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　牧草地土壌としての特性発現過程と窒素，燐酸，加里の供給力について

早川康夫†　　橋本久夫†

I　緒　　言

牧草地の土壌は牧草地土壌あるいは草地土壌，牧野土壌などと称せられ，一般穀菽作物を栽培する畑地土壌と区別して取り扱われる場合が多い。牧草地の土壌が一般畑作土壌に比べどのような点で区別を要するのであるか，更に牧草地の土壌を特別な形態の土壌として区別して考えねばならないものであろうかの是非についてはしばらくおき，牧草地の土壌がほかの一般畑地土壌と区別を要するとすれば，牧草がほかの一般畑作物と耕種上あるいは生理上異なる特性を持ち，これがほかの作物の場合と異なつた作用を土壌に与え，一般畑地土壌と区別されるような特性を保有するにいたらしめると考えられるからにほかならない。

根釧地方で牧草地と称せられているのは酪農経営のもとで家畜の飼料となる牧草生産の場となつている人工牧草地のことであつて，STEPPE や PRAIRIE などのいわゆる草原とは区別さるべきものであることはいうまでもない。また根釧地方は約250年前に降灰した摩周統a火山灰が最地表部に堆積した地帯であつて，降灰以後に再生発達した柏，楢などの濶葉樹の下草にススキ，ヤマハギ，チャシバスゲなどが繁茂しているが，いずれも栄養価の低い草種であり乳牛の飼料としては利用度が低く，これらは一般に牧野と呼ばれているので今回の調査対象からは除くことにした。根釧地方で普通牧草地と呼ばれているのは，上述のような未墾地を耕起開墾し直ちに牧草を播種したものか，あるいは開墾後数年または十数年間穀菽作物を栽培した後，牧草地に転換したものである。このうちには管理不十分で荒廃したものもあり，当地方農家はこのような低位生産牧草地を永年牧草地と称しているけれども，根釧地方に酪農が導入されたのは昭和6，7年の大凶作以後であるから，最も古い牧草地でも20年を越えるものはまれである。

この程度の年限内で一般畑地土壌と区別して特に牧草地土壌といわれるような特性をもたらすと考えられる牧草耕種の条件，あるいは生理的特徴のうちで最も顕著な点は，大部分の牧草が宿根多年生であつて施肥法も初年度の基肥以外はもつぱら地表散布により補給され，耕起されることなしに栽培が継続されることである。更に家畜の踏圧を受ける機会も多く土壌が緊密化したり，また，牧草は根の発育がおう盛で土壌中に残留する有機物が多いため，root-mat ができるといわれているが，このような条件がいわゆる牧草地土壌としての特長を保持させるにいたる経過について，年次を追い調査したのでこれについて報告する。

なお，牧草地土壌の特長と関連して，特に窒素，燐酸，加里の天然供給力について一般畑地土壌と異なる点を検討した。

II　試験方法

まず牧草地が耕起されずに継続栽培されることの影響を検討するために，2カ年間裸地休閑した圃場で（開墾後約30年経過し，その間一般穀菽を栽培してきた根室支場試験用圃場）一方を耕起，他方を耕起せずにチモシーを播種して肥料3要素試験を実施し，耕起の有無の影響を検討した。

また一般普通作物を栽培していた畑を牧草地に転換した後，いわゆる牧草地土壌としての特徴を

† 根室支場

保有するに至る経過を検討するために播種初年目，2年，3年（以上はチモシー，赤クロバーの両者の畑よりそれぞれの土壌を採集した）8年，16年（終りの2つはチモシー畑の土壌のみ）の牧草畑から土壌を採集し，土壌の3相分布，団粒分析及び可給態養分含量について分析した。分析の方法は次のとおりである。

土壌の3相分布……美園[21]の方法による

団粒分析……湿式篩別法[15]による

NH_4-N 及び NO_3-N…0.25 N KCl 浸出後 CONWAY 微量拡散分析法[10]による

N/5 HCl 可溶性 P_2O_5 及び K_2O…わが国において常用せられている N/5 HCl 分析法による

この場合特に耕作期間内とみなされている6～10月間に3週間ごとに各区土壌を採集し上述各理学性並びに可給態養分含量の推移を検討した。

このほか牧草地土壌の窒素，燐酸，加里の供給量の調査に用いた試料及び分析の方法についてはそれぞれ各項に詳述したが，主なものは次のとおりであつた。

腐植
- アセチルブロマイド可溶性…SPRINGER[27]法に準じた
- ピロ燐酸可溶性…BREMNER 法[6]に準じた
- NaF 及び NaOH 可溶性…SIMON 法に準じた

^{32}P を含む過燐酸石灰の製造…三井の方法[19]による。

鉱物組成のうち重鉱物の分割はブロムホルム・ニトロベンゾール混液（s. g. 2.75）を用いた

III 試験成績

1. 耕起した場合と耕起しない場合のチモシー肥料3要素試験の比較

チモシーの肥料3要素試験のうち一方は深さ約15 cm に耕起後整地し，他方は耕起せず直ちに肥料，種子を散布，レーキで極く浅く攪拌した後ローラーをかけ鎮圧した。初年目における播種は6月8日，収穫は9月18日，2年目の追肥は5月15日，収穫は7月21日で両年度の各区の収量は第1表に示したとおりであり，その際の各区チモシーの養分含有率及び10アール当り吸収量を第2表に，また収穫跡地土壌についての分析値を第3表に掲げた。

第1表　耕起の有無によるチモシー肥料3要素試験の差異　(kg/10アール)

試験区別		初年目 生草重	初年目 乾草重	初年目 同左百分比	2年目 生草重	2年目 乾草重	2年目 同左百分比
無肥料	耕起せず	66	18	7	245	78	14
	耕起す	156	49	18	263	84	15
無窒素	耕起せず	102	23	8	278	82	15
	耕起す	246	78	29	339	106	19
無燐酸	耕起せず	642	198	72	1527	514	94
	耕起す	564	164	60	1640	539	99
無加里	耕起せず	678	210	77	1180	386	71
	耕起す	852	265	97	1334	443	82
3要素	耕起せず	738	225	82	1311	439	81
	耕起す	876	274	100	1586	545	100

第2表　耕起の有無によるチモシー肥料3要素試験における養分含有率と吸収量

試験区別		養分含有率（乾物百分比） 初年目 N	初年目 P_2O_5	初年目 K_2O	2年目 N	2年目 P_2O_5	2年目 K_2O	10アール当り養分吸収量 (kg) 初年目 N	初年目 P_2O_5	初年目 K_2O	2年目 N	2年目 P_2O_5	2年目 K_2O
無肥料	耕起せず	1.57	0.47	1.50	0.92	0.31	0.91	0.28	0.08	0.27	0.71	0.24	0.71
	耕起す	1.35	0.48	1.35	1.07	0.31	1.06	0.66	0.24	0.66	0.90	0.26	0.89
無窒素	耕起せず	1.57	0.55	1.53	1.07	0.35	1.16	0.36	0.13	0.35	0.87	0.29	0.95
	耕起す	1.21	0.38	1.38	1.07	0.38	1.38	0.94	0.30	1.08	1.13	0.40	1.46
無燐酸	耕起せず	1.07	0.36	1.32	0.89	0.23	1.02	2.11	0.71	2.61	4.57	1.18	5.24
	耕起す	1.07	0.38	1.53	0.92	0.25	1.12	1.75	0.62	2.51	4.96	1.35	6.04
無加里	耕起せず	1.07	0.31	1.28	0.92	0.31	0.71	1.61	0.65	2.69	3.55	1.20	3.06
	耕起す	1.11	0.42	1.14	0.92	0.28	0.73	2.94	1.11	3.02	4.08	1.24	3.23
3要素	耕起せず	1.01	0.52	1.60	0.92	0.25	0.96	2.27	1.17	3.60	4.00	1.09	4.18
	耕起す	0.92	0.37	1.26	0.89	0.25	0.90	2.52	1.01	3.45	4.85	1.36	4.91

第3表　耕起の有無によるチモシー肥料3要素試験跡地土壌の養分量（乾土100g中mg）

土壌区別		初年目				2年目			
		NH_4-N	NO_3-N	P_2O_5	K_2O	NH_4-N	NO_3-N	P_2O_5	K_2O
無肥料	耕起せず	2.63	0.42	18.6	19.4	2.45	0.86	19.3	12.0
	耕起す	5.71	1.17	16.6	18.3	4.17	1.36	17.8	13.6
無窒素	耕起せず	2.31	0.10	17.3	17.5	2.72	0.54	16.5	12.6
	耕起す	5.71	0.92	15.8	16.5	3.35	0.99	15.8	17.8
無燐酸	耕起せず	5.02	0.42	17.6	13.8	3.26	0.54	13.3	12.0
	耕起す	6.26	1.89	15.0	15.3	3.54	1.36	13.6	12.6
無加里	耕起せず	4.15	0.36	17.8	12.3	2.99	0.54	16.8	11.0
	耕起す	5.71	1.84	15.3	13.8	4.62	2.26	15.5	12.4
3要素	耕起せず	4.23	0.48	16.2	14.3	3.26	0.82	14.6	11.6
	耕起す	4.08	1.69	14.3	15.6	4.05	1.54	14.3	12.0

初年度における無窒素，無燐酸，無加里区のうち，耕起の有無による収量差が最も大きく現われたのは無窒素の場合で，耕起せざる区の乾草収量は耕起した区の半であつた。開墾後年月を経た古い畑では一般に土壌中の粗腐植が減少し無機化窒素量に乏しく特に禾本科牧草などは窒素欠乏に陥りやすい状態にあるが，耕起せざる場合はことに窒素欠乏の症状著しく茎葉黄化し生長が停止したのみでなく遂に出穂を見るにいたらなかつた。窒素含有率は耕起しないものが耕起したものにまさつていた。これは耕起した区のチモシーがともかく出穂して登熟期に達したのに対し，耕起せざる区では生育初期の高窒素含有率を示す段階に停滞しその後の進展を見なかつたためである。しかし耕起せざる区の10アール当り窒素吸収量は含有率が高くとも収量が劣るので耕起区に及ばなかつた。耕起の有無が土壌窒素に及ぼす影響について，供試圃場が経年畑であつたので無機態の窒素は一般に低い価を示すものであるが，特に耕起せざる区の NO_3-N が痕跡量であつて，耕起しないということが土壌粗腐植の酸化分解を阻害し無機態化する窒素量を低下させるようであり，このことが耕起せざる区の収量の劣る主な原因になつているものと考えられた。

