

シンポジウム「北海道の草地農業におけるマメ科牧草栽培の意義」

混播草地におけるN循環とマメ科草の維持技術

東 田 修 司 (道立天北農試, 現在道立十勝農試)

1. はじめに

牧草は他の作物と異なり、地上部の栄養体すべてが収穫物となる。そのため、窒素の収奪量は多く、最大収量をねらった場合、年20 kg/10a 以上になる。しかし、一般に施用されている窒素はこの必要量に対して著しく少ない。このギャップを埋める有力な手段の一つがマメ科草固定窒素の利用である。マメ科草の草地生産力の意義としては、次の3点があげられる。

- ① 窒素固定…大気中の窒素を固定する。
- ② 窒素移譲…固定された窒素の一部がイネ科草にも利用される。
- ③ N循環の円滑化…易分解性画分の多いマメ科草残渣により土壤微生物が活性化され、土壤の有機物全体の分解スピードが速まる。

すなわち、草地にマメ科草が存在することにより草地の窒素循環系に投入される窒素量が増えるのみならず、微生物の活性化を通じて、循環のスピードアップが起こっていると考えられる。ここでは上記の3つの項目について、天北地方で永年的なマメ科草として期待されているアルファルファとラジノクロバの混播採草地を対象として検討をすすめる。

2. マメ科草の窒素固定とそれに関与する要因

1) 窒素固定能の特徴

根箱・圃場での観察、さらに窒素固定能の1つの尺度であるアセチレン還元活性 (ARA) の測定からアルファルファの窒素固定は次のように特徴付けられた。まず、早春は根粒着生が極めて少なく、地上部の生育が乾物で30 kg/10a (草丈10cm弱) を越してから急激に増加し、ARA もそれに伴って上昇した (図1)。地上部乾物が300 kgに達すると (再生後40日, 草丈約40cm), ARA は最大に達した。刈り取りによって根粒は影響を受けなかったがARA は刈り取り3~5日後検出できなくなり、地上部の再生に判って再び高まった。刈り取らなかった場合、大豆など1年生マメ科畑作物では開花、結

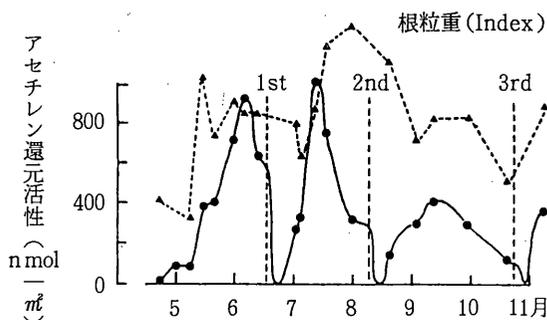


図1 アルファルファのアセチレン還元活性の季節変化 (オーチャードグラスとの混播)

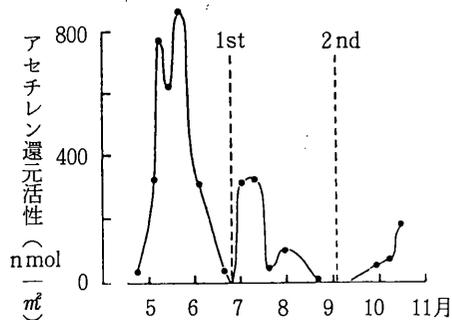


図2 ラジノクロバのアセチレン還元活性の季節変化 (チモシーとの混播)

実期に根粒の脱落, ARA の低下が観察されているがアルファルファの場合, 結実期になっても顕著な ARA の低下は認められなかった。また, 晩秋かなりおそくまで, 根粒はその活性を保持しているようであった。ラジノクロバの ARA もアルファルファと基本的に類似していると考えられるが(図 2), 相違点としては, 早春の活性発現がアルファルファより早いこと, イネ科草との光競合に弱いことのため各番草の後期に ARA の低下がみられることの 2 点があげられる。

