

## 第IV章 土壤からの窒素吸収量の経年変化と窒素施肥管理

### 第1節 土壤からの窒素吸収量の経年変化と牧草収量の関係

前章までに、オーチャードグラス主体草地の収量は、①肥料窒素が十分供給された条件（年間施肥量18kg N / 10 a）では経年変化に伴う変化が極めて小さい、②肥料窒素の施肥量が少ない条件（年間施肥量12kg N / 10 a）では造成9～10年目以上の古い草地の収量が低下するが、これは1番草の肥料窒素利用率と低温時の土壤からの窒素吸収量が経年的に減少することに起因する1番草収量の低下が原因であり、2,3番草収量は造成後の古い経年草地であっても必ずしも低下しない、③肥料窒素利用率と土壤からの窒素吸収は蓄積有機物量およびその組成と密接に関連し、草地表層土壤の酸性化と盛夏期の乾燥はこれらを阻害すること、④造成2年目草地の収量はいずれの窒素施肥水準でも高収を示すこと、などが明らかとなった。

本節では、天北地方の鉍質土に立地する一般農家草地の牧草収量の実態を調査し、これに基づいて草地の経年変化に伴う収量および土壤からの窒素吸収量の変化を検討し、土壤窒素診断を実施するための問題点の抽出を試みた。

#### 実験方法

天北地方に分布する主要土壤（褐色森林土、疑似グライ土、低地土）のオーチャードグラス主体草地45筆（褐色森林土19筆、疑似グライ土21筆、低地土5筆）およびチモシー主体草地53筆（褐色森林土19筆、疑似グライ土22筆、低地土12筆）を対象に窒素施肥量3水準（無窒素、半量、標準量、但し標準区施肥量はオーチャードグラス、チモシー主体草地でそれぞれ18、15kg N / 10 a）で現地試験を実施した。リン酸、カリは牧草生育に不足しない慣行施肥量とし、オーチャードグラス主体草地では年3回均等施肥、チモシー主体草地では早春：1番草後＝2：1の施肥配分で年2回施肥とした。

収量調査は、オーチャードグラス主体草地では1番草6月上～中旬、2番草8月上～中旬、3番草9月中～下旬の3回、チモシー主体草地では1番草6月下～7月上旬、2番草8月下旬～9月上旬の2回とした。試験は1区2×2mまたは3×3mとし、3反復で実施した。なお供試した4～6年目草地の一部には厩肥の表面施用が実施（聴き取り調査による厩肥施用量は2～4 t / 10 a）されていた。

土壤は直径2.5cmの採土器を用い、試験区内から10～15カ所を0～5cm、5cm～作土層下端（平均20cm）の2層で早春施肥前に採取し、以下に示す分析法で土壤窒素含量を測定した。

- ① 熱水抽出法：風乾土を用い、土液比1：10で110℃、1時間、オートクレーブで抽出、測定した（以下、熱水抽出窒素と略称）。
- ② 風乾土培養法：風乾土10gを30℃の標準培養条件で30日間培養し、無機態窒素を測定した（以下、風乾土培養窒素と略称）。
- ③ 生土培養法：砕土した生土を30℃の標準培養条件で30日間培養し、無機態窒素を測定した（以下、生土培養窒素と略称）。

なお、風乾土および生土培養窒素は培養前の無機態窒素も含んだ測定値で示した。

#### 実験結果

##### 1) 牧草収量の経年変化

一般農家草地の牧草収量（図33）は肥料窒素の施肥水準が低い条件（無窒素、半量区）では、草地の経年変化に伴って低下した。しかし、窒素標準区のそれは造成2,3年目の平均乾物収量が1,000～1,200kg / 10 aと高いものの、オーチャードグラス主体草地では造成4年目以降、平均850kg / 10 a（780～900kg）、またチモシー主体草地でも造成3年目以降、平均980kg / 10 a（860～1,050kg）とほぼ安定していた（図33 a）。したがって、肥料窒素の増施肥効果（標準/半量区収量指数）は造

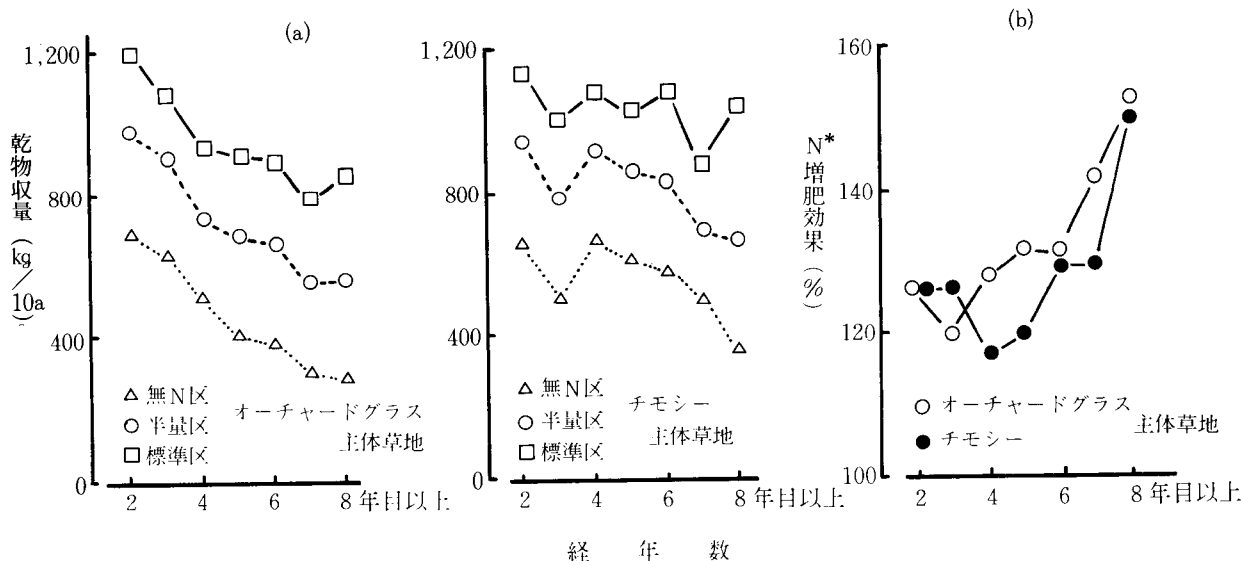


図33. 一般農家草地の経年化に伴う収量変化(a)と窒素増肥効果(b)  
\*標準区/半量区収量指数(1987~'89年)

表44. 農家草地の無窒素区の窒素吸収量\*と肥料窒素利用率\*\*および乾物生産効率\*\*\*の経年変化(1987~'89)

| 項目               | 草地(筆数)<br>區別 | 造成後経年数                     |                             |                             |                             |                             |                              |                           |                           |
|------------------|--------------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                  |              | 2年目<br>(16)                | 3年目<br>(18)                 | 4年目<br>(14)                 | 5年目<br>(15)                 | 6年目<br>(7)                  | 7年目<br>(8)                   | 8年目以上<br>(11)             |                           |
| N吸収量<br>(kg/10a) | 全体           | 10.3 <sup>a</sup><br>(3.6) | 10.0 <sup>a</sup><br>(3.3)  | 8.4 <sup>a b</sup><br>(2.3) | 8.0 <sup>a b</sup><br>(2.5) | 7.1 <sup>a b</sup><br>(0.7) | 5.8 <sup>b c*</sup><br>(1.6) | 4.8 <sup>c</sup><br>(1.3) |                           |
|                  | 草種別          | OG                         | 11.9 <sup>a</sup><br>(7~19) | 11.5 <sup>a</sup><br>(6~18) | 8.0 <sup>b</sup><br>(3~11)  | 7.6 <sup>b</sup><br>(6~10)  | 7.1 <sup>b</sup><br>(5~8)    | 5.5 <sup>c</sup><br>(4~8) | 4.8 <sup>c</sup><br>(3~6) |
|                  |              | TY                         | 8.9 <sup>a</sup><br>(5~14)  | 7.7 <sup>a</sup><br>(6~11)  | 8.5 <sup>a</sup><br>(8~10)  | 8.2 <sup>a</sup><br>(3~12)  | 7.1 <sup>a</sup><br>(7~10)   | 5.1 <sup>b</sup><br>(3~8) | -                         |
|                  | 土壌別          | B f                        | 13.1                        | 10.7                        | 8.3                         | 7.1                         | 7.7                          | 5.3                       | -                         |
|                  |              | P g n                      | 9.2                         | 9.6                         | 6.9                         | 8.0                         | 7.1                          | 5.7                       | 4.8                       |
|                  | All          | 9.6                        | 6.3                         | 9.3                         | 9.0                         | 6.7                         | -                            | -                         |                           |
| 肥料窒素<br>利用率(%)   | OG           | 58±7                       | 56±13                       | 51±15                       | 61±13                       | 57±8                        | 48±12                        | 49±14                     |                           |
|                  | TY           | 55±13                      | 58±13                       | 54±17                       | 56±21                       | 46±13                       | 45±8                         | -                         |                           |
| 乾物生産<br>効率(%)    | OG           | 56±6                       | 54±6                        | 58±5                        | 51±6                        | 52±4                        | 56±5                         | 61±6                      |                           |
|                  | TY           | 72±8                       | 64±10                       | 68±11                       | 67±13                       | 75±9                        | 63±6                         | -                         |                           |

\* 造成7,8年目以上草地はマメ科草の影響のある草地を除いて算出した

全体: 平均値(標準偏差), 草種別: 平均値(範囲), 土壌別: 平均値で表示した

\*\* (窒素施肥区N吸収量-無窒素区N吸収量) ÷ N施肥量  
(半量区, 標準区の平均: 平均値±標準偏差で表示)

\*\*\* 吸収N 1 kg当たりの乾物生産量, (半量区, 標準区の平均: 平均値±標準偏差で表示)

草種~OG: オーチャードグラス, TY: チモシー, 土壌~B f: 褐色森林土, P g n: 疑似グライ土,

All: 低地土とそれぞれ略記 a, b, c: 異文字間に5%水準で有意差あり

成4,5年目以降で顕著に高まった(図33b)。このような窒素施肥量が十分な条件(標準区)における造成3,4年目以降の収量の経年変化が小さかったこと、また窒素の増施効果が経年草地で増大したことは前章までの結果と一致した。

一方、オーチャードグラス主体草地の造成2,3年目の収量がいずれの窒素施肥水準でも高いこと、また、窒素施肥量が低水準の場合、造成4年目以降の収量が低下した原因を窒素吸収の面で、①土壌からの窒素吸収量の変化、②肥料窒素の利用率の変化、③吸収窒素の乾物生産効率の変化の3要因に分けて考えることにし、それぞれについて検討した(表44)。

オーチャードグラス主体草地の無窒素区牧草の年間合計窒素吸収量は、造成2,3年目草地が12kg N/10aと最も高く、以降、草地の経年化に伴って低下した。また、チモシー主体草地のそれは造成4,5年目が高いものの造成6年目以降の草地では2,3年目草地より低かった。さらに、両主体草地の結果を合わせて土壌別に集計した無窒素区窒素吸収量についても経年的に低下する傾向が認められた。

次に肥料窒素の年間利用率(窒素施肥区窒素吸収量-無窒素区窒素吸収量÷窒素施肥量×100)は45~61%の範囲にあり、オーチャードグラス主体草地では造成7年目以上の草地でやや低下するものの造成2~6年目の草地間では大差なかった。

また、チモシー主体草地についても同様に造成6年目以上の草地でやや低下するが、造成2~5年目の草地間では差はなかった。

さらに、吸収窒素の乾物生産効率はチモシー主体草地>オーチャードグラス主体草地の関係が認められるが、両草地とも草地の経年数間では大きな差は認められなかった。

以上の結果から、一般農家草地の経年化に伴う収量低下は土壌からの窒素吸収量が経年化に伴って低下したためと考えられた。このことは、肥料窒素の増施効果(窒素標準区/同半量区収量指数)が造成4,5年目以降、草地の経年化に伴い顕著に増大したこと、窒素標準区の収量が造成4年目以降ほとんど低下しなかったことから支持される。

## 2) 土壌窒素含量の経年変化

供試草地の土壌窒素含量を経年数ごとに集計した結果を表45に示した。草地は経年化に伴い表層0~5cm土層の窒素含量が増加し、5cm以下作土層のそれが減少する(既掲図19)ため、本表は0~5cm土層と5cm以下作土層を加重平均した含量で示した。

供試草地の全窒素、熱水抽出および風乾土培養窒素含量は草地間の変動が大きく、経年数間の変化が認められなかった。これに対し、生土培養窒素含量は草地間の変動が大きいものの、経年化に

表45. 経年数別の各種測定法による土壌窒素含量(mg/100g乾土:0~20cm土層,全草地平均)

| 草地(筆数)       |    | 2年目<br>(16)      | 3年目<br>(18)      | 4年目<br>(14)        | 5年目<br>(15)        | 6年目<br>(7) | 7年目<br>(13)        | 8年目以上<br>(14)    |
|--------------|----|------------------|------------------|--------------------|--------------------|------------|--------------------|------------------|
| 測定法          | 平均 | 240              | 240              | 260                | 250                | 270        | 250                | 280              |
|              | 範囲 | 140~510          | 120~510          | 150~370            | 190~370            | 170~380    | 180~320            | 150~500          |
| 熱水抽出<br>N含量  | 平均 | 8.9              | 8.5              | 8.4                | 8.5                | 8.9        | 10.3               | 9.4              |
|              | 範囲 | 4.3~20.4         | 4.3~19.6         | 3.9~13.4           | 5.8~11.4           | 6.0~12.6   | 6.0~11.4           | 6.6~18.8         |
| 風乾土培<br>養N含量 | 平均 | 10.9             | 9.8              | 9.0                | 9.2                | 9.4        | 10.3               | 10.2             |
|              | 範囲 | 5.6~26.5         | 5.6~13.7         | 3.5~18.1           | 5.8~14.3           | 4.1~15.7   | 7.6~15.3           | 5.9~14.0         |
| 生土培養<br>N含量  | 平均 | 5.7 <sup>a</sup> | 5.2 <sup>a</sup> | 4.0 <sup>b c</sup> | 3.7 <sup>b c</sup> | 4.2        | 3.0 <sup>c d</sup> | 2.8 <sup>d</sup> |
|              | 範囲 | 2.2~11.8         | 2.9~9.4          | 1.4~6.0            | 2.3~5.9            | 3.1~6.2    | 1.7~7.2            | 1.4~5.4          |

a, b, c, d: 異文字間に5%水準で有意差あり

伴って低下し、造成7年目以上の草地では造成2年目草地の50%程度まで減少した。

一方、全窒素含量は草地の経年化で大きな変化を示さないことから、熱水抽出および生土培養窒素含量の全窒素含量に占める割合を草地の経年数別に集計した結果（図34）、熱水抽出窒素の全窒

素に占める割合は土壌の草地経年数間で変動が大きく、一定の傾向を示さなかった（図34 a）。これに対し、生土培養窒素含量の全窒素含量に占める割合は草地の経年化に伴って低下し、この傾向はいずれの土壌にも共通していた（図34 b）。

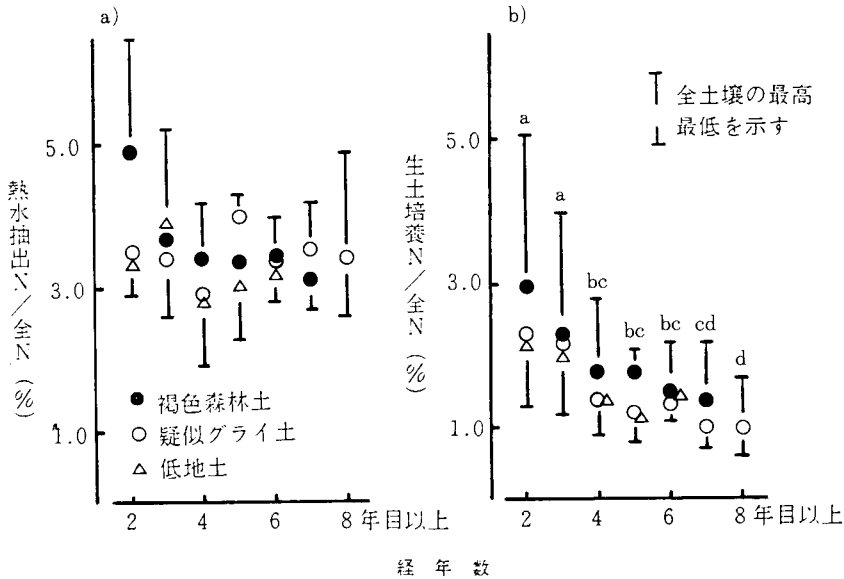


図34. 草地の経年数と全窒素含有量に占める各測定法別窒素含有量の割合  
a, b, c, d: 異文字間に5%水準で有意差あり

### 3) 各種測定法による土壌窒素含量と無窒素区牧草の窒素吸収量との関係

各種測定法による土壌窒素含量と無窒素区牧草の窒素吸収量との相関係数を草地の経年数別に算出した結果を表46、図35に示した。熱水抽出窒素、風乾土培養窒素含量との相関係数は経年数の多い草地を順次含めることにより低下し、さらにオーチャードグラス主体草地で酸性化草地を含めることによって顕著に低下した。しかし、生土培養窒素含量との相関係数は経年数の多い草地を含めても大きな変化を示さなかった。また、土壌窒素含量と窒素吸収量との相関係数はチモシー主体草地でも同様の傾向が認められたが、相関の程度はオーチャードグラス主体草地の場合より全般的に低かった。

### 第2節 草地更新時における土壌からの窒素吸収量とその経年変化

前節の実験結果から、造成2,3年目草地の牧草吸収量が明らかに高いことが示された。本節では、この背景を探るために草地更新時の問題を検討した。

草地では経年化に伴って多量の有機物が蓄積し、草地の更新時には前植生も含めたこれら蓄積有機物が作土層に混入される。したがって、更新直後の草地では有機物に由来する土壌からの窒素吸収がその生産性に大きく関与する。

そこで、更新直後の草地における土壌からの窒素吸収特性を、①更新時の耕起法、②更新時期、③更新対象草地の管理来歴（肥培・利用など）との関係を考慮して整理し、土壌からの窒素吸収の持続性とその評価法について検討した。

表46. 各種測定法による土壌窒素含量と無窒素区牧草の窒素吸収量との関係(1987~'89年)

| 草種****     | 項目<br>草地**** | 測定法 | 相 関 係 数* |           |           |           |             |           | 回 帰 係 数** |            |             |
|------------|--------------|-----|----------|-----------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|------------|-------------|
|            |              |     | 2<br>年目  | 2~3<br>年目 | 2~5<br>年目 | 2~8<br>年目 | 2~8年<br>目以上 | 4~5<br>年目 | 6年目<br>以上 | 2~5<br>年目  | 2~8年<br>目以上 |
| OG<br>主体草地 | 熱水抽出N        |     | 0.95     | 0.84      | 0.82      | 0.71      | 0.46        | 0.78      | n.s       | 0.80(0.23) | 0.85(0.28)  |
|            | 風乾土培養N       |     | 0.88     | 0.71      | 0.73      | 0.53      | 0.45        | 0.82      | n.s       | 0.61(0.23) | 0.50(0.24)  |
|            | 生土培養N        |     | 0.98     | 0.88      | 0.86      | 0.89      | 0.87        | n.s       | 0.79      | 1.45(0.35) | 1.52(0.24)  |
|            | サンプル数        |     | 7        | 18        | 29        | 41        | 44          | 11        | 12        | 29         | 41          |
| TY<br>主体草地 | 熱水抽出N        |     | 0.93     | 0.63      | 0.62      | 0.53      | -           | 0.68      | n.s       | 0.64(0.29) | 0.59(0.29)  |
|            | 風乾土培養N       |     | n.s      | 0.62      | 0.44      | 0.37      | -           | n.s       | n.s       | 0.38(0.26) | 0.31(0.24)  |
|            | 生土培養N        |     | 0.81     | 0.74      | 0.56      | 0.56      | -           | 0.53      | n.s       | 0.88(0.47) | 0.94(0.43)  |
|            | サンプル数        |     | 9        | 17        | 35        | 45        | -           | 18        | 10        | 35         | 45          |

\*危険率5%以上で有意な相関係数を示した

\*\*直線回帰式(Y=aX+b)における回帰係数aとその95%信頼区間の変動幅( )内に示した

\*\*\*2~8年目はマメ科草の影響のある草地を除いた。2~8年目以上は酸性化草地を含めた

\*\*\*\*OG:オーチャードグラス, TY:チモシー

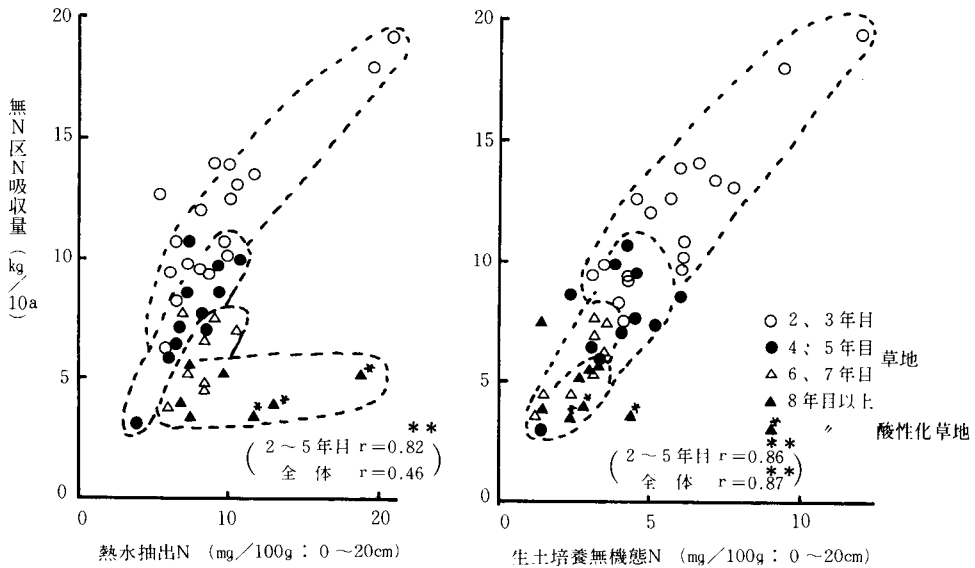


図35. 無窒素区牧草の窒素吸収量と土壌窒素含量の関係(オーチャードグラス主体草地)

