

根釧地方火山灰土壌における燐酸の行動

第3報 燐酸の多用に伴う加里欠乏症の発現について

早 川 康 夫† 奥 村 純 一†

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

III Appearance of Potassium Deficiency in
the Case of Manuring Phosphorus Highly
Yasuo HAYAKAWA & Jun-ichi OKUMURA

根釧地方の新築地火山灰土壌は、一般に燐酸が極端に欠乏し、加里は割合多いものである。しかし、経年畑では、特に牧草のように加里採取量の大きい作物、あるいは、永年草地の跡地作物には、逆に燐酸の多用によって加里欠乏を助長し、かえって減収を招来することがある。この原因について調査した結果、燐酸を多用すると、①作物生育の促進、②アロフェンと結合して、Taranakite ような燐酸塩が生成され、このものが間接的に加里固定をする、または、①、②の両者、すなわち不可給態化を免れた僅少の加里量では促進される作物の生育に随伴しない、などの理由で本現象が発現するものと推定された。

従って、このような圃場に対する施肥法は、燐酸をおさえ窒素、加里を主体とするか、燐酸を多用するときは必ず加里も増肥すべきである。

I 緒 言

根釧地方を厚く被覆する摩周統火山灰は、燐酸吸収力が強く、このために新築地では燐酸質肥料の要求度が極めて高いのであるが、開墾後20～30年を経た経年畑と称されるものは、その作物収量に対する制限因子としての性格が弱められつつある。これは連年多量の燐酸質肥料の投下によるものであって、土壌燐および施肥燐の土壌中における有機および無機態への分布、作物収量との相関およびそれが既往の有効態燐酸分析法との関連性についての意義などについては前報^{2), 6)}でのべた。

当地方は30余年にわたる開拓歴史がありながらも、本道における代表的な後進地帯として現在開発の途上にあつて「火山灰地の施肥法は燐酸」の

潜入観念のために新築地、経年畑の区別なく燐酸を多施用する慣習が強い。

もちろんこの施肥法は新築畑には妥当であるが、燐酸が豊富に蓄積されている経年畑では燐酸質肥料を多用すれば成熟期が促進され、寡照、多雨な当地方における燕麦、大麦などには卓効であるが、牧草、馬鈴薯などでは枯凋が促進され、逆に収量の低下を招来することもしばしばある。

この現象は牧草（とくに播種後4～5年以降のもの）では春季一番草、馬鈴薯などでは生育中期より下位葉が黄変して次第に上位葉に蔓延し、遂には葉のみならず茎までもネクロシスの状態となり、明らかな加里欠乏症状をていするのである。この事実は根釧地方のみならず従来より各地の火山灰土壌地帯でも認められている。その理由については主として作物生理学的な研究によって解析されているが、土壌を通して考察された報告は少ない。

今回は可給態加里含量の少ない経年畑を供試し

て磷酸を多量施肥した場合に惹起される加里欠乏症の発現について、作物および土壌の両面より2～3の調査を実施したのでその結果を報告する。

II 試験方法

本報告の前半は磷酸の多用に伴う加里欠乏症の発現を観察するため、馬鈴薯および牧草について根室支場で圃場試験を実施した。また後半は川上郡標茶町虹別で採取せる標準摩周統火山灰土壌および供試圃場土壌を供試して、磷酸の添加による加里の不可給態化について2～3の考察を試みた。

供試圃場の来歴および状態、施肥区分は次のとおりである。

イ、馬鈴薯（馬鈴薯農林1号）

供試圃場は採草用牧草地として一般試験圃場の輪作体系外に約18年間おかれた跡地である。耕起はローターベーターにより、耕深を約10cmとし、下層土よりの加里の供給を抑制するために浅耕した。なお耕起の際破砕された牧草根は圃場外へ搬出した。

試験区分は、まず施用磷酸を過石群と正磷酸群に大別し、それぞれ(1)無磷酸、(2)磷酸3kg、(3)磷酸6kg、(4)磷酸9kg、(5)磷酸15kg/10aの磷酸施肥区分とし、無加里、加里3kg、加里5kg/10aの3系列を組み合わせ、窒素は7kg/10aを共通肥料とした。

過石群の播種期は昭和37年5月17日(60×30cm植)、収穫期は9月13日であったが、正磷酸群の場合は圃場の都合で播種期、収穫期ともそれぞれ1週間遅れた。なお同年は7月および8月の降雨量合計430.6mm(平年268.1mm)、日照時数合計220.8時間(平年233.8時間)で馬鈴薯栽培には不利な気候条件であったが、銅水和剤(市販名クブラビット)を8回散布することによって馬鈴薯疫病を防止したため、生理的な枯凋による以外の落葉はほとんど認められなかった。

ロ、牧草

昭和33年春、チモシー、赤クロバー混播(採草用)およびラデノクロバー、メドーフェスク混播(放牧用)の2圃場を使用した。昭和37年は播種

後5年目で、採草用牧草では大部分がチモシー、放牧用牧草はラデノクロバーのみ残存し雑草も相当混生していた。

試験区分は、磷酸施肥の場合は馬鈴薯と同様過石群、正磷酸群についてそれぞれ5区とし、無加里、加里1kg、加里3kg、加里5kgの4系列を組み合わせた。なお窒素はラデノクロバー2kg、チモシー5kg/10aを共通肥料とし、昭和37年6月1日追肥、同年8月27日収穫した。

III 試験結果

1. 馬鈴薯に磷酸を多施用した圃場試験

同年は播種直後高温で経過し、発芽、初期生育ともに良好であったが、塊茎着生期～肥大期の7、8月は日照不足、多雨の悪条件のため徹底的な疫病防除を実施して試験目的の実現に努めた。

生育初期の無磷酸区は過石、正磷酸両群とも葉色濃緑かつ矮小という典型的な磷酸欠乏症の姿をていしたが、磷酸を3kg施用すれば磷酸欠乏症状は軽減され、6kg以上では正常な葉色を保った。しかし7月中旬、無加里系列では磷酸9kg、15kg区の下葉が黄変しはじめ下旬には磷酸施用量が少ない区においてもこの傾向が認められ、生育の経過とともに黄化現象はますます強くなった。

加里3kg系列でも7月下旬以降において同様な傾向を認め、8月上旬に至っては加里5kgを施用したグループでさえも磷酸を多施用するほど黄化下位葉の増加を観察し得たのである。磷酸施用量と黄化現象時期との関係を便宜上模式的に第1図に示し、またその徴候の写真をかかげた。

