

シンポジウム「不良栽培環境下における粗飼料生産の問題点と対策」

干ばつ発生地帯における牧草栽培と今後の問題点

三木 直倫 (天北農試)

1. はじめに

北海道における水収支の地域的特徴を概観すると、知床-大雪-夕張・日高-後志山地を結ぶ、ラインの北側と南側では大きく異なる¹⁾。すなわち、ライン北側の天北・網走地方では6~7月の乾燥が顕著で水収支は負(降水量<蒸発量)となり一時的な水不足をきたし、累積降水不足量は約50~150mmにも達する。これに対し、南側の十勝・根釧地方は、夏期の降水量が多いため、水収支が負になる可能性が少なく、累積降水不足量は25mm以下が大部分を占める(図1)。また分布する土壌は上記ラインの北側では主に、保水力の貧弱な鉱質土が、南側では保水力の大きい火山性土が分布するので、北側の降水不足が強調される。

一方、上記ラインの北側に位置する天北地方は、5~7月の降水不足による乾燥期と8月ないし9~10月の湿潤期に分けられ(図2)、牧草栽培においてはこれら乾燥-湿潤の相反する環境条件を踏えた育種、栽培管理法を策出する必要がある。

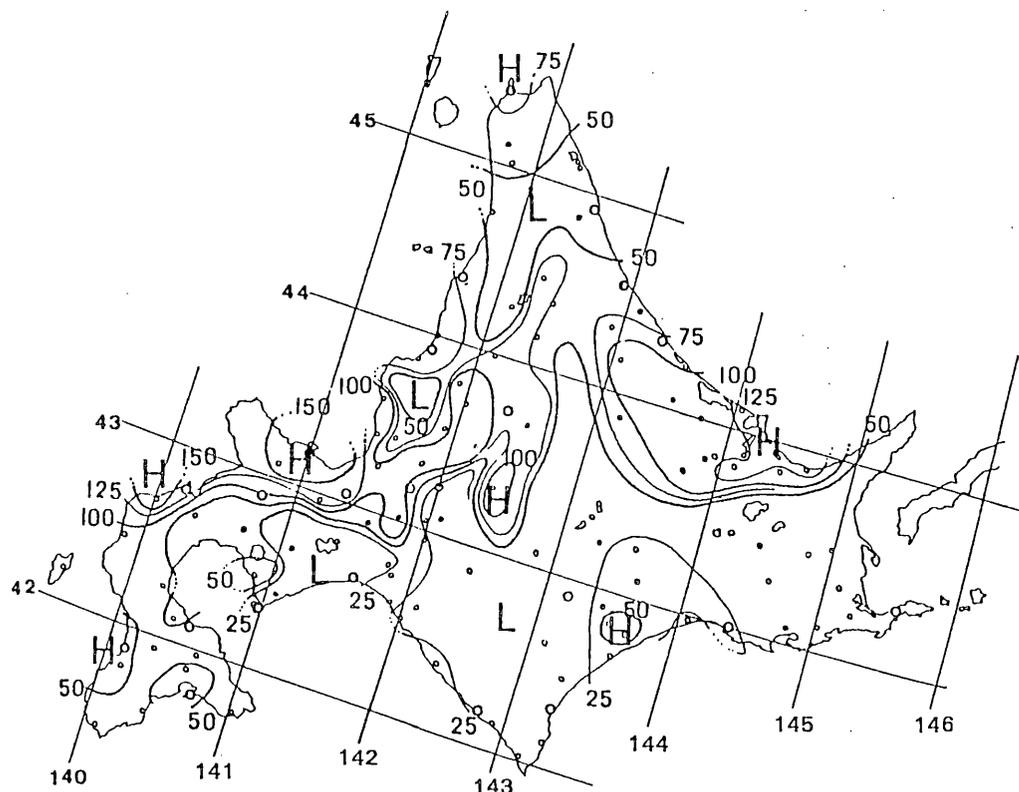


図1 累計降雨不足量($r - ET$ が負である期間)の分布図 (佐久間 1987)

そこで本報は、天北地方における草地生産性の規制要因としての気象・土壌の特徴を概観し、今後の問題点を考察する。

2. 草地生産性の規制要因

① 気象的要因

天北地方は主要気象要因のうち、降水量の年次変動が大きく、とりわけ、オーチャードグラスの1, 2番草生育期間である5月上旬～8月上旬にかけての年次変動が50%以上と頗る大きい。

