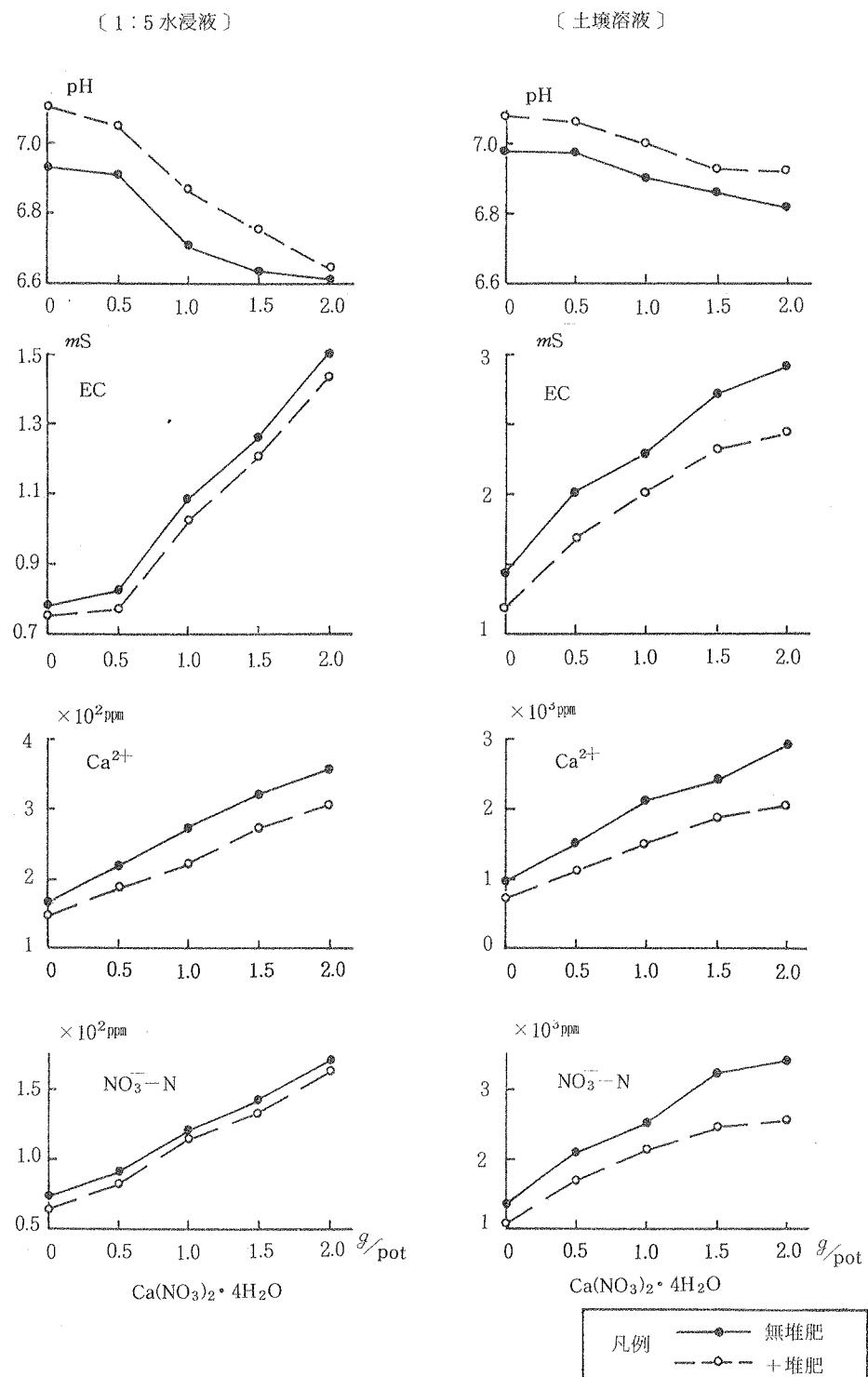


図 II-4 土壤溶液、水浸液の組成比較（その2沖積B）

図Ⅱ-5に示した。

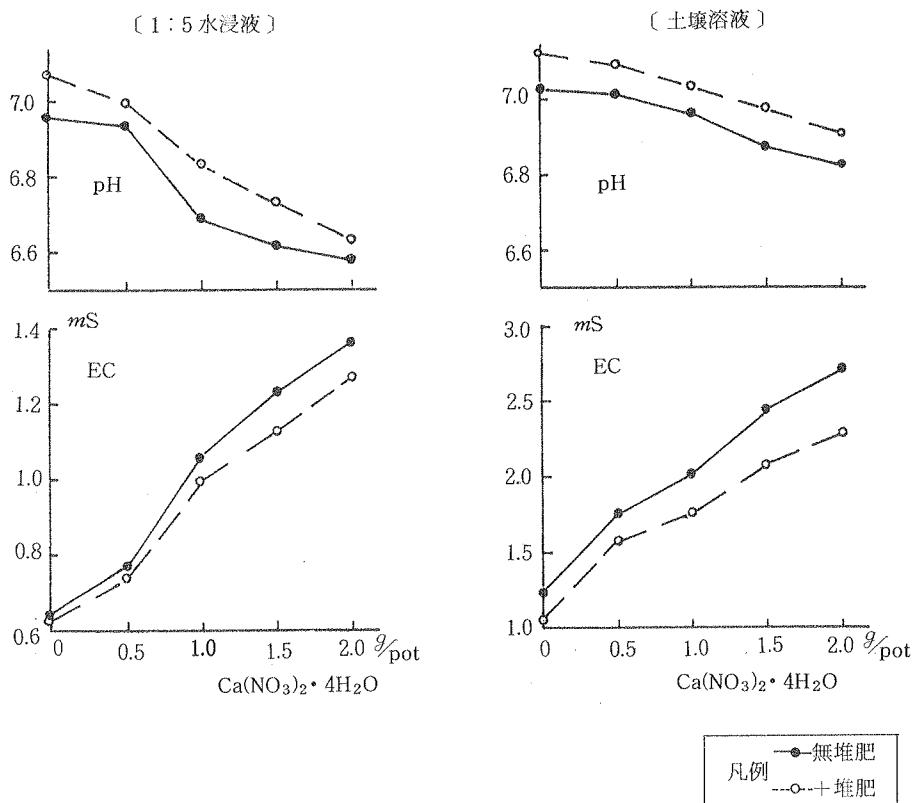
まずpHについてみると、供試各土壤の土壤溶液のpHは、硝酸石灰も堆肥も加えない場合は、沖積A,Bは7.0付近、赤土は6.9付近で、1:5水浸液のpHはこれよりやや低い。硝酸石灰を添加すると、添加量の増加に対応して、各土壤とも土壤溶液、1:5水浸液のpHが低くなる。硝酸石灰無添加と、同2g/ポット添加区の、土壤溶液のpHの開きは、土壤によって差があり、赤土は約0.1と小さいが、沖積A,Bは0.2前後とやや大きかった。1:5水浸液の場合には、硝酸石灰無添加区と同2g/ポット添加区のpHの開きは、赤土は土壤溶液同様小さかったが、沖積A,Bはいずれも土壤溶液の場合より大きく、0.4に近い値を示した。

堆肥を施用すると、赤土では、土壤溶液のpH、1:5水浸液のpHともわずかに低くなるが、沖積A,Bはいずれも、土壤溶液ならびに1:5水浸液のpHが上昇した。

つぎに、ECは各土壤とも硝酸石灰添加量を増すにつれて比例的に上昇するが、土壤溶液のECは、1:5水浸液のおおむね2倍程度である。硝酸石灰添加量に対応するECの上昇勾配と堆肥を加えた場合のECの動きには、以下のように土壤による特徴が認められる。

赤土の場合 硝酸石灰0.5g/ポットの添加によるECの上昇は、1:5水浸液で約0.13mS、土壤溶液では約0.2mSで、堆肥施用の有無はECにほとんど影響していない。これに対し、沖積土A及びBでは、硝酸石灰の添加量を0.5g/ポット増すことにより、ECが土壤溶液で0.2~0.6mS、1:5水浸液で0.1~0.2mS上昇し、堆肥を加えると土壤溶液のECは明らかに低下する。その効果は、硝酸石灰添加量の多いほど、すなわちECの大きいほど高まった。

このように、堆肥施用による土壤溶液ECの低下は沖積土A及びBに共通であるが、1:5水浸液のECに対する



図Ⅱ-5 土壤溶液、水浸液の組成比較（その3 沖積A）

る堆肥施用の影響は土壤溶液の場合より小さく、沖積土Aでは、硝酸石灰1.5%ポット以上の添加区においてのみ堆肥施用による1:5水浸液のECの低下が明らかであった。沖積土Bの場合は、土壤溶液と1:5水浸液のECに及ぼす堆肥施用の影響のちがいがさらに明らかで、1:5水浸液のECは、堆肥を施用しても、土壤溶液のようには低下しなかった。

つきに、土壤溶液ならびに1:5水浸液の $\text{Ca}^{2+}$ と $\text{NO}_3^-$ の濃度についてみると、まず赤土では $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ともECとほぼ同じ動向を示し、硝酸石灰の添加量の増加につれて土壤溶液及び1:5水浸液中の濃度が高まり、土壤溶液中の濃度は1:5水浸液中の10倍のオーダーを示した。堆肥施用の有無は $\text{Ca}^{2+}$ 及び $\text{NO}_3^-$ 濃度にはほとんど影響していない。

一方、沖積土Bの場合には、硝酸石灰添加量の増加に対応する $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ 濃度の上昇は、土壤溶液においても1:5水浸液においてもECの動向とよく一致しているが、堆肥施用が $\text{NO}_3^-$ 濃度へ及ぼす影響は、土壤溶液の場合と1:5水浸液の場合とでは、大きなちがいがみられた。土壤溶液においては、堆肥施用による $\text{NO}_3^-$ 濃度の低下が明らかであるが、1:5水浸液の $\text{NO}_3^-$ 濃度はECと同様に、堆肥を施用しても低下しない。 $\text{Ca}^{2+}$ は土壤溶液でも1:5水浸液でも、堆肥施用による濃度低下が認められ、EC及び $\text{NO}_3^-$ とは必ずしも一致した動向を示さなかった。

土壤溶液、1:5水浸液中の $\text{NO}_3^-$ 濃度の動向は、上述したように、ECの動向とよく一致するが、 $\text{Ca}^{2+}$ 濃度とECの動向とは必ずしも一致しない場合があり、土壤溶液あるいは1:5水浸液のECに及ぼす影響は、陽イオンである $\text{Ca}^{2+}$ よりも、陰イオンである $\text{NO}_3^-$ の方が大きいことが、ここでも確かめられた。

また、土壤溶液と1:5水浸液の $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ の濃度を比較すると、巨視的には、後者は前者の稀釀液とみることができると、堆肥を施用した土壤の場合には、陰イオンの動向に、単なる稀釀とはちがった変化があらわれ、土壤溶液中の陰イオンの動向には、1:5水浸液の陰イオンの動向からは把握できない部分のあることが知られた。

また、前述したように、赤土と沖積土の間には、土壤溶液の塩類（イオン）組成に及ぼす外的要因、すなわち硝酸石灰添加や堆肥施用の影響のあらわれ方に、大きなちがいがあり、赤土の方が沖積土より、土壤溶液に外的要因の影響があらわれにくい。

土壤溶液の塩類（イオン）組成に及ぼす陰イオンの影響が極めて大きいことは、前章すでに指摘したところ

であるが、赤土と沖積土の土壤溶液の、硝酸石灰添加に対する反応のちがいに、それぞれの土壤溶液における陰イオンの動態のちがいが関与しているであろうことは、想像に難くない。

土壤には、CECであらわされる陽イオン吸着能だけでなく、AECであらわされる陰イオン吸着能のあることは良く知られており<sup>86~88, 92~95)</sup>土壤の陰イオン正吸着については、MEHLICH<sup>96)</sup>, RUBINS<sup>97)</sup>ら、WADA<sup>98)</sup>などによって、定量的な解析方法が検討されている。

アロフェンは他の粘土に比して高いAECを有し<sup>93)</sup>、WADA<sup>98)</sup>によれば、pH 5の場合、モンモリロナイト4 me, ハロイサイト26 meに対し、アロフェンは42~52 meのAECを示す。また、他の2粘土がCEC>AECであるのに対して、アロフェンはAEC>CECである。アロフェンに富む火山灰土については、pH 6前後の条件下で、 $\text{Cl}^-$ あるいは $\text{NO}_3^-$ に対し、1.2~7.5 me<sup>92)</sup>, 7.4 me<sup>94)</sup>9.9 me<sup>99)</sup>の吸着能を示したとする報告例がある。

本実験に用いた赤土は、アロフェンに富む火山灰土の下層土であり、沖積土にくらべて高いAECを有していることが推察され、このことが、添加された硝酸石灰の土壤溶液中への溶出を抑制し、EC,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ -N濃度の上昇勾配を小さくした原因のひとつであると考えられる。

しかし、堆肥を施用した場合の土壤溶液塩類濃度の抑制効果に関しては、腐植のAECが小さく、かつCEC/AEC比が極めて大きいこととMEHLICH<sup>96)</sup>によって明らかにされており、堆肥施用による塩類濃度抑制の主因が、AECによる陰イオンの吸着にあるとは考え難い。また、土壤溶液自体には、堆肥施用による $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ -N濃度の抑制が認められる沖積土の場合にも、1:5水浸液では $\text{Ca}$ 濃度抑制効果のみが残り、 $\text{NO}_3^-$ -N濃度の抑制効果は消えてしまうことも、堆肥施用による土壤溶液中 $\text{NO}_3^-$ -N濃度抑制が、陽イオンとCECの関係とはちがって、AECに依存するものではないことを示唆しており、AECとは別の要因を検討する必要があるようと思われる。

土壤溶液の陰イオン濃度にかかるAEC以外の作用機作としては、DYER<sup>102)</sup>, KRUPP<sup>103)</sup>のいわゆる陰イオン排除効果と、KEMPER<sup>104)</sup>の指摘する篩別効果を挙げることができる。

陰イオン排除効果は、CECであらわされる固相表面の陰荷電によるものであるが、篩別効果は、粘土質土壤の微細孔隙が、孔隙内面の陰荷電による電気的拡散二重層（DDL）<sup>59)</sup>の重なり合いによって、連続した陰イオン排

除域を生成し、陰イオンの通過を阻止するためにおきる現象である。

佐久間ら<sup>49,50)</sup>は、土壤カラム実験によって、飽和水流条件下では  $\text{Cl}^-$  の流出速度は水の流出速度より大きく、陰イオン排除効果の影響がみられるが、不飽和大型カラムでは、 $\text{Cl}^-$  の流出速度は水の流出速度よりむしろ遅いことから、微細孔隙における DDL の重なりによる陰イオン通過阻止、すなわち篩別効果のあることを論じている。

赤土で土壤溶液の  $\text{NO}_3^-$ -N 濃度が上昇しにくいことの一因として、アロフェンの AEC だけでなく、赤土が微細孔隙（高 pF 孔隙）に富むことにより生じる篩別効果が寄与していることは充分考えられ、また、AEC の小さいとされている堆肥の施用で、沖積土の土壤溶液の  $\text{NO}_3^-$  濃度が上昇しにくくなる点についても、堆肥が有している微細孔隙と高い CEC が土壤の篩別効果を高めたと考えれば、容易に理解できる。さらに、赤土の土壤溶液に堆肥施用の影響があらわれにくい現象も、赤土が堆肥に匹敵する微細孔隙を有しているとすれば、当然の結果と考えることができる。（後出表 II-5 参照）

以上のように、本実験結果から、水分不飽和状態における土壤溶液のイオン濃度を規制する要因として、赤土の場合はアロフェンの AEC による陰イオン吸着と微細孔隙がもたらす篩別効果による陰イオン通過阻止、堆肥施用の場合は主として微細孔隙の篩別効果による陰イオン通過阻止が主体を占めていると推論された。1:5 水浸液の場合には、土壤粒子の凝集が解除されて篩別効果が失われ、陰イオンが溶液中へ解放されると推論できる現象が認められた。

## 2. 土壤溶液中の $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{NO}_3^-$ の行動と堆肥施用の影響

前試験（II-1）の結果から、硝酸石灰を添加した土壤の、土壤溶液中  $\text{NO}_3^-$  濃度を規制する外的要因のひとつとして、堆肥施用の影響があり、完熟堆肥の施用によって、土壤に CEC の大きい微細孔隙が富化され、篩別効果が発生して、土壤溶液への  $\text{NO}_3^-$  溶出が抑制されることが推論された。

この推論をさらに確かめるため、硝酸石灰と堆肥を添加した土壤の土壤溶液組成について、一連の室内実験を行った。

### 2-1 置換採取土壤溶液と 1:5 水浸液の $\text{Ca}^{2+}$ 及び $\text{NO}_3^-$ 濃度と堆肥施用の影響

#### 1) 実験材料及び方法

前試験で用いたと同じ沖積土 B を風乾し（水分 2.6%）150 g ずつ秤取、これによく腐熟したわら堆肥の、5 mm ふるいを通過させた部分を、水分 70% 換算量で 0, 25, 50 g 加えよく混合した 3 群それぞれに、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  を無添加、2.5 g 添加の 2 処理区を設け、これら全処理区を水分 14%（原土の最大容水量の 40% に相当）、同 19%（同 60% に相当）の 2 水準の水分状態で一夜放置し、前章 I-1 と同じ方法で、酸性フクシン水溶液により、土壤溶液を置換採取した。

土壤溶液中の  $\text{Ca}^{2+}$  をキレート滴定法、 $\text{NO}_3^-$ -N をフェノールジスルファン酸法で定量する一方、これとは別に、上記各処理土壤を水分 19% で一夜放置後、1:5 水浸液（1 時間振盪）を採取し、同様に  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ -N を定量した。

以上の処理内容をまとめて、表 II-2 に示す。

表 II-2 処理内容

要 因	水	準
堆 肥	0	25 50 g 風乾土 150 g
硝酸石灰 (4 水塩)	0	2.5 g 風乾土 150 g
水 分	14*	19* 19%

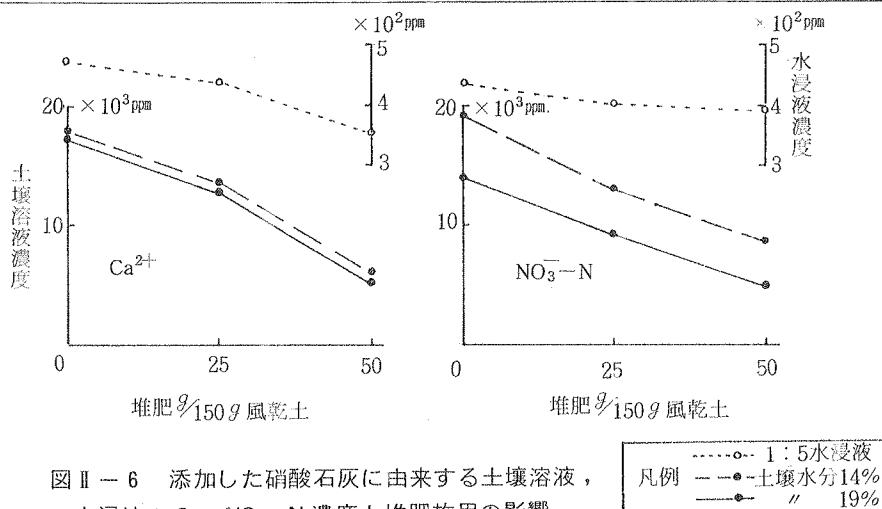
注) \* 酸性フクシン水溶液置換法で土壤溶液を採取

\*\* 1:5 水浸出法（1時間振盪）で水浸液を採取

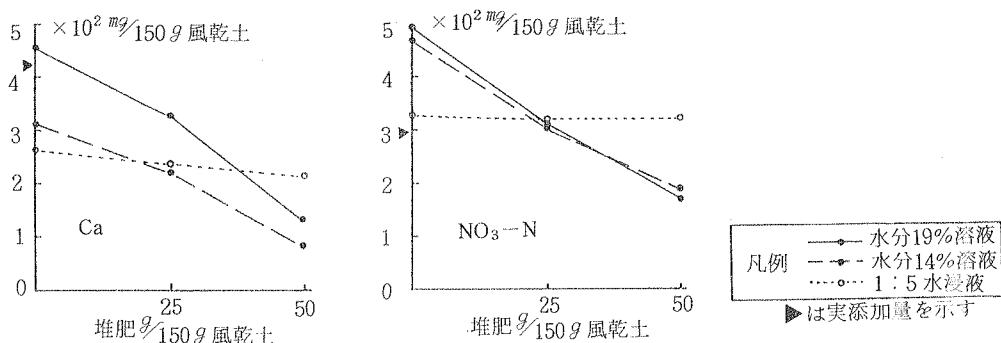
#### 2) 実験結果ならびに考察

各処理土壤の、土壤溶液ならびに 1:5 水浸液の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ -N 濃度の分析結果から、硝酸石灰を添加した場合と無添加の場合の  $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{NO}_3^-$ -N のそれぞれの濃度差、すなわち硝酸石灰の添加によって土壤溶液あるいは 1:5 水浸液中へ溶出する  $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{NO}_3^-$ -N の濃度を図示したものが、図 II-6 である。同図で明らかなように、硝酸石灰に由来する  $\text{Ca}^{2+}$  の土壤溶液中の濃度は、土壤水分が 14% でも 19% でもあまり変らず、固相表面の CEC に吸着された Ca と、これに接する液相中の  $\text{Ca}^{2+}$  との平衡関係は、土壤水分の変化に対して一定の緩衝性を有しているように思われる。

