

造成草地 of 土壤形成に關与する生物因子

—生態学的草地造成法の提言—

鈴木 創三*・小林 裕志*

Biological Factors involved in the Formation of Soils in Established Grasslands

—A Suggestion of Ecological Method of Grassland Establishment—

Sohzoh SUZUKI and Hiroshi KOBAYASHI

Faculty of Engineering for Animal Husbandry, Kitasato University

1. はじめに

筆者らは青森県の山間未利用地において、日本の風土に適した草地造成法の試験研究を行ってきた。この間に、日本の草地畜産を取り巻く環境は変化し、草地造成法については低コストのみならず自然生態環境の保全に留意することが強く要請されるようになった。造成草地はその後の利用にともなって、草地としての土壤に変化（成熟化）して行く。このような草地土壤の形成には物理・化学的な因子に加えて生物因子は極めて重要と考えられる。本稿では、このような生物因子が造成草地の土壤形成にどのようなかたちで關与しているかを既往の研究成果をもとに整理し、自然生態環境に留意した草地造成法の方向性について検討したい。

2. 牧草栽培の特異点

牧草栽培は稲や畑作物の栽培と異なり、以下の4点のような特徴がある。

①草地の立地条件：草地は平場、里山および奥山（山地）のような立地条件によって、共存する水田や畑との経営方式が異なる。一般に日本の草地は平場よりも里山および奥山に多いことが特色である。里山に比べて奥山の草地は集約的な維持・管理が難しい。このため奥山の草地は粗放な管理のもとで放牧地として利用されるケースが多い。東北地方では夏期に奥山の公共牧場などに放牧した後、冬期に平場で舎飼いする「夏山冬里方式」が肉牛の飼養法として定着している。

②不耕起栽培：草地は造成時に表層土を耕起するが、それ以後は数年後に更新するまで耕起をしない。このよ

うに耕起を全く行わないことは、毎年耕起を行う水田や畑地との決定的な差異である。

③多年生牧草の連作：牧草は密生作物であり、多くは多年性である。この牧草を耕起をせずに多年にわたって草地に連作する。このため牧草の根系は地表面および表層土に発達し、草地土壤特有の多量の腐植を集積する一因となる。

④追肥・追播・放牧もしくは刈取り：採草地では作業機械により追肥・追播・刈取りが行われる。肥料や種子、場合によっては土壤改良資材が地表に散布され、年毎に大型化するトラクタ等により地表面は踏圧を受ける。また、放牧地では家畜が牧草を採食するだけでなく、同時に踏圧・糞尿還元を行う。このような放牧家畜のインパクトによって、放牧地特有の土壤が形成されて行く。

以上のような牧草栽培の特色から、草地の土壤形成作用には生物すなわち牧草の根とそれを取り巻く家畜、土壤動物および土壤微生物の因子の働きが重要であると推察される。

3. 草地造成法の分類とわが国における問題点

わが国で行われている草地造成法は耕起法と不耕起法の2つに分けられ、前者は物理的に表層土あるいは下層土を耕起したり、切盛ることから物理的造成法と称することができる。一方、後者は現地形はそのままにして前植生を処理し、追肥・追播・放牧もしくは刈取りを適切に行うことによって、牧草を野草と植物生態学的に競合させてゆくことから生態学的造成法と称することができる。

これらの造成法の分類とわが国における問題点は以下のように要約される。

①物理的造成法には改良山成工法、耕起方式山成工法および階段工法の3種がある¹⁾。これらの問題点として、

*北里大学畜産土木工学科

土層攪乱あるいは土壌移動が大きいために造成中および造成直後の土砂流出および水質汚濁のおそれが大きいこと、不良下層土が地表露出する場合には表土扱いもしくは有機質土壌改良資材の投入が必要となることなどがあげられる。また、雑物除去により形成される排根線は草地として利用できないだけでなく、これに登った家畜の転落事故や野ネズミの巣になることなどが指摘されている。

②生態学的造成法は不耕起方式山成工法のみであるが、その内容は火入れ直播法、蹄耕法およびスタンプカッターブッシュカッタ法がある。火入れ直播法および蹄耕法はニュージーランドで発達・普及している²⁾。しかし、日本のような温帯湿潤気候条件下では前植生や根株などを十分に焼き払うことは難しく、野草の再生力も旺盛である。また、多数の家畜をコントロールする技術・施設が造成時に要求される蹄耕法は、現在行われているような奥山地帯の放牧草地造成に適用することは難しい。

一方、日本の風土に適した不耕起草地造成法として著者らが提唱したスタンプカッターブッシュカッタ法は、

火入れを行わずに機械力によって根株や前植生をその場で切断・粉碎し、家畜の踏圧の代わりに重機械の履帯を用いて前植生の抑圧と播種・鎮圧を行うものである³⁾。この方法により前述した火入れ直播法および蹄耕法の欠点は補えるが、造成直後に播種床に多量に存在する破碎木片が牧草の生育にどのような影響を及ぼすかについては未検討な問題がある。

4. 土壌形成に関する生物因子

①牧草の根

牧草の根は表層土、下層土および地表面でその形態、量および機能が異なる。根の先端の構造は図-1のように分裂帯、伸長帯、成熟帯に分けられ、分裂帯の先端には根冠およびムシゲル鞘がある⁴⁾。根の伸長は根冠部における細胞分裂に伴って起こり、この根冠部を先端とした分裂帯および伸長帯が土壌中へ侵入して行く。この時に、根の中心部は変形しにくい、外部の皮層は変形しやすく、横断面が土壌粒子同志の隙間の形をしている例が観察されている。また、根の先端部を覆うムシゲル鞘