無燐酸の場合について，ほかの処理では耕起した方の収量が耕起せざるものにまさつていたのに，無燐酸区のみは逆に耕起せざる場合の収量がまさつていた。また10アール当り燐酸吸収量も多く，更に土壌中の可給態燐酸含量も高い値を示していた。

無加里の場合については耕起の有無が直接加里の吸収に影響するような理由が考えられないけれども，耕起した土壌では根の伸長が良好になつており，収量及び10アール当り加里吸収量が高くなつていた。

2年目になると初年度耕起した場合も土壌は相当堅密化し，耕起しなかつたものに近い状態になつた。すなわち開墾後燐酸肥料を十分に施用しながら一般穀菽作物を長期間栽培したような畑を牧草地とした場合，先報に述べたように2年目以後は特に窒素欠乏が激しく，ついで無加里区の収量比が低下するが，燐酸の欠乏はむしろ緩和されるものであつて今回もおおむねこのような傾向を認めた。すなわち耕起の効果持続期間はおおよそ実施当年間のみであつて，2年目以降では耕起についての残効を認めることが困難であつた。

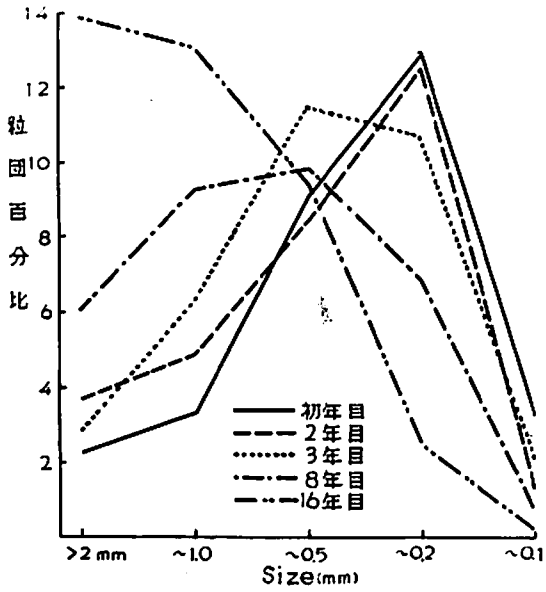
2. 牧草地土壌の粒団形成並びに3相分布の経過

輪作体系の中に牧草がとりいれられることが団粒構造の造成に顕著な影響を与えることを理論づけたWILLIAMSの業績[20]が紹介されて以来，わが国でも塩入[5]によりまず多年生牧草の意義が強調せられ，また畑土壌の肥沃度を増進させる手段としての立場から北岸,[17]柏木,[24]小田切,[23]西潟[22]らの多くの研究が発表された。このように牧草根圏において粒径の大きな粒団の形成がおこる理由として江川[7]らは

1　生きている牧草の根のはたらき
2　根圏微生物のはたらき
3　根の分解生成物体及び微生物体に基づく有機物

の3つの因子の総合作用によるとし，特に粒団形成に役立つ有機物は耐久性の腐植酸でなくて，より可溶性の腐植化の進まないものであろうと述べている。これらの研究はいずれも牧草跡地畑土壌の肥沃度の増進を目的としており，牧草それ自体に対する影響についての関心は薄いようであつた。しかしその目的のいかんを問わず牧草を栽培することによつて大きい粒径粒団の形成が促進されることには変わりなく，この点について根室支場試験圃場内牧草地（摩周統火山灰の経年畑）のうち初年目，2年目，3年目，8年目及び16年目のものの土壌について測定した結果を第4表に示し，また第1図にはこのうち最上層（0～5 cm）のものをグラフにして掲げた。

第1図　牧草地土壌の粒団分布（地表～5 cm 間）



第4表　牧草地土壌の耐水性粒団（粒団百分率）

土壌区別		地表～5 cm					地表下5 cm～10 cm					地表下10 cm～15 cm				
		>2.0 mm	2～1 mm	1～0.5mm	0.5～0.2mm	0.2～0.1mm	>2.0 mm	2～1 mm	1～0.5mm	0.5～0.2mm	0.2～0.1mm	>2.0 mm	2～1 mm	1～0.5mm	0.5～0.2mm	0.2～0.1mm
初年目	チモシー	2.21	3.35	9.07	12.88	3.22	3.63	7.05	9.86	12.67	2.26	0.21	1.93	9.44	18.60	1.57
	赤クロバー	2.61	3.05	7.75	14.86	5.36	1.24	3.73	12.02	8.85	7.39	0.08	1.66	7.06	15.05	4.03
2年目	チモシー	3.71	4.92	8.42	11.55	1.21	4.91	7.33	12.92	9.78	0.10	0.26	2.50	9.57	16.14	1.00
	赤クロバー	2.50	3.64	8.49	14.13	4.50	1.65	3.85	13.35	12.87	4.45	0.43	1.87	10.91	13.42	4.81
3年目	チモシー	2.82	6.25	11.51	10.66	2.08	3.82	7.75	14.38	10.54	1.60	1.39	2.56	6.95	9.95	1.17
	赤クロバー	2.76	3.66	12.14	11.93	1.66	0.69	2.88	10.85	14.22	4.33	0.44	2.76	10.51	11.39	2.82
8年目（チモシー）		6.03	9.25	9.86	6.81	0.80	6.74	10.07	11.07	7.70	2.08	1.72	4.87	14.96	15.40	0.63
16年目（チモシー）		13.89	13.03	9.47	2.41	0.15	21.58	9.21	5.22	1.45	0.17	2.44	5.39	12.09	10.95	0.79

すなわち一般穀菽畑から牧草地に転換後の年次の浅い場合では，粒径0.5～0.2 mm のいわゆる初年粒団が多いが，3年目ころより第2次粒団（大粒団）の形成が認められ，8年及び16年目の牧草地では粒径1 mm 以上の大型の粒団が著しく多くなつていた。またチモシーと赤クロバーでは前者が粒団形成に及ぼす影響が強いようであり，更に最表層部よりも，これに続く下層部において粒団の形成が著しかつた。しかし年次の古い禾本科牧草地，特に16年目のものでは粒団が非常に固く耐水性も大きくて粒団百分比が高くなつたのであるが，このような緊密化した土塊の多くなることが牧草それ自体の生育に良い影響を与えるものであろうか，はなはだ疑わしい感を受けた。

島根[20]らは牧草導入による土壌の変化について研究し，牧草栽培によつて土壌の粒団構造は顕著に発達するけれども，大量の根群によつて充塡されるために土壌孔隙はかえつて減少すると述べているが，根釧地方火山灰永年牧草地土壌もきわめて緊密化して強固な一大土塊となり，しかも凍結並びに融凍作用を受け山田[30]らの指摘するような板状構造となつている場合が少なくなかつた。このような状況は土壌中の3相分布を測定すると明確に比較できるので，美園の考案した土壌実容積測定装置[20]を用いて，初年目から16年目の牧草地において，深さ0～5，5～10，10～15 cm の3段