**実験1 草地更新時の耕起法と更新時期が土壌からの窒素吸収に及ぼす影響**

目的：草地更新時の耕起法と更新時期が更新直後の土壌からの窒素吸収に及ぼす影響を明らかにする。

**実験方法**

草地更新時の耕起法が土壌からの窒素吸収に及ぼす影響を造成9年目のオーチャードグラス主体草地を供試して調査した。1978年5月下旬にローターベーター（以下混和法と略記）とプラウ（以下反転法と略記）で耕起し、炭カル施用（300kg/10a）・砕土・混和後、オーチャードグラスを播種した。播種時には基肥として窒素、リン酸、カリをそれぞれ2.5, 2kg/10a施用して均一に栽培した。1番草収穫後に窒素施肥量を0.9, 1.8kg/10a・年の3水準に設定して用量試験を実施した。収量調査は更新当年には2回、2年目からは3回とした。

表層土壌の攪拌程度が窒素無機化に及ぼす影響は、表層0～5cmを100cc採土管で採取した試料とそれを砕土した試料の両者を30℃の標準培養条件で8週間培養し、窒素無機化量の経時変化を調査した。

草地表層に蓄積した有機物（前植生の株、根も含む）の分解過程はオーチャードグラス主体草地の表層2cm程度を採取、約1×1cmの塊状に細断後、乾土500g相当の生土を18メッシュのサラン

ネットで作成した袋（15×30cm）に入れ褐色森林土の深さ15cmに秋（1977年9月）と春（1978年6月）に3反復で埋設した。埋設地点（3×2m=6㎡程度）はあらかじめ酸性矯正を行い、埋設後は裸地の状態を保った。分解率の測定は埋設試料を1～3ヵ月間隔で経時的に掘り出し、その試料の一部（生土100g）を水洗篩別法によって粒径1mm以上の粗大有機物の存在量を求め、埋設前試料との差から算出した。また埋設試料の一部（乾土50g相当の生土）を500mlの広口瓶に取り、30℃の標準培養条件で30日間培養し、炭酸ガス放出量と無機化される窒素を培養前後の無機態窒素含量の差から算出した。

**実験結果**

**1) 草地更新時における土壌からの窒素吸収の持続性**

更新草地の窒素施肥反応の基本的特徴（表47）はいずれの耕起法でも無窒素区収量に認められた。造成当年における無窒素区の収量指数は窒素9kg施肥区の84%（混和法：81, 反転法：87%）に達し、更新時に鋤き込まれた草地表層から多量の窒素が吸収されたことを示唆した。しかし、造成2年目の無窒素区収量は1番草で窒素9kg施肥区の60%（混和法：56, 反転法：63%）と比較的高かったが、2, 3番草では両耕起法とも平均33%程度しか得られず、経年草地の更新に伴う旺盛な土壌

表47. 草地更新時の耕起法と造成草地の施肥反応(1978～'80年)

| 耕起法       | 年次・番草<br>**<br>N | 造成当年  |       |       | 造成2年目 |       |       |       | 造成3年目* |       |       |       |
|-----------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
|           |                  | 1     | 2     | 合計    | 1     | 2     | 3     | 合計    | 1      | 2     | 3     | 合計    |
| 表層<br>混和法 | 0                |       | 71    | 81    | 63    | 31    | 39    | 48    | -      | -     | -     | -     |
|           | 9                | (145) | (267) | (401) | (296) | (214) | (96)  | (606) | (235)  | (186) | (98)  | (519) |
|           | 18               |       | 117   | 111   | 140   | 156   | 168   | 151   | 146    | 146   | 187   | 154   |
| 表層<br>反転法 | 0                |       | 83    | 87    | 56    | 26    | 34    | 42    | -      | -     | -     | -     |
|           | 9                | (91)  | (282) | (374) | (330) | (253) | (107) | (690) | (268)  | (246) | (113) | (627) |
|           | 18               |       | 118   | 114   | 129   | 155   | 169   | 145   | 129    | 146   | 147   | 136   |

( ) 実収量：kg/10a, 他はN9kg区に対する指数

\* マメ科草侵入のためN0kg区収量は除いた \*\* 施肥N(kg/10a)

表48. 草地更新時の土壌から窒素吸収量(kg/10a, 耕起法平均)

| 年次<br>N*<br>番草 | 造成当年 |      |      | 造成2年目 |      |      |       | 造成3年目* |      |       |       |
|----------------|------|------|------|-------|------|------|-------|--------|------|-------|-------|
|                | 1    | 2    | 合計   | 1     | 2    | 3    | 合計    | 1      | 2    | 3     | 合計    |
| 0              | 1.13 | 4.70 | 5.83 | 3.20  | 1.12 | 1.13 | 5.45  | -      | -    | -     | -     |
| 9              | 3.13 | 6.49 | 9.62 | 6.61  | 3.65 | 3.25 | 13.51 | 5.52   | 3.95 | 2.98  | 12.45 |
| 9**            | 1.13 | 3.49 | 4.62 | 3.61  | 0.65 | 0.25 | 4.51  | 2.52   | 0.95 | -0.02 | 3.45  |

\* マメ科草侵入のためN0kg区の数値は除いた \*\* N吸収量からのN施肥量を減じた値

からの窒素吸収が牧草生育に及ぼす影響は比較的短時間であると推定された。また、肥料窒素増施効果(窒素18kg施肥区/同9kg施肥区収量指数)は造成当年では僅か(120%以下)であったが、2年目以降になると年間合計収量で136~154%と極めて大きい値を示した。

耕起法を平均した無窒素区牧草の窒素吸収量の経年変化(表48)は造成当年5.8kg, 2年目5.5kg N/10aと多く、また窒素9kg施肥区の窒素吸収量から施肥量を減じた見掛けの土壌からの窒素吸収量についても造成当年と2年目でそれぞれ年間4.6, 4.5kg N/10aと多かったが、3年目には年間3.4kg N/10aと減少した。

## 2) 耕起法の違いによる土壌からの窒素吸収時期の変化

無窒素区の窒素吸収量からみた耕起法の違いによる土壌からの窒素吸収時期の変化を表49に示し

た。なお、造成当年1番草の窒素吸収量は播種時の基肥窒素を差し引いた値で示した。造成当年1番草の窒素吸収量は混和法1.9kg > 反転法0.3kg N/10aの関係にあったが、2番草では逆転し、反転法5.5kg > 混和法3.9kg N/10aであった。しかし造成当年の年間合計の窒素吸収量は両耕起法とも5.8kg N/10aで差がなかった。

このような造成当年の土壌からの窒素吸収の耕起法による時間的ずれは越冬時の牧草形質にも影響し、地上部乾物重、分けつ数とも反転法が混和法を明らかに上回り、さらに造成2年目1番草の出穂茎数も反転法 > 混和法の関係にあった。しかし造成2年目の1番草収量は窒素9kg施肥区のように窒素が施用された条件では出穂茎数の多少を反映し反転法 > 混和法の関係が認められるが、無窒素区収量には耕起法間の差はなかった(表49)。

この耕起法の違いによる造成当年の土壌からの窒素吸収の時間的ずれの要因を検討した。①まず

表49. 草地更新時の耕起法が牧草生育に及ぼす影響

| 耕起法 | 時期<br>項目<br>N** | 造成当年   |      |      |                | 造成当年越冬時*                       |                                 |                                 | 造成2年目1番草                            |                |          |
|-----|-----------------|--------|------|------|----------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|----------------|----------|
|     |                 | N吸収量   |      |      | 収量<br>(kg/10a) | 総<br>茎数<br>(本/m <sup>2</sup> ) | 分け<br>つ数<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 地上<br>部重<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 出穂<br>茎<br>数<br>(本/m <sup>2</sup> ) | 収量<br>(kg/10a) | N吸<br>収量 |
|     |                 | 1      | 2    | 合計   |                |                                |                                 |                                 |                                     |                |          |
| 表層  | 0               | (1.93) | 3.87 | 5.80 | 325            | 2,320                          | 992                             | 79                              | 258                                 | 185            | 3.17     |
| 混和法 | 9               | 3.93   | 5.64 | 9.57 | 401            | 2,528                          | 1,264                           | 80                              | 379                                 | 296            | 6.38     |
| 表層  | 0               | (0.32) | 5.53 | 5.85 | 325            | 3,872                          | 2,032                           | 110                             | 348                                 | 186            | 3.22     |
| 反転法 | 9               | 2.32   | 7.34 | 9.66 | 374            | 3,856                          | 2,084                           | 106                             | 508                                 | 330            | 7.41     |

\* 11月中旬調査 \*\* kg/10a, ( ) 造成時基肥N(2kg/10a)を減じた値で示した

表50. 草地表層土壌の攪拌処理が窒素無機化に及ぼす影響(mg/100g乾土)

| 処理*    | 培養期間(週) |      |       |      |       |      |       |      |
|--------|---------|------|-------|------|-------|------|-------|------|
|        | 1       | 2    | (3)   | 4    | (5)   | 6    | (7)   | 8    |
| 攪拌(A)  | 5.8     | 11.9 | (2.7) | 17.4 | (5.3) | 27.9 | (3.9) | 35.7 |
| 無攪拌(B) | 1.9     | 5.5  | (1.4) | 8.3  | (3.6) | 15.5 | (4.6) | 24.7 |
| A/B指数  | 320     | 218  | (192) | 209  | (147) | 180  | (84)  | 144  |

\* 攪拌：草地表層0～5cmを細断，攪拌後培養

無攪拌：草地表層0～5cmを100cc採土管で採取，培養

( )は1週間当たりの窒素無機化量の増加量(差し引き法による,mg/100g乾土/週)を示す

図36に示すように層位別の窒素無機化量は混和法では表層で多いのに対し，反転法では15～20cm土層で多かった。但し，層位別の無機態窒素含量は牧草による吸収によって耕起法間の差は認められなかった。②草地表層の攪拌処理が窒素無機化速度に及ぼす効果(表50)は，培養初期に極めて大きく，無処理の2～3倍に達した。しかし培養時間の経過に伴いその効果は小さくなり，1週間当たりの窒素無機化速度は培養6週目以降で無処理が攪拌処理を上回った。

つまり混和法の牧草生育が更新直後より反転法のそれを上回る理由としては，①混和法は播種床直下に窒素無機化能の高い土層が存在すること，②反転法に比べて草地表層の攪拌程度が良好なため土壌の窒素無機化が迅速であることなどが挙げ

られる。

### 3) 埋設時期を異にする草地表層有機物の分解

埋設後1年間の草地表層粗大有機物の分解率は秋埋設で75%程度，春埋設で67%程度であり，埋設時期による粗大有機物の分解率には大差がなかった。また，各分解率調査時点における埋設試料の窒素無機化量は，粒径1mm以上の粗大有機物が分解消失するのに伴い漸増し，その最大値はいずれの埋設時期でも分解率が50%前後の時点，すなわち，秋埋設では翌年の6月，春埋設では当年の9～11月時点の試料で得られた(図37)。また，同時に無機化される炭酸ガス態炭素は粒径1mm以上の粗大有機物が分解消失するのに伴って速やかに低下した。

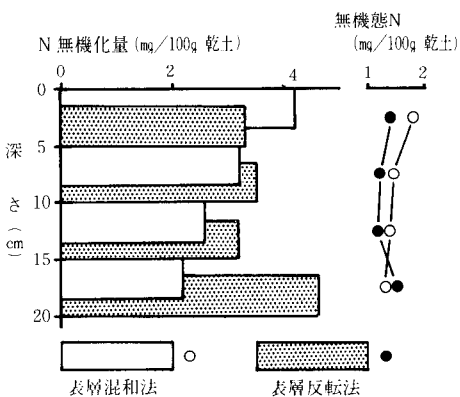


図36. 耕起法の違いによる窒素無機化量と無機態窒素含量の層位変化 (1979年5月7日，6月20日採取試料の平均)

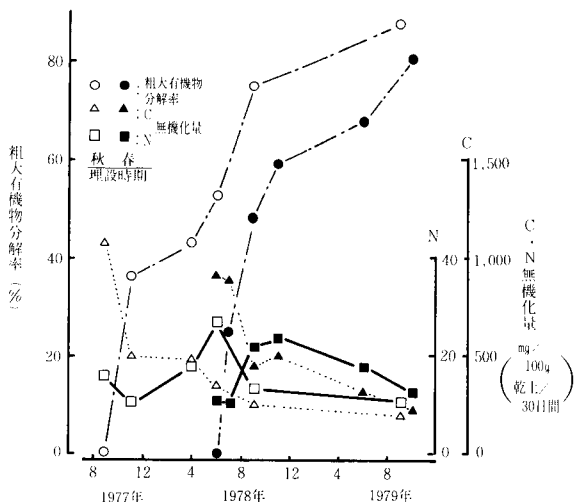


図37. 埋設時期を異にする草地表層有機物の分解と炭素、窒素無機化量の推移



すなわち、耕起時期が造成初期の牧草生育に及ぼす影響は、埋設試料の窒素無機化量の経時変化からみて小さいものと推定された。

## 実験2 草地更新時の土壌からの窒素吸収に及ぼす草地の経年数、利用形態および土壌の影響とその評価法

目的：草地更新時における土壌からの窒素吸収量に及ぼす管理来歴の影響を検討する。

### 実験方法

1) 経年数の異なる草地の更新時における土壌からの窒素吸収量：①1977年に造成9年目草地，②1978年に造成12年目草地，③1983年より'86年まで造成4～7年目のオーチャードグラス主体草地を5月下旬～6月上旬に耕起して，オーチャードグラスを播種し，造成当年から2年目1番草までに吸収された土壌窒素と造成2年目の牧草収量を調査した。

2) 土壌，利用形態別草地の更新時における土壌からの窒素吸収量：一般農家草地の採草地16筆（褐色森林土6筆，疑似グライ土6筆，低地土4筆）および放牧地13筆（褐色森林土6筆，疑似グライ土4筆，低地土3筆）を供試した。土壌は前植生も含めて直径30cm規模で深さ25cmまで採取し，砕土，酸性矯正後圃場に設置した無底塩ビ管ポット（直径30cm，深さ25cm，3反復）に充填し，オーチャードグラスを無窒素条件で栽培した。なお，ポット周囲には同一草種を播種し草地と同様の群落状態とした。リン酸，カリ施肥量は両試験ともそれぞれ20,6kg/10a相当量を施用した。

3) 利用形態および植生の異なる草地における有機物および窒素蓄積量：植生の異なる採草地と放牧地に存在する地上部植生，根系，地表面枯死葉および0～5cm土層内の粒径0.1mm以上の有機物量とそれらが保持する窒素量を前章までと同様の測定方法で調査した。

### 実験結果

造成当年から2年目1番草までの土壌からの窒素吸収量は更新対象草地の経年数の増加に伴って増加した（図38）。この更新時の土壌からの旺盛

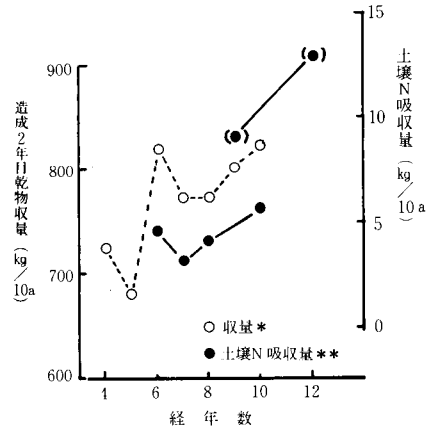


図38. 更新対象草地の経年数と造成2年目の収量\*および造成当年～2年目1番草時までの土壌窒素吸収量\*\*

\*施肥N12kg/10a・年条件

\*\*牧草N吸収量から造成時基肥N量を減じて求めた  
( ) 1978～'80年、他は1983～'89年に試験を実施

な窒素吸収により，造成2年目草地の牧草収量は3年目草地より明らかに高く，また更新対象草地の経年数の増加に伴い増加する傾向にあった。しかし，第2章第1節実験2で指摘したように造成4年目草地の収量は3年目草地とほぼ同等か僅かに低かった（既掲図2a）。

一方，一般農家草地の更新時における土壌からの窒素吸収量（表51）は，造成当年2.2～9.6 gN/m<sup>2</sup>，造成2年目4.0～15.9 gN/m<sup>2</sup>，造成3年目3.3～14.2 gN/m<sup>2</sup>の範囲にあり，放牧地>採草地の関係にあった。さらに，放牧地の更新時における土壌からの窒素吸収量は植生状態によって異なり地下茎型草種優占草地（ケンタッキーブルーグラス）叢生型草種（オーチャードグラス，ペレニアルライグラス）優占草地の関係にあった。

また，これら結果は表52の結果からも裏づけられる。すなわち，利用形態，植生および経年数の異なる草地の地上部，根，地表面枯死茎葉および粒径0.1mm以上の有機物が保持する窒素量は放牧地：40～57 gN/m<sup>2</sup>>採草地：20～26 gN/m<sup>2</sup>であり，しかもそれらの窒素濃度が放牧地>採草地の関係にあった。

表51. 草地更新時における土壌からの窒素吸収量の経年変化(平均(範囲), g/m<sup>2</sup>)

| 年次<br>類型区分*           | 造成当年            |           |  | 2年目        | 3年目        | 3ヵ年合計     |
|-----------------------|-----------------|-----------|--|------------|------------|-----------|
|                       | 1. 放牧地-KB 優占-Bf | 8.0(7~10) |  |            | 10.1(9~11) | 7.9(7~9)  |
| 2. 放牧地-KB 優占-Pgn, All | 6.8(6~7)        |           |  | 11.7(9~16) | 9.7(7~14)  | 28(22~37) |
| 3. 採草地-OG, TY 優占-Bf   | 4.3(3~5)        |           |  | 6.0(5~7)   | 4.8(4~6)   | 15(17~22) |
| 4. 採草地-OG, TY 優占-Pgn  | 3.3(2~4)        |           |  | 5.0(4~6)   | 4.0(3~5)   | 12(10~14) |
| 5. 採草地-OG, TY 優占-All  | 4.1(4~5)        |           |  | 6.4(6~7)   | 5.9(5~7)   | 16(14~18) |

\* 草種：KB-ケンタッキーブルーグラス(地下茎型草種), OG-オーチャードグラス, TY-チモシー(叢生型草種)  
 土壌：Bf-褐色森林土, Pgn-疑似グライ土, All-低地土

表52. 草地の利用形態別, 植生別の地上部, 根部および蓄積有機物量と窒素保持量

| 利用形態 | 植生**           | 項目                       |     |       | N含有率(%) |      |      | N保持量(g/m <sup>2</sup> ) |     |      | 合計   |
|------|----------------|--------------------------|-----|-------|---------|------|------|-------------------------|-----|------|------|
|      |                | 乾物現存量(g/m <sup>2</sup> ) |     |       | 地上部     |      |      | 根部                      |     |      |      |
|      |                | 地上部                      | 根部  | 有機物   | 地上部     | 根部   | 有機物  | 地上部                     | 根部  | 有機物  |      |
| 採草地  | OG・TY主体(5~7年目) | 94                       | 310 | 1,260 | 1.70    | 0.97 | 1.21 | 1.6                     | 3.0 | 15.2 | 19.8 |
|      | OG・TY主体(8年目以上) | 110                      | 450 | 1,550 | 1.64    | 0.80 | 1.20 | 1.8                     | 3.6 | 18.6 | 24.0 |
|      | KB・OG主体(8年目以上) | 110                      | 580 | 1,390 | 1.91    | 0.98 | 1.32 | 2.1                     | 5.7 | 18.4 | 26.2 |
| 放牧地  | PR 主体(5年目)     | 150                      | 390 | 2,020 | 2.20    | 1.30 | 1.63 | 3.3                     | 3.6 | 32.9 | 39.8 |
|      | KB・OG主体(8年目以上) | 135                      | 670 | 2,550 | 2.24    | 1.24 | 1.78 | 3.0                     | 8.3 | 45.5 | 56.8 |

\* 地表面枯死茎葉も含む粒径0.1mm以上有機物(0~5cm土層)

\*\* 植生~OG:オーチャードグラス, TY:チモシー, PR:ペレニアルライグラス, KB:ケンタッキーブルーグラス  
 ( )内は経年数を示す

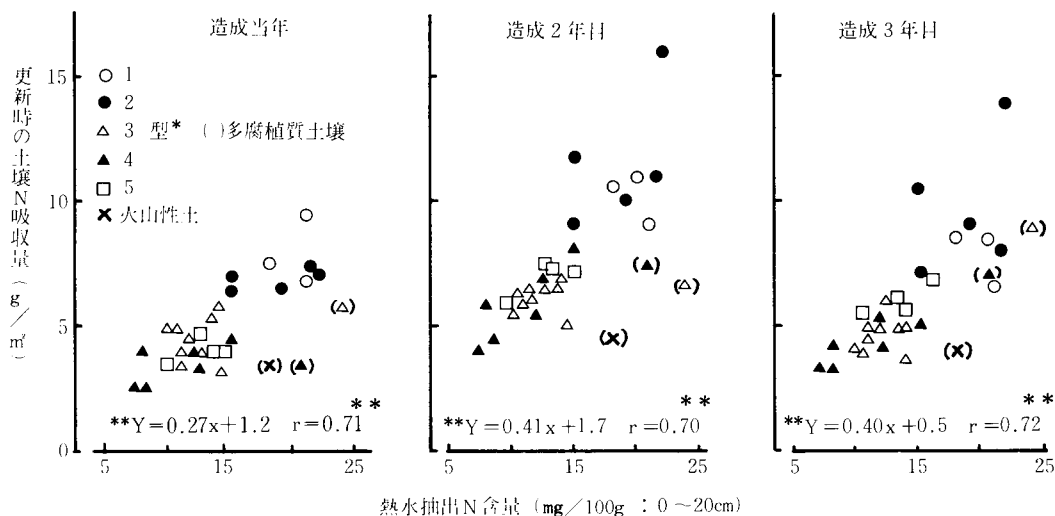


図39. 草地更新時の土壌からの窒素吸収量と熱水抽出窒素含量(110℃)の関係  
 \*表51に同じ \*\*火山性土を除く回帰式(n=29)