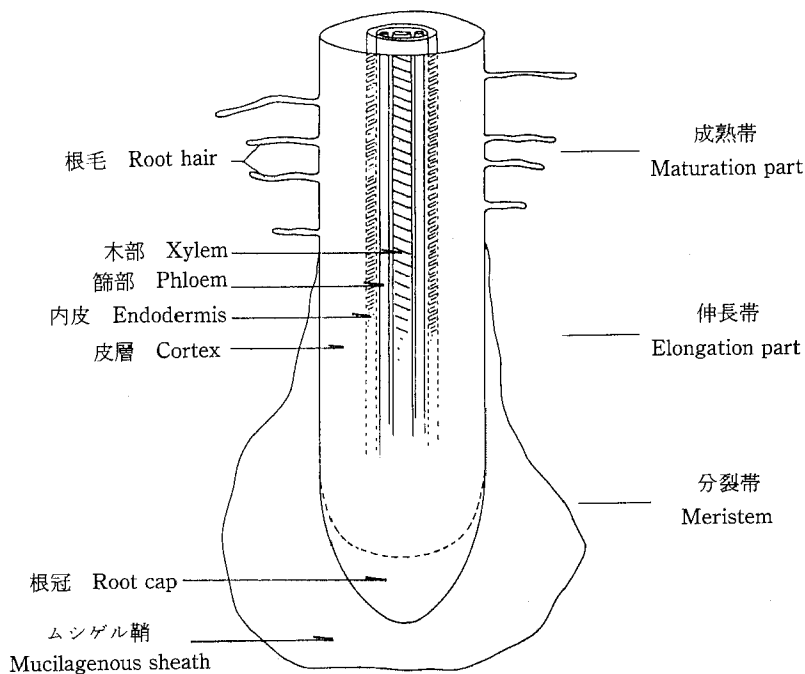


図-1 植物根の頂端部略図

Fig. 1 A schematic illustration of the apical part of plant roots.

は、硬い土壌粒子の間を根の表面を傷めずに侵入して行くうえで大切な役割を果たしているだけでなく、後述するような土壌微生物の住み場所としても安定な環境条件を持っているといえよう。さらに、このようなムシゲルは団粒形成の際には砂や粘土等の粒子をつなげあう接着剤として作用すると推察されている。

牧草の根の形は図-2のようにマメ科牧草とイネ科牧草とで異なる³⁾。前者は主根 (main root) が地下に垂直に伸び、それから側根 (branch root) が水平方向に伸びる。一方、後者は株を中心放射状に不定根 (adventitious root) が広がり、この不定根から根毛の発達した側根 (branch root) が伸びてゆく。図-3は土壌の理化学性を全層均一に処理した土壌に生育させた牧草の根の深さごとの本数である⁶⁾。0~10 cm 深の牧草区の根量は陸稲区に比べて多く、そのうち老朽根の割合も高い。草地の表層土においては、永年的に耕起せずに牧草が栽培されるため、このように牧草の根系が非常に発達して密生した、いわゆるルートマットが形成される。

このルートマットの用語の定義はこれまで研究者によって異なり不明瞭であったが、筆者らは図-4のように整理している⁷⁾。すなわち、草地表層を根および枯死茎葉部からなる R 層、多量の根が密生した土壌の RS 層、

いくらかの根が含まれている土壌の S 層の3つの層に分けると、R層およびRS層がルートマットと定義される。図-5に示すように採草地 (M-1~3) および放牧地 (P-1~3) では、利用年数が4~5年、13~14年および20年以上と増加するにしたがってR層およびRS層で示したルートマットの厚さが増加し、いずれの利用年数においても採草地 (M) より放牧地 (P) の方がR層、RS層ともに厚くなっている⁷⁾。とくに根量は図-6のようにR層の量がRS層に比べて著しく多くなっている。R層の根および茎葉部の給源としては、図-7に示すようなイネ科牧草に特有の「うわ根」と称されるような「地表根」が重要と推察される⁸⁾。しかし、この根の諸性質については未解明な点が多く残されている。また、これらの採草地および放牧地の表層土の硬さを直径1 mmの針の侵入抵抗と比較すると、図-8のように採草地 (M) に比べて放牧地 (P) では深さ1~2 cmのところが最も抵抗が大きく、その値は利用年数の増加に伴って大きくなっている⁷⁾。このような侵入抵抗の増加には形成されたルートマットの根系の発達、根の給水に伴う土壌粒子間距離の減少、家畜の踏圧にともなう密度の増加などが関与すると推察されている。さらに草地土壌の根による土壌中の養分や水分の吸収特性については施肥位

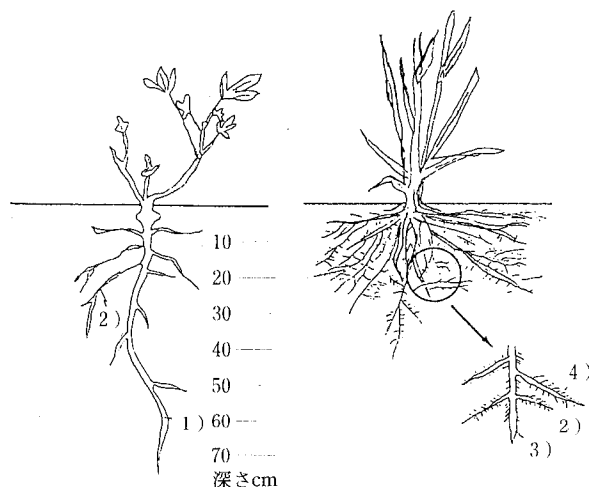


図-2 播種後12週間経過した牧草の根系

左：マメ科牧草（アルファルファ） 右：イネ科牧草（イタリアンライグラス）

1) 主根, 2) 側根, 3) 不定根, 4) 根毛

Fig. 2 Forages' root-systems at 12 week after sowing.

left: Legume (alfalfa) right: Grass (Italian ryegrass)