これに対し、硝酸石灰に由来する  $\text{NO}_3^-$  の土壤溶液中の濃度は、土壤水分が増加すると稀釀されて薄くなり、

図 II-6 添加した硝酸石灰に由来する土壤溶液、  
水浸液の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ -N 濃度と堆肥施用の影響

凡例  
 1:5水浸液  
 土壤水分14%  
 " 19%

図 II-7 土壤溶液、水浸液濃度から計算した  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ -N 添加量と  
実添加量の対比

$\text{Ca}^{2+}$  とはちがって、土壤水分の変化に対する緩衝性は小さいことが認められた。

土壤に堆肥を施用すると、堆肥の施用量の多いほど土壤溶液中の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  濃度が低下する。しかし、1:5水浸液の場合は、 $\text{Ca}^{2+}$  濃度には堆肥施用による低下傾向が認められるものの、 $\text{NO}_3^-$  濃度に関しては、堆肥施用の影響がほとんどみられない。これらの点からも、 $\text{Ca}^{2+}$  には CEC の影響が明らかであるが、 $\text{NO}_3^-$  には AEC の影響は認められない。

硝酸石灰に由来する  $\text{Ca}^{2+}$  と  $\text{NO}_3^-$  のこのような動向のちがいは、前試験(Ⅱ・1)の結果とよく一致し、土壤溶液中の  $\text{NO}_3^-$  の行動には、AEC はあまり影響せず、簡別効果に支配される部分が大きいと思われる。1:5水浸液の場合に  $\text{NO}_3^-$  濃度に及ぼす堆肥の影響が消える点については、多量の水分添加による凝集粒團の崩壊→微細孔隙の減少→簡別効果の消失というプロセスを想定すれば、

説明が可能である。

つぎに、添加された硝酸石灰が土壤溶液あるいは1:5水浸液中に全量溶出し、かつ全土壤溶液あるいは1:5水浸液中に均一な濃度で溶存すると仮定して、実測した土壤溶液(置換採取)あるいは1:5水浸液中の濃度から添加  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ -N 量を逆算し、この計算値と実際の添加量を比較すると、図 II-7 のようになる。

同図から、1:5水浸液では、 $\text{NO}_3^-$  は添加した全量が溶出し、かつ堆肥を施用してもこの溶出量は変らず、AEC による吸着の影響はみられないが、 $\text{Ca}^{2+}$  は一部が固相表面の CEC によって吸着されるため、計算量が実添加量を下回り、堆肥の施用によって CEC が高まるごとに、 $\text{Ca}^{2+}$  の吸着量はさらに増加することが認められた。

一方、土壤溶液についてみると、酸性フクシン水溶液で置換採取した溶液中濃度から算出した  $\text{Ca}$  量は、水分 19% の場合は実添加量とほぼ一致するが、水分 14% の

場合には、土壤溶液中の濃度が前出図II-6に示したように、水分19%の場合とあまり変わらないため、総量としては実添加量を下回った。

これに対して、置換採取土壤溶液中濃度から算出した $\text{NO}_3^-$ -N量は、実際に添加した硝酸石灰に由来する $\text{NO}_3^-$ -N量を明らかに上回っており、加えられた $\text{NO}_3^-$ -Nは低pF(2.7以下)領域の土壤溶液中に偏在し、高pF(2.8以上)領域の土壤溶液中には比較的低い濃度で溶存していることが認められた。

堆肥が加えられた場合には、 $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ とも堆肥添加量の多いほど、置換採取土壤溶液中濃度と液量から算出した存在量が実添加量を下回る程度が大きくなつた。

$\text{Ca}^{2+}$ の上記の動向は、土壤(固相表面)のCECによる吸着によって律せられ、堆肥添加によるCECの上昇が置換採取土壤溶液中の $\text{Ca}^{2+}$ 濃度を低下させたと思われるが、 $\text{NO}_3^-$ の行動については、微細孔隙内表面のCECによる陰イオン通過阻止作用が、2通りのあらわれ方をしているように思われる。すなわち、堆肥無添加の場合は、上記の陰イオン通過阻止作用が、高pF土壤溶液部への $\text{NO}_3^-$ の浸入を妨げける排除効果をもたらしたが、堆肥添加の場合は、堆肥につつみこまれた $\text{NO}_3^-$ が、堆肥のもつ多量の微細孔隙による陰イオン通過阻止作用のため、低pF土壤溶液部へ溶出しにくくなる篩別効果があらわれたものと考えられる。

1:5水浸液では、土壤及び堆肥の凝集性が解除されたため、 $\text{NO}_3^-$ に対する排除効果、篩別効果は消失し、添加量に見合う $\text{NO}_3^-$ 濃度が示された。

## 2-2 pF別に採取した土壤溶液中の $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{NO}_3^-$ -N濃度と堆肥施用の影響

前記実験II-2-1において、土壤に添加された硝酸石灰を給源として、畑状態の土壤溶液中に溶出した $\text{NO}_3^-$ -Nは、全土壤溶液中に均一な濃度で溶存するのではなく、比較的低pF領域(易効性有効水に相当するpF2.7以下)の土壤溶液中に高濃度で分布することが知られ、土壤に堆肥の完熟部(5mmのふるいを通過したもの)を施用すると、この低pF土壤溶液部の $\text{Ca}^{2+}$ 濃度、 $\text{NO}_3^-$ -N濃度が低下するが、その主因は、CaにあってはCECによる吸着、 $\text{NO}_3^-$ -Nにあっては微細孔隙内表面CECによる篩別効果にあるとみられた。

これらの点をさらに確認するため、畑状態の土壤に硝酸石灰を添加、あるいはさらに堆肥(完熟部)を施用した後、土壤溶液をpF別に採取し、各pF領域における $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ -Nの濃度分布を検討した。

### 1) 実験材料及び方法

前記実験II-2-1に用いたと同じ沖積土Bを用い、原土(最大容水量43%)、原土の最大容水量を70%にまで高めるに必要な量の堆肥(5mmのふるいを通過した完熟部、最大容水量290%)を加えたもの、及び原土の最大容水量を70%にまで高めるに必要な量のパーライト(ネニサンソ3号、最大容水量330%)を加えたもの、以上3群の土壤をそれぞれ対乾土水分26%(原土の最大容水量の60%)、42%(堆肥あるいはパーライトを加えたもの最大容水量の60%)の2水準の水分状態とし、それらの各々について硝酸石灰 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ をNとして乾土100gあたり0, 100, 200mg相当量加え、均一に混合し、室温で48時間放置したのち、遠心法により、pF2.2以下、2.3~2.7、2.8~3.2、3.3~3.7、3.8以上の5段階に分けて土壤溶液を採取、pF別土壤溶液採取量、

表II-3 処理内容

	土壤	堆肥	パーライト	対乾土水分	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$
無処理	200g			26%(最大容水量の60%)	0, 0.84, 1.68g
堆肥施用	178g	22g		26%(〃37%)	0, 0.84, 1.68g
パーライト施用	182g		18g	26%(〃37%)	0, 0.84, 1.68g
無処理	200g			42%(〃98%)	0, 0.84, 1.68g
堆肥施用	178g	22g		42%(〃60%)	0, 0.84, 1.68g
パーライト施用	182g		18g	42%(〃60%)	0, 0.84, 1.68g

注) 土壤、堆肥、パーライトはいずれも乾物重

$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  0.84gはN100mg, 1.68gはN200mgに相当

pH,  $\text{Ca}^{2+}$ (キレート滴定),  $\text{NO}_3^-$ -N(フェノールジスルフォン酸法)を定量した。

以上の各処理の内容をまとめて、表II-3に示す。

## 2) 実験結果ならびに考察

遠心脱水によって順次pF別に採取した各土壤溶液の液量、すなわちpF別水分分布を図示すると、図II-8のようになる。

原土(無処理)、堆肥完熟部施用(+堆肥)、パーライト施用(+パーライト)の各土壤を、まず、乾土あたり水分26%の水準にそろえて、pF別水分分布を比較すると、原土では、pF2.7以下の易効性有効水に相当する水分量が5.1%，pF2.8～3.7の有効水が6.5%，初期しおれ点をこえるpF3.8以上の水分が14.4%の配分になっているが、+堆肥の場合は、pF2.7以下2.2%，pF2.8～3.7が3.7%，pF3.8以上が20.1%と、土壤水が低pF領域から高pF領域へと引き寄せられ、pF3.8以上の水分の占める割合が高まっている。また、+パーライトでは、pF2.7以下5.2%，pF2.8～3.7が6.8%，pF3.8以上が14.0%と、巨視的にみれば、pF別水分の分布は原土とあまり変わらないが、原土にくらべて、pF2.2以下の水分が減り、pF2.3～3.2の領域の水分がやや増加している。

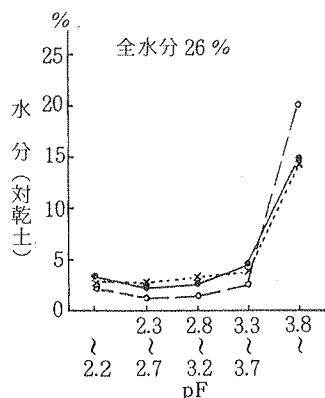
つぎに、原土、+堆肥、+パーライトの各土壤の水分状態を、最大容水量の60%の水準にそろえて比較すると(水分総量は堆肥、パーライト添加による最大容水量の向上にともない、原土では26%であるが、+堆肥と+パ

ーライトでは42%になっている)、+堆肥では、各pF領域とも原土より水分量が多くなるが、とくにpF3.8以上の高pF領域の水分量の増加が著しい。一方、+パーライトでは、pF3.2以下の低pF領域の水分が増加し、pFの低い領域ほどその増加量は大きい。

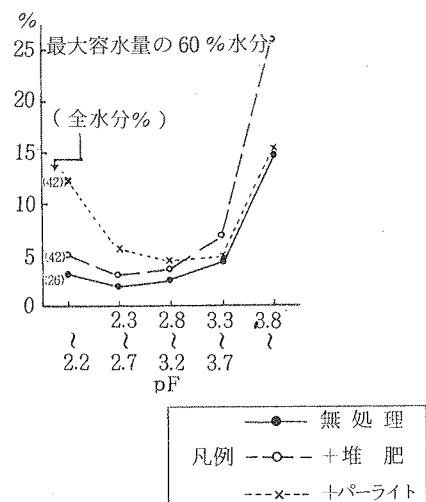
以上のように、堆肥の施用は土壤の最大容水量を高め、この意味で土壤の保水性を高めるが、pF別に土壤水分の配分をみると、原土にくらべて、有効水、とくに易効性有効水の存在比が低下し、土壤水はpF3.8以上の高pF領域への傾斜度を強める。したがって、土壤が乾燥してくると、堆肥を施用することによって低pF水分が急激に失われ、作物の旱害をかえって助長することになる。夏作物に堆肥を施用すると旱害を助長しやすいことは、経験的にもよく知られていることである。

原土にパーライトを施用した場合には、最大容水量が高まるが、その内容は、pF3.2以下の低pF孔隙増が主体で、とくに易効性有効水が急増する。

堆肥あるいはパーライトの施用が土壤水分のpF別分布に及ぼす影響は以上のとおりであるが、この場合の各pF領域の土壤溶液のpHを測定した結果は、図II-9に示すとおりであった。同図をみて、まず気のつくことは、土壤の水分状態や硝酸石灰の添加量、さらには堆肥あるいはパーライト施用の有無にかかわらず、pFの高い領域ほどpHが高くなっていることである。硝酸石灰を添加するとこの傾向は強まり、添加量の多いほど、高pF領域の土壤溶液のpHが高まる。また、堆肥の施用は、



図II-8 pF別水分分布



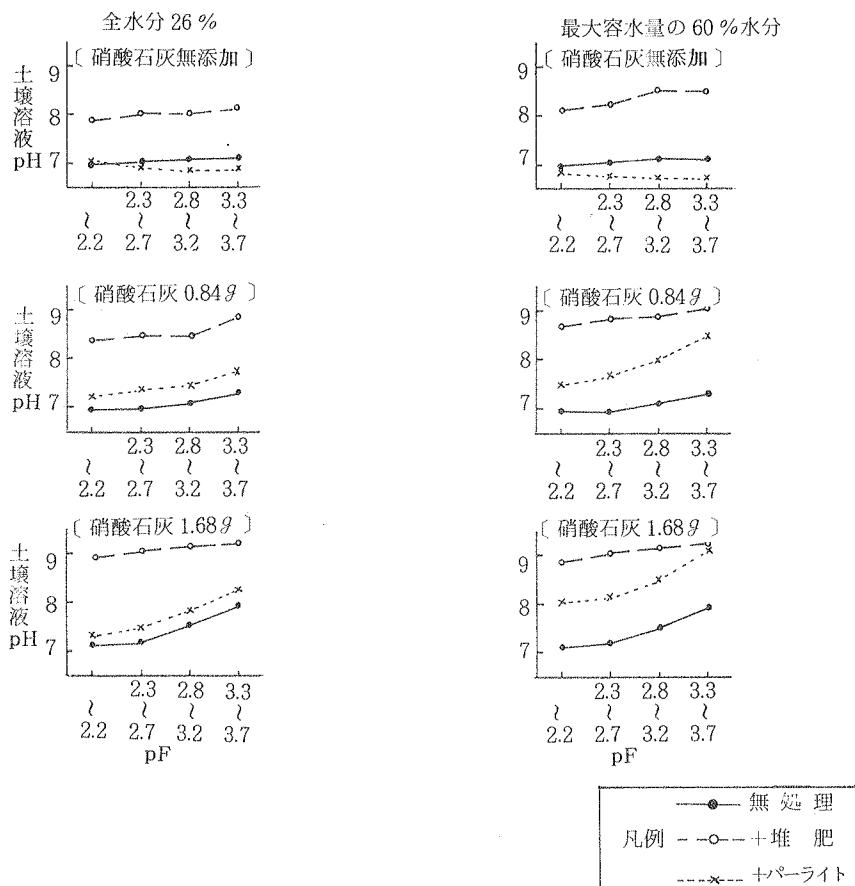


図 II-9 土壤溶液の pF 別 pH

各 pF 領域の土壤溶液の pH を高めるが、原土と + 堆肥の土壤溶液の pH 差は、硝酸石灰の添加量の多いほど大きく開いた。パーライトを施用した場合は、硝酸石灰を添加しなければ、土壤溶液の pH は低 pF 領域では原土なみ、高 pF 領域では原土をやや下回るが、硝酸石灰を添加すると、各 pF 領域とも土壤溶液の pH が原土を上回るようになる。さらに、パーライト施用の場合の特徴として、硝酸石灰の添加量を増やしてゆくと、水分による土壤溶液 pH のちがいが目立ってくることで、硝酸石灰の添加量が  $1.68 \text{ g}/100 \text{ g}$  乾土 ( $\text{N} 200 \text{ mg}$  相当量) のとき、水分 26 % と 42 % では、後者の pH が 0.7 ~ 0.8 高まる。原土や堆肥施用土壤には、このような傾向は見出せない。

處理別、pF 別土壤溶液の pH と、後出の  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  - N 濃度から算出した  $\text{NO}_3^-$ - $\text{N}_{\text{Ca}}$  (mg 比) との関係を示したのが、図 II-10 である。

同図で明らかなように、添加した硝酸石灰から土壤溶液へ溶出する  $\text{NO}_3^-$ - $\text{N}_{\text{Ca}}$  比が低いほど、硝酸石灰添加による土壤溶液の pH 上昇の巾が大きくなるが、原土（無処理）及び堆肥施用の場合にくらべ、パーライト施用の場合は pH の上昇勾配が著しく大きいことが目立つ。いずれにしても、土壤溶液の pH と、 $\text{NO}_3^-$ - $\text{N}_{\text{Ca}}$  比との間には深いかかわりがあり、無処理の原土に対しては、 $\text{NO}_3^-$ - $\text{N}_{\text{Ca}}$  が  $mg$  比で 0.8 前後、me 比に換算するとほぼ 1 前後の比率で土壤溶液に加わった場合は pH はほとんど変化せず、この比率がこれより小さいと、土壤溶液の pH の高まることが確認された。堆肥施用の場合はこの比率とは別の原因によって土壤溶液の pH が高められるようと思われ、パーライト施用の場合には、 $\text{NO}_3^-$ - $\text{N}_{\text{Ca}}$  比が原土の場合より小さいところで、土壤溶液の pH 上昇がみられなくなる。

