根釧地方火山灰土壌中における燐酸の行動

第2報　可給態無機燐について

早川康夫†　　奥村純一†

BEHAVIOR OF PHOSPHATE IN VOLCANIC ASH SOIL WHICH COVERS NEMURO AND KUSHIRO DISTRICTS

II Available Inorganic Phosphate

Yasuo HAYAKAWA　　Junichi OKUMURA

I 緒　　言

根釧地方は摩周統各火山灰層に厚く被覆されているが，各火山灰層の養肥分中，作物の生産に対する最大の制限因子が燐酸であることは既往の成績からも言を俟たない事実である。従つて慣行施肥量中燐酸の占める割合が多く，連年土壌に添加蓄積される燐酸はかなりの量に達するものと思われる。

土壌中の蓄積燐酸は種々の形態の燐化合物として存在するが，このうち可給態燐酸量を実験室内で測定する方法は数多く発表されている。本邦で普遍的に採用されているのは N/5 HCl 浸出法であるが，この方法で行なうとしばしば実際の燐酸の天然供給力と矛盾する場合に遭遇する。従つてその解決の緒口として第1報[3]で易分解性有機燐について調査したのである。すなわち燐酸用量試験の結果などからこれら蓄積燐酸中，易分解性有機燐が土壌の生産力と相関関係にあつて，有機燐のなかの Nucleic acid および Phytin 系のものは火山灰土壌で固定もされるが，作物に利用される割合も高いことを認めた。しかし土壌に過燐酸石灰，熔成燐肥などの無機態燐酸を投与して易分解性有機燐に移行する割合は，残存する無機燐または固定燐などに比較すれば少量であつて，土壌の作物生産力とは相関関係にあつてもそれに与える影響が大であると考察を加えるのはいささか早計と思われた。

従つて，

① さきにのべた可給態燐酸分析値の矛盾についての解明

② 施用した燐酸肥料の蓄積形態について，主として無機態で保持されている部分の検討

以上2つの問題点について若干調査したので報告する。

II 実 験 方 法

この実験に供用した土壌は次の6種で第1表に示す化学的性質を有するものであつた。

摩周統　a A 火山灰層（M—a A）
摩周統　a C 火山灰層（M—a C）
摩周統　d A 火山灰層（M—d A）
摩周統　d C 火山灰層（M—d C）
根室支場経年畑土壌（支場土壌）
本　場　沖　積　土（本場沖積土）

ただし摩周統各火山灰層は川上郡標茶町虹別の未耕地で採取したものである。

本報告の前半は上記6種の土壌を1/5000 a ワグネルポットに充填し，牧草（イタリアンライグラス）を用いて肥料3要素試験を試み，とくに施用燐酸の肥効と現在採用されている代表的な可給態燐酸定量法による測定値とを関連比較した。ついで Neubauer 作物試験法によつて供用せる燕麦が

† 根室支場

第1表　供試土壌の化学性（乾土100g当り）

土壌	pH (H_2O)	T−N (%)	T−C (%)	C.E.C. (m.e)	P_2O_5 吸収力	Tamm氏液可溶R_2O_3(mg)
M−aA	5.9	0.49	8.89	20.28	856	1,160
M−aC	5.9	0.16	2.52	6.76	819	1,104
M−dA	5.8	0.36	6.44	24.98	2,878	3,384
M−dC	6.0	0.11	1.48	7.84	2,269	3,432
支場土壌	5.8	0.46	7.67	22.71	2,074	1,324
本場沖積土	6.2	0.20	2.05	17.48	731	772

吸収した燐酸が，土壌中における無機燐のどのfractionを利用したかを調査した。さらに2，3の代表的な可給態燐酸定量法によつて求められる燐酸が土壌中の無機燐のどの部位から溶出されるのかについて，燐酸測定の際これに伴ない溶出される CaO Al_2O_3 および Fe_2O_3 量から推察を試みた。

後半は各種濃度の燐酸を土壌に添加して吸収させたもの，または数回乾湿を繰り返えした場合，添加無機燐がどのような形態で保持されているかについて関谷ら[8]の無機燐各 fraction 分析法に従つて検討した。

なお使用土壌中本場沖積土は摩周統各火山灰層と比較対照するために供試した。

III 実験結果

(1) 肥料3要素ポット試験と土壌中の可給態燐酸定量法の比較

前記6種の土壌を常法に従い1/5000aワグネルポットに充塡し，牧草（イタリアンライグラス）を播種して肥料3要素試験を実施した。その収量調査成績およびポット当り燐酸吸収量を第2表に，また収穫時における写真を末尾に掲げた。なお3要素区の施肥量は N，P_2O_5，K_2O 各0.5gであり，硝酸ソーダー，過燐酸石灰，硫酸加里の形態のものを使用した。

播種期は昭和36年5月10日，収穫期は同年7月10日で60日あまりの短期間における栽培であつた。

第2表　肥料3要素試験成績（ポット当り）

土壌	試験区別	草丈 (cm)	生草重 (g)	乾草重 (g)	同比率 (%)	P_2O_5 含有率(%)	同吸収量 (mg)
M−aA	無肥料区	32.4	16.0	3.4	18.8	0.32	10.9
	無窒素区	32.2	31.5	5.7	31.6	0.68	38.8
	無燐酸区	34.4	35.5	7.0	38.8	0.34	23.8
	無加里区	54.2	78.5	16.1	89.4	0.62	99.8
	3要素区	50.2	87.5	18.0	100.0	0.62	111.6
M−aC	無肥料区	8.0	2.6	0.5	3.2	0.21	1.1
	無窒素区	12.8	7.0	1.6	10.3	0.57	9.1
	無燐酸区	13.8	5.0	0.7	4.5	0.28	1.9
	無加里区	55.0	91.0	15.1	97.4	0.66	99.7
	3要素区	60.6	92.5	15.5	100.0	0.70	108.5
M−dA	無肥料区	6.4	0.7	0.2	1.1	0.23	0.5
	無窒素区	6.1	1.5	0.3	1.7	0.29	0.9
	無燐酸区	6.0	1.7	0.4	2.2	0.09	0.4
	無加里区	41.8	66.0	16.0	94.1	0.50	80.0
	3要素区	51.6	80.0	17.0	100.0	0.45	76.5

