



畜産草地研究所
技術レポート4号

栃木県北酪農地帯における 飼料作物圃場の生産環境実態調査



独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構

畜産草地研究所

資料の取り扱いについて

本資料には未公開のものもありますので、複製・転載及び引用に当たっては、必ず発表者の了承を得た上で利用してください。

表紙写真説明：調査現地の航空写真（1998年冬撮影）

緑色はイタリアンライグラス圃場、黄緑色は冬作物付けなしで雑草が多い圃場、茶褐色は裸地圃場を示す

栃木県北酪農地帯における飼料作物圃場の生産環境実態調査

目 次

刊行にあたって

栃木県北酪農地帯における飼料作物圃場の生産環境実態調査について 1

要約

那須地域に見られる強害雑草の特徴とその防除方法 3

栃木県北酪農地帯における外来雑草の発生実態 11

栃木県北酪農地帯における飼料作物品質および土壌化学性の実態と施肥対策 13

栃木県北酪農地帯における河川・井戸水等の水質実態とその背景 15

養牛に由来する窒素負荷量が水系へ及ぼす影響 17

本文

栃木県北酪農地帯における外来雑草の発生実態 19

栃木県北酪農地帯における飼料作物品質および土壌化学性の実態と施肥対策 25

栃木県北酪農地帯における河川・井戸水等の水質実態とその背景 39

養牛に由来する窒素負荷量が水系へ及ぼす影響 51

技術リポート4号

栃木県北酪農地帯における飼料作物圃場の生産環境実態調査 の刊行にあたって

わが国畜産産業振興への寄与を命題とした畜産草地研究は、研究者の独創的発想に基づくシーズ培養とともに、現場から問題を捉え、現場をフィールドとして現象を解明し、現場に役立つ技術体系を構築することがきわめて大事である。このような観点から、畜産草地研究所においては、特別予算を組んで「現地プロジェクト研究」を実施してきた。本技術リポートは、その一環として取り組まれてきた課題「栃木県北酪農地帯における飼料生産圃場の生産環境実態調査」で得られた成果をとりまとめたものである。

この調査研究は、生産現場からのニーズに端を発している。栃木県那須野が原の酪農地帯では、近年、多くの飼料圃場で雑草の繁茂が著しく、圃場へは相当量のふん尿が還元されていることもあって、生産される飼料の品質はどうか、土壌はどうか、水質はどうか、という現場に携わる人々の声が研究所に届いていた。折しも、畜産環境三法がらみで、新しい法律に対処するために、先ずその現場の実態がどうなっているのか知りたい、という要望を受け、畜産草地研究所（那須）の前身である旧草地試験場時代の平成11年に調査研究がスタートした。生産現場に足繁く入って、雑草繁茂の実態、飼料の品質、土壌、水質等について約5年の調査研究を積み重ねてきた。その結果、今日、どうにか現場に役立つ情報として取りまとめられる段階となったので、冊子として刊行し、ご協力頂いた方々に情報としてお返しすることとした。また、試験研究・行政関係者の方々には本技術リポートが自給飼料増産の参考資料としてご利用いただければと願っている。

本調査研究の遂行に当たり、ご協力いただいた地元農家をはじめ、生産者団体、農業振興事務所、栃木県酪農試験場、その他関係者の方々にはここに記して御礼申し上げます。

平成16年 1月

(独)農業・生物系特定産業技術研究機構 理事
畜産草地研究所長 横内 圀生

「栃木県北酪農地帯における飼料作物圃場の生産環境実態調査」について

飼料生産管理部長 舘野宏司

背景・目的

近年、わが国の酪農地帯の飼料生産圃場では、多くの見慣れない雑草の繁茂が著しく、その原因の一つに家畜ふん尿の圃場への還元利用が指摘されている。また、ふん尿の多量還元によって、生産される飼料作物の品質の低下や水質等周辺環境への影響が懸念されている。

そこで、本プロジェクトでは、栃木県北の大規模酪農地帯の飼料生産圃場を対象に、雑草の発生状況、飼料の品質、土壌や水質の実態を調査し、問題点を明らかにするとともに、高品質な自給飼料生産のための改善策等を提言する。

本プロジェクト実施の経緯

旧草地試験場時代の平成11年春、栃木県北担当の畜産関係者から草地試験場に対して、畜産環境関連の法律が制定されるのでこの対応を急ぎたい、については、栃木県北の酪農地帯の飼料生産圃場では、雑草の繁茂が酷いので、生産される飼料の品質に影響があるのではないかと、また、多量のスラリーの圃場還元が飼料の品質や土壌のミネラルに影響しているのではないかと、さらに水質についてはどうなっているのか、等々について実態を明らかにして欲しい、それを以て畜産環境対策につなげたい、との依頼があった。旧草地試験場はこの地域と従来から密接な関係を有していたので、当然、積極的に対応することとなり、平成11年春に場内に調査研究チームを立ち上げた。また、同時に、周辺の関係機関（地元酪農協、農業振興事務所、県試験場）に呼びかけ、連携態勢をとって、平成11年夏から調査研究に入った。

その後、平成13年に旧草地試験場は畜産草地研究所として組織改編されたが、本プロジェクトは新しい組織においても「戦略的研究推進経費」を以て、引き続いて実施してきた。

調査開始以来4年半、現地の雑草の発生実態、材料草やサイレージの飼料品質、土壌ミネラル、水系水質等について、十分ではないが一定の成果が得られたので、現時点で必要な情報を地元関係者等に伝える必要があると判断し、冊子として取りまとめることとした。

実施体制

推進責任者 畜産草地研究所飼料生産管理部長 舘野宏司

チームリーダー 同飼料生産管理部上席研究官 畠中哲哉

1. 雑草の発生実態調査

飼料生産管理部・栽培生理研究室 黒川俊二・吉村義則*・渡辺 修*

* 現近畿中国四国農業研究センター

2. 土壌及び飼料品質調査

飼料生産管理部・上席研究官 畠中哲哉

飼料生産管理部・作物栄養研究室 須永義人・川地太兵

3. 水系・水質調査

草地生態部・物質動態研究室

寶示戸雅之・松波寿弥

草地生態部・草地資源評価研究室

神山和則・佐々木寛幸・松浦庄司

4. 所外連携機関

箒根酪農協同組合、那須農業振興事務所、栃木県酪農試験場

那須地域に見られる強害雑草の特徴とその防除方法

飼料生産管理部 栽培生理研究室 黒川俊二

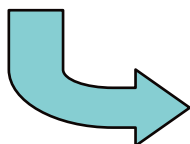
イチビ

発生始期（春先に1cmぐらいの双葉を出し、間からハート型の本葉を出す）



特性

種子で繁殖する。高さ3m以上にもなり、作物の生育を阻害する。繊維質なため、機械収穫作業の妨げとなる。特有の悪臭もある。種子の寿命が長く、だらだら発生するため、一度種子が落ちると完全に消滅させることは難しい。



放っておくと…



主な防除方法

除草剤体系処理

アラクロール（土壌処理）＋ベンタゾンまたはハロスルフロンメチルまたはフルチアセツトメチル（茎葉処理）

耕種的防除

イタリアンライグラス刈取後、トウモロコシを不耕起栽培することで抑制できるが、場合によっては、トウモロコシの収量も減少するので注意が必要である。

水田からの転作の場合、田畑輪換も効果がある。

イタリアンライグラスなどの牧草タイプに2、3年転換するのも効果がある。

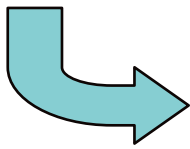
アレチウリ

発生始期（1.5cm ぐらいの双葉から五角形の本葉を出す）



特性

種子で繁殖する。長いつるを伸ばし、作物に絡みつく。遅く発生したものでも作物に巻きついて登るので被害が大きくなる。ひどい場合は、トウモロコシをすべてなぎ倒して収穫不能となるケースもある。近隣の圃場にも容易に拡散する。



放っておくと…



主な防除方法

除草剤体系処理

アラクロールまたはアトラジン（土壌処理）＋ニコスルフロンの（茎葉処理）
ニコスルフロンはイチビには効果がないため、イチビとアレチウリが同時に発生するときにはどちらかを優先して防除するほかない。壊滅的な被害はアレチウリの方が起こりやすい。

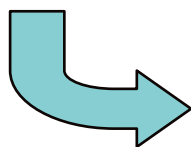
シヨクヨウガヤツリ（キハマスゲ）

発生始期（幅 3mm ぐらいの葉を複数出し、茎の断面が三角形である）



特性

種子や塊茎（小さなイモ）で繁殖する。大型のカヤツリグサの類で、塊茎により爆発的に増殖する。作物の出芽阻害や初期生育を阻害する。発生始期では、他のカヤツリグサと区別がつかない。前年に生産された塊茎から発生しているならばシヨクヨウガヤツリである。



放っておくと…



主な防除方法

除草剤体系処理

アトラジン（土壌処理）＋ハロスルフロンメチル（茎葉処理）

茎葉処理剤にニコスルフロンを用いると地上部は枯殺できるが、塊茎生産を抑えられないため、翌年の発生増加を抑制できない。

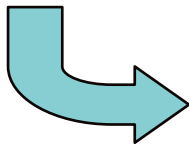
ワルナスビ

発生始期（種子から発生する場合は細い双葉を最初に出すが、根からの場合、数 cm のギザギザの本葉を直接出す）



特性

種子と根で繁殖する。ナスに似ているが、全身にとげがある。根で増殖するため、ロータリー耕などによって細断されると、爆発的に圃場全体に蔓延する。ジャガイモの芽と同じソラニンを含む有毒植物である。近隣の圃場へも種子や根で拡散する。



放っておくと…



主な防除方法

飼料用トウモロコシ登録薬剤で有効なものはない。

有効な除草剤がないので、蔓延させないことが重要である。侵入初期の発見が大切である。発生量が少ないときに根を掘り起こして除去する。

寒冷地なら冬季のプラウ耕で根を凍死させる。ただし、凍結しない地域では根の細断によって逆に急増するので注意が必要である。

ヨウシュチョウセンアサガオ

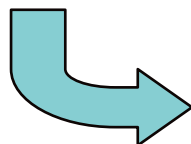
実生の様子（数 cm の長さの双葉を出し、その間からギザギザの本葉を出す）



特性

種子で繁殖する。薬用植物のチョウセンアサガオと近縁だが、花の様子が異なる。猛毒のアルカロイドを全身に含有するため、この雑草が混入した飼料は使用しない。

成植物体



放っておくと…



主な防除方法

除草剤体系処理

通常の土壌処理（登録除草剤なら何でも）＋ベンタゾン（茎葉処理）

効果のある除草剤が多いので防除が比較的容易だが、本草の飼料中への少量の混入でも危険を伴うため、完全な防除が必要である。

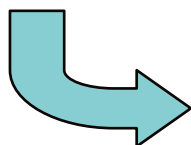
オオオナモミ

花器の様子



特性

種子により繁殖する。長さ数 cm の細長い双葉を出し、その間から縁に細かいギザギザがある卵型の本葉を出す。高さが 2 m に達する。出芽は気温、地温がともに高くなると促進される。開花は日長に主に制御され、9 月上旬以降である。低く刈り取ると刈取後の再生はほとんどなくなる。



放っておくと…



主な防除方法

除草剤体系処理

アトラジン・メトラクロール（土壌処理）＋ベンタゾン（茎葉処理）

開花期が出芽時期に関わらず 9 月上旬以降となるため、発生圃場ではそれ以前に収穫できる飼料作物を選定する必要がある。

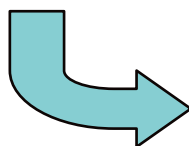
イヌホオズキ類

花の様子



特性

種子で繁殖する。ワルナスビと同様にナスの仲間である。イヌホオズキ類には、イヌホオズキ、アメリカイヌホオズキ、テリミノイヌホオズキなどがあり、識別が難しい。近年、急増している要注意雑草である。ワルナスビと同様にソラニンを含む有毒植物である。



放っておくと…



主な防除方法

飼料用トウモロコシ登録薬剤で有効なものはない。有効な除草剤がないので、蔓延させないことが重要である。しかし、突然爆発的に発生することがあるので予測が難しい。有毒植物であるため、結実する前に刈り払い除去するなどの対応が必要である。

付表. 飼料用とうもろこし登録除草剤一覧 (平成 15 年 11 月 5 日現在)

| 農薬の種類 | 農薬の名称 | 適用作物名等 |
|--------------------------|---------------------|--|
| アトラジン・トラコロール水和剤 | ゲザンフロアブル | ソルガム,とうもろこし,飼料用とうもろこし |
| アトラジン水和剤 | ゲザプリム50 | アスパラガス,さとうきび,ソルガム,とうもろこし,ラベンダー,飼料用とうもろこし |
| | ゲザプリムフロアブル | ソルガム,とうもろこし,飼料用とうもろこし |
| アラコロール乳剤 | 日農ラッソー乳剤 | いちご(子苗床),いちご(施設栽培),いちご(親株床),いちご(本圃),いんげんまめ,かんしょ,キャベツ,さとうきび(春植又は夏植),だいこん,だいず,たばこ(折衷マルチ栽培),たばこ(普通畦面被覆栽培),たばこ(無被覆栽培),てんさい(移植栽培),とうもろこし,なし,はくさい,ばれいしよ,ぶどう,ほうれんそう,らっかせい,桑,飼料用とうもろこし |
| | 日産ラッソー乳剤 | |
| | ラッソー乳剤 | |
| | モンサントラッソー乳剤 | |
| ジメチナミド・リニロン乳剤 | エトツプ乳剤 | |
| | SDSエトツプ乳剤 | |
| | デュホンエトツプ乳剤 | だいず,とうもろこし,飼料用とうもろこし |
| | 丸和エトツプ乳剤 | |
| ジメチナミド乳剤 | フィールトスター乳剤 | キャベツ,だいず,とうもろこし,飼料用とうもろこし |
| | シオノキ・フィールトスター乳剤 | |
| ニコスフロロン乳剤 | 石原ワンホーフ乳剤 | 飼料用とうもろこし |
| ハロスフロロンメチル水和剤 | シャドー水和剤 | さとうきび(春植又は夏植),飼料用とうもろこし |
| フルチアセットメチル乳剤 | ベルベカット乳剤 | とうもろこし,飼料用とうもろこし |
| プロモリン・トラコロール水和剤 | コダール水和剤 | いんげんまめ,えだまめ,さやいんげん,だいず,たまねぎ,とうもろこし,にんじん,やまのいも,らっかせい,桑,飼料用とうもろこし |
| ペンタギン液剤 | 住化ハサグラン液剤(ナトリウム塩) | |
| | 日農ハサグラン液剤(ナトリウム塩) | |
| | ヤシマハサグラン液剤(ナトリウム塩) | いんげんまめ(大正金時),えんどうまめ,さやえんどう,たまねぎ(秋播移植栽培),たまねぎ(春播移植栽培),とうもろこし,らっきょう,移植水稻,飼料用とうもろこし,ええんどう,小麦,直播水稻,麦類(小麦を除く) |
| | サンケイハサグラン液剤(ナトリウム塩) | |
| | 三共ハサグラン液剤(ナトリウム塩) | |
| | ホクコーハサグラン液剤(ナトリウム塩) | |
| クマイハサグラン液剤(ナトリウム塩) | | |
| ペンチオカーブ・ペンティメタリン・リニロン乳剤 | クリアタン乳剤 | えだまめ,だいず,とうもろこし,にんじん,ばれいしよ,飼料用とうもろこし,小麦,大麦 |
| | サイアナミッドクリアタン乳剤 | |
| | デュホンクリアタン乳剤 | |
| ペンチオカーブ・ペンティメタリン・リニロン粉粒剤 | クリアタン細粒剤F | えだまめ,だいず,とうもろこし,にんじん,ばれいしよ,飼料用とうもろこし,小麦,大麦 |
| | ACCクリアタン細粒剤F | |
| | デュホンクリアタン細粒剤F | |
| ペンティメタリン・リニロン乳剤 | カイタック乳剤 | とうもろこし,にんじん,やまのいも,飼料用とうもろこし,小麦,小麦(秋播),大麦 |
| | サイアナミッドカイタック乳剤 | |
| | デュホンカイタック乳剤 | |
| ペンティメタリン・リニロン粉粒剤 | カイタック細粒剤F | こんにやく,とうもろこし,にんじん,やまのいも,飼料用とうもろこし,小麦,小麦(秋播),大麦 |
| | デュホンカイタック細粒剤F | |
| | サイアナミッドカイタック細粒剤F | |
| ペンティメタリン乳剤 | ゴーゴーサン乳剤30 | きく,キャベツ,こんにやく,さといも,すぎ(床替床),ソルガム,たまねぎ,とうもろこし,なし,にんじん,にんにく,ねぎ,はくさい,ばれいしよ,ひのき(床替床),ぶどう,やまのいも,らっかせい,りんご,メス,桑,飼料用とうもろこし,小麦(秋播),麦類(小麦(秋播)を除く),非結球レタス,陸稲 |
| ペンティメタリン粉粒剤 | ゴーゴーサン細粒剤F | キャベツ,こんにやく,さといも,ソルガム,たまねぎ(秋播),たまねぎ(春播),チューリップ,とうもろこし,にんじん,にんにく,ねぎ,みしまさい,らっかせい,桑,飼料用とうもろこし,麦類 |
| トラコロール乳剤 | デュアル乳剤 | いんげんまめ,えだまめ,かんしょ,キャベツ,こんにやく,さといも,さやいんげん,だいこん,だいず,てんさい(移植栽培),とうもろこし,にんじん,ばれいしよ,らっかせい,飼料用とうもろこし |
| リニロン水和剤 | デュホンロックス | アスパラガス,いんげんまめ,うめ,かき,かんしょ,こんにやく,さといも,セルリー,ソルガム,だいず,とうもろこし,なし,にら,にんじん,にんにく,ねぎ(本畑),はつか,ばれいしよ,ぶどう(成木),もも,やまのいも,らっかせい,りんご,桑,飼料用とうもろこし,麦類(秋播) |