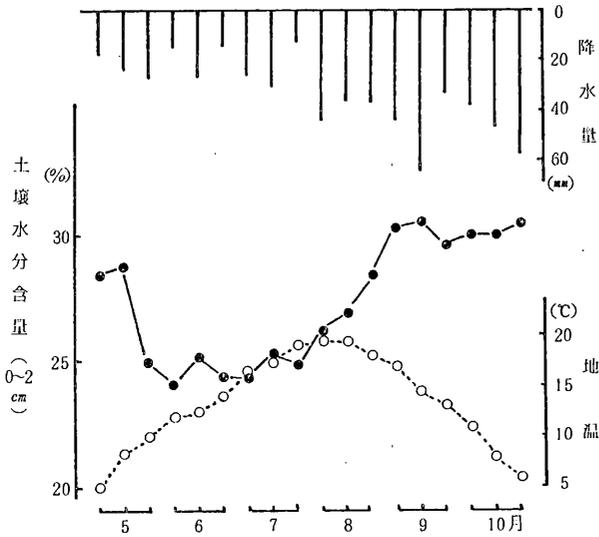


図2 天北地方の降水量, 地温と土壌水分の関係²⁾(東田)

すなわち、オーチャードグラス収量は降水量によって変動し、積算降水量が150～200mm程度まで直線的に増加する。また、収量と降水量の関係はおおむね次の1次式で表現された³⁾(図3)。

1番草: $y = 1.4x + 213$ ($r = 0.87$)

2番草: $y = 0.6x + 215$ ($r = 0.80$)

y : 乾物収量 (kg/10a), x : 生育期間の降水量 (mm), 但し施肥窒素18kg/10a, 年条件。

このような牧草収量と降水量の関係はチモシーについても認められ、チモシー1番草生育期間(5月中旬～6月下旬)の積算気温, 日照時間とは負の相関が, 降水量とは正の相関($r = 0.66$)があると

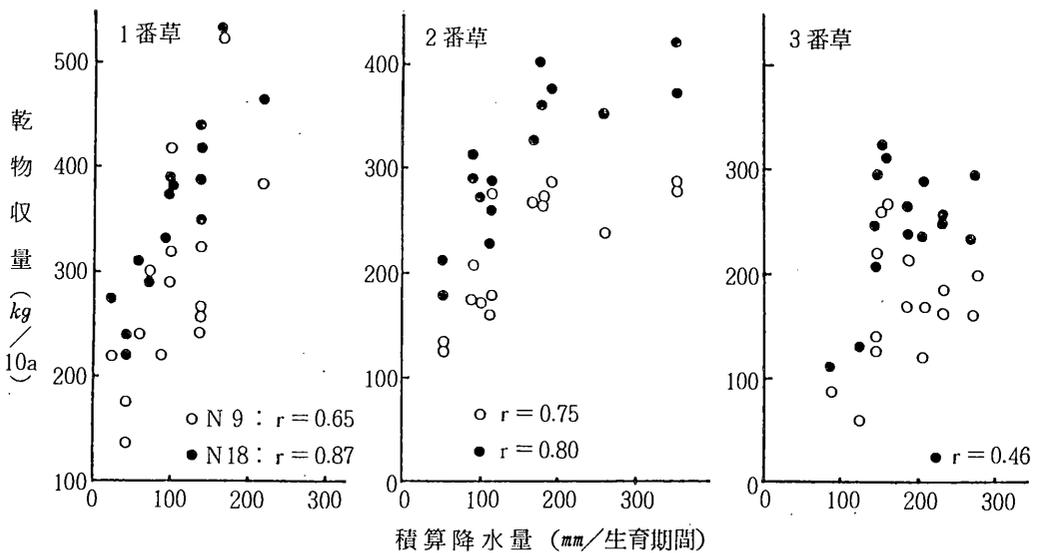


図3 牧草生育期間の積算降水量と収量の関係(1974～1984)

報告されている⁴⁾。

一方、マメ科牧草の生育と気象との関係を見ると、オーチャードグラス・ラジノクローバ混播草地のマメ科率は降水量の年次変動とおおむね対応しており、降水量の少ない年次のマメ科率は低下する¹⁶⁾(図4)。このことは根釧地方火山性土草地のマメ科率の確保が適切な施肥によって長期間維持できるのに対し、天北地方は人為的に制御出来ない要因によって変動するため、適切なマメ科率(ラジノクローバ)の確保が困難となっている。

