

第三章 養分蓄積に伴う土壌化学性の変化

第1節 P蓄積の進行と土壌化学性の変化

1. 目的

P蓄積の進行が、土壌の化学性にもたらす諸変化を、①P吸収係数と有効態Pの関係、②可溶性Al、Fe量の変化、③各形態別P量の増減、④水溶性Pの出現を中心に明らかにし、併せて、⑤硝酸化成に及ぼす影響について検討する。

2. P蓄積に伴う有効態P量、P吸収係数の変化

1) 調査並びに実験方法

(a) 第6表に示した作付様式別・土壌別の調査結果を用い、P吸収係数とTruog-P量の関係を取りまとめた。

(b) P吸収係数の異なる7種の土壌を供試し、乾土100g当り P_2O_5 （過石で）として、0, 100, 200, 400 mg及びP吸収係数の60%相当量を添加し、最大容水量の50%の水分を与え、25℃で60日間培養後、P吸収係数と添加Pの固定割合との関係を検討した。供試土壌は、①道立中央農試ほ場の中粒質褐色低地土、②三笠市東清住（タマネギ畑）の中粒質

褐色低地土（以上、沖積土2種）、③栗山町雨煙別（一般畑作畑）の疑似グライ土、④道立中央農試果樹園（未耕地）の暗色表層酸性褐色森林土（以上、洪積土2種）、⑤北農試ほ場（草地）の褐色火山性土、⑥由仁町西三川（下層土）の黒色火山性土（以上、火山性土2種）、⑦岩見沢市西川（タマネギ畑）の無機質表層泥炭土である。

(c) P吸収係数が同程度でP蓄積量の異なる6種の沖積土を供試し、乾土100g当り P_2O_5 （過石）として、0, 90, 150, 200mg添加し、最大容水量の50%の水分を与え、25℃で30日間培養後、P固定割合を測定した。供試土壌は、①栗山町農事（タマネギ熟畑）、②南幌町村境（タマネギ熟畑）、③同（タマネギ新畑）、④長沼町1区（タマネギ新畑）、⑤道立中央農試（一般畑作ほ場）、⑥栗山町

第12表 土壌別・作付様式別にみたP吸収係数とTruog-P量の関係

作付様式	土壌	調査点数	P吸収係数	Truog-P量	相関係数
ハウス	沖	140	955±323	182.3±102.1	0.020
	洪	24	571±173	188.0±96.6	-0.025
	火	97	676±213	108.4±74.9	0.128
	泥	22	1443±374	240.8±199.2	0.086
軟弱野菜畑	沖	100	765±321	106.1±70.2	-0.051
	洪	39	1313±152	86.7±55.5	0.258
	泥	35	1457±372	135.6±47.0	0.032
タマネギ畑	沖	230	666±326	125.1±58.9	0.059
	泥	42	1392±243	70.7±33.7	0.129
一般野菜畑	沖	125	740±169	80.6±60.8	-0.545**
	洪	55	1190±354	31.5±25.6	-0.608**
	火	199	719±213	55.7±46.2	-0.448**
アスパラガス畑	沖	94	879±299	74.8±55.5	-0.205*
	洪	48	1130±419	44.5±36.0	-0.814**
	火	119	1105±480	44.5±38.1	-0.588**
一般畑作畑	沖	138	888±298	18.7±14.1	-0.189*
	洪	124	1208±338	23.0±14.7	-0.431**
	火	79	1110±737	20.6±15.4	-0.483**

注) P吸収係数及びTruog-P量 ($mg P_2O_5/100g$) は、平均値±標準偏差で示した。

沖：沖積土、洪：洪積土、火：火山性土、泥：泥炭土を示す。

阿野呂（タマネギ新畑）の褐色低地土である。なお、P有効割合(%)を培養後の〔(P添加区のTruog-P量-無添加区のTruog-P量)/添加P量〕×100として算出し、100-P有効割合=P固定割合(%)とした。

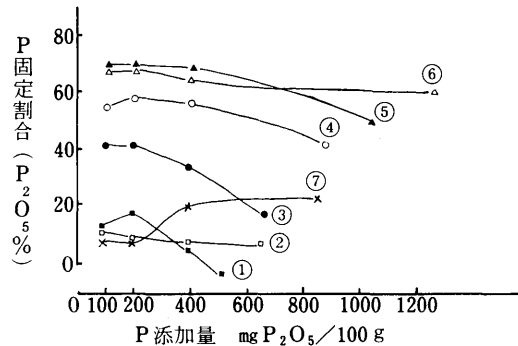
2) 結 果

(a) P吸収係数とTruog-P量の関係を各作付様式別、土壌別に取りまとめた(第12表)。

肥培管理が比較的粗放で、P蓄積量が少ない一般畑作畑、アスパラガス畑、一般野菜畑においてはP吸収係数とTruog-P量の間に、各々負の相関関係が成り立つのに対し、P蓄積の進んだタマネギ畑、軟弱野菜畑、ハウス土壌においては一定の傾向が認められなかった。

(b) P吸収係数60%相当量添加系列についてみると、P吸収係数の増大につれP固定割合は増加した(第10図)。一方、各土壌についてP添加量の増加につれ固定割合が低下する傾向が認められた。なお、無機質表層泥炭土のみは、他の土壌の傾向と逆に、P添加量の増加につれ、固定割合が増加した。

土壌別	供試土壌の採取地	P吸収係数	無添加区のTruog-P量 (mg P ₂ O ₅ /100g)
沖積土	中央農試①	850	58
	三笠②	1,050	120
洪積土	栗山③	1,100	13
	農試果樹園④	1,465	8
火山性土	北農試⑤	1,735	17
	由仁⑥	2,145	16
泥炭土	岩見沢⑦	1,445	108



第10図 P吸収係数及びP添加量と固定割合の関係
○: 円内の数字は土壌採取地番号, 円の位置はその土壌のP吸収係数60%相当量添加時の固定割合の位置

第13表 P吸収係数がほぼ等しい土壌における原土Truog-P量とP固定割合の関係

供試土壌採取地	P吸収係数	pH	Truog-P量(mg P ₂ O ₅ /100g)				固定割合(%)			
			A 無添加	B 90mg添加	C 150mg添加	D 200mg添加	90mg添加 100[1-(B-A)/90]	150mg添加 100[1-(C-A)/150]	200mg添加 100[1-(D-A)/200]	
栗山農事	925	7.10	230	314	373	428	7	5	1	
南幌	熟畑	850	6.82	140	216	283	342	16	5	1
	新畑	895	6.65	84	159	227	272	17	5	6
長沼	980	6.80	41	107	182	226	27	6	7	
中央農試	900	6.52	29	92	137	188	30	28	20	
栗山阿野呂	870	6.18	16	67	103	154	43	42	31	

(c) Truog-P量が多い土壌ほどP固定割合は低かった(第13表)。取りわけ、P添加量の少ない90mg添加系列で、その傾向はより明瞭であった。

これらの結果は、①土壌中の有効態P存在量は、P蓄積が進んでいない段階では、土壌のP吸収係

数に規制され、②蓄積の進行につれ、P蓄積量の増加がP固定割合を低下させ、③P添加量の増加でP固定割合は低下し、その低下はP蓄積の進行につれて、より強まることを示唆した。

3. P蓄積に伴う可溶性Al, Fe量及び
土壌溶液組成の変化

1) 試験方法

(a) 札幌, 三笠, 芽室地区の沖積土(褐色低地土), 江別地区の洪積土(酸性褐色森林土及び疑似グライ土)と伊達地区の火山性土(火山放出物未熟土及び湿性火山放出物未熟土)の可溶性(pH4.0, N-酢安) Al・Fe, Truog-P, P吸収係数を測定し, これらの相互関係をみた。なお, 対象ほ場及び供試点数は①沖積土はすべてタマネギ畑で, 札幌市20点, 三笠市39点, 芽室町(音更町を一部含む)42点の計101点, ②洪積土は江別市の一般野菜畑で23点, ③火山性土は伊達市の一般野菜畑20点とハウス23点の計43点である。

(b) P吸収係数の0, 5, 30, 60, 100, 200%相当量のP₂O₅(重過石で)を施用した道立中央農試場内

梓ほ場の土壌を, 造成後55日目に100ml採土管で採取し, 飽水後pF 0~3.8までの土壌溶液を遠心分離により採取し, 各種の分析を行った。供試土壌は褐色低地土で, 土壌採取時にはハウレンソウを栽培中であり, ハウレンソウに対する施肥はN(硫安)2段階(10, 25kgN/10a)で, K(硫加)は共通15kgK₂O/10a施肥, Pは無施用とした。