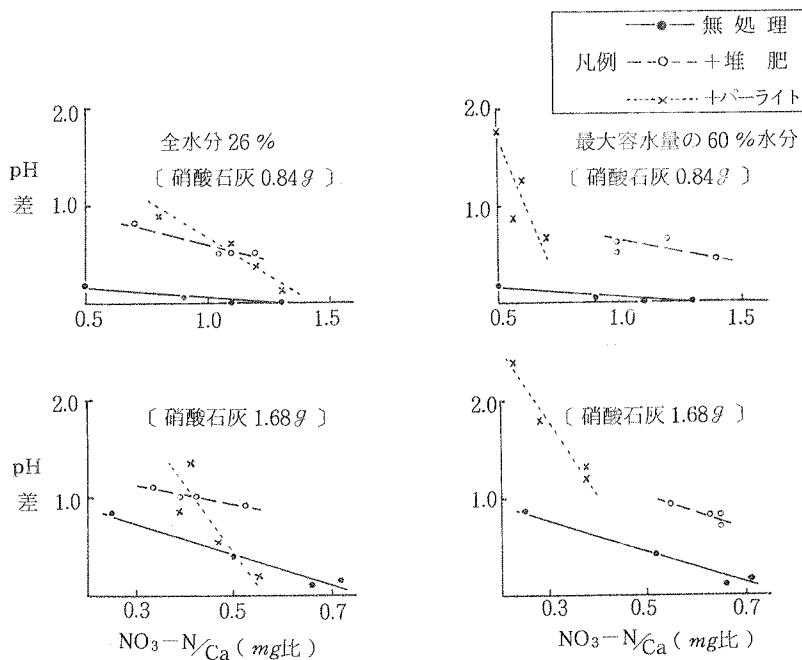


図 II-10 添加した硝酸石灰から土壤溶液中に溶出した  $\text{NO}_3\text{-N}$   
と Ca の濃度比と、土壤溶液の pH 上昇

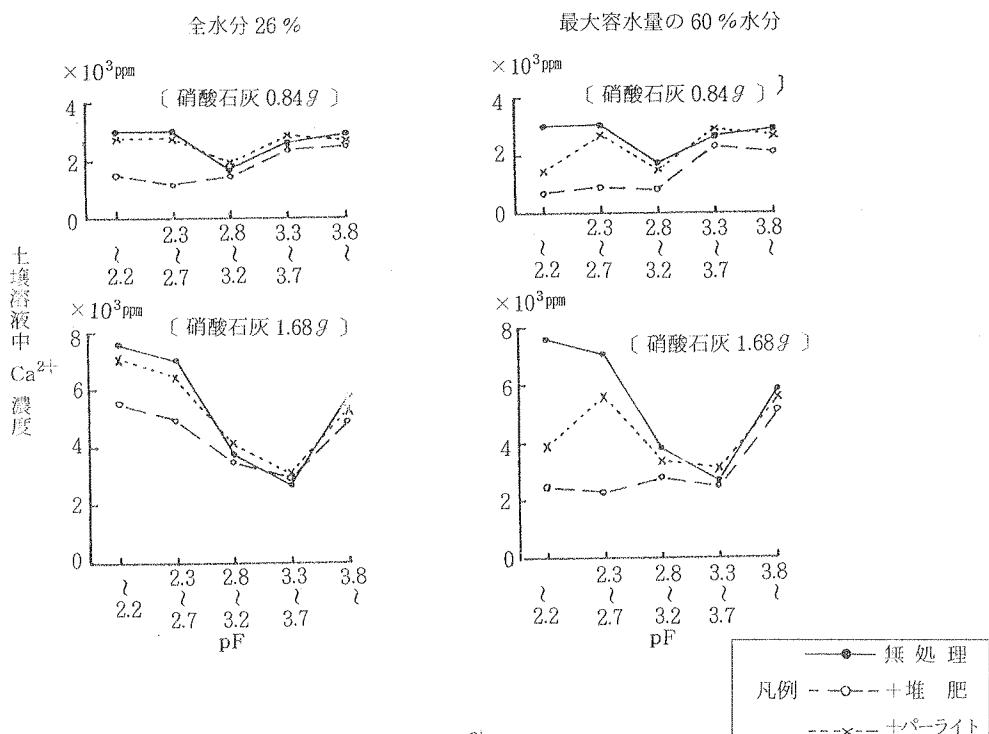
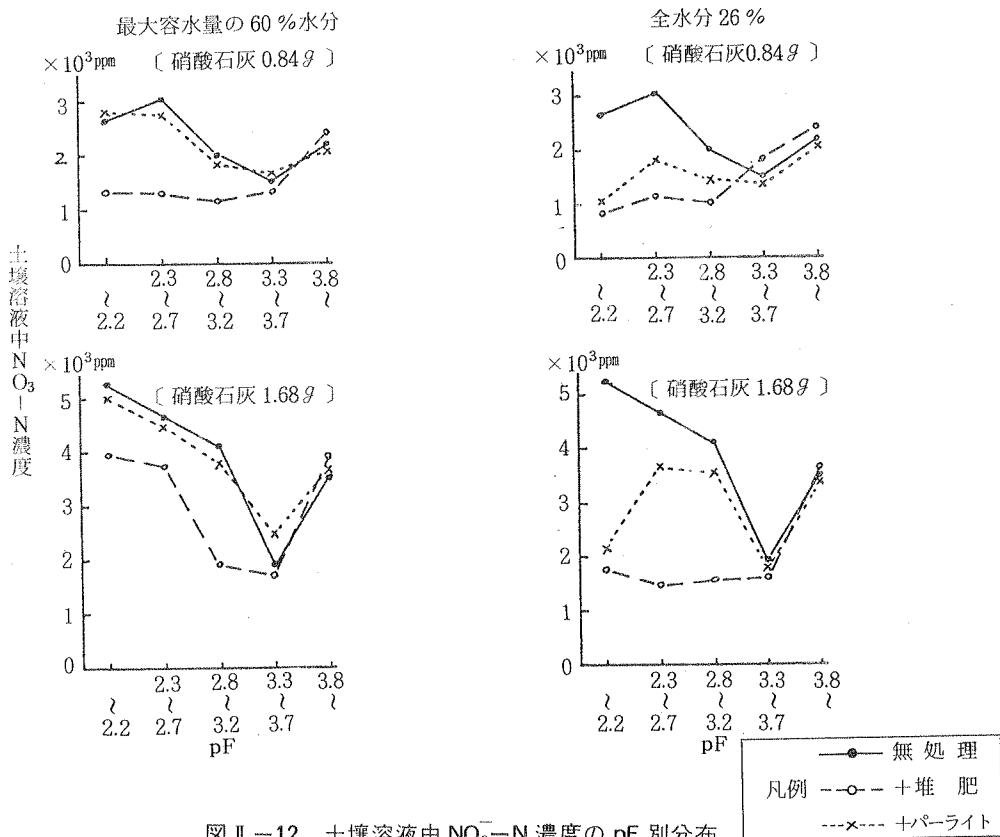


図 II-11 土壤溶液中  $\text{Ca}^{2+}$  濃度の pF 別分布

図 II-12 土壤溶液中  $\text{NO}_3^-$ -N 濃度の pF 別分布

つぎに、土壤溶液中の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$ -N それぞれの濃度の動向をまとめて図示すると、図 II-11 及び図 II-12 のようになる。 $\text{Ca}^{2+}$ についてみると、添加した硝酸石灰から溶出した Ca の土壤溶液中濃度は、原土（無処理）の場合、硝酸石灰添加量を倍増することで、pF 3.2以下の土壤溶液部分で 2 倍ないしそれ以上となるが、pF 3.3～3.7 の土壤溶液部分では、 $\text{Ca}^{2+}$  濃度の上昇がみられない。pF 3.8 以上では再び  $\text{Ca}^{2+}$  濃度がほぼ倍増した。このことから、添加された硝酸石灰に由来する  $\text{Ca}^{2+}$  は、一部は低 pF 土壤溶液中に溶出し、他は固相表面に置換吸着されて、高 pF 土壤溶液との間で平衡関係を保っていることがうかがわえた。堆肥を施用すると、全水分を原土と同じ 26% にした場合には、pH 2.7 以下の土壤溶液中の  $\text{Ca}^{2+}$  溶出が抑制され、最大容水量の 60% 水分とした場合にも、pF 2.7 以下の土壤溶液中の  $\text{Ca}^{2+}$  濃度が低下した。この領域の水分量は堆肥施用にともなって減少しており、堆肥施用による  $\text{Ca}^{2+}$  濃度低下は、土壤水分の増加による稀釀効果ではなく、堆肥の CEC によるもの

であると解される。pF 3.8 以上の高 pF 領域では、堆肥施用による水分量增加のため、 $\text{Ca}^{2+}$  総量は増えているが、濃度は原土の場合を下回った。パーライトを施用した場合の  $\text{Ca}^{2+}$  濃度の動向は、各 pF 領域の水分総量の動向とおむね対応し、パーライト施用で水分が増えた土壤溶液部分で、 $\text{Ca}^{2+}$  濃度の低下が認められた。

硝酸石灰に由来する  $\text{NO}_3^-$ -N の土壤溶液中の動向は、基本的には Ca とはほぼ同様とみられるが、 $\text{Ca}^{2+}$  とちがう点は、堆肥あるいはパーライト施用による  $\text{NO}_3^-$  濃度抑制が認められる土壤溶液の pF 範囲が 3.2 以下で、 $\text{Ca}^{2+}$  の場合 (pF 2.7 以下) より高い pF 領域まで影響が及んでいることである。パーライトによる土壤溶液中の  $\text{NO}_3^-$  濃度の減少は、 $\text{Ca}^{2+}$  と同じく、水分の増加による稀釀効果として説明できるが、堆肥施用の影響は水分の増減とは対応せず、すでに指摘したように、AEC あるいは篩別効果を想定しなければ説明できない。堆肥は AEC が小さく、 $\text{CEC}/\text{AEC}$  比が極めて大きいとされているので、上述の  $\text{NO}_3^-$  濃度抑制は、堆肥施用に伴う微細孔隙の増加

が篩別効果をもたらした結果と推察される。

BOLT ら<sup>59)</sup>によれば、固相表面のCECによって生じる液相内の電気的拡散2重層(DDL)は、固相表面から20~200Åまでの範囲内に存在し、その層厚は溶存イオンの濃度やCECの大きさに左右される。佐久間ら<sup>49)</sup>は、豊平土壤について、DDLの厚さを、塩類濃度の低い層位で74Å、高い層位で15Åと算出している。

のことから、当量直径がおよそ400Å( $4 \times 10^{-6} \text{ cm}$ )以内で、内表面に強いCECを有する孔隙は極めて大きい陰イオン通過阻止効果(本実験では篩別効果)を有しており、孔径が大きくなるか、CECが弱まるか、あるいは溶液の塩類濃度が高まるかすると、これらの要因の強度に応じて篩別効果が小さくなると考えられる。

孔隙の当量直径d(cm)と吸水圧h(H<sub>2</sub>O cm)との間には、 $d = 0.3/h$ の関係があり<sup>105)</sup>この式にあてはめると、当量直径400Å( $4 \times 10^{-6} \text{ cm}$ )は、pF=5に相当する。しかし、実際には、図II-12で明らかなように、pF3.3以上の土壤溶液には堆肥添加の影響が及んでいないことから、このpF領域の孔隙にはすでにある程度の陰イオン通過阻止(篩別)効果がそなわっているとみられる。pF3.3に相当する孔隙の当量直径はおよそ $2 \times 10^{-4} \text{ cm}$ で、これ以上大きい孔隙では陰イオン通過阻止(篩別)効果は小さくなり、堆肥添加がもたらす篩別効果の影響があらわれると考えられる。

### 3. 堆肥ならびに供試土壤のAECと孔隙

これまでの実験結果から、塩類集積土壤あるいは硝酸石灰添加土壤に堆肥を施用すると、低pF(3.2~3.3以下)領域の土壤溶液中のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N濃度が低下し、作物の塩類濃度障害が軽減されることが認められ、その原因として、堆肥施用によって土壤に富化される微細孔隙(当量直径 $2 \times 10^{-4} \text{ cm}$ 以下)による篩別効果が想定された。また、堆肥施用が土壤溶液のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N濃度に及ぼす影響は、沖積土には明確にあらわれるが、赤土の場合はあまりはっきりしない。これは、赤土がアロフェンに由来するAECと、堆肥と同様な微細孔隙を有するため、堆肥を施用しても効果があらわれにくいためと考えられた。

これらの推論を裏付けるため、前記各実験に用いた堆肥と供試土壤のAECとpF別孔隙分布を測定した。

#### 1) 実験材料ならびに方法

#### (1) 供試材料

堆肥：よく腐熟したわら堆肥の、5mmふるい通過部分を、下記方法により、1mm以上の画分と、0.1~1mmの画分に区分した。

有機物の粒径別分画法については、和田・金沢の土壤有機物の物理的分画法<sup>107)</sup>によって、規範となる方法が確立され、金沢らは森林土壤における有機物層を構成する各画分について、0.5mmよりも粗い部分は植物遺体を主とし、粒径の細かいほど腐朽分解の程度が高く、C/N比の低いことを明らかにしている<sup>108)</sup>また、広瀬・熊田は堆肥を物理的に分画し<sup>109)</sup>熊田はF<sub>1</sub>(0.98mm以上)~F<sub>2</sub>(0.25~0.044mm)画分は腐朽わら組織の細片であるとしている<sup>110)</sup>

これらの知見から、腐熟したわら組織として、堆肥を構成するのはおおむね0.1mm以上の画分であり、それ以下の画分は無機質粒子や菌体が主体を占めていることが知られたので、堆肥の物理化学的機能を評価するための分画基準として、1mm以上と0.1~1mmの両画分に分けることとした。

分画は水中篩別法によることとし、①乾物100g相当量に水1ℓを加え1時間振盪し、②2mm、1mmのふるいで水中篩別し、③残渣は遠心脱水して、1mm以上画分とする。④ふるいを通過した洗液をかく拌、静置し、1時間沈降部(ストークス径0.1mm以上)を集め、遠心脱水して、0.1~1mm画分とした。

赤土：火山灰下層土

沖積土：前節試験に用いた沖積土B

#### (2) AECの測定

土壤粒子の正、負荷電特性(AEC、CEC)について、最近はその特性値が、接触する溶液のpH、イオン種、イオン濃度等によって著しく影響されることが明らかにされ、明確に規定された平衡条件下でイオンの吸着量を測定することが提唱されている<sup>97, 98)</sup>

このような観点から、土壤のAEC測定の手順としては、①A<sup>-</sup>イオンを用いて土壤の交換基を飽和した後、A<sup>-</sup>イオンのうすい溶液で洗滌して平衡状態とし、②A<sup>-</sup>イオンをB<sup>-</sup>イオンで交換抽出、定量する方法が採られている。

WADAら<sup>106)</sup>は、A<sup>-</sup>イオンにCl<sup>-</sup>、B<sup>-</sup>イオンにはNO<sub>3</sub><sup>-</sup>を用い、イオン電極でCl<sup>-</sup>を定量してAECを測定する方法を提唱し、MEHLICH<sup>96)</sup> RUBINSら<sup>97)</sup>も同様な考え方でAEC測定法を論じている。

本実験においては、WADAらの方法<sup>106)</sup>を参考に、下記のような方法で供試材料のAECを測定した。

①原水分状態の試料 3 g を 50 ml のふた付き遠沈管に採り、②N-NH<sub>4</sub>Cl 25 ml を加え充分振盪して一夜静置後遠沈、上澄液を棄てる。③さらに N-NH<sub>4</sub>Cl 25 ml で洗滌、遠沈を 3 回くり返す。④1/50 N NH<sub>4</sub>Cl 25 ml で洗滌、遠沈を 3 回、⑤残渣を重量既知のグラスフィルター (3 G - 3) に移し、1/50 NH<sub>4</sub>Cl で吸引洗滌、⑥さらに少量の脱塩水で 2 回吸引洗滌、⑦N-KNO<sub>3</sub> 10 ml で 2 回、自然流下洗滌浸出した後、同液 30 ml で吸引洗滌浸出、⑧さらに脱塩水 30 ml で吸引洗滌、⑨浸出液と洗滌液を合して定容とし、イオン電極法で Cl<sup>-</sup> 濃度を定量し、⑩グラスフィルター上の残渣を 105°C で乾燥秤量、⑪AEC me/100 g 乾物を算出する。

これとは別に、定性的に AEC の大小を判定する簡便法として、①原水分試料 5 g を 100 ml 三角フラスコにとり、N-KCl 150 ml を加えて振盪後一夜放置、②東洋ろ紙 No. 6 でろ過、N/100 KCl 100 ml で洗滌後少量の脱塩水で 3 回洗滌、ロートの脚部を洗ったのち、③N-KNO<sub>3</sub> 90 ml で Cl<sup>-</sup> を洗滌浸出、④ろ液を定容とし イオン電極法で Cl<sup>-</sup> 濃度を定量、⑤別途測定した試料水分により AEC me/100 g 乾物を算出、前述の方法による AEC 値と比較、実用性の可否を検討した。

### (3) pF 別孔隙分布測定

供試実験材料を、100 ml 容採土円筒に、指先で押しても凹まない程度に圧密充てんし、土柱法で pF 1.5 の状態まで吸水させた後、遠心法で pF 2.7, 3.2, 3.8 まで逐次脱水、さらに 105°C で乾燥脱水し、秤量によって pF 別孔隙分布を測定した。

## 2) 実験結果ならびに考察

### (1) 堆肥及び赤土の AEC

供試わら堆肥及び赤土の AEC 測定結果と平衡液の pH、簡便法で定性的に測定した概略の AEC は、表 II-4 に示すとおりであった。堆肥のうち、腐熟の進んだ細粒部分 (0.1 ~ 1 mm) の方が、腐熟の進行していない粗粒部分 (1 ~ 5 mm) より AEC が小さく、前者が 0.5 me、後者は 1.2 me であったが、いずれにしても、わら堆肥の AEC は、CEC にくらべて極めて小さい。有機質資材の AEC については、MEHLICH<sup>96)</sup> がピートで 9.6 me、牛ふんで 9.2 me と比較的高い値を測定しているが、この時の平衡液の pH は 2.7 ~ 2.9 と強酸性であり、本実験における堆肥の平衡液 pH 7.4 ~ 8.2 とは大きな開きがある。AEC は pH 小なるほど大きな値を示す特性があり<sup>96~98)</sup> 本実験で測定した堆肥の AEC が低い主因は、pH にあると考えられる。

表 II-4 堆肥及び赤土の AEC

	AEC me/100 g d.n.	同左(簡便法)
堆肥 1 ~ 5 mm	(7.4) 1.2	1.8
0.1 ~ 1 mm	(8.2) 0.5	0.8
赤土 0 ~ 2 mm	(6.7) 0.4	0.7

注) ( ) 内は平衡液 pH

赤土の AEC は 0.4 me で、WADA ら<sup>98)</sup> の測定したアロフェンの AEC (pH 7 で 42 ~ 52 me) からは予測し難い低い水準にあった。供試赤土の土性は、指触判定では LiC であるが、カルゴン分散による土性区分は S-L で粘土含量は 7 % にとどまり、このような凝集性の強さが粘土の活性表面積をせばめて、アロフェンに由来する AEC の大きさを制約したのではないかと推測される。

いずれにしても、堆肥の AEC の小さいことが確かめられ、本章第 1, 2 節における各実験結果からの推測が裏付けられたが、赤土に関しては予想外に AEC が小さく、AEC に関する推測はこれを棄却しなければならないことが判明した。

### (2) 堆肥及び供試土壌の pF 別孔隙分布

わら堆肥及び供試土壌の全孔隙率と、pF 別孔隙分布割合は、表 II-5 に示すとおりであった。

表 II-5 堆肥、赤土、沖積土の pF 別孔隙分布

	pH 別孔隙分布割合 (%)					全孔隙率 %
	0~2.7	2.8~3.2	3.3~3.8	3.9~	計	
堆肥 1~5mm	25	19	11	45	100	86
0.1~1mm	11	19	16	54	100	80
赤土0~2mm	19	15	14	52	100	82
沖積0~2mm	42	8	13	37	100	53

堆肥の全孔隙率は、腐熟の進んだ 0.1 ~ 1 mm 画分の方が、1 ~ 5 mm 画分より少なく、pF 別孔隙分布は、前者の画分の方が、より微細な孔隙組成になっている。すなわち、腐熟の進んだ画分では、凝集性が強まっていることが知られる。

赤土の全孔隙率、pF 別孔隙割合は、堆肥の両画分の中間の値を示しており、この点では本章第 1, 2 節における実験結果からの推測とよく一致する。また、沖積土は全孔隙率が小さく、pF 別孔隙割合が粗孔隙側へと傾斜しており、この点に関しても、前述の実験結果からの

## 要 摘

推測が裏付けられた。

以上のように、土壤溶液の塩類濃度に及ぼす堆肥施用の影響が、赤土では小さく、沖積土では大きいことの理由づけとして、堆肥と赤土の孔隙組成が近似し、これらと沖積土の孔隙組成の相違することが、微細孔隙の持つ篩別効果と関連づけることによって、有力な論拠になり得ることが判明した。

集積塩類のモデルとして硝酸石灰を添加した土壤について、土壤溶液中への  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  の溶出動向と、それに及ぼす堆肥施用の影響を検討した。