2) 気象要因, 窒素施肥の影響

混播草地におけるマメ科率の年次変動はアルファルファよりもラジノクロバの方が大きかった。また, 窒素を施肥した場合の減少割合も大きく, 天北地方では概して, アルファルファよりラジノク

表1 Alf と Lc の生産力, N固定力比較

項 目	Alf (n=8)		Lc (n=8)	
	最大	最小 (平均)	最大	最小 (平均)
年間DM生産量 (kg/10a) O	290	733 (-)	20	306 (137)
年間N固定量 (kg/10a)	17.8	32.6 (-)	3.3	21.3 (11.1)
N 6 kg/10a 施用による DM	32	94 (73)	0	78 (40)
減少割合 (%) N	60	86 (78)	15	79 (55)

ローバの方が不安定であると言える。その要因としてラジノクロバがほ状型で光競合に弱いことに加え, 天北地方の土壤が保水力に乏しく¹⁾, 根の浅いラジノクロバは水分競合上も不利であることがあげられる。さらに, 高温, 早ばつ年に大発生するウリハムシモドキの食害も受けやすく, 以上の 3 要因が天北地方のラジノクロバを不安定にしていると考えられる。一方, アルファルファは草丈が高く, 深根性であるので光および水分競合に強く, 加えてウリハムシモドキの食害を受けにくいいため年次変動が小さく, 適切な管理をされている限り, 収量が前年に比べ半減するということにはなかった。しかし, アルファルファの場合, 不適切な刈り取り管理や不適地への作付け等により 1 度株数を減少させると, 通常的手段で回復させることは不可能であり, 収量もじり貧になるので, この点が注意を要する点である。

3) 化学性の影響

アルファルファ, ラジノクロバともイネ科草より, リン酸要求性が強く²⁾, 耐酸性が弱かった³⁾。特に, 根の浅いラジノクロバでは, 草地の経年化に伴う 0~2 cm 土層の酸性化によっても収量を減じた。一般に天北地方では草地の経年化によりラジノクロバが衰退すると言われているが, その要因として表層 pH の低下も関与していると思われる。それに対しアルファルファは根が深いので 0~2 cm 土層の酸性化による影響は小さかった³⁾。一般にアルファルファ草地は特別視されて, 石灰・リン酸とも十分に施用され, 逆にラジノクロバは冷偶される場合が多かったが(表 2), ラジノク

表2 Alf 草地の化学性

	層 位 (cm)	数	pH			Bray- P ₂ O ₅ (mg/ 100 g)		
			平均	最小	最大	平均	最小	最大
Alf 草地	0-5	12	6.3	5.3	7.3	45.6	19.9	73.7
	5-作		6.3	5.6	7.1	21.1	4.1	53.2
採 草 地	0-5	19	5.9	4.8	7.3	31.9	0.5	107.5
	5-作		6.1	4.9	7.3	11.4	0.2	73.1
放 牧 地	0-5	54	6.0	4.9	6.8	29.9	2.7	127.0
	5-作		5.9	5.0	7.1	15.9	0.5	63.7

ーバの窒素固定を積極的に利用する立場からは、酸正矩正、リン酸、カリの補給に留意すべきである。アルファルファの場合、好石灰植物と言われ石灰が必要なことは言うまでもないが、それを気にかけるあまり、石灰過剰となりホウ素欠乏が発生している草地も散見されているので、土壤診断にもとずいた石灰施用を行なうべきである。この際の目標土壌 pH は 6.0 ~ 6.5 である⁴⁾。

4) 土壤理学性の影響

浜頓別町で行なった調査の結果、ラジノクローバ率は砂丘土壌で保水力の極端に乏しいベニヤ統で少なく、粘質で下層に班鉄が現れ保水力の小さい高砂統がそれに続き、伏流水の流れ込むモブタウス統、保水力の大きな浅茅野統で大きい傾向であった(土壤統については参考文献5参照)。これはラジノクローバが浅根性で水分競合に弱く、湿潤年、いわゆる clover year に草勢が良くなるとする従来の考え方⁶⁾と符合している。