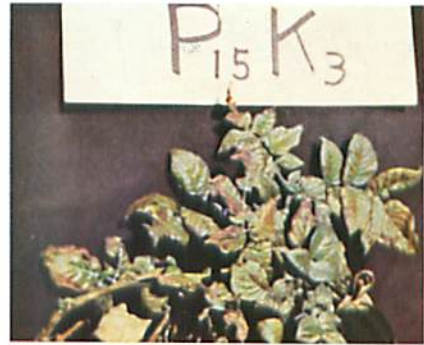
すなわち供試土壌は可給態加里含量が低い状態にあったので加里施用量が少なれば加里欠乏による黄化現象が発現しやすく、磷酸の多用がこの傾向をますます顕著なものにした。しかし加里を増施すればこのような徴候は緩和され発生時期も遅延した。無加里系列は8月中旬に全区落葉枯死し、加里多用グループでも磷酸を多用した区は収穫期には下位葉がすべてネクロシスをていしていた。

なお正磷酸群は播種期が1週間遅れたため生育相は過石群より若干ずれていたが、両群間には特

加 里 欠 乏 症 状 (8月11日 撮影)

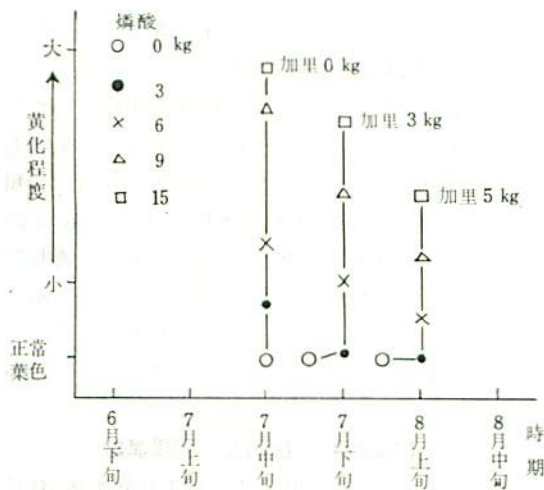


施肥量 磷酸 (正磷酸) 3 kg
加里 3 kg



施肥量 磷酸 (過石) 15 kg
加里 3 kg

第1図 馬鈴薯の黄化現象発現時期と
磷酸施用量の関係



筆すべき差異は認められなかった。

過石、正磷酸両群の塊茎収量調査成績を第1表に、加里と磷酸増施の収量によぼす効果を各無要素区 100 として計算し、それぞれ第2図および第3図にかかげた。

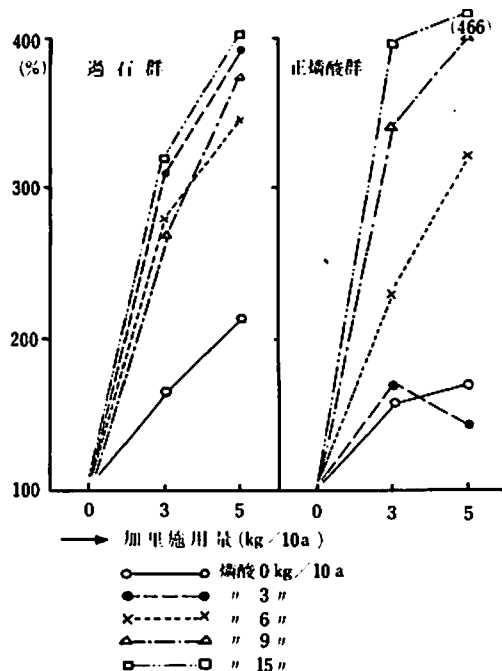
これによれば両群ともに磷酸の増施よりも加里施用量の多少が収量を大きく支配し、なかでも無加里系列では磷酸の多用によって、かえって減収を招来した。その原因は前述したとおり、磷酸多用に伴う茎葉の黄化—加里欠乏の激化によるものであった。

磷酸の多用に伴う加里欠乏症の発現については筆者の1人³⁾をはじめ、多くの研究者が指摘しており、その原因は磷酸の生育促進効果と、過石組成中の2価カチオンのCaが1価のKの吸収を

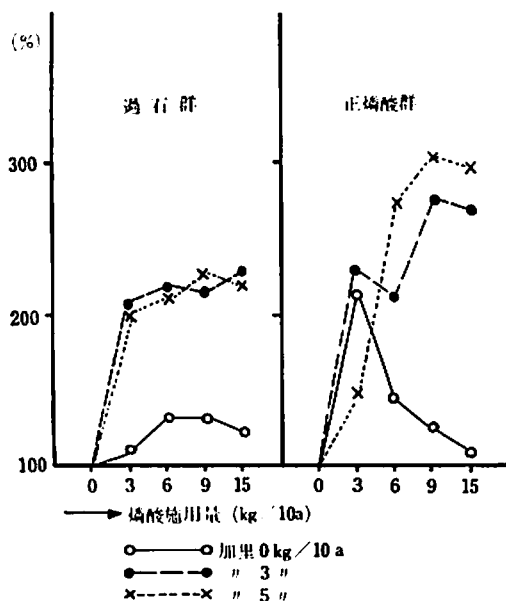
第1表 馬鈴薯の10a当り塊茎収量(kg)

施肥区分	過 石 群			正 磷 酸 群		
	加里 0 kg	加里 3 kg	加里 5 kg	加里 0 kg	加里 3 kg	加里 5 kg
磷酸 0kg	465	769	992	461	733	787
" 3	508	1,592	1,992	994	1,699	1,438
" 6	610	1,703	2,099	673	1,553	2,156
" 9	605	1,670	2,270	597	2,027	2,384
" 15	560	1,764	2,244	499	1,994	2,330