### 1) 硝酸石灰添加土壤のコマツナ生育及び土壤溶液に及ぼす堆肥施用の影響

硝酸石灰の添加量とコマツナの生育との関係には土壤による違いがみられ、赤土(火山灰下層土、土性 LiC)の場合は生育阻害のあらわれ方がゆるやかで、堆肥施用の影響も小さいが、沖積土(灰色低地土、土性 SL)の場合は硝酸石灰の添加量に対応して急激な生育阻害があらわれ、かつ堆肥施用によって、生育阻害の程度は明らかに軽減された。

0.2%酸性フクシン水溶液を用いて置換採取した土壤溶液( $\text{pF} 2.7$ 以下の遠心採取土壤溶液に相当)中の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  濃度は硝酸石灰添加量に対応して増加するが、赤土ではその増加傾向がゆるやかで、沖積土はこれと対照的に急激な増加傾向を示した。堆肥の施用により、沖積土ではこの増加傾向は緩和されるが、赤土の場合は堆肥施用の影響は小さかった。

1:5水浸液中の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  濃度と硝酸石灰添加量との関係は土壤溶液の場合とほぼ同様であったが、堆肥施用の影響は、 $\text{Ca}^{2+}$  濃度低下が明らかに認められるものの、 $\text{NO}_3^-$  濃度にはほとんど変化がみられなかった。

硝酸石灰として土壤に加えられた Ca の一部は固相表面の陽イオン交換容量(CEC)によって吸着され、この吸着 Ca との平衡関係によって土壤溶液中の  $\text{Ca}^{2+}$  の行動が律せられることは、上記の結果からも明らかであるが、 $\text{NO}_3^-$  の場合は土壤の陰イオン交換容量(AEC)が小さいため固相への吸着はほとんど無視し得る程度と思われ、土壤溶液中の  $\text{NO}_3^-$  濃度が  $\text{Ca}^{2+}$  と同様に律せられている原因としては、土壤粒子あるいは施用された堆肥の微細孔隙内表面の CEC によって発生する陰イオン通過阻止作用が想定された。微細孔隙に富む赤土では、土壤溶液中の  $\text{NO}_3^-$  濃度が上昇しにくいこと、堆肥施用により微細孔隙が富化された沖積土は  $\text{NO}_3^-$  濃度が上昇しにくくなること、あるいは1:5水浸液では土壤粒子や堆肥の凝集性が解除されるため、微細孔隙の影響が失われ、 $\text{NO}_3^-$  が全量水浸液中へ溶出することなどの諸現象は、いずれも上述の陰イオン通過阻止作用が、添加硝酸石灰中の  $\text{NO}_3^-$  N の土壤溶液中の溶出を抑制する篩別効果をもたらし

ていることを示唆しているように思われる。

硝酸石灰添加により発生するコマツナの生育阻害に対する堆肥の施用効果は、阻害の程度が高まるにつれて大きくなるが、ある程度以上阻害がひどくなると、堆肥の効果は再び小さくなる。コマツナの生育が良く、堆肥を施用しても効果が表面化しない場合の土壤溶液の状態をコマツナにとって最適とみると、この場合の置換採取土壤溶液の組成は、土壤の種類にかかわらず、 $\text{Ca}^{2+}$  0.8~ $0.9 \times 10^3 \mu\text{M}$ ,  $\text{NO}_3^-$ -N  $1.4 \times 10^3 \mu\text{M}$ , EC 1.4~1.5 mS であった。

## 2) 土壤溶液中の $\text{Ca}^{2+}$ , $\text{NO}_3^-$ の挙動と堆肥施用の影響

前試験に用いたと同じ沖積土に硝酸石灰を加え、堆肥施用の有無によって、畑状態（最大容水量の 40~60% 水分）の土壤溶液中への  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  の溶出傾向がどのように変るかを検討した。

0.2% 酸性フクシン水溶液を用いて置換採取した低 pF 土壤溶液（ $\leq \text{pF } 2.7$  以下）中の、 $\text{Ca}^{2+}$  の濃度は、添加硝酸石灰が全土壤溶液中に均一濃度で溶出したと仮定して算出した濃度と同程度（最大容水量の 60% 水分状態）ないしやや下回る濃度（最大容水量の 40% 水分状態）で、堆肥施用によって濃度は低下した。これに対し  $\text{NO}_3^-$  の濃度は計算濃度より実測濃度の方が明らかに高く、 $\text{NO}_3^-$  は低 pF 部へ偏在していることがうかがわれ、堆肥施用によって、低 pF 部の  $\text{NO}_3^-$  濃度は低下した。 $\text{NO}_3^-$  に関するこれらの現象は、前述の CEC を持つ微細孔隙による陰イオン通過阻止作用が、堆肥無施用の場合にあっては、硝酸石灰に由来する  $\text{NO}_3^-$  の高 pF 部溶液への侵入を妨たげる排除効果をもたらし、堆肥施用の場合にあっては、富化された微細孔隙が硝酸石灰を包みこみ、低 pF 溶液部への溶出を抑制する箇別効果をもたらした結果と推測される。

遠心法で pF 別に採取した土壤溶液中の  $\text{Ca}^{2+}$  は、pF 2.7 以下の部分及び pF 3.8 以上の部分に比較的高濃度に分布し、中間の pF 2.8~3.7 の部分の濃度はやや低い。これに対し  $\text{NO}_3^-$  は pF 2.7 以下の部分に比較的高濃度に分布し、pF 3.8 以上の部分の濃度は、 $\text{Ca}^{2+}$  の場合ほどは高まっていない。堆肥を施用すると、 $\text{Ca}^{2+}$  は pF 2.7 以下の部分で、 $\text{NO}_3^-$  は pF 3.2 以下の部分で、それぞれ明らかな濃度低下を示した。

## 3) 堆肥ならびに供試土壤の AEC と孔隙

堆肥の AEC は小さく、熟度の進んでいるとみられる

粒径 1 mm 以下画分の方が、1 mm 以上画分よりさらに AEC が小さい。また、アロフェンを含む赤土も AEC の実測値は堆肥よりさらに小さかった。したがって、土壤溶液中の陰イオンの行動に及ぼす AEC の影響は、堆肥においても赤土においても、無視できることが知られた。

pF 別孔隙分布は、堆肥と赤土は近似しており、pF 3.3 (当量直徑  $= 2 \times 10^{-4} \text{ cm}$ ) 以上の細孔隙の占める割合が全孔隙の 70% 近くを占めていたが、沖積土の場合はこの割合が 50% と低く、このことから、堆肥を施用した場合にみられる低 pF 土壤溶液中  $\text{NO}_3^-$  濃度の低下傾向が、赤土では小さいのに沖積土では大きくあらわれる原因が、堆肥と土壤との細孔隙分布割合の差の大小にあることが裏付けられた。すなわち、堆肥施用によって細孔隙の富化された沖積土では、陰イオン通過阻止作用による箇別効果が強まって、低 pF 土壤溶液への  $\text{NO}_3^-$  の溶出が抑えられたが、赤土はもともと堆肥とあまり変わらぬ孔隙性を有するため、堆肥施用の効果がみられなかったと考えられる。

## 第Ⅲ章 堆肥代替資材としての都市ごみコンポストの機能評価

畑土壤に対する堆肥等有機質資材の施用効果について、地力窒素の蓄積あるいは窒素供給力の増大を主因とする報告が多い<sup>64,100,101,111~114)</sup>

しかし、通常の施用量(1 t/10a)では、地力窒素の消耗を防ぐ程度で、積極的に地力窒素を増大させるだけの効果は認められず<sup>110,114)</sup>また窒素の増施によって堆肥の施用効果のかなりの部分を代替できる<sup>64,114)</sup>など、堆肥による窒素供給効果は、主として施用当年の窒素無機化に由来するように思われる。

このような見地から、堆肥の機能に関しては、地力窒素の給源としてよりも、むしろ微量要素の給源としての役割りを重視すべきであるとする指摘<sup>115~117)</sup>もなされている。

堆肥の土壤理化学性に及ぼす影響としては、さらに、土壤物理性の改善<sup>114)</sup>土壤の酸性化・塩基流亡に対する緩衝能の増大<sup>66,120)</sup>陽イオン交換容量(CEC)にかかる永久負荷電(p-charge)への寄与<sup>121,122)</sup>などが知られている。

東京都の耕地土壤の主要部分を占める灰色低地土(沖積土)あるいは腐植に富む黒ボク土(火山灰土)は、物理性が良く、かつ野菜作を中心とした集約多肥栽培の影響で肥沃な養分状態にあるため、第Ⅰ章の各試験結果が示すように、上述した堆肥の諸効果よりも、別の面の効果、すなわち化学肥料の多施用がもたらす化学的負荷を軽減する効果が認められる場合が少なくない。この負荷は土壤溶液の陰イオン濃度、とくにNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の濃度上昇となって顕在化するが、完熟わら堆肥の施用は、易効性有効水に相当する低pF土壤溶液中のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度上昇を抑制する。第Ⅱ章の実験結果から、この現象は、堆肥施用によって富化された微細孔隙の内表面のCECによる陰イオン通過阻止作用がもたらす節別効果によって生じることが判明した。

多肥作物をひんぱんに作付け、土地生産力を最大限に引き出さないと、高地価に対応する経営を維持できない都市農業にあっては、土壤が受ける化学的負荷は極度に高まっており、堆肥の施用はこの負荷の軽減に大きな意義をもっている。

しかし、都市農業では、主作物のなかに堆肥素材を産するものが少なく、堆肥の自給は不可能に近い。このた

め、最近各都市では、都市ごみなど農業系外の有機質資材を堆肥(コンポスト)化する試みが行われつつあり、都市部及び近郊の農家から期待が寄せられている。

本章においては、東京都が実験を重ね、昭和60年度から実用化を予定している「都市ごみコンポスト」について、その施用効果を完熟わら堆肥と比較し、どの程度の代替機能を有しているかを明らかにするため、以下の実験を行った。

### 1. 野菜に対する都市ごみコンポストの施用効果

都市廃棄物として収集される「可燃ごみ」は、厨芥と紙くずの混合物で、これまで焼却・埋立によって処分されてきた。しかし、高地価、環境汚染のおそれなどから処分地の確保が困難になり、資源としてリサイクルをはかる必要にせまられている。東京都はリサイクル推進の一方法として、「可燃ごみ」のコンポスト化実験を進め、施用効果の検討を行っている。

このごみコンポストが、野菜類などの集約畑土壤に対して、有機質資材として堆肥に代替可能な施用効果を有するか否かを判定するため、成分分析と栽培試験を行った。

#### 1) 実験材料及び方法

東京都江東清掃工場に搬入された可燃ごみを、第1次9日間、第2次18日間それぞれ通気発酵させ、異物を除去した製品(以下コンポストという)を実験材料とし、一般成分分析、土壤中での分解特性、作物への施用効果を検討した。

##### (1) コンポストの一般成分分析

昭和54年1月、9月、昭和55年11月、昭和56年2月、7月、9月の6回、試料を採取し風乾処理後粉碎、1mmのふるいを通過させたものについて、分析を行った。

分析方法は以下のとおりである。

pH, EC, COD: 純水抽出液(1:10)について測定。

強熱損失: 550°C 2時間。

T-N, T-C: CNコーダーによる。

NH<sub>4</sub>-N, NO<sub>3</sub>-N: 10% KCl(1:10)抽出液につき、

BREMNER 法<sup>126)</sup>で定量。

CEC 及び有機物形態：農林水産省農蚕園芸局農産課編「堆きゅう肥等の分析法」による。

その他の成分：公定肥料分析法による。

## (2) 土壤中における分解特性 (N無機化)

### 実験A

プラントから搬出されたコンポストの中から, C/N 比 17, 15, 12 のもの (A<sub>17</sub>, A<sub>15</sub>, A<sub>12</sub>), 及び A<sub>17</sub>, A<sub>15</sub> をそれぞれ堆積後熟させて C/N 比を 17→12, 15→10 に低下させたもの (B<sub>12</sub>, B<sub>10</sub>), さらに A<sub>12</sub> に硫安を加えて C/N 比を 10 に調整したもの (C<sub>10</sub>) を試料とし, 各試料の乾物 1 g 相当量を, 立川市の東京都農業試験場内より採取した腐植に富む黒ボク土表土（以下立川土壤という, 表 III-1 参照）の乾土 50 g 相当量と混合し, 最大容水量の 60 % の水分状態で 28~30°C に保温静置, 生成する無機 N を 10 % KCl (1:10) で抽出し, BREMNER の方法<sup>126)</sup>で定量, N無機化率を算出した。

### 実験B

プラントから搬出したコンポストのうち, C/N 比が 11.6 ~ 16.7 の範囲にある 24 種類の試料 (D<sub>1</sub>~D<sub>24</sub>) を N として 20 mg 相当量採取し, 八王子市内より採取した腐植に富む黒ボク土表土（以下八王子土壤という, 表 III-1 参照）の乾土 50 g 相当量と混合, さらに硫安を N として 20 mg 加えて上述実験 A と同様に保温静置, 生成する無機 N 量から N無機化率を算出した。

### (3) ポット試験

上述の実験 A, B で N無機化率を測定した各コンポストを用いた 5000 ワグネルポット試験。供試作物コマツナ, 土壌は立川土壤を用い, ポット当たり乾土 2 kg 相当量を充てん, 実験 A に用いたコンポストは乾物 40 g 相当量, 実験 B に用いたコンポストは乾物 80 g 相当量を, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (過石) 0.9 g, K<sub>2</sub>O (硫加) 0.6 g とともに全量施用し, コマツナを栽培した。実験 A のコンポスト施用各区は昭和 56 年 5 月 7 日播種・6 月 9 日収穫, 実験 B のコンポスト施用各区は 10 月 9 日播種・11 月 19 日収穫。

### (4) 篠場試験

東京都農試場内の表層腐植質黒ボク土畠圃場におけるコンポスト連用試験。用いたコンポストは(1)で一般成分分析を行ったもので, 試験区の内容は表 III-2 に, 供試作物と栽培概要は表 III-3 にそれぞれ示したとおりである。

作物体と土壤の分析法は, 農林水産省農蚕園芸局農産課編「土壤・水質及び作物体分析法」に準拠した。

## 2) 実験結果ならびに考察

### (1) 供試コンポストの一般成分

試料採取時期別の分析値とその平均値ならびに変動係数は表 III-4 に示すとおりであった。T-N は 2.1 ~ 2.8 % の範囲に分布し, C/N 比はおよそ 12 ~ 16 の間にあった。無機 N の大部分はアンモニア態で, 硝酸化成はほとんど進んでいない。

P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1.8 % 前後, K<sub>2</sub>O 1.2 % 前後で, CaO は変動巾は大きいが平均値は 12.7 % と高い。

有害成分として濃度規制を受ける As, Cd, Hg はいずれも基準値以下となっている。

つぎに, コンポストの有機物および N の形態を分別定量した結果を, 表 III-5 に示す。原田, 井ノ子らが提唱しているコンポストの熟度指標<sup>127)</sup> (C/N 比 20 以下, 還元糖割合 35 % 以下) と対比すると, C/N 比は問題ないが還元糖割合は時に指標値をこえることがある, 本実験に供試したコンポストの熟度は必ずしも充分とはいえない。また, 窒素の形態に関しては, 汚泥コンポスト<sup>128)</sup>などにくらべて非加水分解性 N の比率が高く, 都市ごみコンポストの N は汚泥コンポストなどより遅効的性格の強いことがうかがわれる。

供試コンポストの成分を, 農林水産省農蚕園芸局農産課がとりまとめた堆肥の平均成分<sup>129)</sup>と比較すると, T-C, T-N ともコンポストの方がやや多く, C/N 比はコンポストの方が低い。しかし, 後出のコンポスト N無機化実験の結果が示すように, コンポスト N が有機化する境界 C/N 比は堆肥のそれより低い値であり, コンポストの C/N 比が堆肥より低いからといって, N無機化傾向も堆肥より大きいということはできない。還元糖割合はコンポストの方が高く, リグニンは堆肥の方が多い。塩酸不溶物の量からみると, コンポストの SiO<sub>2</sub> は堆肥よりずっと少ないようと思われる。これらの点からみると, コンポストは堆肥にくらべて繊維質であり, 堆肥はリグニン質ないし珪酸質であると性格づけることができよう。

東京都の供試コンポストを全国各都市のコンポストの平均組成<sup>129)</sup>と比較しても, 還元糖割合は高く, ごみコンポストのなかでも繊維質的な性格の強いものであることがうかがわれる。

### (2) 土壤中における分解特性 (N無機化)

#### 実験 A

供試各コンポストの N無機化・有機化傾向の, 保温静置による経時的推移は図 III-1 に示すとおりであった。

表Ⅲ-1 供試土壤の化学性<sup>130)</sup>

土 壤	pH		EC (1:5)	T-C	T-N	CEC	Ex			トルオーグ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
	H <sub>2</sub> O	KCl					Ca	Mg	K	
立 川	5.97	5.12	0.12 mS	4.92 %	0.32 %	28.4 me	12.6 me	1.1 me	1.3 me	6.7 mg
八 王 子	6.08	5.30	0.34	7.94	0.51	42.3	18.7	2.4	1.3	0

表Ⅲ-2 試験区<sup>130)</sup>

		化 学 肥 料 成 分 量					コンポスト 現 物 重 (水分50%)	堆 肥 現 物 重 (水分50%)		
		元 肥			追 肥					
		N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	K <sub>2</sub> O				
ダイコン	化 学 肥 料 区	15	25	15	10	10	—	—		
	コンポスト2t加用区	15	25	15	10	10	2000	—		
	〃 3t 〃	15	25	15	10	10	3000	—		
	堆 肥2t 〃	15	25	15	10	10	—	2000		
キャベツ	化 学 肥 料 区	15	30	10	10	10	—	—		
	コンポスト2t加用区	15	30	10	10	10	2000	—		
	〃 3t 〃	15	30	10	10	10	3000	—		
	堆 肥2t 〃	15	30	10	10	10	—	2000		

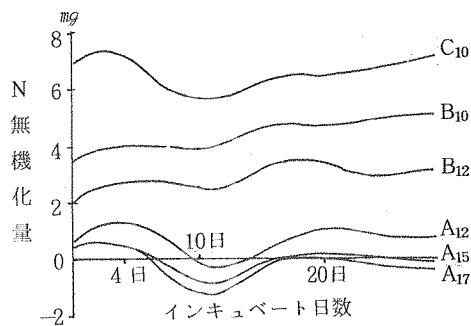
注) コンポスト施用量は水分50%現物量

表Ⅲ-3 供試作物と栽培概要<sup>130)</sup>

		春作ダイコン(春みの早生)	秋作キャベツ(YR錦秋152)
栽 植 距 離		72cm×45cm	72cm×45cm
53年	コンポスト施用	4月12日 4月14日 6月12日	8月10日
	播種または定植		8月25日
	収穫		11月14日
54年	コンポスト施用	3月21日 4月8日 6月4日	8月7日
	播種または定植		8月21日
	収穫		11月12日
55年	コンポスト施用	3月21日 4月8日 6月4日	8月25日
	播種または定植		9月1日
	収穫		11月19日
56年	コンポスト施用	3月5日 4月8日 6月8日	8月4日
	播種または定植		8月31日
	収穫		11月16日