M—dC	無肥料区	4.2	0.6	0.2	1.2	0.28	0.6
	無窒素区	6.0	1.2	0.3	1.9	0.29	0.9
	無燐酸区	5.8	1.1	0.3	1.9	0.22	0.7
	無加里区	38.5	65.0	11.0	69.6	0.55	60.5
	3要素区	45.5	88.6	15.8	100.0	0.42	66.7
支場土壌	無肥料区	22.6	10.5	2.2	16.0	0.65	14.3
	無窒素区	28.8	14.7	3.1	22.6	0.64	19.9
	無燐酸区	44.4	42.0	5.4	39.4	0.54	29.2
	無加里区	52.4	82.0	13.6	99.2	0.58	18.9
	3要素区	50.0	84.5	13.7	100.0	0.57	77.5
本場沖積土	無肥料区	41.0	55.5	10.6	53.0	0.31	32.9
	無窒素区	50.0	79.0	15.6	78.0	0.59	92.4
	無燐酸区	48.4	95.0	17.6	88.0	0.54	95.0
	無加里区	50.0	104.5	19.4	97.0	0.56	108.6
	3要素区	53.0	104.5	20.0	100.0	0.65	130.0

これによれば，

i) 燐酸欠乏症状が顕著にあらわれ，収量のはなはだ低かつたのは

M-dA, M-dC, M-aC

ii) 上記の症状が若干緩和された状態にあつたのは

支場土壌, M-aA

iii) ほとんど症状が認められないのは

本場沖積土

以上の結果であり，従つてポット当りの燐酸吸収量は各火山灰層の無燐酸区がいずれもきわめて低かつた。

すなわち上述の傾向から供試土壌の燐酸の天然供給力は M-dA, M-dC, M-aC<M-aA, 支場土壌<本場沖積土であるが，これが土壌中の可給態燐酸量の測定値と一致するのが理想である。可給態燐酸を実験室内で測定する方法としてクエン酸，酢酸，塩酸，硫酸，弗化アンモンなどの浸出法，幼植物栽培法，その他微生物の利用などが従来より採用されているが，本邦で N/5 HCl 浸出法が最も普遍的に使用されている。しかし前述の各分析法はそれぞれ一長一短を有し，可給態燐酸を正確に測定しうるものでないことはしばしば指摘されており，結局実際に植物の燐酸吸収量を直接測定する Neubauer 法が最も信頼できるものであるといわれていた。近年イオン交換樹脂による各種イオンの定量法が進歩しているが，AMER ら[1]は Dowex-2 ($R \cdot R_3N^+OH^- \cdots\cdots Cl^-$ 型) を2時間土壌と接触，燐酸と交換させ，作物の燐酸吸収量と相関関係にあると報告し，また早川[4]は強塩基性イオン交換樹脂 (Amberlite IRA—400) を用いて根釧地方泥炭中の燐酸を定量し好結果を得た。今回とくに各種定量法のうち前述の N/5 HCl 法および 0.06N NH_4F 法，Truog 法，Dyer 法，AMER らの方法に準じたイオン交換樹脂法 (Dowex—2 使用) の5方法によつて供試土壌を分析し，前掲第2表の牧草収量との関係を比較検討し，その結果を第3表に掲げた。

第3表　可給態燐酸分析法の比較 (mg/100g)

土壌	N/5 HCl 法	0.06N NH_4F 法	Truog 法	Dyer 法	イオン交換樹脂法
M — aA	17.37	2.03	tr	2.42	1.67
M — aC	21.47	1.64	tr	4.92	tr
M — dA	3.01	1.32	tr	1.48	tr
M — dC	2.53	1.90	tr	1.95	tr
支場土壌	22.33	3.98	tr	5.31	tr
本場沖積土	15.62	1.87	1.75	2.03	1.73

これによれば N/5 HCl のような強酸を溶出剤に使用した場合の燐酸量は多かつたが，ほかの方法はいずれも少なく，とくに Truog 法およびイオン交換樹脂法は M-aA，本場沖積土に若干認められる程度であつた。また 0.06N NH_4F 法は土壌中の Al_2O_3 と結合する形態のものが主に作

用をうけると考えられているが，今回も燐酸の天然供給量が多い本場沖積土よりも，摩周統各火山灰土壌において燐酸溶出量がやや高い傾向を示していた。しかしこれら分析法によつて溶出した燐酸量は前掲第2表の牧草収量と対比させたとき矛盾した場合が多く，たとえば N/5 HCl 法における M-aA と M-aC，支場土壌と本場沖積土などでは明らかに逆の傾向を示した。すなわち浸出法では土壌中の種々の形態の燐化合物から溶出した燐酸量をもつていわゆる可給態燐酸とみなしているが，このうちには作物に利用されない部分も溶出されるために作物を用いた試験結果と合致しないものと思われた。従つて溶出した燐酸が土壌中のどの燐化合物から給与されたかを調査する必要があろうと考えられた。

