道農試集報　32：35-44（1975）

根圏土壌の理化学性が牧草生育に及ぼす影響

第2報　鉱質土壌における牧草根の発達分布

大崎亥佐雄*　奥村純一*　関口久雄**

Effects of Physical and Chemical Properties of Rhizosphere on the Growth of Pasture Crops

II. Distribution of herbage root in mineral soil

Isao Ōsaki, Jun-ichi Okumura and Hisao Sekiguchi

草地の経年化に伴って対応的に変化する土壌の理化学性の影響を直接的に反映するとみられる牧草根の分布状態について検討した。

その結果次の事実を認めた。

1　牧草根の発達は生育の老若をとわず土壌ち密度によって直接的に影響を受けた。

2　経年化に伴って根系は表層部に集中する。

3　②の傾向は多収草地ほど顕著となる。

このうち，②の表層集中化現象は①によってもたらされる影響のほか，牧草の生理生態に由来して発生する新根が top dressing される草地特有の管理技術とよく対応することから理解された。また③の現象は全乾物生産量の地上部と地下部への配分比が根からの養分供給量が多いほど地上部に多くなるという観点から理解できる。

以上の諸結果にもとづき，草地土壌における施肥位置や牧草根の養水分吸収の機能分化などについて推論した。

I　緒　　言

一般に農作物を良好に生育させる大前提は，根圏土壌の理化学性の改善とその維持にあり，これに関する最良策の模索は edaphologist に課せられた使命である。

さて，草地は一度造成すると，その後は耕起することなく長期間にわたり利用することになる。その結果として，土壌の理学的環境上からは放牧，大農具の運行および土壌自体の圧密による堅密化は免れないし，化学的にみると造成当初はたとえ土改資材が深層まで混和されても，以後は常時肥料の top dressing が行なわれるためにごく表層のみが肥沃化過程を辿ることになる。しかし草地では不耕起造成方式（土壌の非膨軟化，土改資材の表面散布）が成立していることを併せ考えると，根圏土壌内で，牧草根がこれら理化学性と如何に対応しているかは極めて興味をよぶものである。

筆者らは冒頭に述べた立場から牧草生育と根圏環境との関係について検討しているが，前報[6]ではまず土壌ち密度問題を採り上げた。すなわち，我が国において展開される主要酪農地帯は火山灰土壌であって，根圏環境が膨軟なため，ち密性についてはむしろ圧密効果が高いとの見解[4),5)]をとっている。これに対し，筆者らの対象とする天北地方は本邦唯一の鉱質重粘性土壌が草地の基盤となっており，粘性が強く，乾燥すると固結して一見根の侵入を許し難いような極めて硬い状態になるために，とくにち密性の限界とその機能を牧草収量との関連で調査したわけである。その結果，初期生育では土壌ち密性の影響をうけるものの，経年化に伴い土壌のち密性は悪化の傾向をとるにもかかわらず，牧草はその収量を減ずることもなく，当該環境

1974年10月7日受理

*　北海道立天北農業試験場　枝幸郡浜頓別町

**　同上（現北海道立根釧農業試験場　標津郡中標津町）

によく対応している。たとえば山中式土壌硬度29（本値は有効土層としての適正値を上回る）を示したり，土壌気相率10％[6]を大きく下回るような劣悪とみられる条件下でも牧草の生育は良好である。つまり，土壌，牧草相互間の経年的推移は不連続ではありえず，しかも両者は深い連繋のもとに対応していなければならないのに，古い草地における実際の調査結果ではしばしば上述のような値がえられてしまう。これらの現象から，牧草の初期生育と土壌の理化学性との関係は一般畑作物のそれに準拠するとみてよいが，経年した場合は草地独特の観点で対処しなければ，これらの事実を説明することができない。

そこで，この問題解決の糸口として，草地の造成および管理などの相異によって土壌理化学性の影響を直接的に反映する牧草分布の実態から明らかにしようとして2，3の調査を試みた。なお，ここでいう草地とはオーチャードグラス，チモシーなどのイネ科牧草およびラジノクローバなどのマメ科牧草を主体とした今日の一般的なものを対象としている。

本報告は北見農試中山利彦場長，中央農試松代平治化学部長および上川農試森哲郎場長にご校閲をいただいた。また当場土壌肥料科坂本宣崇，山神正弘の両研究員には本研究の遂行に際し，援助と有意な示唆をいただいた。以上の各位に深謝する。

II　試験方法

本試験はつぎの3項目よりなっている。

1　草地の造成法と牧草の根系分布

2　草地の利用および肥培管理と牧草の根系分布との関係

3　一般管理草地における根系分布と収量の実態

まず，1試験は草地造成方式の差異が播種当年の生育収量に及ぼす影響を土壌の物理性との関係で検討し，そしてこれが経年化により造成法間に収量差のなくなることを根系分布との関連で比較調査した。すなわち，造成当年の検討は耕起（プラウ耕）と不耕起区の2区であり，また経年草地は別途造成法の試験を実施した5年目の放牧地で，試験区はプラウ耕，ロータリーベーター耕，不耕起の3区であった。供試圃場は両者とも天北農試の疑似グライ性褐色森林土でその性状は第1図に示した。

