

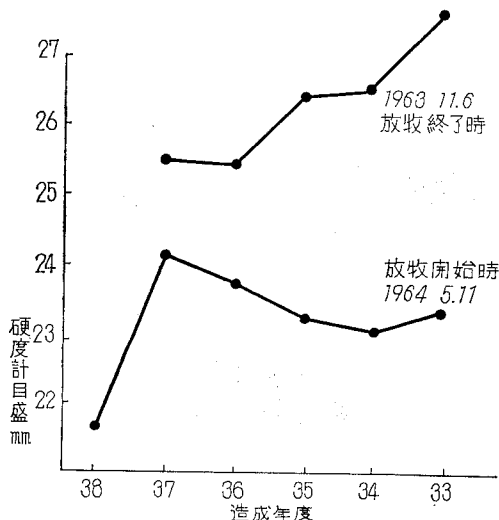
## 放牧草地の土壌の物理性について

高 畑 滋\*

## 1. はじめに

永年草地では土壌を耕起することがない。さらに放牧用草地であればその上に家畜による踏圧が加わり、一種独特な土壌の状態を示すようになる。このような草地土壌の特異性は、同じ耕地土壌のなかでも、栽培林地、畑地、水田土壌などの分類と同じレベルにあるものとみられる。草地土壌の特質の大部分のものが、不耕起であることと、家畜の踏圧とにその原因が考えられるので、放牧草地の土壌の物理性を問題にすることは、草地土壌の本質の究明に近づく筋道であると思われる。

草地は一種の迂回生産の場であり、牧草の収穫が最終目標ではなく、それを利用した家畜の生産が目的となっている。そのため草地の評価を正しく行なうことがむずかしく、研究の立ち遅れもこの面からきている。家畜との関係においてはじめて存在する草地では、もっと「踏みかため土壌」に対する研究がすすめられてもよいのではないかと思ひ整理してみた。各分野からの助言がいた



図一 栃木県酪農協大笹放牧場表層土壌の硬度

\* 北海道農試 草地開発部

表一 土 壤 硬 度  $\text{kg/cm}^2$ 

区 深 さ	NZ 禁 牧 区	NZ 放 牧 区	永年刈取草地	トウモロ コシ 畑
	0cm	1.0	2.0	2.0
5	0.9	1.6	1.9	0.7
10	0.5	1.6	1.7	0.4
15	0.4	1.1	1.3	2.5
20	0.6	0.5	1.6	1.8
25	0.7	0.6	0.9	1.2

草地開発部 (1964)<sup>1)</sup>表二 Bulk density  $\text{g/cm}^3$ 

Site depth	A		B		C		D	
	禁牧区	放牧区	禁牧区	放牧区	禁牧区	放牧区	禁牧区	放牧区
0-3	*0.77	0.93	*0.72	0.93	1.05	10.2	*0.42	0.98
2-4	*0.88	0.97	*0.88	1.02	1.17	1.17	1.07	1.10
Silt+ clay	73		79		54		68	

Howard, K. O. (1960)<sup>2)</sup>表三 Average bulk density of soil at various depths in swale and upland locations sampled in early and late summer, 1962 (ovendry soil  $\text{g/cc}$ ).

Location and depth (inches)	Grazed plots		Exclosures	
	Early	Late	Early	Late
SWALE				
0-1	0.65	1.03	1.02	1.01
1-2	1.01	1.06	1.04	1.08
2-4	1.07	1.11	1.10	1.12
4-6	1.12	1.14	1.14	1.18
Ave.	1.04	1.08	1.08	1.10
UPLAND				
0-1	1.19	1.22	1.11	1.19
1-2	1.20	1.24	1.12	1.19
2-4	1.20	1.26	1.20	1.24
4-6	1.22	1.24	1.19	1.23
Ave.	1.20	1.24	1.16	1.28

Laycock, W.A.; Conrad, P.W. (1967)<sup>3)</sup>

できれば幸いである。

## 1) 土壌硬度

現地でもまず第一に観察されるのが土壌硬度であるが、当然のように放牧によって著しく高まる。図一の大笹放牧場は、毎年牧草地を拡張して牧柵で仕切らない全期

表-4 16年目の草地

		放牧地	採草地
容積重 g/100cc		147.7	126.0
真比重		2.5	2.5
土壌三相	固相 %	42.5	35.0
	液相 %	41.5	39.7
	気相 %	16.0	25.3
孔ゲキ率 %		57.5	65.0
非毛管孔ゲキ %		0.7	4.5
飽水度 %		72.2	61.1
容気度 %		27.8	38.9
硬度 (目盛)		23	20