燐酸の土壌から作物への給与形態は無機態および有機態よりなるが，その多くは前者であろうと想像される。土壌に燐酸を添加した場合，pH が中性領域では土壌 colloid から解離した Ca^{++} の一部は水溶性燐酸と結合して $Ca_3(PO_4)$ となつて沈澱し，pH が低ければ Al^{+++}，Fe^{+++} が増加し，これが燐酸イオンと結合して $AlPO_4$，$FePO_4$ の難溶性沈澱を生ずる。従つてこれら Ca^{++}，Al^{+++}，Fe^{+++} 塩を定量することが可給態燐酸の給源としての無機燐の特性を調査する場合重要なことであろうと考えられる。

これについて CHANG & JACKSON[2] は迅速かつ連続して分別定量する方法を確立した。本法によれば土壌を 1N NH_4Cl で前処理し，0.5N NH_4F で Al Type の燐酸（Al-P と略記する），0.1 N NaOH で Fe-P，さらに 0.5N H_2SO_4 で Ca-P を連続抽出し，不溶残渣中に存在する燐酸を occluded-P と称している。今回本定量法を検討した結果，この方法を本邦火山灰土壌に修正した関谷，江川ら[8] の方法が摩周統火山灰土壌に適用しうることを認めたので後者の方法に準じて次の実験を試みた。

土壌 100g を Neubauer pot に充塡し，^{32}P を含む燐酸 100mg を添加，燕麦（ビクトリー1号）100粒を播種，21日間育成し収穫後吸収燐酸量および土壌に残存する無機燐の各 fraction を測定し，その結果を第4表および第5表に掲げた。

第 4 表　Neubauer 法によるポット試験成績（供試作物　燕麦，ポット当り）

土壌＼項目	地上部 鉢当収量 (g)	地上部 含有率(%) P_2O_5	地上部 含有率(%) $^{32}P_2O_5$	地上部 吸収量(mg) P_2O_5	地上部 吸収量(mg) $^{32}P_2O_5$	地下部 鉢当収量 (g)	地下部 含有率(%) P_2O_5	地下部 含有率(%) $^{32}P_2O_5$	地下部 吸収量(mg) P_2O_5	地下部 吸収量(mg) $^{32}P_2O_5$	P_2O_5 全吸収量 (mg)	$^{32}P_2O_5$ 全吸収量 (mg)	$^{32}P/P$ (%)
M — aA	1.80	0.87	0.42	15.66	7.54	1.05	0.60	0.18	6.30	1.93	21.96	9.47	43.1
M — aC	1.60	0.84	0.34	13.44	5.49	1.20	0.50	0.17	6.00	2.06	19.44	7.55	38.8
M — dA	1.44	0.63	0.18	9.07	2.69	1.08	0.43	0.10	4.64	1.13	13.71	3.82	27.9
M — dC	1.70	0.60	0.12	10.20	2.11	1.20	0.52	0.11	6.24	1.40	16.44	3.51	21.4
支場土壌	1.80	0.73	0.36	13.14	6.52	1.05	0.62	0.22	6.51	2.07	19.65	8.59	44.0
本場沖積土	1.95	1.22	0.97	23.79	18.88	1.25	0.61	0.34	7.62	4.32	31.41	23.20	73.9

第 5 表　跡地土壌の無機燐各 fraction（100g中）

土壌	跡地土壌 (A) (mg) 水溶性	跡地土壌 (A) (mg) Ca-P	跡地土壌 (A) (mg) Al-P	跡地土壌 (A) (mg) Fe-P	無栽培土壌 (B) (mg) 水溶性	無栽培土壌 (B) (mg) Ca-P	無栽培土壌 (B) (mg) Al-P	無栽培土壌 (B) (mg) Fe-P	(B-A)の合計 (mg)	燕麦の^{32}P吸収量 (mg)
M — aA	tr	7.1	22.2	2.6	3.5	13.2	21.0	2.6	8.4	9.47
M — aC	tr	15.6	38.1	3.9	2.1	20.4	38.8	3.8	7.6	7.55
M — dA	tr	tr	40.3	2.2	tr	3.5	40.1	2.3	3.4	3.82
M — dC	tr	tr	33.9	3.8	tr	5.6	33.6	3.7	5.2	3.51
支場土壌	tr	2.7	42.4	1.1	1.1	7.8	44.1	1.3	8.1	8.59
本場沖積土	tr	3.9	45.0	2.4	6.2	10.7	45.4	2.5	13.5	23.20

これによれば鉢当り収量は地上部，地下部とも各土壌に大差はなかつたが，燐酸含有率の差によつて吸収量はきわめて特徴のある傾向を示した。すなわち全吸収量は本場沖積土，M-aA が多く M-dA，M-dC は少ない。このうち施用燐酸の吸収量（^{32}P の占める量）はこの傾向が特に顕著であり，従つて $^{32}P_2O_5/^{32}P_2O_5+P_2O_5$ の比率も本場沖積土が74%にも達し，支場土壌，M-aA がこれにつぎ，M-dA，M-dC はわずか20%にすぎなかつた。これは本場沖積土，支場土壌，M-aA などは施用燐酸が有効に利用されたのに対し，M-dA，M-dC は大部分が速かに土壌に固定されたためと考察され，この際幼植物に吸収利用された ^{32}P は作物収穫跡地の土壌無機燐の各 fraction を対照区と比較することにより，主として水溶性燐酸および Ca-P を利用し，Al-P，Fe-P はきわめて利用性が少なかつたと推定された。この実験は21日間の処理なので作物全生育期間を通して考察することは困難であるが，土壌無機燐中可給態と考えられるものの大部分は水溶性燐酸および Ca-P であつて，この種の fraction の存在量が大なるほど土壌中の燐酸の天然供給量が大きいのではないかと思われた。