独立行政法人農薬検査所の登録・失効農薬情報のホームページより作成。

(<http://www.acis.go.jp/toroku/torokuindex.htm>)

栃木県北酪農地帯における外来雑草の発生実態

飼料生産管理部 栽培生理研究室 黒川俊二

栃木県北酪農地帯の飼料畑における外来雑草の発生パターンや拡散実態について明らかにし、飼料作物の作付け体系や圃場管理の有り様との関係を把握しました（本文p. 19～p. 23）。

背景・目的

飼料自給率の低下に伴って、輸入飼料に混入して国内に侵入した外来雑草の蔓延が問題となっている。飼料畑における様々な外来雑草の発生パターンや圃場間の拡散について実態を解明し、飼料作物の作付け体系や圃場管理の方法との関係を明らかにする。

成果

- 1998～2000年の3年間の調査により、主要な外来雑草の発生圃場数が年々増加していることが明らかとなった（図1）。特に、最近ではイヌホオズキ類の急増が際立っており、注意が必要である（写真）。

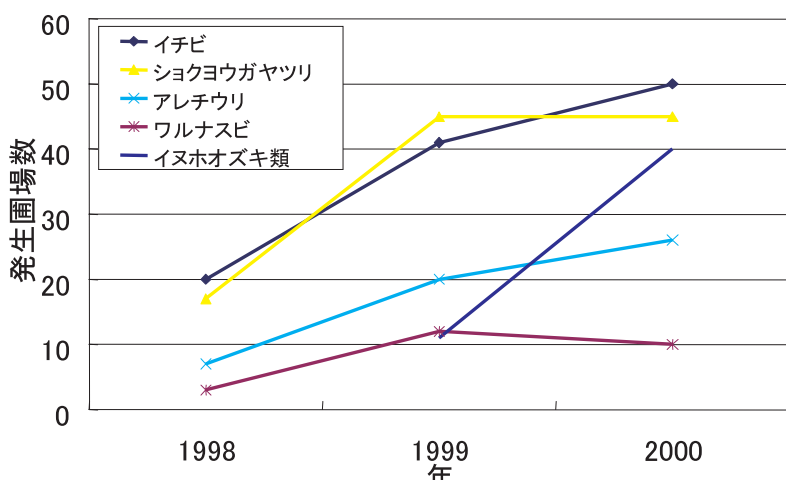


図1 調査地域における主要外来雑草の発生圃場数の推移

写真.最近急増しているイヌホオズキ類

- 8戸の酪農家に対する圃場管理・輸入飼料購入実態・ふん尿処理形態などについてのアンケート調査の結果、それらの圃場での雑草発生パターンと相関のある要因が抽出された（表1）。

表1 主要な外来雑草の発生と各圃場管理要因の相関関係

| | イチビ | オオクサキビ | アレチウリ |
|---------|---------|----------|---------|
| 茎葉処理剤なし | -0.084 | 0.157 | 0.306 * |
| 前年冬作なし | 0.313 * | 0.158 | 0.148 |
| スラリー施用 | -0.040 | -0.291 * | 0.158 |

*:5%水準で有意

3. 発生する雑草の種類は、同じ農家が所有する圃場間であまり似ておらず、圃場の位置関係に依存する傾向が見られた(図2)。

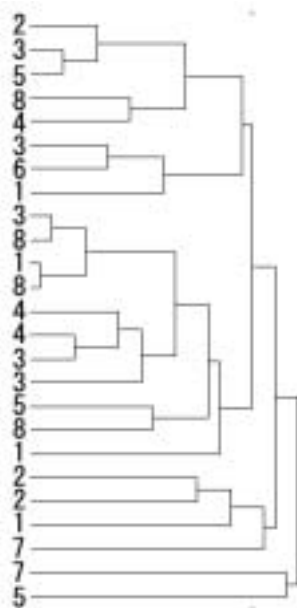


図2 アンケート調査農家所有圃場における雑草発生パターンの類似性によるクラスター分析結果
番号はその圃場の所有農家番号を示す。
同じ番号(農家)の圃場が別々のクラスターに分類されるケースが多い。

4. 代表的な外来雑草であるイチビの圃場間の拡散実態が明らかとなった(図3)。

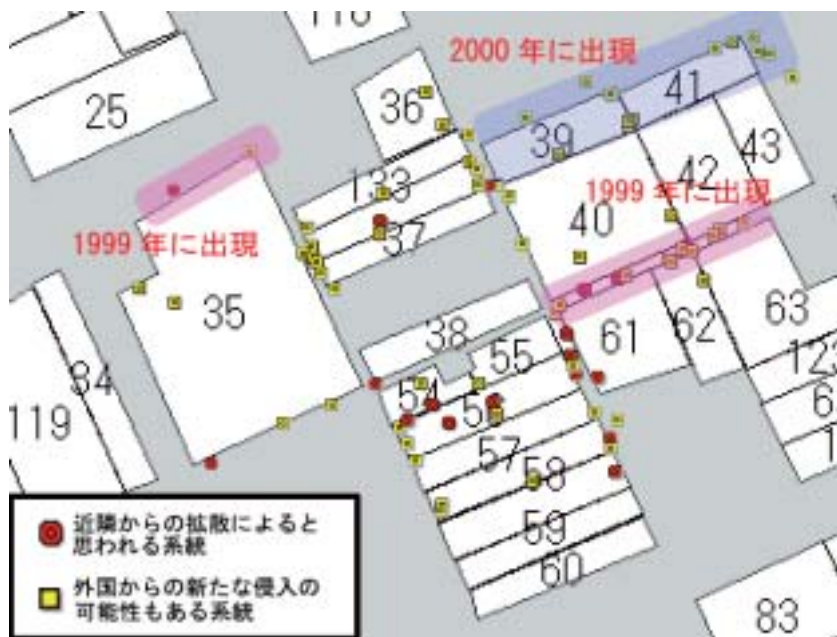


図3 3年間でイチビの分布が拡大した場所における系統解析結果
赤◎で示した系統は、新たな外国からの侵入によるものではないことが知られているため、近隣の圃場から拡散してきたものと思われる。1999年に出現したイチビの中にこの系統が含まれていることから、これらは近隣圃場からの拡散によるものと思われる。

活用面・留意点

1. 外来雑草の防除および拡散防止技術の開発に向けた有効なケーススタディとして活用できる。
2. 本成果は観察データに基づいたものであり、圃場管理方法と雑草の発生パターンとの関係については実験による裏づけが必要である。また、イヌホオズキ類には複数の種が含まれており、生育特性などは種によって異なると考えられるため、正確な種の同定が必要である。

栃木県北酪農地帯における飼料作物品質および土壌化学性の実態と施肥対策

飼料生産管理部 上席研究官 畠中哲哉
 作物栄養研究室 須永義人 川地太兵 江波戸宗大

栃木県北酪農地帯の飼料畑や草地の土壌化学性の性状とそこで生産されている飼料作物のミネラル品質について実態を明らかにしました。乳牛の要求量や土壌診断基準に基づいて施肥管理対策を示しました（本文 p. 25～p. 38）。

背景・目的

栃木県北酪農地帯ではスラリーおよび堆肥等のふん尿還元を主体とする飼料作栽培が行われているが、ふん尿の多量施用や雑草の多量発生に伴う飼料作物品質の劣化や土壌性状の悪化などが危惧されている。飼料作物のミネラル品質ならびに土壌の化学成分の実態とその変化動向、雑草の発生・分布と土壌性状との関係について調査し、今後の施肥管理対策を明示する。

成果

1. ミネラル濃度は牧草の方が長大型飼料作物よりも高濃度で、Kを除くP、CaおよびMg成分は乳牛の要求量に満たなかった。とくにCa成分の不足が顕著であった。微量元素濃度も同様に、牧草の方が長大型飼料作物よりも高濃度であったが、ZnとCuは要求量以下であった。硝酸態窒素濃度は大部分急性中毒の許容限度とされる0.2%以内であった（図1）。

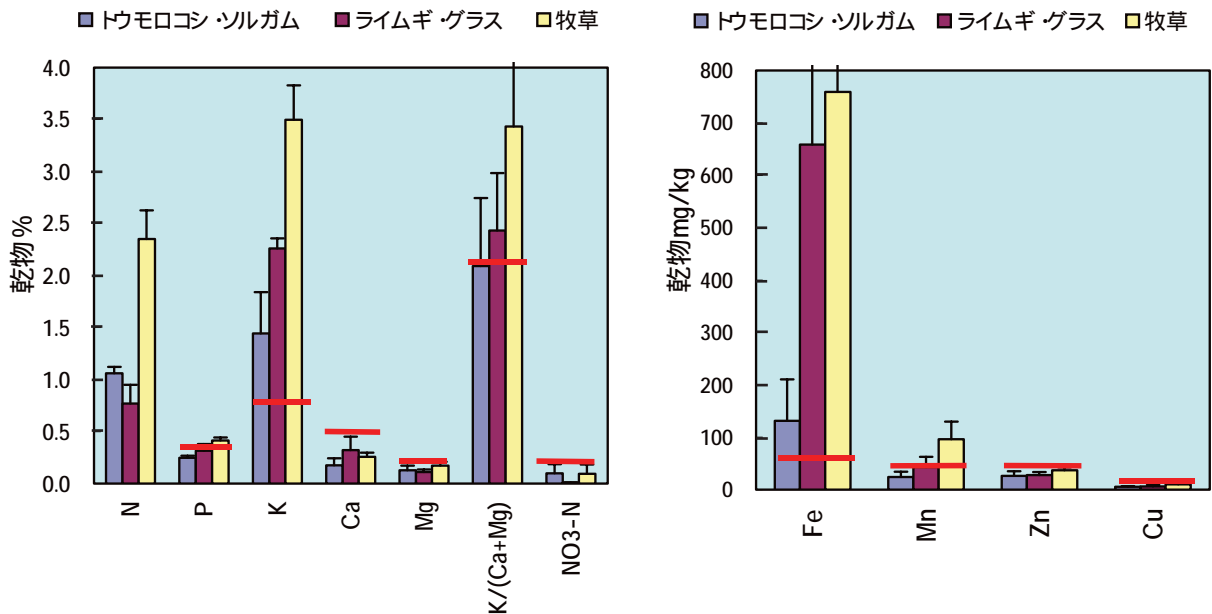


図1 飼料作物のミネラル濃度の実態（平均値で表示）
 注）図中の赤線は乳牛の飼養標準の要求濃度を示す

2. 平均値で見ると、交換性Mgや交換性K値、交換性Ca、MgおよびK成分間のバランスはほぼ適正であったが、交換性Caは下限値以下、有効態リン酸は上限値以上であった。交換性Ca不足は放牧草地で、有効態リン酸の過剰は飼料畑土壌で認められた（図2）。化学成分の過不足の実態に応じた減肥および増肥対策を講じる必要がある。

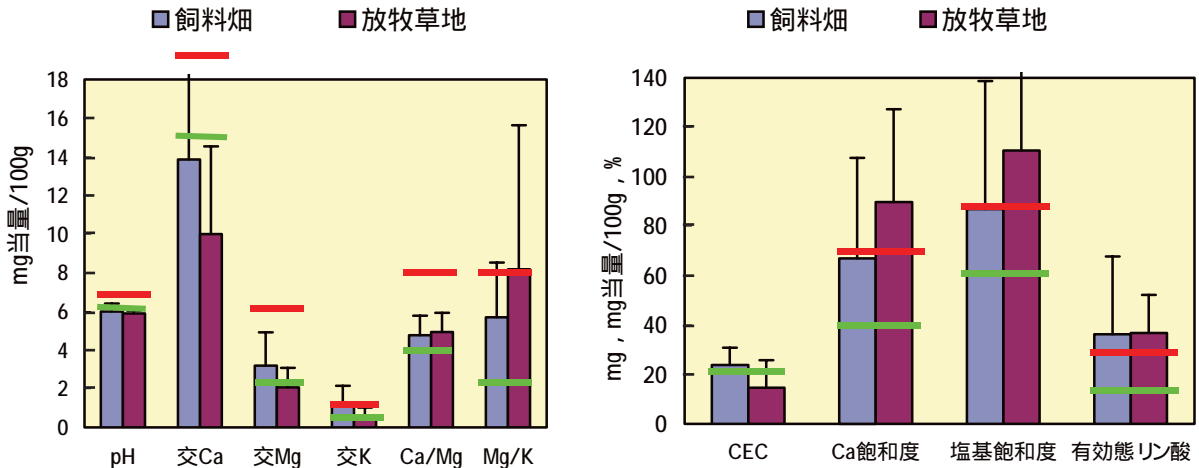


図2 飼料畑および草地土壌における化学性状の実態（平均値による表示）
 注）図中の赤線は関東東海地域における土壌診断基準値の上限値、緑線は下限値を示す

3. スラリーを施用している飼料畑土壌では20数年前に比べて有効態リン酸の蓄積が顕著に認められた。交換性Ca、MgおよびKは20数年前よりも下がる傾向であったが、Ca/Mg、Mg/Kの塩基バランスはむしろ上昇していた（表1）。

表1 スラリー施用農家圃場における土壌化学成分の変化動向

| 年次 | pH | 交換性塩基(mg当量) | | | 塩基バランス(当量比) | | 有効態リン酸 |
|-------|---------|-------------|-----|---------|-------------|------|------------------------------------|
| | | Ca | Mg | K | Ca/Mg | Mg/K | P ₂ O ₅ (mg) |
| | | 乾土100gあたり | | | | | |
| 1980年 | 6.6 | 13.9 | 3.8 | 0.8 | 3.7 | 4.9 | 14 |
| 2000年 | 6.2 | 12.3 | 3.3 | 0.6 | 4.3 | 7.2 | 30 |
| 検定 | ns | ns | ns | ns | ns | * | * |
| 診断基準値 | 6.0-6.5 | 15-24 | 2-6 | 0.3-1.0 | 4-8 | 2-8 | 10-30 |

注) 診断基準値は関東東海地域における飼料畑土壌の土壌診断基準値（火山灰土）である
 有効態リン酸はトルオーグ法による測定値
 * 5%水準で有意

4. 雑草、とくにシヨクヨウガヤツリの発生・分布と相関のある土壌要因が抽出された（表2）。

表2 シヨクヨウガヤツリの発生・分布と相関のある土壌要因

| 年次 | pH H ₂ O | 可給態 窒素(mg) | 交換性塩基(mg当量) | | | | Ca/Mg 当量比 | Ca飽和 度 | 塩基 飽和度 | 有効態リン酸 P ₂ O ₅ (mg) |
|-------|------------------------|---------------|-------------|--------|-------|--------|--------------|-----------|-----------|--|
| | | | Ca | Mg | K | 合計 | | | | |
| | | | 乾土100gあたり | | | | | | | |
| 1999年 | -0.72* | 0.49 | -0.78* | -0.78* | -0.49 | -0.77* | 0.87** | -0.74* | -0.74* | -0.75* |
| 2000年 | -0.61 | -0.07 | -0.72* | -0.66 | -0.50 | -0.71 | 0.69 | -0.55 | -0.55 | -0.91** |

注)** 1%水準で有意、* 5%水準で有意

活用面・留意点

1. 栃木県北の一地域におけるケーススタディ（調査点数 14 戸 30 点）であるが、飼料作物の高品質栽培、施肥管理対策、雑草の防除のための営農指導に活用できる。
2. 飼料作物のミネラル品質および土壌の化学的性状は飼料作物の種類や個々の農家の施肥管理によって異なることが予想されるので、作物診断や土壌診断の結果に基づいて対策を行うことが必要である。

栃木県北酪農地帯における河川・井戸水等の水質実態とその背景

草地生態部 物質動態研究室
寶示戸雅之 松波寿弥

栃木県北酪農地帯の河川・地下水の水質環境は現時点で問題は見あたらない。しかし家畜ふん尿による潜在的な環境汚染リスクは高いので、今後は環境汚染対策が重要となる（本文 p. 39～p. 49）。

背景・目的

栃木県北部地域の草地飼料作物作付け面積は県全体の6割を占める主要な草地畜産地帯である。この地域の環境汚染リスクを評価するために、家畜ふん尿窒素の潜在負荷量を推定し、地域内水系の水質実態を検討した。さらに特定河川と地下水の現地調査を行い、実態と背景を考察した。

成果

1. 栃木県のふん尿およびふん尿窒素の発生総量は1949年以降1988年まで直線的に増大したがその後は一定している（図1）。栃木県北部（塩原町、塩谷町、氏家町、喜連川町、高根沢町、南那須町、烏山町、馬頭町、小川町、黒羽町、湯津上村、大田原市、矢板市、西那須野町、黒磯市、那須町）の16市町村では1989年まで同様の増大を示したが、その後もゆるやかな増大を続けている（図2）。