これとは逆に湿害に弱いアルファルファはモブタウス統のような傾斜地下部の水の集まる地点で消滅している例がみられた。そこで水分条件の異なる幾つかの土壌でアルファルファの生育(表4)、根の伸長・土壤断面(図3)等を調査した。アルファルファの生育のよい土壌は排水が良く、壤質で粘性がさほど強くない土壌であり、アルファルファの根はほとんど直線的に1 m以上の深さに達していた(図3, A)。アルファルファの生育の悪い土壌は粘性が強く、地表下50 cm程度に酸化沈積物、グライ班がみつめられた。アルファルファの根はグ

表3 土壤型とラジノクローバ率(Lc率)の関係

土 壤 型	n	平均 Lc 率 (%)	Lc 率30%以上の割合 (%)
ベニヤ(Be)	17	5	0
モブタウス(Mo)	7	40	71
浅茅野(As)	4	25	50
浜頓別(Ha)	11	10	9
高砂(Ta)	18	10	17

表4 土壤別 Alf の根重, 収量, 株数

土 壤	根 重 (DM. g/本)	収 量 (DM. kg/10a)	株 数 (本/m ²)
A	3.9	1,139	61
B	2.6	992	66
C	1.7	693	73
D	0.5	189	40
E	5.6	-	11
F	Alf 消滅		

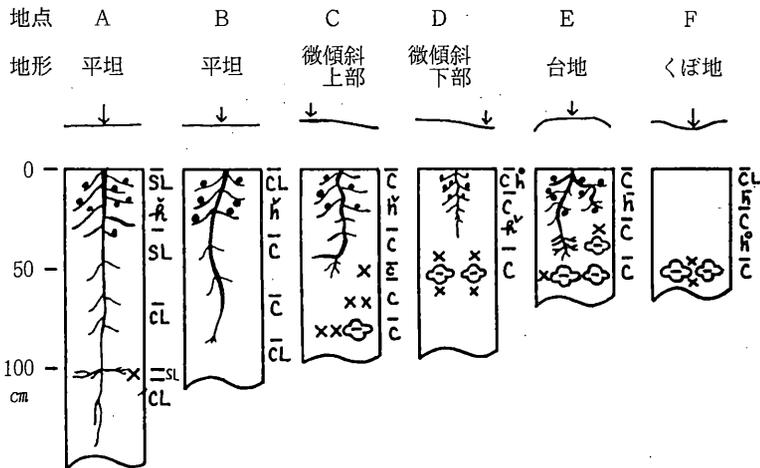


図3 土壤, 地形とアルファルファ根の生育

ライ班の出現している層には入らず、その上で横に伸びたり分岐していた (図3, C・E)。さらに、アルファルファの消滅している土壌はグライ班を有し、地形的にもくぼ地になっており、融雪時やまとまった降水により湛水しやすい条件を有していた。根粒活性の指標であるARAはアルファルファの生育の悪い土壌でも低下していないことから窒素固定能の減少がアルファルファ衰退の原因とは考えられない (表5)。一方、アルファルファの生育の悪い土壌では土壌中の酸素含量は明らかに低下しており (表6), 春先の地下水位も高かった (表7)。これらから、C~

表5 土壌別の Alf アセチレン還元活性 (ARA)

土壌	7月17日			9月3日		
	ARA	根粒重	生育量	ARA	根粒重	生育量
B	100	100	100	100	100	100
C	263	120	76	323	178	53
D	62	142	50	175	239	36
E?	137	180	79	52	175	54

注) すべてBを100とした指数で表示

表6 土壌空気中の酸素含量 (%)
1985. 10 / 5

土壌	深 さ (cm)		
	5	15	50
A	—	—	—
B	18.9	18.1	5.8
C	17.9	16.6	3.3
D	5.0	9.4	2.6
E	—	—	—
F?	2.4	2.8	7.5