つぎに ^{32}P を含む燐酸 100mg を土壌 100g に添加し，低温乾燥させた試料を前述5種の可給態燐酸定量法によつて測定した結果を第6表に掲げた。なお比較の便宜上前記第4表における幼燕麦の ^{32}P 吸収量をも再び併記した

第 6 表　分析法を異にした場合における添加燐酸の溶出量（mg/100g）

土　壌	N/5 HCl法	0.06N NH_4F法	Truog法	Dyer法	イオン交換樹脂法	燕麦の ^{32}P 吸収量
M — a A	41	48	5	43	16	9.47
M — a C	42	39	2	22	6	7.55
M — d A	13	25	1	5	2	3.82
M — d C	22	49	1	2	4	3.51
支場土壌	36	50	1	1	8	8.59
本場沖積土	23	38	9	22	26	23.20

各分析法によつて溶出した $^{32}P_2O_5$ を燕麦の $^{32}P_2O_5$ 吸収量と比較した場合，N/5 HCl および0.06N NH_4F 法は明らかに燕麦に利用されない Al-P，Fe-P の形態のみならず固定燐酸をも溶出し，Truog 法では低い値を得，Dyer 法は M-aA，M-aC が高い値となり，やや一致の傾向をみたのは Amer らのイオン交換樹脂法であつた。換言すればこの方法が21日の作物生育期間を通して土壌中に可給態として存在していた $^{32}P_2O_5$（水溶性燐酸および Ca-P）をほぼ定量し得たと考えられた。

次に各火山灰層や圃場土壌において燐酸の天然供給量を実際に検討する場合，これら分析法の相異によつて溶出される燐酸が，どの fraction から溶出したかを確認することはきわめて困難であつた。すなわち溶出処理後の土壌を調整し，各 fraction を定量しようとしたが，これら fraction はすでに破壊されていたため的確な値を把握し得ない場合が多かつたからである。従つて各分析法の処理によつて溶出した CaO，Al_2O_3 および Fe_2O_3 を測定し，各原土の無機燐各 fraction を定量する際に溶出される CaO，Al_2O_3 および Fe_2O_3 と比較することによつて間接的に溶出する無機燐の部位を推定した。無機燐の各 fraction を定量した際に溶出する CaO，Al_2O_3，Fe_2O_3 量を第7表に，分析法を異にした場合に溶出する CaO，Al_2O_3，Fe_2O_3 量を第8表に掲げた。

すなわち第7表によれば Ca-P Type の場合は CaO，Al-P Type は Al_2O_3，Fe-P Type は Fe_2O_3 とそれぞれ最大の溶出量を示し，これに伴なつて溶出する無機燐の各 fraction とおおむねパラレルの傾向であることを認めた。一方第8表における N/5 HCl 法，および 0.06N NH_4F 法によつて溶出する Al_2O_3 はきわめて多く，明らかに

第 7 表　無機態燐を定量した際に溶出する CaO, Al_2O_3 および Fe_2O_3 (mg/100g)

fraction / 項目 / 土壌	水溶性	Ca—Type				Al—Type				Fe—Type			
	P_2O_5	P_2O_5	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	P_2O_5	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	P_2O_5	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3
M — aA	1.3	2.8	396	23	1	59.4	33	339	3	13.5	18	21	16
M — aC	0.4	1.4	219	30	1	63.0	54	516	3	12.8	14	4	29
M — dA	tr	0.3	249	49	2	87.8	49	663	1	5.9	16	24	33
M — dC	tr	0.3	199	35	1	56.8	53	717	1	5.4	9	10	33
支場土壌	0.4	1.7	303	34	2	50.0	56	695	2	8.2	17	6	32
本場沖積土	0.7	3.2	423	20	2	52.9	64	505	9	15.2	15	3	65

第 8 表　分析法を異にした場合に溶出する CaO, Al_2O_3 および Fe_2O_3 (mg/100g)

分析法 / 項目 / 土壌	N/5 HCl 法			0.06N NH_4F 法			Truog 法			Dyer 法		
	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	Al_2O_3	Fe_2O_3
M — gA	300	1.695	9	138	78	11	172	27	tr	150	23	1
M — aC	170	1.850	11	86	119	20	86	38	tr	110	38	1
M — dA	154	2.135	1	80	335	3	100	89	tr	120	69	1
M — dC	128	2.440	4	89	321	3	86	54	tr	110	88	1
支場土壌	198	2.390	5	90	313	5	132	41	tr	124	56	1
本場沖積土	320	1.025	22	120	109	22	172	8	tr	218	17	2

Al-P の fraction のものを多く溶出させたと推定された。また Truog 法および Dyer 法は CaO が多いので Ca-P を主体にした燐酸定量法なるもののごとく考えられた。

これらの結果から本邦で最も広く用いられている N/5 HCl 法などは可給態の水溶性燐酸および Ca-P のほかに作物に利用され難いと考えられる礫土型の燐酸などをも多量溶出させ，この合計量をもつて可給態燐酸と呼称し，さらにこの量で燐酸の天然供給力を論議しているために前述の牧草収量と合致しない場合が多いのであつて，緒言でのべた矛盾の一端がこの辺にあろうと考察された。

(2)　土壌に燐酸を添加した場合における無機燐各 fraction の影響

前述のように摩周統火山灰土壌における無機燐の各 fraction 中，作物に利用されたのは主として水溶性燐酸および Ca-P であつた。従つて土壌中の燐酸添加量を増加させた場合の無機燐の各 fraction について調査した。