一方、草地更新時の土壌からの窒素吸収量は各種測定法による土窒素含量と高い相関関係が得られるが、しかし、熱水抽出窒素含量と土壌からの窒素吸収量の相関図(図39)は更新時の窒素吸収量が草地の利用形態、植生状態および土壌の区分にはほぼ支配されていることを示した。また、火山性土を含めた多腐植質土壌に立地する草地は熱水抽出窒素含量が多くても更新時の土壌からの窒素吸収量が少ないが、このような草地でも上述した区分に含まれていた。

以上のことから、草地更新時における土壌からの窒素吸収量の評価に際しては、更新対象草地の利用形態、植生状態および土壌を組合せて表51に示したような5種類の類型区分が可能と考えられた。

### 第3節 施用厩肥に由来する窒素吸収量の経年変化

前節において草地更新時の旺盛な土壌からの窒素吸収は更新当年から造成3年目程度まで期待できること、その合計量は概ね採草地で12~16kg、放牧地で24~28kg/10a程度であり、草地の利用形態、経年数など管理来歴および立地土壌に影響されることが明らかとなった。

一方、草地酪農では多量の厩肥が生産され、草地更新時および維持管理段階で施用される。この厩肥に由来する窒素吸収の経年変化は、草地更新時における土壌からの窒素吸収量とともに経年草地の窒素施肥管理を考える上で極めて重要である。

本節では、厩肥に由来する窒素吸収の経年変化を土壌、施用法別に査定し、草地の経年化に伴う土壌からの窒素吸収量の変化に対応した厩肥の合理的施用法およびその多量施用を前提とした肥料窒素の施肥管理法を検討した。

#### 実験方法

天北農試場内の褐色森林土と疑似グライ土からなる2圃場を供試して次の実験を行った。試験圃場は1981年秋に耕起し、翌春5月中旬に酸性矯正を行った後、基肥として厩肥(10, 20t/10a)を

散布した。直ちにローターベーターで攪拌・混和して、オーチャードグラス単播草地を造成した。造成時の基肥は窒素, リン酸, カリそれぞれ4, 25, 4kg/10aを草地化成肥料および焼成リン酸肥料で施した。

分施用厩肥は造成当年より2, 4t/10aを毎年秋(10月中~下旬)に表面に散布した。なお、分施した厩肥の量は5ヵ年合計で基肥として施用した厩肥量と同量となるように設計した。

窒素施肥水準は年間10, 15kg/10aの2水準とし、標準管理法で試験を実施した。

供試草地の土壌物理性および施用厩肥の組成は表53, 54に示した。

また施用厩肥の分解に及ぼす地域と土壌の影響を把握するため、以下の実験を実施した。供試した地域・土壌は北海道農業試験場(札幌市豊平区羊ヶ丘:褐色火山性土)、北海道立中央農業試験場畜産部(夕張郡長沼町:褐色低地土)、北海道立滝川畜産試験場(滝川市東滝川:疑似グライ土)および天北農業試験場(枝幸郡浜頓別町:褐色森林土, 疑似グライ土, 中間泥炭土, 灰色低地土)で既存草地を用いた。乾燥牛糞(全炭素41.0%, 全窒素2.49%, C/N比16.5)4gを270メッシュのプランクトンネットで作成した袋(5×10cm)に充填し、4反復で深さ10cmに埋設した。これらを経時的に掘り出し、分解残渣の乾物重と全窒素含有率を測定して埋設前試料との差から分解率を求めた。なお、乾燥牛糞の分解と比較するため敷料の入った一般的な厩肥(堆積期間1年間, 切り返し1回, 全炭素41.3%, 全窒素2.24%, C/N比18.4)を天北農業試験場内の褐色森林土と疑似グライ土草地に同様の方法で埋設し、分解率を測定した。

#### 実験結果

##### 1) 厩肥の施用法別の効果発現

厩肥の施用効果(図40)は両土壌とも顕著に認められた。しかし、施用効果の発現様式は施用法間で異なり、基肥区の牧草収量は経年的に低下したが、分施区のそれは経年的低下が小さかった。この基肥区収量の経年的低下は、前節で示した更

新時の土壌と施用厩肥からの窒素吸収量の経年的減少と同じ理由に基づくものと考えられる。これに対し、分施肥区における収量の経年変化が小さかった理由は、毎年追肥される厩肥によって土壌からの窒素吸収量の経年的減少が緩和されたためと想定される。この結果、厩肥無施用区に対する施用区の収量指数は基肥区で施用後経年的に低下し、逆に分施肥区は経年的に増大した(図40 b)。なお、両処理区とも降水量の年次変化による収量変動が認められた。

一方、厩肥無施用区に対する施用区の5ヵ年間平均の収量指数(表55)は褐色森林土、疑似グライ土とも基肥10 t = 分施肥2 t, 基肥20 t ≦ 分施肥4 t の関係にあった。また、吸収窒素の乾物生産効率率は厩肥多量施用区(基肥20 t, 分施肥4 t)が少量施用区(基肥10 t, 分施肥2 t)よりやや劣るものの施用法による差はなかった。

これらの結果から、厩肥施肥量が同量であれば牧草収量に及ぼす効果は施用法間に大差ないと指摘できる。他方、疑似グライ土における肥料窒素の増施肥効果は分施肥区で基肥施用区のそれよりやや劣った(表55)。

2) 施用厩肥に由来する窒素吸収量の経年変化

厩肥無施用区と施用区の牧草が吸収した窒素の差から求めた施用厩肥の窒素放出率(表56)は褐色森林土 > 疑似グライ土の関係にあり、疑似グライ土での窒素放出率は褐色森林土でのその65~68% (平均66%) であった。また厩肥施用法別の窒素放出率は両土壌とも分施肥区で基肥区を僅かに上回った。

表56の結果を基に各施用法別の厩肥に由来する窒素吸収の経年変化を査定した(図41)。

① 基肥施用厩肥に由来する窒素吸収量

表53. 厩肥施用による土壌物理性の変化

| 施用<br>厩肥 | 土壌・項目<br>層位<br>(cm) | 褐色森林土      |               |     |      |               | 疑似グライ土     |               |     |     |               |      |     |
|----------|---------------------|------------|---------------|-----|------|---------------|------------|---------------|-----|-----|---------------|------|-----|
|          |                     | 固相率<br>(%) | 粗孔隙(pF-vol %) |     |      | 有効水<br>容量(mm) | 固相率<br>(%) | 粗孔隙(pF-vol %) |     |     | 有効水<br>容量(mm) |      |     |
| 0 t      | 0~10                | 38         | 4.1           | 4.9 | 8.7  | 15.4          | }35        | 51            | 1.4 | 1.8 | 3.7           | 12.8 | }25 |
|          | 10~20               | 36         | 5.1           | 6.6 | 14.3 | 19.9          |            | 50            | 1.9 | 2.3 | 4.8           | 12.6 |     |
| 10 t     | 0~10                | 35         | 3.5           | 4.8 | 12.4 | 21.4          | }44        | 48            | 2.9 | 3.2 | 6.0           | 13.1 | }26 |
|          | 10~20               | 33         | 5.5           | 8.0 | 16.5 | 22.6          |            | 48            | 2.8 | 5.2 | 7.2           | 12.5 |     |
| 20 t     | 0~10                | 38         | 4.8           | 6.1 | 9.9  | 15.3          | }36        | 46            | 2.1 | 3.1 | 7.4           | 13.8 | }27 |
|          | 10~20               | 36         | 4.7           | 8.5 | 15.1 | 20.3          |            | 47            | 0.6 | 2.7 | 6.1           | 13.4 |     |

(造成当年秋調査)

表54. 供試厩肥の成分と窒素施肥量

| 供試厩肥   | 項目     | 乾物率<br>(%) | 成分含有率(乾物当たり%) |      |     |                               |                  |      |      | N施肥量*<br>(kg/t) |
|--------|--------|------------|---------------|------|-----|-------------------------------|------------------|------|------|-----------------|
|        |        |            | C             | N    | C/N | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | CaO  | MgO  |                 |
| 造成時基肥用 | (’82年) | 28         | 36.9          | 3.16 | 12  | 2.19                          | 4.21             | 2.58 | 0.70 | 8.8             |
|        | (’82年) | 39         | 36.1          | 2.28 | 16  | 2.36                          | 2.36             | 1.76 | 0.84 | 8.9             |
|        | (’83年) | 28         | 31.7          | 3.05 | 10  | 2.27                          | 3.97             | 2.44 | 0.77 | 8.5             |
| 表面分施用  | (’84年) | 25         | 41.0          | 2.75 | 15  | 1.63                          | 1.83             | 2.29 | 0.97 | 6.9             |
|        | (’85年) | 30         | 33.6          | 2.61 | 13  | 1.95                          | 2.18             | 2.69 | 0.94 | 7.8             |
|        | (’86年) | 30         | 41.1          | 2.98 | 14  | n. d                          | n. d             | n. d | n. d | 8.9             |

\* 現物 1 t 当たりの N 施肥量

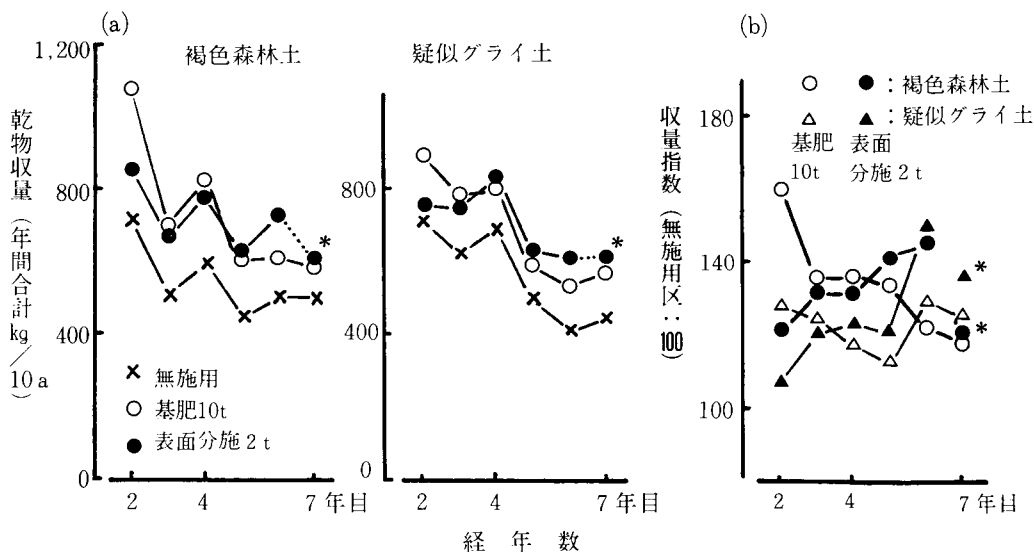


図40. 厩肥施用法の違いによる牧草収量(a)、収量指数(b)の経年変化  
(N10kg施肥区、1982~'88年。\*表面分施2t区の7年目は5ヶ年間連用の残効を示す)

表55. 厩肥施用法別の収量，吸収窒素の乾物生産効率(5カ年間平均)

| 厩肥施用<br>法・量 | 項目<br>N | 収 量 (kg/10 a) |       |         |        |       |         | 乾物生産効率 (%) * |      |        |      |
|-------------|---------|---------------|-------|---------|--------|-------|---------|--------------|------|--------|------|
|             |         | 褐色森林土         |       |         | 疑似グライ土 |       |         | 褐色森林土        |      | 疑似グライ土 |      |
|             |         | 10            | 15    | 15/10** | 10     | 15    | 15/10** | 10           | 15   | 10     | 15   |
| 無施用         |         | (556)         | (756) | 136     | (593)  | (730) | 124     | 57.4         | 53.4 | 55.9   | 54.0 |
| 基肥 10 t     |         | 136           | 119   | 119     | 122    | 115   | 119     | 53.5         | 50.7 | 55.8   | 51.9 |
| 施用 20 t     |         | 149           | 136   | 124     | 130    | 124   | 118     | 52.7         | 48.7 | 53.0   | 50.1 |
| 表面 2 t      |         | 134           | 122   | 124     | 124    | 114   | 113     | 53.9         | 51.8 | 55.0   | 52.8 |
| 分施 4 t      |         | 154           | 127   | 112     | 140    | 129   | 113     | 52.0         | 50.1 | 51.7   | 49.6 |

\*吸収窒素 1 kg 当たりの乾物生産量 \*\*窒素15kg施肥区の10kg施肥区に対する指数

( )は実収量，他は指数表示

基肥施用厩肥 1 t 当たりの窒素吸収量は草地の経年化に伴い指数関数的に減少するが，その残効は長期間（施用後 6 ~ 8 年程度）に及ぶことが推定された。また，疑似グライ土の基肥施用厩肥に由来する窒素吸収量は褐色森林土の 60% 程度であった。

② 表面分施の厩肥に由来する窒素吸収量

表面に分施した厩肥に由来する窒素吸収量は気象変動，特に降水量の年次変動の影響を受け（分

施 2， 4 年目の牧草生育期間の降水量はそれぞれ 343, 274mm, 分施 1, 3, 5 年目はそれぞれ 438, 458, 439mmであった) 降水量が不足した年における窒素吸収量は低かったが，分施 5 年目程度までは直線的に増加した。しかし分施 6 年目の窒素吸収量は 5 年目のそれと同程度であり，分施 5, 6 年目以降の窒素吸収量は褐色森林土で 2.5kg N / t, 疑似グライ土で 2.0kg N / t 程度で平衡に達するものと推定された。

表56. 牧草の窒素吸収量から求めた施用厩肥の窒素放出・吸収率(%)

| 土壌     | 項目           |             | 経過年数     |        |        |        |        |        |        | 合計  | 土壌間差* |
|--------|--------------|-------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-----|-------|
|        | 施用法・量(t/10a) | 厩肥N(kg/10a) | 1        | 2      | 3      | 4      | 5      | 6年目    |        |     |       |
| 褐色森林土  | 無施用          | 0           | (12.3)** | (15.1) | (10.7) | (13.9) | (9.8)  | (10.4) | (72.2) | -   |       |
|        | 基肥 10 t      | 90          | 3.6      | 8.2    | 5.7    | 5.0    | 3.8    | 2.5    | 28.8   | 100 |       |
|        | 表面分施 2 t     | 83          | -        | 14.4   | 8.7    | 2.9    | -      | 7.2    | 33.2   | 100 |       |
|        | 表面単年 4 t     | 36          | -        | 12.6   | 4.9    | 4.4    | 2.5    | -      | 24.4   | 100 |       |
| 疑似グライ土 | 無施用          | 0           | (-)      | (13.6) | (12.7) | (14.1) | (10.0) | (9.2)  | (59.6) | -   |       |
|        | 基肥 10 t      | 90          | 3.6***   | 4.7    | 4.4    | 2.6    | 1.9    | 1.6    | 18.8   | 65  |       |
|        | 表面分施 2 t     | 83          | -        | 9.6    | 3.6    | 8.3    | -      | 1.2    | 22.7   | 68  |       |
|        | 表面単年 4 t     | 36          | -        | 9.1    | 2.7    | 3.1    | 0.9    | -      | 15.8   | 65  |       |

\* 土壌間差：褐色森林土に対する疑似グライ土の指数(%)

\*\* 牧草の窒素吸収量(厩肥無施用区の窒素10,15kg/10a 施肥区の平均)

\*\*\* 降水量不足で発芽不揃いのため再播種し、1年目は刈り取らなかった。そのため褐色森林土の値を用いた

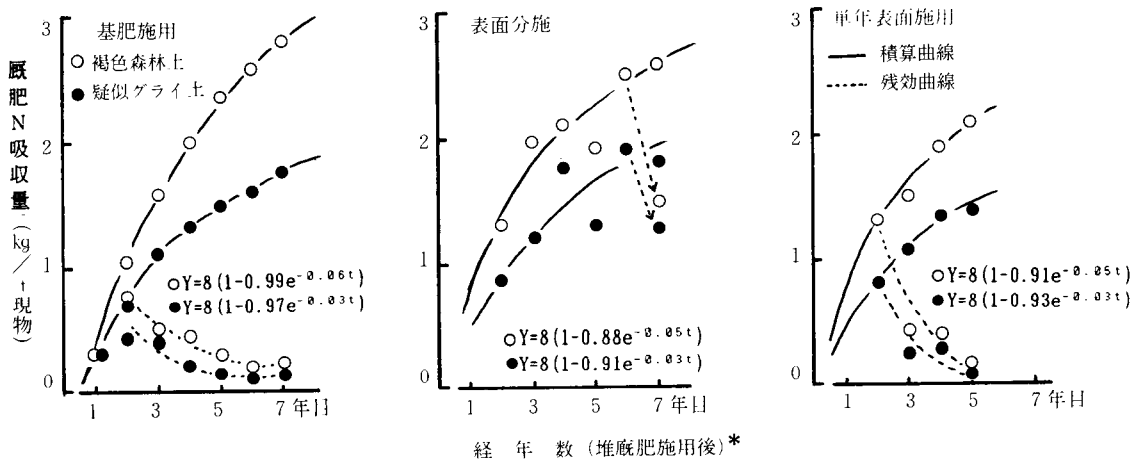


図41. 厩肥施用法別の窒素吸収量(kg/1原物)の経年変化(1982年~'88年)

\*表面分施、単年施用は施用翌年を1年目として扱った、但し秋施用

③ 表面施用厩肥(単年施用)に由来する窒素吸収量

施用1年目の厩肥に由来する窒素吸収量は1kg N/t前後と多かったが、その後は指数関数的に低下し、牧草収量に実質的な効果を及ぼす窒素吸収は施用後2年目までと推定された。

3) 施用厩肥の分解に及ぼす地域と土壌の影響

埋設直後の牛糞窒素の消失率(図42)は気温の高い地域(北農試, 中央農試, 滝川畜試)が低い地域(天北農試)より大きく、土壌の影響は小さかった。しかし、埋設時間の経過に伴い牛糞窒素の消失は土壌の影響を強く受けた。そこで作土層

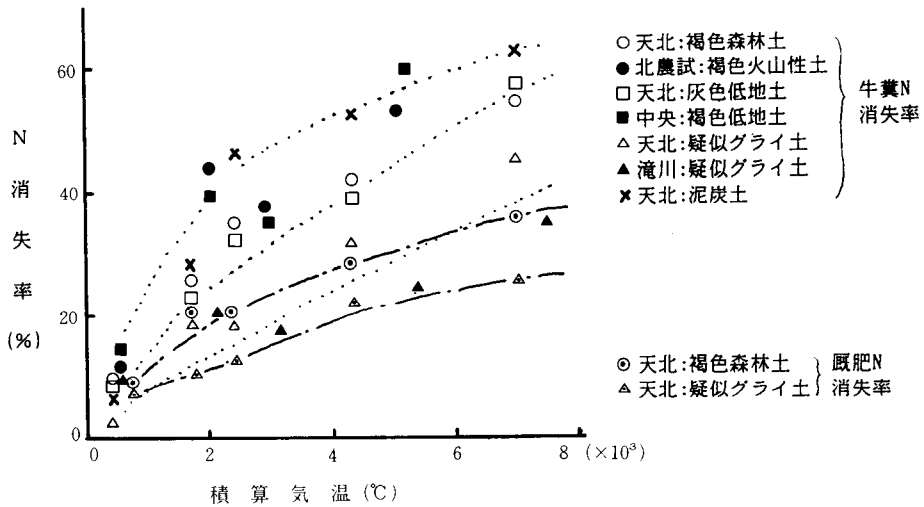


図42. 牛糞窒素の消失率に及ぼす積算温度と土壌の影響(1988~'90年)

土壌の有効水分容量 (pF 1.5~3.8) の大きさ別に検討してみると、牛糞窒素の消失率は有効水分容量大 (北農試, 褐色火山性土: 有効水分容量 22 vol %, 天北農試, 泥炭土: 同 28 vol %) > 同中 (天北農試, 褐色森林土: 同 17 vol %, 天北農試, 灰色低地土: 同 18 vol %) > 同小 (天北農試, 疑似グライ土: 同 12 vol %, 滝川畜試, 疑似グライ土: 同 10 vol %) の順で低下した。

さらに、一般に指摘されているように排泄直後の全く分解していない牛糞窒素の消失率は堆積期間中の切り返しによってある程度分解した一般的な厩肥の窒素消失率より明らかに大きかった。しかし、厩肥の窒素消失に及ぼす土壌の影響は牛糞の場合と同様であった。

以上のことから施用厩肥窒素の消失率は積算温度と作土層土壌の有効水分容量の大きさおよび施用厩肥の腐熟度によって律速されることが明らかになった。

#### 第4節 土壌からの窒素吸収量に対応したマメ科混播草地の窒素施肥管理とマメ科草の窒素移譲量

前節までに、草地更新時の土壌および厩肥から

の窒素吸収の特徴を調べ、これらによって更新草地の造成 2~4 年目の収量が高水準に保たれることを指摘した。また、その結果に基づいてイネ科主体草地の経年化に伴う化学肥料による窒素施肥管理法のあるべき方向を明らかにした。

一方、草地は良質粗飼料の生産と窒素肥料の節減のためにイネ・マメ混播草地として造成されるのが基本である。

本節では土壌からの窒素吸収が旺盛な造成初期における混播マメ科草維持のための窒素施肥管理法を検討し、マメ科草の窒素移譲量を査定した。

#### 実験方法

供試草地は1987年に疑似グライ土に立地する造成 7 年目のオーチャードグラス主体草地を更新し、厩肥 3 水準 (0, 10, 20 t / 10 a) で施用後、オーチャードグラス、チモシー単播草地およびそれらとラジノクローバの混播草地をそれぞれ造成した。播種量は単播草地でオーチャードグラス (キタミドリ), チモシー (ノサップ), それぞれ 2.0, 1.5 kg / 10 a, 混播草地でイネ科草種それぞれ 1.5, 1.0 kg / 10 a, ラジノクローバ (カリフォルニアラジノ) 0.5 kg / 10 a とした。また、開墾後 3 年目の畑地に厩肥無施用の条件でオーチ

ャードグラス・ラジノクローバ混播草地を造成、供試した。造成時の基肥は窒素，リン酸，カリそれぞれ4，25，6 kg/10 aを草地化成055と焼成リン酸肥料で施した。

また，1989，'90年には一般農家圃場のチモシー・ラジノクローバ，チモシー・アカクローバ・ラジノクローバ混播の造成2～5年目草地（褐色森林土7筆，疑似グライ土11筆，低地土5筆）も供試した。