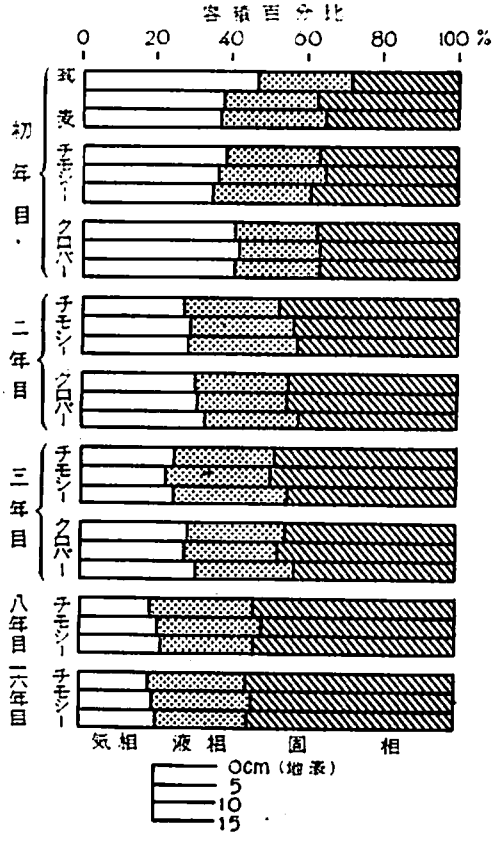
第5表　牧草地土壌における3相分布（容積百分比）

土壌区別		深さ cm	7月8日			8月6日			10月7日		
			気相	液相	固相	気相	液相	固相	気相	液相	固相
初年目	燕麦	5	46.7	25.3	28.0	40.5	21.5	38.0	32.7	23.3	44.0
		10	38.2	24.3	37.5	37.0	23.5	39.5	28.7	25.8	45.5
		15	37.9	27.1	35.0	35.9	23.6	40.5	33.2	24.3	42.5
	チモシー	5	38.6	25.1	36.3	38.1	22.0	39.9	29.5	24.1	46.4
		10	37.1	27.6	35.3	37.4	21.8	40.8	37.2	22.0	40.8
		15	35.6	25.2	39.2	33.0	24.2	42.8	32.5	23.0	44.3
	クロバー	5	41.0	22.0	37.0	39.1	22.4	38.5	33.6	23.9	42.5
		10	41.6	21.4	37.0	39.4	26.0	34.6	37.9	22.7	39.4
		15	40.6	22.4	37.0	37.0	22.6	40.4	35.8	23.3	40.9
二年目	チモシー	5	27.4	24.9	47.7	28.6	24.7	46.7	24.1	25.1	50.8
		10	29.1	28.2	42.7	30.2	25.6	44.2	27.8	24.9	47.3
		15	28.2	29.5	42.3	27.9	25.4	46.7	29.7	24.5	45.8
	クロバー	5	31.4	23.3	45.3	31.6	22.6	44.8	25.8	25.2	49.0
		10	31.6	23.1	45.3	30.6	26.2	43.2	31.6	20.8	47.6
		15	33.4	24.9	41.7	34.0	24.7	41.3	30.2	23.5	46.3
三年目	チモシー	5	24.1	27.1	48.8	26.9	25.4	47.7	26.0	25.8	48.2
		10	23.3	27.4	49.3	26.1	25.7	48.2	30.5	24.8	44.7
		15	24.6	30.8	44.6	29.0	21.9	49.1	29.0	22.6	48.4
	クロバー	5	29.3	24.1	46.6	28.1	24.8	47.1	31.2	23.6	45.2
		10	27.6	24.3	47.9	33.9	23.0	43.1	33.5	22.3	44.2
		15	31.5	24.9	43.6	31.2	24.7	44.1	32.9	22.0	45.1
八年目	チモシー	5	19.6	26.1	55.3	21.5	25.2	53.3	18.4	28.8	52.8
		10	21.0	28.2	50.8	18.7	29.3	52.0	22.7	27.0	50.3
		15	21.4	25.3	53.3	22.7	26.3	50.8	20.4	28.3	51.3
十六年目	チモシー	5	18.1	26.6	55.3	19.4	26.0	54.6	17.0	27.9	55.1
		10	19.7	26.3	54.0	19.5	26.9	53.6	19.6	26.8	54.6
		15	19.9	25.1	55.0	20.4	23.5	56.1	20.5	27.4	52.1

階に分け測定し，その結果を第5表に示したが，7月8日測定のものについて特にこれを図示し第2図として掲げた。

一般畑土壌では春に耕起してから秋にいたるまで，また牧草地では更に年次を重ねるごとに土壌は緊密化をたどるものである。一般穀菽作物を代表して燕麦畑土壌を選び実容積を測定したが，燕麦は6月中旬に中耕を行なうので最地表部の気相の占める割合が高く7月8日で50％に近い価を示したが，10月に跡地土壌を調査したところ30％強にまで低下していた。牧草地でも初年目のものは気相の占める割合が高く40％以上となつていたが，2年目から急に減少し30％前後まで下り，8年目以降のものでは20％に達しないものもあつた。また初年目のものは，最地表部分（深さ0～5 cm）における気相の占める割合が高く，これより下層（5～15 cm）では漸次低下する傾向がみられたのに，年次を経た牧草地では地表部に腐植が集積し吸湿性が増して，気相の占める割合が下層に劣るようになつた。以上のように古い牧草地

第2図　牧草地土壌における3相分布（7月8日）



では固相が50％以上も占め孔隙が僅少となるうえに水分が増すので，土壌中の空気含量が低下して土壌の還元が免れないものと思う。またチモシーとクロバー畑を比較すると前者の土壌がやや緊密化しやすく，腐植の蓄積量も多いので特に液相の占める割合が高くなつていたが，クロバーは深根性であるため，深い層においても気相の占める割合が高くなつたものと思う。

年次の経過に伴なう土壌還元化の傾向は酸化還元電圧を測定することにより直接確認しうるのであるけれども，測定には相当大きな誤差を伴なつたので5日ごとに測定した価の平均値を第6表に示した。測定は牧草地土壌を大きな土塊として実験室に運び窒素ガス中で水に浸し BROWN の方法に準じ行なつた。

第6表　牧草地土壌の酸化還元電位の推移（Eh_6 mV）

測定した月	初年目	2年目		3年目		8年目	16年目
		チモシー畑	クロバー畑	チモシー畑	クロバー畑	チモシー畑	チモシー畑
6月	550	430	440	390	450	250	210
8月	520	410	460	370	420	270	230

すなわち年次の経過とともに牧草地土壌の酸化還元電位が著しく低下したが，このような傾向は古い牧草地にスギゴケあるいはミズゴケが簇生し（ミズゴケはスギゴケの根元あるいは凹地等湿潤条件の箇所に生えていた）牧草を駆逐することによつても知ることができる。これは蘚苔類が湿地等水分の比較的高い箇所，従つて土壌中の気相の量の低い所に多く繁殖し牧草に比べ還元性の環境に耐える特性を有しているものとみなされているからである。永年牧草地に侵入してきたスギゴケの景観は末尾の写真に示したとおりであり，また参考として永年牧草地に生育中のチモシー，レッドトップと含有組成を比較した表を掲げた。ただし採取は8月1日で禾本科牧草はいずれも開花が終了していた。

第7表　スギゴケとチモシー，レッドトップとの成分比率

草種		チモシー	レッドトップ	スギゴケ
新鮮物中の水分（%）		60.5	55.5	58.0
乾物中の無機組成（%）	SiO_2	2.84	3.40	1.67
	Al_2O_3	0.23	0.16	0.79
	Fe_2O_3	0.19	0.18	0.61
	CaO	1.20	0.72	0.44
	MgO	0.80	0.94	0.42
	K_2O	0.62	0.28	0.04
	Na_2O	0.12	0.08	1.65
	P_2O_5	0.45	0.55	0.22
有機組成（%）	灰分	6.55	6.49	5.88
	リグニン	25.20	21.84	33.28
	繊維	29.77	29.82	20.82
	澱粉	27.91	30.88	30.08
	蛋白質	6.48	6.54	6.81
	脂肪	2.59	2.82	3.09

すなわちスギゴケは同一圃場に生育中の禾本科牧草にくらべ，特に SiO_2, CaO, MgO, K_2O, P_2O_5 など作物が最も多量に必要とするといわれている成分に乏しく，Fe_2O_3, Al_2O_3, Na_2O など

に富んでいた。また有機組成でも繊維の代りにリグニン含量が異常に高く，スギゴケがいわゆる一般作物に比べ特異な組成を有しているものであることを知つた。

3　牧草地土壌の窒素，燐酸，加里供給力と牧草の生育に及ぼす影響

窒素　上述のように年数を経た牧草地では root mat といわれる植物遺体の集積層が形成されたりするので，土壌有機物含有の増加が起こりやすい。しかしこれが更に分解して腐植酸にまで進展しているか否かについて，各年次の牧草地土壌をアセチルブロマイドで処理し未分解有機物を除去した後腐植含量を測定したり，また N/8 NaOH, NaF, ピロリン酸ソーダ可溶性の腐植含量を検討した。あわせて塩基置換容量，全窒素並びに乾土を 24°C に 27 日間湛水状態に保つたものと水分 80 %にした場合における NH_4-N, NO_3-N 量を測定し（処理前の無機態窒素量をも含む）その結果を第8表に掲げた。

牧草地土壌の全腐植（全炭素量を 1.72 倍したもの，未分解有機物を含有する）が年次の経過とともに増加する傾向のあることは，これまでに発表された多くの報告でみられた一般的傾向であり，今回の試験でも永年牧草地と呼ばれている 8～16 年目の牧草地は初年度のものより約 3 %も高い価を示していた。しかしアセチルブロマイド不溶の腐植は 1.5 %弱の増加量であつて，このことから年次の経過に伴ない増加した土壌全腐植中には未分解有機物の占める割合が多く，このことは炭素率の上昇からも推察された。同様に永年牧草地では NaOH 可溶性腐植が初年度のものに比べ 2 %強増加していたのに対し，もつぱら真性腐植酸を溶解すると考えられている NaF または ピロ燐酸 ソーダ可溶のものは 1 %弱の増加にとどまつていた。また腐植化の進んだものは塩基置換容量も大きいといわれているが，全腐植含量の高い永年牧草地土壌でもこの価の増加は僅少であつて（置換塩基は著減しており，後述するように pH の低下を伴つていた）結局牧草地土壌では年次の経過に伴ない腐植が増すといわれているが，この中には根などが未分解のまま堆積されているものが多く，腐植化の進んだ部分の増加は比較的少ないものと推定された。またチモシー畑と赤クロバー畑では前者における全腐植含量が高くなつていた。これはチモシーが没根性でしかも刈り取りごとに球茎下部より新芽を生じ更新されるので，古い根や茎は枯死して土壌中に集積されてゆくのに対し，赤クロバーは刈り取つてもその切株から直ちに新しい茎葉を生じ根の更新を伴なわないからである。

全窒素も年次の経過に従い増加しているが，このものは大部分が腐植及び未分解有機物中に蛋白態として含有されているもので，両者の土壌中における含有率は関連が深い。このうちの可給態化しうる量を推定するため各年次の牧草地乾燥土壌を湛水及び半湿状態に incubate した。このうち湛水状態のもとで無機化した窒素全量は年次を経たものほど多くなつていたが，半湿状態の場合では年次を経た土壌は硝酸態化せず，ほとんどアン