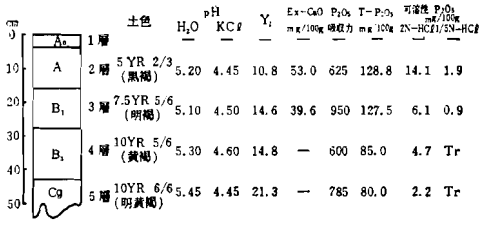

図1　供試圃場の代表的断面形態とその特性

つぎに，2試験の前半は利用管理および施肥量の異なる経年草地圃場を対象に牧草の根系分布と収量との関連を検討し，後半は施肥が絶対根量にどう反映するかについてT/R比の面から調査した。また根の伸長に関与する肥料要素の把握についても試験した。最後に，3試験は実際に草地として利用されている同一農家圃場において農家自身によって抽出された高収，低収の両草地を対象として，これに土壌型を考慮しながら根系と収量の関連を調査した。なおこれら試験方法の詳細はその都度述べることとする。

根系調査方法は圃場試験の場合，30×30 cmの面積で深さは各試験地によって異なるが，原則として地表より5 cmごとに採土し，当該層に包含される根を篩上で水洗し，採取，乾燥，秤量した。現地試験の調査は底面積100 cm²，高さ10 cmの1 l実容積測定用採土管を用い，0〜10 cm，10〜20 cmにそれぞれ打込み採土し，それをさらに0〜5 cm，5〜10 cm，10〜15 cm，15〜20 cmに2区分した。

III　試験結果

1　草地の造成法と牧草の根系分布

造成後1〜2年目までにおける不耕起方式の牧草収量は前値生との競合，播種床の不均一性，表層粗腐植による水分供給の不足などによって耕起方式に劣るとされている。天北地方のような鉱質重粘性土壌では上述の影響もさることながら，耕起区と不耕起区では物理的条件が極端に異なり，とくに幼牧草段階ではこれらの影響は見過ごせないものと思う。そこでまず造成当年における土壌の物理性と牧草生育の関連で試験した。草地化に際しては前植生（クマイザサが主体）との競合など物理性に関与しない要因が入ってくるので，これを消去するため造成に先立って火入れを実施し，その後表層粗腐植層（2〜3 cm）を剝離した。ついで一般造成法に準拠し，耕起（プラウ耕），不耕起（無処理）の2区を設けた。ただし後者はオーチャードグラスの播種後種子が見えない程度（3〜5 cm）に隣接地から採取した土壌で覆土した。えられた収量調査結果を表1に示した。

まず試験における生育経過について述べると，不耕起区の発芽は整一であったが，2〜3葉期頃より葉色が次第に黄緑化し，窒素欠乏類似症状を示すようになった。この傾向は収穫時点まで持続し，その結果として

表 1 耕起の有無による牧草収量と養分含有率

区別	牧草収量 (kg/10 a)			養分含有率 (%)					
				地上部			地下部		
	生草重	乾草重	同比	N	P_2O_5	K_2O	N	P_2O_5	K_2O
耕起	820	200	100	1.96	0.59	4.78	0.92	0.35	0.64
不耕起	325	124	62	1.45	0.48	3.10	0.88	0.27	0.70

当該現象の発現がない耕起区の収量を大きく下回った。これらの事実は牧草体の分析結果からも明らかなように，窒素を中心とした各成分含有率も不耕起区が劣っている。圃場条件で一般に牧草体中の各成分濃度は生育の伸展と共に稀薄化して，次第に低い含有率を示すようになるが，それに反する上述の現象すなわち，不耕起区で生育の初期から養分欠乏を示すような事実は土壌の理学性の貧困に起因して養分吸収が阻害されたと解釈されるもので，これについては前報で詳述した。本試験についても耕起，不耕起法の相違点から確かめるため，引き続き両者の土壌理学性について2，3の分析を行なった。

表 2 造成当年における三相分布

区分	採土部位(cm)	容種重 (g/100cc)	三相割合 (%) 固相	液相	気相	全孔隙 (%)
耕起	0～10	95.7	35.7	43.3	21.0	64.3
	～20	87.9	33.6	41.4	25.0	66.4
	～30	135.0	51.6	42.9	5.5	48.4
不耕起	0～10	116.4	46.8	49.7	3.5	50.3
	～20	125.1	47.4	45.4	7.2	54.6
	～30	124.0	45.7	42.5	11.8	57.6

