

シンポジウム「国際化時代における日本型草地酪農の構築～その2～研究サイドからの提言」

草地型酪農における物質（肥料成分） 循環と問題点

三 木 直 倫（道立天北農試）

I はじめに

我国の食飼料自給率は現在30%強¹⁾であり、昭和57年統計によれば食飼料の輸入に伴う窒素の流入量は73万tにも達する。また国内で生産される農水産物に含まれる窒素も合わせた160万tのうち、農業生産に組込まれ循環的に再利用される窒素は43万t、全体の27%程度にすぎない。つまり食生活、畜産廃棄物に含まれる窒素として毎年117万tが環境に排出されている。これを昭和35年の統計量と比較すると、食料輸入に伴う窒素の流入量が約7倍、環境に排出される窒素量は約3倍強になり、逆に農業生産に再利用される窒素量は昭和35年の80%弱に低下している²⁾（図1）。

同様な窒素（肥料成分を代表して）の流れは多量の粗飼料、濃厚飼料を必要とする酪農、畜産業においても同様であり、酪農、畜産業にとって畜産廃棄物の再生産過程への効率的循環（利用）は経営的・社会的に大きな問題である。

そこで本報では、草地型酪農における物質（肥料成分中窒素を中心として）循環量を概算し、再生産過程への効率的循環とそこに内在する問題点を考える。

II 草地型酪農における物質循環と問題点

最終生産物である牛乳（一部肉も含む）として酪農系外に搬出される肥料成分量は、牛乳1t当り窒素：4.5kg、リン酸：2.2kg、加里：1.7kg程度であり、総給与量（粗飼料＋濃厚飼料）のそれぞれ20～30、25～30、10～15%程度にすぎない。すなわち、牛乳で系外に排出される養分量は窒素30～35kg、リン酸15～20kg、カリ12kg程度までで残りの窒素100～120kg、リン酸40～50kg、加里90kg/成牛1頭が糞尿の形で生産され、系内に残る。つまり窒素で見ると、濃厚飼料で給与される窒素に相当する量が牛乳・肉で系外に搬出されるにすぎず、粗飼料で給与される窒素の総量が排糞尿として生産されることになる（図2）。

したがって、1～1.5頭/ha規模の草地型酪農では窒素で100～150、リン酸：40～60、加里：90～140kg/haが毎年土壌に還元可能となる。生草45t

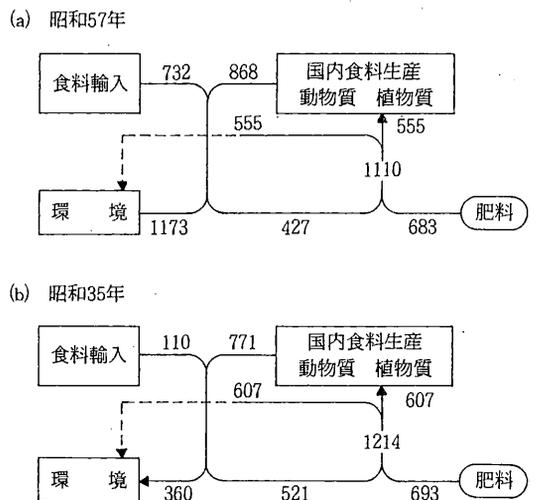


図1. わが国の食料供給に伴う窒素フロー（ $\times 10^3$ t）（三輪・小川）

/ha (乾物 9 t / ha) の牧草草量を得るに必要な養分量は窒素150~200kg, リン酸: 40~60kg, 加里: 220~270kg/ha 程度であり, 1~1.5頭/ha の糞尿還元はリン酸では大略充足され, 窒素, 加里では若干不足する量に相当する。この不足する窒素は混播マメ科草の窒素固定量30~80kg/ha (マメ科率10~30%程度) で十分補うことが可能

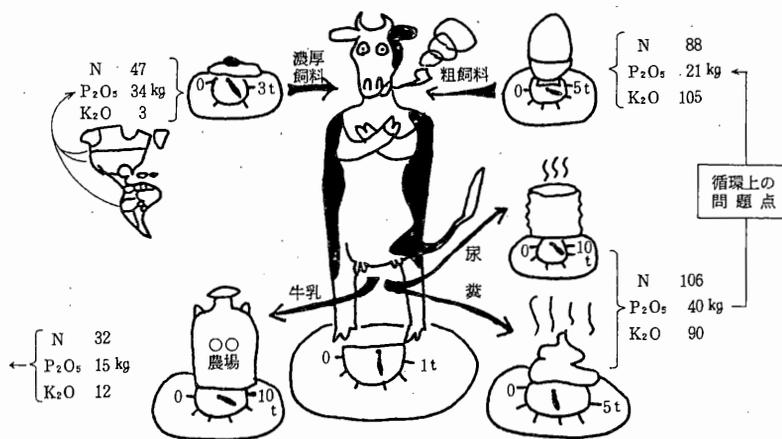


図2. 飼料・牛乳・糞尿の肥料成分フローと問題点

であり, また不足する加里 (130kg/ha 程度) は土壌によって異なるが若干量の化学肥料で補い得る。

以上に示した物質循環量は大雑把な概算量であり, 実際には化学肥料の形態で ha 当たり窒素 60~100 kg, リン酸: 60~80kg, 加里: 窒素と等量かやや多い量が毎年草地に施されている。このことは上記物質 (肥料成分) 循環の中で損失 (環境への流出), または経営内で不適正な分配により過不足が生じていることを意味する。