1) main root, 2) branch root, 3) adventitious root, 4) root hair

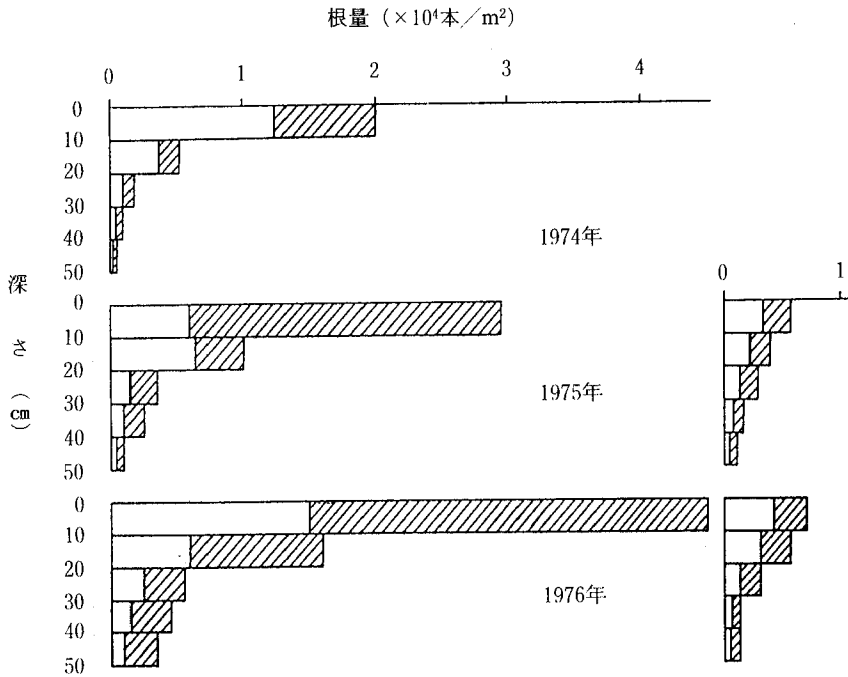


図-3 深さ別の活性根分布
 左：牧草区 (チモシー) 右：陸稲区 (シモキタ)
 白色部は活性根, 斜線部は老朽根
 Fig. 3 Distribution of new roots in soil profiles.
 left: grass plot (Timothy) right: Upland rice (Shimokita)
 Blank part: new root, Hatched part: old root

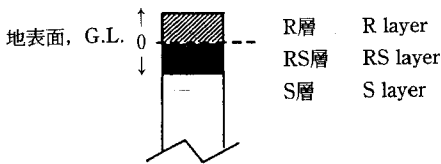


図-4 草地表層の分類
 Fig. 4 The classification of the surface layer of the grassland.

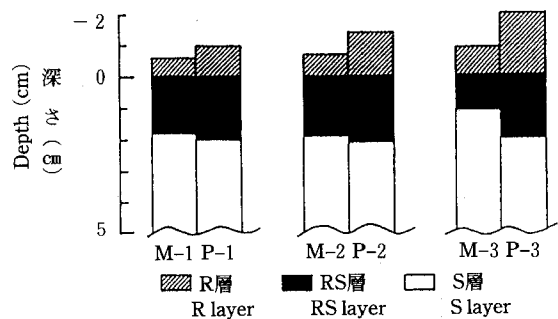


図-5 採草地および放牧地におけるルートマットの集積
 M-1, -2, -3 : 利用 4~5, 13~14, >20年の採草地
 P-1, -2, -3 : 利用 4~5, 13~14, >20年の放牧地
 Fig. 5 The accumulation of root mats on the meadow and grazing land.
 M-1, -2, -3 : Meadows used for 4~5, 13~14 and more than 20 years respectively.
 P-1, -2, -3 : Pastures used for 4~5, 13~14 and more than 20 years respectively.

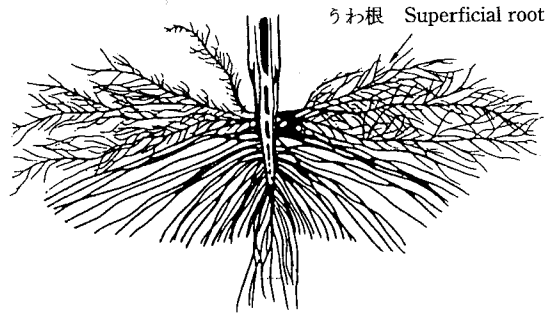
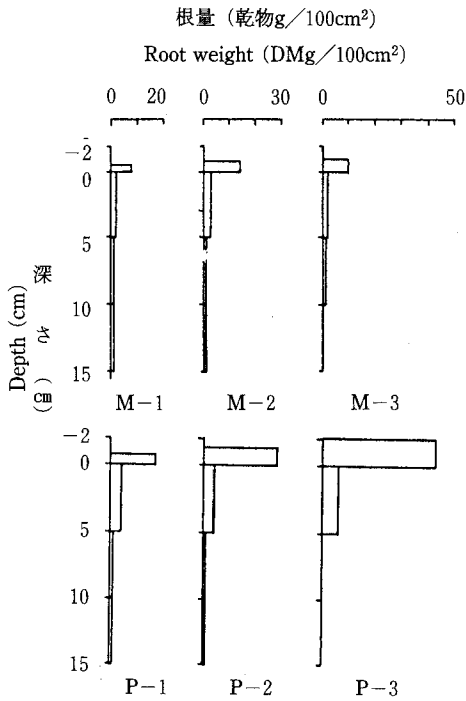


図-7 イネのうわ根
Fig. 7 The superficial roots of rice.

図-6 採草地および放牧地のR層および深さ15cm深までの土壌中の根重分布
M-1, -2, -3 および P-1, -2, -3 の凡例は図-5と同じ

Fig. 6 The distributions of root weights in the R layers and the soils until 15cm in depth in the meadow and grazing land.
The legend of M-1, -2, -3 and P-1, -2, -3 is noted in Fig.5.