表III-4 供試コンポストの分析値<sup>130)</sup>

分析項目	採取時期	平均値	標準偏差 (S <sub>n-1</sub> )	変動係数 (CV)
水 分 (%)		12.3	2.882	23.39
pH (H <sub>2</sub> O)		8.0	0.306	3.82
EC (ミリモード/cm)		6.76	0.864	12.79
COD (ppm)		2,205	1,491.000	67.66
C/N 比		13.7	1,502	10.96
強熱損失 (%)		6.55	8.630	13.18
全炭素 (%)		3.36	4.923	14.62
塩酸不溶解物 (%)		6.2	1.926	31.06
T—N (%)		2.46	0.278	11.31
NH <sub>4</sub> -N (mg/100g)		9.3	58.954	63.40
NO <sub>3</sub> -N (mg/100g)		—	—	—
T-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (%)		1.81	0.316	17.45
T-K <sub>2</sub> O (%)		1.22	0.155	12.73
T-CaO (%)		12.67	8.471	66.86
T-MgO (%)		0.58	0.007	1.23
T-Na (ppm)		5,008	366.988	7.33
T-As (ppm)		1.83	0.362	47.01
T-Cd (ppm)		1.3	0.496	37.64
T-Hg (ppm)		1.4	0.320	23.45
T-Cu (ppm)		30.7	410.551	133.66
T-Zn (ppm)		82.9	534.846	64.53
T-Ni (ppm)		10.9	10.607	9.78
T-Pb (ppm)		11.5	53.790	46.71
CEC (me/100g乾物)		5.8	7.411	12.72

図III-1 N無機化傾向<sup>130)</sup>

表III-5 その(2)

	54年7月品	
T-N (%)	2.15	
NH <sub>4</sub> -N 構成	10.6	
NO <sub>3</sub> -N 成分	0.1	
ヘキソサミンN 成分	4.2	
アミノ酸N 比	20.8	
未同定N 比	37.1	
非加水分解N	27.1	

表III-5 コンポストの有機物および窒素の形態<sup>130)</sup> その(1)

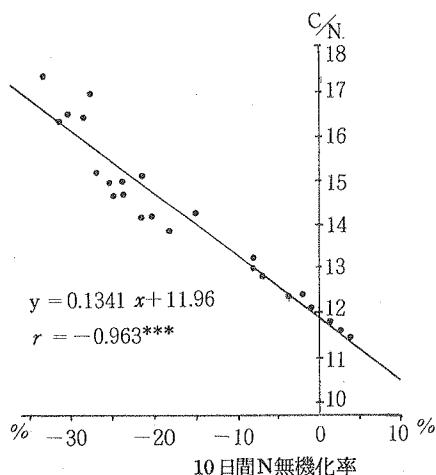
	55年11月品	56年2月品	56年7月品	56年9月品
T-C (%)	35.9	33.2	36.8	39.3
T-N (%)	2.77	2.62	2.67	2.42
C/N	13.0	12.7	13.8	16.2
ヘミセルロースC (%)	2.5	1.4	2.7	3.0
セルロースC (%)	6.2	6.5	9.8	12.0
小計	8.7	7.9	12.5	15.0
還元糖割合 (%)	24.2	23.8	34.0	38.2
リグニンC (%)	8.2	8.9	6.3	6.5

同図で明らかなように、A<sub>17</sub>, A<sub>15</sub>, A<sub>12</sub>はいずれも10日前後をピークとするN有機化傾向を示すが、C/N比の比較的低いA<sub>12</sub>はやがてN無機化傾向へと転じた。C/N比の高いA<sub>17</sub>, A<sub>15</sub>は終始N有機化傾向を維持した。後熟によってC/N比を低下させたB<sub>12</sub>, B<sub>10</sub>はともに円滑なN無機化傾向を示し、硫安Nを加えたC<sub>10</sub>は、他のコンポストにくらべて終始高いN無機化傾向を示した。

C/N比が同一であるA<sub>12</sub>とB<sub>12</sub>, B<sub>10</sub>とC<sub>10</sub>をそれぞれ対比すると、N無機化率はA<sub>12</sub><B<sub>12</sub>, B<sub>10</sub><C<sub>10</sub>となり、同じC/N比では腐熟の進んだものの方がN無機化率が高いこと、及び硫安Nを加えたものの方がN無機化率が高いことが知られた。

#### 実験B

C/N比11.6～16.7の各コンポスト(D<sub>1</sub>～D<sub>24</sub>)の、10日間N無機化率とC/N比との間には、図Ⅲ-2に示すような、高い負の一次相関が認められた。コンポストNが有機化するか無機化するかの分岐点になるC/N比は、同図から約12と読みとれる。



図Ⅲ-2 コンポストのC/N比とN無機化率<sup>130</sup>

以上、実験A及びBの結果が示すように、本実験に供試したコンポストは、原田・井ノ子ら<sup>127)</sup>の提唱するコンポスト熟度指標のひとつである「C/N比12付近を境に、これよりC/N比が大きいものはN有機化傾向を示す。

本実験のコンポストは、表Ⅲ-5で明らかにしたように還元糖割合すなわち易分解性Cが多く、これら易分解性CがN有機化に大きく寄与したのではないかと考えられる。

#### (3) ポット試験

前述の実験A, Bで用いた各コンポストの、コマツナ生育に及ぼす影響は、表Ⅲ-6ならびに表Ⅲ-7に示すとおりであった。

ポット当りのコンポスト施用量が乾物40g相当量と比較的少ない表Ⅲ-6の場合には、C/N比が17と高いA<sub>17</sub>の施用はN飢餓をひきおこしたが、C/N比が15以下のA<sub>15</sub>, A<sub>12</sub>の施用は、コマツナの生育にプラスの効果をもたらした。後熟させてC/N比12以下としたB<sub>12</sub>, B<sub>10</sub>の施用はコマツナの生育に対するプラス効果が高く、硫安Nを添加してC/N比を10としたC<sub>10</sub>の施用は、コマツナの生育を著しく良好にした。

コンポストNの利用率は、A<sub>17</sub>はマイナス、A<sub>15</sub>, A<sub>12</sub>は1～4%と低く、B<sub>12</sub>, B<sub>10</sub>, C<sub>10</sub>は17～19%と比較的高かった。

これらの傾向は、前出図Ⅲ-2の無機化傾向の大小とよく一致した。

つぎに、コンポストの施用量が、ポット当り乾物80g相当量と多い表Ⅲ-7の場合には、C/N比13.9以上の各コンポスト施用区のコマツナは、発芽はするものの、N飢餓のため以後はほとんど生長しなかった。C/N比が11.6～13.0の各コンポスト施用区では、C/N比とコマツナの生育量あるいはコンポストNの吸収利用率との間に極めて高い負の一次相関性が認められた。コンポスト無施用区と同じコマツナ生育量を示す区、すなわちコンポスト施用が生育にプラスとなるかマイナスとなるかの境となる区の施用コンポストのC/N比は11.9、N利用率がコンポスト無施用区と同じになる区の施用コンポストのC/N比は12.4で、前出図Ⅲ-3で認められたN有機化・無機化境界C/N比とほぼ同じ値を示した。

#### (4) 園場試験

前出表Ⅲ-4に成分を示したコンポストを、春作ダイコン、秋作キャベツの黒ボク土壌に適用した結果、収量は表Ⅲ-8のように推移した。ダイコンは堆肥の施用効果の出にくい作物であることが経験的に知られているが、本試験の場合も同様にコンポストの施用効果が認められず、3年間の通算収量指数は対照区である化学肥料単用区をやや下回った。しかし堆肥区も同傾向であり、コンポストが他の有機質資材より減収要因が強いとは思われない。キャベツの場合は、コンポスト施用初年目は明らかな増収となったが、2年目以降はコンポスト施用によってキャベツはかえって減収した。これに対して、堆肥区は安定的にやや増収傾向を保った。キャベツの収量に

表Ⅲ-6 C/N比別コンポスト施用効果(1)<sup>130)</sup>

(a/5000 ポット試験 コマツナ)

		乾物収量指数	乾物中T-N	コンポストN利用率
コンポスト施用	対照(コンポスト無施用)	100	1.92%	0%
	A <sub>17</sub> (C/N 17)	89	1.71	—2
	A <sub>15</sub> (C/N 15)	135	2.00	4
	A <sub>12</sub> (C/N 12)	113	1.83	1
	B <sub>12</sub> (A <sub>17</sub> を後熟 C/N 12)	139	2.72	18
	B <sub>10</sub> (A <sub>15</sub> を後熟 C/N 10)	195	3.35	19
	C <sub>10</sub> (A <sub>12</sub> にN添加 C/N 10)	170	2.69	13

表Ⅲ-7 C/N比別コンポスト施用効果(2)<sup>128)</sup>

(a/5000 ポット試験 コマツナ)

		乾物収量指数	乾物中T-N	コンポストN利用率
コンポスト施用区	対照区(コンポスト無施用)	100	2.30%	0%
	D <sub>1</sub> (C/N 11.6)	110	3.14	1.8
	D <sub>2</sub> (〃 11.7)	107	3.74	2.6
	D <sub>3</sub> (〃 11.8)	103	2.93	1.1
	D <sub>4</sub> (〃 12.2)	108	3.08	1.6
	D <sub>5</sub> (〃 12.5)	81	2.93	—
	D <sub>6</sub> (〃 12.7)	37	2.60	—
	D <sub>7</sub> (〃 12.9)	78	2.58	—
	D <sub>8</sub> (〃 12.9)	21	3.02	—
	D <sub>9</sub> (〃 13.0)	26	2.84	—
	D <sub>10</sub> (〃 13.9)	生育せず	—	—
	D <sub>24</sub> (〃 16.7)		—	—

乾物収量(y)とC/N比(x)  $y = -1.95x + 26.68$   $r = -0.8473 ***$

コンポストN吸収量(y)とC/N比(x)  $y = -0.07x + 0.95$   $r = -0.8950 ***$

表Ⅲ-8 収量指標の推移<sup>130)</sup>

(圃場試験)

		昭53		昭54		昭55		昭56		昭53~56通算	
		全重	根・球重	全重	根・球重	全重	根・球重	全重	根・球重	全重	根・球重
春作 ダイコン	対照(化学肥料)区			100	100	100	100	100	100	100	100
	コンポスト施用 2t区			97	94	107	112	106	97	103	94
	3t区			97	97	104	107	100	95	100	98
秋作 キヤウベツ	堆肥施用 2t区			103	103	84	84	105	95	99	95
	対照(化学肥料)区	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	コンポスト施用 2t区	110	112	100	98	103	98	93	92	101	100
秋作 キヤウベツ	3t区	102	107	94	86	96	94	91	89	96	94
	堆肥施用 2t区	106	106	106	106	100	99	98	104	102	104

に対する以上の影響から、コンポスト施用により土壤の無機Nが有機化し、第1作では無機Nが過剰レベルから適正レベルとなつたために増収につながったか、あるいは土壤物理性改善等の増収要因を消去するほどには無機Nが減少しなかつたものの、2年目以降は無機Nの減少が著しく、このことが減収の主要因になったものと推察された。

第6作ダイコン跡地作土の分析結果は表Ⅲ-9に示すとおりで、物理性についてはコンポスト施用の効果が明らかであり、容積重の減少、孔隙率の増加が認められ、とくに液相の増加が目立ち毛管孔隙の増えていることがうかがわれた。化学生については、C及びNの蓄積とCEC増大、塩基飽和度の上昇、pHの上昇、有効りん酸

の増加などが認められた。

これらの数値からすれば、コンポスト施用による土壤改良効果は明らかであるのに、このことが作物の増収に結びつかない理由は、前述したN有機化にあると考えられる。

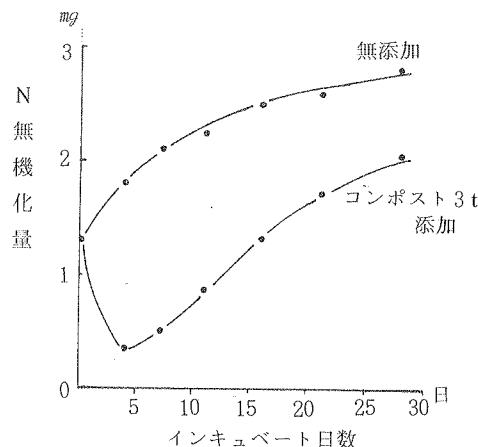
この圃場試験に用いたコンポストのC/N比は12以上で、前述のポット試験の結果と対比すれば土壤中でN有機化がおきていると推察されるが、この点をさらに確認するため、第7作キャベツ跡地作土を採取し、28~30℃28日間培養発現N量を調べたところ、図Ⅲ-3に示したように、コンポストを添加するとNは明らかに有機化し、前述の推測を裏付ける結果が得られた。

表Ⅲ-9 昭56春作ダイコン跡地土壤の理化学性<sup>130)</sup>

		(0~15 cm)				
		固相	液相	気相	孔隙率	容積重
対照(化学肥料)区		29.5%	33.8%	36.7%	70.5%	77.9g
コンポスト施用3t区		26.2	42.2	31.6	73.8	69.6

(2) 化学性

	pH (H <sub>2</sub> O)	EC (1:5)	T-C	T-N	CEC	飽和度				トルオーグ P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
						Ca	Mg	K	計	
対照(化学肥料)区	6.06	0.40 mS	5.04%	0.36%	31.1 me	74%	3%	3%	80%	39.9%
コンポスト施用 2t区	6.22	0.55	5.25	0.39	31.4	88	4	4	96	49.8
3t区	6.82	0.40	5.49	0.43	33.1	94	4	4	102	46.6
堆肥施用 2t区	5.96	0.65	5.56	0.39	34.5	75	7	4	86	52.2

図Ⅲ-3 コンポスト3t連用区土壤の培養発現N量<sup>130)</sup>

## 2. コンポストの孔隙特性

以上述べてきたように、コンポストは土壤の物理性改善やC, Nの蓄積、CEC向上、塩基飽和度の上昇、有効りん酸の増加など、従来の堆肥に準ずる土壤改良効果を有しながら、熱度とC/N比によっては土壤中での分解とともにN有機化をおこし、作物の生育を阻害する可能性もあり、集約多肥栽培畠における利活用には長所短所をわきまえた工夫が必要である。

しかし、これまでの実験では、第Ⅰ章、第Ⅱ章で述べた完熟堆肥による塩類濃度障害軽減効果、すなはちCECに富む微細孔隙による土壤溶液へのアニオン溶出抑制効果（筛別効果）が、コンポストにおいても同様に期待できるかどうかは明らかにされていない。

そこで、コンポストの孔隙特性とCECを把握することによって、この点に関する機能の評価を試みた。

### 1) 実験材料及び方法

コンポストの70日間堆積後熟品を試料とし、これと比較するため、わら堆肥（よく腐熟したものの5mmふるい通過部分）、落葉堆肥（よく腐熟したものの5mmふるい通過部分）を供試した。

各試料は前出図Ⅲ-8と同じ方法で、>1mm, 0.1~1mm, 0.1mm以上の各画分に分画しそれぞれを実容積測定用100mℓ採土円筒に圧密充てんし、土柱法でpF1.5の水分状態にしたのち、さらに遠心法でpF2.7, 3.2, 3.8の水分状態に逐次脱水してpF別孔隙分布を測定、さいごに熱乾（105℃）により全孔隙量を算出した。

これとは別に、各試料のそれぞれの粒径別画分について、C/N比をCNコーダー法で、陽イオン交換容量（CEC）をSCHOFIELD法で、陰イオン交換容量（AEC）を前述した第Ⅱ章3の方法で測定した。

### 2) 実験結果ならびに考察

供試した各試料の画別重量比と、C/N比、CEC、AECの測定結果は、表Ⅲ-10に示すとおりであった。

画別重量比に関しては、0.1mm以上の画分の比率がコンポストで特異的に高いことが目立ったが、このことから、わら堆肥や落葉堆肥は腐熟の進行した画分の凝集性あるいは縮合性が乏しいため、多く回収されるのではないかと考えられた。

各試料、画分ともCECが大きくAECが小さい点では共通しており、>1mm画分にくらべて0.1~1mm画分の方がC/N比が低いことも共通している。

表Ⅲ-10 画別重量比とC/N比、CEC、AEC

		重量比	C/N	CEC	AEC
コンポスト	1~5mm	32.4%	17.3	52me	1.2 me
	0.1~1	45.6	12.6	68	0.7
	0.1>	22.0	6.4	—	—
わら堆肥	1~5	21.1	22.4	58	1.2
	0.1~1	66.2	17.2	78	0.3
	0.1>	12.7	9.1	—	—
落葉堆肥	1~5	59.8	21.2	49	0.9
	0.1~1	34.3	18.0	72	0.5
	0.1>	5.9	5.0	—	—

つぎに、各試料、画分のpF別孔隙分布割合を示したのが、表Ⅲ-11である。

全孔隙率は各試料とも>1mm画分で80%弱、0.1~1mm画分で85%前後とほぼ同様な数値を示したが、pF別の孔隙分布割合には試料によってそれぞれの特徴がみられた。すなはち、コンポストはわら堆肥、落葉堆肥にくらべてpF2.7以下の比較的粗い毛管孔隙に富み、易効性有効水の保持力が高いとみられる反面、わら堆肥、落葉堆肥にくらべてpF3.8以上の微細孔隙が少ない。

表Ⅲ-11 pF別孔隙分布割合(%)

	0~1.5	1.5~2.7	2.7~3.2	3.2~3.8	3.8~	計	全孔隙率	
ごみコンポスト	1~5mm	20	23	10	13	34	100	78
	0.1~1	15	26	9	15	35	100	83
わら堆肥	1~5	14	11	19	11	45	100	80
	0.1~1	5	6	19	16	54	100	86
落葉堆肥	1~5	21	16	6	13	44	100	77
	0.1~1	13	17	12	15	43	100	85

前出表Ⅲ-10に示したように、コンポストはわら堆肥、落葉堆肥より微細(0.1mm以下)画分が多いが、それにもかかわらず微細孔隙(pF3.8以上)は乏しく、この点からも、コンポストの微細画分の凝集力が、わら堆肥、落葉堆肥より小さいことが推察される。

以上から、コンポストも堆肥もCECにはそれほどの差ではなく、全孔隙率もあまり変わらないが、微細(pF3.8以上)孔隙に関しては大きな差があり、堆肥にくらべてコンポストには微細孔隙の少ないことが確かめられた。

このことから、土壤溶液へのアニオン溶出をコントロールする微細孔隙の篩別効果の点では、コンポストは堆肥に及ばず、したがって塩類濃度障害に対する緩衝作用に関してはコンポストに多くを期待することはできないようと思われる。

## 摘要 要

東京都が収集可燃ごみ(主として紙類と厨芥)から試作したコンポストの、堆肥代替資材としての機能評価を行った。

### 1) 野菜に対する都市ごみコンポストの施用効果

(1) コンポストの平均成分組成は、乾物中N 2.1~2.8%でC/N比は12~16、還元糖割合は35%をこえることがある。ひ素(As)、カドミウム(Cd)、水銀(Hg)はいずれも規制基準値以下である。

(2) コマツナにコンポストを施用したポット試験により、C/N比12以上のコンポストは、土壤中でN有機化をひきおこすことが認められた。ダイコンとキャベツに対してコンポストを連用した圃場試験の結果からも、N有機化によって作物の初期生育が抑制され、コンポスト施用は必ずしも作物の収量増には結びつかなかった。しかし、跡地土壤の分析結果は、孔隙量や液相の増大、CECの増加と塩基飽和度の上昇、地力窒素の蓄積、有効りん酸の富化など、土壤の物理性、化学性がコンポスト施用によって明らかに改善されたことを示している。

### 2) コンポストの孔隙特性

コンポストは、土壤物理性改善、C及びNの蓄積、CECの向上、塩基飽和度の上昇、有効りん酸の富化など、従来の堆肥に準ずる土壤改良効果を有することは明らかになったが、集約多肥栽培畑における堆肥のもうひとつの効果として本論文でとり上げた、塩類濃度障害に対する緩衝作用が、コンポストにもそなわっているかどうかは明らかにされていないので、この点を検討した。

その結果、コンポストは堆肥にくらべて、微細画分の凝集性が小さく、微細孔隙を形成する機能が弱いこと、したがって、CECに富む微細孔隙によるアニオン通過阻止作用にもとづく土壤溶液へのNO<sub>3</sub><sup>-</sup>溶出抑制効果(篩別効果)に関しては、堆肥に代替し得るほどの効果は期待しがたいことが知られた。