2) 結果

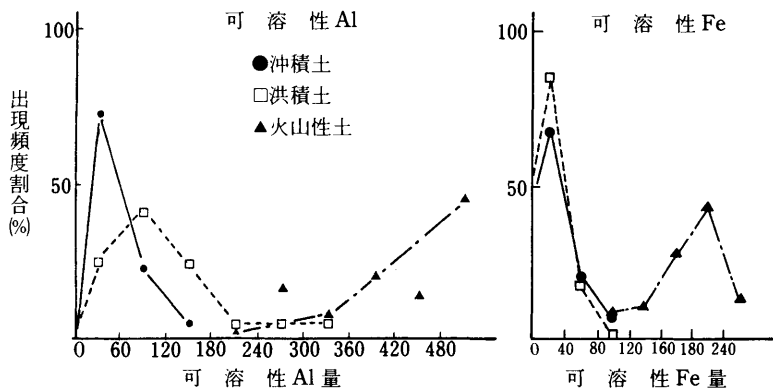
(a) Truog-P量と可溶性(Al+Fe)量の間には, 沖積土, 洪積土, 火山性土とも, 負の相関関係が認められ(第14表), P吸収係数と可溶性(Al+Fe)量の間には正の相関関係が成り立った。

第14表 可溶性Al・Fe量とTruog-P量及びP吸収係数の相関関係

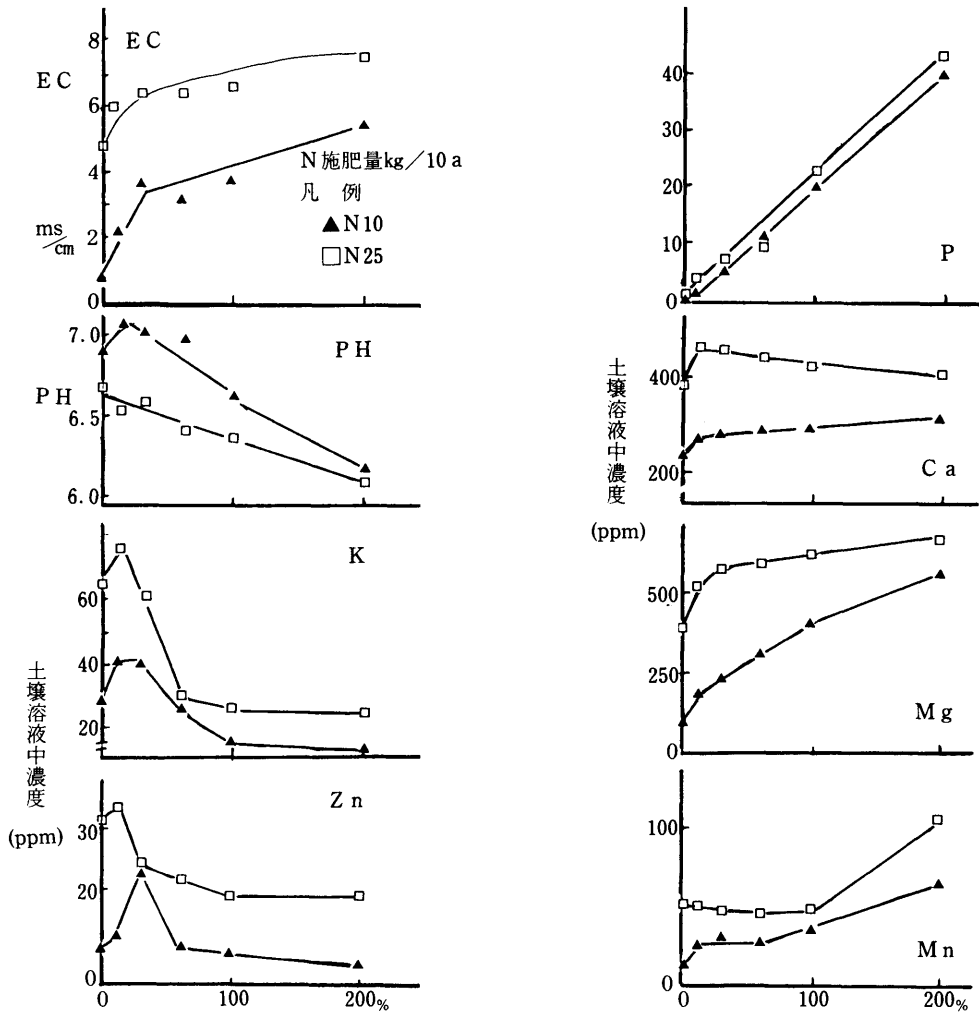
土壌別	項目		可溶性(Al+Fe)量と Truog-P量	可溶性(Al+Fe)量と P吸収係数	P吸収係数と Truog-P量	調査点数
	地区名					
沖積土	札幌	幌	-0.798**	0.468*	-0.520*	n = 20
	三笠	笠	-0.485**	0.366**	-0.303	n = 39
	芽室	室	-0.326*	0.621**	-0.127	n = 42
	全	体	-0.472**	0.309**	-0.150	n = 101
洪積土	江	別	-0.545**	0.823**	-0.551**	n = 25
火山性土	伊	達	-0.427**	0.366*	-0.336*	n = 43

注) **: 1%水準で有意 * : 5%水準で有意

ところで, 可溶性Al, Fe量を土壌別に比較するならば, 可溶性Al量は明らかに火山性土>洪積土>沖積土の順に, 可溶性Fe量は火山性土が沖積土・洪積土に比べ多く, 沖積土と洪積土間には差異が認められなかった。結局, 火山性土は沖積土・洪積土に比べて可溶性Al・Fe量が, 洪積土は沖積土より可溶性Al量が, 多量に存在した(第11図)。



第11図 土壌別にみた可溶性Al・Fe含有量の出現頻度



P 吸収係数に対する P 添加割合 (P₂O₅%)
 第12図 P 添加に伴う土壌溶液組成の変化

P 施用量の増加に伴い、土壌溶液中の P 濃度は上昇し、Mg、Mn 濃度と EC 値も高まり、K、Zn 濃度及び pH は、P 吸収係数 10~30% 相当添加区まで高まり、それを超えると低下した (第12図)。これら各成分濃度は、N25kg 施肥系列で明らかに

高く、それを反映して EC 値も高かった。

以上の結果によって、P 蓄積または P 多量施用に伴い土壌中において、各種土壌中成分の不溶化と可溶化が進行していることが明らかとなった。

4. P蓄積に伴う形態別P量の増減

1) 試験方法

沖積土（主として褐色低地土で、一部灰色低地土を含む）114点、火山性土（火山放出物未熟土）74点の土壌を、第15表に示す地区から採取し、全Pは湿式分解後、バナドモリブデン酸法²⁰⁾により比色定量した。さらに、これらのサンプル中より沖積土38点、火山性土31点について形態別Pを分別定量した。なお、カルシウム型リン酸（Ca-Pと略す）、アルミニウム型リン酸（Al-Pと略す）、鉄型リン酸（Fe-Pと略す）の形態別リン酸は関谷らの方法¹⁶⁰⁾に従って分別後、Ca-

P及びAl-Pは塩酸モリブデン法、Fe-Pは硫酸モリブデン法によって比色定量した。

第15表 全P・形態別P分析に供試した土壌採取地及び点数

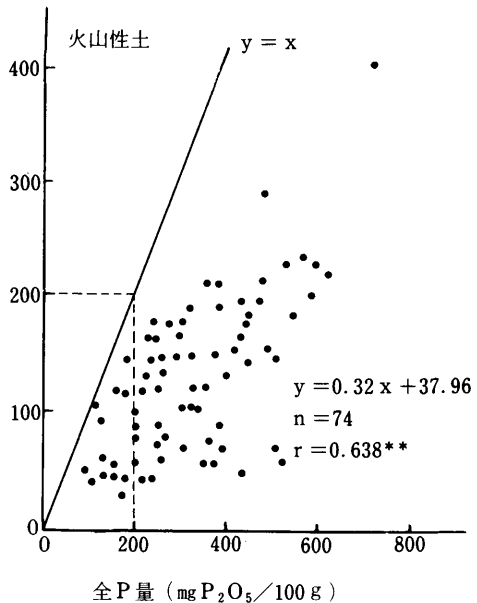
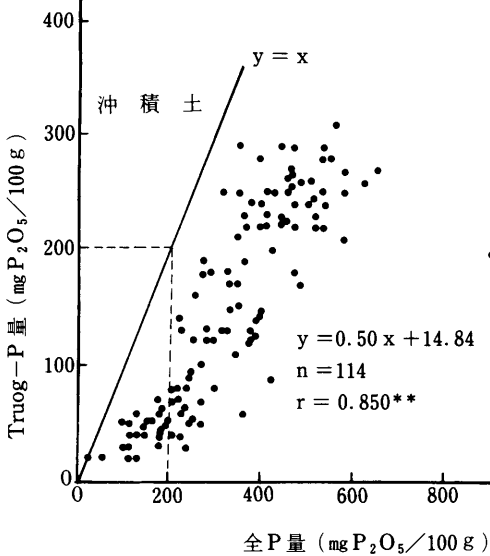
土 壤 別	作付様式別	全P	Truog-P	各形態別-P	採取地区
沖 積 土	軟弱野菜畑	24	24	—	札幌市
	タマネギ畑	64	64	19	富良野市、三笠市、芽室町、栗山町など
	一般野菜畑	26	26	19	三笠市
	計	114	114	38	—
火山性土	一般野菜畑	74	74	31	伊達市