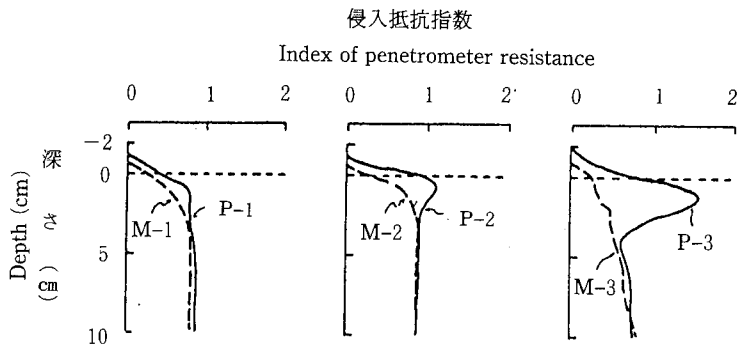


図-8 採草地および放牧地のR層および深さ10cm深までの土壌の侵入抵抗
M-1, -2, -3 および P-1, -2, -3 の凡例は図-5と同じ

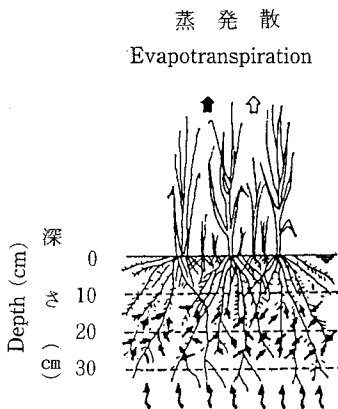
Fig. 8 The change of penetrometer resistance of the R layers and the soils until 10cm in depth in the meadow and grazing land.
M-1, -2, -3 and P-1, -2, -3 are noted in Fig.5.

置や根群域との関係からも検討されている。養分の面からは根が施肥量の多い位置に発達することや、草地の土壤溶液中のカチオンおよびアニオンの濃度は栽培期間の進行にともなって表層よりも下層で高くなること等が報告されている⁹⁾。既述したルートマットの定義の中で多量の根が密生したRS層と、根の量が少ないS層の存在について述べた。これらの層の根の水分吸収能力を牧草刈取前後の土壤水分張力および水分消費型などから検討した結果、図-9のようにS層に相当する10 cm以深の根は根自身の給水作用が活発であるが、RS層に相当する0~10 cm深の根はそれよりも根端から吸収された水分を茎葉部へ送り出すパイプとしての役割が大きいことが推察された¹⁰⁾。

さらに、このような牧草根によって草地土壤の物理・化学的性質のみならず粘土鉱物学的性質も影響を受けることが、表層として露出した埋没下層土の粘土鉱物の牧草根圏内の分布から推察された¹¹⁾。造成2年後の草地において、図-10のようにイネ科牧草の株を中心にして同心円状に1 cmごとの厚さで土壤を採取した。この時の物理性、とくにpF-水分曲線の変化は図-11のようになり、造成前に比べてpF 1.0~3.2の勾配が大きくなっていった。この勾配は付近のクロボク土に比べて小さかったが、今後増大することが推察された。さらにこの時のpH(H₂O)の変化は図-12のようになり、造成前に6.91だった値が株および表層に近いところほど低下し、とく

に株から5 cm以内の距離にある2 cm深までのものでは、5.82~5.97と6以下の値を示していた。また、炭素含量の分布は図-13のように造成前には0.1%ときわめて僅かだったものが、最表層のルートマット(0~1 cm)では3.97~6.17%ときわめて高く、以下1~2 cmでは0.80%~0.94%、2 cm以深は0.3%から0.1%へと漸減した。各土壤セクション試料の粘土画分の粘土鉱物および鉄酸化物の組成は図-14のようになり、造成前に比べてシュウ酸ナトリウムおよびクエン酸ナトリウム可溶成分の割合が減少した。とくにアロフェン・イモゴライトを溶解するとされているシュウ酸ナトリウム可溶成分の割合はイネ科牧草の株に近いセクションほど減少した。さらに、結晶性粘土鉱物組成は図-15のようにセクションによって異なり、とくに14 Åおよび10 Åのピークの割合は図-16のように造成前の0.75と比べてイネ科牧草の株に近いところでは大きく、遠いところでは小さくなっていった。

また、牧草根による土壤緊縛作用は根の体積増加、水分吸収や乾燥に伴う土壤粒子の接近のみならず前述した根毛から分泌される粘着物質(ムシゲル)の作用も原因と推定されている。表-1はイネ科牧草の根が捕縛する砂粒子の重量と、根の粘着力を測定した結果である¹²⁾。栽培期間の増加にともなって根全体に付着した砂の重量は3 gから260 g、また、根1本あたりのそれは0.2 gから2.3 gへとそれぞれ増加している。一方、ガラス板に



水分移動 Water movement	根の分布 Distribution of roots
茎葉部への導水 Pass to leaves and stems	全根量の80%が存在、 うち大部分は老朽根 ・ 80% of whole roots ・ Most of it were old
吸水 Suction	全根量の20%以下 うち大部分は活性根 ・ less than 20% of whole roots ・ Most of it were new
上層への補給 Supply to upper layers	根の存在は微小 ・ little

図-9 草地の水分移動模式図

Fig. 9 A schematic diagram of water movement in a grassland.

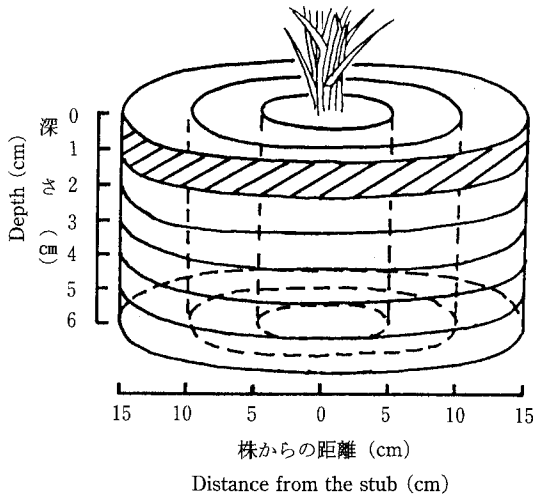


図-10 土壌セクション試料の概要図
 斜線部 (0~1cm深) はルートマット
 Fig.10 An oblique view of soil section samples.
 A hatched part (0~1cm in depth) is a root-mat.