1966.9.2 狭松村 S25年造成

て、古い草地ほど幅が広いようである。草地には、sod bound とよばれるマット状の細根の層ができるが、これがある程度、踏み

放牧であったので、  
 一緒に放牧されてい  
 るとみれば、年次  
 の変化がつかめるこ  
 になる。これによ  
 れば、放牧がくりか  
 えされるに従って、土  
 壌硬度が増すが、越  
 冬後春先にはそれが  
 戻る。その戻りかた  
 に年次の差があっ

て、古い草地ほど幅

表-5 牧草地土壌の耐水性団粒 (粒団百分率)

	>2.0 mm	2~1 mm	1~0.5 mm	0.5~0.2 mm	0.2~0.1 mm
初年目	2.21	3.35	9.07	12.88	3.22
2年目	3.71	4.92	8.42	11.55	1.21
3年目	2.82	6.25	11.51	10.66	2.08
8年目	6.03	9.25	9.86	0.80	6.74
16年目	13.89	13.03	9.47	2.41	2.41

表-6 土壌構造の安定度 (通気係数/透水係数)

層位	普通作物	原野	牧草地
上層	2.40	1.79	1.36
下層	1.63	1.58	1.15

透水係数は、24時間浸水後のものについて測定

かための緩衝体となっているようである。放牧草地でなくてもトラクタが毎年入る採草地でも古くなれば同じように硬度が増す(表-1)。

2) 密度

一般には放牧によって土壌密度が高まるが、土壌によっては、密度が増さないという報告もある。表-2では砂の含量が多いと bulk density は放牧によっても増えていない。

3) 土壌三相

表-4は、造成後16年を経過した草地での測定値であるが、同じ年に造成して、以後ずっと放牧と牧草とにわけて利用している隣接する圃場なので放牧の影響を知ることができよう。これによれば、固相と液相が増し気相が減るとい特徴があらわれている。図-3は北海道土幌町の国営大規模草地のものであるが同じ傾向がみられる。図-4は、放牧法の試験圃場のデータで、放牧強度が増すに従って前記特徴がよくあらわれる。これも、一年間のうちでは、放牧期の終りに高く、春には戻る傾向があり、年数と放牧強度とによってある平衡に達するようである。

4) 土壌水分

ある土壌では固相が増せば、液相が増すことが知られている。また、これは構造が変わって間隙の性質変がるからだろうが、有効態水分量も増す。通気係数/透水係数を土壌構造の安定度を示すものとして、永田が栃木県那須で測定した結果によれば草地土壌は非常に安定した構造を持つといえる(表-6)。しかし、間隙の減少に伴って浸透能は明らかに減少するから、降水を保持する割合は少くなるが、それを長い間、植物に有効なかたちで保持する能力は強いということになる。