表7 調査圃場の地下水位

土壌	水 位 (cm)			
	4 / 21	8 / 5	9 / 16	11 / 15
A	under	under	under	under
B	108	under	75	115
C	3	82	23	73
D	2	60	—	45
E	—	—	5	—
F	—	—	—	50

Fのような土壌のアルファルファ生育不良あるいは消滅の原因として、春先の過湿害や酸欠による根の障害が考えられる。また、アルファルファの要水量はオーチャードグラスの1.5倍以上と言われており⁷⁾、C~Eのような土壌では、根が浅く吸水できる土層に限られるため、水分不足に陥っていることも指摘できる。アルファルファは水はけの良い土壌に作付けすることが奨励されているが、水はけの程度については明確ではない。今後、高収をねらって集約的に栽培する場合と、粗放的に栽培する場合に分けて適地区分および施肥・管理法について明らかにする必要がある。

土壌の理化学特性は化学性と異なり人為的に改良することが困難であるので、ラジノクローバとアルファルファを、土壌特性を勘案してどう配置するかは、重要な課題である。また、伏流水の流れ込まないタイプの擬似グライ土やグライ台地土はアルファルファ、ラジノクローバ相方にとって不適地となる。このような土壌をカバーするためには、カナダで試みられているように、最も耐湿性の強いマメ科草である birdsfoot trefoil (ミヤコグサの類) や^{8,9)}、Creeping root type のアルファルファ (直根よりも側根の発達するタイプのアルファルファ)^{10,11)} の導入も検討の必要がある。

5) ま と め

ここまで示した各種環境要因がアルファルファ、ラジノクローバの生産力に与える影響についてまとめ表8に示した。それぞれの環境要因が両マメ

表8 マメ科草の生産力と環境要因

要因	草種	アルファルファ	ラジノクローバ
気 象		*	***
土壌化学性		**	***
土壌物理性		***	*
窒素施肥		**	***
刈り取り		***	*

注) それぞれの要因の重要性に対応して*を付した。

科草に与える影響を比較し、より鋭く反応する草種に***を付した。刈り取りについては特に触れなかったが、アルファルファの永続性にとって特に重要な要因であるのでこれに***を付した。

3. マメ科草の固定窒素移讓量

根粒菌により固定された窒素はマメ科草によって利用されるばかりでなく、一部はイネ科牧草にも移讓されることが知られている^{12,13,14)}。また、光や養水分競合にも拘らず、窒素不足がイネ科草の生育を著しく抑制するような条件では、マメ科草と混播することによりイネ科草の生育が増大することも報告されている^{15,16)}。ポット試験の結果、アルファルファ、ラジノクローバの混播により、イネ科草の窒素含有率は明らかに高まった(表9)。また、乾物収量も無窒素区では2倍以上に増加した(表10)。マメ科混播からイネ科単播条件のオーチャードグラス窒素吸収量を差し引いたものを窒素

表9 マメ科草からイネ科草への窒素移讓 (POT試験)

区	窒素施用	乾物収量 (g/pot)	窒素吸収量 (mg/pot)	窒素移讓量	
				(mg/pot)	(kg/10a)
Og 単	-	2.0	24	0	0
Alf 混	-	3.9	77	53	2.7
Lc 混	-	5.5	106	82	4.1
Og 単	+	7.7	107	0	0
Alf 混	+	10.4	190	83	4.2
Lc 混	+	8.8	170	63	3.2

注) 窒素の施用は60mg/pot (3kg/10a)

表10 マメ科草混播によるイネ科草N含有率の上昇 (POT試験)

区	窒素施用	Og. N含有率(DM%)		
		5/28	7/16	8/21
Og 単	-	1.68	0.97	1.01
Alf 混	-	1.92	1.51	2.46
Lc 混	-	2.26	1.18	2.58
Og 単	+	1.68	1.16	1.45
Alf 混	+	1.84	1.45	2.37
Lc 混	+	2.37	1.30	2.40

注) 窒素の施用は60mg/pot (3kg/10a)