すなわち前記6種の風乾土壌各 100g に ^{32}P を含む燐酸 25mg, 50mg, 100mg, 500mg, 1,000 mg, 2,000mg および 3,000mg を加え，低温で乾燥して燐酸を吸収させ，一部は 105°C の乾燥器中で6回の乾湿を繰り返して試料とした。

溶出する無機燐の各 fraction 量を第9表に，また全溶出量を 100 とした場合の各 fraction の占める割合を第1図に掲げた。

以上の結果から次の傾向が明らかになつた。すなわち

i)　土壌に燐酸を吸収させた後，直ちに乾燥した場合

添加燐酸量が小なるときは水溶性燐酸および Ca-P は少ないが，濃度が高くなるにつれて漸増した。しかし M-dA および M-dC は高濃度でも極く少量に止まり，Ca-P も 100mg 以下では trace であつた。逆に Al-P は低濃度の場合存在率はきわめて高いが，高濃度になるに従い漸減した。また Fe-P は M-aA では判然としなかつたが，他土壌は添加燐酸の増加によつて漸増の傾向を認めた。

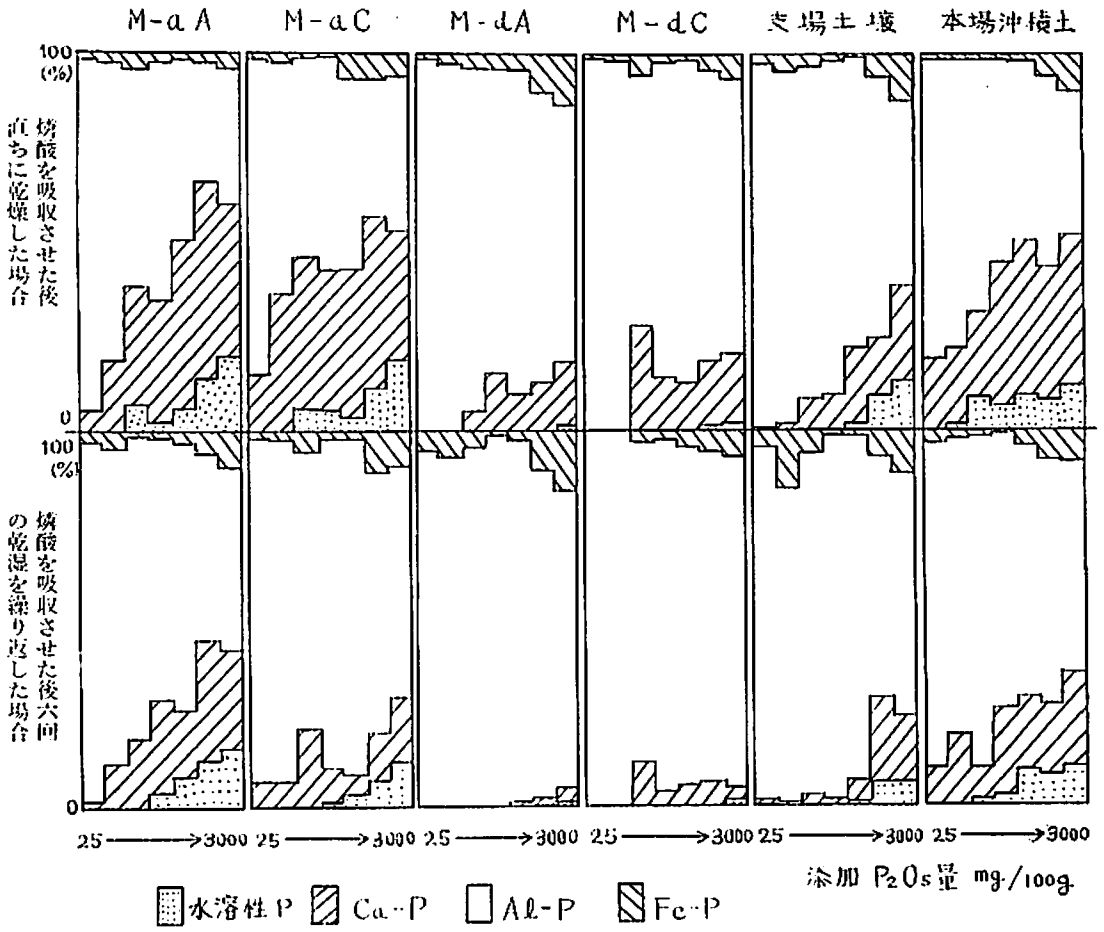
一方，土壌別にみれば燐酸固定力の高い各火山灰土壌は Al-P の占める割合が多く，なかでも M-dA および M-dC はこの傾向が顕著であつ

第 9 表　土壌に $^{32}P_2O_5$ を吸収後，直ちに乾燥した場合，および6回の乾湿を繰り返して作成した試料より溶出する無機燐の各 fraction 量　(mg/100g)