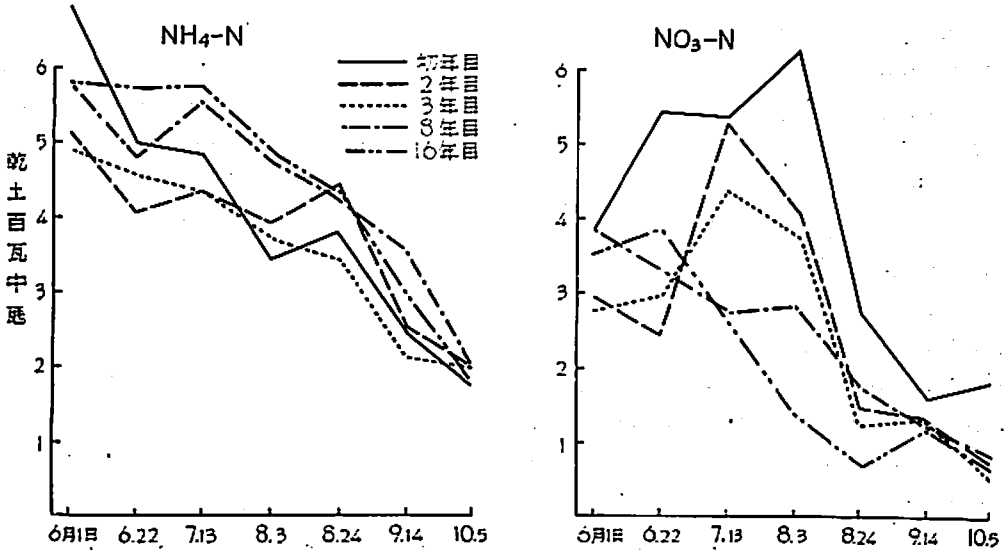
第8表　牧草地土壌の腐植と窒素含量

土壌区別		炭素 (%)	C/N	腐植 (%) 全腐植	Br-アセチル不溶	Br-アセチル可溶	N/8 NaOH 可溶	N/8 NaF 可溶	ピロ燐酸可溶	塩基置換容量 (m.e./100g)	飽和塩基 (m.e./100g)	全窒素 (%)	Incubate 後の N 量 (mg/100g) 湛水 NH_4-N	水分 80 % NH_4-N	水分 80 % NO_3-N
初年目	チモシー	6.91	15.3	11.92	7.05	4.87	8.36	3.58	4.37	22.2	11.6	0.45	4.7	2.4	4.5
	赤クロバー	6.79	15.8	11.71	6.91	4.81	8.17	3.55	4.63	22.4	12.8	0.43	6.4	2.9	3.8
2年目	チモシー	7.10	15.1	12.25	7.00	5.00	8.47	3.67	4.70	22.7	4.8	0.47	6.8	2.6	3.2
	赤クロバー	7.16	16.7	12.35	6.85	5.50	8.69	3.83	4.76	21.5	4.0	0.43	7.5	2.5	3.4
3年目	チモシー	7.86	16.4	13.56	7.93	5.63	9.09	3.74	4.92	22.8	4.2	0.48	10.3	8.4	2.2
	赤クロバー	7.43	16.4	12.82	7.49	5.33	9.14	4.02	5.14	21.9	2.3	0.44	8.9	5.9	2.9
8年目	チモシー	8.26	16.9	14.25	8.09	6.16	10.10	4.30	4.98	23.5	3.2	0.49	11.4	9.5	1.9
16年目	チモシー	8.77	16.9	15.13	8.47	6.66	10.51	4.46	5.31	23.8	2.8	0.52	13.8	15.1	1.4

第9表　牧草地土壌中の NH_4-N と NO_3-N 含量の年間変化

土壌区別		NH_4-N (100g 中 mg)							NO_3-N (100g 中 mg)						
		6月1日	6月22日	7月13日	8月3日	8月24日	9月14日	10月5日	6月1日	6月22日	7月13日	8月3日	8月24日	9月14日	10月5日
初年目	チモシー	6.80	4.99	4.82	3.45	3.81	2.45	1.73	3.81	5.43	5.35	6.26	2.72	1.63	1.85
	赤クロバー	—	—	5.48	4.08	3.45	2.99	1.46	—	—	5.63	6.53	2.72	1.90	1.24
2年目	チモシー	5.17	4.08	4.35	3.94	4.44	2.45	2.00	2.99	2.45	5.30	4.04	1.49	1.36	0.72
	赤クロバー	5.71	4.90	4.44	4.26	3.81	2.62	1.73	2.92	2.63	5.98	4.35	1.20	2.08	2.18
3年目	チモシー	4.90	4.58	4.35	3.72	3.44	2.18	2.00	2.72	2.99	4.40	3.72	1.27	1.36	0.54
	赤クロバー	5.71	4.90	4.98	4.08	4.72	3.26	1.73	3.44	3.26	3.81	4.35	1.49	1.17	1.70
8年目	チモシー	5.80	4.82	5.57	4.76	4.21	3.54	1.88	3.85	3.26	2.72	2.81	1.17	1.26	0.82
16年目	チモシー	5.80	5.71	5.76	4.90	4.35	2.99	1.73	3.54	3.81	2.62	1.62	0.75	1.15	0.66

第3図　牧草地土壌（チモシー）の NH_4-N と NO_3-N の推移



モニア態のままで存在していた。このように年を経て有機物の蓄積した牧草地土壌で硝酸化成の進み難いことは季節別に牧草地土壌中の無機態窒素量の推移を調査した第9表及び第3図の結果においても認められた。

すなわち NH_4-N は各区とも初春に最も高い値を示し，その後漸次低下していた。ただし古い牧草地ではこのような低下の始まる時期が遅くなつており（7月中旬），また初年度あるいは2年目のような新しい牧草地では地温が最高となる8月下旬に再びわずかに上昇した。しかし NO_3-N は6月中旬～8月上旬に最高値に達したのであり，しかも初年度の牧草地では硝酸化成がおう盛で高い価を示したのに，2～3年と年次の経過とともに漸次低下して，最も古い牧草地では硝酸化成がきわめて低かつた。すなわち古い牧草では腐植や窒素含量が増加するけれども，酸化分解が緩慢であつて耕起播種後年月の浅い牧草地あるいは一般穀菽耕地に比べると可給態化する窒素の量は少ないようであつた。

燐酸　土壌中の燐酸のうち特に N/5 HCl 可溶性のものについて6月1日より3週間ごとに測定した結果を第10表に示した。なおこの表には6月22日採集の土壌について 2N HCl で溶出した燐酸量をもあわせて掲げた。

この表で各年次の牧草地土壌の N/5 HCl 可溶性

第10表　牧草地における N/5 HCl 可溶性 P_2O_5 の年間推移（mg/100 g）

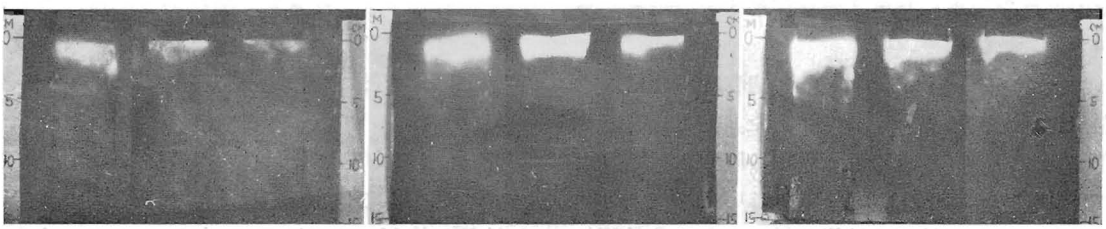
土壌区別		N/5 HCl 可溶性 P_2O_5							2 N HCl 可溶性 P_2O_5
		6月1日	6月22日	7月13日	8月3日	8月24日	9月14日	10月5日	
初年目	チモシー	12.7	15.1	13.9	14.3	14.7	13.5	14.6	147.5
	赤クロバー	—	—	14.3	16.8	13.9	15.7	16.0	152.5
2年目	チモシー	8.8	12.3	15.0	15.4	12.8	13.9	12.8	147.5
	赤クロバー	8.1	7.5	8.8	9.6	10.0	8.4	10.3	140.0
3年目	チモシー	10.9	12.4	12.0	12.7	10.7	9.8	9.8	120.0
	赤クロバー	9.6	8.5	9.8	10.9	10.3	9.6	9.0	107.5
8年目	チモシー	6.6	7.0	9.0	8.4	9.2	6.8	8.8	97.5
16年目	チモシー	4.4	4.0	6.0	6.3	4.1	3.6	3.4	55.6

P_2O_5 量の推移をみると，地温の最も高くなる8月に最高値を示し，可給態燐酸量が地温の上昇とともに増加するという多くの報告[8]に一致していた。またチモシー畑とクロバー畑では前者がまさつており，全般に年次を経るに従い N/5 HCl 可溶燐酸及び2 N HCl 可溶性が低下していた。

しかし前報[11]で述べたように，牧草地に転換する前に多量の燐酸質肥料が施用されてあつた場合には（このような条件の土壌は一般に2 N HCl 可溶性燐酸量が多い）播種当年に燐酸施肥の効果が高くとも次年度以後は燐酸の欠乏はほとんどみられず追肥の効果が少なくて，極端な場合は無燐酸で栽培しても収量の低下が全く見られぬこともあつた。（このように燐酸の肥効が鈍くなるのはすでに初年度2番草から現われていた）チモシーにおけるこのような燐酸肥効の変遷は第10表に示した牧草地土壌 N/5 HCl 可溶性燐酸含量の推移と全く相反する傾向と思えるが，これは第3報[12]で推定したように2年目以降のチモシーが N/5 HCl 可溶性燐酸のような易溶性のもののみでなく，もつと難溶性のものをも一部利用しうるようになるためと思う。（今回供試した永年牧草地土壌中には2 N HCl 可溶性燐酸がはなはだ少なかつた。これは相当長い年数にわたり追肥を欠いていたため土壌中に蓄積された燐酸が枯渇したものであるが，この程度にまで2 N HCl 可溶の燐酸が低下してしまうと再び燐酸追肥の効果が増大するものと思う）

2年目以降のチモシーが難溶性燐酸をも吸収利用しうるようになる原因は，まずチモシー自体の燐酸吸収能力が強くなることのほかに，牧草地が長期にわたり耕起されないという条件によつて土壌中の酸素が不足し，ひいては土壌の還元化に伴なう燐酸鉄など易溶態化の影響を受けるためではないかと思う。

この問題に入る前に追肥した燐酸肥料がどの深さまで滲透するかをラジオオートグラフで確かめた。すなわちチモシー初年目，3年目，永年畑の3カ所に6月15日に30 cm^2 当り ^{32}P を含む過燐酸石灰 2.25 g（10アール当り P_2O_5 として約5 kg に相当）を施用しておき，6月30日，7月15日，7月30日の3回，長方形の鉄枠を差し込み上述の3区