註) 0～5 cm の土壌条件

耕　起：固相率 38.0 %，全孔隙 62.0 %

不耕起：〃　45.9 %，〃　53.2 %

表2に土壌3相分布の調査結果を示したが，耕起区に比較して不耕起区では容積重，固相率が高く，気相率が極端に小さい。また pF—水分分布曲線を調査した図2によれば，土壌の通気性と関連のある粗孔隙は不耕起区が極めて少なく，その孔隙の大部分は細孔隙に依存していた。これに対し，耕起区では各孔隙とも相対的に逆の傾向を示し，明らかに膨軟であると推察された。さらに図3には根圏部位における播種～収穫までの水分張力の変遷を掲げた。これによれば両区とも年間の水分張力はほぼ pF 1.5～3.0 の間にあるが，不耕起区では水分変動の幅が小さくて，7月中における動きも低く推移したために，当該時期が初期生育期間に相当しているうちは牧草に対する影響が少ないと思われた。しかし，その後の生育経過と水分張力の動きからみると，むしろ低 pF 値で推移する土壌水分が，かえって少ない気相または粗孔隙を充塡するために，

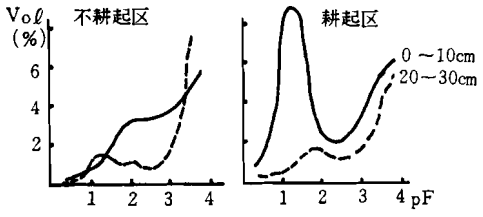

図 2 耕起の有無による pF—水分分布曲線

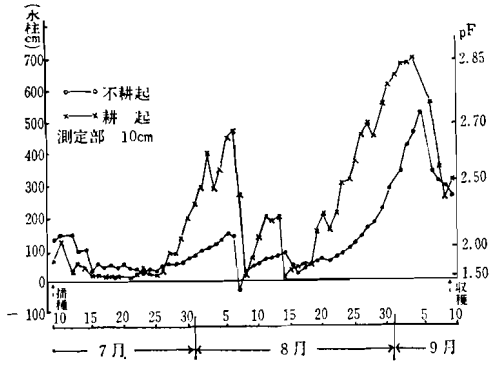

図 3 牧草栽培期間中における水分張力の推移

表 3 土壌の粗密が牧草の根系分布に及ぼす影響[6]

草種	採土部位 (cm)	粗区 根重 (g)	粗区 同比 (%)		密区 根重 (g)	密区 同比 (%)	
オーチャードグラス	0～5	1.81	50	70	3.00	90	100
	～10	0.72	20		0.34	10	
	～20	0.62	17		—		—
	～30	0.32	9		—		—
	～40	0.13	4		—		—
	0～40	3.60	100		3.34		100
チモシー	0～5	2.74	61	78	3.36	94	99
	～10	0.78	17		0.16	5	
	～20	0.75	17		0.05		1
	～30	0.70	4		—		—
	～40	0.06	1		—		—
	0～40	4.53	100		3.57		100

表 4　造成法を異にする経年草地の三相分布

区別		採土部位 (cm)	容積重 (g/100cc)	三相割合 (%) 固相	液相	気相	全孔隙 (%)	真比重	土壌硬度 (山中式)
不耕起		0～ 5	87.7	36.5	50.7	12.8	63.5	2.40	18.3
		～10	109.0	44.3	49.7	6.0	50.3	2.46	20.7
		～20	113.7	44.8	49.0	6.2	55.2	2.54	21.8
		～30	121.5	46.8	47.3	5.9	53.2	2.60	20.5
耕起	ロータベーター	0～ 5	100.8	41.4	49.6	9.0	58.6	2.43	23.7
		～10	103.4	41.9	48.3	9.8	58.1	2.48	21.3
		～20	113.7	45.0	46.4	8.6	55.0	2.53	20.9
		～30	123.4	48.0	45.8	6.2	52.0	2.57	21.1
	プラウ	0～ 5	114.9	45.9	47.8	6.3	54.1	2.50	24.8
		～10	107.7	42.5	51.2	6.3	57.5	2.53	21.6
		～20	125.8	47.7	47.0	5.3	52.3	2.64	21.9
		～30	118.4	45.2	48.4	6.4	54.8	2.62	20.2

土壌中での空気不足に拍車をかけ，窒素欠乏を助長したとみるべきであろう。一方，耕起区では適当な気相率の確保と水分欠乏にならない程度の pF の動きに支えられて，良好な生育を遂げたものと考えられる。

以上のことから，一般に不耕起方式における播種当年の生育不良は雑草との競合や粗腐植と鉱質土壌間の水分授受の不円滑性などによる影響のほかに，上述の諸要因が関与していると推測される。

このように，造成時における播種床の性格が異なるのであれば，幼牧草の根系に大きな影響を及ぼすことは明らかである。本試験においては当然の結果としてうけとめ，その調査は省略したのであるが，前報でも同様な検討を加えたので表3に再掲しておく。