土壌	各 fraction 別 ＼ 燐酸添加量	25mg	50mg	100mg	500mg	1,000mg	2,000mg	3,000mg
M—a A	水溶性—P	tr (tr)	tr (tr)	3.2 (tr)	15.0 (13.0)	60.2 (48.3)	237.2 (154.8)	448.9 (292.4)
	Ca —P	0.6 (0.3)	4.2 (2.2)	13.0 (8.9)	110.9 (49.6)	338.1 (95.4)	724.3 (371.1)	846.4 (445.1)
	Al —P	10.4 (12.1)	16.8 (15.0)	23.2 (35.1)	236.9 (273.1)	370.5 (381.9)	533.8 (604.1)	737.8 (877.4)
	Fe —P	0.1 (0.3)	0.5 (0.9)	1.7 (4.0)	2.7 (6.2)	5.4 (12.1)	27.3 (60.2)	633.0 (182.3)
M—a C	水溶性—P	tr (tr)	tr (tr)	3.7 (tr)	15.0 (3.2)	22.5 (12.2)	138.7 (58.9)	434.3 (200.8)
	Ca —P	2.5 (1.1)	9.9 (1.6)	29.3 (12.5)	104.0 (18.1)	258.9 (22.2)	542.5 (103.1)	702.6 (267.3)
	Al —P	14.2 (13.8)	17.3 (19.0)	39.3 (43.2)	160.8 (193.9)	340.6 (361.6)	423.6 (594.1)	904.4 (957.6)
	Fe —P	0.1 (0.3)	0.4 (0.4)	0.5 (4.2)	3.2 (5.5)	48.8 (11.0)	93.5 (100.4)	152.1 (160.4)
M—d A	水溶性—P	tr (tr)	tr (tr)	tr (tr)	tr (tr)	3.1 (tr)	10.9 (6.5)	18.2 (11.4)
	Ca —P	tr (tr)	tr (tr)	2.3 (0.1)	34.0 (2.5)	44.2 (7.4)	155.9 (30.5)	326.6 (99.2)
	Al —P	12.1 (13.1)	19.2 (24.8)	41.4 (46.6)	172.3 (346.2)	426.5 (509.4)	1,021.7 (1,092.9)	1,325.6 (1,539.2)
	Fe —P	0.1 (0.8)	0.6 (2.1)	1.6 (2.1)	8.5 (2.2)	20.2 (11.0)	142.9 (130.5)	246.0 (316.3)
M—d C	水溶性—P	tr (tr)	tr (tr)	tr (tr)	tr (tr)	0.2 (tr)	21.9 (8.3)	47.4 (21.0)
	Ca —P	tr (tr)	tr (tr)	14.8 (6.9)	54.1 (13.7)	108.2 (39.7)	237.7 (68.7)	430.7 (87.6)
	Al —P	11.6 (16.4)	17.9 (22.3)	33.1 (46.6)	300.7 (322.5)	650.4 (613.3)	1,057.4 (1,108.0)	1,710.2 (1,852.5)
	Fe —P	0.1 (tr)	0.3 (tr)	3.3 (2.3)	7.3 (10.1)	10.6 (33.1)	62.3 (70.2)	137.5 (154.8)
支場土壌	水溶性—P	tr (tr)	tr (tr)	tr (tr)	tr (tr)	14.9 (3.1)	125.5 (91.4)	260.6 (130.3)
	Ca —P	0.1 (0.1)	0.4 (0.2)	4.5 (1.5)	23.8 (7.4)	125.9 (32.6)	325.7 (280.1)	487.8 (291.6)
	Al —P	7.4 (9.9)	16.0 (16.0)	42.3 (47.4)	232.6 (263.2)	495.5 (464.9)	738.8 (797.1)	965.7 (1,113.0)
	Fe —P	0.2 (0.6)	1.0 (3.2)	2.0 (3.5)	5.4 (5.8)	12.5 (11.0)	78.2 (100.4)	259.7 (180.7)
本場沖積土	水溶性—P	tr (tr)	0.5 (tr)	5.1 (1.0)	21.2 (6.5)	75.0 (58.5)	98.5 (70.7)	211.7 (181.3)
	Ca —P	1.8 (1.0)	5.4 (3.8)	13.0 (4.4)	122.5 (59.4)	339.8 (111.3)	427.6 (156.1)	697.4 (383.3)
	Al —P	7.6 (6.7)	22.0 (15.5)	40.6 (46.7)	185.2 (184.0)	397.2 (401.7)	635.8 (528.9)	683.8 (689.9)
	Fe —P	0.1 (0.1)	0.6 (0.6)	0.8 (1.0)	3.2 (3.9)	10.1 (33.1)	91.5 (75.3)	161.5 (145.6)

( ) 内は乾湿を繰り返した場合を示す。

第 1 図　添加燐酸の無機態各 fraction への転移（全溶出量に対する百分比）



た。しかし本場沖積土は添加燐酸量が少量であつても Ca-P の割合が前記火山灰土壌より高く保持され，この点趣きを異にした。

ii) 土壌燐酸を吸収させた後，乾湿を 6 回繰り返した場合

燐酸濃度を増加させることによつて変化する各 fraction の傾向としては，前述 i) の場合とおおむね同じであるが，乾湿処理間では次の差異を認めた。

すなわち乾湿処理によつて水溶性燐酸および Ca-P の減少が顕著に認められたものは M-dA および M-dC で，水溶性燐酸は 3,000mg の添加量でも trace にすぎないほどであつた。これに対して本場沖積土，M-aA はこの傾向が若干認められる程度で，乾湿繰り返し処理による各 fraction の転移割合は少なかつた。支場土壌，M-aC は前述 2 グループの中間の性状を示した。

以上のことから難土性の高い M-dA，M-dC でも燐酸を多用すると，Ca-P などの可給態燐酸の割合が増加するので，当地方火山灰土壌では燐酸質肥料の増施がこれら成分を高く保持させることになろうと推定された。

IV　考　　察

根釧地方は摩周統各火山灰に被覆されているため燐酸吸収力が強く，新墾畑では燐酸欠乏がはなはだしいのであるが，いわゆる熟畑と呼称されている土壌は，連年燐酸質肥料の施肥によつてその

蓄積は相当な量に達すると考えられ，実際に燐酸欠乏症状はそれほど顕著には認められなくなつている。

この理由について CHANG & JACKSON による無機燐の各 fraction 定量法を修正した関谷らの方法，および幼燕麦を栽培した Neubauer 法の実験から作物の初期生育に利用されたのは主に水溶性燐酸および Ca-P なることが推定された。