他方、耐旱性の強いアルファルファはラジノクローバとは異なり湿潤条件での生育が劣り、8月~10月中旬の降水量が多い年次は3番草収量が低いと同時に翌春1番草収量も顕著に低い⁵⁾(図5)。すなわち、アルファルファにとって秋の生育は越冬態勢の充実をはかる上で極めて重要であり、この時期の気象条件(特に降水量)が越冬性-翌春1番草生育に影響したものと考えられる。このことは天北地方が非土壤凍結地帯で、かつ5~8月の降水量が少ないことからアルファルファ適地とされていても、秋の降水量が多い当地方においてはアルファルファにとっては、不利な環境下であり、とりわけイネ科草種との混播条件では秋の気象条件と翌春の施肥管理を連動させた肥培管理の検討が重要であろう。

② 土壌的要因

天北地方の土壌は「重粘土」に代表されるように下層堅密で保水性、排水性の悪い土壌が広く分布している。これらの土壌は降水量の少ない時期には過乾となり8~9月以降の降水量が多い時期には過湿状態を呈する。表1には天北地方に分布する主要土壌の物理・水分特性³⁾を示

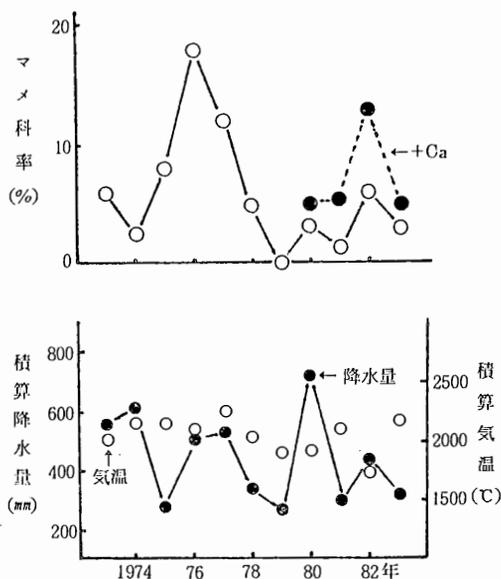


図4 降水量、気温(積算値: 4月下旬~9月下旬)とマメ科率の関係(1972年造成 OG・LC混播草地)

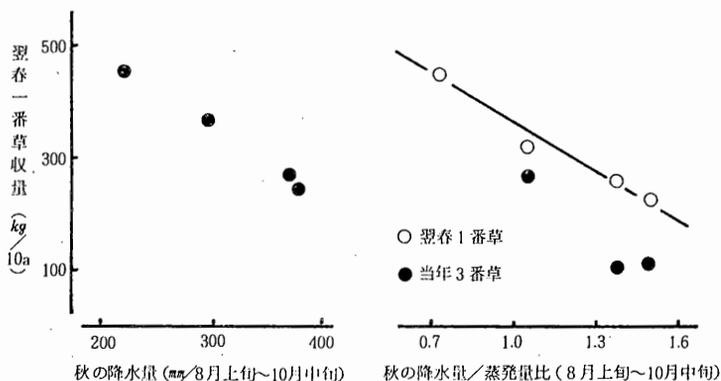


図5 アルファルファ草地における秋の気象条件と翌春1番草収量(熊谷ら1987)

したが、褐色火山性土および褐色森林土の一部を除いて固相率が40%以上と高く、気相および有効水分領域の孔隙量が少ない。また牧草根域土層当りの有効水容量は根釧地方火山性土に比べ褐色森林土でも50%程度、疑似グライ土では20%弱しか存在しない。この土壌の保水性の劣悪さが、気象条件と相まって天北地方の水分不足を強調している。

次に降水不足時の牧草収量と土壌型、物理性の関係を検討した結果³⁾を表2、図6に示した。降水不足年の平常年に対する収量指数は、物理性および保水性の比較的良好な褐色森林土では平均86%と大きく、逆に物理・保水性の不良な疑似グライ土、低地土では67~71%と小さく、降水不足の影響が疑似グライ土、低地土で大きいことを示している。これを草地の経過年数で分けてみると、草地の経年化によって収量低下が認められると同時に、降水不足年における収量指数は5年未満草地 > 5~10年目草地 > 10年目以上草地の順となっており、古い草地ほど降水不足年での収量低下が大きい傾向にある。