Ⅲ 物質循環を乱す要因

物質循環系を乱す要因は, ①貯溜期間中の損失, ②施用時の損失, ③不適正な分配方法, ④立地環境による適正分配の阻害などが考えられる。

(1) 貯溜期間中の損失

固液分離方式による貯溜期間中の肥料成分の損失は, 堆積期間中の窒素損失が大きく, 生産糞尿の40%にも及ぶとされている。しかし堆積期間中の排出液による部分は非常に少なく, 窒素で原物の1.3%, 加里で0.2%, リン酸で0.1%程度であった³⁾ (図3)。一方, 堆積期間中の脱窒, 揮散による窒素損失は莫大であろうと考えられている。例えば, 堆肥の堆積期間を延長させ, 切返しによって腐熟化を促進させた堆肥とそうでない堆肥を草地に表面施用 (乾物 5.2 t / ha 相当量の生堆肥を秋に施用) し, その窒素肥効を検討した結果, 未熟な堆肥が中~完熟したそれより施用効果が高かった⁴⁾ (図4)。すなわち, 堆積期間の延長と切返しにより堆肥の

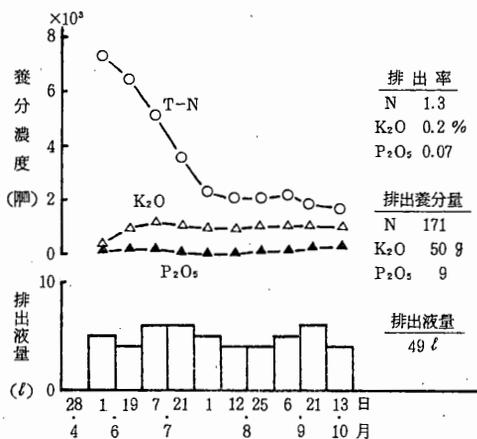


図3. 厩肥堆積期間中の排出液に伴う養分の損失 (神山・岡島 1980)

乾物率、窒素濃度が高まり、C/N比が低下するが、堆積期間中の分解過程でアンモニア態窒素および易分解性有機物中の窒素の相当量が損失したものと考えられる。これに対し、液状厩肥方式での貯溜期間中の損失は少ないと考えられている⁵⁾。

(2) 施用時の損失

施用時の損失は液状厩肥、尿の表面施用で多く、施用窒素の20~50%がアンモニア揮散によって損失する(図5)。

このアンモニア揮散は散布資材のpHが高いほど、また散布時の気温が高いほど多量である。この揮散による窒素損失は散布資材のpHを正リン酸添加(0.1~0.4V/W%, 100~400ml/原物1t)によって、また牧草の窒素吸収量が旺盛で、かつ気温の低い時期(秋または春)に施用することにより低減しうる⁶⁾。

一方、草地造成時に基肥として多量の堆厩肥施用による窒素損失は、は種時から幼牧草時までの根系発達が貧弱な時期に無機化した堆厩肥窒素の一部が流亡する可能性がある。しかし、その量は現在未検討の問題として残されている。

(3) 不適正な分配方法および放牧地での施肥、糞尿窒素の動態

不適正な分配方法として施設近傍草地への多量処理、および放牧地への施用がある⁵⁾(図6)。新酪農村での例をみると、この農家での窒素収支〔(肥料+濃厚飼料)-(乳牛+不明部分)〕はプラスであるが、この分配率に問題があり、放牧期間中糞尿還元が多量であり(150~230kg/ha, 生産糞尿の30%以上)、しかも牛体に蓄積され系外に出る窒素は施用窒素の10~20%^{7,8)}とわずかで、大部分が系内に残る放牧地に多量の液状厩肥が施用されている。この分配方法がこの経営内の窒素循環上の大きな問題点である。

一方、ニュージーランドでは放牧草地に施用された窒素の肥効は施用時期で著しく異なり、高温期に施用された窒素の10~30%しか牧草に吸収利用されず、土壌にも残存していない⁹⁾。つまり施用窒素の90~70%が脱窒、揮散によって損失していることを示している。また放牧地でのアンモニア揮散は放牧終了直後に最も多く、さらに排尿地とか放牧牛が休息した場所の土壌中無機態窒素量は極めて多量で、かつ大部分が硝酸態窒素で占められていた⁸⁾。つまり排糞尿窒素のかなりの部分が脱窒揮散によって損失し、また