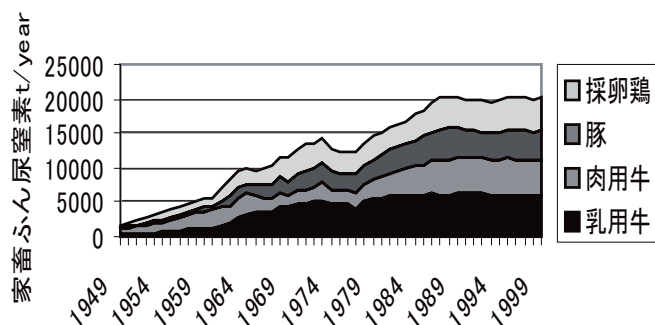


図1 家畜ふん尿窒素の推移（全県）

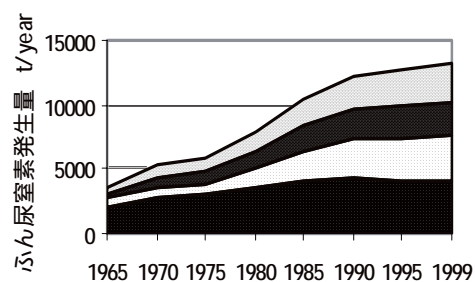


図2 家畜ふん尿窒素の推移（県北）

2. 最近の増大の主因は乳牛以外の畜種による。耕地面積当たりのふん尿窒素発生量は1970年以降増大しているが、栃木県北部ではその傾向が著しく、1999年には251kg/haであり（図3）、県内ではふん尿窒素による環境リスクが高い地域といえる状況にある。

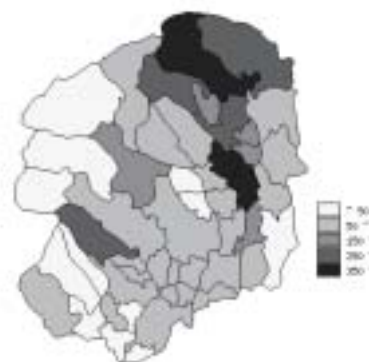


図3 耕地面積当たり家畜ふん尿窒素 kg/ha(1999年)

3. 公開された水質データから那珂川水系を鬼怒川・小貝川水系、鬼怒川水系と比較すると、那珂川水系は窒素、リン濃度等の監視項目から見る限り、良い水質が保たれている(図4)。

しかし実際に同水系の蛇尾川、熊川、武茂川、松葉川の水質を調査すると、流下に伴い明らかな窒素濃度の上昇がみられた。

また蛇尾川河川敷に隣接するJ学園井戸の通年水質調査から、浅い地下水は夏の一定時期にある程度窒素濃度が上昇することがわかった(図5)。

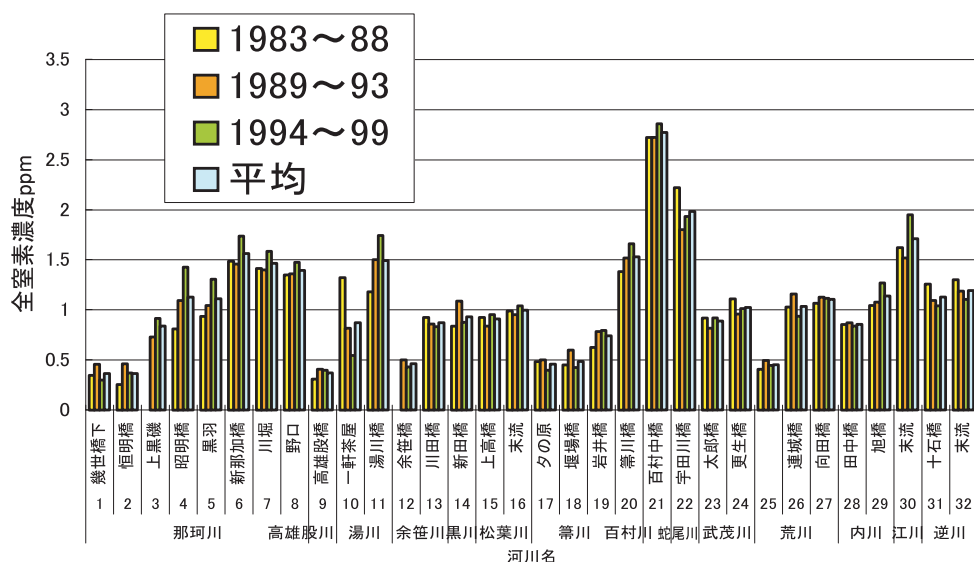


図4 那珂川水系の全窒素濃度の推移

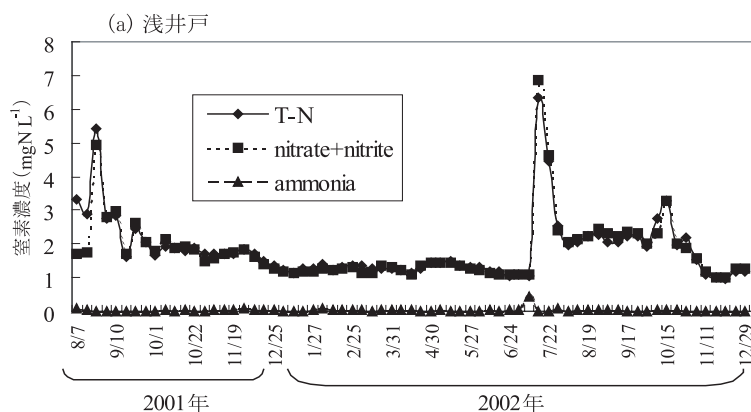


図5 J学園農場井戸水の窒素濃度の推移

4. 以上のことから、栃木県北部の河川や地下水の水質は現状では概して問題のない状況にあるが、家畜ふん尿窒素の負荷量による潜在的環境汚染リスクは高く、場所によっては水質にその影響が及ぶ可能性もあるといえる。

活用面・留意点

1. 水質環境のリスク管理の基礎データとして利用できる。
2. 本調査により地域の水質汚染の実態が推定された。ただし調査地点数は限られ、とくに地下水については情報が不足しており、さらに広範な実態調査を行う必要がある。

養牛に由来する窒素負荷量が水系へ及ぼす影響

草地生態部 草地資源評価研究室
神山和則 佐々木寛幸 松浦庄司

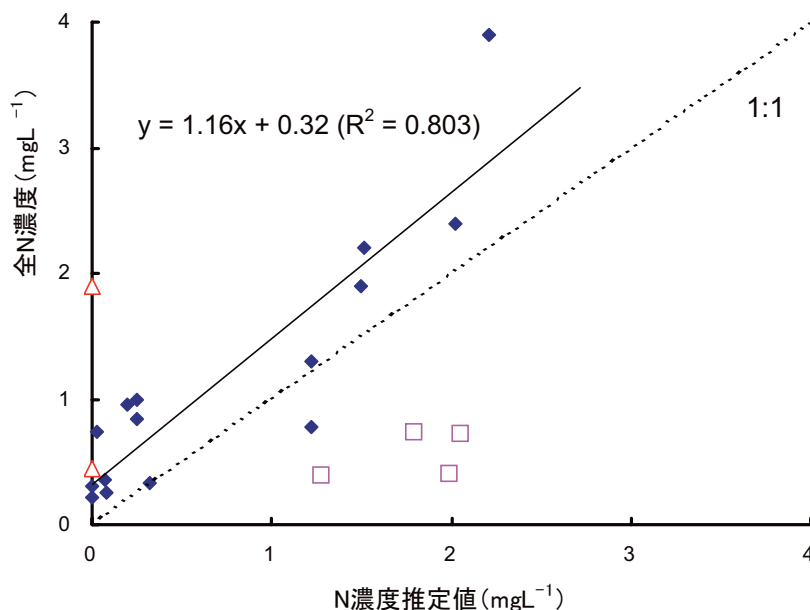
栃木県北部における養牛に由来する窒素負荷量を1 kmメッシュ単位で推定するモデルを開発し、これを用いて養牛に由来する窒素負荷が水系に及ぼす影響を明らかにしました（本文 p. 51～p. 60）。

背景・目的

わが国では草地・飼料畑面積に対して牛の飼養頭数が多い。そのため、圃場面積の不足や不適切なふん尿処理によって水系など周辺環境への影響が懸念される。栃木県北部地域における窒素（N）負荷量を各種統計データおよび国土数値情報等を用いたモデルによって推定し、本地域の養牛に由来するN負荷が水系へ及ぼす影響について検討した。

成 果

1. 本地域における牛飼養と草地・飼料畑におけるN負荷量を1 kmメッシュ単位で推定した。推定値は「販売・譲渡される堆肥がない」などいくつかの仮定を含んでいるが、



□ : 黒川, 余笹川の観測地点 △ : 湯川の観測地点 ◆ : その他の観測地点

図1 養牛に起因する水系N負荷濃度の推定値と水質調査の全N濃度との関係

N濃度の推定値は販売・譲渡される堆肥がないなどいくつかの仮定を含んだ数値である。回帰式の計算には黒川、余笹川の観測地点と湯川の観測地点を除外した。

草地・飼料畑あたりの溶脱水の平均N濃度は 43.2 mgL^{-1} であった。これを集水域単位に集計し、河川の全N濃度の観測データとの関係を調べた結果、両者に高い相関関係が認められた（図1）。

2. 草地・飼料畑あたりの溶脱水N濃度を 10 mgL^{-1} 以下にするためには、ある程度余剰N（有機物資源N）を系外へ搬出する必要があるが、メッシュごとにその割合を計算した。その結果、草地・飼料畑面積が広い北西側の地域では一部を除き搬出割合は 60 %未満であるが、那珂川、蛇尾川の下流域では 60 %以上、場所によってはほぼ全量を搬出する必要があることが明らかになった（図2）。

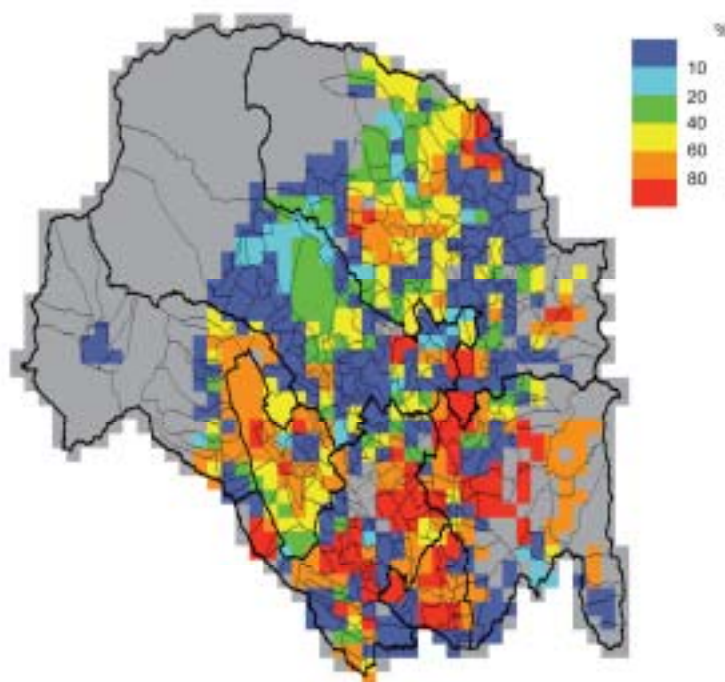


図2 溶脱水N濃度を 10 mg L^{-1} 以下にする場合の生産堆肥Nの搬出割合
(1ピクセルは 1km メッシュ)

活用面・留意点

1. 最適なN負荷削減施策を広域的に検討する際に作成したモデルを用いてシミュレーションが可能である。
2. 集落単位、あるいは市町村単位の統計値を利用した推定結果であるが、推定には「堆肥の販売・譲渡がない」などいくつかの仮定を含んでいる。

栃木県北酪農地帯における外来雑草の発生実態

飼料生産管理部 栽培生理研究室
黒川俊二

1. 背景・目的

わが国では、輸入飼料への依存が強まることに伴って、1980年代後半ごろから輸入飼料経由で飼料畑に侵入する外来雑草による被害が拡大し、自給飼料生産の増進に大きな逆風となっている。実際、外来雑草による被害が原因で自給飼料生産を諦める酪農家も存在しており、その結果ますます輸入飼料に依存することになるという悪循環を生み出している。こうした悪循環から脱却するため、外来雑草の防除技術の開発が急務であるが、発生する外来雑草の多くが諸外国での雑草防除プログラムをすり抜けてきたものであるため、その防除技術の開発は困難を極めているのが現状である。有効な除草剤の開発についても、開発コストがかかるため、他の作目に比べて時間がかかる。今後は、単独の技術ではなく、様々な観点から各種の技術を組み合わせた総合的な防除技術の開発が求められる。

実際の飼料作物圃場では、問題となる雑草の種類や圃場間差や発生パターンにも違いが見られ、圃場管理の方法の違いが影響しているものと推察される。本課題は、自然環境がほぼ同じで、雑草の発生状況や圃場管理方法の違いが見られる酪農地域において、主要な外来雑草の発生動向を把握し、圃場管理法の構成要素との関係を見出すことによって、総合的防除技術開発に向けたヒントを得ることを目的として行った。

2. 調査地域および調査方法

調査地域は栃木県北部の大酪農地帯の中で多くの飼料生産圃場が集中する集落とした。調査圃場数は、全部で96区画であった。主要外来雑草の発生調査は1998年から2000年にかけての3年間行った。調査対象となった種は、イチビ、オオクサキビ、シヨクヨウガヤツリ、アレチウリ、ワルナスビ、オオオナモミ、シロバナチョウセンアサガオおよびイヌホオズキ類で、イヌホオズキ類については1999年と2000年の2年間のみとした。調査方法は、1998年は圃場ごとに発生程度を点在、局在、多発に分けて調査し、1999年と2000年は、携帯型GPSによって発生地点の位置を記録する方法をとった。また、雑草調査と同時に調査時点での圃場利用状況についても調査を行った。

2000年には、調査地域内で発生程度に差が見られる圃場について、より詳しく圃場管理方法などを知る目的で、全部で8戸の酪農家を対象としてアンケート調査を実施した。調査項目は、夏作の作物名、作付け面積(ha)、播種時期、収穫時期、土壌処理除草剤名、土壌処理除草剤散布時期、茎葉処理除草剤名、茎葉処理除草剤散布時期、冬作の作物名、作付け面積、播種時期、収穫時期、スラリー投入量(t)、堆肥投入量(t)、ふん尿処理法、ふん尿処理主体(個人 or 団体)および牛舎形態とした。

2001年と2003年には、主要外来雑草であるイチビについて、発生圃場の拡大が、圃場間の拡散によるか、あるいは新たに輸入飼料に混入して侵入したのかを明らかにするため、上記の発生状況の調査のほかに、圃場間の拡散によるものを識別できるDNAマーカーを

用いた系統解析を行った。

3. 結果および考察

1) 主要外来雑草の発生状況の変化

3年間の外来雑草発生圃場数の推移を見た結果、ほぼすべての種が年々増加していることが確認された(図1)。特に、オオクサキビ、イチビ、シヨクヨウガヤツリについては、調査圃場のほぼ半数にまで達していた。外来雑草問題に対する酪農家の認知度が高まっているにもかかわらずこのように増加傾向が続いていることは、これまでの防除体系での外来雑草制御が極めて困難であることを裏付ける結果といえる。また、アメリカイヌホオズキをはじめとするイヌホオズキ類の増加が際立っており、これらの種に対する有効な茎葉処理剤がないことから今後注意が必要である。

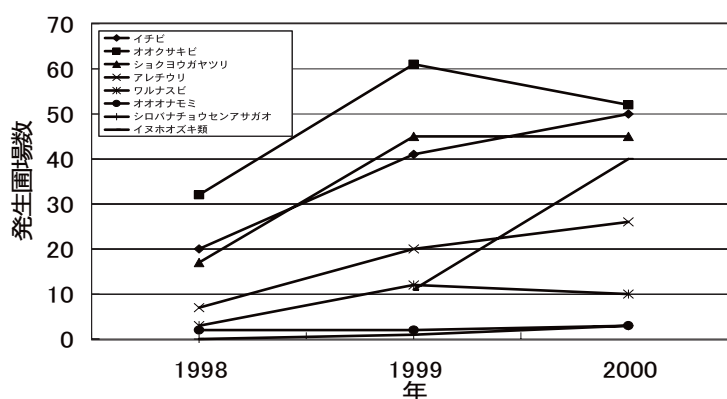


図1. 調査地域における主要外来雑草の発生圃場数の推移
イヌホオズキ類は1998年には目立たなかったため調査対象外。

2) 調査地域における作付けの変化

作付けされる作物の種類に大きな変化はなかったが、夏作物の作付けがない圃場が1998年に5筆だったものが、1999年には29に増加、さらに2000年には35まで増加し、糞尿捨て場として利用されていると判断される圃場も増加している(表1)。3年間作付けがない圃場では、全体として年々発生している雑草が増加していた。こうした無作付け圃場の増加は、近隣圃場への雑草種子の供給源となりうるため、外来雑草の地域内での拡散を防止する上でも望ましくない。作付けをしない圃場であっても適切な雑草管理は必要であると考えられる。