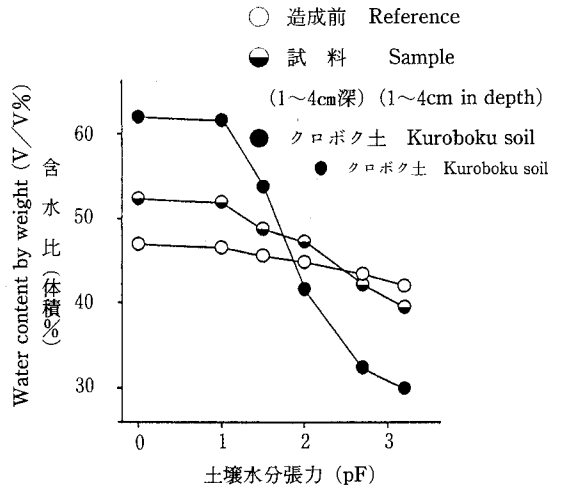


図-11 試料およびクロボク土のpF-水分曲線
 Fig.11 pF-soil moisture curves of samples and a Kuroboku soil.

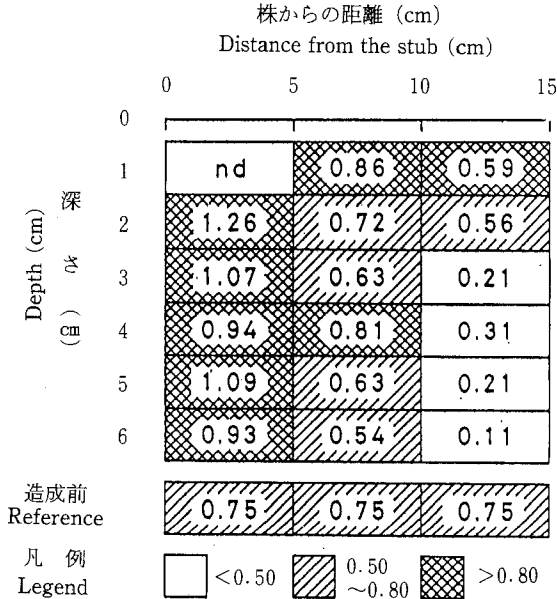


図-12 土壌セクション試料のpH(H₂O)
 土壌 : 水 = 10g : 25ml
 Fig.12 pH(H₂O) of soil section samples.
 Soil: water = 10g : 25ml

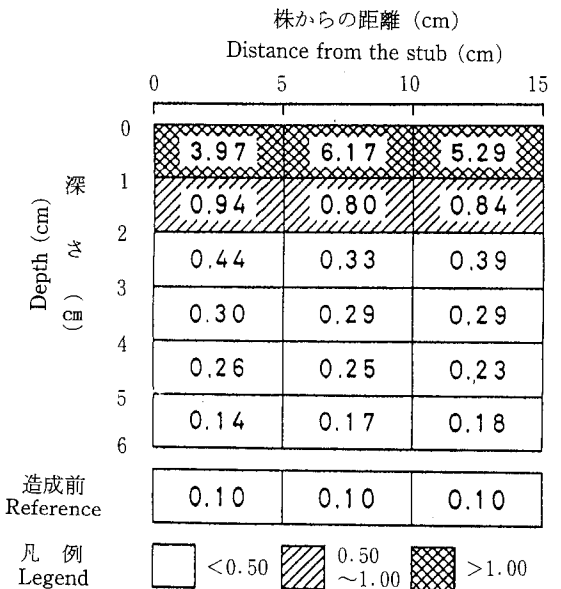


図-13 土壌セクション試料の全炭素含量
 ウォークレイ法により測定, 数値は乾土あたり %
 Fig.13 Total carbon contents of soil section samples.
 Determined by Walkley's method.
 Figures show % by oven dry basis.

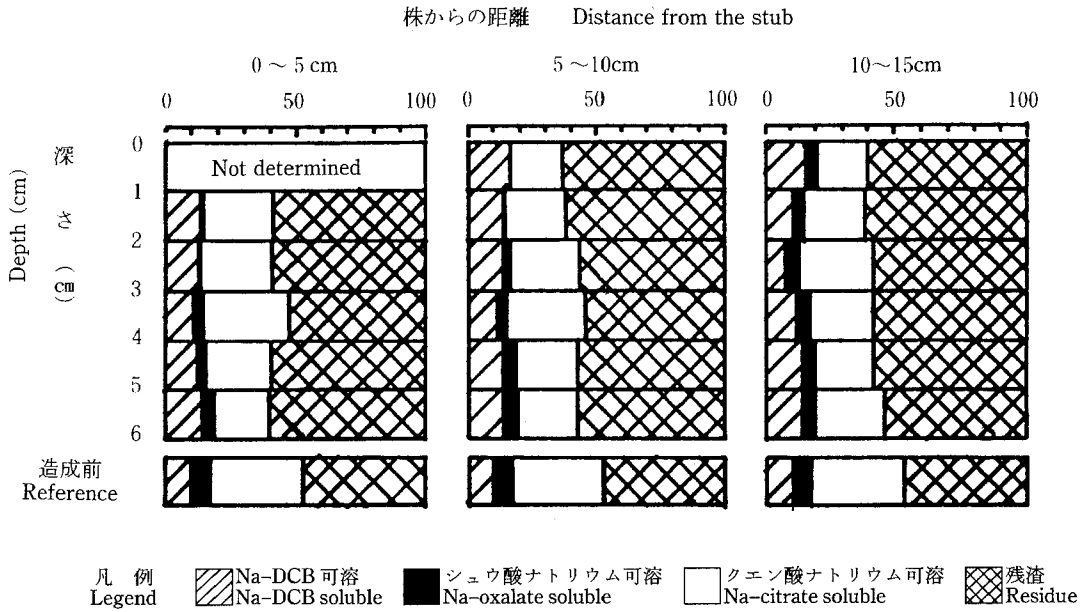


図-14 粘土画分の各処理溶解成分の割合 (%)
 Fig.14 Proportions of each soluble component of clay fractions (%).