しかし作物の種類または生育 stage によつて各形態の燐酸を吸収する能力が異なるという報告[5)7)9)]もあり，前述の傾向をもつて全生育期間に関する可給態燐酸について軽々しく論議することはできないのであつて，さらに検討を要する問題と思われた。

当地方の土壌は肥料3要素中とくに燐酸の肥効が高いため，可給態燐酸の存在の多寡が作物の生育を大きく支配していることは前述3要素試験の結果から明らかである。従つて土壌中におけるこれら水溶性燐酸，Ca-P を主体とした可給態燐酸を定量しうる適当な方法が必要である。本邦で広く採用されている浸出剤を使用した諸定量法で測定した場合，同一火山灰層の同一地点の試料間では燐酸の天然供給力に対しある程度の指針を与える場合もあろうが，土壌採取場所が離れた場合はもちろんのこと，火山灰層を異にすれば溶出された燐酸の量をもつて比較することははなはだ困難である。従つて火山灰土壌を沖積土，または洪積土と対比して燐酸の天然供給力を論議することは全く不可能に近いと考えられる。しかし，これらの理由にもかかわらず N/5 HCl 法などが今なお広く採用されているのは分析操作が容易であるからである。これに対しイオン交換樹脂法は土壌に添加した燐酸のうち可給態のものをほぼ定量しえた。

すなわち Al_2O_3，Fe_2O_3 などを溶出する可能性の大なる浸出法は今後共検討されるべきで，たとえば N/5 HCl よりもさらに濃度の低い無機酸，もしくは塩類を使用する方法，またはイオン交換樹脂などを用いた普遍性かつ実用性に富む定量法で比較すべきであろう。この意味で，さきに用いた関谷らの提唱する燐酸 fraction 分析法のうち前半の Ca-P 定量に使用する 2.5% CH_3COOH を独立させ浸出剤として利用する方法なども良案と思う。

つぎに各種濃度の燐酸を土壌に添加した際，無機燐の各 fraction に保持される状態を検討したのであるが，燐酸濃度の低い場合は Ca-P は trace で大部分が Al-P の形を占め，添加量が多くなつてはじめて Ca-P が増加した。この傾向はとくに暴土性の強い M-dA，M-dC に顕著であり，土壌の乾温処理によつても促進された。

すなわち無機燐の各 fraction の溶解積から考えて，一般に水溶性燐酸→Ca-P→Al-P→Fe-P→固定燐酸と進行するのは必然的な傾向であるが，供試火山灰土壌は暴土性が強いため，添加した燐酸が最初に Al_2O_3，Fe_2O_3 と結合してこの活力を抑制するのに作用し，引き続いてその余力が Ca-P となるように観察され本谷ら[7)]の指摘にも一致するものであつた。

V 摘　　要

根釧地方火山灰中の可給態無機燐と2,3の定量法について検討した。

実験結果を要約すると次のとおりである。

1. 肥料3要素試験の結果では，燐酸欠乏症状が顕著に現われたのは M-dA，M-dC および M-aC であるが，M-aA および支場土壌ではその症状が軽微であつた。対照として用いた本場沖積土は3要素区にせまる収量をあげた。しかし供試した5種の可給態燐酸分析法はいずれも3要素試験の結果に一致しなかつた。

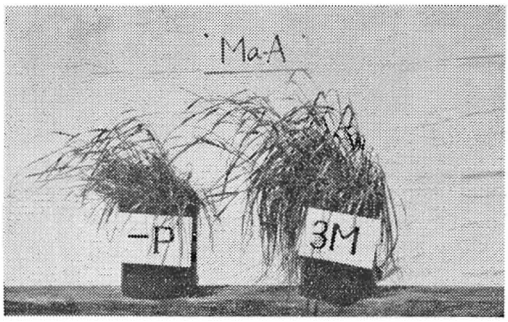
2. 幼燕麦は土壌に添加した燐酸中の水溶性燐酸および Ca-P を主に吸収した。その際吸収した燐酸はイオン交換樹脂法により置換された燐酸量にほぼ一致した。

3. 溶出法にもとづく可給態燐酸定量法のうち N/5 HCl 法などは土壌無機燐の各 fraction 中 Al-P を，Truog 法などは Ca-P の部分を主に溶出させているようであつた。

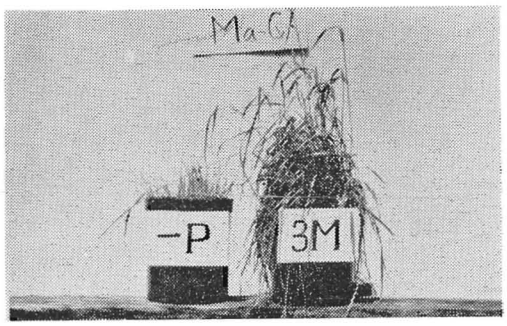
4. 各種濃度の燐酸を土壌に添加して無機燐の各 fraction を分別したところ，添加燐酸が少ない場合は大部分が Al-P となり，多くなるにつれて