つぎに不耕起，ロータベーター耕およびプラウ耕（以下，後2者を耕起群と略称する）の諸方式によって造成され，放牧地として利用されている5年目草地について，土壌の3相分布を調査した結果について表4に示した。これによれば，0～5 cm の部位で不耕起区に比べて耕起群の容積重，固相率が高く，気相率，全孔隙が低い。この場合の供試草地は既掲表2で述べたような不耕起区の造成時に地表の剝離をせず，無処理の条件で作成されたものである。従って，粗腐植などが混合または反転され，鉱質土壌が露出する耕起群では，放牧による蹄踏によって土壌表層部に圧密が加わった状態となる。これに対して，不耕起区では粗腐植層が蹄踏に際しての緩衝的役割を果したと思われる。すなわち，いずれにせよ，造成時における表層処遇方式の如何にかかわらず，次第に堅密化し，各測定値間に差がなくなることは想像に難くない。そして，当然のことながら2年目後半または3年目で地上部収量間にも差がなくなり[14]，いわゆる草地造成の完結をみるに至るわけである。この様相は初期生育の不振は不耕起区が当該環境（とくに理学性）を克服した結果とみるべきか，耕起群の土壌が次第に堅密化するために不耕起区の収量レベルまでに落ち込んでしまい，見かけ上，収量が接近してしまったとみるべきか，についての疑義には未だ明快な解釈がえられていない。この問題に関してい今後の検討に俟つとして，当該時点における牧草根の分布割合を調査したのが表5である。これによれば，大部分が0～10 cm の土層内に分布し，とくにごく表層の0～5 cm に80％が集中している。

表 5　造成法を異にする経年草地（5年目）の牧草根の分布割合

区分		採土部位 (cm)	乾草収量 (kg)	乾草根重 (g)	分布割合 (%)
不耕起		0～ 5	1,052	25.6	74
		～10		6.5	19
		～15		2.6	7
耕起	ロータベーター	0～ 5	1,216	42.0	80
		～10		8.7	16
		～15		2.3	4
	プラウ	0～ 5	1,140	33.0	80
		～10		5.3	13
		～15		3.1	7

既述したように土壌がち密であるほど根系は地表部に分布するが，ここでも耕起群の0〜5 cm 間の様相は同様の傾向を反映していた。これらのことから，草歴の老若を問わず，牧草根の表層集中化現象を惹起させる要因の一つに土壌の粗密性が関与していると思われ，とりわけその作用力は幼牧草時代で著しいと考えられる。

以上を換言すれば，造成当初は土壌の粗密性の影響が大きく収量を支配し，根域，根量の拡大が地上部生育を促進させるので，この関係は一年生畑作物の場合と何ら異なるところがない。しかし経年による地表堅密化は草地の宿命であって，これに伴い表層0〜10 cm に主根域が集中した現象については，播種当年のような土壌堅密化による影響だけでなく，各種の管理法に連なる草地特有の諸要因が複雑に組合わさった結果とみるべきであろう。

2 草地の利用および肥培管理と牧草の根系分布との関係

草地の経年化に伴い土壌表層が次第に堅密化し，これに対して牧草根も表層部に集中するに至ることを前項で述べた。一方，草地の施肥は常に top dress の条件下にあり，このため土壌表面のみ各成分が集積される。またこのことは放牧による糞尿の還元現象でも同様である。このような表層の化学的富化現象は永年草地の特徴であって，これが牧草根系に及ぼす影響について2，3の検討を試みた。

最初にプラウ耕によって造成し，放牧と刈取りの2区を設定して試験を継続している7年目草地について根系を調査した。その結果を表6に掲げた。

表 6 利用管理状態と牧草根の分布割合

区別		採土部位 (cm)	乾草収量 (kg)	根重 (g)	分布割合 (%)
放牧		0〜 5	1,090	63.6	94
		〜10		3.5	5
		〜15		0.7	1
刈取り	施肥	0〜 5	931	27.0	91
		〜10		2.0	6
		〜15		1.0	3
	無施肥*	0〜 5	未調査	27.0	85
		〜10		3.4	11
		〜15		1.4	4

* 刈取り（無追肥）区：造成時に堆肥 10 t/10 a P_2O_5, K_2O 2 kg/10 a 施用し，以後無追肥

これによれば，放牧と刈取り（施肥）区の比較でみると，収量は前者が勝り，この理由は糞尿還元に由来する結果[15]と見なされ，同時に測定した根系の分布割合は両者とも0〜5 cm 間に大部分が分布していたが，前者の集中化率が若干高かった。つぎに根量間の比較では圧倒的に放牧区＞刈取り区であったが，これは単位面積当たりの立毛数によっても規制されるわけで，実際の観察においても，放牧区の方が多かった。この現象は放牧による蹄踏圧（麦類などでは踏圧によって地上部を抑圧することで分けつ数を増加させ，発根数を増大させる[7]）によって発根数を増加させたことによるものと思う。先に筆者の一人が行なった土壌理学性の調査によれば，放牧区では固相率の増加に伴う気相率の減少が認められている[15]。すなわち，同一施肥管理条件下における草地利用方式の違いが根系分布に及ぼす影響は，放牧条件一糞尿が付加され，堅密化を促進する状態一で表層に集中化しやすいことを物語っている。

つぎに同じ刈取り区の中で毎年施肥しているものと無追肥で管理している区について根系分布を比較してみた。この場合においては土壌の物理性はほぼ同じと見なされるにも拘らず，施肥管理区は0〜5 cm で根系分布割合が高く，無追肥区は下層への伸長割合が高かった。そして地上部収量も後者が極端に低かった（未調査）。