## 総 考 察

集約多肥栽培畑地においては、肥料塩による化学的負荷が作物の生育阻害の一因となっている。このような化学的負荷を緩和し作物生産を安定させるため、有機質資材施用の必要性がいわれているが、近年有機質資材の品質は多様化しており、土壤中における分解特性もそれぞれ異なるため、有機質資材の種類別に長所短所を解明し、施用法と注意点を明らかにしておく必要がある。

本研究においては、肥料塩が畑土壤にもたらす化学的負荷の内容を、土壤溶液を中心で究明するとともに、集約多肥栽培畑地における完熟わら堆肥の施用効果を、主として化学的負荷に対する緩衝作用の面から検討し、あわせて、都市周辺で堆肥代替資材として利用可能性が検討されている都市ごみコンポストについて、どの程度の代替性が期待できるかを検討した。

1. 畑土壤に対する施肥がもたらす化学的負荷が、土壤溶液組成に及ぼす影響を明らかにするため、土壤溶液の採取法を検討し、露地野菜畑及び施設栽培土壤について、土壤溶液中の陽イオン、陰イオンの挙動を、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$ を中心に解析した。

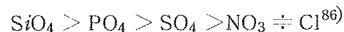
(1) 水分不飽和な畑土壤の土壤溶液は、土壤の孔隙性ならびに固相表面の静電気的特性の影響下にあるうすい液相で、固相表面からの距離によって対イオン、非対イオンの濃度が異なるなど、その組成は均質ではないと考えられる。したがって、畑土壤の土壤溶液組成を解析するには、土壤溶液を固相表面からの距離や孔隙の大小に対応するpF別画分に分けて採取、分析する必要があり、採取法としては遠心法が適当と考えられた。

塩類の集積したビニールハウス土壤を土柱法でpF 1.5の状態まで吸水させたのち、遠心法でpF別に採取した土壤溶液の組成についてみると、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 濃度は高pF画分になるほど高くなり、その傾向は直線的ないし加速度的であると認められた。

土壤溶液のイオン組成は固相表面からの距離によって変化し、固相表面に接する薄層部分では、対イオンの吸引と非対イオンの排除によって電気的拡散二重層(DDL<sup>59</sup>)が形成されるが、上述の $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ のpF別挙動は、このような固相表面からの距離と対イオン吸引力との関係で説明できる。

しかし、非対イオンである $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ も、 $\text{Ca}^{2+}$ や $\text{Mg}^{2+}$ ほど明確ではないが、pFが高まると濃度が上昇する傾向が認められ、DDLにおける非対イオンの排除とは矛盾

する結果を示した。固相表面の一部には正荷電による陰イオン交換基の存在が認められているが、その容量は負荷電による陽イオン交換容量(CEC)にくらべて著しく小さく、かつ陰イオン交換基の各種陰イオンに対する選択性は、



であることから、陰イオン交換容量(AEC)の大きさと陰イオン交換基の選択性では、上記矛盾は説明できなかった。

高pF土壤溶液部分で陰イオンの濃度が高まる現象については後章でさらに検討するが、その機作については、土壤粒子表面の静電気特性との関係よりも、水分不飽和な原土壤の高pF孔隙(溶液)中に存在する陰イオンが、pF 1.5の状態に吸水した段階で、低pF水分中に充分に拡散移行しないと考える方が妥当と思われる。

この実験では、陽イオン、陰イオンの動向の指標として、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 、 $\text{Cl}^-$ を分析定量したが、 $\text{Ca}^{2+}$ と $\text{Mg}^{2+}$ の合計濃度にくらべて、 $\text{NO}_3^-$ と $\text{Cl}^-$ の合計濃度は低く、イオンバランスの点からみると、他の陰イオンとして、土壤溶液中に普遍的に存在する $\text{HCO}_3^-$ 、あるいは陰イオン交換基の選択性の比較的低い $\text{SO}_4^{2-}$ が相当量存在していると推測された。

(2) pF 1.5～2.7の土壤溶液は、易効性有効水として第1順位で作物に吸収される水分であり、その成分組成は作物生育にとって重要である。0.2%酸性フクシン水溶液を用いて、カラム浸透法で置換採取した土壤溶液は、その成分組成がpF 2.7遠心法採取土壤溶液と近似しており、現場における土壤診断の手法として一定の意味を持つと考えられる。

(3) 土壤溶液の採取法に関する以上の知見にもとづいて、露地畑及び施設栽培土壤について、塩類の動向と低pF(酸性フクシン水溶液による置換採取)土壤溶液の組成について検討した。

黒ボク上の露地野菜畑では、多肥の影響で塩基がはげしく溶脱し、pH(KCl)は4.2～4.3まで低下する。pHはこれ以下にはならないが、Y<sub>1</sub>の増大傾向はさらに続く。土壤の酸性化傾向の強弱は用いた肥料(硫安、塩安、尿素、石灰窒素)の生理的反応とよく対応した。強酸性化した硫安、塩安両区を石灰(タンカル)で酸度矯正し、元肥を施用すると、土壤溶液中の $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$ 濃度の急上昇と、 $\text{Ca}^{2+}$ / $\text{Mg}^{2+}$ 比の著しい偏りにより、作物は強い生

育障害を受けるが、完熟堆肥の施用によって土壤溶液の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  濃度の上昇は抑制され、 $\text{Ca}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$  比のバランスも回復した。

(4) 土壌塩基状態にストレスを及ぼさぬよう、苦土石灰施用による pH 矯正と施肥節減を行った灰色低地土の露地野菜畠では、多肥を要する野菜の収量は不安定となつたが、堆肥の施用は生育収量の安定化に役立つた。

(5) 経過年数の異なる4か所のビニールハウス土壌（いずれも表層腐植質黒ボク土）の塩類濃度を、それぞれの隣接露地畠と対比した結果では、経過年数の古いハウスほど土壤溶液の塩類濃度が高く、これにともなつてトマトに生育抑制が観察された。

しかし、栽培期間中の土壤溶液の EC はおむね 2 mS ないしそれ以下で、SCHOFIELD の塩類尺度<sup>10)</sup>あるいは橋田がとりまとめた障害発現限界<sup>11)</sup>に照らしても、生育抑制をひきおこすレベルには至っていない。ここで考えられるのは、ハウス土壌の表層（0～40 cm）の乾燥傾向が強いため、水分張力が高まり、塩類濃度に由来する浸透圧上昇と水分張力増大をあわせた全吸引圧（水分应力）<sup>79)～81)</sup>の上昇が、トマトの生育を抑制するレベルに到達したことである。

この全吸引圧の上昇にともなう生育抑制に、浸透圧（塩類集積）と水分張力（乾燥）のいずれがより大きく関与するかについては明らかにできなかつたが、生育抑制の程度が土壤溶液の塩類濃度と並行的であることと、各ハウスの構造や灌水条件にあまり変りがないことから、主因は塩類集積にあると考えられる。

(6) 塩類集積土壌への陽イオン交換体の添加は飽和水浸液の  $\text{Ca}^{2+}$  濃度を減少させたが、作物の生育抑制の程度は軽減されなかつた。陰イオン交換体の添加は、 $\text{NO}_3^-$  濃度を減少させると同時に、作物の生育抑制を解消した。

完熟堆肥の添加は  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  濃度とともに減少させ、同時に作物の生育を回復させた。

堆肥乾物 100 g 相当量の添加によって、AEC 28 me の陰イオン交換体添加に相当する  $\text{NO}_3^-$  濃度抑制効果を示した。

(7) 以上の知見は、野菜畠に認められる塩類濃度障害の主因が、低 pF 土壤溶液中の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  の高濃度化にあり、濃度障害を防ぐためには、土壤溶液中の陰イオン濃度の抑制をかける必要のあることを示している。

土壤溶液の陽イオン組成は陰イオンによって律せられ、畠土壌においては通常の施肥条件下では、この陰イオンの主役が  $\text{NO}_3^-$  であることは、多くの報告によって明らか

にされている。<sup>20)～30), 35)～48)</sup> 本試験においても、 $\text{NO}_3^-$  と  $\text{Ca}^{2+}$  は互いに並行して増減し、上記の諸報告と合致する傾向を示した。 $\text{NO}_3^-$  と  $\text{Ca}^{2+}$  の土壤溶液中の行動を律する土壤的要因は、前述のようにそれぞれ異なるが、施肥にともなう土壤溶液濃度上昇が作物に及ぼす影響の程度は、主として  $\text{NO}_3^-$  濃度によって律せられることが確かめられた。

$\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  の挙動とは対照的に、黒ボク土畠の低 pF 土壤溶液では、 $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  の濃度は施肥条件による変化の程度が小さく、見かけ上は  $\text{NO}_3^-$  と  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  と  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  が、それぞれ対をなして行動しているように思われる。

岡島ら<sup>41), 42)</sup>によれば、土壤溶液の  $\text{SO}_4^{2-}$  の濃度はアロフェンの多い火山灰土では比較的安定しており、 $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  の濃度変化も少ないとされ、上記の実験結果と一致する。したがつて、黒ボク土の畠土壌にあっては、土壤溶液に及ぼす施肥の影響は主として  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  の濃度上昇となってあらわれ、 $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  への影響は比較的小さいといえる。なお、 $\text{Cl}^-$  は黒ボク土畠の土壤溶液中には、ほとんど見出されなかつた。

畠土壌に対する完熟堆肥の施用は、土壤に集積した  $\text{NO}_3-\text{N}$  の、低 pF 土壤溶液中への溶出を抑制する一方、施肥窒素が不足した場合には窒素給源として機能するなど、野菜の生育安定化のために広汎な効果をあらわした。これらの結果は、集約多肥栽培条件下にある野菜畠（露地、施設）における堆きゅう肥の必要性の新たな一面を示唆するものと考えられる。

CEC にくらべて AEC の極めて小さい完熟堆肥が土壤溶液中の  $\text{NO}_3^-$  濃度を抑制する機作は明らかではないが、いったん高 pF 土壤溶液中にとりこまれた  $\text{NO}_3^-$  は、容易には低 pF 溶液中に溶出しがたいとみられることから、高 pF 孔隙に富む完熟堆肥の施用が、低 pF 土壤溶液への  $\text{NO}_3^-$  の移行抑制に何らかの効果を及ぼしたと推察される。

2. 塩類集積土壌の土壤溶液組成に及ぼす堆肥施用の影響を解析するため、野菜畠などに集積する塩類のモデル物質として硝酸石灰を用い、硝酸石灰単独添加あるいはこれに堆肥を加えた場合の、土壤溶液中の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  の挙動を検討した。

(1) 0.2% 酸性フクシン水溶液による置換採取土壤溶液（pF 2.7 以下の低 pF 土壤溶液）中の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  の、硝酸石灰添加にともなう濃度上昇傾向は土壤の種類によっ

て異なり、赤土（火山灰心土）ではゆるやかであったが、沖積土（中粗粒質灰色低地土）の場合は硝酸石灰添加量を増すと、濃度は急上昇した。

いったん高 pF 孔隙中へとりこまれた陰イオンは、pF 1.5 の状態まで土壤が吸水しても、容易には低 pF 溶液中には移行しないことはすでに指摘したが、赤土では pF 3.3 以上の高 pF 孔隙割合が全孔隙の 70 % 近くを占めるのに対し、沖積土ではこの割合が約 50 % と低く、この差が  $\text{NO}_3^-$  濃度上昇勾配の緩急のちかいの原因になっていると考えられる。

一方、 $\text{Ca}^{2+}$  濃度は、土壤の陽イオン交換基への吸着との平衡関係によって律せられると同時に、土壤溶液中に共存する  $\text{NO}_3^-$  の濃度にも影響されることは、すでに指摘したとおりである。

(2) 上記実験に用いた赤土と沖積土にそれぞれ完熟堆肥を施用した場合、低 pF 土壤溶液における  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  濃度に及ぼす硝酸石灰添加の影響は、沖積土では明らかに緩和されたが、赤土では明らかな違いがみられない。これは、赤土には  $\text{NO}_3^-$  の低 pF 土壤溶液への移行を抑制する高 pF 孔隙が多く、完熟堆肥を加えても全孔隙中の高 pF 孔隙割合がほとんど増えないのに対し、沖積土では高 pF 孔隙割合が低く、堆肥を加えることでこの割合が上昇するためと考えられた。

土壤に多量の水（乾土 1 : 水 5）を加えた場合の、 $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  の溶出傾向をみると、 $\text{Ca}^{2+}$  は土壤への再吸着によって溶出総量は減少し、堆肥を施用した場合には CEC の増大により、 $\text{Ca}^{2+}$  の溶出量はさらに減少した。これに対し、 $\text{NO}_3^-$  は水分不飽和状態のときは異なり、土 1 : 水 5 の抽出溶液中に、ほぼ全量が溶出した。また、堆肥を加えても、この傾向は変らない。1 : 5 水抽出液の場合には、土壤や堆肥の凝集性が解放され、高 pF 孔隙が失われた結果、土壤あるいは堆肥による  $\text{NO}_3^-$  保持が行われなくなったと考えられる。

(3) つきに、遠心法で pF 別に土壤溶液を採取し、硝酸石灰として添加された  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{NO}_3^-$  の土壤溶液中の挙動を調べた。硝酸石灰として添加された  $\text{Ca}^{2+}$  は、pF 2.7 以下の領域及び pF 3.8 以上の領域の土壤溶液で高い濃度を示し、中間の pF 2.8 ~ 3.7 の領域の土壤溶液では濃度が低い。堆肥を加えると、pF 2.7 以下の領域の  $\text{Ca}^{2+}$  濃度が低下し、pF 2.8 以上の領域の土壤溶液中の  $\text{Ca}^{2+}$  濃度はあまり変らないが、堆肥施用によって pF 3.8 以上の水分が増えるため、 $\text{Ca}^{2+}$  の量的分布は、pF 3.8 以上の高 pF 領域へ著しく傾斜した。一方、硝酸石灰として添加

された  $\text{NO}_3^-$  の場合は、堆肥無施用時には  $\text{Ca}^{2+}$  よりも pF 3.2 以下領域の土壤溶液への分布割合が高く、また堆肥施用によって、pF 3.2 以下領域の土壤溶液中の濃度が低下するが、その低下率は  $\text{Ca}^{2+}$  の場合より大きかった。

上述の  $\text{Ca}^{2+}$  の挙動は、堆肥施用による CEC 増加により、固相表面への吸着が強まった結果と考えられるが、 $\text{NO}_3^-$  については前述したように高 pF 孔隙の影響を考える必要がある。

土壤あるいは堆肥の高 pF 孔隙は、その内表面に CEC を有するため、DDL<sup>59)</sup> の重なり合いによって連続した陰イオン排除域を生成し、陰イオンの通過を阻止する。

波多野らの土壤カラム実験<sup>49,50)</sup>では、高 pF 孔隙による陰イオン通過阻止現象は、水分飽和条件下においては陰イオン流下速度を水の流下速度より早める排除効果としてあらわれるが、水分不飽和な畑条件下では陰イオン流下速度を水の流下速度より遅らせる篩別効果となることが指摘されているが、畑土壤に混和された硝酸石灰は、堆肥施用によって富化された高 pF 孔隙がもたらすこのような篩別効果によって、低 pF 土壤溶液への拡散が阻止されたものと考えられる。

孔隙の当量直径  $d$  (cm) と吸水圧  $h$  (H<sub>2</sub>O cm) との間には、 $d = 0.3/h$  の関係<sup>105)</sup> があるが、BOLT<sup>59)</sup>によれば固相表面の DDL の範囲は表面から 20 ~ 200 Å とされ、このことから当量直径 400 Å ( $4 \times 10^{-6}$  cm) 以内の孔隙は極めて大きい篩別効果を有していることが知られる。

堆肥施用による  $\text{NO}_3^-$  濃度上昇抑制の効果は pF 3.2 以下の土壤溶液に認められ、pF 3.3 以上の土壤溶液には、このような効果は認められない。このことは、pF 3.3 以上の孔隙には高 pF 孔隙としての篩別効果が共通して存在していることを示しているように思われるが、pF 3.3 の孔隙の当量直径はほぼ  $2 \times 10^{-4}$  cm であり、上述の DDL の厚さから算出した当量直径 ( $4 \times 10^{-6}$  cm) にくらべればはるかに大きい数値である。したがって篩別効果だけで低 pF 土壤溶液における  $\text{NO}_3^-$  濃度上昇抑制に及ぼす堆肥の効果を説明して良いかどうかは明らかではないが、篩別効果が相当程度関与しているであろうことは充分考えられる。

(4) 赤土の AEC は  $0.4 \text{ me}/100 \text{ g}$  乾土、用いた完熟堆肥の AEC は、熟度の進んだ微細画分 (0.1 ~ 1 mm) で  $0.5 \text{ me}/100 \text{ g}$  乾土、やや粗大な画分 (1 ~ 5 mm) で  $1.2 \text{ me}/100 \text{ g}$  乾土といずれも極めて小さく、土壤溶液中の  $\text{NO}_3^-$  の挙動に及ぼす AEC の影響はほとんど無視して差支えないと思われる。

(5) 土壌溶液の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  の濃度はコマツナの生育の良、不良に影響するが、コマツナの生育がもっとも良い場合の置換採取土壌溶液(pF 2.7以下)のEC,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  濃度は、性質の異なる2種の土壌(赤土と沖積土)でほぼ一致した値を示し、EC 1.4~1.5 mS,  $\text{Ca}^{2+}$  0.8~ $0.9 \times 10^3 \text{ ppm}$ ,  $\text{NO}_3^-$ -N  $1.4 \times 10^3 \text{ ppm}$  であった。土壌の性質はちがってもpF 2.7以上の低pF土壌溶液についてみると、コマツナの生育に最適の塩類(イオン)組成はあまり変わらないことは、作物の生育に直接影響する因子として、易効性有効水に相当する低pF領域(pF 2.7以下)の土壌溶液組成が重要な役割を果たしていることの証しだり、今後の土壌診断において、低pF土壌溶液の採取分析を重視すべきことを示唆していると思われる。

(6) 以上の知見から、易効性有効水に相当する低pF土壌溶液の組成、とくに  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  の濃度は作物の生育に重要な影響を及ぼし、完熟堆肥の施用はこの領域の土壌溶液の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  濃度の、施肥負荷による上昇抑制に有効であることが明らかにされたが、堆肥の効果をもたらす機作については、堆肥の凝集力に由来する高pF孔隙の土壌への富化が  $\text{NO}_3^-$  濃度上昇抑制の主な影響要因になっているとみられる現象が認められた。この現象に関する既往の知見として、固相表面のAECによる吸着や微細孔隙内面のCECによる陰イオン( $\text{NO}_3^-$ )の通過阻止作用など、土壌コロイド表面の静電気的特性をめぐる多くの情報があるが、本実験で認められた土壌溶液中の  $\text{NO}_3^-$  の挙動は、これらの静的メカニズムでは、必ずしも充分な説明はできなかった。土壌溶液中の  $\text{NO}_3^-$  の挙動の解明には、土壌溶液と孔隙あるいは固相表面とのより動的なかかわりあいのなかでの陰イオンの行動原理をさらに追求する必要がある。

3. 集約多肥土壌に対する堆肥施用効果のひとつに、堆肥の凝集力に由来する微細孔隙の土壌への富化による土壌溶液の  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  濃度上昇抑制があることは前述したとおりで、このことによって野菜など多肥作物の生育安定化に寄与している。

しかし、都市及びその周辺の野菜産地では堆肥素材となる作物残渣や家畜糞等の入手難や堆肥づくり労力の不足などから、堆肥が充分に施用できず、このことが作物生育の不安定化を招いている。