牧草肥料3要素試験

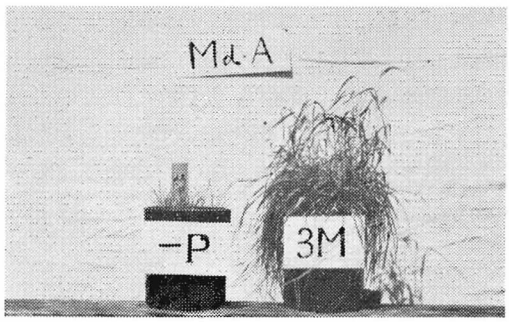
摩周統　aA層



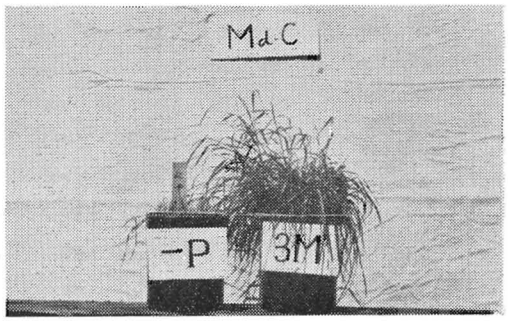
摩周統　aC層



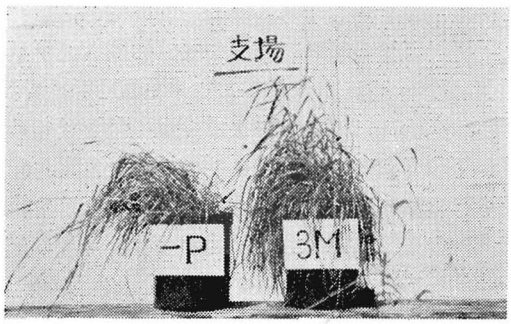
摩周統　dA層



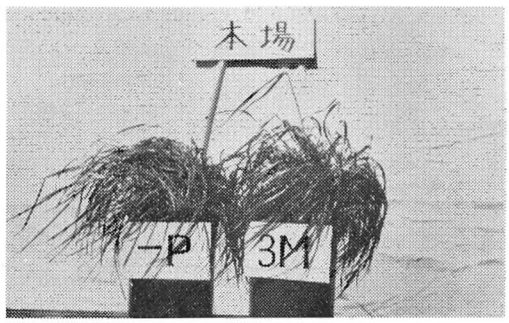
摩周統　dC層



根室支場土壌



本場沖積土



水溶性燐酸およびCa-Pとして保持された割合が高かつた。燐酸添加土壌の乾湿を繰り返した場合Al-Pが増加したが，本場沖積土などは乾湿処理による影響が少ないようであつた。

引用文献

1) Amer. F., Bouldin. D. R., Black. C. A. & Duke. F. R. 1955; Characterization of soil phosphorus by anion exchange resin adsorption and ^{32}P-equilibration. Plant and Soil VI, No. 4, 391.

2) Chang. S. C. & Jackson. M. L., 1957; Fractionation of soil phosphorus. Soil Sci. Vol. 84, 133.

3) 早川康夫　昭和35年；根釧地方火山灰土壌中における燐酸の行動（第1報）道立農試集報．第5号，17頁

4) ———，昭和35年；根釧地方泥炭の理化学的特徴と開発に伴う土壌肥料学的諸問題について（第1報）道立農試集報．第6号，106頁

5) ———，橋本久夫　昭和36年；根釧地方火山灰地における牧草地土壌の理化学的特性とその施肥法に関する試験．（第5報）道立農試集報．第7号，16頁

6) 本谷耕一　昭和34年；東北地方の腐植質火山灰水田における稲作改良に関する研究．土肥学会講演要旨集第5集，71頁

7) RUSSELL, E. J. 1950: Soil Condition and Plant Growth. (藤原ら訳) 548頁. 朝倉書店
8) 関谷宏三, 江川友治 昭和34年; 土壌燐酸の形態区分について. 土肥学会講演要旨集, 第5集, 30頁
9) 〃 〃 昭和36年; 大豆および陸稲の根圏における施肥燐および土壌燐の形態の相異について. 土肥学会講演要旨集, 第7集, 7頁

Summary

Nemuro and Kushiro districts are covered with volcainc ash soils erupted from Mt. Mashu. Therefore, phosphate giving high yields has been mostly manured to such upland soils. For this reason, a great deal of phosphates are saved in the soils.

Workers have usually used some methods for determination of available phosphate in the soils, but these methods do not show relations between phosphate and growth of crops. So, in order to settle these relations, one of the writers reported soil organic phosphate in the first paper of this series, but as organic phosphates are less than inorganic phosphate in soils, it seems that the latter will be more influential at the production of crops. Consequently, this report is intended to make clear the following subjects:

1. Studies on conflict between available inorganic phosphates which are estimated by some determination methods and production of crops.
2. Research on the accumulated fraction of soil inorganic phosphate in the case of addition of concentrated phosphates in many degrees to the soils.

Then the writers observations may be thus summarized:

1) Result of -P plot in three fertilizer elements experiment showed that M-dA (volcanic ash soil erupted from Mt. Mashu), M-dC and M-aC possessed extremely phosphates deficiency of Italian ryegrass, but M-aA and upland soil in Nemuro Branch of Agr. Exper. Stat. Hokkaido has only slight tendency. Nevertheless, the amount of phosphate extracted with five determination methods did not clarify the relationships with the crop production.
2) Young oats in Neubauer's test absorbed chiefly water soluble P and "Ca-P" added ^{32}P from the soils. Their amount in the soils were nearly determined by ion exchange resin method (Dowex-z).
3) The writers considered that N/5 HCl method extracted "Al-P", Truog's method "Ca-P" in fraction of soil inorganic phosphate respectively.
4) Adding concentrated phosphate in many degrees to the soils, "Al-P" was chiefly maintained at low level of added phosphate, however fraction of water soluble P and "Ca-P" increased comparatively at a high level. But, alluvial soil in Agr. Exper. Stat. Kotoni had a low influence upon the inorganic phosphate fraction as a results of the above treatment.