以上のことから，草地における地上部収量と根系分布は何らかの相関があるものと推察されたので，この点をさらに明確化すべく，つぎの検討を試みた。

まず高位収穫を目的とした窒素用量試験の3年目のオーチャードグラス単播草地について根系分布をみ，（施肥量は10アール当り N 0，6，12，18 kg を硫安で早春および刈取りごとに施用した）得られた結果を表7に掲げた。これによると，N 施用量の増加に従って

表 7 窒素用量試験による牧草収量と根系分布の関係

区別	生草収量 (kg/10a)	根量 (g)	根系分布 (%) 0〜10cm	10〜20cm	20〜30cm
N 0 kg	790	33.6	70	21	9
6	2,020	35.6	75	19	6
12	2,070	27.2	75	19	6
18	2,160	25.3	86	16	4

多収となり，これと対応して根の分布割合も次第に0〜10 cm の表層に集まり，下層への伸長が少なかった。しかし根量そのものも N 6 kg を peak に減少する傾

向がみられた。

ところで，これまでの結果は圃場を中心に調査を行なったため，単位面積当たりの立毛数が一定せず，絶対根量との関係を検討することははなはだ困難であった。そこで根圏土壌を規制した条件下で放草の絶対根量と地上部収量との関係を検討することにした。試験方法は1/5,000アール，ワグネルポットを用い，これに天北農試未耕土（褐色森林土）のA層を充填し，窒素用量（N 0 g，0.05 g，0.1 g，0.2 g，0.3 g，0.5 g）6段階，3反復，3回刈りで実施した。供試牧草はオーチャードグラス（0.1 g/ポット）で，共通肥料としてポット当たり gP_2O_5，K_2O 各0.1 g，炭カル14 gを施用，Nは刈取り毎に施用した。得られた結果を図4に示した。

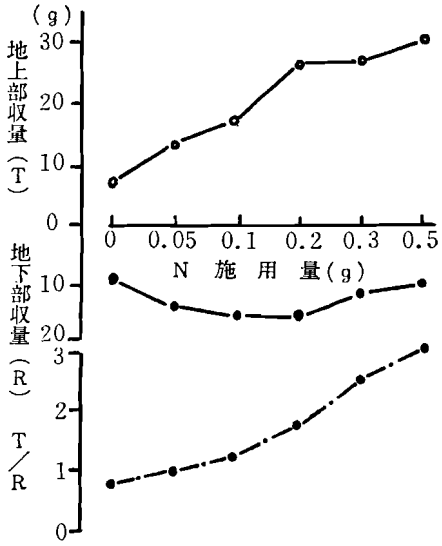

図4　窒素用量試験における地上部地下部とT/Rとの関係

N用量の増加に伴い地上部収量の増加をみたが，地上部はN用量0.2 gまで漸増したものの，それ以上では減少している。その結果，T/R比はN用量の増加に従って高くなった。本試験は圃場状態と異なり，播種量（立毛数）を規制しているので，地下部は絶対収量とみてよい。そこで，これをもとにして全乾物生産量とその地上，地下部への配分を算出し，表8に示した。これによれば，低施肥レベルでは地下部への配分割合が高く，施肥量の増加とともに根量そのものも増加傾向を辿るが，しかし，あるレベルの施肥量から地上部の旺盛な生産量においつかず，次第に地上部への配分が多くなり，さらに多肥条件下では70％を越える乾物が地上部に配分され，地下部それ自体の絶対量はむしろ減少するようになる。これらの結果は本州における水田裏作のイタリアンライグラス栽培[1]においても同様の傾向がみられている。つまり，経年化に伴う牧草根の分布割合から考えて，施肥の多寡が地上部，地下部収量を規制し，T/Rを決定しているものと思う。

表8　ポット試験における牧草の全乾物収量とその配分比

区　分	全乾物収量（g）	配分比（%）	
		地上部	地下部
N 0 g	16.4	45	55
0.05	27.1	50	50
0.1	32.0	54	46
0.2	41.8	64	36
0.3	37.2	72	28
0.5	40.2	75	25

以上はN施肥と根系の関係について述べたが，それでは施肥成分のうちで，どの要素が根系の発達に際して影響を及ぼすかについて検討する必要を認めたので，水耕培養法によって3要素試験を実施した。培養液は石塚氏の小麦培養液[16]を用い，供試牧草は本葉6～7葉になったオーチャードグラスの根を基部より2～3 mmのところで切断し，地上部は20 cmに切りとったもの（1本当り平均生草0.5 g）をポット当り4本宛移植し，10連制で行なった。生育期間は32日間である。この結果を表9に掲げた。

表9　水耕栽培法による肥料要素試験
—地上部，地下部収量とT/R比との関係—

区　別	草丈（cm）	茎数（本）	根長（cm）	生草収量（g）		乾草収量（g）		T/R
				地上部	地下部	地上部	地下部	
3 要 素	30.4	5.0	20.9	14.4	4.6	2.6	0.4	6.5
無 加 里	30.3	3.9	19.2	9.6	3.7	1.9	0.3	6.3
無 燐 酸	24.2	1.0	30.6	3.9	2.1	1.0	0.3	3.3
無 窒 素	20.8	1.0	26.9	2.3	2.0	0.5	0.2	2.5