最近大都市周辺の農地の一部に施用されはじめた都市ごみコンポストは、紙、厨芥など複雑な素材を混合発酵させたものであり、従来の堆肥にくらべると有機物の形

態は異なるが、今後の都市周辺農業にとって重要な有機物給源のひとつになり得ると思われる。

この意味で、都市ごみコンポストが土壌の理化学性及び作物に対する効果の面でどのような特徴を有し、集約多肥栽培畑地において堆肥に代わる資材としてどの程度の代替性を有するかを明らかにしておく必要がある。

(1) 実験でとり上げた都市ごみコンポスト(以下コンポストという)は、東京都が実用化へ向けて検討中の試製品で、C/N比は素材構成や発酵条件によっておよそ12~16の範囲内でバラついており、還元糖割合は比較的高く、原田・井ノ子の提唱するコンポスト熟度指標<sup>[27]</sup>のひとつである35%をときに超えることがある。リグニン及び塩酸不溶解物は堆肥より少ない。

畑状態の腐植質黒ボク土に施用した場合のコンポストNの無機化率は、C/N比が12以下ではプラス、12をこえるとマイナス(有機化)の数値を示す。

(2) コンポストを毎作2~3 t/10a(年2作)連用した黒ボク土畑でのキャベツ、ダイコンの栽培試験の結果では、土壌へのC及びNの蓄積、CECの増大、有効りん酸の富化、全孔隙率の増加など、土壌改良の効果が明らかに認められたにもかかわらず、この効果が作物の增收には結びつかなかった。その原因は生育前半に生じたN有機化による生育抑制にあると考えられた。

(3) 植物遺体のようにN化合物とC化合物が一体化した均質な素材とちがい、コンポストは異質な素材の混合物であるため、Nの有機化・無機化には、T-C/T-N比ではなく、易分解性素材のC/N比がまず関与する。この意味で、セルロース質(紙質)素材の構成比の高い東京都のコンポストは、みかけのC/N比は低くても易分解性素材部分のC/N比が高く、N有機化をおこすものと考えられる。

(4) 以上のようなコンポストの成分ならびに土壌中の分解特性からみると、集約多肥栽培畑に対するコンポスト施用は、C/N比に注意して極端なN有機化(N飢餓)を避けねば、堆肥に代替できる有機物供給方法のひとつとして、充分活用できると考えられる。

しかし、腐熟により微細化した画分の凝集性、縮重合性の点ではコンポストは堆肥より弱く、このためCECに富む微細孔隙を土壌に富化する機能は堆肥に劣り、この微細孔隙の富化がもたらす効果、すなわち肥料塩由来する  $\text{NO}_3^-$  の低pF(pF 2.7以下)土壌溶液への溶出を抑制し作物を塩類濃度障害から守る効果については、堆肥ほどには期待できないと判断される。

ただし、無機Nが過剰に集積し、そのために生育阻害が生じている場合には、コンポスト施用によるN有機化（バイオマス変換）により生育阻害を解消するとともに地力窒素の蓄積をはかることが可能であり、本実験のなかでも圃場試験の第1作キャベツにこのような効果が認められた。

4. 以上述べてきたように、昔から使われてきた完熟わら堆肥には、塩類濃度障害に対する緩衝作用も含めて、広汎で確実な土壤改良機能があり、そのすべてを代替できる土壤改良資材を見出すことは困難である。最近都市周辺の農業地帯で堆肥代替資材として注目される都市ごみコンポストも、塩類濃度障害に対する緩衝作用に関しては堆肥ほどの効果は期待できないことが知られた。

都市周辺部の畑地は、今後さらに施肥の集約度が高まる傾向にあり、生産安定化のためには、施肥負荷に対する緩衝作用にすぐれた有機質資材の施用が必要である。この見地から、極力わら堆肥の施用をはかるとともに、その不足を補う代替有機物については、土壤中の分解特性を充分把握し、施肥負荷に対する緩衝作用の大きいものを選んで使う必要があると考えられる。

## 要

集約多肥栽培の行われている野菜畑土壤は化学肥料の多施用に起因する化学的負荷によって土壤溶液濃度が作物の生育を阻害するレベルにまで高まる場合が少くない。

このような化学的負荷の内容を土壤溶液を中心に解析するとともに、集約多肥栽培畑地における完熟わら堆肥の施用効果を主として化学的負荷に対する緩衝作用の面から検討し、さらに最近大都市周辺の高集約農業のなかで堆肥代替資材として利用可能性が検討されている都市ごみコンポストについて、土壤改良効果ならびに化学的負荷に対する緩衝作用をどの程度期待できるかを検討した結果は、以下のとおりであった。

### I. 畑土壤に対する施肥がもたらす化学的負荷と土壤溶液への影響

1) 肥料塙の集積した畑土壤の土壤溶液はpF領域によってイオン濃度の異なる現象が認められた。0.2%酸性フクシン水溶液を用いた置換法で採取した土壤溶液の組成は、遠心法で採取したpF 2.7以下の土壤溶液の組成に近似していることが知られたが、この領域の土壤溶液は易効性有効水に相当し、作物に第一義的に吸収されるため、作物の生育に重要なかわりを有すると考えられる。

2) 化学肥料の多施用にともない塙基がはげしく溶脱した黒ボク土の野菜畑に、一時に多量の石灰質資材を施用すると、施肥窒素から生成されたNO<sub>3</sub><sup>-</sup>と石灰質資材に由来するCa<sup>2+</sup>によって土壤溶液濃度が急激に高まり、作物に生育障害をもたらした。完熟わら堆肥の施用は、上述の置換法で採取した低pF土壤溶液のCa<sup>2+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の濃度上昇を抑制し、作物の生育障害を緩和した。

3) 施肥が土壤に及ぼす化学的負荷を極力小さくするため、化学肥料の施用量と石灰質資材の施用量を節減した灰色低地土の野菜畑では、多肥が重要な野菜の収量は不安定となつたが、完熟堆肥の施用によって収量は安定化した。

4) 経過年数の異なる黒ボク土のビニールハウスでは、経過年数の古いほど塙類集積傾向が強く、土壤の乾燥による水分張力の上昇と、土壤溶液の塙類濃度上昇をあわせた全吸引圧（水分応力）の増大に対応して、トマトの生育抑制が認められた。

5) 塙類集積土壤への陽イオン交換体の添加は飽和水浸液のCa<sup>2+</sup>濃度を低下させ、陰イオン交換体の添加は

## 約

飽和水浸液のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度を低下させたが、作物の生育抑制の程度は陰イオン交換体の添加の場合にのみ軽減された。完熟堆肥の添加はCa<sup>2+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度とともに低下させ、同時に作物の生育抑制を軽減した。堆肥乾物100g相当量の添加によって、陰イオン交換容量（AEC）28 meの陰イオン交換体添加に相当するNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度低下効果が認められた。

### II. 塙類集積土壤の土壤溶液組成に及ぼす堆肥施用の影響

1) 集約多肥栽培土壤における集積塙類のモデル物質として硝酸石灰を用い、これを土壤に添加したときの、低pF土壤溶液中のCa<sup>2+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の濃度上昇傾向及びコマツナへの濃度障害のあらわれ方は、赤土（火山灰土）では比較的ゆるやかであったが、沖積土（中粗粒質灰色低地土）の場合は急激にあらわれた。硝酸石灰とともに完熟堆肥を加えた場合には、沖積土の低pF土壤溶液中のCa<sup>2+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の上昇は抑制され、コマツナの生育障害も軽減されたが、赤土では堆肥無添加の場合とあまり変わらなかった。

2) 沖積土に硝酸石灰あるいは硝酸石灰と完熟堆肥を添加し、遠心法でpF範囲別に土壤溶液を採取し、Ca<sup>2+</sup>とNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度のpF別変化を調べた。硝酸石灰として添加されたCa<sup>2+</sup>は、pF 2.7以下、及びpF 3.8以上の両領域で高い濃度を示し、中間のpF 2.8～3.7の領域では濃度が低かった。堆肥を加えた場合はpF 2.7以下の低pF領域の濃度が明らかに低下した。一方、硝酸石灰として添加されたNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の場合は、pF 3.2以下のpF領域に比較的高濃度に分布し、高pF領域への移行傾向はCa<sup>2+</sup>ほど大きくはない。堆肥を加えた場合は、pF 3.2以下の土壤溶液中のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度が、Ca<sup>2+</sup>の場合よりさらに著しく低下することが認められた。以上から、土壤溶液中のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>濃度の施肥負荷にともなう変動は、主としてpF 3.2以下の比較的低pF領域の土壤溶液部分で認められ、pF 3.3以上の高pF領域での濃度変化はおこりにくいことが知られた。

3) 土壤溶液中のCa<sup>2+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>の挙動は、土壤のCEC, AECによる吸着作用とかかわりが深いと思われるが、供試した土壤及び堆肥のAECは極めて小さく、土壤溶液中のNO<sub>3</sub><sup>-</sup>の挙動にはほとんど影響しないとみられた。

乾土1:水5の割合で振とうした水浸出液のCa<sup>2+</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>

濃度の実測値と、硝酸石灰添加量から算出した計算値を対比してみると、 $\text{Ca}^{2+}$  濃度は実測値が計算値より低く、CECによる吸着の影響が認められるが、 $\text{NO}_3^-$  濃度は計算値と実測値がほぼ一致し、この点でも AEC の影響は認められなかった。

4) 供試土壤及び堆肥の pF 別孔隙分布は、堆肥の場合には pF 3.3 以上の細孔隙の割合が全孔隙の 70 % 近くを占めていたが、この比率は赤土と良く似ていた。これに対し、沖積土の細孔隙は、全孔隙の約 50 % で比較的少ない。のことから、赤土と沖積土の低 pF 土壤溶液中の  $\text{NO}_3^-$  の挙動のちがい、堆肥施用の影響のあらわれかたのちがいは、両土壤の細孔隙（高 pF 孔隙）割合のちがいに影響されるところが大きいと考えられた。

5) 土壤及び堆肥の高 pF 孔隙は、その内表面に CEC を有するため、電気的拡散に重層（DDL）の重なり合いによって、非対イオンである陰イオンの通過を阻止することが知られているが、水分不飽和な畳状態の土壤の場合には、この陰イオンの通過阻止作用が、土壤中での陰イオンの移動拡散を遅らせる「篩別効果」をもたらすことが、指摘されている。上述のような土壤溶液中の  $\text{NO}_3^-$  の挙動はこの篩別効果と深くかかわっているように思われ、pF 3.3 以上の高 pF 土壤溶液へ移行しにくいや、堆肥添加の場合に堆肥の高 pF 孔隙に包まれた  $\text{NO}_3^-$  が低 pF 部の土壤溶液へ溶出しにくいくことは、高 pF 孔隙の持つ陰イオン通過阻止作用を想定すれば、説明が可能である。

しかし、前述の DDL の固相表面からの距離は 20~200 Å 程度とされており、このことから連続した陰イオン排除域を形成できる孔隙の大きさは、当量直径 400 Å ( $4 \times 10^{-6} \text{ cm}$ ) 以内であるとみられる。

$\text{NO}_3^-$  の濃度が変化しにくい pF 3.3 以上の孔隙の当量直径はほぼ  $2 \times 10^{-6} \text{ cm}$  で、上述の陰イオン排除域を形成できる孔隙の当量直径  $4 \times 10^{-6} \text{ cm}$  にくらべてはるかに大きく、pF 3.3 以上の孔隙がどの程度の陰イオン通過阻止効果をもたらすかは明らかではないが、少なくとも微細孔隙（高 pF 孔隙）の存在が低 pF 土壤溶液中の  $\text{NO}_3^-$  の挙動に深くかかわっていることは確認できた。

6) 土壤の種類が異なっても、pF 2.7 以下の低 pF 土壤溶液に関しては、コマツナの生育に最適の EC,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  濃度はあまり変わらない。のことから、易効性有効水に相当する低 pF 領域の土壤溶液組成が、作物の生育に直接かかわる重要な意味を有していることが確かめられた。

### III. 堆肥代替資材としての都市ごみコンポストの機能評価

1) 堆肥づくりの材料や労力に乏しい都市周辺の農地では、堆肥代替資材として、都市ごみコンポストが一部導入され、その評価をめぐって議論が行われている。本報でとり上げた都市ごみコンポストは東京都が実験中のもので、C/N 比 12~16、還元糖割合は原田・井ノ子の熟度指標値である 35 % をこえることがある。

2) 東京都のごみは他都市よりセルロース質（紙質）素材の構成比が高いため、コンポスト製品は易分解性 C が多く、見かけの C/N 比は比較的低いにもかかわらず、土壤中で分解する際に N 有機化をおこしやすい。N 有機化・無機化の分岐点となる C/N 比は約 12 であった。

3) コンポストの施用は、孔隙量や保水性向上など土壤物理性の改善、C, N の蓄積、有効りん酸の富化、CEC 増大など土壤化学性の改善にそれぞれ明らかな効果を及ぼしたが、上述の N 有機化などのため、作物の増収には必ずしも結びつかなかった。

4) 腐熟により微細化した畳分の凝集性については、コンポストは堆肥より弱く、このため微細孔隙を土壤に富化し、肥料塩に由来する  $\text{NO}_3^-$  の低 pF 土壤溶液への溶出を抑制して作物を塩類濃度障害から守る効果に関しては、堆肥ほどには期待できないと判断された。

5) 以上から、堆肥代替資材としての都市ごみコンポストは、熟度と C/N 比に注意して N 有機化を起きない状態で施用すれば、充分な土壤改良機能を期待できるが、作物を塩類濃度障害から守る緩衝作用については、堆肥に及ばず、その効用には一定の限界のあることが認められた。

**謝 辞** 本研究の推進にあたり、終始ご指導をいただいた東京大学農学部高井康雄教授、和田秀徳助教授、ならびにご助言をいただいた東京大学農学部熊沢喜久雄教授、岩田正利教授、茅野充男助教授、および実験にご協力いただいた東京都農業試験場都田紘志、竹迫絢、加藤哲郎、米山徹道、高橋洋二、中村条藏、東京都肥飼料検査所浅海哲夫、元東京都農業試験場吉田京子、故申安信行各氏に、心から感謝申し上げます。

本報告の一部は、都田紘志、浅海哲夫両氏との共同研究によるものであります。

## 引　用　文　献

- 1) 北沢右三・北沢高司：農薬および堆肥の投与と土壤動物の変化 土壌生態系の化学的環境負荷の評価とその改善制御に関する研究，昭和51年度報告，文部省特定研究(1)，21～30(1977)
- 2) 高井康雄・梁 昌述：堆肥、殺虫剤、殺菌剤を投与した土壤中の微生物相の変化 同上昭和49年度報告，16～19(1975)
- 3) 村山 登ほか：水稻根群の発達と培地環境 同上昭和51年度報告，69～79(1977)
- 4) 高井康雄ほか：化学的環境負荷と水稻根圈 同上昭和51年度報告，83～91(1977)
- 5) 伊達 昇ほか：軟弱野菜連輪作土壤の化学的動向とその改善 同上昭和51年度報告，93～103(1977)
- 6) 金野隆光：有機物による生態系の改善と制御 同上昭和51年度報告，105～113(1977)
- 7) 麻生末雄・石井幸雄：水田における稻わら環元と施肥窒素の行動 同上昭和51年度報告，115～133(1977)
- 8) 吉田富男ほか：有機物の土壤環元と窒素代謝 同上昭和51年度報告，135～140(1977)
- 9) 伊達 昇ほか：多摩川流域農耕地土壤の特性ならびに肥培管理の実態と影響 多摩川およびその流域の生態系動態に及ぼす人間活動の影響第2号，文部省環境科学特別研究，129～136(1979)
- 10) 橋田茂和：ビニールハウス栽培の土壤肥料的問題点 土肥誌36，274～283(1965)
- 11) 橋田茂和：塩類濃度障害の簡易検定 そ菜に関する土壤肥料研究集録，全購連，297～302(1966)
- 12) 藤沼善亮・田中房江：作物の塩類濃度障害に関与する肥料，土壤要因について 農技研報B26，1～96(1975)
- 13) 嶋田永生：集約多肥栽培土壤の酸性に関する土壤溶液的研究 愛知園試研報6，67～114(1967)
- 14) 山根一郎：たん水土壤中の土壤溶液のpH 土肥誌45，303～305(1974)
- 15) 森次益三・河崎利夫：作物生育ならびに無機養分吸収に及ぼす培養液pHの影響 土肥誌51，374～384(1980)
- 16) GUPTA, U. C., E. W. CHIPMAN, & D. C. MAC-KAY: Influences of Manganese and pH on C-chemical Composition. Bronzing of leaves, and Yield of Carrots Grown on Acid Sphagnum Peat soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 34, 762～764(1970)
- 17) CHAUDHRY, F. M. & J. F. LONERAGAN: Zinc Absorption by Wheat Seedlings, II. Inhibition by Hydrogen Ions and by Micro-nutrient Cations. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 36, 327～331(1972)
- 18) 石田 明・増井正夫：カーネーションのマンガン過剰症に関する研究(第1報)土壤の蒸気消毒とpHについて 園学誌42, 40～48(1973)
- 19) 吉田 稔・中野克良：塩基性アルミニウム吸着による土壤有機物のカチオン吸着能の低下 土肥誌49, 513～515(1978)
- 20) 本庄益雄：無機質酸性肥料の連用と堆肥の影響に就て 土肥誌5, 12～21(1931)
- 21) 伊崎孝治郎・小林茂久平：無機肥料連用に因る畠地土壤の酸性化に就て 土肥誌17, 1～10(1943)
- 22) 中安信行・荒井俊邦：都市近郊のそ菜畠土壤 そ菜に関する土壤肥料研究集録，全購連，57～64(1966)
- 23) 橋本 武・中村和弘：施肥による土壤酸性化ならびに中和に関する研究(第1報)，土肥誌42, 453～458(1971)
- 24) 関東ハウス土壤研究グループ：ハウス土壤の塩類濃度測定法 農及園41, 61～63(1966)
- 25) 同上：ハウス土壤の塩類集積の実態 農及園41, 1451～1455(1966)
- 26) 伊達 昇：ハウスそ菜の塩類集積(1) 農業技術22, 565～569(1967)
- 27) 同上：同上(2) 農業技術23, 10～12(1968)
- 28) 米田茂男ほか：葡萄硝子室土壤の化学的組成とくに可溶性塩類の異常集積に関する研究(第1報)葡萄硝子室土壤の化学的組成の特徴について 岡山大農学報14, 33～44(1959)
- 29) 同上：同上(第2報)葡萄硝子室土壤の含塩度及び硝酸態窒素の変化について 同上15, 33～42(1960)
- 30) 宇野重徳ほか：施設園芸土壤の合理的管理方法に関する研究(第1報)温室土壤の理化学性について 兵庫農試研究12, 75～79(1964)
- 31) 橋田茂和：ハウス栽培のガス障害とその防止対策 農及園43, 1855～1858(1968)