表1. 調査地域における夏作作付け状況の変化

| 年次 | トウモロコシ | ソルガム | 作付けなし | 合計 |
|------|--------|------|-------|----|
| 1998 | 89 | 2 | 5 | 96 |
| 1999 | 66 | 1 | 29 | 96 |
| 2000 | 59 | 2 | 35 | 96 |

「作付けなし」には、イタリアンライグラスの放棄畑なども含む。

3) 雑草発生に関わる圃場管理要因の抽出

アンケート調査対象の酪農家が所有する圃場において、1998年と1999年の雑草発生とそれぞれの年の圃場管理方法および前作の冬作との関連性を見るため、Spearmanの順位相関係数を計算したところ、表2のような結果となった。いずれの種においても、その発生との相関係数が高い要因は判明しなかったが、いくつかの組み合わせで統計的に有意となる相関関係が見出された。そのうち、例数が比較的多く信頼性がある程度であると判断された関係としては、イチビ、オオクサキビ、アレチウリなどで、それぞれ、前作の冬作なしと正の相関、スラリー施用と負の相関、茎葉処理剤なしと正の相関が5%水準で有意となった。これらの因果関係については不明であるため、今後、実験的確認が必要である。

表2. アンケート調査対象圃場における主要外来雑草の発生と圃場管理要因との相関関係 (Spearmanの ρ)

| | イチビ | オオクサキビ | シヨクヨウ ガヤツリ | アレチウリ | ワルナスビ |
|-----------------------|----------|----------|---------------|----------|----------|
| 夏作物(トウモロコシ) | -0.121 | -0.269 | -0.142 | -0.291 * | 0.175 |
| 夏作(なし) | -0.146 | 0.086 | 0.123 | 0.06 | -0.128 |
| 播種期 | 0.006 | 0.065 | -0.217 | 0.122 | -0.285 * |
| 土壌処理除草剤(アトラジン+アラクロール) | -0.021 | 0.079 | -0.025 | 0.009 | -0.131 |
| 土壌処理除草剤(なし) | -0.089 | 0.17 | 0.07 | 0.196 | -0.145 |
| 茎葉処理除草剤(ニコスルフロン) | 0.066 | -0.186 | -0.055 | 0.062 | 0.195 |
| 茎葉処理除草剤(ペンタゾン) | -0.233 | 0.071 | 0.123 | -0.217 | -0.217 |
| 茎葉処理除草剤(なし) | 0.089 | -0.025 | -0.241 | 0.312 * | -0.05 |
| 前作(ライムギ) | 0.013 | -0.027 | 0.07 | -0.145 | 0.196 |
| 前作(イタリアン) | -0.312 * | -0.14 | -0.007 | -0.048 | -0.222 |
| 前作(なし) | 0.333 * | 0.172 | -0.04 | 0.151 | 0.109 |
| スラリー | -0.042 | -0.315 * | -0.189 | 0.161 | 0.161 |
| 堆肥 | -0.141 | 0.192 | 0.031 | -0.217 | -0.217 |

*: 5%水準で有意

4) 圃場間の雑草発生パターンの類似性

アンケート調査対象の酪農家が所有する圃場について、3年間の主要外来雑草の発生パターンの圃場間の類似性に基づいてクラスター分析した結果、図2のようになった。図のように、同じ農家の圃場が必ずしも同じクラスターに分類されず、雑草の発生パターンの違いは、経営者の違いに依存しないことが示唆された。それよりもむしろ、圃場の位置関係に関係があるかもしれない(図3)。



図2. アンケート調査農家所有圃場における雑草発生パターンの類似性によるクラスター分析結果

番号はその圃場の所有農家番号を示す。

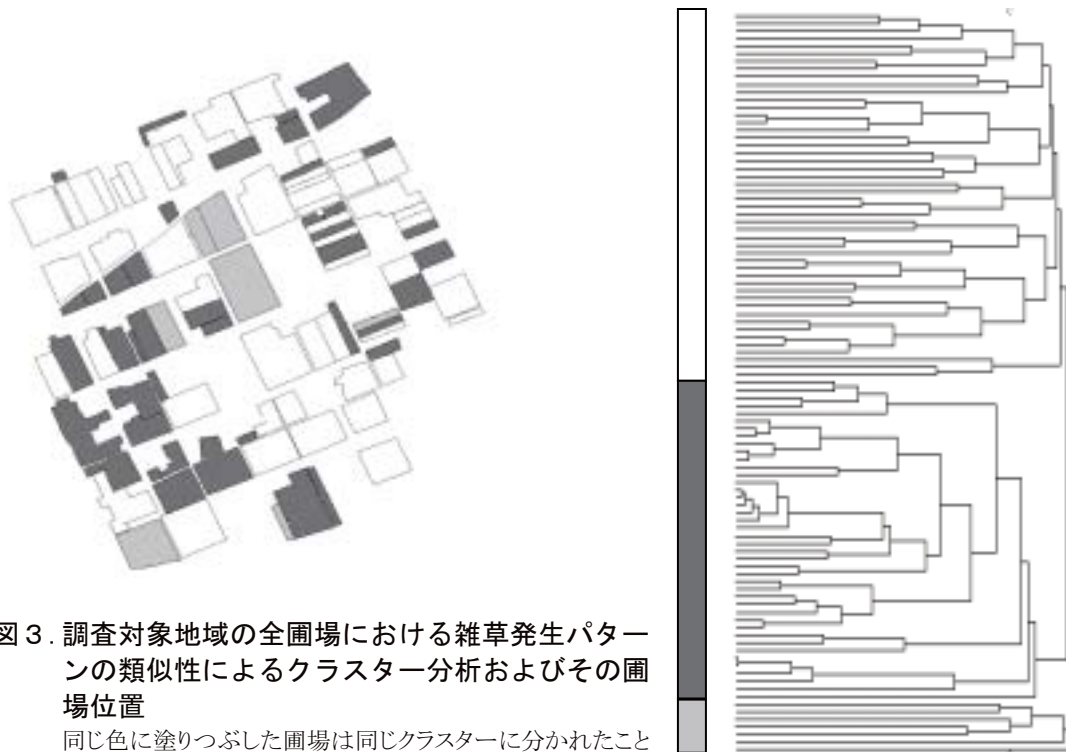


図3. 調査対象地域の全圃場における雑草発生パターンの類似性によるクラスター分析およびその圃場位置

同じ色に塗りつぶした圃場は同じクラスターに分かれたことを示す。

5) 代表的な外来雑草であるイチビの拡散実態

ある圃場に輸入飼料経由で侵入した外来雑草の近隣圃場への拡散については、新たな外国からの侵入と区別して調査する必要がある。そこで、DNA マーカーを用いた系統識別によって外国からの侵入によるものでない系統を検出し、圃場間のイチビの拡散実態を調査した。その結果、3年間の調査で分布が拡大した圃場において、近隣からの拡散によると思われる系統が確認された。また、それらは圃場周辺に沿って拡散していることがわかれ、圃場の周辺の除草管理がさらなる拡散を防止する上で重要であると考えられた。



図4. 代表的な外来雑草であるイチビの系統識別に基づいた拡散実態

4. まとめ

本課題において、三年間のみの調査においても、主要外来雑草の発生圃場の拡大が進んでいることが明らかとなり、これまでの防除技術では発生を抑制するのに不十分であることがわかった。また調査対象となった外来雑草だけでなく、濃厚飼料の原料である輸入穀物には、現在問題となっているもの以外にも非常に多くの種類が混入していることが明らかとなっており、これまで問題となっていないものが急に顕在化する可能性もある。本調査では、1998年まで目立った発生がなかったイヌホオズキ類の爆発的な急増が明らかとなり、懸念が現実のものとなった。このことから現在発生している外来雑草をすべて防除できたとしても、侵入経路を遮断しない限り、新たな外来雑草が侵入して問題を引き起こすものと考えられる。

圃場の作付け状況については、雑草の多発が原因であるかどうかは明らかではないが、夏作の作付けが行われない圃場が年々増加しており、雑草の種子供給源となってしまうことが懸念された。

アンケート調査による圃場管理方法と外来雑草の発生との関係で興味深かった点は、これまで、温度の上がらないスラリーの状態の家畜ふん尿を圃場に還元するよりも、堆肥化することで雑草の侵入を抑制できると言われていたにもかかわらず、いずれの雑草においても堆肥施用との間に明確な関係が見出されなかったことである。逆に、オオクサキビにおいては、スラリー施用と雑草発生に負の有意な関係が見出されるなど、より実際的な関係解明が今後必要であると考えられた。また、前作にイタリアンライグラスを作付けした圃場でイチビの発生が少ないという傾向が見られた点についても、今後、両者の因果関係を見出す実験的解明が必要であると考えられた。

圃場間の雑草発生パターンの類似性やイチビの隣接圃場への拡散実態からもわかるように、各圃場は完全に独立して存在しているわけではなく、大量に雑草を発生させてしまうことは、隣接する他人の圃場へ雑草を撒き散らす可能性が大きいことに注意を喚起する必要がある。少なくとも、圃場周辺の除草を徹底することによって、隣接圃場への拡散経路を遮断する必要があると思われる。こうした注意点については、個々の農家だけでなく、地域全体で実施していく必要がある。

5. 参考文献

渡辺修・黒川俊二・尾上桐子・吉村義則. 2002. 飼料作物の作付けからみた主要外来雑草の発生動向. 草地飼料作研究成果最新情報. 第16号: 55-56.

栃木県北酪農地帯における飼料作物品質 および土壌化学性の実態と施肥対策

飼料生産管理部 上席研究官 畠中哲哉

作物栄養研究室 須永義人 川地太兵 江波戸宗大

1. 背景・目的

近年、自給飼料の増産、自給率の向上が求められているが、酪農経営の実態としては規模拡大に伴い1戸あたりの家畜ふん尿の産出量が増大し、飼料畑へのふん尿投入量も過剰となり、過剰施用に起因する自給飼料の品質悪化や環境への負荷の増大が危惧されている。とくに耕地の拡大が頭数の規模拡大に追いつかない農家においては、飼料畑が冬期のふん尿の捨て場と化し、冬作の作付けが敬遠されている事例が見受けられる。

このような状況下、飼料作物の品質や土壌の化学的性状がどのような実態にあるのか、また多くの飼料畑圃場では雑草の繁茂が著しいが、雑草の発生・分布がふん尿施用や土壌の化学性とどのように関連しているのかなど、生産現場からの検討要望が出されていた。

そこで、本研究では栃木県北酪農地帯において、スラリーおよび堆肥等の還元利用を主体とする飼料作栽培において、飼料作物のミネラル品質ならびに土壌の化学成分の実態とその変化動向および雑草の発生・分布と土壌性状との関係について調査し、今後の施肥管理対策を提示することを目的とした。

2. 調査地域および方法

1) 調査地域および調査対象

栃木県北の塩原町、西那須野町、黒磯市に位置する酪農家等を調査対象とした。この地域は全国でも有数の酪農地帯であり、塩原町で8箇所、西那須野町で3箇所、黒磯市で3箇所の酪農家等について1999年から2002年までの4年間調査した。

2) 分析試料の採取および分析方法

栃木県北地域の酪農家等で生産されている飼料作物のサイレージを収集した。すなわち、スラリーで利用している農家8戸、堆肥で利用している農家3戸、未熟堆肥で利用している農家2戸、固液分離液で利用している農家1戸からサイレージを採取し、室内で風乾・粉碎後、ミネラル成分の分析を行った。ただし、pHとNO₃-Nの測定には未風乾試料を用いた。なお、堆肥で利用している農家2戸からはトウモロコシサイレージ用の原材料を分析に供した。また、放牧草地の場合は、新鮮な植物体を採取し、風乾して粉碎後、分析に供した。分析法は常法によった。

採取したサイレージの作付圃場を農家に選定してもらい、その圃場から5点(1ha以下の圃場では3点とした)の夏作跡地土壌を20~25cmの深さまで採取した。採取した土壌は室内で風乾し、2mm目の円孔ふるいで篩別した後、分析に供した。ただし、無機態窒素の測定には未風乾土を用い、分析は常法によった。さらに、採取した土壌の可給態窒素の分析については、風乾土壌10gにpH7.0リン酸緩衝液(M/15リン酸1カリウムとリン酸2ナトリウムで調製)50mlを添加・抽出し、その抽出液の吸光度(420nm)を測定する方法によった。

3. 結果および考察

1) 飼料作物のミネラル品質の実態と問題点

長大型飼料作物等におけるサイレージのミネラル品質等の分析結果を表1 (P29)に、また放牧草地の牧草等の分析結果を表2 (P30)に示した。表1の長大型飼料作物等はトウモロコシ、ソルガム、ライムギおよびグラス類で、表2の牧草等としてはトールフェスク、オーチャードグラス、チモシー、ペレニアルライグラスで、野草類はメヒシバ、ヒエ、イヌノフグリおよびカヤツリグサである。なお分析値の対照として、日本飼養標準 (1999年版)¹⁾における乳牛の要求量 (乳量は日当たり30kgのレベル) を併記した。

サイレージのpHは1戸を除いて3pH台であり、農家間の差は小さい。硝酸態窒素 (以下、 $\text{NO}_3\text{-N}$) 濃度は乾物あたり0.29~0.002%の範囲にあり、農家間の差が大きい。 $\text{NO}_3\text{-N}$ は反すう家畜に対して硝酸塩中毒といわれる酸素欠乏を生じさせ、家畜を急死 (急性中毒) させる原因物質である。硝酸塩中毒をもたらす飼料中の $\text{NO}_3\text{-N}$ 濃度の許容限界は0.2% (乾物%) 以内と考えられているが、最近ではむしろ硝酸態窒素による慢性中毒の危険性に対する危惧が高まっている。しかし、慢性中毒に対する許容限界についてはまだ明らかにされていない。1点のみ急性中毒の許容限度とされる0.2%を超えていた。

窒素 (以下、N) およびリン (以下、P) 濃度は農家間の差が小さい。P濃度は全般に要求量よりも低い値であった。カリウム (K) 濃度はミネラルの中で最も濃度が高く、農家間の差もかなり大きい。要求量よりもかなり高い値であった。しかも、K濃度はトウモロコシに比べてライムギやグラス類の方が高かった。カルシウム (以下、Ca) とマグネシウム (以下、Mg) 濃度は要求量よりも低かったが、農家間の差はCa濃度の方がMg濃度よりも大きかった。Ca濃度の中にはかなり低い農家もあり、石灰質資材の施用不足が伺える。ミネラルバランス $\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})$ 比はおおよそ半数の農家で目安とされる2.2を超えているが、これはKの高濃度、もしくはCaやMg成分の低濃度が影響しているものと考えられる。土壌中のKは作物によって過剰吸収されるが、CaおよびMgの吸収はK吸収と拮抗するので、土壌中のK濃度が高いほどそれらの吸収は低下する。したがって、Kの過剰吸収による作物体内の塩基比 ($\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})$) は上昇し、家畜のグラスステタニー (低Mg血症) の危険性を高めることになる。グラスステタニーとは、反すう家畜の胃内でのMg吸収が阻害されて血液中のMg濃度が低下する低Mg血症を起こし、家畜が興奮やけいれんなどの神経症状をあらわす疾病である。一般に飼料作物中の ($\text{K}/(\text{Ca}+\text{Mg})$) 比は2.2以下を目標としている。また、最近注目されているのがイオンバランス・DCAD (Dietary Cation-Anion Difference) であるが、これは飼料中の陽イオンと陰イオンの差 (イオンバランス) を示す値である。この値は飼料中の $(\text{K}+\text{Na}) - (\text{Cl}+\text{S})$ から求める。ここでポイントとなる成分はやはりKで、乳牛の乾乳後期において陽イオンであるK濃度の高い飼料の給与はCaの代謝に悪影響を及ぼし、乳熱や起立不能などの疾病を引き起こす要因となる。

飼料作物の生育には微量元素が必要であり、これらは作物体内に必要なかつ過剰にならない濃度で含まれていなければならない。一方、飼料作物の生育には必須ではないが家畜に対して必須な微量元素があり、微量元素を考える時、植物栄養としてのレベルと、家畜の飼料としてのレベルの両面から検討することが重要である。以下に述べる微量元素類は、作物体内では主に酵素の構成成分として栄養代謝を助ける働きをし、家畜では栄養障害や繁殖障害などに深い関わりを持つ元素である。作物や家畜は体内の要求量が微量なため欠

乏または過剰に反応し、特徴ある欠乏症状や過剰症状を示すことがある。鉄（以下、Fe）濃度は63~1,590mg/kgの範囲にあり、全サンプルで要求量である50mg/kgを満たしていた。一方、S牧場のグラスサイレージのFe濃度は1,590mg/kgで、泌乳牛の中毒発生限界とされる1,000mg/kgを超えていた。マンガン（以下、Mn）濃度は14~59mg/kgの範囲に、亜鉛（以下、Zn）濃度は13~43mg/kgの範囲にあり、両成分では大部分のサンプルで要求量（Mn濃度：40mg/kg、Zn濃度：40mg/kg）以下の濃度であった。銅（以下、Cu）濃度は4.1~9.4mg/kgの範囲にあり、全サンプルで要求量（Cu濃度：10mg/kg）以下の濃度であった。