実験処理は造成2年目より実施し，窒素施用量3水準（無窒素，半量，標準，但し標準施肥量はオーチャードグラス，チモシー単播草地それぞれ年間18，15 kg N /10 a，ラジノクローバ混播草地は年間6 kg N /10 a）に設定して1988年から'90年にかけて調査した。なお，ラジノクローバ混播草地については，2年目の無窒素区を4分割し，年間窒素施肥量を0，3，6，9 kg/10 aに変えた処理区を設置した。

窒素は尿素を用い，リン酸，カリはそれぞれ10，15 kg/10 aを過石，硫加を用いて施用した。施肥配分はオーチャードグラス単播・混播草地で年3回均等，チモシー単播・混播草地で早春：1番草後＝2：1とした。

収量調査はオーチャードグラス単播・混播草地で6月上旬，8月上旬，9月中旬の3回，チモシー単播・混播草地で6月下旬，8月下旬～9月上旬の2回実施した。

## 実験結果

### 1) イネ科草の窒素吸収量とマメ科率の関係

造成2，3年目の土壌（イネ科単播草地・厩肥無施用区の無窒素処理牧草の窒素吸収量）および厩肥由来（イネ科単播草地における厩肥施用区の無窒素処理牧草の窒素吸収量から厩肥無施用区の無窒素処理牧草の窒素吸収量を差し引き，厩肥施用量で除した値）の窒素吸収量はそれぞれ造成2年目：7 kg N /10 a，0.4 kg N /t，造成3年目：7 kg N /10 a，0.3 kg N /tであった。この土壌および厩肥由来の窒素を土壌窒素として一括し，窒素施肥量を合わせた「土壌+肥料」合計窒素量と牧草収量の関係を図43に示した。オーチャード

グラスとチモシーの収量は「土壌+肥料」合計窒素量の増加に伴い直線的に増加し，逆に混播マメ科草収量は直線的に低下した。なお，オーチャードグラス・ラジノクローバ混播草地のマメ科草収量がチモシー・ラジノクローバ混播草地のそれより多い原因は造成当年のマメ科率が前者で50～65%と後者の4～25%より高かったためである。

次に，混播マメ科草の窒素移譲量（イネ・マメ混播草地における無窒素処理のイネ科草窒素吸収量からイネ科単播草地の無窒素処理牧草の窒素吸収量を差し引いて求めた）を加えた「土壌+肥料+マメ科草移譲窒素」合計量と混播草地のマメ科率の関係をみると（図44），マメ科率を30%前後に維持しうる合計窒素量は混播イネ科草種に関係なく年間10～12 kg N /10 a程度であり，この関係は厩肥施用量が異なっても成立した。すなわち，イネ・マメ混播草地のマメ科草収量およびマメ科率は化学肥料としての窒素施肥量のみでは説明しきれず，土壌からの窒素吸収量および混播マメ科草の窒素移譲量を加算した合計窒素量によって考察する必要がある。

一方，「土壌+肥料+マメ科草移譲」合計窒素量が10～20 kg N /10 a程度までは，上記合計窒素量はイネ科草の窒素吸収量とほぼ等量であった（図45）。

このことから，既往の成績（北海道立天北農業試験場，土壌肥料科：農水省指定試験成績書，昭和51～58年）を用いてイネ科草窒素吸収量とマメ科率との関係で整理した結果を図46に示した。マメ科率は降水量の年次変動の影響を受け，降水量が不足した年次ではイネ科草の窒素吸収量が低水準でも低い。しかし，降水量不足年を除いた場合，マメ科率を30%前後に維持しうるイネ科草の窒素吸収量は年間10 kg N /10 a程度であり，それ以上の窒素吸収量でのマメ科率はおおむね20%以下であった。

したがって，土壌からの窒素吸収量（草地更新時の土壌および厩肥からの窒素）が多い造成2,3年目における混播草地のマメ科草維持は土壌からの窒素吸収量と混播マメ科草の窒素移譲量を考慮した肥料窒素の調節が重要であると指摘できる。



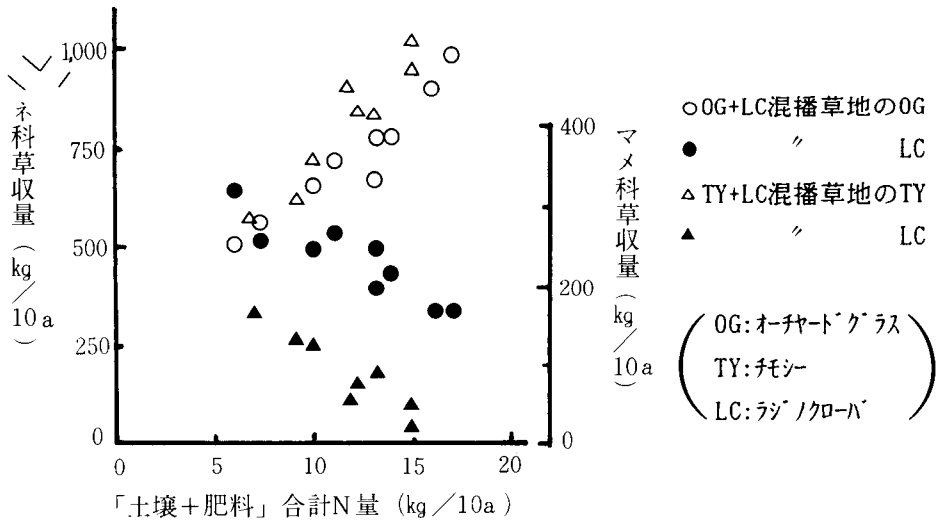


図43. 「土壌+肥料」合計窒素量と混播草地の草種別収量の関係  
(造成2年目)

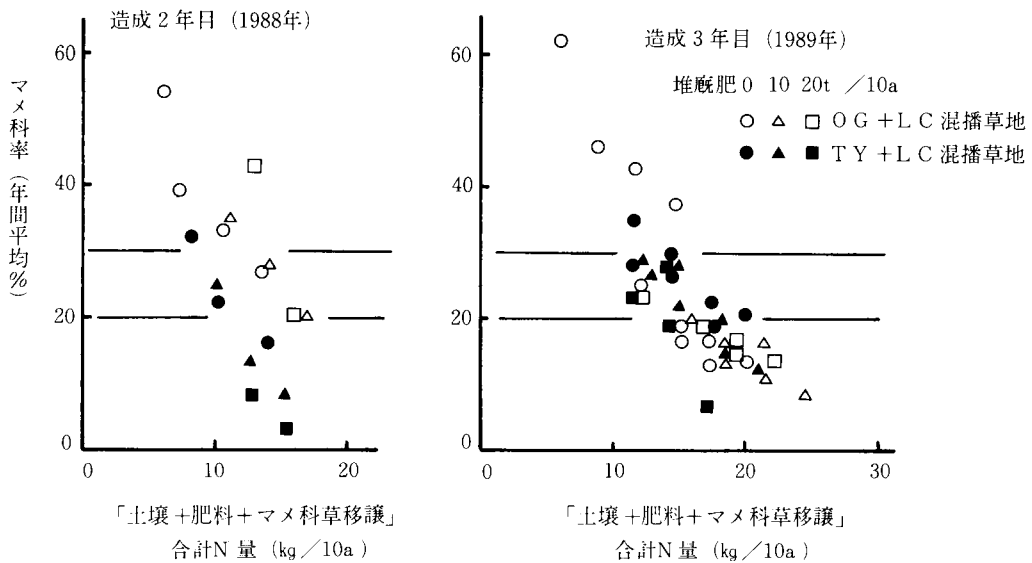


図44. 混播草地のマメ科率と「土壌+肥料+マメ科草移譲」合計窒素量の関係  
(疑似グライヒ, OG:オーチャードグラス, TY:チモシー, LC:ラジノクローバ)

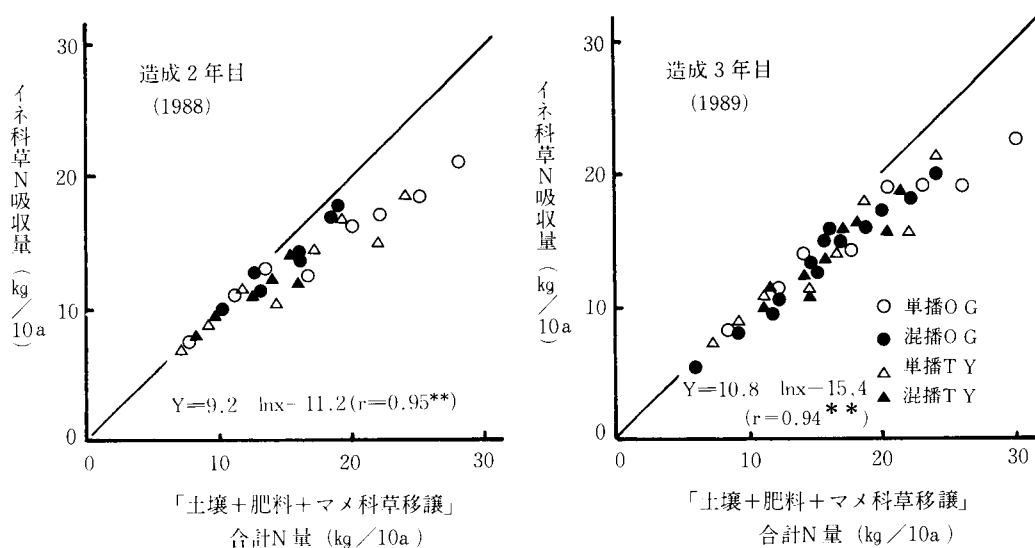


図45. イネ科草の窒素吸収量と「土壌+肥料+マメ科草移譲」合計窒素量の関係  
(年間合計、OG:オーチャードグラス、TY:チモシー)

また、草地更新時の土壌および厩肥からの窒素吸収量が低下した造成4年目以降の肥料窒素の施肥管理においては混播マメ科草からの窒素移譲量を考慮する必要がある。このことは、図47に示すように生土培養法による無機態窒素量の多い草地ではマメ科率が顕著に低下したことからも裏付けられる。

## 2) 混播マメ科草の窒素移譲量

混播草地のマメ科草窒素移譲量(図48)と前年のマメ科率との間には比較的良好な対応関係が認められた。

窒素移譲量は造成2年目と3年目で大きく異な

った。造成2年目では前年のマメ科率が20%以下の場合、マメ科草からの窒素移譲量がほとんど認められず、またマメ科率40~60%で移譲量が頭打ちとなり、その最大値も2 kg N / 10 a 前後であった。しかし、造成3年目になると前年のマメ科率が30%程度までは窒素移譲量が直線的に増加し、30~40%前後のマメ科率で最大4 kg N / 10 a 前後の窒素移譲量を示した。

なお、前年のマメ科率を窒素移譲量の算出に用いた理由は、越冬直前の混播草地のマメ科草が保持する窒素量が極めて多く、さらに翌年の年間合計の窒素移譲量に占める1番草時の割合が57~73%、平均65%と多いためである。(表57)。

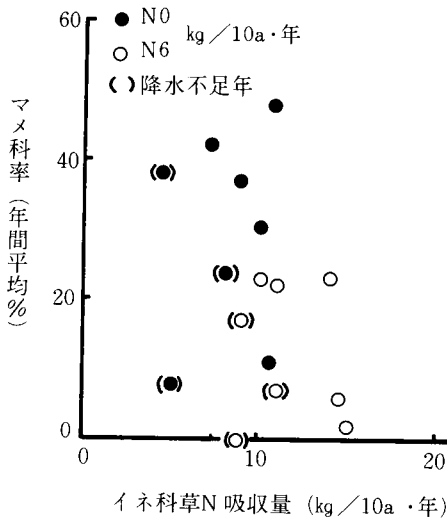


図46. 混播草地のイネ科草窒素吸収量とマメ科率の関係  
(オーチャードグラス、ラジノクロバ混播草地、褐色森林土、1976~'83年)

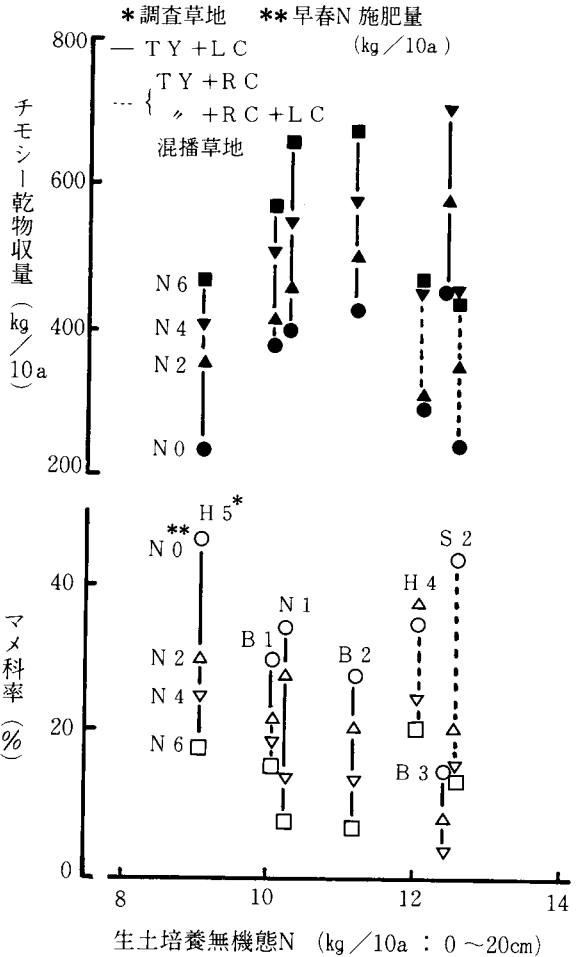


図47. 土壌窒素量(生土培養法による評価)と混播草地のチモシー収量、マメ科率の関係(1989年1番草時)  
(TY:チモシー、LC:ラジノクロバ、RC:アカクロバ)

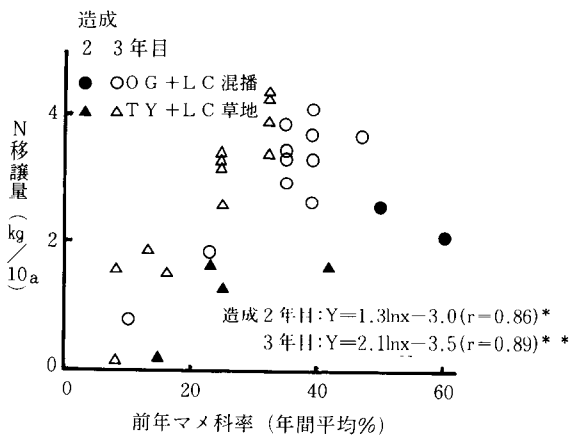


図48. 前年マメ科率と窒素移譲量(差し引き法による)の関係  
(OG:オーチャードグラス、TY:チモシー、LC:ラジノクロバ)

表57. 越冬直前\*の混播草地のマメ科草量, 窒素保持量と窒素移譲量

| 調査時期<br>項目 | 前年越冬時 |     |        | 翌年牧草生育期間 |     |          |
|------------|-------|-----|--------|----------|-----|----------|
|            | 乾物量** |     | N保持量** | N移譲量**   |     |          |
| 草地***      | イネ    | マメ  | マメ     | 1番草      | 年間  | 1番草割合(%) |
| OG・LC混播草地  | 160   | 236 | 9.3    | 2.0      | 3.5 | 57       |
| TY・LC混播草地  | 270   | 255 | 8.5    | 2.9      | 4.0 | 73       |

\*調査方法：30×30cmコドラートで地際1cm以上部分を刈り取った(5反復), 但しラジノクロバのランナーは含まない(1988年11月6日調査)

\*\*g/m<sup>2</sup> \*\*\*OG：オーチャードグラス, TY：チモシー, LC：ラジノクロバ

## 第5節 考察

### 1) 土壌からの窒素吸収量と牧草収量の関係

一般農家イネ科主体草地の収量はいずれの窒素施肥水準でも造成2,3年目で明らかに高いこと, また, 4年目以降の収量は肥料窒素が低い水準(無窒素, 半量区)で徐々に低下するが, 肥料窒素が十分に施用された条件(標準区)ではオーチャードグラス, チモシー主体のいずれの草地でも造成3,4年目以降それぞれ平均乾物収量850kg, 980kg/10a程度で安定していた(図33)。一方, 造成2,3年目草地の高収と, 肥料窒素が低水準の場合における造成4年目以降の収量の漸減傾向は土壌からの窒素吸収量が経年的に低下するためであった(表44)。

土壌からの窒素吸収量を予測する方法として土壌分析による窒素診断がある。

草地では作土試料の生土培養法による無機態窒素含量が無窒素区牧草の窒素吸収量と相関が高く(図35, 表46), 吸収量の予測方法として有効であると考えられた。しかし, この方法による土壌窒素含量は草地の経年変化に伴い低下し(表45), またその全窒素含量に占める割合も経年変化に伴って顕著に低下する(図34)など変化が大きかった。さらに, 一般に草地はイネ・マメ混播草地として造成されるが, 混播されるマメ科草種によって土壌分析値とイネ科草収量との関係が異なること(図47)や, 混播マメ科草からの窒素移譲量をどう評価するかの問題が残されている。

以上の理由から, 草地の土壌分析法による窒素吸収量の予測についてはさらに検討すべき問題が

多い。

そこで, いずれの草地でも無窒素区牧草の窒素吸収量および生土培養法による土壌窒素含量が造成2,3年目から4年目にかけて顕著に低下する傾向を示すので, 土壌からの窒素吸収量の経年変化を引き起こす要因を草地の主要な土壌窒素吸収源別に検討した。

### 2) 草地更新時の土壌からの窒素吸収量の評価とその経年変化

前植生および表層蓄積有機物が保持する窒素量は, 草地の利用形態, 植生状態および経年数などの管理来歴によって異なり, 採草地で20~26kg N/10a, 放牧地で40~57kg N/10aと極めて多量であった(表52)。

このような草地を更新した場合の土壌からの窒素吸収量は造成当年で2~10kg N/10a, 2年目で4~16kg N/10a, 3年目で3~14kg N/10aと極めて多量であり, かつ吸収量の経年変化は立地土壌によって異なる傾向を示した(表51)。

このことから更新時の土壌からの窒素吸収は, 更新対象草地の利用形態, 植生状態および立地土壌を組合せて, 以下の5種に類型化することができた。

- ① 放牧地—地下茎型草種(KB)優占—褐色森林土
- ② 放牧地—地下茎型草種(KB)優占—疑似グライ土, 低地土型
- ③ 採草地—叢生型草種(OG, TY)優占—

褐色森林土

- ④ 採草地—叢生型草種 (OG, TY) 優占—  
疑似グライ土
- ⑤ 採草地—叢生型草種 (OG, TY) 優占—  
低地土型  
(KB:ケンタキープルーグラス, OG:オーチャードグラス, TY:チモシー)

これら類型区分は前植生および蓄積有機物が保持する窒素量 (表52) あるいは熱水抽出窒素含量と土壤からの窒素吸収量の相関図 (図39) において同一類型に属する草地は、ほぼ同一のブロックに含まれることからみて適切な類型区分であると判断された。

一方、更新時にみられる旺盛な窒素吸収が、どれくらいの期間持続するかについては、上記③型の褐色森林土に立地する叢生型草種優占採草地の場合でおおむね造成2～3年目までであると推定された (表48, 51)。また、上記①, ②型における土壤からの窒素吸収の持続性は十分把握されきっていないが、③型の持続期間からみて、その持続性は造成3～4年目までが限度であると推定される。つまり、草地の更新によって鋤き込まれる前植生および蓄積有機物は、休閒作物の鋤き込みと同様の効果を持つと考えられる<sup>21, 26)</sup>。すなわち土壤腐植を増加させるのではなく、養分供給源として、より活性な「ライトフラクション」の割合を増加させることが土壤からの旺盛な窒素吸収の主因になっていると考えることができる。

このことは、草地の新規造成時の土壤窒素供給が自然状態で堆積した栄養腐植あるいは粗腐植の分解に依存し、かつ比較的短時間で終息するという指摘<sup>90)</sup>と同等の現象と考えられる。

さらに、草地更新時の耕起法および時期が土壤からの窒素吸収に及ぼす影響は更新直後1年間程度の牧草生育に認められるにすぎない (表49, 図37)。

### 3) 施用厩肥に由来する窒素吸収量の経年変化

草地型酪農では家畜糞尿で循環する養分量は莫大であり、また厩肥は草地更新時および維持管理

段階で多量に施用される。これら施用厩肥に由来する窒素吸収は草地の牧草収量に多大な効果を示すことは古くから指摘されている。

まず、厩肥の施用法間で施用効果を比較した結果、施用量が等量であれば基肥＝表面分施 (合計施用量10 t / 10 a) であった (図40, 表55)。

一方、疑似グライ土での肥料窒素の増施効果が基肥区>分施肥区であった理由は、基肥区では厩肥施用によって低pF水分領域の粗孔隙量が増加したこと (表53) と牧草の根はりが改善された結果<sup>70, 71)</sup>、肥料窒素の施用効果が高まったことであると推察される。

さらに、天北地方における施用厩肥の持続性が長期間に及ぶこと、厩肥施用法間の効果が基肥＝表面分施であったことは、根釧地方の火山性土で得られた結果<sup>33, 86)</sup>と頗る異なる点であった。この理由は主として①天北地方の土壤が細粒質で密な土層をもち有効水分容量が小さい鉍質土であり、②根釧地方に比べて5～7月の降水量が少なく、表層土壤が過乾に陥りやすいなどの環境条件の違いに求めることができると考えられた。このことは厩肥の窒素放出率は褐色森林土>疑似グライ土の関係にあった (表56) こと、また、牛糞窒素の消失率が積算温度と作土層土壤の有効水分容量の大小に大きく支配される (図42) ことから裏付けられた。

### 4) 土壤からの窒素吸収量に対応した天北地方鉍質土草地の混播マメ科草の維持とマメ科草の窒素移譲量

天北地方においてラジノクローバを相手草種とする混播草地のマメ科草を適正な水準に維持することは必ずしも容易ではない。これはラジノクローバの光<sup>35, 41)</sup>および水に関する競合力<sup>11, 18)</sup>が弱いことによる。したがって天北地方の混播草地におけるマメ科草の維持は、根釧地方におけるそれより困難を伴う場合が多く、土壤の乾湿<sup>37)</sup>、降水量の年次変動によって変化する<sup>70)</sup>。また、混播草地におけるイネ科草のマメ科草に対する競争力は窒素施肥によって強化されることを重視した結果、従来の研究では化学肥料としての窒素施