移讓量とすると、2.7~4.2kg/10aの窒素がマメ科草からイネ科草へ移讓されたことになる。同様に圃場条件で表2の例について示した(表11)。無窒素の場合の窒素移讓量はアルファルファで3.7~8.5kg、ラジノクローバで1.2~6.8kgであり農家慣行の窒素施用量4~6kg/10a¹⁷⁾と比較して、その量が無視し難いことが理解される。

表11 圃場での窒素移讓量(kg/10a)

草種	窒素	最小	最大	平均
Alf	-	3.7	8.5	4.4
	+	1.2	6.8	3.6
Lc	-	2.3	8.9	5.7
	+	0.5	6.9	3.3

注) N施用は6kg/10a/year

4. マメ科草混播による土壌窒素循環の円滑化

草地表層には牧草地上部残渣および死根等が集積し、それに含まれる窒素、リン酸、カリ等は相当量にのぼる。草地生産力向上のためには、それらが微生物により再無機化され牧草の養分として循環することが必要である¹⁸⁾。一方、マメ科草は高蛋白であり、牛にとって良好な飼料であると同時に、微生物にとっても良い基質であると考えられる。表12によるとイネ科草単播草地よりもマメ科草混播草地の方が高い土壌微生物数を有していた。また、マメ科草の混在している草地の方がマメ科草の衰退した草地より高い土壌微生物数および活性を有し、その結果として、草地土壌表層の全窒素、全炭素とも低くなっていることも観察されている(表13)。このことから、草地にマメ科草を導入すること

により、イネ科草単播条件に比べ、草地土壌の物質循環が円滑化していることが理解できる。

表12 マメ科草地表面層の土壌微生物性(0-2cm土層)

草種	全細菌 ($\times 10^6/g$)	Gram-細菌 ($\times 10^6/g$)	糸状菌 ($\times 10^4/g$)
Og	37.4	1.3	12.1
Alf+Ti	49.2	2.3	14.0
-----	-----	-----	-----
Ti	54.6	2.3	6.7
Alf+Ti	81.3	7.4	14.0
-----	-----	-----	-----
Ti	39.2	2.2	5.9
Lc+Ti	83.2	6.1	21.7

表13 施肥処理の土壌微生物性に及ぼす影響

	マメ科率 (%)	土壌 pH	全細菌 ($\times 10^6/g$)	分解活性		全炭素 (%)	全窒素 (%)
				尿素	フラクトース		
PK	39	5.7	39	236	313	3.4	0.31
NPK	0	4.5	13	164	265	3.8	0.34

5. ま と め

以上、草地にマメ科草を導入することにより、マメ科草が窒素を固定するばかりでなく、その一部はイネ科草に移譲され、さらには土壌微生物の活性化により草地土壌における物質循環が円滑化することが示された。良質粗飼料の低コスト生産が叫ばれている現在、マメ科草をより積極的に利用していくことが必要であろう。そのためにはマメ科草の特性を踏まえた利用法、適合する土壌への作付など、経営内での配置に考慮しなくてはならない。

従来、混播マメ科草として用いられてきたラジノクローバは、特に再生力の強いオーチャードグラスと混播した場合、保水力の小さい天北重粘土地帯では不安定であることは否めない。しかし、一方、ラジノクローバの窒素固定により無窒素でも年間6~9kg/10aの窒素施用を行なった草地に遜色ない収量を得ている例も報告されている。さらにラジノクローバは高温、高湿、早ばつ年には衰退するが、適当な施肥管理さえ行なっていれば、湿潤年、いわゆる clover year に再び草勢を盛り返すことが知られている。このようなラジノクローバの特性を生かすためには、出来る限り水分供給の潤沢な土壌を選んで作付けするとともに、ニュージーランドで行なわれているようにリン酸、カリ、石灰の施用を中心とし、窒素を抑えた施肥管理が必要である¹⁹⁾。また、高収をねらった窒素の多施はラジノクローバの不安定性を助長するので、図4に示したように疎放的な放牧地、採草地への導入が適切であろう。