次に、放牧草地の牧草の分析結果について述べる。N濃度は2%台で、長大型飼料作物のその約2倍の濃度であった。NO₃-N濃度は0.01~0.33%の範囲にあり、1点のみ急性中毒の許容限度とされる0.2%を超えていた。大部分の牧草は許容濃度以下であり、長大型飼料作物よりは高濃度であった。D圃場の牧野草のNO₃-N濃度は長大型飼料作物と差がなかった。P、K、CaおよびMg濃度は長大型飼料作物よりも高かったが、P濃度は要求量をクリアしたものの、CaおよびMg濃度は要求量よりもかなり低い濃度であった。K濃度は長大型飼料作物と同様に要求量よりも4倍も高かった。Fe濃度は155~3,986mg/kgの範囲にあり、全サンプルで要求量の50mg/kgを満たしていたが、中にはC1圃場のトールフェスクやC3圃場の混合乾草のように泌乳牛の中毒発生限界とされる1,000mg/kgを超えるサンプルもあった。Mn濃度は46~168mg/kgの範囲にあり、全サンプルで要求量である40mg/kgを満たしていた。一方、Zn濃度は28~49mg/kgの範囲に、Cu濃度は6.4~16.5mg/kgの範囲にあり、要求量とほぼ同等の濃度であった。

2) 飼料畑土壌および放牧草地土壌の化学性の実態と問題点

良質の飼料作物を低コストで多収生産するためには適正な施肥管理が重要で、それは土壤診断から始まるといっても過言ではない。土壤診断は土壤の養分状態（過不足）を数値で示したもので、土壤養分の変化の方向を把握する手段であり、人間の健康診断に例えられる。人間の健康診断には、定期的な診断と体調が異常なときに受ける診断があるように、土壤診断にも定期的に分析をして圃場（土壌）の状態をチェックする場合と、飼料作物の生育障害が発生したときにその原因を追求するために行なう場合がある。土壤の養分状態が基準値内であれば目標とする収量や品質の飼料作物を栽培・収穫できる。しかし、基準値に達しなければ収量が低下したり、家畜の餌としての要求量に満たなくなる。基準値よりも過剰であれば収量は低下しないが品質が劣化し、家畜の健康に悪影響を及ぼすことになる。

飼料畑土壌の化学性に関する分析結果を表3に示した。土壤pHは、診断基準値⁴⁾で6.0~6.5が適正範囲である。土壤pHの値は5.2~6.7の範囲にあり半数以上の圃場は適正範囲内にあったが、上限値を上回った土壌が1点、下限値を下回った圃場が5点あった。交換性Caは15~24が適正範囲である。大部分の圃場は下限値を下回っており、石灰質資材の施用不足が伺える。特にFUやSH圃場では交換性Caの不足が顕著であった。交換性Mgは2~6が適正範囲である。大部分の圃場は適正範囲内にあるが、とくにFUやSH圃場ではCaと同様に交換性Mgの不足が顕著であった。交換性Kは0.3~1.0が適正範囲である。大部分の圃場は適正範囲内にあるが、上限値を上回った圃場が3点、下限値を下回った圃場が1点あった。とくにWA圃場は基準値の4倍と高く、早急に施肥による対応が必要である。陽イオン交換容量は20以上が適正である。20以下の圃場は4点と少なく、大部分の圃場

は適正であった。Ca飽和度は40～70%が適正範囲である。上限値の70%を上回る圃場が5点もあり、Ca飽和度は陽イオン交換容量の低い圃場で高くなる傾向を示した。とくにMOとMA圃場は100%以上の値であり、交換性Caが明らかに過剰であった。交換性Caが低かったFU圃場のCa飽和度は15%と最低値を示した。塩基飽和度は60～90%が適正範囲である。Ca飽和度と同様に、塩基飽和度は陽イオン交換容量の低い圃場で高くなった。とくにMO、MAおよびWA圃場の値は130%以上と異常に高い値であった。Ca/Mgの値は4～8が適正範囲である。ほとんどの圃場は適正範囲内にあるが、下限値に近い圃場が多く、下限値を下回る圃場が2点あった。Mg/Kの値は2～8が適正範囲である。ほとんどの圃場は適正範囲内にあるが、上限値に近い圃場が多かった。有効態リン酸は10～30が適正範囲である。大部分の圃場は適正範囲内であったが、8圃場で上限値を上回るなどリン酸質資材の過剰施用の影響が認められる。

一方、放牧草地土壌の化学性の結果を表4(P32)に示した。土壌pHの値は目標値³⁾(6.0～6.5)の下限値付近が多く、飼料畑土壌よりもやや低かった。交換性Caは10以上が目標値である。D草地の交換性Caは適正であったが、C1とC3圃場では下限値の10を下回っており、草地間差があった。交換性Mgは1.0以上が目標値であるが、すべての草地でこの値をクリアしており適正であった。交換性Kは0.4～0.6が目標値である。C1とC3圃場では下限値を下回って交換性Kが明らかに不足していたが、D圃場では逆に上限値を上回っており、草地間で差があった。陽イオン交換容量は20以上が目標である。C1とC3圃場では下限値を下回ったが、D圃場ではほぼ適正であり、草地間差があった。Ca飽和度は50～70%が目標値である。Ca飽和度はC1やC3圃場で上限値の70%を明らかに上回っており、陽イオン交換容量の低い圃場で高かった。D草地のCa飽和度はほぼ適正であった。塩基飽和度は60～80%が目標値である。塩基飽和度はCa飽和度と同様に、陽イオン交換容量の低い圃場で高くなった。Ca/Mgの値は5～10が目標値である。ほとんどの圃場は適正範囲内にあり、CaとMgのバランスはほぼ良好であった。Mg/Kの値は2以上が目標値である。ほとんどの圃場は目標値をクリアしており適正であったが、C1やC3圃場の中には10～20台の値があり、これは明らかな交換性K不足が原因であった。有効態リン酸は2以上が目標値である。すべての圃場で適正な値であったが、飼料畑土壌よりも高い傾向が認められた。

表 1 長大型飼料作物サイレージのミネラル等の品質

| (乾物あたり) | | | | | | | | | |
|---------|-------------|------|--------|-------------------------|--------|--------|---------|---------|------------------|
| 農家 | 作物種 | pH | N % | NO ₃ -N % | P % | K % | Ca % | Mg % | K/(Ca+Mg) 当量比 |
| IN | トウモロコシ | 3.91 | 1.18 | 0.29 | 0.23 | 2.03 | 0.14 | 0.10 | 3.4 |
| NA | トウモロコシ・ソルガム | 3.99 | 0.99 | 0.05 | 0.26 | 1.53 | 0.21 | 0.17 | 1.6 |
| FU | トウモロコシ | 3.67 | 1.01 | 0.03 | 0.26 | 1.45 | 0.13 | 0.14 | 2.1 |
| HO | トウモロコシ | 4.69 | 1.12 | 0.19 | 0.22 | 1.65 | 0.15 | 0.10 | 2.7 |
| HO | ライムギ | 4.60 | 0.57 | 0.002 | 0.27 | 2.15 | 0.22 | 0.09 | 3.0 |
| YA | トウモロコシ | 3.53 | 1.04 | 0.02 | 0.23 | 1.09 | 0.11 | 0.10 | 2.0 |
| US | トウモロコシ・ソルガム | 3.78 | 1.07 | 0.14 | 0.25 | 1.31 | 0.27 | 0.22 | 1.1 |
| J 学園 | トウモロコシ | — | 1.11 | 0.09 | 0.26 | 1.04 | 0.14 | 0.07 | 2.1 |
| S 牧場 | トウモロコシ | — | 0.96 | 0.01 | 0.29 | 1.24 | 0.16 | 0.08 | 2.1 |
| S 牧場 | グラス | — | 0.82 | 0.01 | 0.39 | 2.30 | 0.47 | 0.10 | 1.9 |
| IT | トウモロコシ | 3.84 | 1.03 | 0.07 | 0.24 | 1.14 | 0.07 | 0.10 | 2.5 |
| IT | グラス | 3.91 | 0.92 | 0.01 | 0.29 | 2.33 | 0.27 | 0.14 | 2.4 |
| WA | トウモロコシ原材料 | — | 1.06 | — | 0.26 | 2.25 | 0.25 | 0.17 | 2.2 |
| MA | トウモロコシ原材料 | — | 1.08 | 0.10 | 0.22 | 1.15 | 0.28 | 0.13 | 1.2 |
| 要求量 | | — | — | 0.2> | 0.37 | 0.80 | 0.61 | 0.20 | 2.2> |

| 農家 | 作物種 | Fe mg/kg | Mn mg/kg | Zn mg/kg | Cu mg/kg | 備考 ふん尿利用形態 |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| IN | トウモロコシ | 121 | 25 | 29 | 4.6 | スラリー |
| NA | トウモロコシ・ソルガム | 197 | 26 | 35 | 7.1 | 〃 |
| FU | トウモロコシ | 310 | 46 | 35 | 7.1 | 〃 |
| HO | トウモロコシ | 96 | 18 | 26 | 6.5 | 〃 |
| HO | ライムギ | 125 | 21 | 22 | 4.9 | 〃 |
| YA | トウモロコシ | 127 | 17 | 25 | 6.0 | 〃 |
| US | トウモロコシ・ソルガム | 112 | 32 | 43 | 5.7 | 未熟堆肥 |
| J 学園 | トウモロコシ | 63 | 19 | 20 | 4.1 | 〃 |
| S 牧場 | トウモロコシ | 100 | 14 | 17 | 6.0 | 固液分離液 |
| S 牧場 | グラス | 1,590 | 49 | 30 | 9.4 | 〃 |
| IT | トウモロコシ | 139 | 31 | 28 | 4.9 | 堆肥 |
| IT | グラス | 260 | 59 | 32 | 4.6 | 〃 |
| WA | トウモロコシ原材料 | 178 | 12 | 13 | 5.3 | 〃 |
| MA | トウモロコシ原材料 | 309 | 26 | 21 | 5.8 | 〃 |
| 泌乳牛の飼料の要求量 | | 50 | 40 | 40 | 10 | |
| 中毒発症限界 | | 1,000 | 1,000 | 500 | 100 | |

注) WA と MA のトウモロコシはサイレージ原材料、トウモロコシ・ソルガムは両草種の混播である。
 要求量は「日本飼養標準：乳牛」(1999)より引用、ただし乳量は日当たり 30kg のレベルである。

表2 放牧草のミネラル等の品質

(乾物あたり)

| 牧区 | 作物 | N % | NO ₃ -N % | P % | K % | Ca % | Mg % | K/(Ca+Mg) 当量比 |
|------|-------------|--------|-------------------------|--------|--------|---------|---------|------------------|
| C1-1 | トルフェスク (生草) | 2.01 | 0.19 | 0.39 | 3.37 | 0.23 | 0.18 | 3.2 |
| C1-2 | 〃 | 2.35 | 0.33 | 0.34 | 3.26 | 0.31 | 0.18 | 2.8 |
| C1-3 | 〃 | 2.25 | 0.18 | 0.42 | 3.49 | 0.23 | 0.17 | 3.5 |
| C1-4 | 〃 | 2.08 | 0.14 | 0.40 | 3.29 | 0.22 | 0.17 | 3.4 |
| C1-5 | 〃 | 2.01 | 0.11 | 0.39 | 2.97 | 0.25 | 0.17 | 2.9 |
| C3 | 乾草 | 2.03 | 0.13 | 0.40 | 3.19 | 0.35 | 0.25 | 2.1 |
| D1 | 牧草優占 | 2.45 | 0.08 | 0.43 | 3.31 | 0.30 | 0.23 | 2.5 |
| D2 | 〃 | 2.13 | 0.10 | 0.39 | 3.13 | 0.26 | 0.23 | 2.5 |
| D3 | 〃 | 2.77 | 0.05 | 0.43 | 4.08 | 0.29 | 0.15 | 3.9 |
| D4 | 牧草+野草 | 2.63 | 0.03 | 0.42 | 3.49 | 0.20 | 0.15 | 3.9 |
| D5 | 〃 | 2.42 | 0.01 | 0.44 | 3.76 | 0.26 | 0.14 | 3.9 |
| D6 | 〃 | 2.33 | 0.01 | 0.44 | 3.70 | 0.25 | 0.14 | 4.0 |
| D7 | 牧草主体 | 2.44 | 0.01 | 0.45 | 3.56 | 0.23 | 0.12 | 4.3 |
| D8 | 〃 | 2.47 | 0.02 | 0.44 | 3.78 | 0.24 | 0.13 | 4.3 |
| D9 | 〃 | 2.90 | 0.02 | 0.42 | 4.08 | 0.24 | 0.15 | 4.3 |
| 要求量 | | — | 0.2> | 0.37 | 0.80 | 0.61 | 0.20 | 2.2> |

| 牧区 | 作物 | Fe mg/kg | Mn mg/kg | Zn mg/kg | Cu mg/kg |
|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| C1-1 | トルフェスク (生草) | 1,003 | 119 | 35 | 10.2 |
| C1-2 | 〃 | 397 | 99 | 36 | 9.3 |
| C1-3 | 〃 | 500 | 129 | 45 | 16.9 |
| C1-4 | 〃 | 633 | 108 | 39 | 11.1 |
| C1-5 | 〃 | 1,705 | 151 | 43 | 12.9 |
| C3 | 乾草 | 3,986 | 168 | 49 | 16.5 |
| D1 | 野草優占 | 300 | 46 | 38 | 8.2 |
| D2 | 〃 | 305 | 68 | 42 | 8.1 |
| D3 | 〃 | 433 | 79 | 30 | 8.7 |
| D4 | 牧草+野草 | 287 | 69 | 32 | 10.1 |
| D5 | 〃 | 155 | 59 | 28 | 7.9 |
| D6 | 〃 | 657 | 94 | 35 | 9.3 |
| D7 | 牧草主体 | 210 | 82 | 35 | 6.4 |
| D8 | 〃 | 256 | 82 | 34 | 6.7 |
| D9 | 〃 | 560 | 87 | 29 | 9.9 |
| 泌乳牛の飼料の要求量 | | 50 | 40 | 40 | 10 |
| 中毒発生限界 | | 1,000 | 1,000 | 500 | 100 |

注) 要求量は「日本飼養標準:乳牛」(1999)より引用、ただし 乳量は日当たり30kgのレベルである。

表3 飼料畑土壌における化学成分の実態

(乾土 100g あたり)

| 農家 | pH | EC mS/m | 無機態(mg) | | 交換性塩基(mg 当量) | | | 塩基バランス(当量比) | |
|------|---------|------------|--------------------|--------------------|--------------|-----|---------|-------------|------|
| | | | NH ₄ -N | NO ₃ -N | Ca | Mg | K | Ca/Mg | Mg/K |
| IN 1 | 6.7 | 6.5 | 1.6 | 1.7 | 19.1 | 5.6 | 1.3 | 3 | 4 |
| | 6.3 | 4.3 | 1.5 | 1.4 | 13.1 | 2.9 | 0.4 | 5 | 9 |
| NA | 6.0 | 4.2 | 1.3 | 1.0 | 9.6 | 2.1 | 0.4 | 5 | 8 |
| FU | 5.3 | 4.8 | 1.4 | 1.5 | 4.2 | 0.7 | 0.1 | 6 | 6 |
| HO | 6.3 | 4.6 | 1.4 | 1.1 | 13.5 | 3.7 | 0.5 | 4 | 7 |
| YA | 6.4 | 6.5 | 1.4 | 1.5 | 14.2 | 5.0 | 0.6 | 3 | 8 |
| MO | 6.4 | 18.9 | 5.6 | 8.1 | 28.2 | 6.7 | 0.7 | 4 | 10 |
| SH | 5.2 | 8.6 | 7.5 | 3.0 | 5.9 | 1.0 | 1.4 | 6 | 1 |
| FN | 5.8 | 8.5 | 7.0 | 3.0 | 12.2 | 2.2 | 1.1 | 6 | 2 |
| US | 6.0 | 4.1 | 1.6 | 1.2 | 11.8 | 2.5 | 0.7 | 5 | 7 |
| J 学園 | 5.9 | 3.6 | 3.0 | 0.9 | 10.0 | 2.1 | 0.5 | 5 | 8 |
| IT | 5.7 | 6.2 | 1.3 | 1.8 | 10.8 | 2.6 | 0.5 | 4 | 5 |
| WA | 6.2 | 7.2 | 2.0 | 2.4 | 20.5 | 4.7 | 4.1 | 4 | 2 |
| MA | 6.2 | 9.4 | 6.9 | 2.2 | 23.1 | 4.0 | 2.5 | 6 | 3 |
| 基準値 | 6.0-6.5 | - | - | - | 15-24 | 2-6 | 0.3-1.0 | 4-8 | 2-8 |