2) 結 果

全P量と有効態P(Truog-P)との関係を第13図に取りまとめた。

沖積土、火山性土とも全P量の増加につれ、Truog-P量が増加した。しかし、両土壌につい

ての回帰直線の勾配は異なり、全P量の増加に伴う、Truog-P量の増加量は火山性土で少なかった。



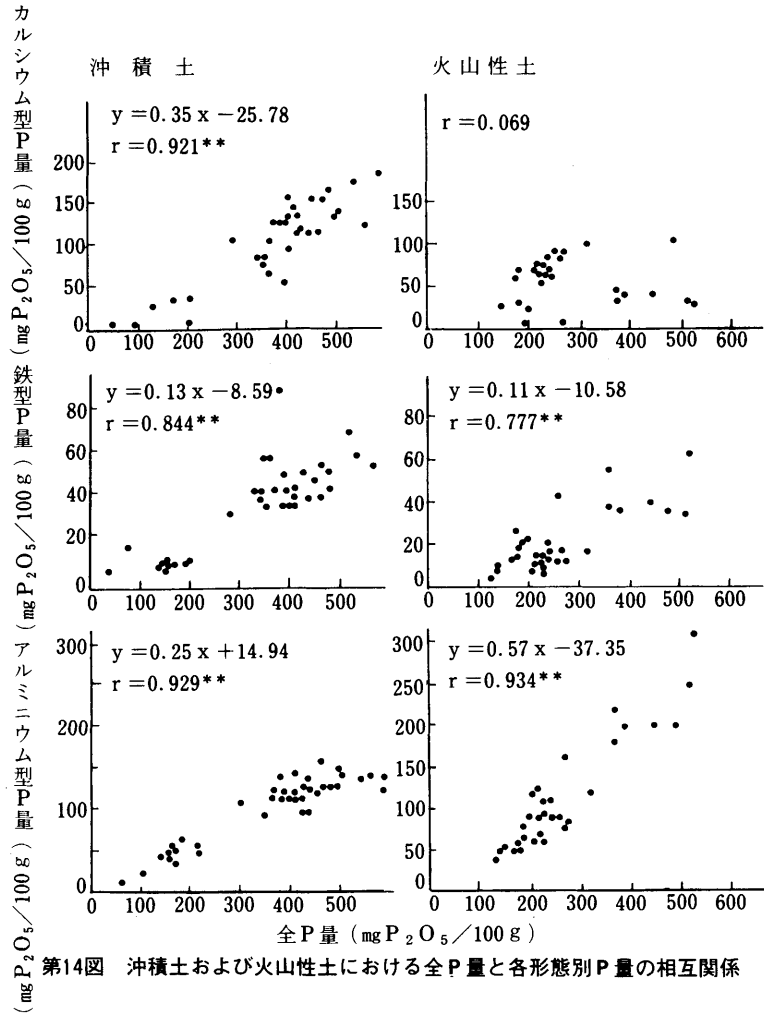
第13図 沖積土・火山性土における全P量とTruog-P量の関係

形態別P量を検討した沖積土38点についても、全P量(x)とTruog-P量(y)の間には相関関係が認められた ($y = 0.57x - 26.36$, $r = 0.920^{**}$)。そして、全P量の増加につれ、Ca-P, Al-P,

Fe-P量も各々増加した(第14図)。なお、その増加程度はCa-P > Al-P > Fe-Pの順に大であった。

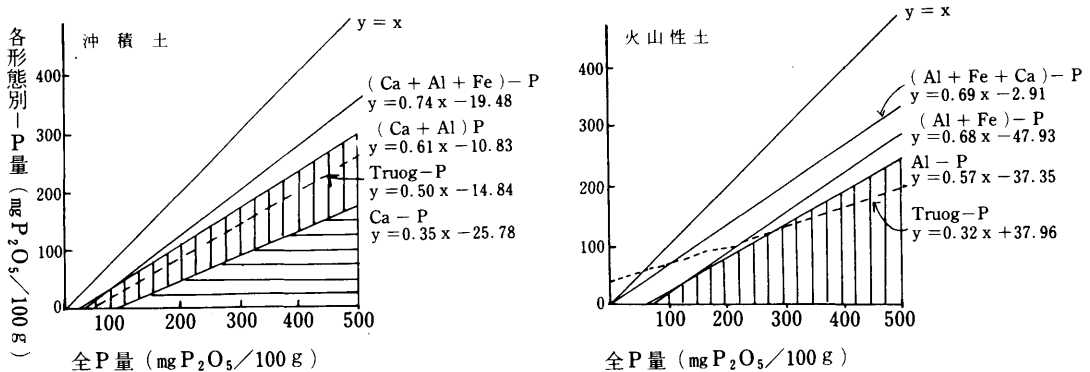
形態別P量を検討した火山性土31点については、全P量とTruog-P量の間には相関関係が認められず、全P量とCa-P量との間にも一定の傾向は認められなかったが、Al-P量及びFe-P量とは高い正の相関関係を示した。

これらの結果を第15図に模式的に取りまとめた。沖積土では、人為的に富化されたPが、Ca-P > Al-P > Fe-Pの順に増加し、Ca-P, Al-P, Fe-Pの合計として全体の70%程度蓄積する。また、全蓄積P量の半量程度がTruog-Pとして測定された。一方、火山性土では、P富化に伴い、Al-P > Ca-P > Fe-Pの順に増加し、全蓄積P量の1/3程度しかTruog-Pとして測定されなかった。すなわち、火山性土におけるP富化は、Al-Pとして増加し、その



第14図 沖積土および火山性土における全P量と各形態別P量の相互関係

有効態割合が沖積土に比べて低い。



第15図 沖積土および火山性土における全P量と各形態別P量の相互関係を示す模式図

さらに、Truog-P量と各形態別P量の関係を検討すると（第16表）、沖積土ではCa-P > Al-P > Fe-Pの順に各々高い正の相関関係を示す

が、火山性土においてはCa-Pのみ正の相関関係を示し、Al-P、Fe-Pとは一定の傾向を示さなかった。

第16表 Truog-P量と各形態別P量の相関性

土 壤 別	Ca-P	Al-P	Fe-P	(Ca+Al)-P	(Ca+Al+Fe)-P	全-P
沖 積 土 (n=38)	0.970**	0.837**	0.723**	0.938**	0.955**	0.965**
火 山 性 土 (n=31)	0.833**	-0.095	-0.208	-0.120	0.147	0.093

注) Ca-P:カルシウム型リン酸, Al-P:アルミニウム型リン酸, Fe-P:鉄型リン酸

** : 1%水準で有意

5. 有効態Pと水溶性Pの関係

1) 試験方法

第17表に示す各種土壌を供試し、Truog-Pと水溶性Pを定量した。水溶性Pは土壌重量対抽出溶液量比（以後土液比と略す）1:200で水抽出し、Truog-P抽出時の土液比にそろえた。また、抽出時間、比色法もTruog-Pと同一の方法とし、0.5ppm以下の低濃度サンプルについては、ブタノール抽出によるモリブデンブルー法¹³⁸⁾を使用した。

2) 結 果

各土壌において、Truog-P量の増加に伴い水溶性P量が増加し（第16図）、各回帰直線の勾配によれば、Truog-Pの1量の増加で沖積土と洪積土（n=84, $r=0.709^{**}$, $y=0.26x-6.05$, 図省略）では水溶性Pが0.26量、火山性土の中、粗粒質（火山放出物未熟土 n=81, $r=0.785^{**}$, $y=0.24x-4.33$, 図省略）で0.24量、ローム質（褐色火山性土）で0.21量、泥炭土では0.42量増加すると推定される。