- 32) 同上：ハウス栽培の施肥条件とガス障害 同上 46, 233 ~ 236 (1971)
- 33) 奥田 東ほか：土壤に施用した各種アンモニウム塩の溶脱について 土肥誌 30, 193 ~ 206 (1959)
- 34) 木下 彰・小浜節雄：畑土壤の養分有効性に関する土壤溶液論的研究（第1報）土壤溶液の濃度・組成に対するアンモニア態窒素肥料の化学形態の影響 土肥誌 36, 125 ~ 129 (1965)
- 35) 山内益夫：砂丘土壤における作物栽培に関する土壤肥料学的研究（第6報）土壤中のイオンの動態 土肥誌 45, 529 ~ 535 (1974)
- 36) 嶋田永生：そ菜畑の土壤管理 農及園 38, 1092 ~ 1096 (1963)
- 37) 石塚喜明ほか：畑作物に対する施肥位置に関する研究（第3報）各種作物根系の特性とそれにおよぼす各種肥料濃度の影響 土肥誌 35, 159 ~ 164 (1964)
- 38) 薬師寺肇：ミカンの多肥障害とその対策 農及園 40, 343 ~ 346 (1965)
- 39) 岡島秀夫・今井弘樹：土壤の養分供給能に関する研究（第2報）水田圃場における土壤溶液濃度と養分供給 土肥誌 44, 296 ~ 300 (1973)
- 40) 岡島秀夫ほか：同上（第3報）硝酸化成にともなう固相養分の放出について 土肥誌 45, 389 ~ 394 (1974)
- 41) 岡島秀夫・今井弘樹：同上（第4報）畑苗代土壤溶液の無機イオン組成と濃度 土肥誌 47, 256 ~ 262 (1976)
- 42) 同上：同上（第5報）畑土壤の水分状態と養分の可給性 土肥誌 47, 563 ~ 570 (1976)
- 43) 今井弘樹・岡島秀夫：土壤の養分保持能に関する研究（第1報）CEC, AEC が土壤溶液のイオン濃度に及ぼす影響 土肥誌 50, 33 ~ 39 (1979)
- 44) 同上：同上（第2報）養分保持におけるアニオニン吸着と石こう生成の意義 土肥誌 51, 95 ~ 101 (1980)
- 45) 同上：同上（第3報）NO<sub>3</sub> 吸着について 土肥誌 51, 102 ~ 106 (1980)
- 46) 岡島秀夫ほか：土地利用を異にする土壤の土壤溶液イオン組成に関する比較研究（第1報）ハウス土壤について 北大農邦文紀 12, 200 ~ 210 (1981)
- 47) 波多野隆介ほか：同上（第3報）火山性土の畑圃場について 同上 13, 118 ~ 127 (1982)
- 48) 佐藤冬樹ほか：林地土壤溶液のイオン組成と溶液平衡論からみた含有鉱物の安定性 土肥誌 53, 219 ~ 226 (1982)
- 49) 佐久間敏雄ほか：畑土壤における水分と無機塩類の挙動（第1報）カラム中の水と塩素イオンの移動 土肥誌 46, 126 ~ 132 (1975)
- 50) 同上：同上（第2報）イオン交換とともに流出過程の検討 土肥誌 47, 470 ~ 476 (1976)
- 51) 飯塚文男ほか：同上（第3報）表層添加中性塩の溶脱経過と陽イオンの挙動 土肥誌 49, 75 ~ 81 (1978)
- 52) 今井弘樹ほか：多肥かん水栽培条件下における硫酸根、りん酸根、塩素根肥料の土壤中の挙動 北大農邦文紀 11, 189 ~ 201 (1978)
- 53) 波多野隆介ほか：畑土壤における水分と無機塩類の挙動（第4報）火山性土における水分の移動と肥料塩の再配分について 北大農邦文紀 13, 128 ~ 137 (1982)
- 54) 山崎慎一：土壤溶液の採取法およびその化学的組成 土肥誌 41, 424 ~ 432 (1970)
- 55) 山崎慎一・木下 彰：100 ml 容採土管を用いての遠心法による土壤溶液の採取 土肥誌 40, 301 (1969)
- 56) 佐藤和夫・山根一郎：たん水土壤の土壤溶液に関する研究（第1報）土壤溶液の採取と測定法の検討 土肥誌 44, 241 ~ 245 (1973)
- 57) 同上：同上（第2報）土壤溶液の成分濃度の変化 土肥誌 44, 246 ~ 250 (1973)
- 58) ADAMS, F.: Soil Solution. The Plant Root and Its Environment, ed. E. W. CARSON, 441 ~ 482. The University Press of Virginia (1974)
- 59) BOLT, C. H., M. G. M. BRUGGENWERTH (岩田進牛他訳)：土壤の化学 学会出版センター, 41 ~ 55 (1980)
- 60) 佐藤 了ほか：土地利用を異にする土壤の土壤溶液イオン組成に関する比較研究（第2報）土壤溶液の採取法とpH 北大農邦文紀 12, 211 ~ 221 (1980)
- 61) 佐藤吉之助：ハウス土壤の塩類濃度 そ菜に関する土壤肥料研究集録, 全購連, 281 ~ 289 (1966)
- 62) 鈴木大助ほか：耕土層内における肥料成分の動態の解明（第3報）畑状態水分土壤カラムにおける重水及び肥料成分の挙動 農技研肥化資料 241, 1 ~ 10 (1982)
- 63) BALASUBRAMANIAN, V., L. R. AHUJA, Y. KANEHIRO, & R. E. GREEN: Movement of Water and Nitrate in an Unsaturated Aggregated Soil during Nonsteady Infiltration - A Sim-

- plified Solution for Solute Flow. *Soil Sci.* 122, 245 ~ 255 (1976)
- 64) 高崎 卷：無機偏質肥料連用の影響 *土肥誌* 1, 57 ~ 78 (1927)
- 65) 手島周太郎：硫安及び石灰窒素を連用せる水田土壤の反応に就て *土肥誌* 13, 337 ~ 343 (1939)
- 66) 小林茂久平：肥料の連用が土壤の緩衝能及び接触作用に及ぼす影響に就て *土肥誌* 14, 789 ~ 795 (1940)
- 67) 小沢 昇・田村義謙：有機質並に無機質肥料の連用が、桑樹の収量、根系及び土壤に及ぼす影響(第1報) *土肥誌* 14, 723 ~ 732 (1940)
- 68) 同上：同上(第2報) *土肥誌* 15, 107 ~ 118 (1941)
- 69) 同上：同上(第3報) *土肥誌* 17, 191 ~ 202 (1943)
- 70) 河合惣吾・森田 昇：茶園土壤の特性について(第1報) *土肥誌* 29, 17 ~ 20 (1958)
- 71) 同上：同上(第2報) *土肥誌* 29, 61 ~ 62 (1958)
- 72) 同上：同上(第3報) *土肥誌* 29, 172 ~ 175 (1958)
- 73) 同上：同上(第4報) *土肥誌* 29, 564 ~ 566 (1958)
- 74) ORION社：Instruction Manual Lead Electrode, 20 ~ 24 (1979)
- 75) 菅田重雄ほか：軟弱野菜の病害虫発生状況(連・輪作) *関東東海病害虫研究会年報* 21, 51 ~ 52 (1974)
- 76) 橋田茂和・柳井利夫：そ菜の塩類濃度障害と簡易測定法 *農及園* 39, 1389 ~ 1392 (1964)
- 77) 鳥羽永生・武井昭夫：被覆そ菜栽培における施肥と土壤管理 *農及園* 39, 1549 ~ 1552 (1964)
- 78) 中安信行・伊達 昇：ハウス栽培における塩類集積障害と対策 *農及園* 42, 1697 ~ 1701 (1967)
- 79) 杉山直儀編：野菜の栄養生理と施肥技術 *誠文堂新光社*, 60 ~ 64 (1977)
- 80) 寺沢四郎：畑土壤の水分の運動に関する研究(第1報) 土壤水分応力に及ぼす土壤水分の影響 *土肥誌* 32, 221 ~ 226 (1961)
- 81) 寺沢四郎：畑土壤の水分の運動に関する諸問題 *土肥誌* 39, 396 ~ 406
- 82) 田中房江・藤沼善亮：高濃度肥料溶液が作物の発芽および根の伸びにおよぼす影響(第1報) 各種肥料溶液における作物の発芽および根の伸びについて *土肥誌* 45, 582 ~ 587 (1974)
- 83) 同上：同上(第2報) 作物の根の伸びに対する肥料溶液の浸透圧効果 *土肥誌* 45, 588 ~ 590 (1974)
- 84) 鳥羽典司：作物に対する塩類の濃度障害に関する基礎的研究(第1報) 単一塩類溶液におけるキュウリ根の活性の変化について *土肥誌* 40, 26 ~ 31 (1969)
- 85) 同上：同上(第2報) キュウリ根の活性に及ぼす共存塩類の効果について *土肥誌* 40, 32 ~ 37 (1969)
- 86) BOLT, C. H., M. G. M. BRUGGENWERTH(岩田進午他訳)：土壤の化学 学会出版センター, 99 ~ 105 (1980)
- 87) 飯村康二：アロフェンおよび火山灰土壤の酸性とイオン交換 *農技研報B* 17, 101 ~ 157 (1966)
- 88) 浪岡日佐雄・大塩裕陸：硝酸化成抑制剤(DCS)の行動ならびに効果発現機構 *土肥誌* 47, 114 ~ 121 (1976)
- 89) 嶋田典司・高橋直和：トマトの養分吸収に及ぼす陰イオン交換樹脂の影響 *土肥誌* 51, 229 ~ 233 (1980)
- 90) 同上：陰イオン交換体による塩類の溶脱抑制に関する研究(第1報) 土壤からの塩類の溶脱に及ぼす陰イオン交換体の影響 *土肥誌* 50, 5 ~ 9 (1979)
- 91) 小野信一・内田好哉：土壤の陽イオン吸着におよぼす陰イオンの影響 *土肥誌* 50, 103 ~ 106 (1979)
- 92) SCHALSCHA, E. B., P. F. PRATT & T. C. DOMECH : Nitrate Adsorption by Some Volcanic-ash Soils of Southern Chile. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38, 44 ~ 45 (1974)
- 93) SCHALSCHA, E. B., H. P. GALVAN & F. T. BINGHAM : Boron sorption by Volcanic-ash Soils in Southern Chile. *Soil Sci.* 116, 70 ~ 76 (1973)
- 94) GEBHARDT, H. & N. T. COLEMAN : Anion Adsorption by Allophanic Tropical Soils : I, Chloride Adsorption. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38, 255 ~ 259 (1974)
- 95) GEBHARDT, H. & N. T. COLEMAN : Anion Adsorption by Allophanic Tropical Soils : II, Sulfate Adsorption. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 38, 259 ~ 260 (1974)
- 96) MEHLICH, A. : Determination of Cation - and Anion - Exchange Properties of Soils. *Soil Sci.*, 66, 429 ~ 445 (1949)
- 97) RUBINS, E. J. & L. A. DEAN : Anion Exchange in Soils : II, Methods of Study, *Soil Sci.*, 63, 339 ~ 397 (1947)
- 98) WADA, K. & H. ATAKA : The Ion Uptake Mechanism of Allophane, *Soil Plant Food*, 4, 12 ~ 18 (1958)

- 99) BOLT, G. H., BRUGGENWERT, M. G. M. (岩田進午他訳) : 土壌の化学 学会出版センター, 102 (訳注) (1980)
- 100) 農林水産技術会議事務局 : 火山灰土における堆肥及び厩肥の長期連用効果に関する研究 研究成果 95, (1977)
- 101) 伊東祐二郎ほか : 畑地におけるふん尿厩肥の大量連用 九農試報 22, 259 ~ 319 (1982)
- 102) DYER, K. L. : Unsaturated Flow Phenomena in Panoche Sandy Clay Loam as Indicated by Leaching of Chloride and Nitrate Ions. Soil Sci. Soc. Am. Proc. 29, 121 ~ 126 (1965)
- 103) KRUPP, H. K., J. W. BIGGAR, & D. R. NIELSEN : Relative Flow Rates of Salt and Water in Soil. Soil Sci. Soc. Am. Proc., 36, 412 ~ 417 (1972)
- 104) KEMPER, W. D. & D. E. L. MAASLAND : Reduction in Salt Content of Solution on Passing Through Thin Films Adjacent to Charged Surfaces, Soil Sci. Soc. Am. Proc., 28, 318 ~ 323 (1964)
- 105) 土壌物理性測定法委員会 : 土壌物理性測定法 養賢堂, (1972)
- 106) WADA, K. & Y. OKUMURA : Measurement of Exchange Capacities and Hydrolysis as Means of Characterizing Cation and Anion Retentions by Soils., Proceedings of the International Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture, 811 ~ 815, The Society of the Science of Soil and Manure, JAPAN (1977)
- 107) 利田秀徳・金沢晋二郎 : 土壌有機物の物理的分画法 (第1報) 土肥誌 41, 273 ~ 280 (1970)
- 108) 金沢晋二郎ほか : 森林土壤における有機物の存在状態とその分解過程 (第1報) 有機物層を構成する各画分の炭素・窒素量および形態的特徴 土肥誌 48, 181 ~ 186 (1977)
- 109) 広瀬春朗・熊田恭一 : 物理的に分画した稻わら堆肥の性状 (その1) 植物遺体の腐朽化過程に関する化学的研究第2報 土肥誌 43, 21 ~ 24 (1972)
- 110) 熊田恭一 : 土壌有機物の化学 東大出版会, 92 ~ 94, 179 ~ 186 (1977)
- 111) 樋口太重・栗原 淳 : 形態を異にする施肥窒素の行動 (第14報) 有機物連用土壤の地力窒素的な評価 農技研肥化資料 245, 1 ~ 10 (1982)
- 112) 高崎 巻 : 堆肥の効果に関する研究 (第1報) 土壤の生産力維持に就て 土肥誌 12, 476 ~ 486 (1938)
- 113) 花田 稔 : 堆肥施用土壤に関する調査 (第1域) 土肥誌 15, 165 ~ 178 (1941)
- 114) 三木和夫 : 畑地に対する有機物施用の効果 農及園 40, 1489 ~ 1493 (1965)
- 115) 山根一郎 : 堆肥連用試験の再検討(1)畑の場合 農及園 49, 723 ~ 727 (1974)
- 116) 同上 : 同上(2)水田の場合 農及園 49, 848 (1974)
- 117) 千葉 明ほか : 畑土壤における堆厩肥の役割 農及園 50, 1229 ~ 1233 (1975)
- 118) 山本 育ほか : 牧草導入の土壤生産力に及ぼす影響について 愛知農試彙報 16, 115 ~ 148 (1960)
- 119) 野本龜雄・岸田達男 : 鉱質酸性土壤における数種有機物施用の効果 東近研報載 4, 146 ~ 157 (1957)
- 120) 小林茂久平 : 無機肥料の連用に対する大豆粕, 堆肥, 緑肥及び石灰の併用が作物並に土壤に及ぼす影響に就て 土肥誌 14, 100 ~ 111 (1940)
- 121) 永田武雄・村松 久 : 置換基の種類に関する研究 (第1報) 土肥誌 37, 243 ~ 247 (1966)
- 122) 同上 : 同上 (第2報) 土肥誌 37, 248 ~ 250 (1966)
- 123) 江川友治 : 堆厩肥の土壤肥料学的論議 農業技術 19, 1 ~ 5 (1964)
- 124) 鈴木達彦 : 畑地における堆肥の効果の解析 農業技術 19, 12 ~ 17 (1964)
- 125) 木下 彰 : 化学堆肥とその発展 農業技術 19, 35 ~ 38 (1964)
- 126) BREMNER, J. M. : Inorganic Forms of Nitrogen, in Method of Soil Analysis, Part II, 1195 ~ 1198. Amer. Soc. Agron. (1965)
- 127) 原田靖生ほか : 都市ごみコンポストの有機成分組成の特徴と腐熟度の判定 土肥誌 53, 116 ~ 122 (1982)
- 128) 東京都労働経済局農林水産部 : 東京都におけるコンポストの農業利用に関する調査報告書 II, 24 (1980)
- 129) 農林水産省農蚕園芸局農産課 : 堆きゅう肥等有機質資材の品質 日本国土壤協会, 10 ~ 11 (1982)
- 130) 伊達 昇・都田経志・浅海哲夫 : 東京都ごみコンポストの炭素率と黒ボク土野菜畑への施用効果, 土肥誌 55 206 ~ 212 (1984)

## Studies on the Behaviour of Soil Solution Components of Upland Field under Intensive Fertilizing and Compost Application

Noboru DATE

### Summary

Several experiments were made about the soil solution components of upland field under intensive fertilizing, and effects of the mature compost application were investigated.

Then availability of the city refuse compost was investigated in comparison with the farm (straw) compost.

The results were summarized as follows.

#### I. Effect of intensive fertilizing on soil solution.

1) Salt Concentration of soil solution under salt accumulation changed in response to pF. Soil solution that was extracted with exchange method by 0.2% Acidic Fuchsine solution showed similar concentration to under pF 2.7 fraction of the soil solution, obtained by centrifugal method. This fraction was absorbed into plant roots as an easy available water, then the concentration of this fraction had an important effect to crops growing.

2) As a result of nitrogenous fertilizer and lime application to eluviated and acidified Andosol,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{NO}_3^-$  concentration of soil solution increased extremely, and crops growing were injured. But the injury was suppressed by application of mature compost.

3) In the case of less fertilizing to Gray Lowland Soil, both salt accumulation and crops growing decreased. But application of mature compost increased crops growing.

4) Mention to Andosol in green house, the concentration of soil solution increased remarkably by salt accumulation as years go by, and also moisture tension did. Then crops growing were injured by synergistic effect of osmotic pressure and moisture tension.

5) In the case of adding cation and anion exchange resin to salt accumulated soil, both concentration of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{NO}_3^-$  in soil solution reduced. But the salt injury to crops suppressed on the occasion of adding anion exchange resin. This result showed that anion ( $\text{NO}_3^-$ ) concentration of soil solution mainly effected on salt injury to crops. Mature compost application caused decreasing of both  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{NO}_3^-$  concentration of soil solution.

#### II. Effect of mature compost application on soil solution component of salt accumulated soil.

1) In the case of adding Ca-nitrate to Volcanic Ash Subsoil and Gray Lowland Soil,  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{NO}_3^-$  concentration of soil solution increased and injured growth of *Brassica* sp. "Komatsuna" in proportion to application of Ca-nitrate. The injury appeared less on Volcanic Ash Subsoil than on Gray Lowland Soil. Adding mature compost controlled to increase concentration of soil solution and to injure growth of "Komatsuna" on the Gray Lowland Soil, but did not on the Volcanic Ash Soil.

2)  $\text{Ca}^{2+}$  concentration of soil solution was effected by Cation Exchange Capacity (CEC) of soil and compost. But  $\text{NO}_3^-$  concentration of soil solution was not effected by Anion Exchange Capacity (AEC) of them, because they had low AEC in contrast with high CEC.

3) Increase of  $\text{NO}_3^-$  concentration of soil solution by adding Ca-nitrate was inhibited remarkably in proportion to micropore in soil. On pore size distribution, the micropore (over pF 3.3) in Gray Lowland Soil occupied about 50% to total pore, but the micropore in Volcanic Ash Soil occupied about 70%, similar to mature compost.

Using compost to Gray Lowland Soil increased the rate of micropore, and reduced  $\text{NO}_3^-$  concentration of soil solution. But using compost to Volcanic Ash Soil did not effect distinctly to  $\text{NO}_3^-$  concentration of soil solution.

4)  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NO}_3^-$  concentration of soil solution derived from added Ca-nitrate changed in response to pF.  $\text{Ca}^{2+}$  concentration was high on both fraction of under pF 2.7 and over pF 3.8, and  $\text{NO}_3^-$  concentration was high on fraction of under pF 3.2.

In the case of adding mature compost with Ca-nitrate,  $\text{Ca}^{2+}$  concentration of fraction under pF 2.7 and  $\text{NO}_3^-$  concentration of fraction under pF 3.2 were controlled to increase.

5) Micropore of soil or compost had the Sieving Effect which obstructed anion passage by CEC of its inner surface and delayed anion diffusion into soil solution.

It seemed that the Sieving Effect controlled the mature compost (contained much micropore) to effect the  $\text{NO}_3^-$  concentration of soil solution.

### III. Function of the city refuse compost as an alternative substance for farm compost.

1) Used refuse compost was produced by Tokyo Metropolitan Government and contained much cellulose in comparison with contents of other cities. Then, the critical C/N ration to N immobilization was lower ( $\approx 12$ ) than cellulose poor organic substances like the straw compost ( $\approx 20$ ).

2) Using the refuse compost to Andosol farm was available to improve the soil physically and chemically.

3) Comparing with mature farm compost, the refuse compost had neither strong function of increasing micropore in soil, nor strong sieving effect that controlled increasing  $\text{NO}_3^-$  concentration of soil solution.