6月30日（降雨量 20.8 mm）　7月15日（降雨積算量 78.6 mm）　7月30日（降雨積算量 132.7 mm）

牧草地における追肥燐酸の滲透ラジオオートグラフ（6月15日地表散布）

（各写真中3つの Profile は左より16年目，3年目，初年目チモシー畑）

から土壌を垂直に採り，冷凍した後 X-ray 用フィルム上にのせてラジオオートグラフに撮つた。ただしこの期間内に降つた雨量は合計 132.7 mm であつた。

すなわち初年度の牧草地では地表面に追肥された燐酸は，地表の極く薄い部分に固定されてしまうのに対し，永年牧草地では追肥後比較的短時日の間に相当深い土層にまで滲透することが認められた。永年牧草地土壌で燐酸の滲透が大きい理由は腐植が蓄積していることと，土壌の還元化が起きているために，易溶性の燐化合物が生成[1),14)]されやすいことによるものと推定する。

更に地表面撒布により追肥される燐酸がチモシーに吸収利用されるものであろうか，この点を定性的に知るため ^{32}P を含む過燐酸石灰を作り，これを3年目のチモシー牧草地に地表面撒布と地表下 5 cm の箇所へ埋没追肥して1カ月後に両者のチモシーをラジオオートグラフに撮り燐酸吸収利用の状況を比較したが，その結果を末尾の写真に示した。

すなわち1カ月後のオートグラフでは過燐酸石灰を地表面に撒布してもチモシーによく吸収利用されるものであることを示していたが，サーベーメーターで葉面を定性的に計数した経過からは，撒布後2週間ぐらいまで地表面撒布のものが地中埋没追肥のものに劣つていた。

次に年次を経たチモシー自体が土壌中の難溶性燐酸を吸収利用する能力の高くなる傾向について，^{32}P を用いて行なつた若干の結果を述べる。

発芽直後の作物は主に燐酸肥料として施用された水溶性の燐酸を吸収するものであり，生育段階の進むにつれ土壌中の難溶性のものを吸収する割合の高くなることについては，既に多くの研究者により報告[5)]されている。従つて土壌中に利用残として燐酸の累積している場合には，2年目（または1年目2番草）からこれを利用するので，追肥された燐酸肥料を吸収しなくとも燐酸不足に陥ることの少ないことは容易に推察されることである。根釧地方火山灰地の牧草についてもこのような傾向が認められたのであり，これについて第11表に燕麦及び各種牧草の燐酸含有率とこのうち ^{32}P で Label した肥料燐酸から由来する燐酸の含有率を分別測定し，生育に伴なう変遷を示した。(燐酸は10アール当り P_2O_5 4.5 kg に相当する過燐酸石灰を ^{32}P で Label して地表に撒布補給した）また10アール当りの乾草収量並びに燐酸吸収量（土壌中にあつた燐酸と ^{32}P を含む肥料燐酸の2つにそれぞれ由来を分けた）を計算し第12表に掲げた。

この表から明らかなように生育の伸展に伴ない ^{32}P で Label した燐酸，すなわち肥料として施与した燐酸の含有率が低下しており，特に生育の後半例えば6月26日から7月24日の間では土壌燐酸（P_2O_5）のみ吸収されて肥料燐酸 $^{32}P_2O_5$ の吸収量がはなはだ少なかつた。^{32}P の吸収量から燐酸利用率を計算したところ従来の方法（燐酸吸収量から天然供給量を差し引く方法）による価に近い結果が得られ，従つて根釧地方火山灰地の2,3年目以降の牧草地において燐酸肥料を地表面に撒布する

第11表　牧草の肥料燐酸（$^{32}P_2O_5$）の吸収経過（乾物%）

試験区別		6月12日			6月26日			7月10日			7月24日		
		全燐酸 %	$^{32}P_2O_5$ %	$^{32}P/P$ ×100	全燐酸 %	$^{32}P_2O_5$ %	$^{32}P/P$ ×100	全燐酸 %	$^{32}P_2O_5$ %	$^{32}P/P$ ×100	全燐酸 %	$^{32}P_2O_5$ %	$^{32}P/P$ ×100
当播年種	燕麦	1.251	0.829	66.3	0.735	0.323	43.5	0.686	0.234	34.8	0.616	0.185	30.0
	チモシー	—	—	—	0.899	0.384	42.7	0.871	0.274	31.5	0.685	0.189	27.5
	赤クロバー	—	—	—	0.743	0.390	52.6	0.781	0.293	37.5	0.928	0.282	30.3
	ラデノクロバー	—	—	—	0.805	0.379	47.1	0.992	0.355	35.8	1.050	0.312	29.7
播種二年後目	チモシー	0.614	0.231	37.6	0.683	0.178	26.1	—	—	—	0.504	0.118	23.4
	赤クロバー	0.692	0.273	39.5	0.714	0.209	29.3	—	—	—	0.789	0.191	24.2
播種三年後目	チモシー	0.556	0.201	36.1	0.578	0.157	27.2	—	—	—	0.507	0.110	21.7
	赤クロバー	0.719	0.266	36.9	0.777	0.231	29.7	—	—	—	0.751	0.216	28.7

第12表　10アール当り乾草収量並びに土壌燐酸（P_2O_5）と肥料燐酸（$^{32}P_2O_5$）吸収量（kg）

供試作物		6月26日 乾草収量	燐酸吸収量	内訳 P_2O_5	内訳 $^{32}P_2O_5$	7月24日 乾草収量	燐酸吸収量	内訳 P_2O_5	内訳 $^{32}P_2O_5$	^{32}P 利用率
初年目	燕麦	235	1.73	0.97	0.76	545	3.36	2.35	1.01	22.4
	チモシー	90	0.81	0.46	0.35	210	1.46	1.06	0.40	8.9
	赤クロバー	55	0.41	0.20	0.21	95	0.88	0.61	0.27	6.0
	ラデノクロバー	50	0.40	0.21	0.19	80	0.84	0.84	0.26	5.8
2年目	チモシー	290	1.98	1.46	0.52	630	3.18	2.44	0.74	16.4
	赤クロバー	325	2.32	1.64	0.68	460	3.63	2.71	0.92	20.4
3年目	チモシー	260	1.50	1.09	0.41	595	3.02	2.37	0.65	14.4
	赤クロバー	220	1.71	1.20	0.51	390	2.93	2.09	0.84	18.7

方法を用い追肥しても牧草はこれを相当多量に吸収するものであることを再び確認したが，燐酸利用率の計算に際しどの程度同位体置換が起こつたかについては不明であつた。ただし初年目の牧草の燐酸利用率が低いのは収量が低いためで，根釧地方における初年目の牧草収穫は9月以降であり，6月あるいは7月に刈り取る場合は一般にこの程度の収量しか得られないものであつた。

更に年次を経た牧草が播種当年のものより難溶性燐酸を吸収する能力の高いことについて，直接比較するために ^{32}P を浮石粉末（礬土性が高く燐酸固定力が強い）に吸収乾固させ，これを Troug 液で洗滌し易溶性燐酸を除いたもの（固定燐）と，濾紙末に吸収させたもの（水溶性燐）をそれぞれ P_2O_5 として1gずつを根室支場試験圃場耕土をつめた1/2,000アールの Pot に加え（N，K_2O もそれぞれ1gずつ施用した）6月1日に燕麦及び各種牧草を播種，また別に2年目の牧草を移植しそれぞれ燐酸含有率を測定し第13表に示した。

この表から明らかなように播種当年のもののうち燐酸を固定させた後与えたものは燐酸含有率特に ^{32}P 含有率が低く幼植物が固定燐酸を利用し難いことを示したのに対し，2年目の禾本科牧草では固定された燐酸を与えても，水溶性燐酸施用の場合と同程度利用していた。ただしクロバー類は2年目のものでも固定燐酸の利用がやや劣つており，2年目以降においてもなお燐酸追肥の効果が顕著にあらわれるものと思われた。

経年畑牧草地において2年目以降の禾本科牧草が難溶性燐酸をも吸収利用しうるようになることについて，これを土壌的な条件に原因を求めると，まず先に述べた年次の経過に伴なう土壌還元化の

第13表　年次を異にした牧草の固定燐酸利用の差異

草種	燐形態	当年播種のもの（7月14日刈取） 全 P_2O_5%	$^{32}P_2O_5$%	$^{32}P/P$ ×100	播種後2年目のもの 1番草（6月25日） 全 P_2O_5%	$^{32}P_2O_5$%	$^{32}P/P$ ×100	2番草（7月14日） 全 P_2O_5%	$^{32}P_2O_5$%	$^{32}P/P$ ×100
チモシー	固定燐	0.390	0.150	38.5	0.718	0.430	59.9	0.480	0.218	45.4
	水溶燐	0.493	0.265	53.8	0.620	0.400	64.5	0.538	0.265	49.3
オーチャード	固定燐	0.380	0.095	25.0	0.628	0.368	58.6	0.527	0.219	41.6
	水溶燐	0.464	0.210	45.0	0.683	0.421	61.6	0.657	0.282	42.9
赤クロバー	固定燐	0.542	0.143	26.4	0.481	0.154	32.0	0.500	0.134	26.8
	水溶燐	0.636	0.251	39.5	0.524	0.267	51.0	0.507	0.247	48.7
ラデノクロバー	固定燐	0.510	0.153	30.0	0.474	0.119	25.2	0.596	0.164	27.5
	水溶燐	0.798	0.362	45.4	0.670	0.281	41.9	0.606	0.271	44.7
燕麦	固定燐	0.424	0.204	48.1	—	—	—	—	—	—
	水溶燐	0.820	0.459	56.0	—	—	—	—	—	—

影響が考えられる。すなわち大杉，川口，[14]あるいは青木，[1] 藤原[9] らは水田土壌においては鉄が還元を受けて燐酸第1鉄となるので，水稲は土壌燐酸の利用性が高いと報告している。牧草地においても年次の経過に伴ない土壌の還元が起こるとすれば燐酸第1鉄の生成により燐酸が可給態となり得るものと予想される。まずその手掛りとして各年次別の牧草地土壌について高井[28] の方法に従い3N H_2SO_4 に可溶の Fe^{++} を α-α'-dipyridyl で比色定量しその結果を第14表に掲げた。なおこの表には Fe^{+++} の含量及び全鉄中で Fe^{++} の占める比率を計算し併記した。