すなわち、P富化につれ土壌中に水溶性P量が

第17表 Truog-P・水溶性P分析に供試した土壌の採取地及び点数

土 壤 別	作付様式別	採取点数	採 取 地 区
沖 積 土	一般畑作畑	40	三笠市, 北村, 岩見沢市, 長沼町
	一般野菜畑	51	三笠市, 富良野市, 美唄市
	タマネギ畑	75	富良野市, 三笠市, 江別市, 栗山町
	軟弱野菜畑	25	札幌市, 長沼町
	ハウス	38	旭川市, 富良野市
	計	n=229	—
洪 積 土	一般畑作畑	20	三笠市
	一般野菜畑	42	三笠市, 江別市
	ハウス	22	富良野市
	計	n=84	—
粗 粒 火 山 性 土	一般畑作畑	11	千歳市, 恵庭市
	一般野菜畑	48	伊達市
	ハウス	22	伊達市
	計	n=81	—
ロ ー ム 質 火 山 性 土	一般畑作畑	21	札幌市
	一般野菜畑	104	伊達市, 札幌市
	軟弱野菜畑	31	札幌市
	計	n=156	—
泥 炭 土	一般畑作畑	21	北村, 岩見沢市
	一般野菜畑	24	札幌市, 北村
	タマネギ畑	12	岩見沢市
	計	n=57	—

増加し、泥炭土 > 沖積土 = 洪積土 > 粗粒火山性土 > ローム質火山性土の順に、Truog-P量の増加に伴う水溶性P増加率が大きく、土壌間においてPの吸着・脱着に関して質的な違いが存在した。また、Truog-Pで示される有効態P量が同一でも、

水溶性P量が異なり、作物のP吸収に差異がある可能性を示唆した。

6. 水溶性Pと土壤溶液Pの関係

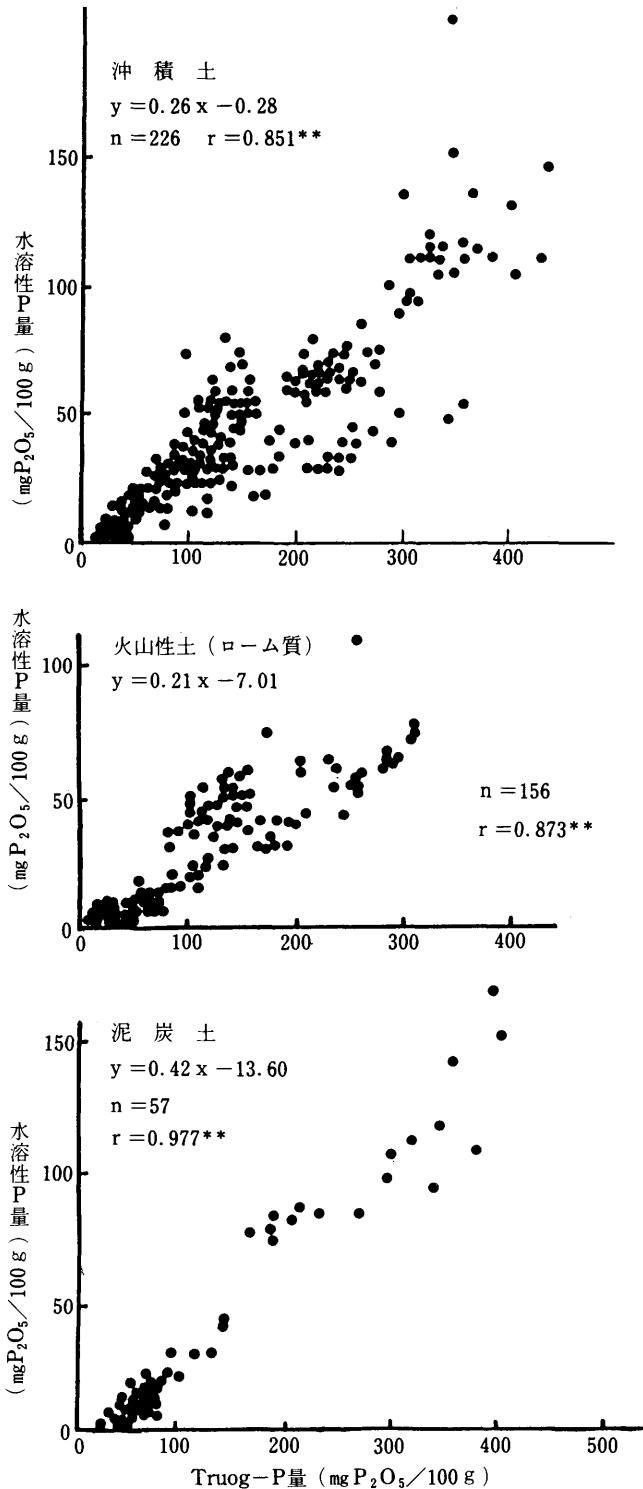
1) 試験方法

本章の3-(b)の実験におけるP施用量の著しく異なる粹土壤(沖積土)16点に加えて、2-(b)の実験に用いた沖積土10点(中央農試ほ場と三笠市東清住の褐色低地土)と火山性土10点(北農試の褐色火山性土と由仁町三川の黑色火山性土)を分析に供した。粹土壤は3-(b)の実験と同一条件で採土し、2-(b)実験に用いた沖積土10点及び火山性土10点はポットに充填し、ダイズトマトーダイズトマトと4作栽培後に採土した。この間の総P添加量は乾土100g当り P_2O_5 として0, 60, 120, 400 mg及びP吸収係数の60%相当量である。なお、土壤溶液の採取及びPの分析は3-(b)の実験と同一である。

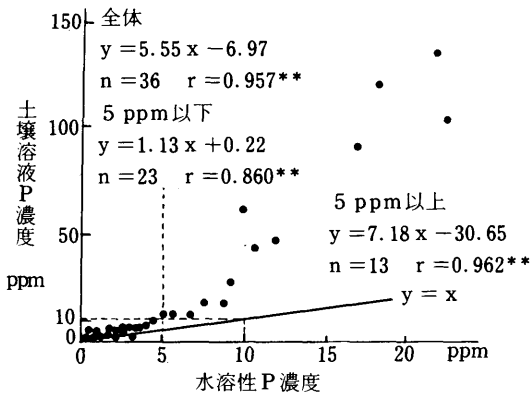
2) 結果

水溶性P濃度と土壤溶液P濃度の間には、正の相関関係が認められた(第17図)。そして土壤溶液P濃度(土液比7:1~9:1の範囲)が一般に水溶性P濃度(土液比1:200)より高かった。

水溶性P濃度5 ppm以上の高濃度領域のみについてみると、土壤溶液P濃度が著しく高く、水溶性P濃度5 ppm以下においても、水溶性P濃度の上昇につれ、土壤溶液P濃度が上昇するが、土壤溶液P濃度と水溶性P濃度の差は小さく、各回帰直線の勾配は低濃度から高濃度に向うにつれ高まった。



第16図 土壤別にみたTruog-P量と水溶性P量の関係



第17図 水溶性P濃度と土壌溶液P濃度の関係

7. P蓄積と硝酸化成の関係

1) 試験方法

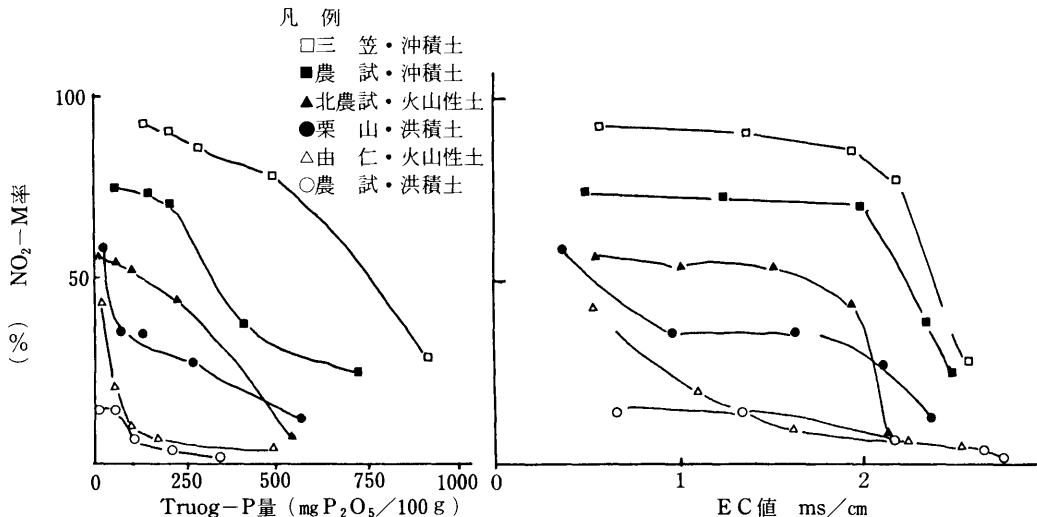
本章、2-(b)の実験に供試した土壌の内、札幌市東雁来の沖積土（細粒質褐色低地土）及び岩見沢市西川の無機質表層泥炭土を除く、6種類の土壌を供試した。乾土100g当たり、 P_2O_5 （過石）として、0, 100, 200, 400mg, 及びP吸収係数の60%相当量を添加し、さらに、N(硫安)を100g乾土当たり20mgを加えて、最大容水量の50%の水分条件