注) 基準値は「関東東海地域飼料畑土壌診断基準値」の火山灰土壌の値である。
INの1はスラリーの多施用圃場、数値は3~5点の平均値で表示。

(乾土 100g あたり)

| 農家 | 陽イオン交換容量 mg 当量 | Ca 飽和度 % | 塩基飽和度 % | 有効態リン酸 P ₂ O ₅ (mg) | 備考 ふん尿利用形態 |
|------|-------------------|-------------|------------|--|---------------|
| | | | | | |
| 2 | 28 | 47 | 59 | 38 | 〃 |
| NA | 24 | 41 | 51 | 10 | 〃 |
| FU | 29 | 15 | 18 | 19 | 〃 |
| HO | 33 | 42 | 55 | 40 | 〃 |
| YA | 26 | 56 | 79 | 22 | 〃 |
| MO | 18 | 160 | 202 | 134 | 〃 |
| SH | 15 | 41 | 57 | 18 | 〃 |
| FN | 14 | 91 | 115 | 14 | 〃 |
| US | 30 | 39 | 49 | 24 | 未熟堆肥 |
| J 学園 | 15 | 90 | 111 | 37 | 〃 |
| IT | 31 | 35 | 45 | 42 | 堆肥 |
| WA | 23 | 92 | 130 | 35 | 〃 |
| MA | 20 | 118 | 151 | 33 | 〃 |
| 基準値 | 20< | 40-70 | 60-90 | 10-30 | |

注) 有効態リン酸はトルオーグ法(0.002N H₂SO₄ pH3.0可溶性P₂O₅)による。

表4 放牧草地における土壌化学成分の実態

(乾土 100g あたり)

| 放牧 草地 | pH | EC | 無機態 (mg) | | 交換性塩基 (mg 当量) | | | 塩基バランス(当量比) | |
|----------|------------------|------|--------------------|--------------------|---------------|------|---------|-------------|------|
| | H ₂ O | mS/m | NH ₄ -N | NO ₃ -N | Ca | Mg | K | Ca/Mg | Mg/K |
| C1-1 | 6.0 | 2.4 | 2.1 | 0.6 | 8.3 | 1.4 | 0.2 | 6 | 8 |
| C1-2 | 5.8 | 6.5 | 10.8 | 1.4 | 8.1 | 1.2 | 0.3 | 7 | 3 |
| C1-3 | 6.1 | 3.1 | 2.5 | 0.7 | 6.5 | 1.5 | 0.2 | 4 | 7 |
| C1-4 | 5.8 | 3.2 | 1.8 | 1.7 | 6.3 | 1.2 | 0.1 | 5 | 17 |
| C1-5 | 5.8 | 1.5 | 1.7 | 0.2 | 4.1 | 0.7 | 0.1 | 6 | 6 |
| C3-1 | 6.0 | 2.3 | 2.0 | 0.5 | 5.4 | 1.2 | 0.1 | 5 | 8 |
| C3-2 | 5.8 | 1.9 | 2.1 | 0.6 | 4.4 | 1.0 | 0.0 | 4 | 26 |
| D1 | 6.0 | 4.1 | 3.2 | 1.1 | 19.7 | 3.2 | 0.1 | 6 | 23 |
| D2 | 5.5 | 3.5 | 2.5 | 1.0 | 7.2 | 1.3 | 0.2 | 5 | 6 |
| D3 | 5.8 | 5.2 | 3.6 | 1.3 | 13.7 | 3.2 | 0.9 | 4 | 4 |
| D4 | 6.0 | 2.1 | 2.7 | 0.4 | 10.3 | 2.4 | 1.1 | 4 | 2 |
| D5 | 6.0 | 3.9 | 2.7 | 1.0 | 17.0 | 4.0 | 1.2 | 4 | 3 |
| D6 | 5.8 | 4.7 | 3.3 | 1.2 | 11.6 | 2.9 | 1.1 | 4 | 3 |
| D7 | 5.8 | 4.3 | 2.9 | 0.9 | 13.8 | 2.3 | 0.2 | 6 | 10 |
| D8 | 6.0 | 4.6 | 2.4 | 0.9 | 12.7 | 2.6 | 1.3 | 5 | 2 |
| D9 | 6.0 | 4.5 | 2.4 | 0.9 | 10.8 | 3.1 | 1.2 | 4 | 3 |
| 目標値 | 6.0-6.5 | - | - | - | 10.0< | 1.0< | 0.4-0.6 | 5-10 | 2< |

注) 目標値は、平成8年版「草地診断の手引き」(日本草地協会発行)から引用した関東・中部地域の黒ボク土の暫定値である。

(乾土 100g あたり)

| 放牧 草地 | 陽イオン交換容量 mg 当量 | Ca 飽和度 % | 塩基飽和度 % | 有効態リン酸 P ₂ O ₅ (mg) |
|----------|-------------------|-------------|------------|--|
| C1-1 | 5.4 | 154 | 183 | 38 |
| C1-2 | 5.7 | 143 | 169 | 28 |
| C1-3 | 5.4 | 120 | 152 | 44 |
| C1-4 | 5.5 | 115 | 137 | 34 |
| C1-5 | 4.4 | 92 | 110 | 40 |
| C3-1 | 4.6 | 118 | 146 | 23 |
| C3-2 | 3.9 | 112 | 140 | 27 |
| D1 | 16 | 124 | 145 | 56 |
| D2 | 12 | 60 | 73 | 56 |
| D3 | 23 | 61 | 79 | 34 |
| D4 | 23 | 44 | 59 | 9 |
| D5 | 43 | 40 | 52 | 44 |
| D6 | 28 | 41 | 55 | 37 |
| D7 | 17 | 83 | 98 | 38 |
| D8 | 17 | 76 | 98 | 68 |
| D9 | 21 | 53 | 73 | 12 |
| 基準値 | 20< | 50-70 | 60-80 | 2< |

注) 有効態リン酸はトルオーグ法(0.002N H₂SO₄ pH3.0可溶性P₂O₅)による。

3) 飼料畑土壌の可給態窒素の実態と化学性との関係

飼料畑土壌について測定した結果を表5に示した。可給態窒素の診断基準値は定められていないが、農家圃場の平均値は6~9mg/100gの範囲にあり、圃場間の差は大きくなかった。最小値6.3mg/100gはスラリー施用圃場で、最大値9.5mg/100gは堆肥施用圃場であった。変動係数(CV%)は1.4~10.6と圃場間に差がみられた。

土壌の可給態窒素と化学成分の関係について検討した。全土壌、スラリー施用土壌とも可給態窒素は土壌pH、Ca、Mg、塩基合計および有効態P₂O₅と負の相関関係が認められた。

可給態窒素はふん尿施用、とくに堆肥の施用で高まりやすいが、交換性CaやMg含量と交換性塩基の総量の増加およびpHの上昇および有効態P₂O₅の増加と必ずしも一致していない。とくにスラリーではこの傾向が強く、交換性CaやMgおよびリン酸質資材の施用が必要とされる。今後、堆肥施用の調査事例を増やしてこれらの点を検証する必要がある(表6)。

表5 土壌の可給態窒素の実態

(乾土 100g あたり)

| 農家 | 可給態 N(mg) | | |
|------|-----------|------|-------|
| | 平均値 | 標準偏差 | 変動係数% |
| IN 1 | 7.4 | 0.6 | 8.1 |
| 2 | 7.1 | 0.1 | 1.4 |
| NA | 8.2 | 0.6 | 7.3 |
| FU | 9.4 | 1.0 | 10.6 |
| HO | 6.3 | 0.3 | 4.8 |
| YA | 8.0 | 0.5 | 6.2 |
| IT | 9.5 | 0.9 | 9.5 |
| US | 8.0 | 0.7 | 8.7 |

注) INの1はスラリーの多施用圃場(施用量は不明)。

表6 飼料畑土壌の可給態窒素と化学性との関係

| 化学性の項目 | スラリー施用土壌(n=20) | ふん尿施用全土壌(n=28) |
|-------------|----------------|----------------|
| 交換性 Ca | -0.596 ** | -0.571 ** |
| 交換性 Mg | -0.485 * | -0.451 * |
| 交換性塩基合計 | -0.560 * | -0.532 ** |
| Ca/Mg (当量比) | 0.490 * | 0.302 ns |
| Ca 飽和度 | -0.456 * | -0.500 ** |
| 塩基飽和度 | -0.430 ns | -0.469 * |
| 有効態リン酸 | -0.623 ** | -0.444 * |

注) ** 1%水準で有意, * 5%水準で有意, ns:有意なし

4) 雑草の発生と飼料畑土壌の化学性との関係

雑草(イチビとシヨクヨウガヤツリ)の発生と土壌の化学成分との関係について検討した(表7、8)。イチビの場合は化学成分と有意な関係は認められなかったが、シヨクヨウガヤツリの場合には土壌pH、交換性Ca、交換性Mg、交換性塩基合計、Ca飽和度、塩基飽和度およ

び有効態リン酸と負の相関関係が、またCa/Mg当量比と正の相関関係が認められた。すなわち、シヨクヨウガヤツリの発生量に対する土壤養分の多寡および肥培管理の関連が推察される。今後、雑草の種類や発生量に対する家畜ふん尿の利用など肥培管理の影響について長期的に検討する必要がある。

表7 スコア表示した雑草の発生状況

| 農家 | イチビ | | シヨクヨウガヤツリ | | 発生状況 | スコア |
|------|-------|-------|-----------|-------|------|-----|
| | 1999年 | 2000年 | 1999年 | 2000年 | | |
| IN 1 | 0 | 20 | 0 | 0 | なし | 0 |
| 2 | 0 | 20 | 0 | 0 | 点在 | 10 |
| NA | 20 | 20 | 20 | 30 | 局所 | 20 |
| FU | 10 | 0 | 30 | 30 | 多発 | 30 |
| HO | 10 | 10 | 0 | 0 | | |
| YA | 10 | 30 | 0 | 10 | | |
| IT | 10 | 10 | 0 | 0 | | |
| US | 20 | 30 | 20 | 20 | | |

表8 雑草の発生状況と土壤成分との関係 (数値は単相関係数)

| | イチビ | | シヨクヨウガヤツリ | |
|----------------------|---------|--------|-----------|----------|
| | 1999年 | 2000年 | 1999年 | 2000年 |
| pH(H ₂ O) | -0.408 | 0.632 | -0.722* | -0.605 |
| EC(mS/cm) | -0.446 | 0.062 | -0.544 | -0.461 |
| NH ₄ -N | -0.277 | 0.437 | -0.080 | -0.231 |
| NO ₃ -N | -0.598 | -0.200 | -0.350 | -0.441 |
| 無機態 N | -0.654 | -0.002 | -0.349 | -0.494 |
| 可給態 N | 0.287 | -0.343 | 0.485 | -0.067 |
| 交換性 Ca | -0.481 | 0.562 | -0.776* | -0.720* |
| 交換性 Mg | -0.472 | 0.531 | -0.777* | -0.662 |
| 交換性 K | -0.331 | 0.464 | -0.488 | -0.496 |
| 交換性塩基合計 | -0.479 | 0.559 | -0.774* | -0.705 |
| Ca/Mg(当量比) | 0.313 | -0.537 | 0.869** | 0.690 |
| Mg/K(当量比) | 0.164 | 0.428 | -0.012 | 0.130 |
| 陽イオン交換容量 | -0.491 | -0.251 | -0.347 | -0.591 |
| Ca 飽和度 | -0.304 | 0.762* | -0.736* | -0.552 |
| 塩基飽和度 | -0.319 | 0.741* | -0.742* | -0.553 |
| 有効態リン酸 | -0.742* | -0.133 | -0.748* | -0.909** |

注) **1%水準で有意, *5%水準で有意 (n=8)

5) 飼料畑土壤の化学成分の変化動向

今回の調査結果を1980年に行われたそれ²⁾と比較し、土壤の化学成分の変化動向を検討した。なお、変化については、サンプル点数の関係からスラリーを施用している酪農家に限定し、土壤分析値の平均値を比較することで考察した(表9)。

表9 スラリー施用農家圃場における土壌化学成分の変化動向

(乾土 100g あたり)

| 調査年次 | pH | 交換性塩基(mg 当量) | | | 塩基バランス(当量比) | | 有効態リン酸 |
|-------|------------------|--------------|-----|---------|-------------|------|------------------------------------|
| | H ₂ O | Ca | Mg | K | Ca/Mg | Mg/K | P ₂ O ₅ (mg) |
| 1980年 | 6.6 | 13.9 | 3.8 | 0.8 | 3.7 | 4.9 | 13.7 |
| 2000年 | 6.2 | 12.3 | 3.3 | 0.6 | 4.3 | 7.2 | 29.8 |
| 検 定 | ns | ns | ns | ns | ns | * | * |
| 基準値 | 6.0-6.5 | 15-24 | 2-6 | 0.3-1.0 | 4-8 | 2-8 | 10-30 |

注) 基準値は関東地域における飼料畑土壌の土壌診断基準値(火山灰土壌)である。

有効態リン酸はトルオーグ法(0.002N H₂SO₄ pH3.0 可溶性 P₂O₅)による。

*5%水準で有意 (n=6)

スラリー施用圃場における土壌化学成分の分析結果を1980年と2000年で比較すると、土壌pH、交換性Ca、MgおよびKは2000年の方が低く、逆に塩基バランスと有効態リン酸は2000年の方が高かった。統計的には塩基バランスのMg/Kと有効態リン酸が5%水準で有意差が認められた。Mg/K比の上昇は交換性Kの低下が、有効態リン酸の上昇はリン酸質資材の多量施用がその理由と推察されるが、検証のためには農家等におけるふん尿の施用量や化学肥料等の施用量についての聞き取り調査を行う必要がある。参考データとして以下の表(参考1, 2)を示す。

参考1 1980年調査におけるスラリー施用量および化学肥料施用量

(畠中ら, 草地試研報 25号, 1983)

| スラリー施用量(t/10a) | 最大 | 最小 | 平均 | |
|-----------------|-------------------------------|------|------|------|
| 夏作 | 7 | 4 | 5.7 | |
| 冬作 | 12 | 2.8 | 7.8 | |
| 年間 | 18 | 8.4 | 13.5 | |
| 化学肥料施用量(kg/10a) | | | | |
| 夏作 | | | | |
| | N | 11.2 | 3.7 | 8.1 |
| | P ₂ O ₅ | 22.4 | 5.6 | 10.3 |
| | K ₂ O | 11.2 | 3.7 | 8.1 |
| 冬作 | | | | |
| | N | 11.2 | 3.7 | 7.3 |
| | P ₂ O ₅ | 12.8 | 5.2 | 7.8 |
| | K ₂ O | 11.2 | 3.7 | 7.3 |
| 年間 | | | | |
| | N | 22.4 | 7.4 | 15.4 |
| | P ₂ O ₅ | 35.2 | 11.2 | 18.1 |
| | K ₂ O | 22.4 | 7.4 | 15.4 |

参考2 ある農家におけるスラリーの年間施用量の圃場別推移の例
(大田原農業改良普及所調べ, 単位 t/10a)

| 圃場番号 | 面積(a) | 1989年 | 1990年 | 1991年 | 1992年 |
|------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 170 | 12.3 | 8.8 | 26.5 | 13.0 |
| 2 | 190 | 23.7 | 23.7 | 0 | 12.0 |
| 3 | 70 | 8.6 | 25.7 | 8.6 | 25.7 |
| 4 | 70 | 25.7 | 8.6 | 25.7 | 8.6 |
| 計 | 500 | 18.0 (900t) | 16.8 (840t) | 13.8 (690t) | 13.8 (689t) |

注) かつこ内の数値は圃場還元総量(t)

6) 土壌診断結果に基づく施肥改善対策

土壌診断の結果、測定値が適正範囲に入らない場合には、不足および過剰の程度に応じて増肥および減肥する必要がある。診断結果が基準値以上の場合には養分の過剰程度に応じて減肥し、逆に基準値に達しなければその養分を補給することになる。ただし減肥する場合、3年に1度ぐらいは必ず土壌診断を受けて土壌養分の推移を監視する必要がある。土壌診断結果に基づく具体的な増肥および減肥量についてすでに設定されている都道府県もあれば、そうでない県もある。関東東海地域における有効態リン酸と交換性カリウムの例を表10と表11に示す。図1や図2に示すように、土壌の交換性Kや有効態リン酸については適正値を超えている場合が多く、範囲の上限値の1.5倍量までは施肥基準の80%程度、1.5~2.0倍量までは50%程度、2倍量以上は20%程度または施用中止とする、となっている。したがって、農家や圃場によって過剰レベルが異なることから、過剰なレベルに応じた施肥対策を講じる必要が認められた。