第2図 馬鈴薯に対する加里増肥の効果



第3図 馬鈴薯に対する磷酸増肥の効果



拮抗的に阻害するためともいわれている。そこでこれらの関係を検討するために、生育時期別に磷酸、加里および石灰の含有率を調査し、その結果

を第2表にかかげた（収穫期における各群無加里系列の茎葉は枯死し、分析に供し得なかった）。

これによれば磷酸含有率は磷酸の多用に比例して増加の傾向を認めたが、逆に加里含有率はきわめて特異な経過をたどった。すなわち、贅沢吸収をする加里は含有率の施用量による最高最低変動値が高いのは当然であるが、磷酸を多用するほど含有率の低下が顕著であった。過石群の7月25日における無加里および3 kg 系列では、すでに加里欠乏症状をていしていたことは生育経過でのべたが、当時その徴候が発現していなかった加里 5 kg 系列でさえも無磷酸区の5.01%に対し、磷酸 15 kg 区では1.35%と $\frac{1}{4}$ に減少し、この傾向は塊茎肥大期になるほど激化した。正磷酸群における推移は過石群のそれよりも一般に高かった。これは播種の遅れにより生育が遅延したためと考えられるが、いずれにせよ過石群と同様に磷酸と加里の含有率が拮抗関係にあると思われた。

石灰は作物体内における移動率が低く、かつ生育後期まで引きつづいて吸収が行なわれる要素（石灰、田中¹⁰はその吸収経過からみて第2群として分類している）であるが、過石の多用によっても馬鈴薯体内の石灰含有率が増加しておらず、正磷酸の場合とはほぼ同じ値で経過していた。すなわち本試験の結果では、過石に随伴される石灰の有無または多寡の加里吸収におよぼす影響は判然としなかった。

2. 牧草に磷酸を多施用した圃場試験

ラデノクロバーの場合は6月1日施肥後10日ほどより加里少肥—磷酸多用区ほどその葉色は黄化しはじめ、ついで黒点病に類似の黒斑を無数に生じネクロシスをおこし、遂にはランナーまでもが枯死した。生育の経過とともに磷酸少用区でもこの傾向が波及した。しかし、加里 3 kg 系列では葉色が黄化するに止まり、加里 5 kg 系列はほとんど加里欠乏の徴候が認められなかった。

チモンソーにおける加里欠乏症状の発現は総体的にラデノクロバーより遅かったが、加里少肥—磷酸多用区の草生が黄化し下葉の枯凋が顕著であった。加里 3 kg 系列はこの傾向が弱くかつ遅く、加里 5 kg 系列では加里欠乏症状の罹葉は認め難

第 2 表 馬鈴薯の時期別養分含有率 (乾物 %)

項目 施肥区分		過 石 群											
		P ₂ O ₅				K ₂ O				CaO			
		茎		葉		塊 茎		塊 茎		茎		葉	
		7 月 25 日	8 月 11 日	収穫期	収穫期	7 月 25 日	8 月 11 日	収穫期	収穫期	7 月 25 日	8 月 11 日	収穫期	収穫期
加 里 0 kg	磷酸 0kg	0.40	0.56		0.45	1.01	1.30		1.16	1.32	1.86		0.23
	3	0.48	0.76		0.46	0.35	0.36		1.09	2.46	1.70		0.20
	6	0.65	0.81		0.54	0.38	0.42		1.22	2.52	1.98		0.20
	9	0.73	0.79		0.58	0.53	0.20		0.99	1.80	2.78		0.20
	15	0.80	0.98		0.83	0.51	0.22		1.34	2.34	1.56		0.22
加 里 3 kg	磷酸 0kg	0.47	0.59	0.46	0.22	3.00	3.92	1.36	1.41	1.62	1.74	2.58	0.16
	3	0.53	0.57	0.49	0.40	2.84	1.74	0.42	1.04	2.32	2.28	3.94	0.16
	6	0.49	0.55	0.64	0.56	0.93	0.42	0.22	1.28	2.80	3.92	3.10	0.20
	9	0.52	0.60	0.50	0.76	0.77	0.24	0.07	1.22	2.74	3.60	2.52	0.20
	15	0.60	0.58	0.60	0.74	0.68	0.20	0.10	1.09	2.94	2.92	2.30	0.20
加 里 5 kg	磷酸 0kg	0.42	0.47	0.55	0.35	5.01	5.62	1.62	1.72	1.30	1.50	2.46	0.19
	3	0.50	0.54	0.48	0.38	3.66	2.20	0.18	1.47	1.71	2.00	3.04	0.17
	6	0.48	0.46	0.46	0.39	2.45	0.98	0.33	1.27	1.96	2.68	3.40	0.15
	9	0.58	0.52	0.46	0.47	1.20	0.56	0.20	1.32	2.22	3.22	3.48	0.18
	15	0.58	0.57	0.47	0.52	1.35	0.42	0.10	1.06	2.26	2.46	2.58	0.17
正 磷 酸 群													
加 里 0 kg	磷酸 0kg	0.41	0.55		0.44	2.35	1.74		1.26	1.35	1.50		0.19
	3	0.52	0.61		0.37	1.39	1.06		1.29	1.80	1.90		0.19
	6	0.79	0.66		0.59	1.04	0.44		1.23	1.20	2.10		0.23
	9	0.92	0.81		0.66	1.00	0.68		1.06	1.48	1.50		0.21
	15	0.92	0.93		0.75	0.97	0.36		1.00	1.65	2.26		0.21
加 里 3 kg	磷酸 0kg	0.45	0.47	0.56	0.34	5.24	5.07	2.44	1.61	1.17	1.62	2.94	0.22
	3	0.65	0.59	0.48	0.43	1.95	1.36	0.31	1.05	1.96	2.28	3.12	0.18
	6	0.51	0.58	0.57	0.56	1.50	1.30	0.15	0.95	2.10	2.38	2.52	0.21
	9	0.53	0.55	0.48	0.52	2.12	1.52	0.22	0.59	1.62	1.86	2.76	0.21
	15	0.66	0.70	0.46	0.51	1.40	0.68	0.14	0.89	1.74	2.28	2.22	0.20
加 里 5 kg	磷酸 0kg	0.40	0.53	0.60	0.31	5.21	5.74	1.68	1.66	1.41	1.50	2.88	0.21
	3	0.46	0.55	0.40	0.35	3.74	2.86	1.48	1.34	1.93	2.58	3.94	0.18
	6	0.61	0.50	0.33	0.34	4.00	2.20	1.40	1.14	1.77	2.28	3.40	0.19
	9	0.64	0.51	0.41	0.33	3.84	1.18	0.44	1.52	1.44	2.46	4.00	0.20
	15	0.59	0.51	0.47	0.32	4.10	1.68	0.98	1.32	1.98	2.22	3.60	0.17