で、25°C、25日間培養し、培養後pH, EC, 硝酸態N, アンモニア態N, Truog-Pを常法²⁰⁾に従って測定し、硝酸化成の遅速を硝酸態N率〔硝酸態N/(硝酸態N+アンモニア態N)×100〕で算出した。なお、供試土壌の採取は融雪後、施肥前に行ったので、各供試土壌とも硝酸態Nは0.1mg/100g以下、EC値も0.1m・s/cm以下であった。

2) 結果

各土壌ともP添加量の増加に伴うTruog-P量の増加につれ、硝酸態N率は低下した。(第18図, 左)。しかし、P無添加区(左図, 各土壌左端)の硝酸態N率は、P蓄積量の多い土壌ほど高く、また、P吸収係数の60%相当量添加区(左図, 各土壌右端)の硝酸態N率はすべての土壌でP無添加区に比べ低かった。すなわち、蓄積P量の増加は硝酸化成を促進するが、添加P量の増加は硝酸化成を抑制した。

硝酸態N率が著しく低い洪積土(中央農試)及び火山性土(由仁)は、P無添加でも硝酸化成が劣ったが、それ以外の土壌ではEC値2.0m・s/cmを超えると顕著に硝酸態N率が低下した。(第18図右)。このことから、P多量施用に伴う硝酸化



第18図 蓄積P量の異なる土壌に対して、異なった量のPを添加した場合の土壌中Truog-P量(左)およびEC(右)と硝酸態N率の関係

注1) EC値は土壌：水＝1：5に容積比でなるように容積重より補正した。

注2) 図中、各土壌のシンボルマークは左より、乾土100g当たり、 P_2O_5 （過石）として、0, 100, 200, 400mg及びP吸収係数の60%相当量添加区に該当する。

成の遅延は、主として塩類濃度の上昇に起因すると考えた。

第2節 塩基蓄積の進行と 土壌化学性の変化

1. 目的

塩基蓄積に伴う土壌化学性の諸変化を、①塩基交換容量（以後CECと省略）と塩基蓄積の関係、②pHに關与する諸要因の変化、③塩基蓄積の進行に伴う塩基存在形態の変化、④塩基資材多量施用の土壌溶液に及ぼす影響を中心に検討する。

2. 塩基交換容量、塩基蓄積量、pHの關係

1) 調査方法

(a) 第6表に示した調査結果を用いて塩基交換容量と保持される塩基量の關係について論じる。なお、全塩基量は交換性Ca, Mg, Kの含量(m·e/100g)で示し、塩基飽和度はこの含量のCECに占める割合で示した。

(b) 江別(洪積土, トマト作付中の一般野菜畑), 夕張(火山性土, イチゴ作付中の一般野菜畑), 新十津川(沖積土, タマネギ栽培中のタマネギ畑), の土壌について、pH, EC, 硝酸態N, N酢安抽出塩基(水溶性+交換性塩基)を常法²⁰⁾に従って定量した。併せ、水抽出塩基を土液比=1:20で、1時間振とう後、遠心分離、上澄液を濾過し、濾液を原子吸光度法により測定した。

第18表 作付様式別にみた塩基交換容量と塩基蓄積の關係

作付様式別	調査点数	全塩基 m.e/100g	塩基飽和度 %	相 関 係		
				交換容量一 全 塩 基	交換容量一 塩基飽和度	全 塩 基一 塩基飽和度
ハウス	283	22.3±10.8	113.4±45.9	0.817**	0.056	0.583**
軟弱野菜畑	200	21.0±11.2	91.6±25.6	0.552**	-0.106	0.517**
タマネギ畑	188	19.7±5.6	88.3±20.9	0.599**	0.111	0.479**
一般野菜畑	261	13.8±6.7	77.9±27.3	0.633**	-0.156*	0.693**
一般畑作畑	440	13.7±7.7	61.5±26.3	0.533**	-0.197*	0.500**
アスパラガス畑	458	11.7±5.7	59.8±24.8	0.586**	-0.211**	0.497**

注) **:1%水準で有意、*:5%水準で有意
全塩基、塩基飽和度は、平均値±標準偏差で示した。

2) 結果

(a) 全作付様式について、CECと全塩基量の間に正の相関關係が成り立ち、かつ全塩基量と塩基飽和度との間にも同様な關係が認められた。(第18表)。また、全塩基量はハウス>軟弱野菜畑>タマネギ畑>一般野菜畑≥一般畑作畑>アスパラガス畑の順であった。

一方、塩基飽和度とCECの關係は一定でなく、①肥培管理が比較的粗なアスパラガス畑、一般畑作畑においては、CECと塩基飽和度の間に負の相関關係が認められ、CECが小さいほど、塩基飽和度が高く、②肥培管理が比較的密な一般野菜畑では、両者の相関關係は弱まり、③高度な

肥培管理がなされているタマネギ畑、軟弱野菜畑や養分蓄積の最も進んだハウス土壌では一定の傾向を示さなかった。

これらの結果は、塩基蓄積量が①土壌要因としてのCECの大小と、②人為的要因としての施肥資材量、すなわち肥培管理の粗密に依存していることを示した。

(b) pHは、ハウス土壌以外では、塩基飽和度との間に多くの場合、高い正の相関を示し、交換性Ca量もしくは全塩基量とも正の相関を示すが、ハウス土壌においては、EC値と負の相関を示した(第19表)。

第19表 土壌別・作付様式別にみたpHに関与する諸要因

土壌別	作付様式別	調査点数	pH	全塩基量 m.e./100 g	塩基飽和度 %	pH と の 相 関 関 係			
						全塩基量	塩基飽和度	交換性 Ca量	E C
沖積土	ハウス	140	6.91±0.68	25.2±8.8	109.6±35.5	0.111	0.198*	0.141	-0.240**
	軟弱野菜畑	100	6.45±0.53	15.3±6.3	91.0±21.5	0.368**	0.545**	0.368**	-0.160**
	タマネギ畑	230	6.24±0.54	19.2±4.8	89.5±20.7	0.349**	0.439**	0.285**	0.066
	一般野菜畑	125	6.11±0.72	17.3±7.0	82.7±30.1	0.421**	0.583**	0.420**	-0.049
	一般畑作畑	138	5.97±0.61	16.4±6.6	74.0±26.1	0.549**	0.518**	0.592**	-
	アスパラガス畑	94	5.69±0.55	13.5±5.6	67.8±18.8	0.478**	0.737**	0.606**	-
泥炭土	ハウス	22	6.32±0.82	34.8±12.8	111.6±31.1	0.214	0.717**	0.227	-0.494*
	軟弱野菜畑	35	6.02±0.66	29.6±12.3	86.8±27.5	0.687**	0.896**	0.692**	0.137
	タマネギ畑	42	6.23±0.34	24.7±6.2	90.1±17.5	0.516**	0.504**	0.482**	-0.370**
	一般野菜畑	61	5.84±0.66	16.3±5.3	63.9±18.1	0.612**	0.625**	0.609**	-0.069
	一般畑作畑	91	5.65±0.40	14.8±6.2	56.5±14.2	0.176	0.525**	0.358**	-
火山性土	ハウス	97	6.28±0.45	16.1±7.9	120.4±59.3	0.134	0.167	0.250*	-0.255**
	軟弱野菜畑	26	6.18±0.72	20.7±10.7	88.9±29.5	0.622**	0.876**	0.609**	-0.210
	一般野菜畑	199	6.10±0.47	10.5±4.2	80.7±26.6	0.484**	0.493**	0.478**	-0.103
	一般畑作畑	105	5.65±0.58	10.0±5.7	61.2±32.6	0.283**	0.559**	0.302**	-
	アスパラガス畑	119	5.61±0.57	10.6±5.7	57.1±28.7	0.532**	0.830**	0.559**	-
洪積土	ハウス	24	6.30±0.51	21.0±10.8	108.7±42.9	0.102	0.097	0.135	-0.521*
	軟弱野菜畑	39	6.34±0.75	28.0±5.2	99.3±28.7	0.496**	0.596**	0.554**	-0.381*
	一般野菜畑	55	5.65±0.50	23.8±5.8	55.1±17.1	0.450**	0.600**	0.399**	-0.370*
	一般畑作畑	124	5.72±0.52	24.9±7.4	63.8±18.2	0.526**	0.520**	0.514**	-
	アスパラガス畑	48	5.56±0.51	20.8±8.6	53.1±19.6	0.450**	0.629**	0.631**	-