肥量との関係に偏った論議<sup>13,62,90)</sup>がなされる場合が多かった。

本試験で得られた結果は、①混播草地のイネ科草の生育量と窒素吸収量は「土壌+肥料+マメ科移譲」合計窒素量で決定されること(図43, 45)、②年間の平均マメ科率を30%前後に維持しうる「土壌+肥料+マメ科移譲」合計窒素量は年間10~12kg N /10 a程度であること(図44)に要約できた。

このことから、土壌からの窒素吸収量が多い造成2,3年目の混播草地においてマメ科草を適正水準に維持するためには、土壌からの窒素吸収量を正當に評価し、これに基づいて化学肥料としての窒素施肥量を決定することが極めて重要であると指摘できる。このことは現地的一般農家混播草地についての調査結果(図47)によっても確認できた。

一方、マメ科草からの窒素移譲量は東田ら<sup>38)</sup>、

HERRIOTT ら<sup>29)</sup>、SIMPSON ら<sup>107)</sup>が指摘したと同様に前年のマメ科率と比較的良好な対応関係にあり、その最大量は造成2年目で2 kg N /10 a、3年目で4 kg N /10 a程度であった。この窒素移譲量は従来、北海道で報告された移譲量<sup>34,42)</sup>にほぼ近似した。

なお、図45に示されるように「土壌+マメ科草移譲+肥料」合計窒素量が20kg N /10 a程度までは、上記窒素量はイネ科草の窒素吸収量とほぼ等量であったが、20kg N /10 a以上では窒素吸収量が合計窒素量を下回った。このように合計窒素量が多い場合には肥料および無機化した土壌窒素の流亡などによる損失が起きているものと考えられる。このことは既掲表20に示したように、概算された土壌-牧草系における窒素の損失が窒素施肥量の多い条件(窒素18kg施肥区)で5~17%、平均9%と比較的大きかったことから類推される。

## 第V章 総合論議

草地型酪農における粗飼料の安定確保上の基本的問題は更新によって高められた草地の生産性を如何に長期間維持するかである。この目的を達成するために、草地の老化過程における生産性の制限要因を明らかにし、これを改善するための技術的方策を立てる必要がある。

本研究は、草地の経年化に伴う牧草収量の低下を肥料窒素の利用率、土壌からの窒素吸収との関連で検討し、天北地方における草地生産性の制限要因を明らかにするとともに、草地の経年化および降水量の年次変動に伴う土壌からの窒素吸収量の変化に対応した窒素施肥管理法を明確にしようとしたものである。

本章では主に草地における肥料-土壌窒素の収支に基づいて、土壌から吸収する窒素の起源別吸収様式を組込んだ草地の経年化過程における窒素施肥管理モデルについて論議をする。

### 1. 採草地における窒素の収支

オーチャードグラス主体採草地に施肥された肥料窒素は茎葉部に37~49%、株・根に19~21%、地表面枯死茎葉に5~8%が分配され(表10)、残り25~35%の一部は流亡その他によって損失するが大部分は土壌に残留すると推定した。さらに株・根に保持された窒素量は造成5~6年目以降一定となり(図18)、また0~15cm土層の土壌窒素量も造成後一旦低下するものの、経年的にはほぼ一定と見なされた(表20)。このことは、茎葉部に吸収された肥料窒素は草地系外に持ち出されるが、株・根、地表面枯死茎葉および土壌に保持された肥料窒素はCLARK<sup>8)</sup>、DOWDELL<sup>16)</sup>、WEBSTER<sup>117)</sup>が指摘するように数年間で牧草茎葉部に再利用されることを示している。すなわち表58に示すように年間窒素12kg/10a施肥条件では肥料由来窒素は4.4~5.9kg/10a(利用率37~49%)、株・根からの再利用窒素は2.3~2.5kg/10a、還元有機物に由来する窒素は1.8~2.4kg/10a(還

元有機物が含有する窒素量から粒径0.1mm以上の蓄積有機物が含有する窒素量の1年当たり増加量を差し引いた)であり、その合計量は8.5~10.8kg/10aであって、これによって吸収窒素全量11~12kg/10aの80~90%が説明される。また、残り1.2~2.5kg/10aは由来の不明な部分であるが、土壌に保持された肥料由来窒素の残効およびプライミング効果<sup>7,111)</sup>による窒素であると推定される。

以上の結果から、混播マメ科草による窒素移譲および厩肥などの有機質肥料に由来する窒素源を欠く採草地では、見かけ上肥料窒素吸収量≒施肥窒素量であり、施肥量と吸収量はほぼバランスしていると判断される。

表58. オーチャードグラス主体草地の給源別窒素吸収量 (kg/10a・年)

| 項目 \ 施肥N水準 | 12kg施肥条件 | 18kg施肥条件  |
|------------|----------|-----------|
| 吸収N量(A)    | 11~12    | 16~18     |
| 肥料由来       | 4.4~5.9  | 6.7~8.8   |
| 株・根由来      | 2.3~2.5  | 3.4~3.8   |
| 草地系内有機物由来  | 1.8~2.4  | 2.9~3.5   |
| 合計(B)      | 8.5~10.8 | 13.0~16.1 |
| (A)-(B)*   | 2.5~1.2  | 3.0~1.9   |

\* 由来不明部分

### 2. 一般農家草地における牧草収量の経年変化

一般に年間の乾物900kg/10a程度の収量を得るためにはオーチャードグラス主体採草地で16~18kg N、チモシー主体採草地で14~16kg N/10aの年間合計の窒素吸収量が必要である。

一方、一般農家採草地の収量水準は窒素施肥量によって異なるが、窒素施肥水準が低い条件では造成5、6年目まで、また標準量の窒素施肥水準でも造成3、4年目まで急激な収量低下を引き起こした(図33)。

この収量低下の主要因は土壌からの窒素吸収量が造成2, 3年目から4年目にかけ急激に低下するためであった(表44)。また, この土壌からの窒素吸収量の経年的低下は, 生土培養法によって無機化される易分解性有機態窒素の含量が経年的に減少することと密接な関係にあった(表46)。しかし, 厩肥などが施用されていない採草地の易分解性有機態窒素含量は, 経年化によって表層土層(0~5 cm)と5 cm以下の作土層で層位分化を起こすことはあっても, 作土層全体では経年的にあまり変化しないと推定された(図19)。これらの事実から, 一般農家草地で得られた造成2年目から3, 4年目(窒素標準区)ないし5, 6年目(無窒素および窒素半量区)にかけての経年的な収量低下は, 土壌からの窒素吸収源が, 厩肥など他から持ち込まれたものに依存していることを意味する。

草地土壌からの主要な窒素吸収源は, ①草地更新時の前植生および表層蓄積有機物, ②更新時および維持段階の施用厩肥, ③混播マメ科草からの窒素移譲, ④維持段階における草地系内の還元有機物に大別され, これらの給源からの窒素吸収量は多量で経年的, 年次的変化が大きい。またこの他に, ⑤自然に蓄積した土壌腐植, ⑥降雨, 降下物質に伴う窒素, ⑦非共生窒素固定生物からの窒素供給などを考慮する必要があるかも知れない。しかし, ⑤に大きく依存するような体系は長続きしないであろうし, 事実, 北海道の草地について早川<sup>30)</sup>, 奥村<sup>90)</sup>が指摘したように土壌腐植に由来する窒素吸収は少ないと考えられる。また, ⑦に関しては植生が常時地表面を覆っている草地では少ないことが指摘されている<sup>93, 120)</sup>。したがって, これらの窒素給源は本節では考慮しなかった。さらに, ⑥は年間0.3~1.0 kg N / 10 a程度存在すると指摘されており<sup>55, 120)</sup>, また, 小川<sup>83)</sup>は北海道では1 kg N / 10 a程度の窒素が降水によって供給されていると試算している。しかし, これには地域間差が大きく, 天北地方での降雨による窒素供給は0.3~0.4 kg N / 10 a<sup>80)</sup>と少ないので, この論議には含めないこととした。したがって, 前項の①~④を中心にして, 窒素の動向を定量化する。

### 3. 土壌窒素給源別の窒素吸収

#### 1) 草地更新時の土壌からの窒素吸収量

草地更新時の土壌からの窒素吸収量は更新対象草地の利用形態や植生状態によって著しく異なり, さらにその経年変化は, 立地土壌の種類によって影響された(表51)。この立地土壌の違いによる土壌からの窒素吸収量の経年変化は, 後述する厩肥の窒素放出率に及ぼす土壌の影響と併せて考えると, 主に土壌の水分供給能の違いが反映された結果と推定される。

このことを考慮して, 草地更新時の土壌からの窒素は吸収量の多少とその経年変化を組み合わせ, 5種に類型区分された。草地更新に伴う土壌からの窒素吸収量は類型区分①, ②では3ヵ年合計で24~28 kg N / 10 a, 区分③~⑤では12~16 kg N / 10 aと多量であり, 造成3ないし4年目まではこれら吸収量を考慮した窒素施肥量の決定が重要である。

#### 2) 施用厩肥に由来する窒素吸収量

施用厩肥に由来する土壌からの窒素吸収量とその経年変化は施用量, 施用方式および立地土壌の種類によって異なることが明らかとなった(図41, 42)。

一般に施用有機物からの窒素吸収量の経年変化は, 施用有機物窒素の土壌中での残存率を示す式,  $Y = ae^{-rt}$  [Y: N残存率(分率), a, r: 常数, t: 時間(年)] によって推定できる<sup>83)</sup>。また毎年有機物が施用される条件についても本式を展開して求められる<sup>50)</sup>。本試験では施用厩肥窒素の放出率を牧草が吸収した窒素量から間接的に求めた(表56)。この窒素放出率を用いて上式のa, rを施用法別, 土壌別に算出した(表59)。施用初期の分解の難易性を示す常数aは施用法や土壌の種類に関係なく0.88~0.99の範囲にありほぼ一定であった。また有機物中窒素の放出速度に関する常数rは褐色森林土: 0.05~0.06 > 疑似グライ土: 0.03と土壌間差は認められるが, 施用法の違いによる差は認められなかった。これらの結果は供試した厩肥が類似した飼養形態で生産され, かつC/N比も近似していたためと推定される。



表59. 施用厩肥の窒素放出特性値

| 施用法  | 褐色森林土 |      | 疑似グライ土 |      |
|------|-------|------|--------|------|
|      | a     | r    | a      | r    |
| 基肥   | 0.99  | 0.06 | 0.97   | 0.03 |
| 表面分施 | 0.88  | 0.05 | 0.91   | 0.03 |
| 表面単用 | 0.91  | 0.05 | 0.93   | 0.03 |

厩肥 N の残存モデル： $Y = ae^{-rt}$ ， $a$ ， $r$ ：定数， $t$ ：時間（年）

この  $a$ ， $r$  を用いると，施用厩肥 1 t 当たり窒素吸収量の経年変化は施用法別，土壌別に次の①～③式で表現することができる。ただし，厩肥 1 t 当たりの窒素量としては表54の平均値 8 kg を用いた。

- ① 基肥として施用した厩肥からの窒素吸収量  
( $Ns_1$ ，kg N / t) —①

$$\begin{aligned} \text{褐色森林土：} Ns_1 &= 8(1 - 0.99e^{-0.06t}) \\ \text{疑似グライ土：} Ns_1 &= 8(1 - 0.97e^{-0.03t}) \end{aligned}$$

( $t$ ：施用後経年数)

- ② 分施した厩肥に由来する窒素吸収量  
( $Ns_2$ ，kg N / t) —②

$$\begin{aligned} \text{褐色森林土：} Ns_2 &= 8(1 - 0.88e^{-0.05t}) \\ \text{疑似グライ土：} Ns_2 &= 8(1 - 0.91e^{-0.03t}) \end{aligned}$$

( $t$ ：分施年数，秋施用)

- ③ 表面に単年で施用された厩肥に由来する窒素吸収量

$$\begin{aligned} \text{褐色森林土：} Ns_3 &= 8(1 - 0.91e^{-0.05t}) \\ \text{疑似グライ土：} Ns_3 &= 8(1 - 0.93e^{-0.03t}) \end{aligned}$$

( $t$ ：施用後の経年数，但し  $t \leq 3$ )

なお，②，③は秋施用であり，施用翌年を  $t = 1$  とした。また，①，③は積算値になるので，単年度の吸収量は  $t$  年における値から  $t - 1$  年の値を差し引くことによって求める。

一方，基肥として施用された厩肥 1 t 当たりの窒素吸収量は褐色森林土 > 疑似グライ土であり，この差異には主に土壌の物理性，特に有効水分容量の大きさが重要な因子として関与していると推定された（表53）。このことは牛糞窒素の消失率

が作土試料の有効水分容量大（天北農試：泥炭土，北農試：褐色火山性土）> 同中程度（天北農試：褐色森林土，灰色低地土）> 同小（天北農試，滝川畜試：疑似グライ土）の順で大きかった（図42）ことによって支持された。渡辺らも同様の報告<sup>116)</sup>をしている。

したがって，土壌特性の影響を受けやすい施用厩肥窒素の土壌中での残存率は，先に示したモデル ( $Y = ae^{-rt}$ ) にあてはめ，作土試料の有効水分容量の大きさ別に次式④で表現された。

すなわち，牛糞窒素の残存率を  $Y$ （分率）とすれば，

#### 土壌有効水分容量

$$\begin{aligned} \text{大のとき} \quad Y &= 0.82 e^{-0.42t} \quad (r = -0.88) \\ \text{中のとき} \quad Y &= 0.89 e^{-0.34t} \quad (r = -0.97) \text{—④} \\ \text{小のとき} \quad Y &= 0.91 e^{-0.18t} \quad (r = -0.86) \end{aligned}$$

( $t$  = 時間：年，原データ：図42)

となり，それぞれ統計的に有意な関係が得られた。この式で示された消失初期の難易性を表す定数  $a$  の値は表59に示した値よりやや小さく，また消失速度を表す定数  $r$  は明らかに大きかった。この両者の違いは，①供試した埋設試料が排泄直後の牛糞であったため，消失速度が敷料のわらが混入し，堆積中の切り返しによってある程度分解の進んだ厩肥より大きかったことと，②放出された厩肥窒素の利用率が肥料窒素の茎葉部利用率（表7）と同程度と仮定することによってほぼ説明される。

以上の結果により，それぞれの施用方式および立地土壌別に施用厩肥の経年的な窒素吸収量を評価し，草地の窒素施用管理に反映させる必要がある。

#### 3) 混播マメ科草の窒素移譲量

混播草地のマメ科草による窒素移譲量は混播マメ科草種によって著しく異なる<sup>37,38)</sup>。ラジノクロバを混播草種とした場合の窒素移譲量 ( $NsT$ ) は前年のマメ科率 ( $X$ ) と比較的良好的な対応関係 ( $r = 0.86 \sim 0.89$ ) を示した（図48）。

すなわち，両者の関係は一般式  $Y = a \ln X - b$  によって示すことができる。

マメ科草の窒素移譲量 (NsT, kg N / 10 a · 年)

造成 2 年目:  $NsT = 1.3 \ln X - 3.0$   
 $(r = 0.86) - ①$

造成 3 年目:  $NsT = 2.1 \ln X - 3.5$   
 $(r = 0.89) - ②$

(X: 前年の年間平均マメ科率%, 原データ: 図48)

なお、天北地方ではラジノクローバを主要な混播マメ科草種とした場合の適正マメ科率30%前後を維持するためには、競合相手である混播イネ科草種の窒素吸収量は「土壌+肥料+マメ科草移譲」合計で年間10~12kg N / 10 a 程度にするのが適当である。

4) 草地系内の還元有機物に由来する窒素吸収量

草地の維持段階における系内還元有機物に伴う窒素還元量はオーチャードグラス主体草地で年間4~5 kg N / 10 a, チモシー主体草地で3~4 kg N / 10 a 程度と推定された(表15)。粒径0.1mm以上の蓄積有機物量から求めたこの還元有機物に由来する窒素の消失率は図49に示すように、造成後の経年数の増加に伴って高まる。

この還元有機物に由来する窒素吸収量は図49の消失率から得られる還元有機物窒素の残存率と経年数の関係式①から求めることができる。

$Y = 0.86 e^{-0.07t} - ①$

[Y: 残存率 (分率), t: 経年数 - 1,  $t \leq 2$ ]

すなわち、草地では毎年一定の有機物が還元されるから、それからの窒素吸収量 (Ns) は、還元有機物中の窒素量を A として、式①を展開して得られる<sup>50)</sup> (予測式②)。

$Ns = A (1 - 0.86 e^{-0.07t}) - ②$

(A: 還元有機物窒素量: kg N / 10 a)

この式から求められる還元有機物由来の窒素吸収量は経年的に増加し、造成6, 7年目以上草地では年間2~2.5kg N / 10 a 程度(年間乾物収量700kg / 10 a 程度の草地)に達した。

一方、天北地方に分布する鉈質土草地における還元有機物の分解は、表層土壌のpHが律速因子

にならない条件では、牧草生育期間の積算降水量の年次変動に対応した変化を示す(図26)。

この予測式②に還元有機物の窒素消失率と牧草生育期間の降水量の関係(図26)から得られる③式を乗ずることにより、降水量の還元有機物に由来する窒素吸収量に及ぼす影響(F)を相対値として表すことができる。すなわち、有機物の窒素消失率の変化割合(F(Nd))と降水量の関係は、次式のように求められた。

$F(Nd) = 2.5 Pr^{0.46} - ③$   
 (Pr: 降水量mm / 4月下旬~9月中旬)

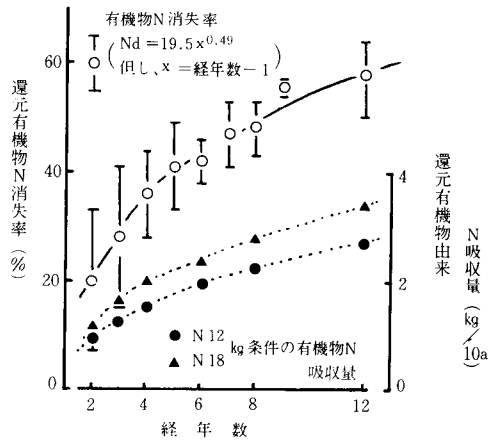


図49. 還元有機物含有窒素の消失率と草地経年数の関係(1984~'89年)  
 (Pr: 降水量mm / 4月下旬~9月中旬)

ここで降水量平常年の Pr = 500mmを F(Nd) = 1 とすると降水量が不足な年, Pr = 300~400mmの F(Nd) は0.8程度となる。

以上の予測式から導き出される還元有機物に由来する窒素吸収量は、年間乾物収量700kg / 10 a の草地を標準にして、造成3年目草地と7年目草地を比較した結果、古い経年草地ほど還元有機物由来の窒素吸収量が多く(図49)、しかも牧草生育期間の降水量に対する依存性が大きくなる傾向が認められた。

一方、これら草地系内の還元有機物に由来する窒素吸収量の比重は造成2, 3年目の草地では極めて小さい。これは更新時の土壌および施用厩肥からの窒素吸収量が多いことによる。また、この

窒素給源は基本的に草地系内で循環する肥料窒素の一部と見なされる(表58)。したがって、この給源からの窒素吸収量は、混播マメ科草が衰退して植生がイネ科草主体草地に変化した古い経年草地の窒素施肥管理に反映されるべきものと考えられる。

### 5) 予測モデルの検証

給源別に求めた土壌からの窒素吸収量の規制要因およびその変化様式を表60にまとめた。

次に、これらモデルから予測された給源別の窒素吸収量の積算値と実測されたそれとの関係について論議する。

#### (1) イネ科主体草地の場合

イネ科主体草地における牧草の主要な窒素吸収源は、①更新時の土壌、②施用厩肥および③化学肥料窒素の3種である。

予測モデルから求めた給源別窒素吸収量の積算値と実測されたその経年変化を図50に示した。実測された窒素吸収量と予測モデルから得られた積算値の経年変化はほぼ類似したが、降水量が不足した年次(1984, '86年)の実測値は積算値を

大きく下回った。この原因は既掲図26, 42に示したように有機物の分解が降水量と土壌の有効水分容量の大きさによって影響されているためと考えられる。つまり、土壌の乾湿の影響程度を予測モデルに組み込む必要がある。そこで降水量と還元有機物の窒素消失率との関係式(原データ:図26)で得られた降水量が少ない条件での消失の抑制程度:  $F(Nd) = 0.8$  (降水量平常年の  $F(Nd) = 1$ ) を用いて予測モデルの補正を行った。なお、降水量が不足して吸収が抑制された部分の窒素は翌年に持ち越されると仮定した。その結果、補正された予測モデルの積算値と実測値の年次変動パターンはかなり近似した。

しかし、今回用いた補正值は還元有機物の窒素消失率と降水量の関係式から導き出された値であり、作土層中に混和された有機物窒素の消失率および土壌別の乾湿程度に対する消失率の補正值は当然異なることが予想される。また、施肥された化学肥料成分の利用率と土壌の乾湿との関係についても今後さらに検討する必要がある。