かった。

これら牧草の加里欠乏症状発現時期と磷酸施用量との関係を第 4 図に模式的にかかげた。

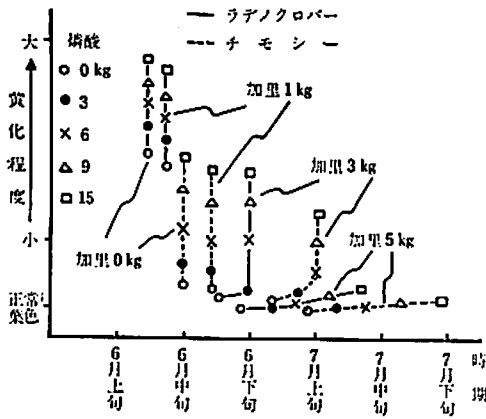
すなわち土壌中の可給態加里が不足すれば、牧草でも、磷酸の多量追肥が加里欠乏症状の発現を激化させるものであることがわかった。

つぎに、ラデノクロバーおよびチモシーの乾草収量調査成績を第 3 表にかかげた。

これによれば両牧草、過石群、正磷酸群とも加里少肥系列では磷酸の多用が収量を減少させるが、加里を 5 kg 施用すれば磷酸施肥量の如何にかかわらず収量がほぼ一定し、牧草に関する既往の結果⁹⁾に一致した。

この傾向をさらに裏付けたのが第 4 表および第 5 表に示した時期別養分含有率である。

第4図 牧草の黄化現象発現時期と
磷酸施用量の関係



第3表 牧草の10a当たり乾草収量(kg)

施肥区分	ラ デ ノ ク ロ バ ー							
	過 石 群				正 磷 酸 群			
	加里 0 kg	加里 1 kg	加里 3 kg	加里 5 kg	加里 0 kg	加里 1 kg	加里 3 kg	加里 5 kg
磷酸 0kg	7	12	70	92	11	16	61	82
3	14	12	60	88	11	20	62	85
6	13	8	21	83	8	15	62	86
9	12	8	28	81	4	6	57	84
15	3	6	16	84	2	3	46	81

チ モ シ ー								
磷酸 0kg	310	317	474	419	323	378	407	396
3	317	329	423	439	322	379	398	373
6	286	293	426	408	341	328	386	388
9	237	243	449	438	225	235	392	410
15	224	221	434	402	226	264	382	401

第4表 ラデノクロバーの時期別養分含有率(乾物%)

項目		過石群				正磷酸群				正磷酸群			
		P ₂ O ₅		K ₂ O		CaO		P ₂ O ₅		K ₂ O		CaO	
		7月25日	8月27日	7月25日	8月27日	7月25日	8月27日	7月25日	8月27日	7月25日	8月27日	7月25日	8月27日
加里0kg	磷酸0kg	0.82	0.54	0.91	0.82	1.48	1.08	1.08	0.52	0.92	0.82	1.25	1.26
	3	0.89	0.54	0.91	1.16	1.20	1.04	1.16	0.57	0.80	0.74	1.17	1.22
	6	1.04	0.58	0.86	0.80	1.17	1.02	1.45	0.66	0.86	0.72	1.04	1.28
	9	1.02	0.65	0.83	0.76	1.33	1.20	1.40	0.67	0.68	0.66	1.10	1.38
	15	1.26	0.65	0.68	0.66	1.17	1.18	1.54	0.72	0.54	0.58	1.04	1.26
加里1kg	磷酸0kg	0.88	0.55	1.00	1.02	1.27	1.18	1.08	0.57	1.04	0.90	1.38	1.10
	3	0.91	0.56	0.88	0.80	1.35	1.10	1.19	0.63	0.83	0.86	1.40	1.26
	6	0.99	0.60	0.86	0.66	1.30	1.10	1.30	0.65	0.86	0.86	1.20	1.20
	9	1.19	0.65	0.86	0.60	1.40	1.10	1.42	0.74	0.72	0.76	1.16	1.22
	15	1.14	0.71	0.64	0.64	1.20	1.08	1.42	0.79	0.63	0.72	1.10	1.14
加里3kg	磷酸0kg	0.85	0.50	1.26	0.98	1.40	1.22	0.84	0.51	0.98	1.10	1.20	1.35
	3	0.90	0.57	0.98	0.98	1.30	1.20	1.01	0.54	0.72	0.86	1.17	1.22
	6	1.10	0.53	0.86	0.86	1.54	1.35	0.97	0.61	0.68	0.86	1.23	1.32
	9	1.07	0.68	0.83	0.82	1.44	1.18	1.23	0.69	0.66	0.80	1.26	1.18
	15	1.14	0.65	0.80	0.72	1.32	1.16	1.36	0.68	0.70	0.76	1.28	1.28
加里5kg	磷酸0kg	0.65	0.50	0.82	0.90	1.30	1.35	0.91	0.52	0.83	1.16	1.44	1.20
	3	0.97	0.50	0.83	0.86	1.30	1.22	1.03	0.56	0.94	0.96	1.32	1.28
	6	0.99	0.57	0.72	0.82	1.32	1.22	1.07	0.58	0.72	0.98	1.33	1.18
	9	1.03	0.58	0.73	0.80	1.38	1.22	1.13	0.69	0.72	0.92	1.30	1.32
	15	1.05	0.60	0.68	0.80	1.38	1.20	1.15	0.72	0.73	0.90	1.38	1.14

第 5 表 チモシーの時期別養分含有率 (乾物 %)