これによると，3要素区は順調な生育をしたので，草丈，茎葉数とも多く，地上部収量も高かった。また同時に地下部もこれに対して根数の増加が認められ，その姿は紡錘型的であった。無加里区も全体としては小さいが，3要素区にほぼ類似の状態を示した。一方，無燐酸，無窒素区では草丈，茎葉数がほとんど増加せず，試験開始時の生体重と大差のない個体が認められたほどであった。しかし，根部の生育は進行し，しかも前2者より後2者においてその伸長が著しかった。このためT/R比をみると，3要素≧無加里≫無燐酸＞無窒素の順位となり，ここでも前述した乾物配分比の関係が首肯された。

以上のことから，前項での検討結果をも併せ考えると，牧草根の分布状態を規制する要因は，造成当初は土壌の理学性そのものの直接的影響が大きいとみられるが，年次の経過とともに次第に施肥管理を中心とした化学性の影響が強まってくるものと思われる。

3 一般管理草地における牧草の根系分布と収量の実態

前項までは土壌の物理，化学性が牧草根に与える要因を個々に取り扱ってきたが，実際に利用管理されている草地圃場では，これらの要因が単独で作用することはほとんど稀であろう。そして管理状態が牧草根の分布割合を規制しているならば，当然，地下部収量もこれに対応した生育反応を示していることになる。そこでこれらの実態について，すでに報告[11]した浜頓別町全域にわたって実施した51ヵ所の現地試験結果から，改めて検討を加えた。

まず，土壌の理，化学性が交錯している状態で根系規制がなされていると思われる出現土壌型と牧草根との関係についてみたのが図5である。これによると，地下水土壌型に近いものほど牧草根の表層集中化が認められる。土壌型の包含する特徴的な要因については hydromorphous であるほど化学的には腐植（養肥分）が表層に集積し[9]，物理的には土壌水分の影響[13]が大きく，無機質土壌同志間では堅密度が高く，気相が減少する，などが考えられる。したがって，既述の各調査結果も併せ考えると，これらの要因が組合わさって表層集中化を促進させていると思われた。この様相は併記した場内における調査結果でも同様であった。

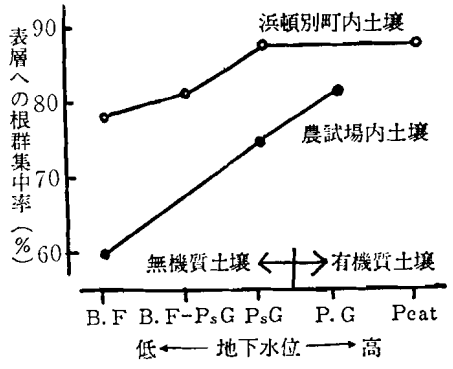

図 5 土壌型と表層（0～10 cm）への根群集中度との関係

つぎに高収・低収草地との関連で根系分布状態を調査したのが表10である。ここでいう高収・低収草地の区分は試験方法で述べたように同一圃場内で農家自身の判断によって選定した草地である。従って高収草地は施肥管理が良好で，これに対し低収草地は不十分な状態と続みかえることができる[11]。収量は高収草地が高かったのは当然としても，根群の傾向は表層の0～5 cm 間で比較すると，高収草地＞低収草地となったのに対し，10～20 cm の下層では逆に高収草地が少なく根群の下層への伸びがない。この値は土壌型，草種，管理状態などが込みにされているので，両草地間の差が僅少であったと思う。このように根系分布と地上部収量とは高い関連性があったので，さらに出現する土壌型ごとに整理してみても同様の結果が得られる。そこで代表例を表11に示す。このように，いずれの土壌型においても高収草地ほど根系は表層に集中化

表 10 一般管理圃場における高収・低収草地の根系分布

区別	生草収量 (kg/10a)		根系分布 (%)		
	無施用	3要素	0～5cm	0～10cm	10～20cm
高収草地	2,395	3,569	64	85	15
低収草地	1,624	2,865	58	83	17

表 11 土壌別牧草収量と根系分布

土壌型	高・低収草地の別	生草収量 (kg/10a)	根系分布 0～10cm	根系分布 10～20cm
酸性褐色森林土	高収	4,930	84	16
	低収	3,770	80	20
褐色森林土性疑似グライ土	高収	3,977	87	13
	低収	3,214	84	16
疑似グライ土	高収	3,763	87	13
	低収	3,022	79	21
沖積土	高収	3,142	86	14
	低収	2,830	83	17