次に、一般農家のオーチャードグラス主体草地で得られた結果(第4章1節)を用いて予測モデ

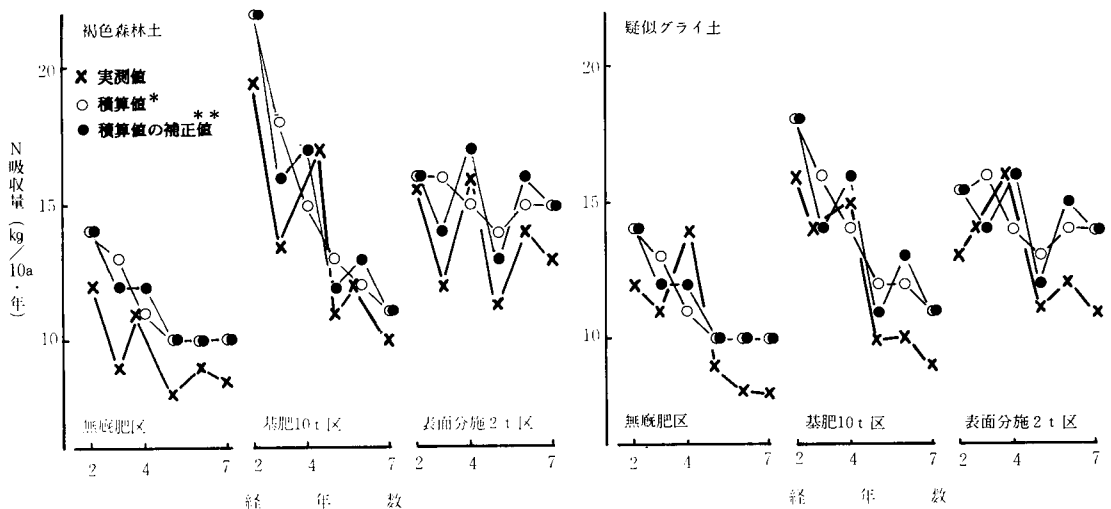


図50. 窒素吸収量の実測値と給源別窒素吸収量の積算値の経年変化

\*「更新時の土壌+厩肥+肥料(N10kg/10a)」合計値。

\*\*「更新時の土壌×0.8+厩肥×0.8+肥料(N10kg/10a)」合計値。

但し、0.8は降水不足年の有機物N分解抑制程度(原データ:図26)

表60. 給源別の土壌窒素吸収量の規制要因とその経年変化に関するパラメータ

| 給源区分                             | 規制要因   | 土壌窒素吸収量の変化様式  |
|----------------------------------|--|---|
| 1. 草地更新時<br>土壌窒素吸収量<br>(kg/10 a) | 利用形態>前植生>立地土壌  | 経年変化  |
|                                  | 類型区分   | 1年目      2年目      3年目   |
|                                  | ①放牧地-地下茎型草種優占<br>-褐色森林土型   | Ns=7      9~      7~<br>~10kg      11kg      9kg  |
|                                  | ②放牧地-地下茎型草種優占<br>-疑似グライ土、低地土型  | Ns=6      9~      7~<br>~7kg      16kg      14kg  |
|                                  | ③採草地-叢生型草種優占<br>-褐色森林土型  | Ns=3      6~      4~<br>~5kg      7kg      6kg  |
|                                  | ④採草地-叢生型草種優占<br>-疑似グライ土型   | Ns=2      4~      3~<br>~4kg      6kg      5kg  |
| ⑤採草地-叢生型草種優占<br>-低地土型            | Ns=4      6~      5~<br>~5kg      7kg      7kg   |   |
| 2. 施用厩肥由来窒素吸収量<br>(kg/1 t)       | 施用方式>立地土壌、地域   | 経年変化  |
|                                  | ①基肥施用<br>1. 施用方式別②表面分施<br>③表面単年施用<br><br>2. 立地土壌(有効水分容量別)<br>牛糞窒素残存率(Y) -④<br>有効水分容量<br>大: $Y=0.82 e^{-0.42t}$<br>中: $Y=0.89 e^{-0.34t}$<br>小: $Y=0.91 e^{-0.18t}$<br>t: 時間(年) | 褐色森林土<br>①: $Ns=8(1-0.99 e^{-0.06t})$<br>②: $Ns=8(1-0.88 e^{-0.05t})$<br>③: $Ns=8(1-0.91 e^{-0.05t})$<br><br>疑似グライ土<br>①: $Ns=8(1-0.97 e^{-0.03t})$<br>②: $Ns=8(1-0.91 e^{-0.03t})$<br>③: $Ns=8(1-0.93 e^{-0.03t})$<br>t: 経年数、但し、②、③は秋施用で施用翌年を1年目とする。 |
| 3. 混播マメ科草窒素移譲量<br>(kg/10 a)      | 混播マメ科草種>マメ科率   | 年次的変化   |
|                                  | ラジノクローバ混播条件  | 造成2年目: $Ns=1.3 \ln X -3.0$<br>造成3年目: $Ns=2.1 \ln X -3.5$<br>X: 前年マメ科率%  |
| 4. 草地系内有機物由来窒素吸収量<br>(kg/10 a)   | 土壌 pH $\geq$ 降水量(前年・当年)<br>$\geq$ 収量水準   | 経年的, 年次的変化  |
|                                  | 窒素残存率: $Y=0.86 e^{-0.07t}$ -①<br>t: 経年数-1, $t \geq 2$<br>窒素消失率律速因子: F(Nd)<br>$F(Nd)=2.5 Pr^{0.46}$ ——②<br>Pr: 降水量(mm)、但し、降水量平常年の F(Nd)=1.0、降水量不足年は F(Nd)=0.8程度とする。             | 降水量平常年<br>(500mm/4.下~9.中)<br>$Ns=A(1-0.86 e^{-0.07t})$<br>降水量不足年<br>(400以下mm/4.下~9.中)<br>$Ns=0.8A(1-0.86 e^{-0.07t})$<br>A: 還元有機物由来窒素(kg/10 a)  |

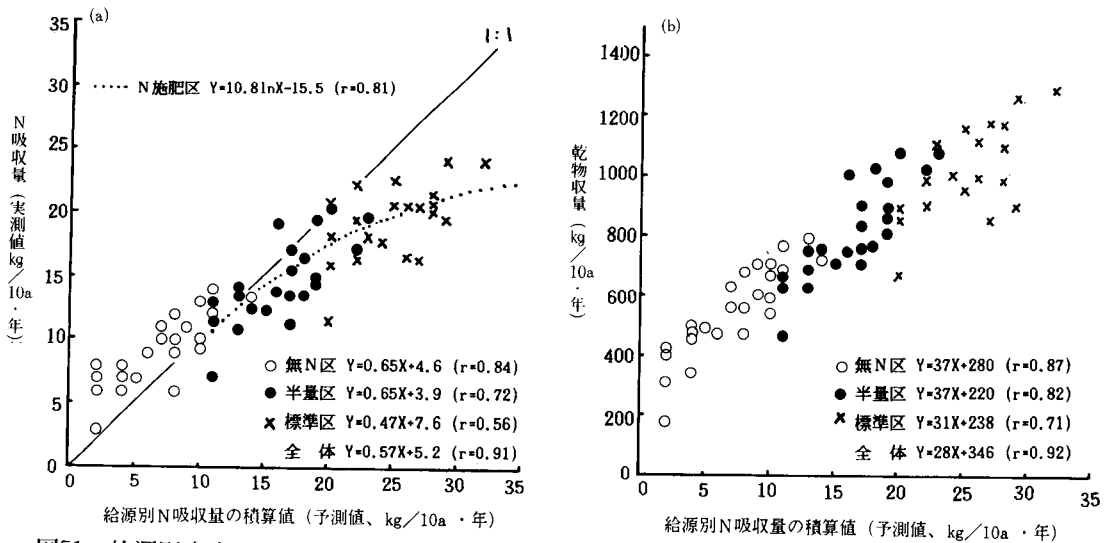


図51. 給源別窒素吸収量の積算値\* (予測値) と牧草\*\*の窒素吸収量(a)、乾物収量(b)の関係  
\*「更新時の土壌+厩肥+肥料」合計値 \*\*オーチャードグラス主体草地 (造成2～5年目)

ルから求めた給源別窒素吸収量の積算値と実測された無窒素区、窒素半量区および標準区の窒素吸収量、乾物収量の関係を図51に示した。なお造成4年目における更新時の土壌からの窒素吸収量は表51の経年変化から推定して2 kg N / 10 aを加算した。予測された給源別窒素吸収量の積算値は実測値の間にいずれの窒素施肥水準でも有意な相関関係 ( $r = 0.56 \sim 0.84$ , 全体:  $r = 0.91$ ) が認められ (図51 a), また乾物収量とも高い相関関係が成立した (図51 b)。これらの結果から、イネ科主体草地における予測モデルは窒素吸収量10～20 kg N / 10 aの範囲ではほぼ妥当な予測値を与えるものと判断された。

なお、窒素吸収量10 kg N / 10 a以下では過少の、20 kg N / 10 a以上では過大な予測値を与えた。窒素吸収量が低い範囲における過少評価の原因は、①実測された無窒素区の窒素吸収量に牧草の生きた株・根に保有された前年までの肥料窒素が含まれていた、②造成4、5年目草地では草地系内の還元有機物に由来する窒素 (1～2 kg N / 10 a程度) が過剰に含まれていたことにあると推定される。これらについては、今後さらに検討することによって推定誤差を小さくすることができよう。

一方、予測された給源別窒素吸収量の積算値が20 kg N / 10 aを越える範囲の予測値が過大になる傾向を示した理由は次のように考えることができる。①図51 bに示したように予測された積算値が20 kg N / 10 a以上では、牧草収量の増加が鈍化し、ほぼ乾物1,000～1,200 kg / 10 a程度で頭打ちになっている。②本地帯におけるオーチャードグラス草地の草型、収量からみた必要窒素量は年間20～25 kg N / 10 aが限度である。したがって、それ以上の窒素を供給しても利用率が顕著に低下し、損失率が大きくなる。

## (2) イネ・マメ混播草地の場合

イネ・マメ混播草地におけるイネ科草の主要な窒素吸収源は、①更新時の土壌、②施用厩肥、③混播マメ科草による窒素移譲および④化学肥料窒素である。これら4種の給源に由来する積算した窒素吸収量は混播草地イネ科草の窒素吸収量とほぼ等量であった (図45)。そこで一般農家の混播草地で得られた結果 (第4章4節) を用いて予測モデルの適合性を検討した。なお、混播マメ科草の窒素移譲量は前年のマメ科率が実測されていないので、造成2年目: 2 kg N, 造成3年目以降:

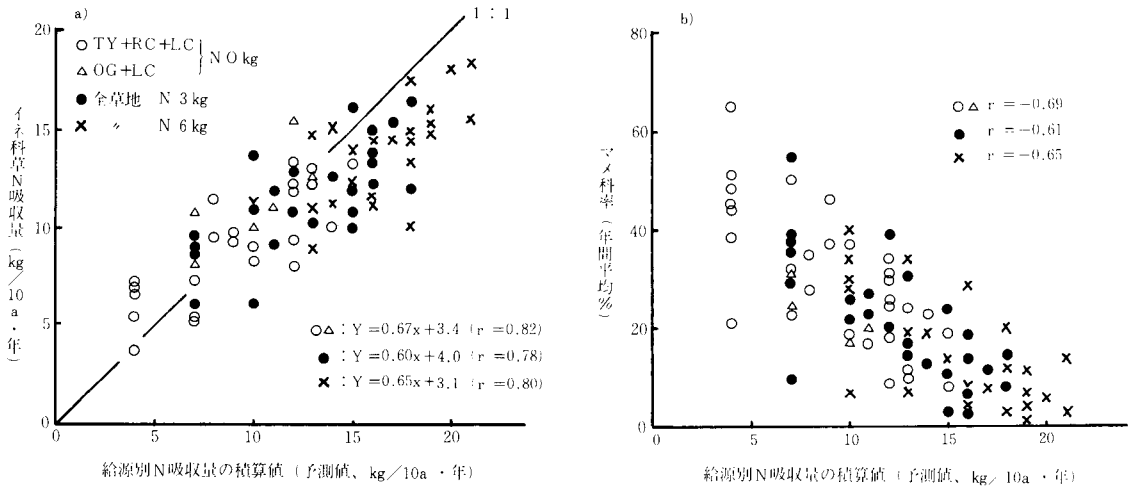


図52. 混播草地における給源別窒素吸収量の積算値\* (予測値) とイネ科草窒素吸収量(a)、マメ科率(b)の関係  
 \*「更新時の土壌+厩肥+マメ科草移壤」合計値、但しマメ科草移壤Nは造成2年目2 kg/10a、造成3年目以降4 kg/10aで固定した値を用いた(TY:チモシー、RC:アカクローバ、LC:ラジノクローバ、OG:オーチャードグラス)

表61. 給源別土壌窒素吸収量\*の積算による肥料窒素必要量の算出

(造成2～5年目草地)

| 項目            | 目標収量<br>水準<br>(kg/10 a) | 吸 収<br>N 量**<br>(kg/10 a) | 肥料 N 必要量 (kg/10 a) ***   |  |
|---------------|-------------------------|---------------------------|--|--|
|               |                         |                           | 厩肥無施用条件  | 厩肥施用条件   |
| イネ科<br>主体草地   | 中(700kg)                | 12(10)                    | $F_N = 12(10) - N_{s1}$  | $F_N = 12(10) - (N_{s1} + N_{s2})$   |
|               | 高(900kg)                | 18(15)                    | $F_N = 20(17) - N_{s1}$  | $F_N = 20(17) - (N_{s1} + N_{s2})$   |
| イネ・マメ<br>混播草地 | 中(600<br>~800kg)        | 10~12                     | $F_{N1} = 10 - (N_{s1} + N_{s3})$<br>$F_{N2} = 12 - (N_{s1} + N_{s3})$ | $F_{N1} = 10 - (N_{s1} + N_{s2} + N_{s3})$<br>$F_{N2} = 12 - (N_{s1} + N_{s2} + N_{s3})$ |

\*  $N_{s1}$ : 更新時土壌窒素,  $N_{s2}$ : 基肥施用厩肥由来窒素,  $N_{s3}$ : 混播マメ科草 (ラジノクローバ) 移譲窒素を示す

但し、維持段階で表面施用された厩肥は施用方式別にその都度、肥料N必要量から減ずる

\*\* イネ科主体草地の吸収N量はオーチャードグラス(チモシー)主体草地を示す

イネ・マメ混播草地の吸収N量はマメ科率30%前後を維持するためのイネ科草吸収N量を示す

\*\*\* イネ科草主体草地の肥料N必要量( $F_N$ )は\*\*と同じ

イネ・マメ混播草地の肥料N必要量( $F_N$ )は、 $F_{N1}$ : 造成2年目,  $F_{N2}$ : 造成3年目以降草地を示す

4 kg N /10 a・年とした値を用いた。

予測モデルから求めた給源別窒素吸収量の積算値はいずれの窒素施肥水準でも実測された混播草地イネ科草の窒素吸収量と有意な相関関係 ( $r = 0.78 \sim 0.82$ ) を示した (図52 a)。また予測された給源別窒素吸収量の積算値が多い混播草地ではマメ科率が顕著に低く、両者の間には負の相関関係 ( $r = -0.61 \sim -0.69$ ) が認められた。さらに、適正なマメ科率 (20~30%) は予測された給源別窒素吸収量の積算値が10~12kg N /10 a・年程度で得られた (図52 b)。

以上の結果から、給源別吸収量の予測モデルはイネ科主体およびイネ・マメ混播 (ラジノクローバを主要マメ科草種とする) の両草地における窒素吸収量の予測に適用し得ると判断された。また、以上の予測・分析から求められた、給源別窒素吸収量の経年変化に対応した造成4, 5年目までの適正な肥料窒素必要量の算出基準を表61に示した。なお、イネ科主体草地の目標収量が高水準な場合における肥料窒素必要量は予測された給源別窒素吸収量の積算値と実測値の関係 (図45, 51 a) から求めた利用率で補正した値を用いた。また、目標収量が中水準のイネ科主体草地およびイネ・マメ混播草地の肥料窒素必要量は予測された積算値と実測値がほぼ等量の関係 (図45, 51 a, 52 a) にあったことから補正值は用いなかった。

#### 4. 古い経年草地 (6~7年目以上) の効果的窒素施肥管理

草地更新時の土壌および基肥施用厩肥からの窒素吸収が実質的に見込めなくなる (1 kg N /10 a・年以下) 造成後6~7年目以上の古い経年草地の牧草収量は主に還元有機物由来窒素の吸収量によって支配され (図49), その程度は窒素施肥量が少なく、かつ地温が低い1番草生育および越冬前生育において顕著である (表2, 5, 図2)。

これらの現象は次の要因によって引き起こされると推察される。①草地の経年化に伴い表層の蓄積有機物が増加し (図9), 土壌からの窒素吸収に占める表層土壌の寄与割合が増大する (図19), ②蓄積有機物のC/N比およびヘミセルロース、

セルロースなど可分解性画分の割合が経年的に増大する (図11, 12), ③地温の低い時期における古い経年草地の有機物分解は炭素の無機化が優先し、相対的に窒素無機化量が減少する (表6, 17), ④経年化に伴い表層土壌の肥料窒素の有機化量が増大し、かつ、低温時には有機化された施肥窒素の再無機化が遅れる (図14)。以上が原因となって、草地は経年化に伴い、①1番草の肥料窒素利用率と土壌からの窒素吸収量が低下する (表8, 9), ②越冬前生育期間の土壌からの窒素吸収量の低下 (表9) により、牧草の越冬時における諸形質が不良となる (表5) ことが、古い経年草地における1番草収量の低下を引き起こすと推定された (図2 b)。

したがって古い経年草地に対する肥料窒素の効果的な施肥管理には、秋施肥の実施または早春の窒素施肥量を増量することが重要であると結論される。また、地温の高まる2, 3番草生育は蓄積有機物の分解が旺盛となり、古い経年草地でも土壌からの窒素吸収量が増大する (表9, 11) ために、高い収量が得られるので必ずしも肥料窒素の増施を必要としない (図3, 表3)。

一方、草地系内の還元有機物窒素の消失率は、牧草生育期間、特に地温の高い7~8月の降水量に比例して増加する (図26)。また、7~8月の降水量が不足した年には、古い経年草地の2, 3番草収量は劣る (図31)。

すなわち、造成6~7年目以降のイネ科主体草地の全窒素吸収量は、主として①施肥される肥料窒素および②その再循環による還元有機物からの窒素吸収量に規制される。牧草生育期間の降水量が400mm以下の場合と、それ以上の場合に分けて予測モデルから推定した還元有機物由来の窒素吸収量と実測された窒素12kg/10 a・年施肥条件の窒素吸収量はほぼ対応している (表62)。つまり牧草生育期間の降水量の多寡の影響は古い経年草地で大きいと理解できる。

以上の結果から、古い経年草地では、牧草生育期間の降水量が不足 (400mm以下) した年には還元有機物に由来する窒素吸収量が少なく、翌春1番草収量は明らかに劣る (表43)。したがって、

古い経年草地に対する秋施肥または早春の肥料窒素施肥量を高める必要があると結論される。牧草生育期間の降水量が不足した年の蓄積有機物由来の窒素吸収量の減少幅は 1 kg N /10 a 程度である。なお、還元有機物の分解および表層土壌の窒素

無機化を適正に維持し、収量低下を引き起こさない土壌 pH は 5.5 以上に維持する必要がある (図 21), これ以下に低下しないように適宜炭カルを主とした石灰資材の表面追肥を実施することが肝要である。

表62. 降水量別の草地系内の還元有機物に由来する窒素吸収量 (kg/10 a)

| 区分                   | 項目<br>草地 | 予測される N 吸収量* |        | 実測された N 吸収量** |                       |
|----------------------|----------|--------------|--------|---------------|-----------------------|
|                      |          | 3, 4 年目      | 7 年目以上 | 3, 4 年目       | 7 年目以上                |
| 降水量不足年<br>(400mm 以下) |          | 1.0          | 1.7    | -0.7±1.4      | -1.6±0.9 <sup>a</sup> |
| 降水量平常年<br>(400mm 以上) |          | 1.4          | 2.5    | -0.0±1.1      | 0.1±0.6 <sup>b</sup>  |

\* 前年が降水量不足条件で吸収されなかった窒素は次年が降水量平常年の場合、次年の窒素吸収量に加算した

\*\* 窒素 12kg/10 a 施肥条件の窒素吸収量から窒素施肥量を減じた値 (平均値 ± 標準偏差, 表 4 より降水量別に集計した)

a, b : 異文字間に 5 % 水準で有意差あり



## 第VI章 要 約

北海道北部の鈹質土に立地する草地の経年化に伴う牧草収量の変動を肥料および土壌窒素の動態を考慮して検討し、それに基づく草地の窒素施肥管理について研究した。得られた結果は以下のようである。

### 1. 草地の経年化に伴う牧草収量の変化と有機物蓄積の関係

#### 1) 牧草収量の経年変化

草地の牧草収量は降水量の年次変動に対応して変化するため、毎年、順次草地を造成し、同一年で経年数の異なる草地の牧草収量を比較した。①肥料窒素が十分施用されている条件（年間窒素施肥量18kg/10a）では草地の経年化に伴う収量低下は小さかった。②肥料窒素が少ない条件（年間窒素施肥量12kg/10a）では、造成9～10年目以降僅かな収量低下を引き起こした。この主原因は1番草収量が造成7～9年目以降経年的に低下するためであった。③肥料窒素の増施による1番草の増収効果は草地の経年化に伴い増加した。しかし、2、3番草時のそれは草地の経年数に関係なく一定であった。

#### 2) 肥料窒素の利用効率と土壌からの窒素吸収量

肥料窒素の利用効率、土壌からの窒素吸収量は地温の季節変化に対応して変動した。①草地は経年化に伴い1番草の肥料窒素利用率、土壌からの窒素吸収量が低下した。②気温が高まる2、3番草の肥料窒素利用率は造成2、3年目草地に比し4年目以降草地で低かったが、古い経年草地では、土壌からの窒素吸収量が多いために収量的には3年目草地と同等の水準にあった。③3番草刈り取りから越冬時までの牧草生育量は、古い経年草地で3年目草地より劣る。これは地温が漸次低下するため土壌からの窒素吸収量に差が生ずることによるもので、これが翌春1番草収量の低下に結びついていた。

#### 3) 草地の有機物還元量とその蓄積

オーチャードグラス主体草地の有機物還元量は年間400kg/10a、それに伴う窒素還元量は4～5kg/10a程度であった。これによる草地表層への蓄積速度は有機物で100kg/10a・年、窒素で2kg/10a・年程度であった。①物理分画した地表面枯死茎葉および粒径2mm以上画分のC/N比、有機物中のヘミセルロース、セルロースの存在割合は草地の経年化に伴って高まった。②地表面枯死茎葉および粒径2mm以上画分の蓄積有機物が分解することによる窒素の無機化量は草地の経年化に伴って低下し、逆に有機化が主流を占めるようになった。③草地の経年化に伴う有機物の蓄積は、表層土壌の窒素無機化特性値のうち、活性化エネルギーを高め、古い経年草地の肥料窒素有機化量を増大させた。また、有機化された肥料窒素の再無機化を遅延させた。このことが1番草の肥料窒素利用率、土壌からの窒素吸収量の低下をもたらすとともに2、3番草の土壌からの窒素吸収量の増大に関与し、古い経年草地の牧草生育に反映すると推定した。