表1 天北地方に分布する主要土壌の理化学性と水分特性

項目 土壌型	土壌深 (cm)	三相分布(%)		pF-水分率(vol/%)			有効水容量****		備考 (調査 点数)	
		固相	気相***	1.5~2.7	~3.8	~4.2	(mm/0~50cm)	(mm/根域)		
褐色火山性土	0~20	32.6	6.8	9.2	18.3	26.7	36	83	130	5
	20~80	31.4	11.0	7.6	15.7	21.1	47			
褐色森林土 (シルト岩質)	0~20	39.1	6.6	8.6	17.9	22.9	36	75	88	7
	20~60	40.1	9.2	6.4	13.0	17.8	39			
褐色森林土 (安山岩質)	0~20	44.0	5.8	6.4	13.1	18.6	26	55	65	7
	20~60	42.4	8.6	4.7	9.7	14.4	29			
疑似グライ土 (典型)	0~15	48.6	2.9	4.7	12.1	16.5	18	42	36	13
	20~40	51.5	3.1	2.6	7.0	11.1	24			
疑似グライ土 (暗色表層)	0~20	40.2	7.2	6.1	13.1	18.3	26	48	41	6
	20~40	48.5	3.3	2.3	7.3	11.9	22			
褐色低地土*	0~20	48.2	2.9	4.4	10.4	17.0	21	56	68	7
	20~60	44.9	4.8	3.9	11.8	17.5	35			
火山性土** (根釧地方)	0~20	32.5	3.5	9.1	20.0	25.2	40	114	188	2
	20~80	26.0	14.0	9.0	24.7	31.1	74			

*一部灰色低地土も含む。 **黒色、厚層黒色火山性土の平均。 *** pF 1.5時の気相。
**** pF 1.5~3.8までの0~50cm土層当りおよび牧草根域当りの有効水容量。

表2 降水不足年の牧草収量に及ぼす土壌型、経年数の影響

項目	区分 年次		土 壤 型			経 過 年 数		
			褐色森林土 (6) *	疑似グライ土 (3)	褐色低地土 (4)	5年未満 (4)	5~10年 (5)	10年以上 (4)
乾物 収量 (kg/10a)	昭和57年 (298mm)**	範囲	429~789	351~946	513~707	585~946	510~723	351~599
		平均	613	627	614	737	630	479
	昭和58年 (438mm)**	範囲	608~835	602~1,448	737~1,068	664~1,448	608~1,068	602~961
		平均	715	903	917	900	830	729
57/58収量指数	範囲	61~98	55~88	56~77	66~98	66~87	53~93	
	平均	86	71	67	86	77	67	

*筆数 **4月下旬~9月中旬までの降水量：天北農試観測

一方、個々の草地の降水不足年における収量低下は、土壌の全有効水孔隙量に支配され、作土層の全有効水孔隙量が20%以下の草地は降水不足年の収量低下が20%以上と大きい傾向にあった(図6)。さらに、牧草根域の有効水容量が大きい土壌でも古い草地は収量低下の割合が大きく、水分不足と同時に他の要因も関与していることが示唆される。

③ 土壌養分的要因

草地の施肥位置は、維持段階では大部分が表面であり、草地表層に主要な土壌養分(窒素, リン酸, カリ)が多量に蓄積される。これら蓄積養分の肥効は当然土壌の水分状態によって影響され、変動する。

まず、牧草生育の最も重要な養分である窒素を例にとってみると、オーチャードグラスの施肥窒素利用率は年間平均で50%前後であり、残り50%は株・根(20%)、枯死茎葉(10%)および土壌に保持され⁶⁾、また窒素施肥水準が牧草の窒素吸収量に見合う量であれば流亡、脱窒、揮散による損失が極めて少ないことが報告されている⁷⁾。

草地系内における、窒素の循環は牧草生育期間の降水量に大きく影響される。すなわち草地系内の主要な土壌窒素給源である枯死茎葉、脱落根などに含まれる有機物由来窒素の分解は牧草生育期間の降水量に支配され(図7)、単年度収支でみたその供給量は降水不足年で1.4kg/10a・年、降水平常年で2.4kg/10a・年であった⁸⁾。

また、表層に多量の有機物が蓄積している古い草地ではとくに土壌窒素供給土層が表層に偏するため、降水量の少ない年次では、この表層が過乾状態に陥入り土壌窒素供給量が明らかに低下する⁹⁾。

これら有機物分解に伴う土壌窒素供給は地温が高まる8月以降に旺盛となるため、オーチャードグラスでは3番草へ越冬前の生育量に影響を及ぼし、秋の分けつ発生量を高め(図8)、これが翌春の1番草収量、窒素吸収量に関連している¹⁰⁾。

一方、牧草体りん酸、カリ含有率は、降水不足時に低含有率を示し、とりわけ牧草のりん酸含有率を適正な水準に維持するための土壌の有効態りん酸含量は降水量の多少によって大きく変動する¹¹⁾(図9)。

以上のことから、天北地方のように降水量の年次変動が顕る大きい地帯では、牧草収量は土壌の水供給力のみならず、降水量の年次変動に伴う土壌養分の変動をも踏えた草地の肥培管理が重要となる。