施肥区分	項目	過 石 群						正 燐 酸 群					
		P ₂ O ₅		K ₂ O		CaO		P ₂ O ₅		K ₂ O		CaO	
		7月 25日	8月 27日	7月 25日	8月 27日	7月 25日	8月 27日	7月 25日	8月 27日	7月 25日	8月 27日	7月 25日	8月 27日
加 里 0 kg	燐酸 0kg	0.62	0.32	0.52	0.22	0.34	0.50	0.74	0.31	0.50	0.30	0.46	0.46
	3	0.79	0.30	0.52	0.20	0.31	0.44	0.73	0.31	0.44	0.26	0.44	0.42
	6	0.82	0.35	0.38	0.18	0.34	0.56	0.76	0.36	0.42	0.28	0.40	0.46
	9	0.93	0.31	0.40	0.15	0.32	0.46	0.92	0.37	0.30	0.25	0.40	0.42
	15	1.04	0.42	0.28	0.14	0.35	0.50	1.00	0.44	0.30	0.22	0.52	0.38
加 里 1 kg	燐酸 0kg	0.58	0.30	0.58	0.30	0.30	0.44	0.70	0.24	0.54	0.64	0.38	0.56
	3	0.55	0.34	0.50	0.28	0.32	0.44	0.84	0.30	0.40	0.43	0.46	0.42
	6	0.60	0.39	0.38	0.18	0.33	0.46	0.88	0.25	0.34	0.44	0.46	0.46
	9	0.59	0.35	0.40	0.15	0.32	0.42	0.82	0.35	0.34	0.36	0.44	0.42
	15	0.63	0.42	0.30	0.20	0.33	0.42	0.89	0.30	0.30	0.36	0.40	0.38
加 里 3 kg	燐酸 0kg	0.63	0.31	0.96	0.62	0.36	0.48	0.74	0.28	1.18	0.74	0.52	0.40
	3	0.68	0.27	0.84	0.52	0.44	0.46	0.71	0.23	0.98	0.68	0.52	0.42
	6	0.68	0.32	0.72	0.33	0.38	0.46	0.75	0.28	0.86	0.66	0.49	0.44
	9	0.69	0.28	0.60	0.30	0.36	0.44	0.73	0.30	0.80	0.60	0.46	0.38
	15	0.77	0.32	0.62	0.24	0.36	0.42	0.74	0.35	0.60	0.48	0.44	0.38
加 里 5 kg	燐酸 0kg	0.68	0.25	1.06	0.74	0.44	0.53	0.75	0.24	1.02	0.80	0.40	0.34
	3	0.70	0.22	0.90	0.58	0.40	0.44	0.80	0.24	1.10	0.72	0.52	0.36
	6	0.67	0.23	0.94	0.58	0.46	0.50	0.80	0.25	0.94	0.68	0.50	0.38
	9	0.70	0.28	0.90	0.54	0.40	0.48	0.89	0.29	0.76	0.58	0.44	0.36
	15	0.69	0.30	0.80	0.38	0.38	0.46	0.92	0.36	0.76	0.36	0.50	0.36

馬鈴薯の場合と同様に、燐酸の多用に伴い加里含量が低下し、加里欠乏症状が観察され難かった加里 5 kg 系列でも減少の徴候を認めた。

このことは刈取時期を多少延引（換言すれば刈取適期を失した場合）することによって、当然加里欠乏症の発現を招来する環境にあると推定された。また石灰含有率は施用燐酸の種類およびその量にかかわらず判然たる傾向を認め得なかったのは馬鈴薯の場合と同様であった。

以上供試 2 作物による栽培試験諸結果から、加里欠乏症状の発現は燐酸多施用の関与する点が大きく、過石組成中の石灰の影響には割合鈍感であったといえる。

そこで燐酸の多用が培地としての土壌そのものに及ぼす影響—特に加里との関連性—について調査する必要があると思われた。

3. 燐酸を添加した土壌と可給態加里との関係

まず標準厩腐土火山灰土壌および供試 3 圃場より採集した土壌、計 7 点の化学的性質を第 6 表に

かかげた。

ついで供試土壌に P₂O₅ として 0 mg, 50 mg, 100 mg, 500 mg, 1,000 mg および 2,000 mg/100g の H₃PO₄ を加え、乾湿を 8 回繰り返して燐酸を吸収固定させた。これら各処理土壌に K₂O として 0 mg, 5 mg, 10 mg, 15 mg および 20 mg/100 g の KCl を添加して時々攪拌しつつ 1 夜放置、濾過後土壌を強制乾燥し、これについて水溶性および置換性加里を測定し、その結果を第 7 表にかかげた。また全添加加里に対する水溶性、置換性および非置換態化した加里の割合を算出し、その結果を第 5 図に示した。（なお置換性加里の測定値は当然水溶性加里が含有されているので、置換性加里測定値—水溶性加里測定値をもって純置換性加里と見なした。従って全添加量とは原土中の純置換性加里+添加加里量を意味する。今後はすべてこの考え方によった。）

これらの結果より次の事実を認めた。

水溶性加里：吸収固定させた燐酸が少量であった場合、加里無添加（換言すれば供試土壌が保有して

第 6 表 供試土壌の化学性 (乾土 100 g 当たり)

土 壌	項 目	pH (H ₂ O)	C.E.C. (m.e)	置換性 CaO (mg)	吸 収 力		N/5 HCl 可 溶 (mg)		K ₂ O の形態 (mg)		
					P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O	水溶性	置換性	全 K ₂ O
M - aA		5.9	13.64	123.0	1,137	675	15.33	35.5	13.2	34.0	670
M - aC		5.9	6.62	42.7	1,067	350	17.28	11.3	1.2	5.9	463
M - dA		5.8	18.86	69.0	2,585	550	2.02	12.7	2.3	14.0	195
M - dC		6.0	9.23	35.5	1,956	425	3.23	5.9	1.9	5.9	37
チ・モ・シ・畑		5.9	18.86	129.0	897	525	10.95	5.9	tr	6.3	280
ラデノクロパー畑		5.9	18.26	189.9	1,380	600	12.28	6.8	tr	6.8	247
馬 鈴 薯 畑		5.8	14.25	48.0	1,026	620	5.14	11.0	tr	7.3	232