#### 4) 草地の肥料-土壌窒素の収支

草地の経年化に伴い土壌窒素量は表層で顕著に増加し、5cm以下の作土層では造成後6～8年目程度まで減少したが、これに地表面および表層土壌の粗大有機物（粒径2mm以上画分）が含有する窒素量を加えた土層全体の土壌窒素量は概ね一定であった。施肥された肥料窒素総量のうち窒素12kg/10a・年のときには施肥された肥料窒素総量の95～113%（平均100%）、同じく18kg/10a・年のときには90～104%（平均94%）が牧草茎葉部に回収された。造成2～4年目までは土壌窒素の持ち出し、造成6～8年目以降は土壌への富化となり、造成10年目程度で造成時の土壌窒素量に回復した。肥料-土壌窒素の収支から概算した肥料窒素の見掛けの差し引き損失率は6～9%程度であった。

## 2. 牧草収量の規制要因とその改善

### 1) 草地表層土壌の酸性化と有機物分解、土壌からの窒素吸収量の変化と牧草収量

草地表層土壌の酸性化は有機物の分解を抑制し、分解残渣のC/N比を高めた。また蓄積有機物量が増大するとともに粒径2mm以上の未分解な粗大画分の割合が高まった。表層土壌のpHが5.5以下になると土壌窒素の無機化が抑制され、pH上昇効果が顕著に増大した。表層土壌酸性化の牧草収量に及ぼす影響は窒素施肥量の少ない条件ほど大きく、これには肥料窒素利用率の低下と土壌からの窒素吸収量の減少が関与していた。これらの結果から、草地の窒素循環からみた表層土壌のpH環境は5.5以上に維持する必要があると結論した。

2) 酸性化草地に対する炭カル表面施用の効果  
表層土壌が酸性化した草地に対する炭カル表面施用は、施用当初僅かに収量低下を引き起こすが、2年目以降は増収をもたらした。①炭カル表面施用当初は表層土壌のpH上昇によって肥料窒素の揮散量を増大させるが、その量は肥料窒素の0.2~0.3%と僅かであった。②炭カルの表面施用により表層蓄積有機物の窒素含有率が高まりC/N比が低下した。また、蓄積有機物の含有する窒素量も、施用当初に増加した。③これに対し、処理3年目の蓄積有機物量と窒素量は減少した。このことから、炭カル施用当初の肥料窒素の肥効低下は窒素揮散の影響というよりは、蓄積有機物の急速な分解による肥料窒素の有機化の影響が大きいと推定した。酸性化防止のための炭カル表面施用は草地の重要な管理技術であり、施用時期は春より秋が優る。

### 3) 降水量の年次変動に伴う有機物分解と牧草生育

還元有機物の分解は牧草生育期間の降水量に支配され、有機物として蓄積される窒素量は降水量の多い年次で減少した。また、草地の灌水処理は蓄積有機物量、窒素量を減少させた。一方、2, 3番草収量は、7~8月の降水量と密接な関係にあった。7~8月の降水量が150mm前後の年には、古い経年草地の収量が3, 4年目草地のそれより

劣り、逆に250mmの年には、古い経年草地の収量が3, 4年目草地のそれより高かった。7~8月の降水量が少ない年次には、牧草の越冬前形質(分げつ/主茎比)が劣り、これが翌春の1番草収量に反映した。また、前年の降水量不足が1番草収量に及ぼす影響は古い経年草地で大きく、造成3, 4年目草地の75%にしかならなかった。これに対し、前年降水量が多かった年次の古い経年草地の1番草収量は同じく86%に達した。以上の結果は、①草地の経年化に伴い窒素無機化能の高い土層が表層に偏り、②降水不足年にはこの表層が過乾に陥って蓄積有機物の分解が抑制され、③これらによって土壌からの窒素吸収量が減少することによりもたらされると推定された。したがって、牧草生育期間の降水量が少ない場合には、秋施肥の実施または翌早春の窒素施肥量を増肥する必要がある。

## 3. 土壌窒素吸収量の経年変化に対応した効率的窒素施肥管理の組み立て

### 1) 一般農家草地の牧草収量とその経年変化

一般農家草地の牧草収量は草地の経年化に伴い低下し、この低下は窒素施肥水準が低い場合に顕著であった。施肥窒素水準が低い条件における収量の経年的低下は、土壌からの窒素吸収量が経年的に減少することに起因した。肥料窒素の利用率や吸収窒素の乾物生産効率の経年変化は小さく、収量低下の原因にはならないと判断された。一般農家草地の土壌からの窒素吸収量は作土試料の生土培養法によって測定される無機態窒素含量と有意な相関関係が認められた。また、経年数の多い草地を順次加えても相関関係は変化しなかった。しかし、熱水抽出性窒素含量との相関関係は経年数の多い草地を加えることによって低下した。

### 2) 草地の主要な土壌窒素給源からの吸収量の経年変化

(1) 草地更新時における土壌からの窒素吸収量は、更新対象草地の利用形態や植生状態で著しく異なり、また、その経年変化は、立地土壌の種類によっても異なったので、以下の5種に分けて考えることにした。①放牧地—地下茎型草種優占—褐色

森林土型，②放牧地—地下茎型草種優占—疑似グライ土，低地土型，③採草地—叢生型草種優占—褐色森林土型，④採草地—叢生型草種優占—疑似グライ土型，⑤採草地—叢生型草種優占—低地土型。なお，草地更新時の耕起法，耕起時期の違いが土壤からの窒素吸収に及ぼす影響は造成当年に限られた。

(2) 厩肥の効果は，施用量が同量であれば基肥＝表面分施であった。また，施用厩肥に由来する窒素吸収量は，施用法，土壤により経年変化が異なるので，それぞれの窒素吸収予測式を示した。

(3) ラジノクロバを主要マメ科草種とする混播草地のマメ科草窒素移譲量は，前年マメ科率を独立変数とする指数関数で表現された。前年マメ科率20%以上の造成2年目草地で $2 \text{ kg N} / 10 \text{ a} \cdot \text{年}$ 程度，前年マメ科率30～40%の造成3年目草地では $3 \sim 4 \text{ kg N} / 10 \text{ a} \cdot \text{年}$ 程度であった。また，適

正マメ科率（20～30%）を維持しうる混播イネ科草の「土壤＋肥料＋マメ科草移譲」合計の年間窒素吸収量は $10 \sim 12 \text{ kg N} / 10 \text{ a}$ であった。

(4) 草地系内の還元有機物が含有する窒素の消失率は，経年数と牧草生育期間の降水量に依存するので，これらを独立変数とした還元有機物由来の窒素吸収予測式を提案した。

(5) この窒素吸収量予測式から求めた推定値はイネ科草の窒素吸収量 $10 \sim 20 \text{ kg N} / 10 \text{ a}$ 年の範囲で，造成2～5年目のイネ科主体およびイネ・マメ混播草地について実測されたイネ科草の窒素吸収量とよく適合した。

(6) これらの結果に基づいて，土壤からの窒素吸収量が多い造成2～5年目程度までのイネ科草主体およびイネ・マメ混播草地に対する効率的窒素施肥管理と，土壤からの窒素吸収量が低下した古い経年草地に対する窒素施肥管理法を提示した。

## 謝 辞

本報告をとりまとめるに当たり、北海道大学教授佐久間敏雄博士には、終始懇篤なる御指導と御校閲を賜った。また、北海道大学教授但野利秋博士および同教授中世古公男博士には、有益な御助言と本稿の御校閲を頂いた。北海道大学名誉教授岡島秀夫博士には有益な御指導を頂いた。謹んで、深甚なる謝意を表する。

本研究は、北海道立天北農業試験場において行なわれた、農林水産省指定試験事業の研究成績のうち、1977年から1990年までの分について取りまとめたものである。農林水産省農林水産技術会議事務局の関係各位には、絶大なる御支援を賜った。この間、天北農業試験場長として在任された永田俊郎氏、後藤計二氏、南松雄博士（現ダイヤケミカル株式会社）、斉藤 亘博士（現三菱商事株式会社）、および現場長大崎玄佐雄氏には、研究途上で御指導と御激励を賜った。

本研究の遂行に当たり、天北農業試験場土壌肥料科長であった奥村純一博士（現全国農業協同組合連合会）、高尾欽弥氏（現ホクレン肥料株式会社）、西宗 昭博士（現北海道農業試験場畑作管理部土壌改良研究室長）、および現科長松原一實氏、および天北農業試験場主任研究員菊地晃二博士（現中央農業試験場環境化学部長）、現主任研究員関口久雄氏には、終始変わらぬ懇切なご指導をいただいた。

また、天北農業試験場土壌肥料科研究職員の佐藤辰四郎氏（現北海道専門技術員）、坂本宣崇博

士（現同）、山神正弘氏（現十勝農業試験場土壌肥料科長）、東田修司氏（現十勝農業試験場）、宝示戸雅之氏（現根釧農業試験場）、熊谷秀行氏（現北海道原子力環境センター農業研究科長）、竹内徹氏（現中央農業試験場稲作部）、中辻敏朗氏、小宮山誠一氏、さらに天北農業試験場泥炭草地科長関谷長昭氏（現中央農業試験場生物工学部長）、作物科長筒井佐喜雄氏（現中央農業試験場野菜花き第2科長）、同管理科長永井秀雄氏（現中央農業試験場管理科長）作物科研究職員下小路英男氏（現北見農業試験場）、および北海道立根釧農業試験場土壌肥料科研究職員松中照夫博士（現北見農業試験場）、北海道農業試験場草地部主任研究官近藤秀雄氏、農業研究センター土壌肥料部長金野隆光博士、農業環境技術研究所環境部有機物動態研究室長井ノ子昭夫氏（退職）、同多量要素動態研究室長尾和尚人博士（現熱帯農業センター調査情報部技術情報官）には、有益な論議と御助言をいただいた。

酪農学園大学教授原田 勇博士、帯広畜産大学名誉教授田村昇市博士、同大学教授近堂祐弘博士には、御指導と御激励をいただいた。さらに、本研究の遂行中には、天北農業試験場管理科職員、天北管内各農業改良普及所の各位、現地試験実施の農家各位、および土壌肥料科臨時職員奥田鬼代子氏、石垣トシ氏、門脇トキ子氏、中村安子氏、上野三枝子氏の絶大な御協力をいただいた。

以上の各位に心からの感謝の意を表します。

## 引用文献

- 1) 阿江教治, 尾形 保 (1982) : インキュベーション実験による草地表層土壌の硝酸化成及びアンモニア揮散, 草地試研報, 23, 42-49.
- 2) 赤塚 恵, 坂柳迪夫 (1964) : 畑土壌におけるN供給力の推定法に関する2, 3の考察, 北農試彙報, 83, 64-70.
- 3) 赤塚 恵, 杉原 進 (1973) : 混播草地に対する窒素施肥について—混播草による施肥窒素の吸収, 日草誌, 19, 2, 215-221.
- 4) BARRACLOUGH, D., M. J. HYDEN and G. P. DAVIES (1983) : Fate of fertilizer nitrogen applied to grassland. I. Field leaching results, J. of Soil Sci., 34, 483-497.
- 5) BARRACLOUGH, D., E. L. GEENS and J. M. MAGGS (1984) : Fate of nitrogen applied to grassland. II. Nitrogen-15 leaching results, J. of Soil Sci., 35, 191-199.
- 6) BRORDBENT, F. E. (1981) : Methodology for nitrogen transformation and balance in soil, Plant and Soil, 58, 383-399.
- 7) CAMPBELL, C. A. (1978) : Soil organic carbon, nitrogen and fertility. In SHNITZER, M. and S. U. KHAN eds., Soil organic matter, Developments in Soil Sci., 8, p 188-190, p 213-215.
- 8) CLARK, F. E. (1977) : Internal cycling of <sup>15</sup>nitrogen in shortgrass prairie, Ecology, 58, 1322-1333.
- 9) CLEMENT, C. R. and WILLIAMS, T. E. (1964) : Leys and soil organic matter. I. The accumulation of organic carbon in soil under different leys, J. Agric. Sci. Camb., 63, 377-383.
- 10) CLEMENT, C. R. and WILLIAMS, T. E. (1967) : Leys and soil organic matter. II. The accumulation of nitrogen in soils under different leys, J. Agric. Sci. Camb., 69, 133-138.
- 11) COWLING, D. W. (1961) : The effect of white clover and nitrogenous fertilizer on the production of a sward. 1. Total annual production, J. Br. Grassld. Soc., 16, 281-290.
- 12) COWLING, D. W. and D. R. LOCKYER (1965) : A comparison of the reaction of different grass species to fertilizer nitrogen and to growth in association with white clover. I. Yield of dry matter, J. Br. Grassld. Soc., 20, 197-204.
- 13) COWLING, D. C. (1966) : The effect of the early application of nitrogenous fertilizer and of the time of cutting in spring on the yield of ryegrass/white clover swards, J. Agric. Sci. Camb., 66, 413-431.
- 14) DAHLMAN, R. C. and C. L. KUCERA (1965) : Root productivity and turnover in the native prairie, Ecology, 46, 84-89.
- 15) 土壤微生物研究会編 (1975) : 土壤微生物実験法, 養賢堂, p 273.
- 16) DOWDELL, R. J., J. MORRISON, and A. E. M. HOOD (1980) : The Fate of nitrogen applied to grassland; Uptake by plants, immobilization into soil organic matter and losses by leaching and denitrification, Proc. int. Symp. Eur. Grassld. Fed., Wageningen, p 129-136.
- 17) DOWDELL, R. J. and C. P. WEBSTER (1980) : A lysimeter study using nitrogen-15 on the uptake of fertilizer nitrogen by perennial ryegrass swards and losses by leaching, J. of Soil Sci., 31, 65-75.
- 18) 江原 薫, 梶 和一 (1961) : 牧草の夏がれに関する生理生態学的研究. I. 気温および土壌水分がラジノクロバ, アルファファ

- の生育ならびに耐旱の性質に及ぼす影響. 日作紀. 30, 35-38.
- 19) FENN, L. B. and D. E. KISSEL (1974) : Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds on calcareous soils. II. Effects of temperature and rate of ammonium nitrogen application. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. , 38, 606-610.
- 20) FENN, L. B. and D. E. KISSEL (1975) : Ammonia volatilization from surface applications of ammonium compounds on calcareous soils. IV. Effect of calcium carbonate content, Soil Sci. Soc. Amer. Proc. , 39, 631-633.
- 21) FORD, G. W. and D. J. GREENLAND (1968) : The dynamics of partly humified organic matter in some arable soils, Trans. 9th Int. Congr. Soil Sci. , 2, 403-410.
- 22) GARWOOD, E. A. , C. R. CLEMENT and T. E. WILLIAMS (1972) : Leys and soil organic matter. III. The accumulation of macro-organic matter in the soil under different swards, J. Agric. Sci. Camb. , 78, 333-341.
- 23) GARWOOD, E. A. , J. SALETTE and G. LEMAIRE (1980) : The influence of water supply to grass on the response to fertilizer nitrogen and nitrogen recovery, Proc. Int. Symp. Eur. Grassld. Fed. , 1980. Wageningen. p 59-63.
- 24) GARWOOD, E. A. and K. C. TYSON (1973) : Losses of nitrogen and other plant nutrients to drainage from soil under grass, J. Agric. Sci. Camb. , 80, 303-312.
- 25) GARWOOD, E. A. and K. C. TYSON (1977) : High loss of nitrogen in drainage from soil under grass following a prolonged period of low rainfall, J. Agric. Sci. Camb. , 89, 767-768.
- 26) GREENLAND, D. J. (1971) : Changes in the nitrogen status and physical condition of soils under pastures, with special reference to the maintenance of the fertility of Australian soils used for growing wheat, Soils and Fertilizers, 34, 3, 237-251.
- 27) 原田 勇 (1967) : 牧草の養分吸収過程並びにそれに基づく合理的施肥法に関する研究, 酪農大紀要, 3, 1-160.
- 28) 原田 勇. 篠原 功 (1969) : 草地農業における加里輪廻に関する研究. 第2報. 牧草に対する土壌の加里供給の様相について, 土肥誌, 40, 184-191.
- 29) HERRIOTT, J. B. D. and D. WELLS (1960) : Clover nitrogen and swards productivity, J. Br. Grassld. Soc. , 15, 63-69.
- 30) 早川康夫 (1962) : 根釧地方に分布する火山性土の理化学的特性と主幹作物の肥培法について, 道立農試研報, 11.
- 31) 早川康夫. 橋本久夫 (1963) : 根釧地方の牧野改良. 第2報. 牧野に堆積する植物遺体, 腐朽物質とこれが草地造成に及ぼす影響, 道立農試集報, 12, 23-36.
- 32) 早川康夫. 橋本久夫 (1960) : 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, 牧草地土壌としての特性発現過程と窒素, 燐酸, 加里の供給力について, 道立農試集報, 7, 16-33.
- 33) 早川康夫. 橋本久夫. 奥村純一 (1967) : 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9報, 厩肥と瀝汁の肥効について, 道立農試集報, 15, 84-100.
- 34) 早川康夫. 橋本久夫. 奥村純一 (1967) : 根釧地方の牧野改良, 第6報, 耐減肥性牧草の比較とイネ科牧草へのクローバ固定窒素の移譲, 道立農試集報, 15, 101-112.
- 35) 林 満. 新田一彦 (1971) : 光の強度に対する牧草の生育反応の草種間比較, 北草研会報, 5, 20-23.
- 36) 速見和彦 (1985) : 各種有機物資材の分解過程—農耕地における土壌有機物変動の予測と有機物施用基準の策定, 農水省技術会議事務局, 研究成果, 166, p 20-24.

- 37) 東田修司 (1986) : 混播草地における N 循環とマメ科草の維持技術, 北草研会報, 20, 30-36.
- 38) 東田修司, 宝示戸雅之, 西宗 昭 (1987) : 天北地方のマメ科混播草地における N 移譲, 道立農試集報, 56, 19-30.
- 39) HIGASHIDA, S. and TAKAO, K. (1986) : Relations between soil microbial activity and soil properties in grassland, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 32, 587-597.
- 40) 樋口太重 (1983) : 土壌中における施用窒素の有機化と再無機化, 農技研報告, B 34, 1-81.
- 41) 平島利昭 (1978) : 根釧地方における永年放牧草地の維持管理に関する研究, 道立農試研報, 27.
- 42) 平島利昭, 能勢 公, 袴田共之, 奥村純一 (1971) : 極寒冷地域における放牧草地の維持管理法. 1. イネ科牧草に対するシロクロバの窒素移譲, 道立農試集報, 23, 44-54.
- 43) 宝示戸雅之, 西宗 昭 (1990) : 経年的酸性化草地における牧草生育と降水量の関係, 土肥誌, 61, 48-53.
- 44) 宝示戸雅之, 坂本宣崇, 高尾欽弥 (1981) : 天北地方のオーチャードグラス主体草地における気象要因と乾物生産, 北農48, 1, 1-10.
- 45) 宝示戸雅之, 佐藤辰四郎, 高尾欽弥 (1983) : 草地土壌の酸性化に伴うアルミニウム溶出と牧草生育, 道立農試集報, 50, 43-53.
- 46) 北海道開発局 (1972) : 北海道の特殊土壌—生成, 分布と土地改良, 特殊土壌農地化調査報告書, p 207-299.
- 47) 北海道立中央農業試験場 (1979) : 北海道の農牧地土壌分類, 第2次試案, 道立農試資料, 10, 1-89.
- 48) HUNT, H. W. (1977) : A simulation model for decomposition in grasslands, *Ecology*, 58, 469-484.
- 49) HUNT, I. V. (1966) : The effect of age of sward on the yield and response of grass species to fertilizer nitrogen, *Proc. 10th int. Grassld. Congr.*, Helsinki, 1966, p249-254.
- 50) 井ノ子昭夫 (1981) : 土壌中における有機物の分解と集積—その数式化へのアプローチ, 土肥誌, 52, 548-558.
- 51) 岩間秀矩 (1980) : 疑似グライ土の水分環境と排水の特徴, ベドロジスト, 24, 144-156.
- 52) 岩間秀矩, 渡辺治郎, 小川和夫 (1982) : 寒冷地における重粘土草地の灌漑, (1)北海道オホーツク海沿岸地域における重粘土の水分特性と牧草の生育, 農土誌, 51, 197-203.
- 53) 岩間秀矩, 渡辺治郎, 小川和夫 (1983) : 寒冷地における重粘土草地の灌漑, (2)とくに草地に対する少量灌水の意義について, 農土誌, 51, 485-493.
- 54) JACKMAN, R. H. (1964) : Accumulation of organic matter in some New Zealand soils under permanent pasture. I. Patterns of change of organic carbon, nitrogen, sulphur, and phosphorus, *N. Z. J. Agric. Res.*, 7, 445-471.
- 55) JONES, M. B. and R. G. WOODMANSEE (1979) : Biogeochemical cycling in annual grassland ecosystems, *Bot. Rev.*, 45, 111-144.
- 56) 重粘地グループ (1967) : 北海道北部の土壌—重粘性土壌の生成, 分類と土地改良, 北海道開発局
- 57) KAI, H., AHMAD, Z. and HARADA, T. (1969) : Factors affecting immobilization and release of nitrogen in soil and chemical characteristics of the nitrogen newly immobilized. I. Effect of temperature on immobilization and release of nitrogen in soil, *Soil Sci. Plant Nutr.*, 45, 207-213.
- 58) 岸 洋 (1974) : イネ科牧草とマメ科牧草の競合に関する研究. 第2報. クローバと数種のイネ科草種と組み合わせた草地におけるイネ科牧草の混生率および生育特性の比較, 日作紀, 43, 382-388.