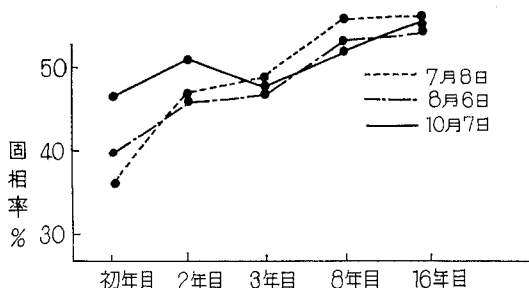


図-2 チモシー草地固相率の変化表層5cm 早川(1961)<sup>4)</sup>

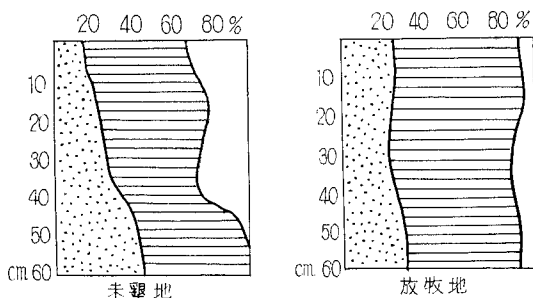


図-3 十勝中部大規模草地<sup>5)</sup>

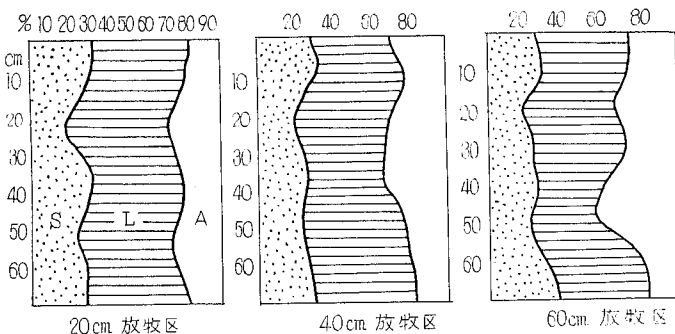


図-4 草タケ別放牧試験地

一般に放牧草地は、軽しような火山灰台地に多く分布するが、このような火山灰土壌では固相が20%以下というきわめて過粗な状態がみられる。踏みかためが牧放の生育にプラスに働いたという結果が過粗な土壌ではふつうである。これは、圧密処理を加えた試験として人工的にも観察されたが、圧密により土壌水分が多くなること、土壌中の養分密度が高まること、溶脱が抑えられるなどの効果が考えられている。

### 5) 通 気

踏みかためにより気相が減るが、気相を場として行なわれる通気がどのように変化するか、また、土壌における通気が作物の生理上どんな意味を持つのか知見は少ない。土壌空気を窒素ガスによっておきかえた実験では、他の作物は減収したのに、イタリアンライグラスは逆にわずかに増収したとさえいわれる。地表面をパラフィンで被覆して消極的に通気を抑えたものでも、イタリアンライグラスは影響を受けずに生育することができた。

気相率の低下が作物生育の制限因子になるとして、気相率の下限を論じた報告もあるが正確な下限とはいえない。それは、土壌によって同じ気相率でも意味がちがうからで、より作物生育に関係のある「通気」の状態について問題にしなければならない。今までに通気係数とか相対拡散係数  $D/D_0$  などが測定されたが、まだ作物生育の上での意味づけは行なわれていない。また、牧草根のなかには、水稻のような沼沢作物にみられる根の皮層の部分が崩壊し gas の通導に有利な形態になっているものが多くみられることから、土壌の通気性の必要性が少なくとみられる。このような根の形態は、通気不足に対

表-7 Soil moisture in virgin and grazed prairie.

Station	Deci-meter horizons	Wilting * coefficients	Moisture percent		
			Mar. 17	Apr. 28	June. 10
Virgin prairie	1 st	8.7	20.4	12.3	3.3
	2	8.1	19.9	13.8	5.9
	3	7.7	19.2	14.6	8.7
	4	8.7	19.3	14.9	9.3
	5	8.2	18.6	15.3	9.0
	6	8.4	18.4	15.8	9.4
	7	8.1	17.0	15.8	9.7
	8	8.0	17.4	15.8	10.7
	9	7.5	17.4	16.0	11.1
	10	7.0	17.1	16.0	11.6
Grazed prairie	1 st	8.8	32.2	28.0	6.4
	2	9.7	33.0	26.0	8.5
	3	8.4	30.2	26.6	8.1
	4	7.9	33.8	27.4	9.2
	5	7.0	37.4	29.5	11.0
	6	7.2	39.4	29.8	12.0
	7	7.9	40.0	25.0	13.4
	8	8.2	26.8	24.3	16.3
	9	9.3	23.6	29.7	16.6
	10	9.5	27.6	21.9	17.1

\* Calculated from the hygroscopic coefficients Daubenmire, R.F. and Colwell, W.E. (1942)<sup>9)</sup>

表-8 牧草地土壌の酸化還元電位の推移 (E<sub>h</sub>, mV) (早川 1961)

測定した月	初年目	2年目		3年目		8年目	16年目
		チモシ一畑	クローバ畑	チモシ一畑	クローバ畑	チモシ一畑	チモシ一畑
6月	550	430	440	390	450	250	200
8月	520	410	460	370	420	270	230