注) 全 K₂O の測定は LAWRENCE-SMITH の方法によった。

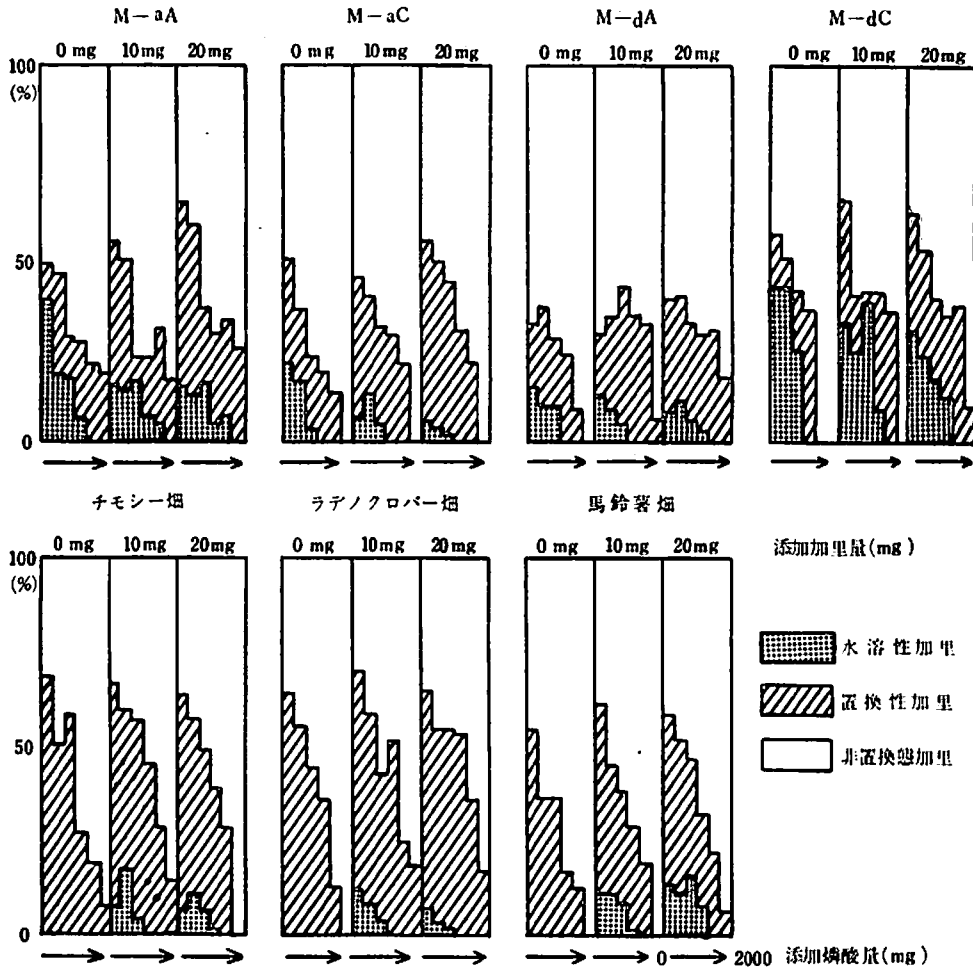
第 7 表 加里を焼酸処理土壌に添加した場合における水溶性および置換性加里量 (mg/100 g)

添加 加里 (mg)	添加 焼酸 (mg)	M-aA		M-aC		M-dA		M-dC		チ・モ・シ・畑		ラ・デ・ノ・ クロパー畑		馬 鈴 薯 畑	
		水溶性	置換性	水溶性	置換性	水溶性	置換性	水溶性	置換性	水溶性	置換性	水溶性	置換性	水溶性	置換性
0	0	8.1	2.1	1.0	1.3	1.7	2.0	1.7	0.6	—	4.1	—	4.4	—	4.0
	50	3.9	5.7	0.8	0.9	1.2	2.9	1.7	0.3	—	3.2	—	3.8	—	2.7
	100	3.6	2.3	0.2	0.9	1.2	2.0	1.0	0.2	—	3.7	—	3.0	—	2.7
	500	1.5	4.2	—	0.9	—	1.6	—	1.0	—	1.7	—	2.5	—	1.3
	1,000	—	4.4	—	0.6	—	0.9	—	—	—	1.2	—	0.9	—	1.0
	2,000	—	4.0	—	—	—	—	—	—	—	0.5	—	—	—	—
5	0	6.6	7.8	1.0	2.8	1.7	3.3	3.0	2.4	1.2	5.9	2.1	5.8	2.1	5.2
	50	4.2	10.8	1.0	3.1	2.4	3.5	3.0	1.2	1.0	6.5	1.4	5.9	1.7	3.2
	100	5.2	1.5	—	2.7	1.7	4.0	2.0	1.0	0.3	6.4	0.7	5.9	1.2	3.7
	500	1.0	6.3	—	2.3	—	4.2	0.6	1.8	—	2.3	—	5.0	—	3.8
	1,000	0.2	6.5	—	1.5	—	2.5	—	1.1	—	2.1	—	3.4	—	2.1
	2,000	—	5.4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.9	—	—
10	0	5.2	11.8	1.0	5.5	3.0	3.5	4.5	4.6	1.4	10.0	2.0	9.8	2.1	8.5
	50	4.8	10.6	2.0	3.8	2.0	5.4	3.4	1.9	3.0	6.8	1.3	8.6	2.1	5.7
	100	5.4	2.0	0.7	3.9	1.2	8.2	5.4	0.2	1.0	8.3	1.0	6.3	1.2	5.4
	500	2.4	5.0	—	4.3	—	5.0	1.2	4.4	—	7.4	—	8.9	0.2	4.8
	1,000	1.7	8.2	—	3.1	—	4.8	—	4.9	—	4.6	—	4.2	—	3.3
	2,000	—	5.3	—	—	—	1.4	—	—	—	2.3	—	3.1	—	—
15	0	6.6	14.9	1.3	8.2	3.3	7.7	6.4	4.4	2.2	12.7	2.1	12.3	3.0	9.7
	50	6.4	13.3	1.4	8.7	2.2	8.8	5.0	3.8	3.0	8.5	1.4	11.3	2.6	7.5
	100	6.6	7.8	0.2	8.5	2.4	9.1	5.8	1.8	2.0	7.0	1.0	10.8	2.0	6.3
	500	2.4	6.6	—	8.3	1.0	7.0	2.1	5.5	—	5.6	—	9.8	0.5	5.1
	1,000	0.7	8.6	—	5.2	—	6.7	—	3.4	—	4.5	—	7.0	—	2.7
	2,000	—	9.3	—	—	—	3.7	—	—	—	5.1	—	4.4	—	0.9
20	0	6.4	20.1	1.7	11.9	2.6	9.5	7.2	7.5	2.0	15.1	2.0	15.4	3.6	12.3
	50	5.4	18.3	1.0	10.9	3.6	9.1	5.6	4.5	3.0	12.3	1.3	13.5	3.0	11.2
	100	6.6	8.1	0.8	9.9	2.2	8.3	4.2	5.2	2.0	11.2	0.7	14.1	4.5	8.6
	500	2.0	9.9	—	7.4	1.2	8.3	3.0	5.2	0.3	10.2	—	14.2	2.4	6.6
	1,000	3.0	10.9	—	5.5	—	9.5	—	8.7	—	7.4	—	9.7	—	6.0
	2,000	—	10.6	—	—	—	4.6	—	2.2	—	—	—	4.6	—	1.7
原土の純注) 置換性加里		20.8		4.7		11.7		4.0		6.3		6.8		7.3	