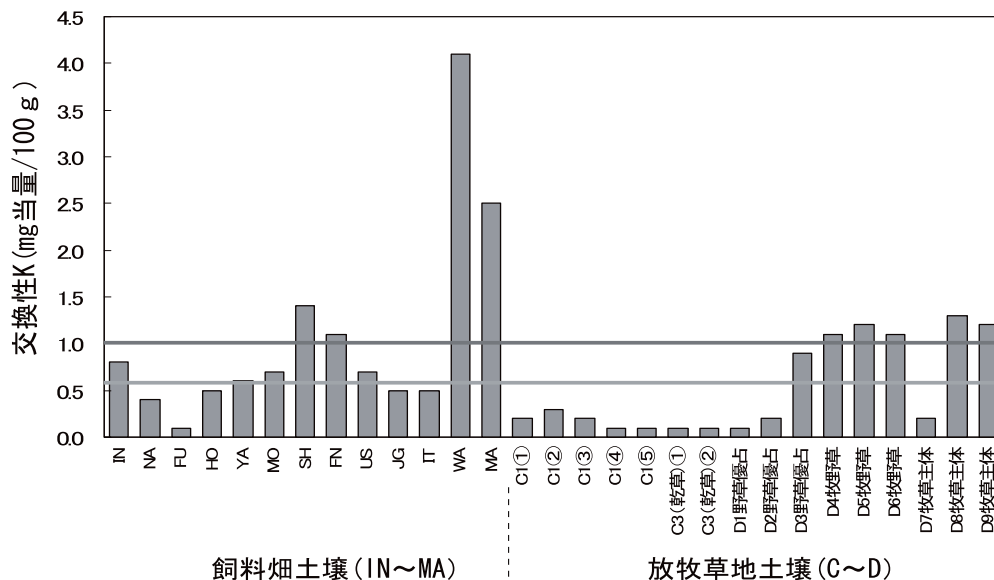


図1 飼料畑および放牧草地土壌の交換性カリウムの実態

注) 図中の上方の線は飼料畑土壌の診断基準値の上限値、
下方の線は草地土壌における目標値の上限値を示す。

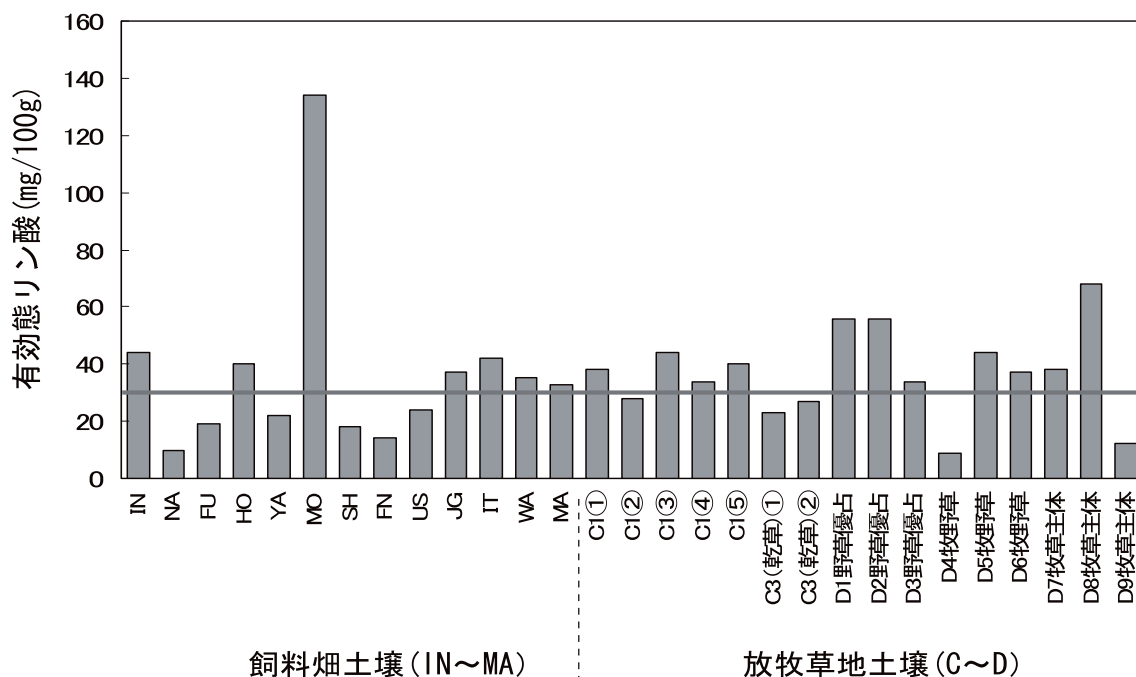


図2 飼料畑および放牧草地土壌の有効態リン酸の実態

注) 図中の線は飼料畑土壌の診断基準値の上限を示す。

表10 飼料畑土壌の交換性カリウムの測定値と施肥対応 (関東東海地域)

| 交換性カリウムの測定値(当量/100g 乾土) ¹⁾ | | 施肥対応 |
|---------------------------------------|-------------------|---|
| 非火山灰土壌 | 火山灰土壌 | 施肥基準によるが、状況により増肥する 施肥基準(標準施肥量)による 施肥基準の80%程度に減肥 施肥基準の20~50%程度に減肥 また家畜ふん尿の施用量を減らす カリ施肥を中止、また家畜ふん尿の施用量を減らす |
| 0.3以下(15mg>) | 0.3以下(15mg>) | |
| 0.3~0.6(15~30mg) | 0.3~1.0(15~50mg) | |
| 0.6~0.9(30~45mg) | 1.0~1.5(50~75mg) | |
| 0.9~1.2(45~60mg) | 1.5~2.0(75~100mg) | |
| 1.2以上(60mg<) | 2.0以上(100mg<) | |

1) : 当量/100g乾土、ただしカッコ内の数値はK₂Omg/100g乾土で表示

表11 飼料畑土壌の有効態リン酸の測定値と施肥対応 (関東東海地域)

| 有効態リン酸の測定値 ¹⁾ | 施肥対応 |
|--------------------------|--|
| 10> | リン酸資材の多量施用などの改良対策を考える |
| 10~30 | 施肥基準(標準施肥量)に従う |
| 30~45 | 施肥基準の80%程度に減肥 |
| 45~60 | 施肥基準の50%程度に減肥 |
| 60< | 施肥基準の20%程度に減肥 状況により施用中止、また家畜ふん尿の施用量を減らす |

1) : トルオーグリン酸 (P₂O₅mg/100g乾土) の値

3. まとめ

飼料作物のミネラル品質や土壌化学性の実態について調査した結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 粗飼料の品質として、硝酸態窒素濃度は大部分が急性中毒の許容限度とされる0.2%以内であったが、中には超えたサイレージもあった。牧草と長大型飼料作物の比較では、牧草の方が高濃度であった。また、ミネラル濃度は牧草の方が長大型飼料作物よりも高濃度で、Kを除くP、CaおよびMg成分は乳牛の要求量に満たなかった。さらに、微量要素濃度も同様に、牧草に比べて長大型の飼料作物で低濃度となりやすく、乳牛の要求量に対してかなり不足した。
- 2) 飼料畑における現状の土壌化学性はほぼ正常な性状であるが、一部の農家では適正範囲からはずれており、交換性Kや有効態リン酸の蓄積と交換性Caの不足が認められた。交換性Ca、MgおよびK成分間のバランスはほぼ良好であった。農家や圃場によって過不足のレベルが異なることから、化学成分の過不足の実態に応じた減肥および増肥対策を講じる必要がある。
- 3) スラリー利用している飼料畑土壌では20数年前に比べて有効態リン酸の蓄積が顕著に認められた。交換性Ca、MgおよびKは20数年前よりも下がる傾向を示したが、塩基バランスCa/MgとMg/Kは逆に上昇傾向を示した。
- 4) 雑草、とくにショクヨウガヤツリの発生・分布に対する土壌養分量および肥培管理の影響が推察され、相関のある土壌要因が抽出された。すなわち、ショクヨウガヤツリの発生量は土壌pH、交換性Ca、交換性Mg、交換性塩基合計、Ca飽和度、塩基飽和度および有効態リン酸と負の相関関係が、またCa/Mg当量比と正の相関関係が認められた。今後、雑草の種類や発生量に対する家畜ふん尿の利用など肥培管理の影響について長期的に検討する必要がある。

4. 参考文献

- 1) 中央畜産会：日本飼養標準（乳牛）、38～39（1999）
- 2) 畠中哲哉・倉島健次・木村武：家畜ふん尿施用土壌の土壌管理に関する研究 I）化学性からみた草地・飼料畑土壌の実態と問題点、草地試研報、25、48～59（1983）
- 3) 日本草地協会：草地診断の手引き、53～60（1996）
- 4) 農林水産省草地試験場：関東東海地域飼料畑土壌診断基準作成検討会報告、草地試験場資料No. 62-15、30～37（1988）

栃木県北酪農地帯における河川・井戸水等の水質実態とその背景

草地生態部 物質動態研究室

寶示戸雅之 松波寿弥

1. 栃木県北部地域の畜産環境実態

栃木県北部地域の草地飼料作物作付け面積は栃木県全体の6割を占め、畜産農家の1戸当たり面積も他地域に比べ大きく、当地域が家畜ふん尿を飼料作物に循環利用する、いわゆる土地利用型畜産を指向できる地域であることを示している。しかし我が国の畜産地帯全般が悪臭や水汚染といった家畜ふん尿に起因する環境汚染の危険性にさらされており、この地域も例外ではない。この背景には家畜ふん尿の処理利用時の不適切な取り扱いが内在するが、それ以前に耕地面積と家畜頭数の比率に根元的な問題がある。そこで、この地域で生産される家畜ふん尿に含まれる窒分量（窒素）を推計し、これと耕地面積と対比する方法により畜産環境問題の背景を考察した。

なお、本稿における栃木県北部地域は塩原町、塩谷町、氏家町、高根沢町、南那須町および烏山町を結ぶラインより北側の16市町村を含む広い範囲を示す。これは統計情報の区分による仕切りである。

1) 家畜飼養頭数によるふん尿発生量の推定

家畜一頭が排泄するふん尿と各畜種家畜頭数から、その地域の平均的なふん尿排泄量とそれに含まれる窒素養分を算出することができる。ただし、この推定値は排泄時点のものであり、貯留、堆積等の処理過程や散布時の損失などが全くないと前提条件での値であるので、数値そのものが現実の問題に直結するものではない。

2) ふん尿窒素発生量の経年推移

昭和24年以降の栃木県全体の家畜ふん尿発生量は1973-77年を除くと、1988年ごろまではほぼ、直線的に増大し、それ以降はほぼ一定値を維持している（図1）。この間の畜種別の割合は、一貫して乳牛>肉牛>豚>採卵鶏の傾向である。家畜ふん尿に含まれる窒素成分もほぼ同様の傾向を示すが（図2）、採卵鶏由来の窒素成分の割合がふん尿発生量と比較する場合より高いことが特徴である。

一方、栃木県北部地域に限ってみると、上記の第4期（1988年以降）においても乳用牛を除いて緩やかな増加傾向にある（図3）。窒素成分でも同様の傾向がみられ（図4）、現在もなおふん尿窒素は増加しつづけている。乳牛ふん尿の窒素が最大であるが、その増加傾向はすでに停止し、肉牛、豚、採卵鶏が微増傾向を支えている。

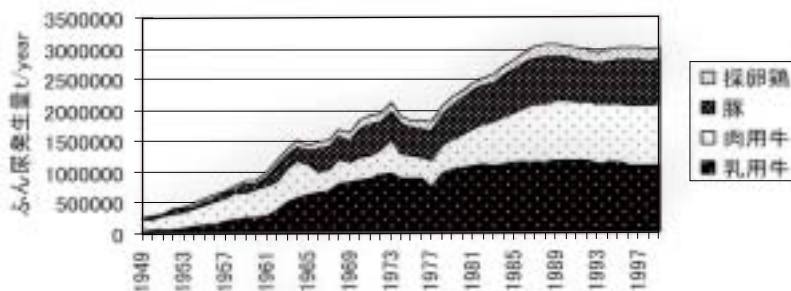


図1 栃木県の家畜ふん尿発生量推移

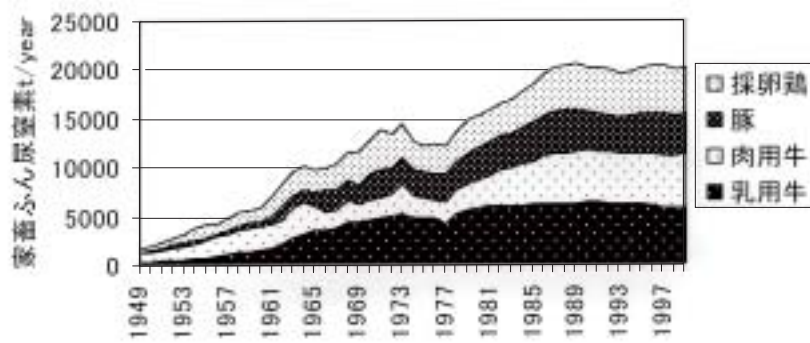


図2 栃木県の家畜ふん尿窒素発生量の推移

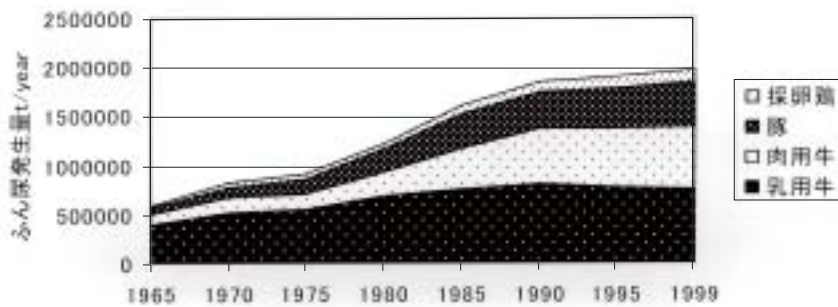


図3 栃木県北部における家畜ふん尿発生量の推移

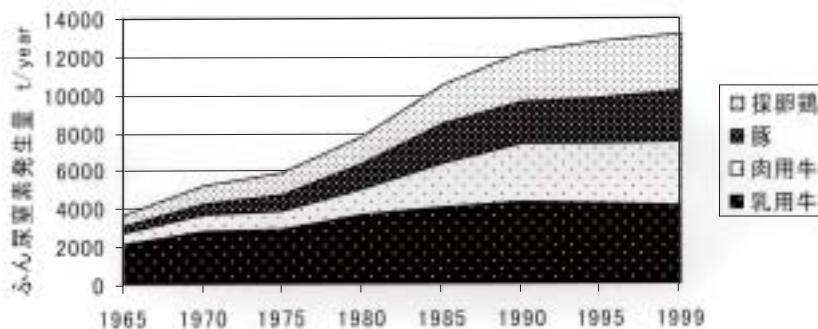


図4 栃木県北部における家畜ふん尿窒素発生量の推移

3) 面積あたりふん尿窒素発生量

家畜ふん尿に含まれる窒素成分量をすべて、耕地に施用したと仮定して面積当たりの窒素負荷ポテンシャルを算出した(図5)。1970年以降、栃木県全体の平均値は83kg/haから151kg(1999年)までほぼ倍増しているが、栃木県北部に限ってみると98kg/haが251kgと増加傾向が著しい。ただし251kg/haの絶対値は、貯留や処理過程での損失、施用時の揮散、土壌吸着等の減少要因を考慮するとそれほど高い値ではない。

ところが、上記のふん尿窒素成分を施用する対象として草地飼料畑に限定すると(図6)、状況は大きく異なる。栃木県全体の平均値は2424→1104→1305→1523kg/haと1970年から80年にかけて一旦大きく減少した後、漸増傾向が続いている。栃木県北部では1379→796→1092→1234kg/haと栃木県全体よりは小さい値ながら同様の変動を示した。これらの不

自然な変動は草地飼料畑面積と家畜飼養頭数の増大の時差によるものであり、北部の値が小さいのは南部に比べ草地飼料畑面積が大きいことによる。ここで重要なのは、栃木県北部の数値が 1200kg/ha を越えていることと、依然として増加傾向にあることである。1200kg/ha は前提条件で示したように、排泄された直後の窒素量であるので、これがそのまま草地飼料作畑に施用されるわけではないが、潜在的発生量としては極めて高い。たとえば、草地飼料作畑における窒素収奪量に対する比率として計算すると（図7）、栃木県北部で6、すなわち収奪量の6倍量の窒素が発生していることになる。たとえこれが潜在量であって、多くの減少要因があるとしても、過剰傾向にあることは確かである。

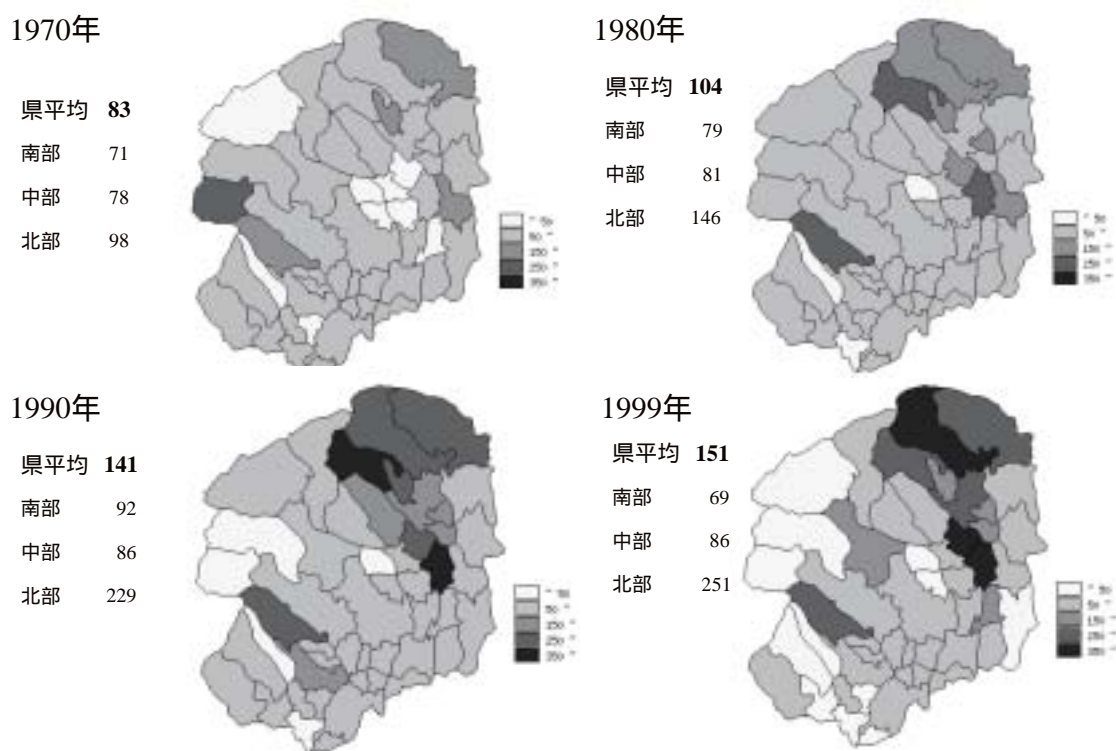


図5 耕地面積当たり家畜ふん尿窒素発生量の経年変化(kg/ha)