第14表　Fe^{++} と Fe^{+++} 量及び Al_2O_3 の（100g中mg）年次変化

供試土壌別		Fe^{++}	Fe^{+++}	$Fe^{++}/(Fe^{++}+Fe^{+++})\times100$	Al_2O_3	pH
初年目牧草畑		6.8	146.3	4.4	2,434	5.8
2年目	チモシー畑	7.5	233.9	3.1	2,656	5.8
	クロバー畑	10.2	119.7	7.9	2,656	5.9
3年目	チモシー畑	14.5	112.2	11.4	2,496	5.5
	クロバー畑	8.7	109.4	7.4	2,258	5.7
8年目	チモシー畑	11.2	79.9	14.0	2,013	5.2
16年目	チモシー畑	15.9	89.4	15.1	2,589	4.9

この表によれば牧草地土壌中の Fe^{++} は年次の経過に伴ない増加しており，これと結合する燐酸が易溶性に変わる可能性の高いことが予想された。このこととまた年次を経た牧草地では次第に酸性が強くなる傾向があつてこのために作土中の Fe^{+++} は洗脱されて年次とともに次第に減少する傾向が認められたが，礫土については顕著な変化がみられなかつた。

更に禾本科牧草特にチモシーでは主稈の最下節が肥大して貯蔵器官の役割り（球茎）を果たしており，1番草刈り取り後にはこの下端より新芽を生じこれが2番草として発達してゆく（この経過の概略は先報に述べた。）しかるに生育の初期に吸収する燐酸は前述のように主として肥料として施与された水溶性のものであつて，土壌中に固定蓄積されていた燐酸は生育の後半以降になつて初めて吸収される傾向があつたが，2番草となる新芽は球茎から燐酸の補給を受けるために新たに燐酸の補給を受けることがなくとも極端な燐酸欠乏症状を示すことは少なく*，時には2番草以下の禾本科牧草に燐酸を追肥してもその効果が全く認められない場合にも遭遇[11]した。このような実態は次のような実験によつて立証することができる。すなわち ^{32}P を含む過燐酸石灰を施用して栽培したチモシーを ^{32}P を含まぬ土壌に移植し球茎を残して刈り取り，球茎の下端より伸長してくる新芽について全燐酸と ^{32}P を測定した。また同時にはじめ ^{32}P を含まぬ燐酸肥料を与えて栽培したものを ^{32}P を含む土壌に移植した場合についても同様に処理し，この両者から新芽中に含有されていた燐酸のうち球茎あるいは古い根から転移してきたとみなされる部分と主稈刈り取り後に新たに土壌から吸収した部分とに分けてそれぞれの比率を第15表に掲げた。ただし新芽が発根し自ら養分を摂取するようになるのは第4葉期以降といわれているが，新芽の発根以前にあつても古い根が土壌中の燐酸を吸収し新芽に供給するようであつた。

第15表　1番刈り後の新芽の燐酸含有率と供給源の区分

新芽の生育段階	古い根の P_2O_5%	球茎の P_2O_5%	新芽の P_2O_5%	新芽燐酸含有率の内訳：古い根茎などから転移した部分	新芽燐酸含有率の内訳：刈り取り後新たに土壌から吸収した部分
1葉期	0.71	0.38	1.93	1.82	0.11
2葉期	0.77	0.46	1.86	1.50	0.36
3葉期	0.68	0.64	1.53	0.84	0.69
4葉期	0.55	0.57	1.13	0.36	0.77

加里　根釧地方に分布する火山灰には一般に易溶性の加里に富み，従つて新墾地では加里欠乏に陥ることはきわめてまれであるが，数年後から加里欠乏の症状が散見されるようになり特に牧草のような加里収取量の多い作物を栽培すると更に早い時期から欠乏症が現われ，かつその症状も激しかつた。[11]

火山灰土壌における主な加里供給源[4] は1次鉱物として加里長石，黒雲母，絹雲母等，2次鉱物で

* このような燐酸の転移についての可能性は北海道農試畑作部五十嵐考典技官が早くから指摘していた。

はIllite系が多いとされているが，北海道の主な火山灰の鉱物組成を調査された山田の報告[31]ではこのような鉱物はほとんど含有されておらず，火山灰土壌が加里の補給に持続性のないのはこのためであると指摘されている。また青峰[2]は火山灰が一般に重鉱物に乏しく若干の斜長石と多量の火山ガラスから成るが，ガラスはほかの鉱物に比べ全加里含量は低いけれども風化の条件により一時に多量の加里を解放することがあると述べている。

根釧地方に分布する摩周統火山灰層[16]のうち主なものについて鉱物組成を調査しその結果を第16表に掲げた。

摩周統の火山灰はいずれも重礦物含量がきわめて低く，粗砂と細砂で前者がやや多く含まれていた。すなわち根釧地方の火山灰は粘土鉱物含量が少なく，大部分が1次鉱物特に火山ガラスによつて占められ，これに若干の斜長石が混在するのみであつて，重鉱物にはシソ輝石，磁鉄鉱，普通輝石が認められたが，全体の組成から見ると微々たる量であつた。

これら火山灰の加里含有率を測定し第17表に掲げた。

第16表　鉱　物　組　成

火山灰層	粒径	重量比 %		重鉱物組成 Vol. %				軽鉱物組成 Vol. %			
		重鉱物	軽鉱物	普通輝石	シソ輝石	磁鉄鉱	その他	斜長石	透明ガラス	褐色ガラス	その他
摩周a層	粗砂	3.6	96.4	45	33	18	4	19	40	31	10
	細砂	2.0	98.0	14	32	48	6	16	33	45	6
摩周b層	粗砂	9.5	90.5	33	44	21	2	24	11	59	6
	細砂	5.7	94.3	33	30	32	5	37	16	42	5
摩周c層	粗砂	1.6	98.4	27	35	35	3	18	17	59	6
	細砂	2.0	98.0	30	33	32	5	22	18	55	5
摩周d層	粗砂	9.5	90.5	27	43	18	12	21	12	61	6
	細砂	5.1	94.9	32	20	40	8	23	15	57	5

第17表　摩周統火山灰土壌の加里含有量（mg/100 g）

供試土壌			置換性加里	N/5 HCl 可溶加里	Conc. HCl 可溶加里	全加里
摩周a層	軽鉱物	粗砂	20.3	32.3	86.3	341.8
		細砂以下	17.2	28.8	85.3	324.9
	重鉱物	粗砂	16.5	26.6	265.6	521.4
		細砂以下	12.3	21.8	346.8	681.9
摩周b層	軽鉱物	粗砂	6.2	14.7	99.7	168.6
		細砂以下	9.6	19.0	131.5	240.0
	重鉱物	粗砂	5.8	15.2	310.2	427.4
		細砂以下	8.6	21.5	393.0	531.7
摩周c層	軽鉱物	粗砂	15.6	24.9	91.9	215.2
		細砂以下	18.5	29.1	98.6	250.4
	重鉱物	粗砂	10.8	23.4	220.9	873.0
		細砂以下	19.6	31.5	267.5	799.1
摩周d層	軽鉱物	粗砂	10.4	20.8	105.8	151.4
		細砂以下	11.0	21.6	115.5	166.5
	重鉱物	粗砂	9.0	18.4	424.4	556.3
		細砂以下	9.6	20.2	482.7	647.9

置換性加里及びN/5 HCl可溶性加里など易溶性加里含量は軽鉱物にまさつており，特に摩周統a及びc層ではこの種の加里に富んでいて加里肥料の施用を必要としないとの判定を下せる程度であつた。しかし軽鉱物では濃塩酸あるいは全加里含量が重鉱物の半量以下であつて，このことが摩周統火山灰土壌に加里補給力の持続性を欠く主な原因であると思われた。全加里の測定は LAWRENCE-SMITH の方法[3] に従い NH_4Cl と $CaCO_3$ を加え加熱したが，この場合粗砂は粉砕することなく直接処理したので，粗砂の全加里含量が細砂以下のものに劣つたことに幾分か影響したかも知れない。

牧草は加里収奪量がきわめて高く生草収量10アール当り3ton前後の場合には加里収奪量が7～10kg以上もあつて麦類の2～3倍量に達し，土壌中に含有されている水溶性及び置換性加里のみでは到底不足であつた。Hoagland[13,18] らの研究によれば置換性加里含量が一定の限度まで低下した後は置換性加里含量がほぼ一定の価に保たれ，非置換態の加里が利用されるようになると述べている。いま摩周統aとh（浮石火山灰であるのでこれを若干粉砕した）層及び根室支場試験圃場から新墾地，普通畑，牧草跡地（10年間以上継続して牧草を栽培した畑）の表土をとり，1/5,000アールポットに填め（土壌重量は乾土で4kgずつ，ただし摩周h層土壌は3kg）それぞれ加里施用区と無加里区に分け，これにチモシーと白クロバーをそれぞれ単播した。施肥量は鉢当り N, P_2O_5, K_2O 各0.4gずつ（白クロバーは窒素を施用せず）を毎春及び1番草刈り取り後施用した。従つて供試年限3カ年における加里施用区の K_2O 施用量合計は鉢当り2gであつた。各区の鉢当り乾草収量及び加里収奪を第18表に，また各鉢土壌の加里含有を第19表に掲げた。