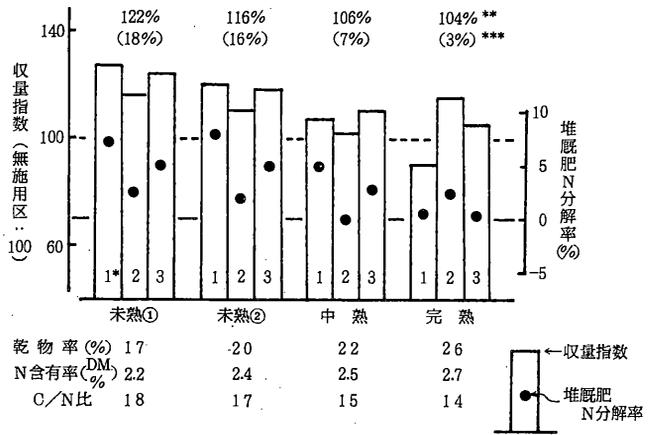


図4. 堆厩肥の腐熟度と牧草収量、窒素分解率の関係
* 番草 ** 年間合計の収量指数
*** 年間合計のN分解率

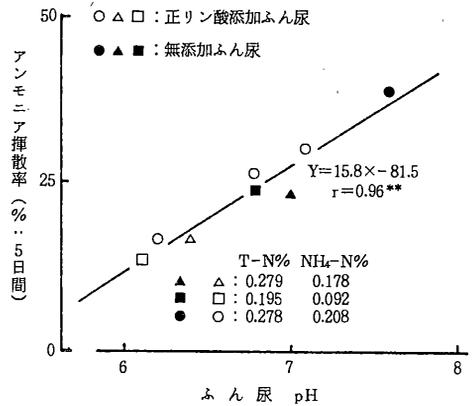


図5. ふん尿pHとアンモニア揮散率 (齊藤他1986)

多量の硝酸態窒素の存在は土壤採取時期から類推して、硝酸態窒素の大部分が流亡するものと考えられる。従って、放牧地での施肥窒素も含めた窒素損失は揮散、流亡で80%以上にも達すると指摘されている⁸⁾。

しかし、これらデータが全て北海道の放牧草地に適合するかどうかは問題があり、放牧草地の施肥管理については早急な検討が必要である。

また、天北地方一般農家放牧地の植生と表層蓄積有機物が保持する窒素量は採草地の2~3倍(400~600kg/ha)にも達し、とりわけ0.1mm以上有機物が含有する窒素量が採草地より顕著に多く、放牧地では有機物分解が何らかの要因で抑制されていることを示唆しており、放牧地での物質循環の把握が大きな問題である⁴⁾(表1)。

(4) 立地環境による適正分配の障害

立地環境による適正分配の障害は遠隔地および軟弱地盤の泥炭地を採草地として利用する酪農地帯、とりわけ天北地方では大問題である。例えば泥炭地：鈣質土=30:27ha(1.5頭/ha規模)の事例¹⁰⁾(図7)では、泥炭草地30haに施用された肥料成分、および購入飼料成分の一部が全て鈣質土草地である27haに還元(330kg N/ha)されている。この結果、造成5、6年目のチモシー主体草地の乾物収量は無窒素条件でも7t/ha以上を示すとともに、牧草体カリ含有率が3.5%以上にも達していた¹¹⁾。すなわち、遠隔地および泥炭地採草地への生産糞尿の還元は適正な物質循環、牧草の品質の問題からみて極めて重要な問題であり運搬、散布手段の改善とともに泥炭草地での効率は施用時期の検討が急務である。

以上、家畜糞尿の窒素を中心に循環系も乱す要因を列記したが、他のリン酸、カリの損失は、一部施設不備によるカリの損失を除いて少なく、むしろ不適正な分配方法による土壤への蓄積、養分供給量の過剰が問題となる。

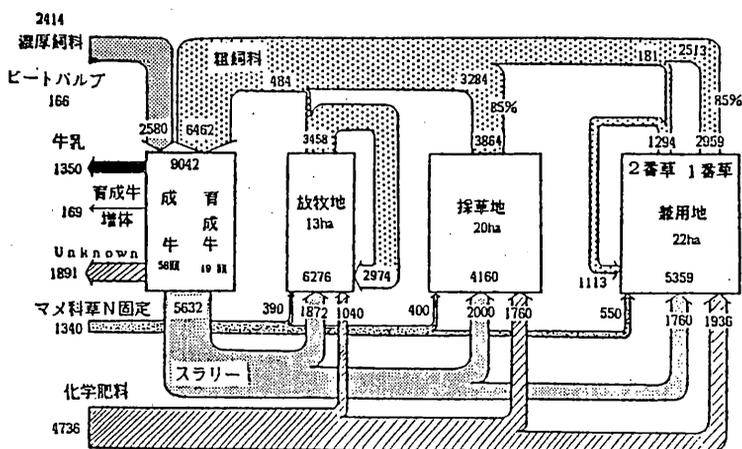


図6. 新酪農村内M農家におけるN循環 (kg-N/年) (松中, 1984)