注) 第 6 表に掲げた置換性加里は当然水溶性加里をも含むので、次の計算によって純置換性加里とした。

原土の置換性加里—原土の水溶性加里

第 5 図 全添加量に対する水溶性、置換性および非置換態加里の割合



いた加里のみ) のときは、原土中の水溶性加里量とほとんど変わらないが、磷酸量が多ければ急激に減少し、1,000 mg 以上では trace であった。この傾向は添加加里量を増加しても同様に経過した。

置換性加里： 水溶性加里ほど顕著ではないけれども、磷酸添加量が大になれば置換性加里量は減少した。しかし、添加加里量を増加すれば置換性加里は漸増の傾向を認め、この点水溶性加里と趣きを異にした。

非置換態加里： このものは不可給態と考えられるが、各土壌とも添加加里の増加が不可給態化をある程度抑制したが、磷酸添加量が大になればその移行割合はきわめて高かった。

また土壌別にみれば、M-aC、M-dA、M-dC お

よび馬鈴薯畑が加里の不可給態化を促進させるようであった。

結局、磷酸の多量添加が、可給態加里（特に水溶性加里）→不可給態加里の方向に強く作用しており、M-d 層のように礫土質であるほど、また可給態加里に凋渴する永年草地ほどこの傾向が顕著のように思われた。

IV 考 察

現在までの火山灰土壌に関する施肥法の一般的な慣習は、磷酸質肥料の多用に終始し、新墾地と依然同じである場合が多いことについては緒言で述べた。この磷酸質肥料重点の施肥法は、20~30 年を経たいわゆる経年畑では作物の種類によって

増収に寄与しない場合があり、かえって加里欠乏症の発現のために減収を惹起する事態をも招来することが観察されている。

今回の実験は1例として可給態加里含量の少ない経年畑において、加里吸収量が多く比較的加里欠乏症を発現しやすい作物として馬鈴薯および牧草をえらび、磷酸の多用に伴い加里欠乏症が助長される現象について調査した。

馬鈴薯、牧草などの供試作物は、いずれも磷酸の多量施肥によって加里欠乏症状の度合いが高くなり、特に加里施用量の少ない場合は顕著に認められた。

このような現象を発現する原因については、

- ① 磷酸の生育促進効果、石灰と加里の吸収に関する拮抗性などの作物生理学上の問題点
- ② 培地として、土壤の加里固定による影響の2点が考えられる。

作物体の吸収に関する石灰と加里の拮抗作用については野本⁹⁾、北岸¹⁰⁾をはじめ多くの研究者が認めている。この作用は水耕栽培では顕著に認められ、圃場を供試した場合でも炭カル、消石灰などの多用がこの傾向を助長するといわれている。

今回の作物栽培試験の結果から過石を正磷酸*と比較検討することによって、過石多用によりその組成中の石灰が随伴増施されることについての影響が割合鈍感であることがわかった。供試圃場の置換性石灰は管理不十分な永年草地跡の馬鈴薯畑を除いては少ない量ではなく、その上過石組成中の石灰は27～28%であるから磷酸の最多用量15kgでも約20kgの随伴石灰量に過ぎない。従って、この程度の投下量では加里の吸収を拮抗的に抑制したとしても微々たるものであろう。

よって理由①では、過石に随伴する石灰の影響は少なく、磷酸多用による作物の生育促進に際して、生理学上不可欠の加里が土壤中に不足しているために供試作物が加里欠乏を助長したと考えるのが妥当と思われた。

つぎに、発現理由②の問題点について調査した

* 水溶性磷酸として磷酸ソーダの施用も考えられたが、加里給与量の少ないとき、NaがKの代替作用をすることをおそれた。

のであるが、その結果土壤中の可給態加里（特に水溶性加里）は磷酸の多量添加によって不可給態化が強く促進されることがわかった。

土壤中における可給加里の固定または不可給態化に関する研究は、諸外国では古くより実施されているが、本邦では近年にいたって急速に発展した分野である。現在はヴァミキュライトなどの粘土鉱物そのもの、または2次的因子によって生成された鉱物が加里の固定に関与していることが知られている。

根釧地方に分布する摩周統火山灰の含有する鉱物について調査した山田は含加里鉱物はほとんどないといい、筆者の1人⁹⁾は1次鉱物の大部分は火山ガラスで、これに若干の斜長石が混在するのみで、重鉱物は全体の組成中の5%以下で加里の補給源とはなり得ないと論じた。

すなわち、開墾当初豊富に存在する可給態加里（水溶性、置換性）は、数年後には凋渴するために加里欠乏の発現が徐々にその度を高めるものである。また火山灰土壌では青峰¹¹⁾らのいうヴァミキュライト、モンモリロナイトなどの加里を固定する2次鉱物の存在が認められないので、摩周統火山灰の原土では加里固定はほとんど起こらぬものと推測される。

しかし最近、和田¹²⁾はアロフェンを弱酸性磷酸塩中に放置するとアロフェンが分解し、難溶性磷酸塩が生成されると論じ、川口とその協同研究者⁸⁾は、礬土質の土壤に磷酸を添加することによってTaranakite ような磷酸塩が速かに2次的に生成され、このものが加里を固定し、その組成は $3(\text{Al}_2\text{O}_3) \cdot 5(\text{P}_2\text{O}_5) \cdot 2(\text{K}_2\text{O})$ であったと報じている。またニュージーランド農業試験場*では磷酸のみの施肥圃場が最高の加里固定をしている事実などを考察するとき、いずれも土壤の加里固定に磷酸が関与していることが強く推察しうるのである。

摩周統火山灰土壌は礬土質で、無定形粘土鉱物アロフェンを含有することには異論はない。前述の実験結果より磷酸の添加が加里の不可給態化を惹起させるものであると考えられるので、磷酸肥

* 川口らの文献より引用

料の固定蓄積が行なわれているいわゆる経年畑においては加里固定を起しうる条件が付加されている。従って土壌中の可給態加里含量が凋渴した状態にある経年畑で、磷酸を多用すると加里欠乏症を助長することになる。