第18表　牧草についての加里収奪量試験（その1）

鉢処理別			乾草収量（鉢当g）					牧草加里含有率（%）					加里収奪量（鉢当mg）					
			初年目	2年目 1番草	2年目 2番草	3年目 1番草	3年目 2番草	初年目	2年目 1番草	2年目 2番草	3年目 1番草	3年目 2番草	初年目	2年目 1番草	2年目 2番草	3年目 1番草	3年目 2番草	3カ年間合計
摩周a層（C）	チモシー	加里施用	7.2	21.3	15.2	14.0	10.8	5.25	4.27	4.36	3.41	3.96	378	910	663	478	428	2,857
		無加里	6.0	12.1	9.6	11.5	6.5	3.15	2.35	1.16	0.71	0.60	189	284	111	82	39	705
	クロバー	加里施用	5.8	23.5	10.7	5.2	3.7	7.35	5.95	5.08	5.20	5.15	426	1,398	544	270	191	2,829
		無加里	4.7	13.8	6.9	2.0	2.1	6.25	2.81	1.32	0.99	0.93	294	388	91	20	20	813
摩周h層	チモシー	加里施用	10.9	19.3	14.0	12.0	10.3	3.86	3.41	3.18	2.60	3.76	421	658	446	312	387	2,224
		無加里	9.3	7.8	5.6	3.7	3.6	1.35	1.07	0.98	0.54	0.34	126	83	55	20	12	296
	クロバー	加里施用	9.9	21.5	15.8	10.6	6.0	5.22	3.72	3.06	3.04	2.22	517	800	483	327	133	2,260
		無加里	6.7	13.6	10.5	7.5	3.1	1.22	0.77	0.70	0.56	0.57	82	105	74	42	16	319
新墾畑	チモシー	加里施用	12.4	39.0	20.7	13.5	10.5	5.63	3.02	3.16	3.27	0.30	698	1,177	654	441	347	3,317
		無加里	9.6	27.6	14.2	8.5	7.6	3.95	2.02	1.32	0.62	0.42	379	558	187	53	32	1,209
	クロバー	加里施用	8.1	31.9	19.3	12.5	5.7	7.25	4.51	4.07	3.81	4.50	587	1,439	786	476	256	3,544
		無加里	7.2	22.2	11.0	7.2	3.8	6.75	3.02	1.72	1.05	0.95	486	670	189	76	36	1,457
普通畑	チモシー	加里施用	6.8	25.5	13.2	14.5	10.7	5.35	4.26	3.94	2.64	3.75	364	1,086	520	383	401	2,754
		無加里	4.4	15.1	7.8	10.0	5.2	3.25	2.11	0.97	0.56	0.61	143	319	76	56	32	626
	クロバー	加里施用	7.3	27.9	18.6	15.1	5.5	5.20	3.86	3.62	3.56	3.10	380	1,076	673	538	171	2,838
		無加里	6.8	18.5	9.4	6.6	1.8	3.05	1.95	1.05	0.64	0.86	207	361	99	42	16	725
牧草跡地	チモシー	加里施用	8.1	24.5	11.2	12.7	8.2	4.36	4.10	2.95	2.02	3.06	353	1,045	330	257	251	2,236
		無加里	3.4	9.3	6.8	5.3	4.0	1.20	0.95	0.49	0.40	0.48	41	88	33	21	18	201
	クロバー	加里施用	5.9	27.3	10.5	8.1	4.3	5.22	4.36	3.26	3.58	2.76	308	1,190	342	290	119	2,249
		無加里	4.2	9.1	5.2	3.4	1.2	0.88	0.63	0.70	0.54	0.65	37	57	36	18	8	156

第19表　牧草についての加里収奪量試験（その2）

鉢処理別			乾土100g当り加里含有量（mg）						鉢当り加里含有量（mg）						置換性加里減量 鉢当りmg	
			原土		初年目跡地		3年目跡地		原土		初年目跡地		3年目跡地			
			水溶性加里	置換性加里	水溶性加里	置換性加里	水溶性加里	置換性加里	水溶性加里	置換性加里	水溶性加里	置換性加里	水溶性加里	置換性加里	初年目－原土	3年目－原土
摩周a層（C）	チモシー	加里施用	—	—	5.05	13.23	0.85	4.63	—	—	201	529	34	185	＋58	－477
		無加里	5.76	14.13	2.02	8.16	0.36	3.98	230	565	81	326	14	159	＋50	－299
	クロバー	加里施用	—	—	4.87	12.95	0.73	4.16	—	—	195	518	29	166	＋47	－433
		無加里	—	—	1.85	5.62	0.38	3.45	—	—	74	225	15	138	＋46	－386
摩周h層	チモシー	加里施用	—	—	3.50	7.82	0.77	3.85	—	—	105	235	53	116	＋13	－71
		無加里	4.88	8.95	1.12	5.35	0.33	2.75	146	269	33	161	10	83	－19	－111
	クロバー	加里施用	—	—	3.34	5.15	1.52	4.06	—	—	100	158	46	122	－6	－113
		無加里	—	—	0.88	4.96	0.34	1.95	—	—	27	149	10	59	＋11	－99
新墾畑	チモシー	加里施用	—	—	6.10	17.36	2.19	4.56	—	—	244	694	88	182	－43	－550
		無加里	8.85	23.72	1.26	12.19	0.60	3.10	354	949	50	488	24	124	＋82	－384
	クロバー	加里施用	—	—	5.93	18.11	2.06	4.13	—	—	287	724	82	165	＋38	－760
		無加里	—	—	0.82	9.83	0.52	2.72	—	—	33	393	21	109	＋70	－617
普通畑	チモシー	加里施用	—	—	4.42	12.12	1.52	4.48	—	—	177	485	51	179	＋81	－391
		無加里	4.52	13.25	1.17	8.28	0.38	3.28	181	530	47	331	16	131	＋56	－235
	クロバー	加里施用	—	—	5.85	11.96	1.26	3.65	—	—	234	478	50	146	＋72	－473
		無加里	—	—	0.96	7.80	0.32	3.05	—	—	39	312	13	122	＋11	－317
牧草跡地	チモシー	加里施用	—	—	3.42	4.16	1.04	3.93	—	—	137	166	42	158	＋85	－192
		無加里	2.40	5.05	0.65	3.38	0.38	2.83	96	202	26	135	15	113	＋26	－89
	クロバー	加里施用	—	—	5.13	4.56	0.96	3.52	—	—	205	182	38	141	＋112	－188
		無加里	—	—	0.74	3.68	0.42	2.76	—	—	30	147	17	110	＋18	－64

収量は2年目1番草が最高で以後漸減していた。このうち摩周統h層，牧草跡地土壌の無加里区は低下が特に著しかつたが，この区は牧草の加里含有率の低下も激しく，加里欠乏の症状が歴然としていた。牧草が吸収する加里は肥料として施用した加里のほかに土壌に保有されていた可給態加里，主に置換態のもの（第19表に掲げた置換性加里とは1N酢酸アンモンで置換溶出されたもので水溶性加里を含めた価である）を利用するものと考えられる。初年目及び3年目跡地土壌の置換性加里減量と牧草の加里収奪量を比較した場合，初年目では土壌の放出した置換性加里（原土の置換性加里量－初年目跡地土壌の置換性加里量）と牧草が吸収した加里では前者にいまだ余剰量のあることが多く，第19表ではこれに＋の符号をつけて区別したが（水溶性加里の減量が特に著しく，牧草はまず水溶性のものを迅速に利用することが明らかであつた）このことは播種当年の牧草が顕著な加里の欠乏に陥る危険性の少ないことを示すものである（根圏土壌に局部的な加里欠乏は当然起こりうる）。しかし3年目跡地では加里を施肥した区にあつても牧草の吸収した加里量が施肥加里並びに土壌が放出した加里との合計量を遙かに越えており，非置換態加里を利用したことは明らかで，これを第19表では－の符号をつけて示した。これによれば加里施用区は無加里区よりも非置換態加里の利用が多くなつていたが，加里施用区では根の発達がおう盛で土壌に作用する影響が大きいためと思う。非置換態加里の利用量は浮石（特にガラス質に富む）からなる摩周統h層や牧草を連作した跡地土壌に少なく，摩周統a層あるいは新墾畑においてはなはだ多かつたが，これは土壌の鉱物組成すなわち非置換加里の給源の多少，あるいはその枯渇程度に関連が深いものと思う。

各年次別牧草地土壌のN/5 HCl可溶性加里含量

第20表　牧草地における N/5 HCl 可溶性 K_2O の年間推移 (mg/100 g)

土壌区別		6月1日	6月22日	7月13日	8月3日	8月24日	9月14日	10月5日
初年目	チモシー	17.28	21.68	24.08	18.20	16.64	14.80	14.72
	赤クロバー	—	—	25.60	14.48	15.14	14.80	14.72
2年目	チモシー	14.63	12.60	12.35	12.03	13.88	12.35	13.60
	赤クロバー	13.85	13.05	13.82	11.81	12.33	13.65	14.06
3年目	チモシー	13.28	9.84	10.68	9.28	10.72	11.20	10.88
	赤クロバー	12.48	9.84	9.28	9.28	10.72	10.72	10.48
8年目	チモシー	9.84	9.84	10.72	9.28	9.28	10.12	9.68
16年目	チモシー	9.12	8.80	7.68	7.68	6.96	8.08	8.76

の推移を第20表に掲げた。

牧草は加里を多量にかつ迅速に吸収するので年次を経た牧草地土壌の加里含量は非常に下つていた。また年間の推移を見ても牧草の生育の最もおう盛な時期，すなわち初年目の牧草地では8月中旬以降，2年目以上のものでは7～8月に土壌中の加里含有率が低下し，秋になつて生育が停滞したころには再び増加していた。これは難溶性加里の一部が易溶化するためで，冬季間牧草の生育が停止している間に再び N/5 HCl 可溶性加里量が若干増加恢復するようであつた。

Ⅳ　考　　察

土壌肥料についての報告のうちには一般畑地土壌と区別し特に栽培作物名を冠して桑園土壌，茶園土壌と称することもあるが，これと並んで牧草地土壌あるいは草地土壌という呼称もしばしば見られる。これらはそれぞれ特有の理学的特性を具有するため区別の必要を生じたのであろうが，共通する特徴としていずれも多年生作物であり耕起することなく栽培が継続されるものである。

牧草については緑肥作物を含め地力維持向上に効果の大きいものとして強調され，輪作に組み入れて一般作物の地力奪取を緩和させる目的に用いられてきた。すなわち荳科牧草の窒素固定を利用することによつて休閑輪作形式に代つてノーフォーク形が輪作の基幹形式になつた主な理由もここに存するのであろう。この場合緑肥鋤込みによる窒素添加が主たる効果であるが，たとえば有名なオハイオにおける輪作評価の方式に従えば，