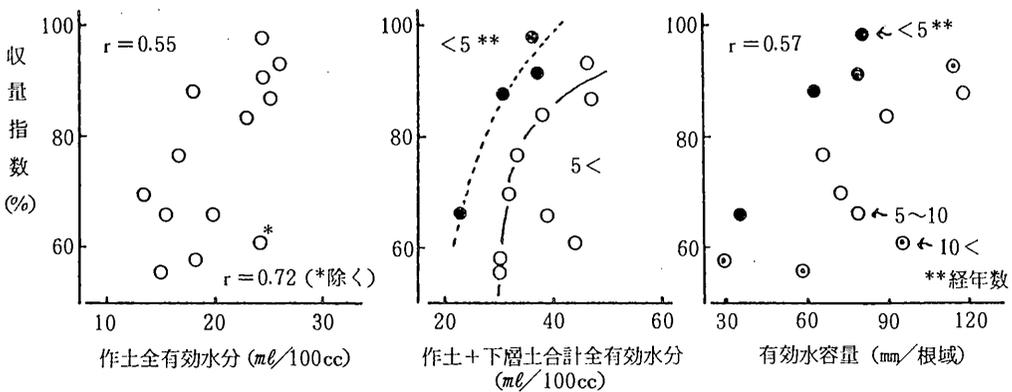


図6 降水不足年(1982年)の平常年(1983年)に対する収量指数と土壌水分特性の関係

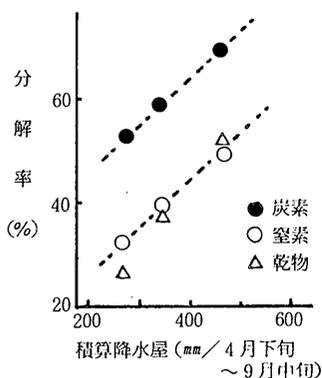


図7 降水量と還元有機物の分解率 * (枯死茎葉・根)

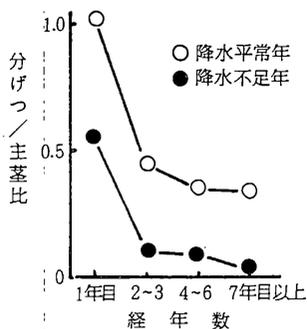


図8 晩秋時の分げつ/主茎比に及ぼす降水量の影響

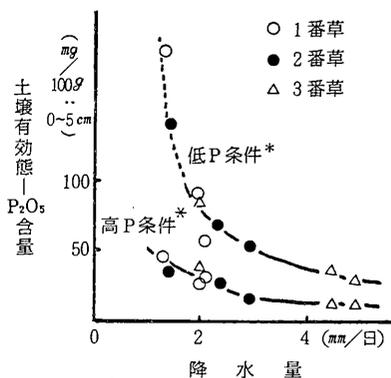


図9 牧草生育期間の降水量と牧草体りん酸0.7%を得る土壌有効態りん酸含量

* (低P条件: 5~15cm土層の有効態P₂O₅ 5mg以下
高P条件: " " 10mg以上)
(宝示戸・竹内ら)

3. 草地収量規制要因の改善方法

① 灌漑¹²⁾

灌漑は降水不足によって水収支が負の時、人為的に水を補給する直接手段であり、その効果はすこぶる大きい。すなわち、灌水量が2mm/1日で年間合計の牧草収量は標準施肥区(N4)が年間131%, スラリ併用区で平均135%の増収を示した。なお灌水量を5mm, 8mm/日と増加させてもその効果は2mm/日とは大差を示さなかった。この2mm/日の灌漑効果は、牧草の根系が表層に集中しており、表層に灌漑された水分を有効に利用出来ること、表層に蓄積した土壌養分、施肥成分が少量のかん水によって牧草に吸収利用されたものと考えられる。一方、灌漑の効果は牧草収量のみならずマメ科率にも顕著に示され、土壌カリ肥沃度が高く維持されている場合、マメ科率は灌漑によって明らかに高まる(図10)。