表1. 利用形態別草地の蓄積N量 (g/m²)

項目	採草地 (A)		放牧地 (B)		B/A
	現存量	N (%)	現存量	N (%)	
地上部茎葉	106	1.74	138	2.27	163
根 部	470	0.94	620	1.25	170
枯死茎葉	270	1.18	280	1.64	145
有機物*	1100	1.28	2200	1.77	273
合計		23.6		53.9	228

* 0.1 mm以上有機物

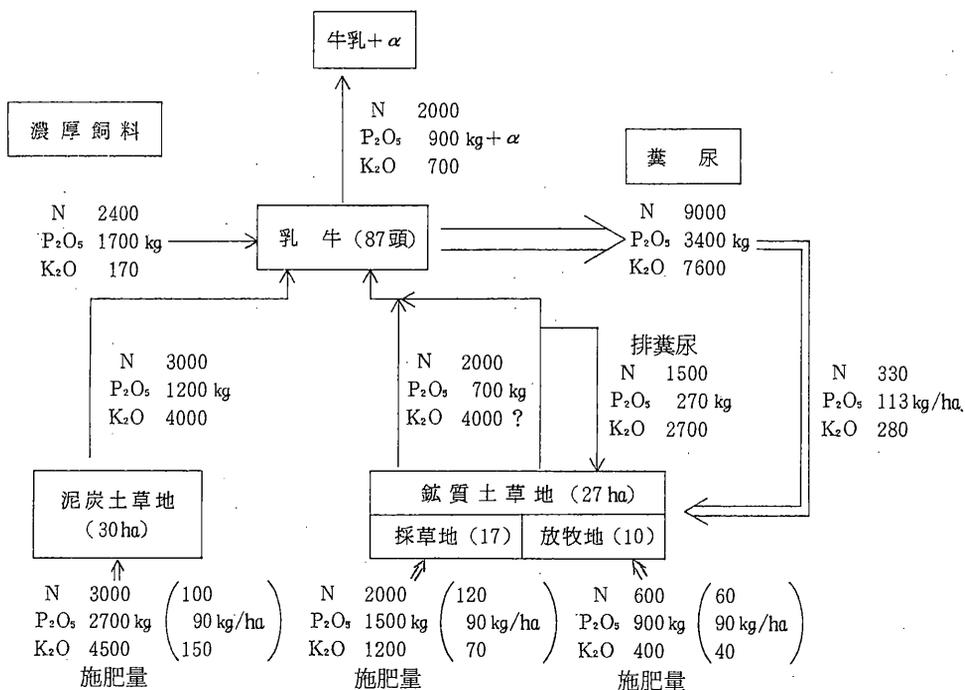


図7. 泥炭草地利用農家(豊富町瑞穂)のN, P₂O₅, K₂Oフローと問題点

IV 循環物質の効率的再利用

IIで指摘した循環物質の損失を最少限に制御し、かつ効率良く再生産過程へ組み込むかが次の問題となる。ここでは液状厩肥および堆厩肥の効率的再利用について考察する。

(1) 液状厩肥の効率的再利用¹²⁾

基本的には施用時の窒素損失を出来るだけ少なくする施用時期の適正化が効率的利用の最大条件である。

図8に示すように9月上, 10月下旬の施用は気温が低く、かつ牧草はまだ活発な養分吸収を行い得る時期

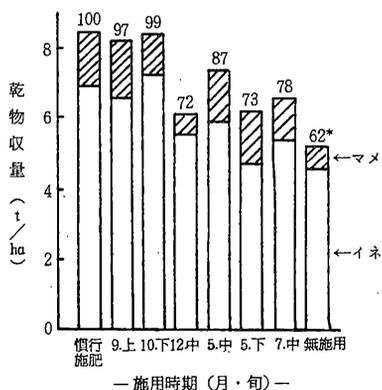


図8. 液状厩肥の施用時期別年間収量 (松中ら, 1988)
* 慣行施肥に対する指数

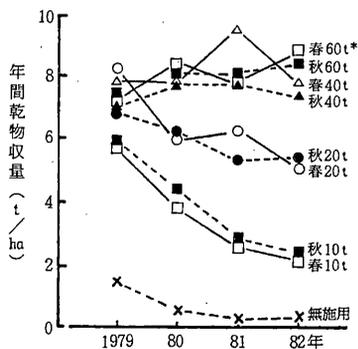


図9. 液状厩肥の運用による年間収量の経年変化
*: 施用時期は、前年秋(10月下旬)と早春(5月中旬)で、施用量は t/ha で表示。(松中ら, 1988)