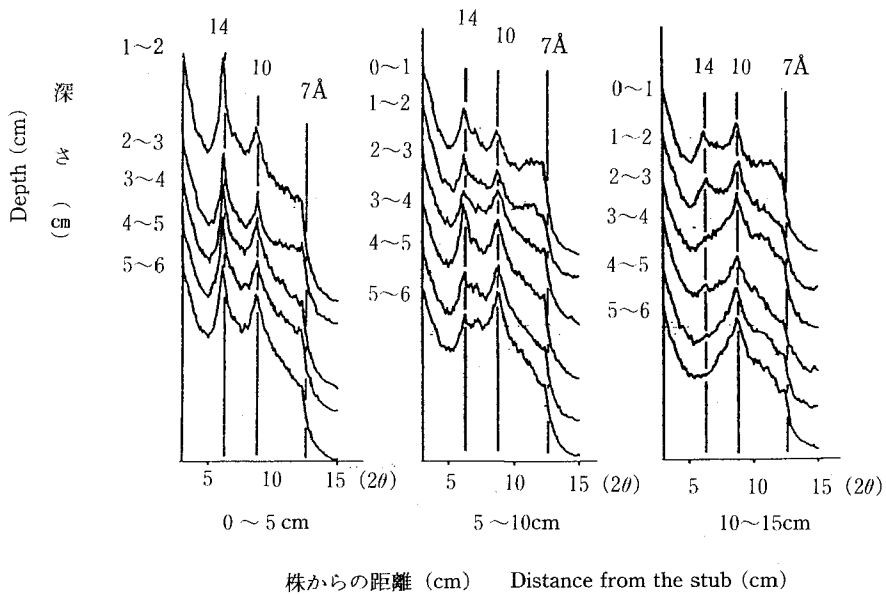


図-15 土壌セクション試料の粘土のX線回折図
 Fig.15 X-ray diffraction patterns of clays of soil section samples.

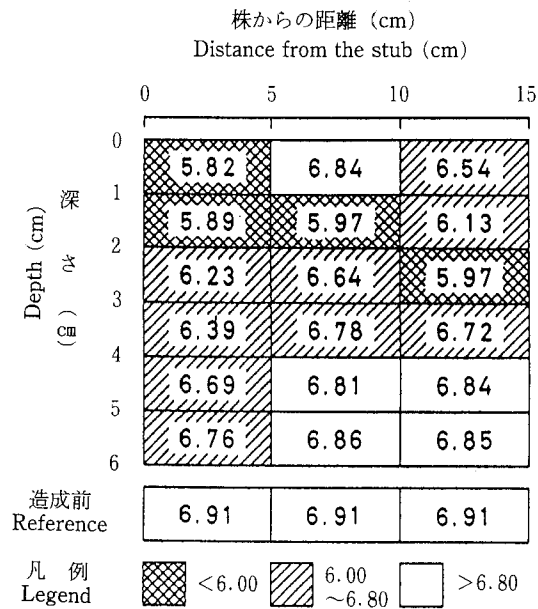


図-16 土壤セクション試料中の結晶性粘土鉱物の14Å:10Åピーク強度比

Fig.16 Intensity ratios of 14Å to 10Å peaks of crystalline clay minerals in soil section samples.

表-1 イタリアンライグラスの根の砂粒子捕縛能力および粘着力*

Table 1 The ability of catching sand and adhesion strength of roots of Italian ryegrass**

		播種後週数 Weeks after sowing		
		4	8	12
イネ科牧草, 茎葉部	Forage grass, top			
分げつ/個体(本)	Tillers/plant (no.)	1.7±0.3	11.2±1.0	32.0±4.4
最大葉長 (cm)	Maximum leaf length (cm)	17.1±2.0	33.0±3.1	42.8±4.6
イネ科牧草, 根部	Forage grass, roots			
平均根長 (cm)	Mean length (cm)	6.1±0.9	16.7±1.1	21.8±1.0
最大根長 (cm)	Maximum length (cm)	9.0±1.0	30.9±1.7	47.3±1.6
全根長/個体(本)	Total/plant (no.)	10.6±1.2	34.8±3.2	113.5±23.4
乾重 (mg/ 個体)	Dry weight (mg/plant)	6.8±2.2	234.9±46.1	1041.4±184.4
捕縛砂粒子	Catching sand			
全重 (g/ 個体)	Total weight (g/plant)	2.8±0.9	82.2±18.2	258.2±44.2
重量/根 (g)	Weight/root (g)	0.2±0.6	2.2±0.5	2.3±0.4
粘着力	Adhesion strength (g/root)	15.9±1.6	19.1±3.0	18.4±1.7
試料数	Sample numbers	16	10	13

* 平均値±標準偏差

**mean±S.D.

2日間生育させた根を引き剥がす時の抵抗力は根1本あたり16gから18gと2g程度の増加であるが、根の数が増加していることを考慮すると、牧草1個体あたりの根としてはかなり大きな値になる。