アルファルファ1年後に鋤込む
(もちろん刈り取り後) 10
アルファルファ2年後に鋤込む
(もちろん刈り取り後) 2
アルファルファ3年後に鋤込む
(もちろん刈り取り後) 0

としており，緑肥作物として直ちに鋤込む場合と飼料生産用として用いた後鋤込む場合の地力に及ぼす効果に大きなハンデイキャップをつけていることに注目すべきである。

また WILLIAMS の提称する牧草圃式輪作システムは禾本科と荳科を混作することにより土壌の肥沃性と理学的改善特に土壌の団粒化を図るのが主たる効果のようである。従つてこの効果の恩恵を受けるのはこれと組み合わされた穀菽作物であつて，牧草それ自体の増収には関心が薄いようであり，WILLIAMS の試験結果に引用されている牧草収量は現在わが国の高位収穫牧草収量の数分の1以下であつた。

以上のようにこれまでわが国で牧草が研究の対象となつていたのは，主に地力の担い手としての効用であつて，牧草それ自体の増産技術についての研究成果は少なかつた。従つて牧草自体の高位収穫を目標とする肥培法を考究する場合にも緑肥輪作についての論議に拘泥し，土壌からの養分奪取量を過少評価する傾向があつた。たとえば年間7～10 ton の生草を収穫する場合，荳科は窒素を自給しうるとしてもその他の成分，ことに加里と石灰は麦の3～5倍に及ぶことを見逃しがちである。まして禾本科牧草の窒素の必要量がきわめ

て多いことなど全く考慮しない農家も多いが，このようにわが国の牧草栽培技術は未だ啓蒙時代を脱していないといえよう。

今回は牧草の高位収穫法を確立する基礎調査として牧草地土壌の天然供給力について検討したが，特に一般作物に比べ相異した点の概要を述べると

窒素は年次の経過とともに腐植物質の構成分として堆積増加するが，このものは一旦酸化状態にしないと分解進捗せず特に硝酸態窒素に乏しいことが特徴であつた。加里も吸収により奪取される置換性加里を非置換態のものが一部補填するとしても，牧草の加里奪取量に比べれば微々たるもので，その上摩周統火山灰土が重鉱物に乏しく加里補給能力が低いため新墾地以外の牧草は必ず加里欠乏に陥ることが予想された。牧草は収奪量が多いだけにこの2要素の欠乏が特に顕著であつたけれども，しかし一般作物にくらべ本質的に相異するものと認め難かつたが，燐酸はやや趣きを異にした。すなわち根釧地方の土壌は火山灰であるため燐酸の肥効の高いことが強調されてきた。牧草も初年目のものあるいは新墾地においては燐酸の効果は3要素中最大であつたが，経年畑（過燐酸石灰などを継続施用して土壌中に固定蓄積されている燐酸量の多い土壌）における燐酸追肥の効果は小さいものであつた。これは牧草が多年生であるため1年生普通作物とは燐酸吸収利用の生理的機構を異にすると思われるほかに，土壌の還元化による固定燐酸の可給態化が大きく影響しているものと推定された。従つて牧草地土壌として特異点を指摘するとすれば，牧草が多年生であつて耕起することなく栽培が継続するという耕種上の特異性に附随して惹起せられる現象が主体になるものと思う。

すなわち牧草自体の高位収穫を目標とする場合には一般作物以上に土壌から養分を奪取することに重点をおき肥培管理を十分に行なうべきで，牧草が特別に有利な理化学性を附与するものとしてこと更に強調すると農家の誤解を招くおそれがある。従つて牧草地土壌を一般畑作土壌と別個のものとして取り扱うよりは一般畑作物との耕種上の相異からもたらされる影響を明確に指摘する方が実用的であると思う。

V 摘　　要

根釧地方火山灰土壌牧草地から年次別に土壌を採取し，特性の推移を検討した。その結果

1) 耐水性粒団は増加していたが土壌の緊密化が著しかつた。
2) 年次の経過とともに土壌中の気相が低下し還元状態になつた。
3) 腐朽物質が酸化分解されずに堆積しこれに附随して窒素含量も上昇したが，無機態化する窒素は少なかつた。
4) 牧草は2年目以降難溶性燐酸の利用能力が増大するが，特に固定燐酸の蓄積量の多い経年畑ではこのことが著しい。
5) 摩周統火山灰土壌は火山ガラスの易溶性加里量は高かつたが，重鉱物が極端に乏しく加里補給に持続性がなかつた。牧草は特に加里奪取量が多く土壌の置換性加里のみでは到底みたし得ないものであつた。

参考文献

1) 青木茂一，1942；水田状態における燐酸の行動に関する究研，土肥誌 16 巻，75
2) 青峰重範，1957；日本火山灰土壌のカリ経済，カリシンポジウム Vol. 1 27
3) ――――，船引真吾，1953；土壌分析法 90 頁
4) 荒木正美，1959；土壌中の一次，二次鉱物とカリの型態に関する研究（第1報）カリシンポジウム Vol, 3, 33
5) Black. C. A.（原田登五郎訳），1957；作物と土壌，299
6) Bremner I. M. & H. Lee., 1949：Studies on Soil Organic Matter. Part. II The Extraction of Organic Matter from Soil by Neutral Reagents. J. Agr. Sci. Vol., 39, 274
7) 江川友治，関谷宏三，佐藤昭夫，1957；多年生牧草の導入による土壌理化学性の改良，農技研報告 B 7, 53
8) Eid M. T., C. A. Black & Kemphthorne. 1951；Importance of Soil organic and Inorganic

phosphorus to Plant growth at low and high Temperatures. Soil Sci., Vol., 71, 361

9) 藤原彰夫，1950；難溶性燐酸の肥料学的研究

10) 原田登五郎 1957；改良型 Conway 微量拡散分析装置による NH_3-N, NO_3-N の定量

11) 早川康夫，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1報）道立農試集報3号，9

12) ———，———，1960；———（第3報）道立農試集報5号，1

13) HOAGLAND D. R., J. C., MARTIN 1933; Absorption of Potassium by Plants in Relation to Replaceable, Non-replaceable, and Soil Solution Potassium. Soil Sci., Vol. 36, 1

14) 川口桂三郎，大杉 繁，1942；畑地状態並びに水田状態における土壌の本質について，土肥誌 16 巻 237

15) ———，喜田大三，1950；水田土壌の耐水性粒団の分析法，土肥誌 27 巻 263

16) 北川芳男，1950；摩周火山灰解説 II 岩石学的特性について 北海道土壌肥料研究通信 13 号，12

17) 北岸確三，1956；土壌構造に関する研究 東北農試報告 8 巻 55

18) ———，1959；施肥に対する多年生牧草の反応（第1報）土肥誌 30 巻，5

19) 三井，中川，馬場，天正，熊沢，1956；作物の養分吸収に関する動的研究（第10報）土肥誌 26 巻，497

20) 美園 繁，木下 彰，1957；土壌構造に関する研究 II, III，農技研報告 B 7 105

21) ———，1958；実容積法による土壌物理性の測定 土肥誌 29 巻 67

22) 西潟高一，竹内 豊，1956；土壌侵蝕防止の研究（第8報）土肥講演要旨 2，3

23) 小田切弘一，菊地 侃，1956；牧草地土壌に関する研究（第4報）土肥講演要旨 1，94

24) 太田寛一，柏木大安，1955；土壌構造に関する研究（第2報）土肥誌 26，255

25) 塩入松三郎，1952；土壌肥料講話 1

26) 島根茂雄，西村藤市，池田 弘，1959；牧草輪作に関する土壌学的研究，土肥講演要旨 5，26

27) SPRINGER U., 1931; Neuere Methoden zur Untersuchung der organischen Substanz im Boden und ihre Anwendung auf Bodentypen und Humusformen II Z. Pflanzenernähr Düng, u. Bodenk, A 23. 1

28) 高井康夫，1956；水田土壌における鉄化合物の行動について（第1報）土肥誌 26，467

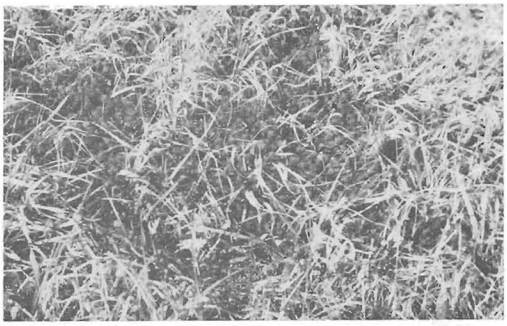
29) WILLIAMS（農業科学研究所訳）1951；科学的な農業耕作

30) 山田 忍，1949；北海道火山灰地に見られる土壌の板状並薄片状構造とその成因について 土肥誌 20，23

31) ———，1958；北海道火山性土の地力のうつり変りとその対策

永年牧草畑中のスギゴケ聚落

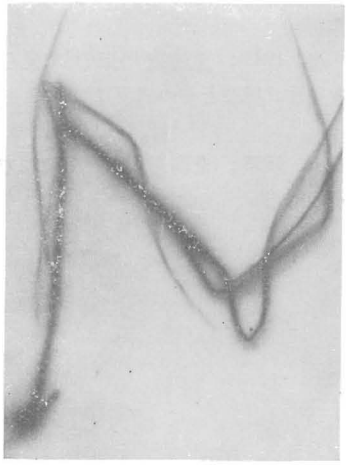
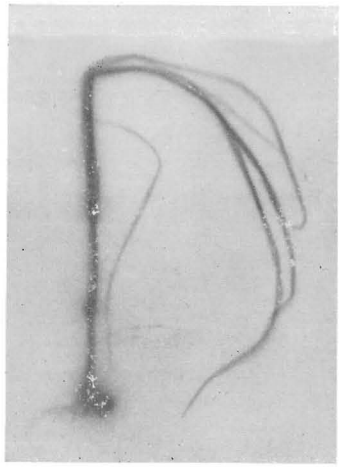
チモシー畑に侵入中のスギゴケ聚落



断　　面

チモシーに対する ^{32}P 追肥1カ月後のラジオオートグラフ

^{32}P を地表下5cmに注入施用



^{32}P 表面散布追肥