で、慣行施肥と同等の収量が得られる。しかし12月中旬の施用では気温が低いものの牧草は越冬（休眠）状態にあり、土壌も凍結しているため施用された液状厩肥養分のかなりの部分が吸収されず、また土壌にも保持されないため流亡によって損失してしまう。これに対し、5月中、下旬の施用は液状厩肥窒素の利用率は高いものの、この時期ではチモシーの吸収した窒素が十分乾物生産に反映されないため施用効果が低い。また7月中旬では牧草の窒素吸収力は高いものの気温が高くアンモニア揮散により施用窒素の損失が大きくなり施用効率が低下する。すなわち、アンモニア揮散を低減しうる低温時で、かつ牧草の窒素吸収が旺盛な時期（秋または早春）の施用が最も効率的である。

また、液状厩肥 40~60 t/ha の連用は化学肥料を用いることなく十分な収量が得られ（図9）、牧草の成分および土壌の化学性に悪影響を及ぼすことはない。さらに液状厩肥の肥効は速効的で残効は僅かであり、牧草の品質からみて施用限界量は 60 t/ha までである。

(2) 堆厩肥の効率的再利用

天北地方鈹質重粘土草地での堆厩肥の施用効果の発現様式は施用方法で異なり、造成時基肥施用の堆厩肥窒素の肥効は造成後経年的に減少し、逆に表面連年施用のそれは連用年数の増加に伴って5、6年目まで直線的に増加する。しかし、施用量が等量であれば（ここでは基肥 100 t/ha と、それを5ケ年に分割し毎年 20 t/ha を表面連用した）牧草収量に及ぼす効果は同等（施用5ケ年の無施用区に対する平均収量指数）である。このことは、施用法間の堆厩肥 1 t 当たりの窒素供給量が同等であることから明らかである¹³⁾（図10）。

1) イネ科牧草主体草地の窒素施肥管理

草地更新時に堆厩肥を施用しないでイネ科主体の草地を造成し、窒素 120, 180 kg/ha 年条件で、かつ表層土壌の化学性を良好（H₂O, pH: 5.5 以上）に管理した場合、採草地の収量は造成2年目が明らかに高いことを除いて、3年目以降ほぼ一定であった。ところが堆厩肥を施用した一般農家のイネ科主体草地の牧草収量は造成4年目まで急激に低下し、それ以降の牧草収量は無窒素条件では経年的に漸次低下、窒素 90 kg/ha 年条件では造成6年目程度まで低下、以降ほぼ一定、窒素 180 kg/ha 年条件では造成4年目以降ほぼ一定であった。そして、施肥窒素の増肥効果（N180/N90 収量指数）は草地の経年化に伴って直線的に増大した¹⁴⁾（図11）。すなわち草地は経年化に伴って必ずしも荒廃化し収量が低下するのではなく、土壌から供給される窒素が経年的に減少し、これが牧草収量を低下させている主な原因である。この土壌窒素供給量が造成2~4、5年目程度まで高い理由は、更新対象草地の経年化過程で表層に蓄積した有機物、および草地造成時に施用された堆厩肥の分解で供給される窒素量が多い

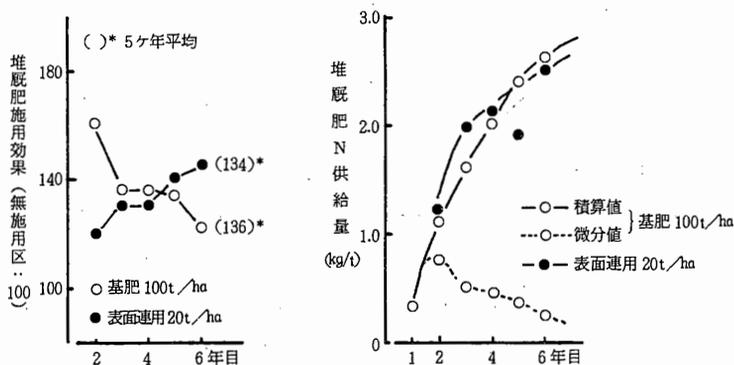


図10. 堆厩肥施用方式の違いによる施用効果および窒素供給量の経年変化（褐色森林土 N 100kg/ha. 年施用条件, 1982~87年）

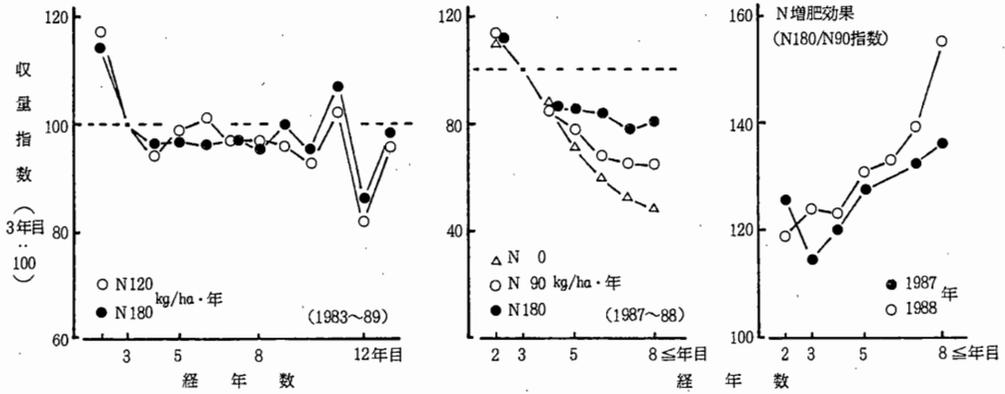


図 11. 草地の経年化に伴う牧草収量の変化と窒素増肥効果

ためである。したがって、この土壤窒素供給量の経年的減少を化学肥料の施肥で補い、牧草に対する窒素供給量を一定に保つことで、草地の経年化に伴う収量低下を防ぎ得ると考える¹³⁾ (図12)。