② 土地・土壌改良

北海道北部に広く分布する重粘土の開発に際して、重粘土の下層堅密な性質、および排水性、易耕性の

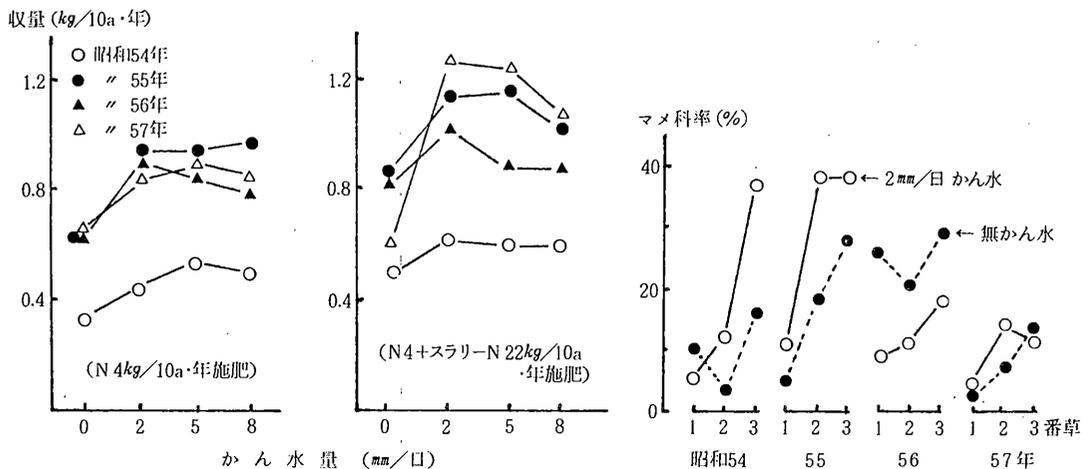


図10 経年草地の灌漑効果 (北農試重粘地研究室, 1985)

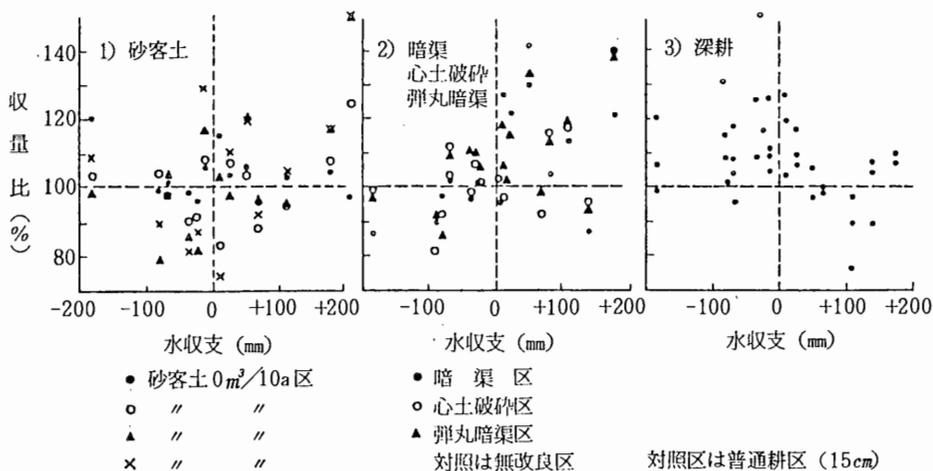


図 11 各種土地改良区の牧草収量と水収支（降水量－蒸発量）（岩間，1980）

改善手段として心土破碎，暗渠排水，弾丸暗渠および砂客土などの土地・土壤改良が先導的に行なわれ，畑作物の収量性向上，農作業の能率化が図られてきた。しかしこれら土地・土壤改良と牧草収量との関係を見ると（図11），畑作物では増収効果が大きかった土地・土壤改良手段であっても，草地では必ずしも効果が発揮されない場合もみられる。とりわけ乾燥期（水収支が負の時）には砂客土および暗渠，心土破碎な

表 3 降水量別の深耕効果^{*}^{**}

	6ヶ年平均		降水平常年		降水不足年	
	0 t	15 t	0 t	15 t	0 t	15 t
オーチャードグラス	104	110	103	107	105	113
チモシー	94	108	91	106	97	109
アルファルファ	107	110	104	105	110	116

^{*} 降水平常年：牧草生育期間の降水量400mm以上
不足年： " 400mm以下

^{**} 40cm耕起区の指数（20cm区：100）窒素用量平均

ど排水性の改良が牧草収量の減収を招きやすいことが認められている¹³⁾。これに対し，土壤の保水性改善を目的とした深耕は乾燥期の牧草収量を高める効果が認められている。この深耕（耕起深40cm）による効果発現は，堆肥施用の有無および草種によって異なり，降水不足年での深耕効果はアルファルファ〈オーチャードグラス〉チモシーで，さらにこの深耕効果は堆肥施用によって更に高められる（表3）。以上のような深耕効果の草種間差や堆肥施用による効果の増幅は，牧草の根張りとの密接な関係があり，アルファルファ，オーチャードグラスは深耕によって作土10cm以下の層位の根量が普通耕（耕起深20cm）に比較して明らかに増加し，これに堆肥が伴うことにより，この傾向はさらに明確となった（表4）。このように深耕による降水不足年の増収効果は根域土層の拡大と堆肥施用が相俟って牧草根の下層への伸長を良好にすることで，水供給面積の増大が主因であると考えられる。