- 59) 木村 武. 倉島健次 (1985) : オーチャードグラスによる施肥窒素吸収の季節変化, 草地試研報, 30, 34-41.
- 60) 桐田博充. 齊藤吉満. 西村 格 (1984) : 放牧草地の植生-土壌系における土壌有機物の供給・分解と蓄積, 農林水産技術会議事務局, グリーンエネルギー計画成果シリーズ, III系, No 1, p 112-122.
- 61) 桐田博充. 齊藤吉満. 山本嘉人. 西村 格 (1988) : 放牧草地の植生-土壌系における土壌有機物の供給・分解と蓄積, 農林水産技術会議事務局, グリーンエネルギー計画成果シリーズ, III系, No 4, p 16-42.
- 62) 木曾誠二. 菊地晃二 (1988) : チモシー (*Phleum pratense* L.) を基幹とする採草地におけるマメ科草混生割合に基づいた窒素施肥量, 日草誌, 34, 169-177.
- 63) 近藤秀雄 (1973) : 牧草地に対する秋施肥に関する研究, 第1報, オーチャードグラス草地の早春の生産性に対する秋施肥と春施肥の比較, 北農試研報, 106, 106-123.
- 64) 前田乾一. 鬼鞍 豊 (1977) : 圃場条件における有機物の分解率の測定法, 土肥誌, 48, 567-568.
- 65) MARTIN, J.P. and H.D. CHAPMAN (1951) : Volatilization of ammonia from surface fertilized soils, *Soil Sci.*, 71, 25-34.
- 66) 松中照夫 (1987) : 寒冷・寡照地域のチモシー草地に対する窒素施肥法に関する研究, 道立農試研報, 62.
- 67) 松中照夫. 小関純一. 松代平治. 赤城仰哉. 西陰研治 (1983) : 経年化に伴う草地生産力低下の土壌間差異, 日草誌, 29, 212-218.
- 68) 松中照夫. 小関純一. 松代平治. 赤城仰哉. 西陰研治 (1984) : 収量規制要因としての草種構成の重要性, 日草誌, 30, 59-64.
- 69) 三木和夫. 出井嘉光 (1965) : 畑土壌の窒素供給力に関する研究. I. 畑土壌の可給態窒素の測定法の検討, 東近農試研報, 14, 55-67.
- 70) 三木直倫 (1988) : 干ばつ発生地帯における牧草栽培と今後の問題点, 北草研会報, 22, 39-48.
- 71) 三木直倫. 東田修司. 宝示戸雅之. 山神正弘. 西宗 昭. 高尾欽弥 (1990) : 天北地方鉍質重粘土草地の水分供給からみた収量規制要因とその改善策, 土肥誌, 61, 526-530.
- 72) 三木直倫. 東田修司. 宝示戸雅之. 山神正弘. 高尾欽弥 (1987) : 天北地方鉍質土草地のかり供給力に応じた施肥法, 土肥誌, 58, 758-761.
- 73) 三木直倫. 奥村純一 (1981) : 来歴の異なる草地表層の生産力的特徴, 道立農試集報, 46, 1-11.
- 74) 三木直倫. 佐藤辰四郎 (1982) : 草地における表面施肥, 施肥位置と栽培技術, 土肥学会編, p 50-91.
- 75) 三木直倫. 高尾欽弥 (1987) : 草地地帯における細密土壌区分図の作成とその利用, ペドロジスト, 31, 1, 2-13.
- 76) 三木直倫. 高尾欽弥. 西宗 昭 (1986) : 天北地方重粘土草地の生産力と気象, 土壌水分特性の関係, 道立農試集報, 54, 21-30.
- 77) 水野直治. 南 松雄 (1980) : 硫酸-過酸化水素による農作物中 N, K, Mg, Ca, Fe, Mn 定量のための迅速前処理法, 土肥誌, 51, 418-420.
- 78) 三井進午. 吉川春寿. 中村良平. 熊沢喜久雄 (1980) : 重窒素利用研究法, 学会出版センター, p 17-77.
- 79) MOLEN, H.V.D. (1963) : Experience with high amounts of nitrogen on grassland at nitrogen experimental farms in the Netherlands, *J.Br.Grassld.Soc.*, 18, 235-242.
- 80) 森田真理. 佐藤冬樹. 佐久間敏雄 (1991) : 天塩山地におけるアカエゾマツ林とササ草地のバイオマスと窒素の循環, 土肥講旨集, 38, 256.
- 81) 野村 琥 (1971) : 根釧地方における草地の環境と牧草生育との関連について. 第2報. 永年草地における土壌と草勢のうごき, 道立農試集報, 24, 93-104.



- 82) 尾形昭逸. 実岡寛文. 松本勝士 (1985) : 暖地型飼料作物の水ストレス耐性機構の解析. I. 圃場条件下における水ストレス耐性の草種間差, 日草誌, 31, 34-42.
- 83) 小川和夫 (1984) : 耕地における広域的にみた窒素の循環, 北海道土肥研究通信, 31, 1-12.
- 84) 大村邦男. 木曾誠二. 赤城仰哉 (1985) : 火山灰草地における施肥管理が草地の経年変化に及ぼす影響, 道立農試集報, 52, 65-75.
- 85) 大村邦男. 赤城仰哉 (1982) : 根鋤火山灰草地の施肥法改善. 第2報. 牧草の収量および無機成分の向上に関する試験, 北農, 49, 3, 23-35.
- 86) 大村邦男. 赤城仰哉 (1983) : 根鋤火山灰草地の施肥法改善. 第6報. 草地に対する堆きゅう肥の施用効果について, 北農, 50, 6, 1-23.
- 87) 大崎玄佐雄. 奥村純一 (1973) : 根圏土壌の理化学性が牧草生育に及ぼす影響. I. 土壌ち密度と牧草生育の関係, 道立農試集報, 27, 77-88.
- 88) 大崎玄佐雄. 奥村純一. 関口久雄 (1975) : 同上. II. 鉾質土壌における牧草根の発達分布, 道立農試集報, 32, 35-44.
- 89) 大崎玄佐雄. 中村文士郎. 奥村純一. 豊田広三 (1968) : 天北地方の牧草に対する磷酸施肥法, 北農, 35, 10, 13-22.
- 90) 奥村純一 (1973) : 天北地方に分布する各種土壌とそれに対応する草地造成, 管理の基本方式, 道立農試研報, 22.
- 91) 奥村純一. 大崎玄佐雄. 関口久雄. 坂本宣崇. 山神正弘. 長江幸一. 安孫子 茂. 斉藤利雄 (1973) : 天北地方における草地生産性の現況解析—浜頓別町の例. 第2報. 担当農家の聴取り調査と牧草収量, 北農, 40, 4, 41-52.
- 92) PATON, W. J., J. S. SMIGH and D. C. COLEMAN (1978) : A model of production and turnover of roots in shortgrass prairie, J. App. Ecology, 47, 515-542.
- 93) PAUL, E. A. (1976) : Nitrogen cycling in terrestrial ecosystem, Environ. Biochem., 1, p 225-243.
- 94) PORTER, L. K. (1965) : Method for urease activity. In C. A. BLACK et al eds., Method of soil analysis, Part 2, Amer. Soc. Agronomy. p 1545-1546.
- 95) POWER, J. F. and J. O. LEGGS (1984) : Nitrogen-15 recovery for five years after application ammonium nitrate to crested wheatgrass, Soil Sci. Soc. Am. J., 48, 322-326.
- 96) REID, D. and M. E. CASTLE (1965) : The response of grass-clover and pure grass leys to irrigation and fertilizer nitrogen treatment. 2. Clover and fertilizer nitrogen effects, J. Agric. Sci. Camb., 65, 109-119.
- 97) RYDEN, J. C. (1983) : Denitrification loss from a grassland soil in the field receiving different rates of nitrogen as ammonium nitrate, J. of Soil Sci., 34, 355-365.
- 98) STANFORD, G. and S. J. SMITH (1972) : Nitrogen mineralization potentials of soils, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 36, 465-472.
- 99) 斎藤万之助 (1972) : 北海道の重粘土, ペドロジスト, 16, 114-119.
- 100) 坂本宣崇 (1984) : 高緯度積雪地帯におけるオーチャードグラスの周年管理に関する栄養生理的研究, 道立農試研報, 48.
- 101) 佐久間敏雄 (1973) : 重粘性土壌の生成過程における物理的因子の役割, 近代農業における土壌肥料の研究, 第4集, 土肥学会編. p 13-26.
- 102) 佐久間敏雄. 小林信也. 吉田 了 (1975) : 畑地における水分および熱の動態, 第1報, 牧草畑の熱収支と蒸発散量, 土肥誌, 46, 507-513.
- 103) 佐藤辰四郎 (1974) : 根圏土壌の化学性と牧草生育, 北海道土肥研究通信, 21, 23-32.
- 104) 佐藤辰四郎. 奥村純一 (1976) : 草地土壌の特性解明. IV. 石灰の top dress 条件下に

- における N の損亡について，土肥講旨集，22，97.
- 105) 沢田泰男，五十嵐孝典，小梁川忠士，本橋裕士 (1962)：永年牧草地における土壌理化学性の変化，北農試彙報，77，68-77.
- 106) 関口久雄，奥村純一 (1973)：天北地方の鉍質土壌における各種造成法と施肥について，道立農試集報，26，69-79.
- 107) SIMPSON, J. R. (1976)：Transfer of nitrogen from three pasture legumes under periodic defoliation in a field environment, Aust. J. Exp. Agric. Animal Husb., 16, 863-870.
- 108) 杉原 進，金野隆光，石井和夫 (1986)：土壌中における有機態窒素無機化の反応速度論的解析法，農環研報，1，127-166.
- 109) STEVENSON, F. J. (1965)：Gross chemical fractionation of organic matter, In C. A. BLACK et al eds., Methods of soil analysis, part 2, Amer. Soc. Agronomy. p1409-1421.
- 110) TERMAN, G. L. and C. M. HUNT (1964)：Volatilization losses of nitrogen from surface applied fertilizers, as measured by crop response, Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 28, 667-672.
- 111) 徳永美治，深山政治，北原健吾，草野 秀 (1974)：畑土壌に施用した肥料および新鮮有機物中の窒素の動態，農事試研報，20，1-12.
- 112) 鳥山和伸，宮森康雄 (1988)： $^{15}\text{N}\text{H}_4\text{-N}$  を用いた同位体希釈法による水田土壌窒素の無機化・有機化速度の推定，土肥誌，59，56-60.
- 113) VALLIS, I., E. F. HENZELL, A. E. MARTIN and P. J. ROSS (1973)：Isotopic studies on the uptake of nitrogen by pasture plants.  $^{15}\text{N}$  balance experiments in field microplots, Aust. J. Agric. Res., 24, 693-702.
- 114) VAN VEEN, J. A. and M. J. FRISSEL (1981)：Simulation model of the behaviour of N in soil, In M. J. FRISSEL and J. A. VAN VEEN eds., Simulation of nitrogen behaviour of soil-plant systems. Pudoc. Wageningen. p 126-144.
- 115) 和田秀徳，金沢晋二郎 (1970)：土壌有機物の物理分画法 (第 1 報)，土肥誌，41，273-280.
- 116) 渡辺治郎，小川和夫，岩間秀矩 (1981)：重粘性土壌における有機物の分解過程，北農試研報，132，1-16.
- 117) WEBSTER, C. P. and R. J. DOWDELL (1985)：A lysimeter study of the fate of nitrogen applied to perennial ryegrass swards: soil analyses and the final balance sheet, J. of Soil Sci., 36, 605-611.
- 118) WHITEHEAD, D. C. (1970)：The role of nitrogen in grassland productivity, Commonwealth Agric. Bureau. p 30-104.
- 119) WOLDENDORP, J. W., K. DILZ and G. J. KOLENBRANDER (1966)：The fate of fertilizer nitrogen on permanent grassland soils, Proc. 1st. Gen. Meet. Eur. Grassld. Fed., 1965, 53-68.
- 120) WOODMANSEE, R. G., I. VALLIS and J. J. MOTT (1981)：Grassland nitrogen, In CLARK, F. E. and T. ROSSWALL eds., Terrestrial nitrogen cycles, Ecol. Bull., 33, 443-462.
- 121) 山神正弘 (1978)：生態的観点からみた草地の生産性，北海道土肥研究通信，25，13-27.
- 122) 吉田重治 (1976)：草地の生態と生産技術，養賢堂，p 182-186.

# Study on The Effective Application of Nitrogen Fertilizer to Cutting Sward Based on Evaluation of Soil Nitrogen Release in Tenpoku District

by  
Naomichi MIKI

## Summary

Tenpoku district is located in northern part of Hokkaido in Japan.

A limiting factors of grass yield change along with increasing ages of sward for reason that it was used in long period more than 10 years after once established.

The purpose of these studies is to clarify the effective application of nitrogen fertilizer to the grass dominant and grass-legume (Ladino clover) mixture swards, which corresponds to a secular change of the fate of fertilizer nitrogen and release of soil nitrogen in connection with accumulation of organic residue in grassland surface horizon.

The results obtained were summarized as follows:

### **1. The relationship between secular changes of the yield and accumulation of the organic residue**

1) Grass yield in the same year were compared with several kinds of ages of swards in order to avoid the change of yield, corresponding to annual precipitation of the growing season. Dry matter yield per year did not decline with the increasing of sward age at the optimum condition of fertilizer nitrogen applied (180kg/ha per year). However, under the condition of insufficient of fertilizer nitrogen application, grass yield of 9 to 10 year old swards decreased, which was a resulted of a marked decrease at the first cutting yield of these old swards. Therefore, the increasing rate of the first cutting yield was to increase the fertilizer nitrogen applied along with the increasing of the swards age. On the other hand, the increasing rate of the 2nd or 3rd cutting yield was nearly constant with different age of swards.

2) In more than 9 years old swards, both the fate of applied fertilizer nitrogen and release of soil nitrogen in the first cutting stage were lower than these of 2, 3 years old swards. And also, it was recognized that the fate of applied fertilizer nitrogen in old age swards lower at the 2nd and 3rd cutting stages. However, release of soil nitrogen in old swards was larger than those of younger swards accompanied with a raising of soil temperature at the 2nd or 3rd cutting stage. For this reason, grass yields of the old age swards in the 2nd and 3rd cutting were nearly equal to or higher than those of young age swards.

3) Grass growth in autumn after the 3rd cutting of old swards was inferior to that of younger swards for the reason that the release of soil nitrogen of older swards decreased more than those of younger with low soil temperature. Thus, that the difference of grass growth of each older or younger swards in autumn was affected in the 1st cutting yield of following spring.

4) Estimated amount of dead herbage and root material was 4,000kg/ha and nitrogen amount was 40-50kg/ha per year. The accumulation rate in the surface horizon (0 ~ 5 cm) amounted to 1,000kg/ha of organic residues and 20kg/ha of nitrogen per year. C/N ratio of separated dead stubble on the ground and more than 2 mm size organic residues in the soil of 0 ~ 5 cm layer was larger in the increasing of the sward ages. And also, the content of cellulose and hemicellulose in organic residue was increased with aging of the sward age. Mineralized nitrogen from organic residues of these coarse fraction were decreased along with increasing of the sward age, and immobilization of nitrogen was the larger of these fractions. Apparent activation energy, which is one of the characteristic parameters of nitrogen mineralization model by SUGIHARA et al and immobilization of fertilizer nitrogen was higher with accumulation of high C/N ratio of organic residues to increasing age of the sward. And also, release of immobilized fertilizer nitrogen was slowed down in these surface soil of older swards with large amounts of accumulated organic residue. For these characteristics of accumulated organic residues and changes of mineralization of soil nitrogen or immobilization of applied fertilizer nitrogen effected the fate of fertilizer nitrogen and release of soil nitrogen in old swards at the 2nd or 3rd cutting stages.

5) Soil nitrogen content in the surface layer of 0 ~ 2 cm thick was remarkably increased, on the contrary, it decreased up until 6 ~ 8 years old after being established in the 5 ~ 15 cm layer. However, the soil nitrogen status was almost constant in the 0 ~ 15 cm layer. The amount of nitrogen absorbed in the grass in periods from 2 up to 12 years was recovered at a rate of 94 to 100% of applied fertilizer nitrogen. Grass absorbed nitrogen were indicated that 2 ~ 4 years old swards were overly absorbed soil nitrogen, and more than 6 ~ 8 year old swards nitrogen was added to the soil, and soil nitrogen status at 10 years, recovered to the same as at the time of sward establishment. Loss of applied fertilizer nitrogen from the amount of applied fertilizer, grass absorption and soil nitrogen status was estimated to range from about 6 to 9 %.

## 2. Limiting factors of grass yield and its improvement.

1) Decomposition of organic residues was remarkably limited, and C/N ratio of residue was raised by acidifying of the surface layer of the soil horizon. For this result, large amounts of organic residue were accumulated in the surface, and furthermore, the proportion of undecomposed residue with a wide C/N ratio, increased with acidifying intensity. Soil nitrogen mineralization was remarkably inhibited when lower than pH 5.5, and distinguished improvement of soil pH was shown in the surface layer of the soil horizon. The effect of the acidifying sward to grass yield in low fertilizer nitrogen application was shown larger than high applied treatment. It was because of the low fate of

fertilizer nitrogen and decrease of soil nitrogen mineralization derived from returned organic residue.

As for these results, it was concluded that the pH of the surface layer of the soil horizon was maintained at more than 5.5.

2) The yield of grass decreased a little with topdressing of  $\text{CaCO}_3$  in the 1st year, however, it increased in the 2nd and 3rd year. The amount of fertilizer nitrogen volatilization losses were range from 0.2 to 0.3% of applied fertilizer nitrogen. The concentration and the amount of nitrogen increased, and the C/N ratio of accumulated residue narrowed in the 1st year. On the other hand, the amount of accumulated organic residue and nitrogen was decreased in the 3rd year after topdressing. From these results, it was considered that the effect of nitrogen volatilization loss was small, and immobilization of fertilizer nitrogen by the accumulated organic residue was an important factors in decrease of grass yield with topdressing  $\text{CaCO}_3$  on the acidified sward.

It was necessary to topdress with  $\text{CaCO}_3$  in order to improve surface layer soil acidification for the productivity of swards. And a topdress of  $\text{CaCO}_3$  in autumn was recommended.

3) Decomposition rate of returned organic residue was affected by the sum of the precipitation of grass growing period from late April to mid September, and also the amount of accumulated nitrogen was decreased in the year of larger precipitation as compared with the previous year. Also, the amount of accumulated organic residue and nitrogen were decreased with irrigation of the sward. Sum of the 2nd and 3rd cutting yield was increased by increasing the sum of precipitation in July and August. These results were clear in old swards, and the yield of these sward was larger than younger swards of 3, 4 years old when the sum of precipitation in these period was more than 250mm, however, when it was at the 150mm level, the sum of the 2nd and 3rd yields in swards were inferior to those of younger swards. When the sum of precipitation in the grass growing period of the previous year was less than 400mm, the amount of the 1st cutting yield was inferior to those with more than 400mm. And also, these tendencies were clear in old sward of more than 9 ~ 10 years old. These results were attributable to the amount of nitrogen release from soil in old swards, in which the soil layer of high nitrogen mineralization potential concentrate into the top layer of soil and this layer over dries with the low amount of precipitation. Nitrogen release was decreased for the reason of the limit to decomposition of accumulated organic residue.

Because of these results, it was necessary for nitrogen application in autumn or increase of nitrogen fertilizer application in early spring when the amount of precipitation were lower than 400mm in the grass growing period.

### **3. The build up of effective fertilizer nitrogen application based on a secular change of nitrogen release from soil.**

1) The amount of annual grass yield was decreased remarkably with increasing of the sward's age. This tendency was clearer in low nitrogen fertilizer application. The main

factor of this decrease of grass yield was result of decreasing of the nitrogen release from the soil as the sward age increases. The fertilizer nitrogen application efficiency was shown a little low in old swards compared with younger swards. The amount of nitrogen release from soil was closely correlated with the content of mineralized nitrogen by means of the row soil incubation method.

2) The amount of nitrogen release from soil in newly established swards was influenced by cutting or grazing, botanical composition, and the age of ploughed swards. And also, a secular change of nitrogen release was different with each soil type. Therefore, it can be divided into 5 types as follows:

- (a) type 1 : Grazing—Kentucky blue grass (KBG) dominant—Brown forest soil.
- (b) type 2 : Grazing—KBG dominant—Pseudgley, Lowland soil.
- (c) type 3 : Cutting sward—Orchardgrass (OG), Timothy (TY) dominant—Brown forest soil.
- (d) type 4 : Cutting sward—OG, TY dominant—Pseudgley soil.
- (e) type 5 : Cutting sward—OG, TY dominant—Lowland soil.

And also, the difference of nitrogen release by the ploughing method and time was only in the 1st year after resowning.

3) The same effect of applied barn yard manure was obtained with either a basal application or split topdressing of manure at the same amount of application. However, the amount of released nitrogen were differed with the soil type, which was mainly due to the different of the soil available water capacity. Therefore, the prediction equation of nitrogen release from applied manure in both application methods and soil type can be shown, independently.

4) The amount of transferred nitrogen from legumes mainly Ladino clover to grass in mixture swards was closely correlated to the proportion of legume in the previous year. And it was 20kg/ha and 30~40kg/ha in 2 and 3 year old swards, respectively. Furthermore, the amount of annual nitrogen absorption by grass from sum of soil in reestablished swards, fertilizer, and transferred nitrogen from legumes was limited to less than 100 to 120kg/ha per year in order to maintain adequate proportion of legumes to range from 20 to 30 per cent in mixture swards in this district.

5) The amount of nitrogen release from returned organic residue was restricted by both the age of swards and the amount of precipitation in the grass growing period. Therefore, it can be shown that the prediction equation model, has two variables : the age of swards and the amount of precipitation in the grass growing period.

6) The amount of the sum of the estimated nitrogen release from the soil in each prediction equation and applied fertilizer nitrogen was suitable to the measured amount of nitrogen absorption by grass with range from 100 to 200kg/ha per year for both grass dominant and mixture swards between 2 to 5 years old.

7) From these results, the rate of fertilizer nitrogen application based on evaluation of soil nitrogen release in grass dominant and grass legume mixture swards can be recommended in this district.

- (a) The necessary sum of the nitrogen supply from soil in reestablished swards, manure, and fertilizer nitrogen is 200kg/ha and 170kg/ha per year in order to obtain a high yield of 9 to 10 tDM/ha per year for orchard grass and timothy dominant swards, respectively.
- (b) The necessary sum of the nitrogen supply, which is the total amount of nitrogen from soil in reestablished swards, manure, transferred nitrogen from legumes and fertilizer, is 100 to 120kg/ha per year in order to maintain of adequate proportion of legume to from 20 to 30 per cent for grass-legume mixture swards.