2) イネ・マメ科混播草地の窒素施肥管理

イネ・マメ科混播草地(ここではラジノクローバ混播草地を対象)におけるマメ科率は光、温度、養水分などの環境に対する生育競合、および再生様式の差異による競合などによって種々に

変動する¹⁵⁾。一方、両草種間の生育競合は窒素施肥によって強調されることが広く指摘され、同一窒素施肥条件では造成初期のマメ科率は堆肥無施用>堆肥施用の関係が認められている¹⁶⁾。しかし、イネ科牧草の生育は窒素施肥のみならず土壤から供給される窒素も加算した「施肥+土壤」合計窒素供給量に支配されるため(図13)、土壤窒素供給量を加味した窒素施肥量を決定するのがより妥当と考える。例えば天北地方の鈹質重粘土に立地する造成2年目草地のマメ科率(年間平均)を20~30%程度に維持しうる「施肥+土壤」合計窒素供給量は年間100~120kg/ha程度であり⁴⁾(図14)、造成3年目以降は混播マメ科草の窒素移量も加味した「施肥+土壤+マメ科草移讓」合計窒素供給量で対応すべきと考える

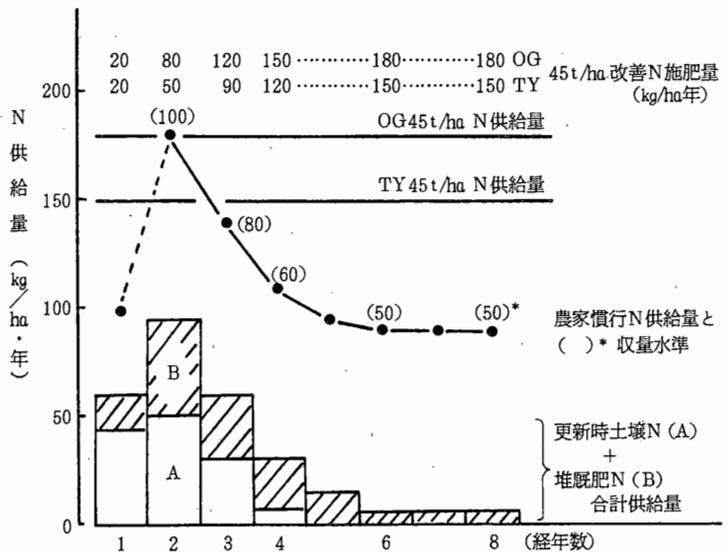


図 12. イネ科主体採草地の経年化に伴う合理的窒素施肥配分

(現在検討中)。

一方、ラジノクローバはイネ科草との水分競合に弱いため干魃に弱い。天北地方は6~8月の降水量の年次変動が頻る大きく、降水量、土壌有効水容量の多寡によってマメ科率が変動する¹⁷⁾。したがって、天北地方のマメ科混播草地の維持は窒素施肥管理のみならず土壌の保水力も考慮すべきであり、土壌水分供給能を基本とした土壌図の作成が急務である。

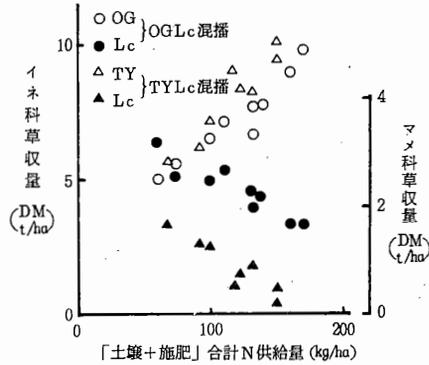


図 13. 「土壌+施肥」合計窒素供給量と混播草地の草種別収量の関係 (造成2年目, 疑似グライ土)