するのであって，地上部生育量と根系分布割合がよく対応することがわかった。

IV 考 察

草地の経年化に伴って，対応的に変化する土壌理化学性の影響を直接的に反映するとみられる牧草根の分布状態について検討した。その結果

1 牧草根の発達は草歴の老若をとわず土壌ち密度によって直接的に影響を受ける。

2 経年化に伴って根系は表層部に集中する。

3 2の傾向は多収草地ほど顕著である。

などのことが明らかになった。そこで，これらの問題について考えてみたい。

まず1の現象については不耕起方式のように土壌が堅密であれば容積重，固相率が大きく，孔隙量すなわち空気量の不足によって牧草根が呼吸障害をうけ，2次的に養分吸収の悪化を惹起する。この事実は前報[6]でも述べた通りの傾向である。そして理学性に由来するこの阻害作用は，年ごとに増大する土壌のち密化現象と相俟ち，経年草地ほど，さらに強く働く筈であり，その結果として2の様相を示すようになろう。一方，土壌のち密性は褐色森林土→疑似グライ土へと配列した条件下においても増加し，しかも根系の表層集中化がこれに対応することから，草歴の老若を問わず，土壌のち密性は根系を表層に集中化させると推測される。このほか，図5で示したように有機質土壌では，さらにこの傾向が顕著であることから，地下水位の高低が本現象も助長する要因の一つでもあろう。しかしながら，ここで考慮しなければならない草地特有の問題がある。すなわち，まず牧草は分けつによって新根を発生する。経年的草地利用は頻繁な根の世代を促すが，連年更新される牧草根は土壌表層部を生活圏とするから，勢い活性の高い根ほど表層に集中化するようになる。従って，造成時の土壌が膨軟な時期に，深層まで伸長した根は，草歴が進むほどその養分吸収に関する機能的意義は薄れてくるものと考えられる。事実，経年牧草根の活性は表層の新根ほど高いことが ^{32}P を用いた吸収実験によって確かめられている[17]。

つぎに草地は常時 top dressing の環境下にあることである。一般に作物根が施肥位置に多く集中することは石塚ら[2]によって証明されているのであるが，草地における placement が地表部であるから，当然新根の表層集中化を促進することとなる。従って2の事実は，前半で述べた土壌理化学性に由来する点と，後者の新根一施肥位置の2面によって惹起された現象とみなければならない。この両者の根系集中化に関する影響力の強弱はどちらを因とし果となすかについて論ずるには到っていないけれども，草地歴が新しければ前者が，経年化によって後者の生理生態的，化学影響が強くなることは明らかである。

さらに3の現象についてみると，地上部収量と根系発達の関係は物質生産の配分率から理解される[3,18]。施肥量（養肥分）の少ないときは，地上部で生産された同化産物を根に転流して，個体維持のための根系発達を促すが，逆に地下部からの養分吸収量の多い場合は，同化産物がこれと結合して地下部の生産に多く消費される。従って，ポットおよび圃場における窒素用量試験結果を通じて，この考察が首肯されようし，また現地における管理良好な高収草地の根系は低収草地のそれよりも表層集中化率が大であったことからも実証しうる。この傾向は近年の多頭数飼育に伴う草地の集約管理上で一つの問題を提起する。すなわち，高収を策する草地ほど T/R が高くなり，牧草根の絶対量も減ずることになるが，2における根系の表層集中化の必然性をも考慮する場合，養肥分に富んだ土壌が垂直的に分布することの必要性が薄くなる。むしろ，表層の一定層厚が牧草根の生活圏であるから，多収を目的とした下層土肥培や深層施肥の意味に疑義を生ずるのである。勿論，集約栽培草地には畑酪経営内におけるような早期更新を繰返すものと，ある程度の収量で永年維持する利用法の2種類がある。前者での根系分布の傾向はイネ科畑作物のそれにほぼ類似するような推移を辿るとみられるので，下層まで肥培することの効果はある程度期待しえよう。しかし，筆者らの標榜する後者のような経営体系内での草地では，いかに表層を肥沃化し，良好に処遇するかにつきることになる。

さて，3の傾向によってえられた多収→根量の減少の関係から，改めて牧草根の1，2の機能について若干の私見を述べてみたい。従来までの指導方針は「根張りを深くすることが多収に直結する」といわれていた。しかし，これは一年生の普通作物に限ると思われ，草地においては土層内における垂直的分布より水平的広がりを強調する必要がある。そして表12には前掲図4における地上部，地下部の3要素含有率を示したが，前者の値がはるかに高い点も併せ考えると，牧草根は地上部の生育からみて養分吸収に関するストロー的意味が大きい。また Russell[12] によれば，心土中に分布する根は間接的な働きしかしていないとしていること，アルファルファにおける直根が主として水

表 12 地上部 (T) と地下部 (R) における3要素含有率 (%)

N用量	N		P_2O_5		K_2O	
	T	R	T	R	T	R
0	1.43	1.09	0.45	0.26	4.16	0.88
0.05	1.49	0.97	0.62	0.30	4.49	1.20
0.1	1.33	0.98	0.59	0.31	4.05	0.88
0.2	1.51	1.12	0.42	0.26	4.16	0.88
0.3	1.86	1.14	0.38	0.24	4.38	0.88
0.5	3.08	1.64	0.46	0.58	5.37	1.53