それに対し、アルファルファは図3のA、Bのような土壌では無窒素あるいは少量の窒素施肥(年間

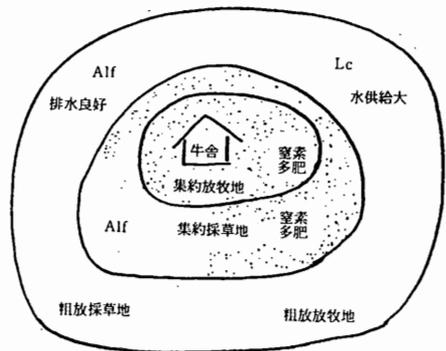


図4 マメ科草の特性を考慮した配置例

6 kg / 10a 程度) で、年間18kg / 10a の窒素施肥を行なったイネ科単播草地に勝るとも劣らない収量を得ることができるので、集約的採草地としての利用が適当である。B~Eのような土壤ではアルファルファの生産力は低く、永續性の観点から年2回刈りを余儀なくされている場合もあるので、粗放的な採草地としての利用が考えられる。もちろん、過湿土壤でのアルファルファの生産力は極めて低く、消滅することもあるので、粗放的利用を前提とした場合でも可能な限り排水のよい土壤を選ばなければならないのは言うまでもない。

牧草生産の最大の制限要因は草地への窒素供給量であると言っても過言ではない。天北地方の農家での窒素施用量は調査方法によっても差異があるが、マメ科草が衰退している場合が多いに拘らず4~7kg / 10a 年程度であり、これが牧草生産を低迷させている最大の要因である。窒素肥料を全草地に均等に施用するのではなしに、集約的に利用しようとするイネ科採草地に糞尿と組合せて集中的に施用し、他の草地は目的と土壤条件に合致したマメ科草の窒素固定力を最大限利用することで、より以上の牧草生産が可能であり、それに向けての、より具体的な技術指針の確立が急務であると考えられる。

参考文献

- 1) 三木直倫 (1984) : 昭和59年度. 草地土壤試験成績書, 天北農試土肥料, P 162
- 2) 宝示戸雅之 (1984) : 同上, P 118 - 124
- 3) Hojito, M., Nishimune, A., Takao, K. (1985) : Proc. 13th Int. Grass Con. in press.
- 4) 北海道立天北農業試験場 (1984) : 試験研究成果33選, P26 - 27
- 5) 北海道立中央農業試験場 (1969) : 地力保全基本調査成績書〔頓別地域 浜頓別町〕
- 6) Cowling, D.W. (1961) : J. Brit. Grassld. Soc., 16, 281 - 290
- 7) 北海道開発局 (1974) : 北海道における主要牧草の水分生理, P 16
- 8) Heinrichs, D.H. (1972) : Can. J. Plant Sci., 52, 985 - 990
- 9) Chevrette, J.E., et al (1960) : Can. J. Plant Sci., 40, 259 - 267
- 10) Heinrichs, D.H. (1963) : Adv. Agron., 15, 317 - 336
- 11) Heinrichs, D.H. et al (1960) : Can. J. Plant Sci., 40, 638 - 644
- 12) Simpson, J. R. (1965) : Aust. J. Agric. Res., 16, 915 - 926
- 13) Haystead, A., Marriott, C. (1979) : Soil Biol. Biochem., 11, 99 - 104
- 14) 平島利明他 (1971) : 道立農試集報, 23, 44 - 54
- 15) Carter, L.P., Scholl, J.M. (1962) : Agron. J., 54, 161 - 163
- 16) Dilz, K., Mulder, E.G. (1962) : Plant Soil, 16, 229 - 230
- 17) 北海道立天北農業試験場泥炭草地科 (1984) : 昭和58年度北海道農業試験会議資料「天北泥炭地における草地利用の実態と牧草の採食性に関する意識調査」, P 7
- 18) Whitehead, D.C. (1970) : The role of Nitrogen in Grassland Productivity, C.A.B., P30 - 37
- 19) 北岸確三 (1961) : 日本土肥学会誌, 32, 115 - 120