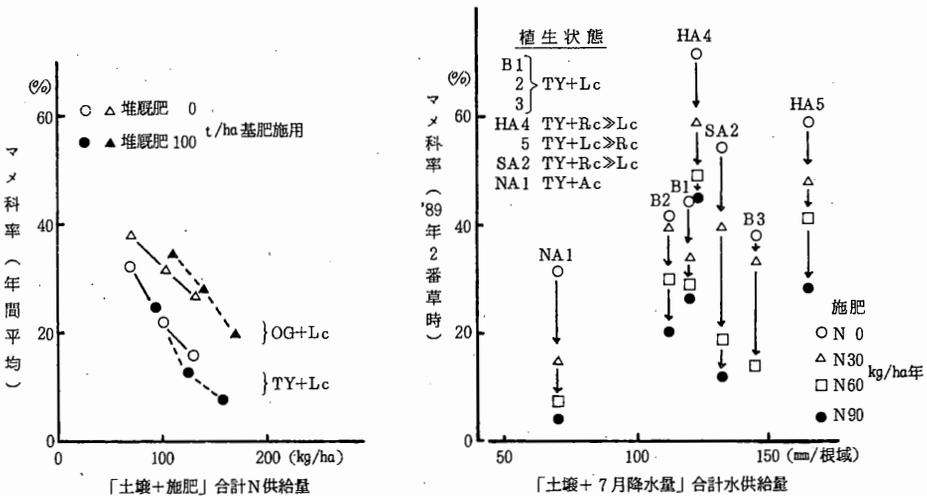


図 14. 混播草地のマメ科率と窒素および水分供給量の関係

(3) 堆厩肥の地帯, 土壌別施用量

施用堆厩肥の分解は地帯および土壌, すなわち地温と土壌の水分供給力に律速されるため肥効発現様式と持続性が異なる。つまり積算地温の高い札幌, 長沼は施用当年の牛糞窒素の分解率が40%以上と積算地温の低い天北地方の18~28%より明らかに高い。また積算地温が高い地帯であっても土壌の水分供給力の小さい滝川での牛糞窒素の分解率は札幌, 長沼の1/2程度であり, 天北地方でも水分供給力の大きい泥炭土で高く, 水分供給力の小さい疑似グライ土は低い⁴⁾ (図 15)。

さらに, 堆厩肥の造成時基肥収量施用は疑似グライ土を始めとする物理性の劣悪な土壌では低水分領域の粗孔隙量など物理性および牧草の根はりの改善による降水不足時の収量低下を緩和させる効果がある。すなわち堆厩肥の造成時基肥施用量は土壌の特性を考慮することが合理的である。つまり物理性が良好な

土壌（褐色森林土、礫質低地土等）では現行の堆厩肥施用量とし、物理性の不良な土壌で（疑似グライ土、粘質な低地土等）では深耕と堆厩肥の併用とし、施用量を100 t/ha程度とする方法が草地生産性の改善に効果的である¹⁸⁾（図16）。

以上のことから、堆厩肥の施用量は地帯、土壌によって異なるべきであり、牧草の生育量（養分収奪量）との関連で再整理が必要である。またha当たりの飼養頭数（規模または集約度）からみた草地の施肥体系そのものを見直す時期に来ていると考える。

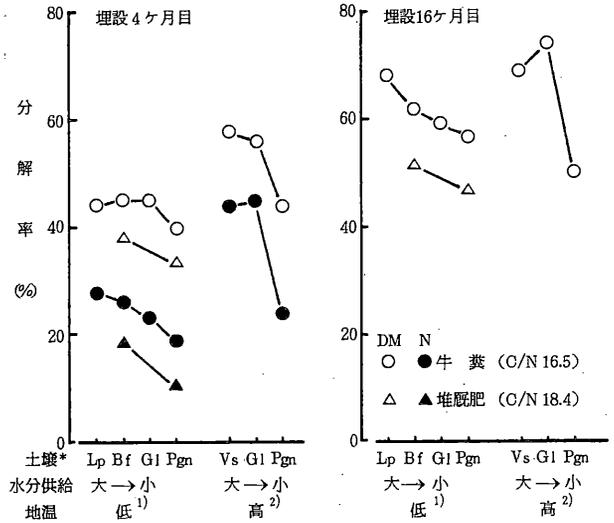
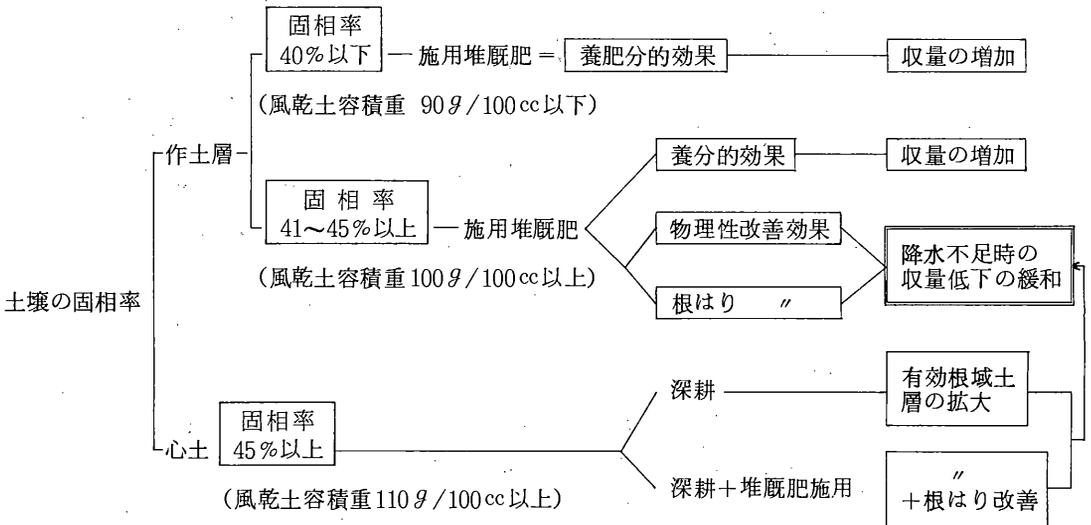