表-9 放牧が根の形態におよぼす影響

		Branch 1st 6 in	No. roots per sq in	Diam. mm
Aristida glabrata	prot grazed	14.0* 8.5*	9.5 9.5	0.92 1.32
Beulelova curtipendula	prot grazed	100.5* 84.3*	15.5* 11.7*	0.83 0.83
B. filiformis	prot grazed	86.0* 53.0*	29.0* 11.2*	0.36 0.37
Trichachne californica	prot grazed	80.0* 32.0*	14.0 10.5	0.66 0.57

\* Significant difference at 0.05 confidence level J. Blydenstein (1966)<sup>7)</sup>

表-10 Mean numbers of grassstillers and clover nodes per sq. ft.

	Perennial ryegrass	White clover	Poa spp.
Not trodden	220	120	140
Moist Soil 6 sheep	270	120	160
" 9 "	280	140	120
" 12 "	290	100	160
" 18 "	230	120	140
Wet soil 3 "	210	130	150
" 6 "	190	110	140
" 9 "	180	110	120
" 12 "	190	90	70
" 18 "	120	100	70
Standard error ±	34	14	16

D. B. Edmond (1962)<sup>8)</sup>

する一つの適応形態とみられるので、さらにレベルをかえて試験する必要があろう。

通気不足は、土壌をある程度還元状態にするが(表-7)、このことが養分の可給化や不可給化にどの程度影響を与えているのか興味のあるところである。少なくとも北海道に広く分布する新しい火山灰土壌では還元により磷酸は可給化される割合が高くなるという。

### 6) 牧草生育との関係

以上の土壌物理性の諸変化は、結果として牧草の生育に影響をおよぼすのだが、適度の放牧であれば、土壌密度、水分、通気の変化は牧草に対して良い適応形態をとらせ、草丈短く、草生密度高く、活力ある太い根を出すなどの現象がみられた。

放牧草地では高い収量を指向することは、他の要因からみて許されない。放牧地の草の上に家畜がのって採食

表—11 圧密処理が土壌の物理性および牧草の生育におよぼす影響

Nominal topsoil density (g/cc)	Plant growth characteristics (mean figures for an individual plant)					Soil measurements*	
	Leaf No.		Tiller No. at end of trial	Green wt (g)	Dry wt(g) and S.E.S	Currents to platinum electrode (micro-amps)	
	middle of trial	end of trial				beginning of trial	end of trial
1.00	4.0	10.3	4.5	.455	.087±007	10.0±1.6(3)	4.6±0.5(8)
1.05	4.0	9.3	3.8	.346	.074±007	7.5±1.6(3)	3.1±0.5(8)
1.10	3.2	7.2	3.2	.295	.066±007	5.4±1.6(3)	2.0±0.5(8)
1.13	2.8	5.2	2.2	.108	.029±003	3.0±0.3(3)	1.4±0.2(8)
1.17	3.2	6.7	2.8	.222	.053±003	1.5±0.3(3)	1.8±0.2(8)
1.20	2.8	3.5	1.2	.082	.024±003	1.4±0.3(3)	1.1±0.3(6)

\*Soil measurements

Core-test results on surface 4 cm of soil

Soil dry density (g/cc)	Air-space % of soil volume		Soil moisture content (dry weight basis %)	Intrinsic gas diffusivity (D/Do)
	Measured on cores	calculated from nominal density		
1.00	16.8	21.4	38.9	.026
1.08	7.2	10.6	45.4	.002
1.14	8.7	13.0	39.4	.004
1.16	1.8	4.7	44.7	.001
1.22	5.4	8.9	38.1	.003
1.20	6.4	14.0	31.9	.001

Gradwell, M. W. (1964)<sup>9)</sup>

表—12 Results of trial with established ryegrass Plants (Planted 30 Sept. 1963; cut taken 6 Nov. : gas applied 8 Nov. ; cuts taken 17 Dec. and 3 and 30 Jan. (1964)

Dates of Measurement	Plant measurements			
	Top dry weight (g. means per plant)		Roots dry weight g./plant	
	Soil flushed with air	Soil flushed with nitrogen	Soil flushed with air	Soil flushed with nitrogen
6 Nov.	0.069	0.073		
Gas Applied here				
17 Dec.	0.137	0.142		
3 Jan.	0.051	0.049		
30 Jan.	0.078	0.081	0.286	0.206