注) *：5%水準で有意 **：1%水準で有意

これらの結果は、pHは露地畑では塩基飽和度もしくは交換性塩基量に支配されるが、ハウスにおいては、それに加えてN集積の影響も強く受けることを示唆した。

さらに、火山性土を例として、塩基飽和度とpHの関係について検討すると(第19図)、塩基蓄積程度の低い、アスパラガス畑では、塩基飽和度の上昇に伴い、ほぼ直線的にpHが高まり、塩基蓄積のやや進んだ一般野菜畑では塩基飽和度100%を超える領域でのpHの上昇が緩慢となり、一方、塩基蓄積の最も進んだハウス土壌においては、

塩基飽和度と一定の傾向を示さなかった。しかし、ハウス土壌でもEC0.2m.s/cm以下の事例で検討すると、pHと塩基飽和度間には正の相関関係(n=39, r=0.830**)が成り立った。

ところで、ハウス土壌については、EC値とpHとの間に負の相関関係が認められ(第19表)、塩基飽和度80%以下の事例においては、表示しなかったがEC値の上昇につれpHがより明瞭に低下する傾向を示した。

また、江別(トマト)、夕張(イチゴ)、新十津川(タマネギ)の露地野菜畑の、作物生育中の調

査結果(第20表)によると、塩基蓄積程度は、江別、夕張、新十津川の順に高まり、塩基飽和度とpHの間には正の相関が認められたが、水溶性塩基・Ca量とpHの間には相関が認められず。むしろ江別、夕張のような一般野菜畑では、水溶性塩基、Ca量を増加させる条件でpHが低下する傾向にあった。

第20表 作付中の野菜栽培土壌でみたpHに影響を及ぼす要因

項目	調査点数	タマネギ畑	一般野菜畑	
		沖積土壌	火山性土壌	洪積土壌
調査地区		新十津川	夕張	江別
調査作物		タマネギ作付中	イチゴ作付中	トマト作付中
		20	25	25
塩基飽和度	範囲	150.3~84.5	146.9~44.4	86.9~33.8
	平均	106.8	94.2	60.3
	C V	16.7	29.0	27.0
相関係数	塩基飽和度とpH	0.512*	0.443*	0.507**
	水溶性塩基とpH	0.357	-0.316	-0.278
	水溶性CaとpH	0.313	-0.414*	-0.353
	ECとpH	0.111	-0.620**	-0.509**
	NO ₃ -NとEC	0.714**	0.980**	0.852**
	NO ₃ -Nと水溶性塩基	0.490	0.564**	0.786**
	NO ₃ -Nと水溶性Ca	0.426	0.685**	0.790**
	全塩基と水溶性塩基	0.662**	-0.036	0.077
塩基飽和度と水溶性塩基	0.504*	0.140	0.308	

注) 水溶性塩基・Caは土:水=1:20抽出による。

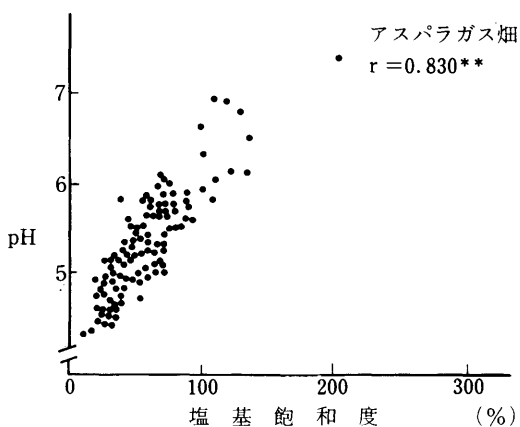
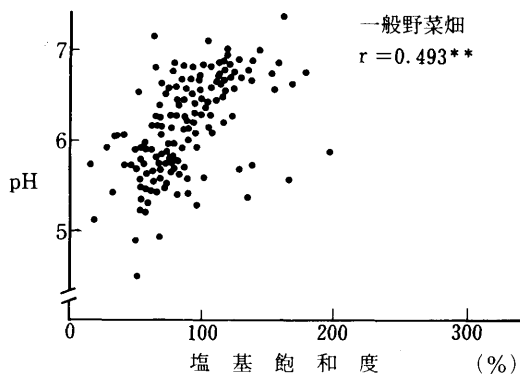
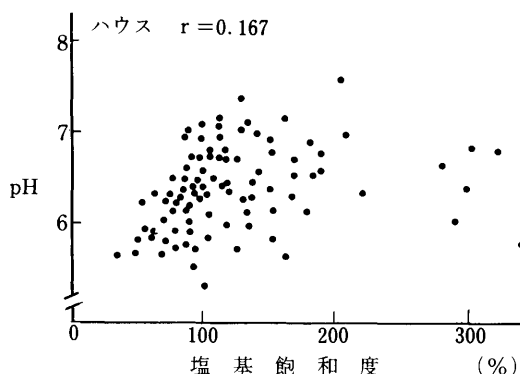
3. 塩基の蓄積進行と塩基の存在形態変化

1) 試験方法

ハウス土壌を対象に火山性土(伊達市9戸)と沖積土(三笠市10戸,旭川市9戸,富良野市5戸,富良野市山部5戸,月形町9戸),計47戸の土壌を供試した。なお、伊達、三笠、旭川、富良野のハウスには主にキュウリ、トマトが栽培され、山部、月形のハウスにはメロンが栽培されていた。

交換性塩基の測定は、バッチ法により土壌5gにN酢安100ml添加し、1時間振とう後、濾過し、濾液の溶容量より求めた。水溶性塩基は土壌5gに蒸留水100ml添加し、1時間振とう後、遠心分離し、その上澄液の溶容量より求めた。また、同液を供試し、水溶性P硝酸態N、pHを測定した。