図15. 牛糞、堆厩肥の分解に及ぼす地温、土壌水分供給の影響

1) 天北農試 2) Vs: 北農試 G1: 中央農試
同泥炭試験地 Pgn: 滝川畜試

* Lp: 泥炭土, G1: 低地土, Bf: 褐色森林土,
Pgn: 疑似グライ土, Vs: 火山性土



- 作土層の固相率が40%以下の土壌での堆厩肥施用量は基肥で50 t/ha程度（従来法）とする。
- 作土層の固相率が41~45%以上の土壌での堆厩肥施用量は低 pF 水分領域の粗孔隙量、根の分布割合からみて基肥 100 t/ha 程度を限界とする。

図16. 土壌の物理性に対応した堆厩肥施用と深耕の効果

V 今後の問題点

草地型酪農における物質環境をスムーズに再生過程に寄与させるための問題点を整理すると、以下のようである。

① 試験研究サイド：

- ア. 放牧地における施肥および排糞尿窒素の動態と効率的草地管理
- イ. 地帯別土壌別の施用有機物分解量と牧草の生育量に関連させた適正堆厩肥施用量の査定
- ウ. 泥炭草地に対する貯溜方式別効率的施用時期～特に肥効と水系への影響
- エ. 物質循環に基づく草地の効率的な管理～ha当たりの飼養頭数と草地の施肥管理
- オ. etc.

② 農業者サイド：

生産糞尿の分配方法の適正化

③ 農業支持団体サイド：

遠隔採草地への生産糞尿の運搬手段、泥炭草地への運搬手段と施用手段の改善。例えば町、農協の所有するダンプトラックの農家へのリースおよび特製マニユア・スプレダー（自走式）の購入と農家へのリースなど

VI おわりに

畜産廃棄物である家畜糞尿は肥料成分の濃度からみて（例えば窒素 4 kg = 硫安 20 kg ⇔ 堆厩肥、液状厩肥 1 t），再生産過程への再循環には多大な労力・エネルギーを必要とし、かつ取扱も煩雑である。したがって、これら家畜糞尿の再循環には分配率とそれを補助する運搬、散布（施用）手段の効率化が最大の経営的問題である、と同時に環境への流出を最小限にいとめる配慮が必要である。

さらに付け加えるならば、酪農経営の効率化・安定化を図ると同時に、地域のシビルミニマムに十分配慮した草地酪農地帯での生活空間の形成が今後の最も大きな課題であろう。

参考文献

- 1) 唯是康彦：NHKブックス，日本放送出版協会刊（1988）。
- 2) 三輪睿太郎・小川吉雄：科学，vol. 58，No. 10，631-638（1988）。
- 3) 岡島秀夫編：文部省「環境科学」研究報告集 B 49-R 12-10（1980）。
- 4) 三木直倫：未発表資料。
- 5) 松中照夫：北海道土壌肥料研究通信 第31回シンポジウム，33～36，北海道土壌肥料懇話会編（1984）。
- 6) 斉藤元也・倉島健次・木村 武：草地飼料作研究成果最新情報，vol. 1，35-36．農林水産省草地試験場（1985）。
- 7) 袴田共之・平島利昭：日草誌 24，48～56（1978）。
- 8) Ball, P.R. and J.C. Ryden: Plant and Soil. 76, 23-33 (1984)。
- 9) Ball, P.R., Keeney, D.R., Thebald, R.W. and Nes, P.: Agro. J., 71, 309-314 (1979)。

- 10) 梶田和典：私信。
- 11) 天北農試：草地土壤試驗成績書 天北農試 土壤肥料科 (1987, 88)。
- 12) 道立根釧農試：昭和60年北海道農業試驗會議(成績會議)資料(1985)。
松中照夫・小関純一・近藤 熙：日土肥誌 59, 419 (1988)。
- 13) 道立天北農試：昭和62年 北海道農業試驗會議(成績會議)資料(1987)。
- 14) 道立天北農試：平成1年 北海道農業試驗會議(成績會議)資料(1990)。
- 15) 平島利昭：北海道立農業試驗場報告 27 (1978)。
- 16) 大村邦男・赤城仰哉：北農 50, 6, 1-23 (1983)。
- 17) 中辻敏朗・三木直倫・松原一實：北海道草地研究会報, 投稿中。
- 18) 道立天北農試：昭和62年北海道農業試驗會議(成績會議)資料(1987)。
三木直倫：日土肥誌, 投稿中。