さらに、このような根が土壌中に伸長してその根系を発達させることによって、土壌の孔隙構造の形成に一定の役割を持つことが推察される。特殊な造影剤を用いた軟X線の立体写真によって、土壌の粗孔隙系は植物の根系とよく類似していることが明らかにされたことは、このような可能性を強く支持するものである^{13,14)}。

②土壌動物は地表・地中の植物や動物の遺体を食べる粉砕（分解）と土壌を耕うん（攪拌）する二つの作用を持つ。草地に於いては一般的に大型土壌動物のミミズ、中型土壌動物のダニとトビムシ類が多く、他の環境条件に比べて生息密度が低く、種類相が単純とされている。個体数は春から秋にかけて増加した後、冬に減少するとされている。しかし、土壌動物相は草地の放牧・採草の利用の違いや、土壌の乾燥密度、硬度、水分含量等によっても異なる。

例えば、ヒメミズ類の分布は裸地ではほとんど認められないが、小麦や陸稲のようなイネ科植物を栽培しているところでは、根の量が多いところ、即ち、深さ、距離ともに株に近いところほど、その数が多いとされている¹⁵⁾。さきに根の項で述べた永年利用の放牧草地（P-3）および採草地（M-3）の土壌動物相は表-2のように大型土壌動物は採草地に比べて放牧地の方が種類、数ともに少なかった⁷⁾。しかし、中型土壌動物では表-3のようにRS層では種類、数ともに放牧地のほうが採草地より少なかったが、逆にR層では放牧地の方が採草地に比べて種類は少なかったものの数が多かった⁷⁾。この原因は放牧地の方が採草地に比べてRS層では土壌が硬く緻密になるため、動物が生息しにくくなるためと推察された。

③土壌微生物相としては一般に細菌、放線菌および糸状菌の三種が調べられている。根の表面から5mm以内が根圏とされ、ルートマットでは表層土のほとんどの部分がこの根圏に相当する。根圏の微生物は非根圏のそれより活力が大きく、根の分泌物の影響とされている。

表-2 R層およびRS層中の大型土壌動物相の数（匹/cm²）

Table 2 The number of large-sized soil fauna in the R layer and the RS layer (Nos./m²)

試料	Sample	M-1	P-1	M-2	P-2	M-3	P-3
ミミズ類	<i>Enchytraeidae</i>	10	20	16	7	100	20
クモ類	<i>Araneae</i>	5	14	10	3	10	—
ムカデ類	<i>Chilopoda</i>	2	5	10	3	10	—
甲虫類 (幼虫)	<i>Scarabaeidae</i> (<i>Larva</i>)	4	40	10	20	20	30
(成虫)	(<i>Imago</i>)	4	—	1	—	—	—
ハネカクシ科 (成虫)	<i>Staphylinidae</i> (<i>Imago</i>)	3	—	—	—	—	—

表-3 R層およびRS層中の中型土壌動物相の数（×1,000/m²）

Table 3 The number of medium-sized soil fauna in the R layer and the RS layer (×1,000/m²)

試料	Sample	M-1		P-1		M-2		P-2		M-3		P-3	
		R	RS	R	RS	R	RS	R	RS	R	RS	R	RS
線虫類	<i>Nematoda</i>	266.5	95	158.5	39	58	54	50.5	40	176	66.75	541	56
トビムシ類	<i>Collembola</i>	16.5	5	8	1	4	2	5.5	0.5	31.5	0.5	1.3	—
双翅目 (幼虫)	<i>Diptera</i> (<i>Larva</i>)	1.5	1.5	1	0.5	2.5	0.1	2.5	0.1	4	2.75	8.55	0.05
ダニ目	<i>Acari</i>	13	7.5	5	1	1.5	1	4.5	1	1.85	0.75	2.5	0.25
輪虫類	<i>Rotatoria</i>	20	0.5	4	2.5	8.5	1.5	4	0.5	26.75	1	4.25	—
緩歩類	<i>Tardigrada</i>	1	—	1	—	0.1	—	0.05	—	1	—	—	—

また、逆に牧草に有害な微生物が根の生育を阻害する場合もある⁴⁾。

著者らが検討している生態学的草地造成法では、造成直後に播種床に多量の破砕木片が存在する。一般に、このような木片の腐朽にはいわゆるキノコのような菌類の作用が大きいとされている。これに加えて、土壌中の細菌等の微生物の作用あるいはその種類や数の変動も予測されるため、微生物相を検討したところ、造成直後の現地では木片の多いところのほうが少ないところよりも細菌、放線菌および糸状菌の菌数が少なかった¹⁶⁾。しかし、現地土壌を用いたポットモデル実験ではこれとは逆に、木片抽出液が細菌および放線菌を増加させ、糸状菌を減少させることが推察された。

また、土壌中の細菌および放線菌の中には通常より低濃度の栄養条件にある培地でよく繁殖する種類があり、通常はそれらの数が多いことが報告されている¹⁷⁾。放牧草地では家畜の排泄する糞尿によって土壌中に一時的に高濃度の栄養が与えられる。このような時に、糞尿直下の細菌および放線菌のうち、低栄養条件で増殖しやすいものと通常の高栄養条件で増殖しやすいものととの比率は一時的に変動し、その変動には温度条件が関与することが推察された。

5. 生態学的草地造成法の提言

土壌は単なる岩石の風化生成物ではなく、長期間にわたって生物、とくに植物の作用を受けて層位分化したものである。この生物の作用こそが土壌を形づくる最も重要な因子であり、実に狭く、微小な世界で、ダイナミックな活動を行っている。このような生物因子は、他の物理・化学的な因子と複雑に絡み合いながら、結局、その土地特有の風土を反映させた土壌を形成するわけである。したがって、造成草地の土壌形成を考える場合にも、このような因子の特性を知り、より適切に利用することが大切である。とくに、最近では自然生態環境の保全に対する理解が社会全体に広まりつつある。これからの土壌関係者にとって、自然生態環境や人間社会環境の保全は大きな課題となることが予測される。そのような意味で大きくは地球規模のスケールで、そして小さくはたったスプーン一杯の土の中で行われる生物のダイナミックな自然生態の営みを、積極的に活用して行くことが重要といえよう。