以上の結果より、①磷酸の多用が作物生育を促進し、その結果加里含有量が少ない状態に止まる場合がある³⁾。②土壌中の加里が Taranakite よう磷酸塩によって間接的に不可給態化される。または①、②の両者、すなわち土壌中で不可給態化をまぬかれた僅少の加里量では促進される作物の生育に随伴しえないなどの理由のために本現象が発現されたものと考察された。

根釧地方の火山灰土壌における窒素、磷酸、加里の一般的推移は次のように考えられる。

磷酸：開墾当初、土壌中の可給態磷酸絶対量の不足と多量の活性礫土の存在のために、作物のいかににかかわらず最大の制限因子となるが、蓄積量の増加により徐々に緩和される。

窒素：土壌中の窒素の給源となる栄養腐植の耐用年限は開墾後5～6年までで、その後は急激に低下する。

加里：開墾当初は水溶性、置換性などの可給態加里に富むが、供給源が乏しいため数年後にはたちまち凋渴をまねく。

従って3要素施肥法の歴史的経過は、開墾当初の磷酸偏用時代を経て窒素、加里を主体とした方向に転移すべきなのが当然である。

当地方には本実験で紹介したような肥培管理の不十分な低位生産永年草地または穀類栽培畑が多く存在し、これらはいずれも可給態加里に凋渴している。このような圃場で、開墾時代の磷酸の卓効に幻惑され、磷酸多用の誤った施肥法を採用すれば今回の栽培試験と同じ結果に帰一することは明白である。

従って経年畑の施肥法は、磷酸を抑制して窒素、加里に重点をおくなど新墾地と区別すべきである。換言すれば、施肥法はその土壌に固有のものではなく、地力の変遷に伴って栽培作物の特性を考慮しつつ dynamic に運用されるべきものであろうと結論する。

V 要 約

根釧地方の新墾地火山灰土壌は、一般に磷酸が極端に欠乏し、加里含量は割合多いものである。しかし、経年畑では、特に牧草のように加里奪取量の大きい作物、あるいは永年草地の跡地作物には、逆に磷酸の多用によって加里欠乏を助長し、かえって減収を招来することがある。

この点について調査した結果を要約すれば次のとおりである。

1. 経年牧草地土壌は可給態加里、特に水溶性加里が非常に少なくなり、加里欠乏におちいりやすい条件にある。

2. 磷酸を多用すると、①作物生育が促進され、その結果加里含量が少なく状態に止まる場合がある。②火山灰中のアロフェンと結合して、Taranakite よう磷酸塩が生成され、このものが間接的に加里固定をする。または①、②の両者、すなわち不可給態化をまぬかれた僅少の加里量では促進される作物の生育に随伴しえないなどの理由のために加里欠乏症が発現されると推論した。

3. 過石の組成として含有されている石灰と加里の吸収上の競合作用に関する影響はあまり大きくなかった。

従って、このような圃場に対する施肥法は、磷酸をおさえ窒素、加里を主体とするか、または磷酸を多用する必要があるときは必ず加里も増肥すべきである。

引 用 文 献

- 1) 吉峰重範, 1961; 土壤肥料講座, 第2巻, 39頁。
- 2) 早川康夫, 1959; 根釧地方火山灰土壌中における磷酸の行動(第1報) 易分解性有機質について, 道農試集, 第5号, 17頁。
- 3) ———, 1962; 根釧地方に分布する火山性土の理化学的特性と主幹作物の肥培法について, 道農試報, 第11号。
- 4) ———, 橋本久夫, 1959; 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2報) 採草用主要牧草の肥料適量試験, 道農試集, 第4号, 20頁。
- 5) ———, ———, 1961; ——— (第5報) 牧草地土壌としての特性発現過程と窒素、磷酸、加里の供給力について, 道農試集, 第7号, 16頁。
- 6) ———, 奥村純一, 1961; 根釧地方火山灰土壌中

における磷酸の行動(第2報)可給態無機磷について, 道農試集, 第8号, 13頁.

- 7) 石塚啓明, 田中明, 1952; 水稻の生育経過に関する研究(第1報)無機炭素吸収移動過程, 日土肥誌, 23巻, 23頁.
- 8) 川口桂三郎とその協同研究者, 1959; ややアルミナ質の無機質水田土壌のカリウム固定, 日土肥誌, 31巻, 49頁.

——, 1961; Taranakite による磷酸塩によるKの固定, 土肥学会臨時大会講演要旨集, 8巻, 7頁.

- 9) 北岸確三, 宮里姫, 沖田正, 1959; 施肥に対する多年生牧草の反応(第1報), カリに対する牧草の反応, 日土肥誌, 30巻, 5頁.
- 10) 野本亀雄, 1950; 塩基類の大豆の生育に及ぼす影響(予報), 日土肥誌, 21巻, 140頁.
- 11) 和田光史, 1961; フロフェン及びハロイサイトのイオン吸着置換—特にハロイサイトの塩層間複合体の生成—土肥学会講演要旨集, 7巻, 62頁.

Summary

The reclaimed volcanic ash soils erupted from Mt. Mashu in Nemuro-Kushiro districts are lacking of phosphorus, but contained available potassium comparatively.

On the other hand, maturing cultivated fields have saved a great deal of phosphorus which has made them more productive than any other fertilizer used in the 5 or 6 years after reclamation.

In such a soil, however, manuring of phosphorus does not bring much increased yields, but

nitrogen and potassium does, because of deficiencies of inorganic nitrogen derived from rough humus and of available potassium in the soils.

Accordingly, in this experiment, the writers searched for the appearance of potassium deficiency in the case of manuring phosphorus highly to the maturing cultivated fields lacking available potassium.

The results obtained were as follows:

1) Maturing cultivated fields show lack of available potassium, especially water soluble type.

Therefore, we considered that in such a soil would occur potassium deficiency for the cultivated crops.

2) It was deduced that the mechanisms of deficiency caused by manuring phosphorus highly were caused by the next reason:

a) The growth of potato plants and pasture crops was accelerated.

b) Allophane bound with manured phosphorus in the volcanic ash soil has changed to "Taranakite-like phosphate". It was "Taranakite-like phosphate" which brought on the fixation of available potassium indirectly.

c) Or, potassium deficiency was caused by complex reactions of both a) and b).

3) Influence of physiological antagonisms between potassium and calcium was not brought out clearly.