さらに、土壌20gに蒸留水100ml添加し、1時間振とう後、遠心分離し、その上澄液50mlにアセ



第19図 火山性土のアスパラガス畑、一般野菜畑およびハウスにおける塩基飽和度とpHの関係

第21表 ハウス土壌の塩基存在形態

土壌別	調査地・農家番号	塩基飽和度	交換性	水溶性	A	B	B/A×100	
		(%)	全塩基量 m·e/100 g	塩基量 m·e/100 g	水溶性Ca量 m·e/100 g	CaSO ₄ -Ca量 m·e/100 g		
火山性土	伊 達	1	120	22.3	3.46	1.87	0.17	9.1
		2	156	22.0	4.11	1.91	0.25	13.1
		3	222	27.4	8.43	3.41	1.14	33.4
		4	233	31.2	5.80	1.96	0.55	28.1
		5	112	18.5	2.99	1.37	0.02	1.4
		6	192	19.8	2.53	1.31	0.07	5.3
		7	134	22.1	6.03	3.11	1.85	59.5
		8	162	20.9	5.33	2.06	0.92	44.7
		9	133	19.9	5.61	2.69	1.67	62.1
		平均	162.7	22.7	4.92	2.19	0.74	28.5
沖積土	三 笠	1	137	31.1	5.64	2.54	1.15	45.3
		2	110	28.9	1.98	1.00	0.13	13.0
		3	142	24.3	3.88	2.12	1.14	53.8
		4	106	24.6	2.86	1.47	0.56	38.1
		5	175	21.7	1.77	0.67	0.06	9.0
		6	112	24.4	2.61	1.41	0.04	2.8
		7	215	68.9	5.06	2.65	0.53	20.0
		8	90	33.7	1.89	1.10	0.04	3.6
		9	129	33.3	1.31	0.37	0.08	21.6
		10	196	37.4	6.85	3.85	1.15	29.9
		平均	141.2	32.8	3.39	1.72	0.49	23.7
	旭川	1	183	28.3	2.61	1.25	0.07	5.6
		2	100	32.6	2.46	1.15	0.002	0.2
		3	98	32.0	3.01	1.28	0.006	0.5
		4	147	35.0	3.85	1.83	0.07	3.8
		5	221	49.0	6.53	2.47	0.013	0.5
		6	102	29.9	2.27	1.02	0.002	0.2
		7	123	34.9	2.43	0.83	0.009	1.1
		8	123	23.5	1.56	0.56	0.003	0.5
		9	127	28.9	3.81	1.71	0.006	0.4
		平均	136.0	33.2	3.55	1.54	0.02	1.4
山 部	1	118	28.0	2.26	1.10	0.005	0.5	
	2	84	28.2	1.03	0.40	0.001	0.3	
	3	102	20.5	1.34	0.50	0.004	0.8	
	4	107	36.4	3.49	1.20	0.004	0.3	
	5	107	18.9	1.96	0.97	0.025	2.6	
		平均	103.6	26.4	2.02	0.83	0.008	0.9
	富良野	1	124	31.9	5.35	2.65	1.21	45.7
		2	113	12.3	1.21	0.52	0.04	7.7
		3	93	22.6	3.16	1.30	0.38	29.2
		4	114	21.3	2.15	0.76	0.13	17.1
5		52	14.2	1.73	0.46	0.14	30.4	
	平均	78.6	20.5	2.72	1.14	0.38	26.0	
月 形	1	95	23.5	1.50	0.87	0.009	1.0	
	2	81	17.6	2.02	1.27	0.008	0.6	
	3	71	22.7	2.42	1.27	0.05	3.9	
	4	126	30.7	4.64	2.25	0.16	7.1	
	5	86	20.7	1.43	0.84	0.08	9.5	
	6	106	19.7	2.02	1.05	0.009	0.9	
	7	170	32.5	5.70	2.48	0.31	12.5	
	8	72	23.0	1.25	0.78	0.01	1.3	
	9	72	17.9	1.40	0.84	0.006	0.7	
		平均	97.7	23.1	2.49	1.29	0.07	4.2

トン60mlを添加し、冷所で一昼夜放置後、遠心分離し、沈澱物を水25mlに溶解させ、Ca, Mg, Kを定量した。なお、本法によるCaを硫酸カルシウム(CaSO₄, 石膏)のCaとみなした²²⁶⁾。

2) 結果

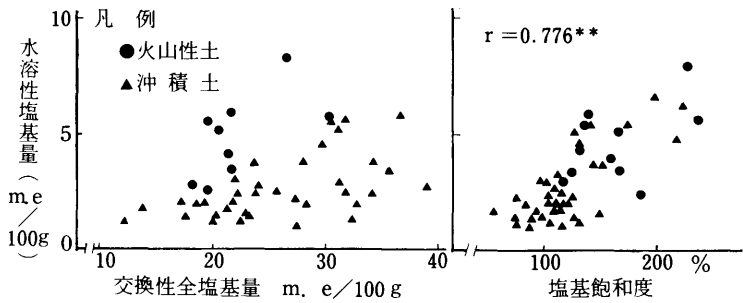
交換性全塩基量は三笠, 旭川, 山部のハウスで一般的に多く, 富良野, 月形, 伊達のハウスで比較的小な

かった。(第21表)。一方, 塩基飽和度は伊達, 三笠, 旭川で高く, 月形で低かった。また, 水溶性塩基・Ca量は伊達, 三笠, 旭川で多く, CaSO₄-Ca量は伊達, 三笠, 富良野で明らかに, 他の3地区より多く, 水溶性塩基に占める割合も著しく高かった。

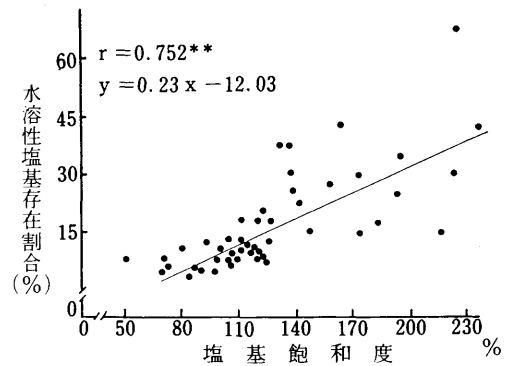
水溶性塩基量は交換性全塩基量の増加によって必ずしも増大しないが(第20図左), 塩基飽和度の上昇に伴い増加した(第20図右)。一方, 塩基飽和度の上昇は, 水溶性塩基存在割合(水溶性塩基/CEC×100)の増加をもたらした。すなわち, 飽和度50%を超えると, 水溶性塩基が出現し, 飽和度100%で10%程度が交換性塩基以外の形態で存在し, その量は塩基蓄積の進行に伴って増大した(第21図)。

硝酸態N量と水溶性各塩基量の間には高い正の相関関係が認められ, また, 水溶性P量と各塩基の間, アセトン沈澱部のCa・K量と水溶性Ca, K量の間, 高い相関関係が成り立った(第22表)。

水溶性Ca量は, 嶋田¹⁶⁷⁾がハウス土壌の土壤溶液において報告したような硝酸態N量と等量的関係にはなく, 硝酸態N量より多かった。そのため水溶性塩基量は当然硝酸態N量より多く(第22図), 硝酸態N(NO₃⁻)量+水溶性P(HPO₄⁻)量+硫酸塩量(SO₄⁻)とほぼ対応したが, なお水溶性塩基量の方がやや多く, NO₃⁻, HPO₄⁻, SO₄⁻以外のアニオンの存在を示唆した。



第20図 交換性全塩基量および塩基飽和度と水溶性塩基量の関係

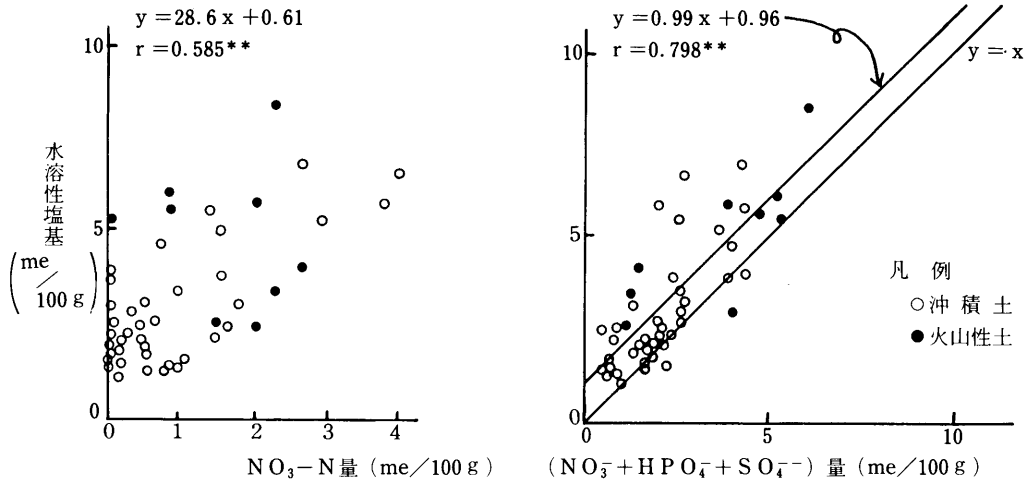


第21図 塩基飽和度と水溶性塩基存在割合の関係

第22表 水溶性塩基と水溶性他成分との相関性

項目	硝酸態N	水溶性P	アセトン沈澱部
水溶性Ca	0.668**	0.329*	0.770**
水溶性Mg	0.616**	0.362*	-0.089
水溶性K	0.531**	0.498**	0.326*

注) **: 1%水準で有意 * : 5%水準で有意

第22図 NO_3^- または $(\text{NO}_3^- + \text{HPO}_4^- + \text{SO}_4^{--})$ 量と水溶性塩基量の関係

第3節 考 察

野菜栽培土壌における養分蓄積が土壌に及ぼす影響について検討するならば、全P量で示されるP蓄積の進行につれ、Truog-P、各形態別P及び水溶性P量の増加が認められ(第14図)、反面、可溶性Al+Fe量が減少した(第14表)。P吸収係数と可溶性Al+Fe量の間、正の相関関係が成り立つことを考慮すると(第14表)、P蓄積の進行につれ、P固定力の減少、換言するならば、土壌のP吸着・脱着反応に変化が生じている可能性が示唆された。