(No difference in top weights was significant) (Difference in root weights was significant, P=0.02)

Gradwell, M. W. (1967)<sup>10)</sup>

するのであるから、採食しやすい高さ、踏み倒しによって無駄の多い草型などが望ましいわけで、これらは多収穫要因とは相反する。いままで、放牧が植生にはマイナスにしか働かないようにいわれていたのも、収量という点からだけみているので、その他の形質についてみれば、管理しやすい形になることがわかる。放牧によってもたらされる土壌の物理的な変化が、草丈短く、密度の高い草地を生み出していく過程について今後追究する必要がある。

7) その他の問題

草地を造成する場合にも条件によっては、不耕地でおこなうことが多い。野草地に牧草を定着させるのには、前植生の除去、牧草種子を土壌に密着させるなどの措置

が必要であるが、このような条件をいちどに満足させるものとして、家畜を放牧しながら播く、重放牧法とか蹄耕法といわれる簡易造成法がある。この方法では、家畜は造成の手段として使われるので、できるだけ早くあげたい。そのためには、土壌の物理性の面から、ストッキングの程度に対して一つの指標を与えられることが望ましい。

牧草が土壌侵食に強い作物であることは、広く認められているが、千ヘクタール規模の草地になるとまた問題になってくる。植生が密で土壌が放牧によって十分踏みかためられたような草地では、浸透能が極度に低くなり、少し降水量が多いと、表面流去水がおびただしい量になることが観察されている。もし、過放牧などで地表面が露出していればたちまちガリー侵食を受けることになる。また、草地化した結果、牧場内の沢が干涸したという例も少なくなく、これは造成時にあらかじめ予想される浸透能から割り出して、必要な面積の水源涵養林をとらなければならないであろう。一つの牧場を設計し造り、維持していくということは、現在の農業の知識のすべてを必要とする大変大きな仕事である。道路一本にしても、家畜の習生や、乾草整製作業と無関係にできるものではなく、各分野の密接な連携があってはじめて可能なものである。今までのところ、農業土木の面からの視点が足りなかったように思われるので、関心を持っていただきたくて問題提起をした次第である。

なお、適切な指導とご校閲をいただいた草地第一研究室長早川博士に感謝する。

## 参考文献

- 1) 北海道農試草地開発部：Hoof cultivation 法による草地造成に関する試験成績（1964）
- 2) Howard, K. O. : Soil Porosity and Bulk density on Grazed and Protected Kentucky Bluegrass. Range in the Black Hills, Range Manage. 1380—86. (1960)
- 3) Laycock, W. A., Conrad, P. W. : Effect of grazing on Soil Compaction as measured by bulk density on a high elevation cattle range. Range Manage. 20, 3, 136—141. (1967)
- 4) 早川, 橋本：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 北海道立農試集報第7号（1961）
- 5) 開発局土木試験所：大規模草地施行法土壌調査報告書：（1967）
- 6) Daubenmire, R. F., Colwell, W. E.: Some edaphic changes due to overgrazing in Agropyron-Poa Prairie of Southeastern Washigton. Ecology. 23, 32-42 (1942)
- 7) Blydenstein, J. : Root Systems of Four Desert Grassland Species on Grazed and Protected Sites. Range Manage. 19, 2, (1966)
- 8) Edmond, D.B.: Effects of Treading Perennial Ryegrass and white clover Pasture in Winter and Summer at two soil Moisture Levels. N. Z. J. Agric. Res. 6, 3, 265—76 (1963)
- 9) Gradwell, M. W.: Soil physial conditions of winter and the growth of ryegrass plants. I. Effects of compaction and Puddling. N. Z. J. Agric. Res. 8, 238—69 (1964)
- 10) Gradwell, M. W.: Soil physial conditions of winter and the growth of ryegrass plants. II Effects of soil Atmosphere. N. Z. J. Agric Res. 10, 425—435 (1967)
- 11) 高畑, 三井, 嶋村, 平野: 牧草地の播種床造成に関する研究. 第2報 牧草の生育に及ぼす土壌の粒団の大きさならびに土壌の圧密の影響, 畜試場報告, 15, 7-14. (1967)