その意味で生態的草地造成法は、今後の草地造成および維持・管理法として極めて有力なものになるであろう。さらに、これまでは単に生産力の面からのみ計画や

造成が評価されていた農地を、さらに美しい景観としてとらえられるものにするためには、一体、どのような方向性を目指すべきなのであろうか。それは、私達自身の美に対する概念の変革を伴うものであることは否めないが、万人の好む、万人が美しいと感じるものであらねばなるまい。そのために、ヨーロッパでは既に学問として定着しているランドスケープエコロジー (Landscape Ecology, 景観生態学) を日本の風土に適合させつつ導入して行くことは、当面の作業としては極めて現実的かつ具体的なものになると推測される。

著者らは以上のような観点に立って、日本の風土に適合し、かつこの美しい自然生態環境を保全し、利用することができるような草地造成法として、著者らがこれまで試験研究を行ってきたスタンプカッターブッシュカッター法による不耕起方式山成工法を生態学的草地造成法として提言する。この方法は土壌移動が無いために造成中および牧草の定着までの土砂流出のおそれが極めて少なく、また腐植に富む表層土を保存しつつ林地の植生から草地の植生へと生物因子を主体に転換して行くため、自然生態環境の変化が少ない等の利点を持つ。さらに、ヨーロッパの草地造成に於いては定着しつつあるランドスケープエコロジーの面からも評価される造成法と考えられるからである。

引用文献

- 1) 山根一郎・伊藤 巖・岩波悠紀・小林裕志: 新草地農学, pp. 116-123, 朝倉書店 (1989)
- 2) 小林裕志: 草地畜産の国ニュージーランドを訪ねて, 農業土木学会誌, 53 (6), pp. 499-506 (1982)
- 3) 小林裕志: 機械力による不耕起草地造成試験 (I), 農業土木学会誌, pp. 499-506 (1985)
- 4) R.S. ラッセル著: 田中典幸訳: 作物の根系と土壌, pp. 47-85, 151-187 (1981)
- 5) 小林裕志: 牧草根の土壌把握作用, 土壌の物理性, 34, pp. 2-6 (1976)
- 6) 小林裕志・大竹良明: イネ科牧草根の物理的な機能に関する研究, III. 根系発達が作土層の土壌構造に及ぼす影響, 日本草地学会誌, 23 (3), pp. 235-240 (1977)
- 7) SUGIURA, T., KOBAYASHI, H., SAKAI, R. and SUZUKI, S.: Factors affecting root mat formation in permanent grassland (1), J. Japan. Grassl. Sci., 34 (3), pp. 178-185 (1988)
- 8) 河野恭広: 根の形態と機能, 農業技術大系, 土壌施肥編 I 「土壌の働きと根圏土壌」, 土壌と根圏 II, pp. 1

- 19, 農文協 (1987)
- 9) 三木直倫・佐藤辰四郎：草地における表面施肥, 施肥位置と栽培技術, 一現状と問題点一, pp. 49-91, 博友社 (1982)
- 10) 小林裕志：草地の土壌水分移動に及ぼす牧草根群の影響, 農業土木学会誌, 45 (3), pp. 155-158 (1977)
- 11) SUZUKI, S.: Relationships between grass-roots and clay mineral compositions in the rhizosphere of the exposed subsoil in a grassland., Trans. XIII Congress of Int. Soc. Soil Sci., 4, pp. 1484-1485 (1986)
- 12) KOBAYASHI, H. and YAMANE, I.: Effect of active roots of forage grass on soil-aggregate formation., Proc. XIV Int. Grassl. Congress, pp. 421-424 (1981)
- 13) 徳永光一・成岡 市・深谷 高俊：重液浸入法の開発とそれによる土壌間隙の軟 X 線透写像についての考察, 一 X 線透写像による土壌と間隙に関する研究 (I) 一, 農業土木学会論文集, 114, pp. 61-68, (1984)
- 14) 徳永光一・竹内正己・林 貴峰：火山灰下層土における疎孔隙の根成的特徴について, 一立体視による孔隙の軟 X 線透写像の観察一, 農業土木学会論文集, 126, pp. 75-80 (1986)
- 15) 中村好男：土壌小動物, 農業技術大系, 土壌施肥編 1 「土壌の働きと根圏土壌」, 根と根圏微生物, pp. 67-72, 農文協 (1987)
- 16) 鈴木創三・杉浦俊弘・小林裕志：破砕木片に富む播種床土壌中の微生物相, 一機械力を用いた不耕起草地造成試験 (第17報) 一, 土壌肥料学会講演要旨, 35, pp. 34 (1989)
- 17) HATTORI, R. and HATTORI, T.: Sensitivity to salts and organic compounds of soil bacteria isolated on diluted media, J. Gen. Appl. Microbiol., 26, pp. 1-14 (1980)

Summary

The authors summarized the biological factors involved in the formation of several kinds of soils in established grasslands and suggested the future course of the method of grassland establishment which was paid regard to the conservation of natural environment.

The authors described mainly the effect of root system on the clay mineralogical characteristics as well as physical and chemical ones of some kinds of soils, and also described briefly the importance of the roots of grasses and legume, soil fauna and soil microbe as the biological factors involved in the formation of grassland soil.

After discussing the classification and the problems of the methods of grassland establishment adopted in Japan recently, it was considered to be introduce "Landscape Ecology" which studied the method of grassland establishment with attention to the conservation of natural environment and the beautiful landscape. And the authors suggested the ploughless method with a stumpcutter-bushcutter system as an ecological method of grassland establishment which would satisfy those needs.

(Soil Phys. Cond. Plant Growth, Jpn., 61, 31-42, 1990)