ところで、土壌中におけるPの吸着・脱着に関する研究は多いが^{27,41,111,148}、古くから土壌に施用されたPが遊離の二三酸化物及び粘土表面に吸着・保持されるとするコロイド化学的な見方^{27,148}と、遊離の二三酸化物及び粘土鉱物と反応し、沈澱するとの報告^{41,111}とがある。

それに対し、江川ら²²は土壌のP固定現象を経時的な変化として統一的にとらえ、初期の反応は吸着過程で、次いで遊離の二三酸化物、粘土等の成分と沈澱を生成する連続的な変化であると指摘した。また、Hsu⁶⁷はPの吸着から沈澱に至る固定機構を、一つの動的過程としてとらえるモデルを報告し、それに基づき塚田ら²²⁴は、吸着段階と沈澱段階における反応を検討した結果、土壌

とPとの反応の第1段階が、主として粘土表層の活性アルミニウムによる化学的吸着反応であり、次の沈澱段階の反応は、難溶性P塩の溶解度積原理に基づく平衡反応であると指摘した。

一方、本谷ら⁵⁹は土壌のP固定の様式がFreundlichの吸着式に従っており、かつ液相・固相のPは固定・解放(吸着・脱着)が行われ、可動的であり、Pの固定は吸着現象として理解できるとした。さらに、P吸収係数の測定条件もこの式の中で論じうるとし、P吸着については火山性土と非火山性土間に本質的な違いはなく、両者の差異は、P吸着力の量的な違いであるとした。また、吸着P(P施用量+Avalue)で示される土壌中の可給態P量がP吸収係数によって支配されていると報告した。

本報においては、土壌中の可給態P量をTruog-Pとして測定し、P吸収係数との関係を広範囲な現地ほ場の調査結果から検討した(第12表)。その結果、土壌中のP蓄積量の少ない段階では、P吸収係数とTruog-P存在量間に負の相関関係が成り立ち、P固定力の影響を強く受けていた。しかし、P蓄積が進行し、蓄積量が増大するにつれ、P吸収係数とTruog-P量の間には一定の傾向が認められなくなり、土壌要因としてのP吸収係数よりも、人為的要因としてのP蓄積量が強く作用するに至った。

さらに、土壌に対するP添加、培養実験を行ったところ、土壌によるP固定割合はP吸収係数の増大につれ高まることが実証され、現地ほ場の調査結果と一致した(第10図)。しかし、P吸収係数を一定範囲にそろえて検討すると、蓄積P量の多少がP固定割合に関与し、また、P添加量の増加によって固定割合が低下した(第13表)。

これらの結果は、P蓄積量の少ない状態(一般畑作畑、アスパラガス畑、一般野菜畑)では、本谷ら⁵⁹⁾の結果と同様に、土壌の有効態P存在量はP吸収係数で示されるP固定力の大小に支配されるが、P蓄積量の増加に伴いP固定力の影響を脱し、人為的な蓄積P量、施用P量の多少自体に強く影響されることを示した。すなわち、タマネギ畑やハウス土壌のように、施用P量が著しく多く、蓄積P量が顕著に高まった状態では、土壌のP固定力自体が低下し、その結果、施肥Pの肥効がより高まるものと考察した。

P蓄積の進行に伴うP固定力の低下は、P吸収係数とpH4.0酢安可溶性Al、Fe量の間には正の相関関係が認められ、一方、P蓄積の進行につれ、これら可溶性Al、Fe量が減少することから示唆された(第14表)。なお、P吸収係数と可溶性Al、Fe量との関係については、土壌中のゲル状酸化態、腐植結合態及びアロフェン態のAl量、あるいは腐植結合態とゲル状酸化態のAl、Fe量をP吸収係数が反映しているとの従来の報告^{29, 224)}と一致する。ところで、可溶性Al、Fe量は、P吸収係数の大きな火山性土で多く、逆に、沖積土で一般的に少なかった。(第11図)。

次に、P蓄積に伴う形態別Pの変化についてふれると(第14図)、全P量で示される蓄積P量の増加は、沖積土においてはCa-Pとして、火山性土においてはAl-Pとして顕著に増加し、また、Truog-Pで示される有効態P量も明らかにふえた。だが、全P量の増加に伴うTruog-P量の増加には、土壌間差異が認められ、火山性土で少なく、沖積土で多かった(第15図)。これは抽出液によるCa-PとAl-Pの抽出効率の違いに起因する一面も想定され、また、火山性土のAl-Pが作物にとって吸収可能な有効態Pであるとの

多くの報告^{127, 207, 225)}を考慮するならば、土壌間にP供給力の差異があるとは断定し得ない。

しかし、水溶性Pの出現程度を比較すると、土壌間差異が認められ、泥炭土>沖積土=洪積土>粗粒火山性土>ローム質火山性土の順に、同一Truog-P量でも水溶性P量が多く存在した(第16図)。このことは、有効態PとしてのTruog-Pが、土壌によって作物に対するP供給力が異なる可能性を示唆した。

P多施用によるP蓄積の進行は、土壌中の可溶性Al、Feと結合して難溶性P塩を多量に形成すると同時に、土壌溶液中のK、Znなどの濃度低下で示されるような、Pとの結合による不溶化を引き起した(第12図)。このことはP過剰蓄積に伴う土壌中養分の不可給化の問題として、留意すべき点である。なお、P施肥に伴うKの不溶化、難溶性塩の生成は、すでに早川ら⁴²⁾の指摘するところである。

以上の結果より、人為的な肥培管理の違いを反映した野菜栽培土壌のP蓄積の進行は、土壌中に多量の難溶性P塩沈澱物を形成し、土壌のP固定力自体に影響を及ぼしながら、施肥Pの肥効を変えていると結論付け得た。このようなP過剰蓄積条件下で、多量の水溶性Pの出現と、K、Znなど他成分の不溶化が同時に生じていることが、野菜栽培土壌の特質とみなした。

さて、P蓄積が塩基蓄積を伴うことは前章ですでに述べたところであるが、塩基蓄積は土壌の塩基吸着保持力の総量としての交換容量(CEC)に大きく支配され、すでに指摘されているように¹⁹⁾、CECの大きな土壌ほど各塩基が蓄積していた(第18図)。しかし、全塩基量自体は作付様式別に、一定の順序で蓄積が進んでおり、それは想定される肥培管理の粗密とよく一致し、人為的要因の影響が明らかであった。

このような塩基蓄積の進行が、見かけの塩基飽和度100%を超えると、飽和度の上昇に伴うpHの高まりが鈍化し、未飽和土壌と異なった(第19図)。また、ハウス土壌のように塩基蓄積に加うるに、N集積が認められる条件下では、そのままでは塩基飽和度とpHの間に一定の傾向が認められず、

N集積程度の少ない事例のみで再検討してはじめて、飽和度の上昇につれpHが高まるが、飽和度100%を超えると、pH上昇は鈍化した。一方、N集積と密接な関係のあるEC値とpHの間には、負の相関関係が認められた（第19表）。このようなEC値の影響はN施肥に伴っても認められ（第20表）、嶋田ら¹⁶⁷⁾の指摘とも一致した。

結局、蓄積塩基の少ない状態、取りわけ飽和度100%以下の未飽和度土壌において、pHは塩基資材の施用に伴う飽和度の上昇によって高まるが、栽培期間中はN施肥と、それに続く硝酸化成に伴うHイオン生成の影響を受けた。また、交換性塩基のHイオンによる交換溶出が生じていた（第20表）。それが塩基蓄積の進行につれ、飽和度100%で10%程度の水溶性塩基が存在するようになり

（第21図）、交換性塩基以外に、栽培期間中やハウス土壌においては硝酸塩が存在し、また、硫酸塩、リン酸塩、炭酸塩、塩化物などの存在が示唆された。このような飽和土壌においては、塩基飽和度の上昇は必ずしもpHの直線的な高まりを意味せず、共存する各種塩の溶解度積を反映するものと考察した。

ところで、水溶性塩基量は全塩基量の増加によって必ずしもふえず、塩基飽和度の上昇につれ増加した（第20図）。このことは、水溶性塩基が塩基の絶対量の多少でなく、土壌の塩基吸着保持力の影響を受けていることを示唆した。また、水溶性塩基量の増加に伴い硫酸カルシウム（ CaSO_4 ）の存在が確認された。