一方，牧草根の根張りは土壤の粗孔隙量，硬度などに規制されることから，土壤型に対応した土地・土壤改良，有機物施用法（有機物の種類，量）を変える必要がある。

③ 細密土壌区分図を利用した導入草種および土壤管理

天北地方は表1に示したように，天北北部のシルト岩を母材とした酸性褐色森林土と，中南部の段丘堆積物および安山岩質母材の酸性褐色森林土では土壤の固相率，根域土層当りの有効水容量が異なり，地域

によって降水不足被害を受けやすい面積割合を異にする。すなわち天北地方北部は降水不足被害を受けやすい土壌面積が少ないのに対し、中・南部は全草地面積の過半が降水不足被害を受けやすい土壌が分布し、これに対応して降水不足年の牧草収量が地域間で異なる¹⁴⁾(図12)。

また天北地方は、同一地域内であっても、地形が複雑で比較的狭い地域に水分環境、物理性を異にする種々の土壌が出現する¹⁵⁾。このことは一農家の経営面積が30~50haと大型酪農地帯では、草地生産性阻害要因の改善方法が個々の農家、圃場水準で異なっている。すなわち、出現する土壌型に対応した土壌改良、導入草種の選定が重要であることを示している。例えば、保水性の比較的良好な酸性褐色森林土には耐旱性の強いアルファルファを導入し、また排水、保水性の劣悪な疑似グレイ土は局所的排水と深耕・堆

厩肥施用によるイネ科主体草地として利用するのが得策であろう(表5)。つまり、天北地方のように地形、出現土壌が複雑で、かつ降水量など気象変動が大きい地帯では細密土壌図の作成とその積極的利用による適地適作によって、草地生産の不安定性を少しでも回避し、良質粗飼料の低コスト安定生産体系を確立する必要がある。

4. まとめと今後の問題点

天北地方鉾質土草地の水分供給からみた収量規制要因としては、①牧草の節間伸長を伴う旺盛な生育を示す5月~6月上旬、および2番草生育期間の6月中旬~8月上旬の降水量の年次変動が頗る大きいこと、②天北地方に分布する主要な鉾質土の物理性が劣悪で、牧草根域土層当りの有効水容量が少なく、水分供

表4 草種別根系の垂直分布(昭和59年10月調査)

草種	耕起深 (cm)	堆厩肥 (t/10a)	深さ別根量(g/5×30cm)				分布割合(%)	
			0~10cm	~20	~35	合計	0~10	10~35
オーチャードグラス	20	0	5.23	0.24	0.08	5.55	95	5
	40	0	5.26	0.24	0.13	5.63	93	7
	40	15	5.12	0.50	0.25	5.87	87	13
チモシー	20	0	4.74	0.43	0.19	5.36	88	12
	40	0	6.98	0.44	0.27	7.69	90	10
	40	15	4.45	0.54	0.26	5.25	85	15
アルファルファ	20	0	8.11	1.31	0.33	9.75	83	17
	40	0	9.01	1.24	0.55	10.80	83	17
	40	15	8.76	2.24	0.80	11.80	74	26

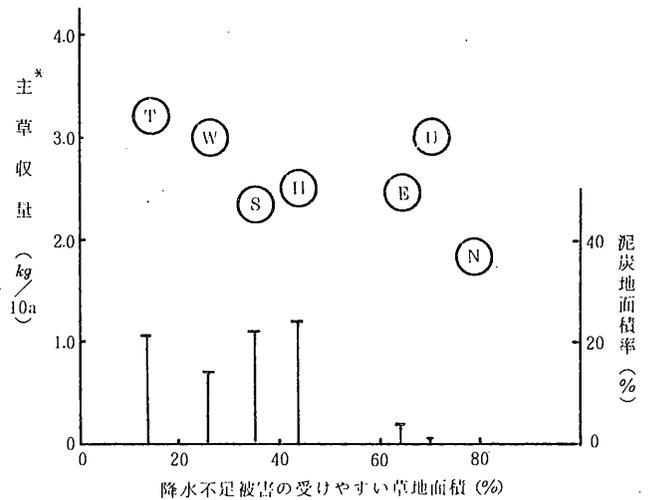


図12 降水不足被害の受けやすい草地面積と降水不足の牧草収量* (宗谷北・中・南部普及所調査, 昭和59年)
 T: 豊富, W: 稚内, S: 猿払, H: 浜頓別, E: 枝幸, U: 歌登, N: 中頓別