分を吸収し，表層部の細根が施肥位置に近い表層に分布すること[10]，などから供試した牧草においても，その垂直分布的根系内で水と養分吸収に関する機能分化が行なわれているものと思われる。

以上，今までは根系の分布状態から，主に養肥分の立場を中心に根圏土壌と牧草生育との関係について述べてきたが，ここで問題となるのは水分である。しかし本報告で取り扱った収量レベルが4〜5 ton（浜頓別町における平均収量2.8 ton/10 a）であったため，水分が収量制限因子とならなかったものの，集約多収栽培に移行すると蒸発散の増大，これに伴う下層からの水分供給の不足が当然考えられ，とくに下層からの水分移動が容易でない鉱質重粘土においては，根が表層に集中化する程旱ばつの影響を受けやすいものと思われる。したがって根圏土層への円滑な水分供給を講ずることが今後の重要な検討課題である。

V 引用文献

1) 北陸農業試験場作物部 1972：試験成績．24—30.
2) 石塚喜明，田中明，林 満 1962：畑作物に対する施肥位置に関する研究 第2報 施肥位置及び肥料濃度と根の張り方との関係，日土肥誌．34 (2)：44—48.
3) 川竹基弘，西村剛，志村清，石田良作 1964：飼料作物の根系発達特性に関する研究．第2報 施肥量および施肥位置が根の分布におよぼす影響．東近農試研報 10：140—145.
4) 南松雄 1970：北海道における塩土の成因，理化学的特性とその生産性向上に関する研究．道農試報告 18.
5) 三好洋 1970：近代農業における土壌肥料の研究 第1集．44．日土肥学会編.
6) 大崎亥佐雄，奥村純一 1973：根圏土壌の理化学性が牧草生育に及ぼす影響，第1報 土壌ち密度と牧草生育との関係 道農験集報，27：77—88.
7) 大谷義雄 1950：麦の踏圧の生理学的研究．農事試報告 67.
8) 奥村純一 1972：草地造成時における播種床処遇法について—とくに土壌中における牧草根との関係から— グラース 18：1.
9) ＿＿＿＿ 1973：天北地方に分布する各種土壌とそれに対応する草地造成，管理の基本方式．道農試報告 22.
10) ＿＿＿＿ 1974：欧米草地みてある記，北海道草地研究会報 8：104—113.
11) ＿＿＿＿ 坂本宣崇，大崎亥佐雄，関口久雄，山神正弘，長江幸一，安孫子茂，斎藤利雄 1972：天北地方における草地生産性の現状解析，—浜頓別町の例— 第1報 肥料3要素と草地の収量傾向．北農，39 (11)：18—31.
12) Russell E. J. 1950：Soil conditions and plant growth. 8 ed.
13) 佐久間敏雄 1964：台地土壌の物理的特性について，開発局土試月報．137.
14) 関口久雄，奥村純一 1973：天北地方の鉱質土壌における各種草地造成法と施肥，道農試集報 26：69—79.
15) ＿＿＿＿，＿＿＿＿ 1973：草地の放牧利用が2，3の土壌成分と収量に及ぼす影響．北農 40(7)：20—29.
16) 植物栄養学実験編集委員会編 1959：植物栄養学実験 朝倉書店，東京.
17) 北海道立天北農業試験場土壌肥料科 1972：草地土壌試験成績書.
18) 戸刈義次監修 1972：作物の光合成と物質生産．養賢堂，東京.

Bull. Hokkaido prefect. Agric. Exp. Stn. 32:35-44 (1975)

Effects of Physical and Chemical Properties of Rhizosphere on the Growth of Pasture Crops

II. Distribution of herbage root in mineral soil

Isao ŌSAKI*, Jun-ichi OKUMURA* and Hisao SEKIGUCHI**

Summary

It follows as a natural consequence that the development of roots in a grassland has been directly influenced by change of physical and chemical properties of a rhizosphere with the lapse of time. Accordingly, studies were carried out to clarify relations between the distribution of herbage roots and soil conditions.

The results obtained were summarized as follows:

A: The development of roots was straightly influenced by the hardness of soil, regardless of the stage of growth, young or old.

B: The roots were annualy accumulated toward a soil surface (0~10 cm in depth) by appropriate management including top dressing and operating of farm machines. This phenomenon would be caused as a result of the accumulation of new roots which grow corresponding with the operation of tillers for the continual application of top dressing, in addition to keeping soil from becoming hardended as mentioned in A.

C: The tendency stated in B in the grassland which obtained a high yield was more remarkable than in the grassland with a low yield. It would be explained from a standpoint of the T—R ratio in which the apportionment of produced carbohydrate is decided by the quantity of nitrogenous fertilizer.

* Hokkaido Prefectural Tenpoku Agricultural Experiment Station, Hamatonbetsu Hokkaido, 098—57, Japan.

** Ibd. (now Hokkaido Prefectural Konsen Agricultural Experiment Station, Nakashibetsu Hokkaido, 086—11, Japan.)