表5 改善対策（旱魃被害軽減のための試案）

土 壤 型	手 段	土 壤 改 良			有 機 物 施用方式	導 入 草 種		
		排水	心破	深耕		イネ科	ラジノク ローバ	アルファ ルファ
礫質酸性褐色森林土 (Bfn-1)		—	—	—	表 面	○	○	○
細粒質酸性褐色森林土 (Bfn-2)		—	—	—	〃	○	○	○
酸性褐色森林土性疑似グライ土 (Bfg)		—	○	○	基肥・表面	○	○	△○
疑似グライ土 (Pgn)		—	○△	○	基 肥	○	○	×
暗色表層疑似グライ土 (Pgd)		○	○	○	〃	○	○	×

給力が劣ること、があげられる。また、降水量の年次変動は混播マメ科草（ラジノクローバ）の盛衰および土壌養分の供給に影響を及ぼし、天北地方草地生産性の不安定性を増大せしめている。

この降水不足被害軽減のための対応策は①直接的手段として降水不足時のかん水効果が掲げられ、年間収量で131～135%，降水不足の番草では200%以上にも及ぶ。②土地・土壌改良手段として、深耕および深耕+堆肥施用で牧草の根張り改善と水供給力増大が掲げられ、年間収量で10～20%程度の増収効果がある、③天北地方の地形は複雑であるため、出現する土壌に対応した適切な土壌改良および草種選定が必要である。

以上、天北地方草地の収量規制要因と改善策から、今後、天北地方における高位安定した草地生産を図るための解決を必要とする問題点は下記のとおりである。

①牧草の窒素栄養と水消費の関係：オーチャードグラスの降水、土壌有効水当りの乾物生産効率は、窒素多肥条件で明らかに高いが³⁾、この原因、機作を把握し、施肥設計に反映させる必要がある。

②草地の経年化と降水不足時の収量低下：古い草地は降水不足時の収量低下程度が大きかったが、経年草地の物理性、特に土層内における水の上下移動を支配する要因の解析と、その改善方法の策出が急務である。

③アルファルファの生育と気象の関係：耐旱性の強いアルファルファは降水不足時にはその力を充分発揮するが、秋期の降水量などの気象要因が翌春の1番草生育に大きく影響する。したがって天北地方では前年秋の気象条件を考慮した地域・土壌別の栽培管理法の確立が急務である。

④土壌の水分供給：地形が複雑であれば、土壌の水分供給は保水力のみでは評価しきれず、地形面を含めた草地の水収支とその季節変化を把握し、土壌改良、施肥設計に反映させる必要がある。

参 考 文 献

- 1) 佐久間敏雄(1987)：北海道農業と土壌肥料1987，日本土壌肥科学会北海道支部編，9-25
- 2) 東田修司(1986)：昭和61年度，草地土壌試験成績書，天北農試土壌肥料科，P 169
- 3) 三木直倫・高尾鉄弥・西宗昭(1986)：北海道立農試集報，54，21～30
- 4) 大槌勝彦(1985)：昭和59年度，干ばつ被害の実態と技術解析，北農試・北海道地域農業試験研究推進会議事務局，113-138
- 5) 熊谷秀行・三木直倫・松原一実(1987)：日本土壌肥科学会北海道支部会，土肥講要旨集 34

- 6) 三木直倫・高尾鉄弥(1984):北海道立農試集報 51, 43-54
- 7) Dowdell, R.J., J. Molison and A.F.M. Hood (1980): Proc. of an International Symposium of the European Grassland Federation. Wageningen, 129-136
- 8) 三木直倫・西宗昭(1987):日本土壤肥料学会講要旨集, 33, 124
- 9) 三木直倫:未発表資料
- 10) 三木直倫・西宗昭(1987):日本土壤肥料学会北海道支部会, 土肥講要旨集, 34
- 11) 室示戸雅之・竹内徹・西宗昭・松原一実(1987), 同上
- 12) 北農試重粘地研究室(1985):昭和60年度北海道農業試験会議資料「重粘性土壌のオーチャードグラス主体草地における灌漑による増収効果」, 1-17
- 13) 岩間秀矩(1980):ペドロジスト, 24, 144-156
- 14) 道立天北農試土壤肥料科(1988):昭和62年度北海道農業試験会議資料「天北地方鈹質重粘土草地の収量規制要因(水分供給)とその改善策」, 1-21
- 15) 三木直倫・高尾鉄弥(1987):ペドロジスト, 31, 2-13
- 16) 東田修司(1986):北海道草地研究会報, 20, 30-36