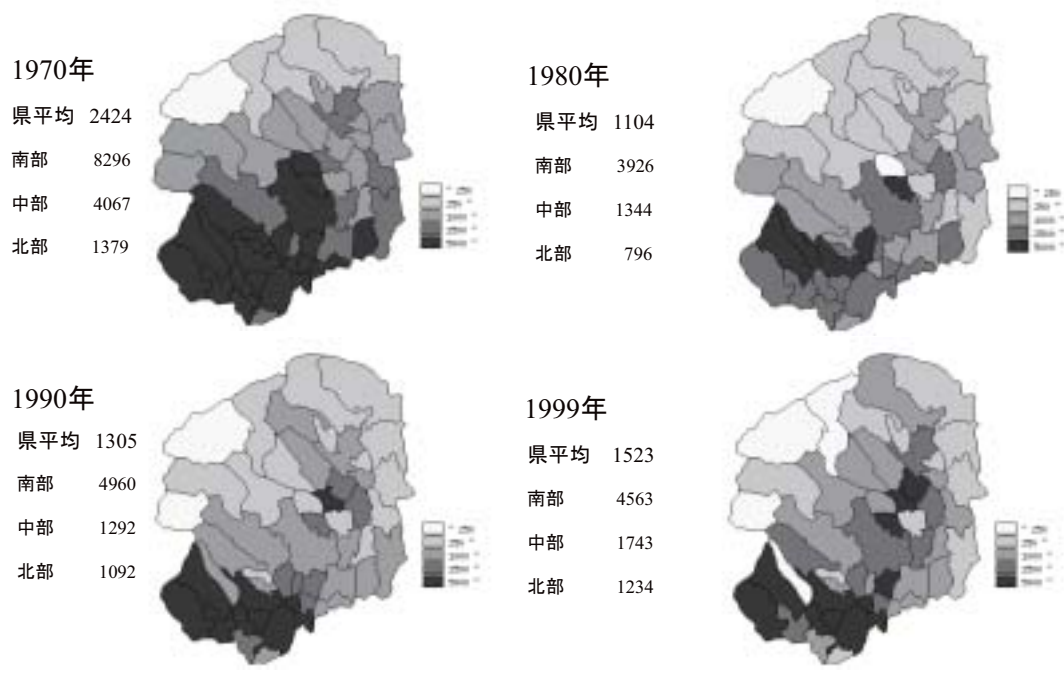


図6 草地飼料畑面積当たり家畜ふん尿窒素発生量 (kg/ha)
 (牧草、青刈りトウモロコシ、青刈りエン麦、ソルガム、飼料カブの合計)

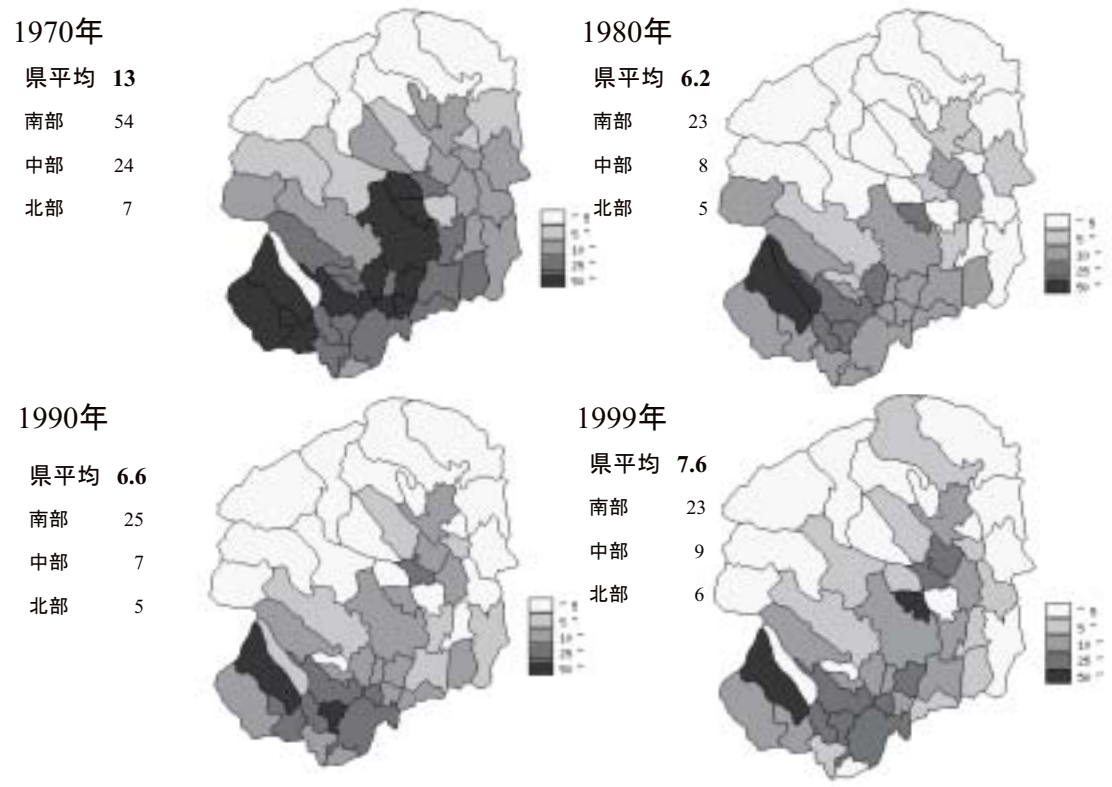


図7 草地飼料畑における作物収奪窒素量に対する家畜ふん尿窒素発生量

2. 那珂川水系水質の経年変化

栃木県より毎年発行されている「栃木県水質年表」を用い、栃木県北酪農地域の公共用水域水質の経年変化を調査した。

1) 公共用水域の水質調査の概要

環境基準は、工場・事業場等からの排出水の許容限度ではなく、環境保全上の目標値であり、「人の健康の保護に関する環境基準」と「生活環境の保全に関わる環境基準」とに分けられている。水質汚濁に関わる環境基準は昭和46年に環境庁より告示された。その後、項目の追加や基準値の改正等が行われ、平成11年には「人の健康の保護に関する環境基準」に硝酸性窒素および亜硝酸性窒素が追加された。栃木県では「公共用水域および地下水の水質測定計画」に基づき、公共用水域の環境基準地点67および補助地点61、計128地点について、毎年水質調査を行っており、生活環境項目としてpH、BOD（生物化学的酸素消費量）、COD（化学的酸素消費量）、SS（懸濁物質）、DO（溶存酸素量）、大腸菌群数が、富栄養化関連項目として、全リン、全窒素、アンモニア性窒素、亜硝酸性窒素、硝酸性窒素が測定されている。

2) 那珂川水系の水質の概要

本県の大半の河川は、那珂川、鬼怒川・小貝川および渡良瀬川の3大水系に分けられ、その流域は県土のほぼ3分の1ずつに等分されている。栃木県北酪農地帯が存在する那珂川水系では環境基準値点15、補助地点17、計32地点において水質調査が行われている。那珂川水系に属する河川の15水域における環境基準類型指定状況（類型指定の環境基準については表1を参照のこと）はAAまたはA類型であり、環境基準（BOD75%値）を超える水域数も経年的に他の水系と比べて少ない（表2）。那珂川水系をのぞく2大水系に属する水域では全窒素濃度が2~4ppmを示す測定地点の出現頻度が最も高いが、那珂川水系に属する水域では全窒素濃度が2ppmを超える地点は希であり、約半分の地点が1ppm以下である（平成11年度、表3）。これらのことから那珂川水系の水質は生活環境項目（BOD）、富栄養化関連項目（全窒素）のいずれの点からも他の水系と比べて良好であるといえる。

表1 生活環境の保全に関する環境基準

| 類型 | 利用目的の適応性 | 基準値 | | | | |
|----|-------------|---------|----------|----------------|-----------|----------------|
| | | pH | BOD | SS | DO | 大腸菌群数 |
| AA | 水道1級、自然環境保全 | 6.5~8.5 | 1 mg/L> | 25 mg/L> | 7.5 mg/L< | 50 MPN/100mL> |
| A | 水道2級、水産1級 | 6.5~8.5 | 2 mg/L> | 25 mg/L> | 7.5 mg/L< | 000 MPN/100mL> |
| B | 水道3級、水産2級 | 6.5~8.5 | 3 mg/L> | 25 mg/L> | 5.0 mg/L< | 000 MPN/100mL> |
| C | 水道3級、工業用水1級 | 6.5~8.5 | 5 mg/L> | 50 mg/L> | 5.0 mg/L< | |
| D | 工業用水2級、農業用水 | 6.0~8.5 | 8 mg/L> | 100 mg/L> | 2.0 mg/L< | |
| E | 工業用水3級、環境保全 | 6.0~8.5 | 10 mg/L> | ゴミの浮遊が認められないこと | 2.0 mg/L< | |

*水道1級…濾過等による簡易な浄化操作を行うもの、水道2級…沈殿濾過等による通常の浄化操作を行うもの、水道3級…前処理等を伴う高度の浄化操作を行うもの。

表2 各水系の環境基準類型指定状況と環境基準を達成していない水域数

| 水系名 | 類型 | 水域数 | 年度 | | | | |
|---------|----|-----|------|------|------|------|------|
| | | | 1995 | 1996 | 1997 | 1998 | 1999 |
| 那珂川 | AA | 1 | | | | | 1 |
| | A | 14 | 5 | | | | 2 |
| 鬼怒川・小貝川 | AA | 2 | 2 | | | | |
| | A | 12 | 2 | 3 | | 2 | 4 |
| | B | 3 | 2 | 1 | 1 | | |
| | C | 4 | 2 | 3 | 1 | 2 | 1 |
| 渡良瀬川 | A | 12 | 2 | 3 | 1 | 3 | 3 |
| | B | 14 | 9 | 12 | 4 | 7 | 7 |
| | C | 2 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| | D | 1 | | | | | |
| | E | 1 | | | | | |

*：環境基準地点においてBODの環境基準適合率75%以上の水域を環境基準達成域とした

表3 栃木県内公共用水域における全窒素濃度（1999年）

| T-N濃度 (ppm) | 公共用水域名 | | | 栃木県全体 |
|----------------|---------|-----------|--------|-------|
| | 那珂川水系 | 鬼怒川・小貝川水系 | 渡良瀬川水系 | |
| | 出現頻度(%) | | | |
| 0～0.5 | 25.0 | 21.1 | 0.0 | 13.7 |
| 0.5～1 | 28.1 | 13.2 | 4.7 | 14.5 |
| 1～1.5 | 21.9 | 13.2 | 9.3 | 13.7 |
| 1.5～2 | 21.9 | 13.2 | 9.3 | 13.7 |
| 2～4 | 3.1 | 23.7 | 67.4 | 34.2 |
| 4～6 | 0.0 | 10.5 | 7.0 | 6.8 |
| 6～ | 0.0 | 5.3 | 2.3 | 3.4 |
| 平均 | 1.09 | 2.11 | 2.70 | 2.10 |
| 最大値 | 2.90 | 6.80 | 6.57 | 6.85 |
| 最小値 | 0.30 | 0.25 | 0.65 | 0.25 |
| n | 32 | 38 | 43 | 117 |

3) 那珂川水系水質の経年変化

図8に那珂川水系における全窒素濃度の経年変化を1983～88年、1989～93年、1994～1999年の各期間の平均値の推移で示した。那珂川水系の全窒素濃度は那珂川の新那珂橋より下流域、湯川下流域、大田原市内を流下する箒川、百村川、蛇尾川下流域および江川下流域で経年的に高く、これらの測定地点では概ね1.5ppm以上の濃度を示した。全窒素濃度の経年的増加は那珂川の昭明橋、黒羽付近および湯川の湯川橋付近で顕著であり、これらの測定地点では全窒素濃度が0.4～0.6ppm増加した。図9に那珂川水系における全リン濃度の経年変化を示した。全リン濃度は那珂川の昭明橋、湯川、松葉川および江川の末流で増加が明瞭であり、1994～99年の平均値で概ね0.1ppmあるいはそれ以上の濃度を示したが、他の測定地点では極めて低濃度で推移した。那珂川水系の水質は水系全体として大きな経年的変化は認められず、上述したように部分的に水質の悪化が懸念されるものの、比較的良好な水質状態が維持されているといえる。

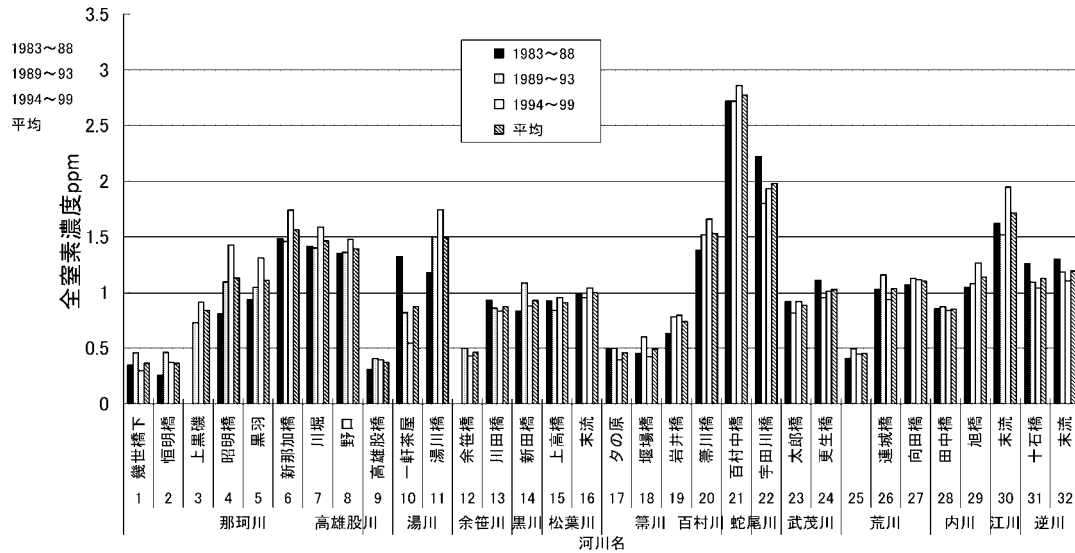


図8 那珂川水系の全窒素濃度の推移

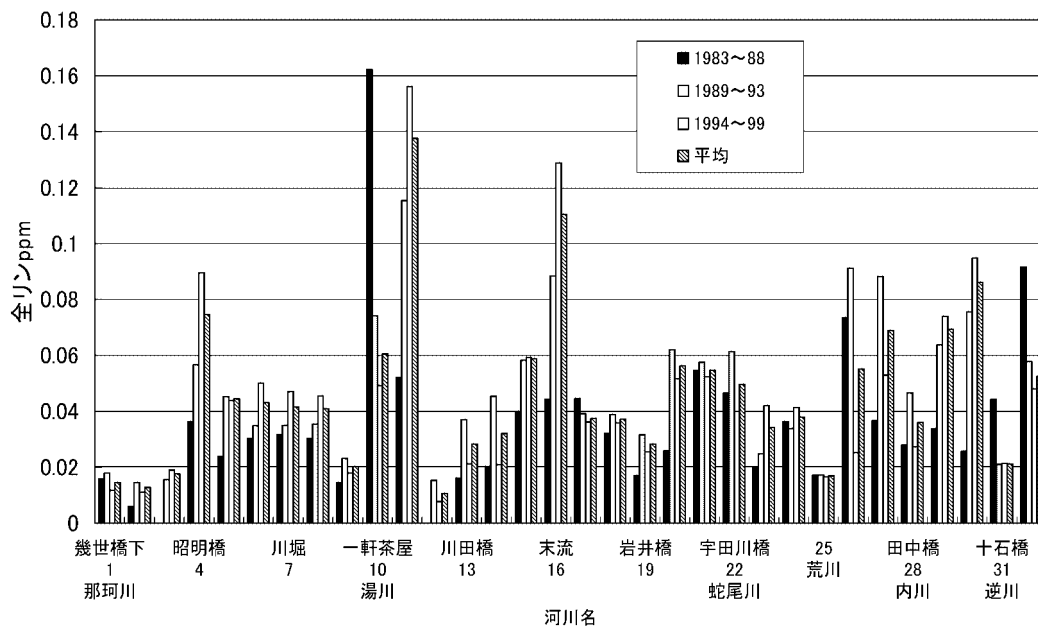


図9 那珂川水系の全リン濃度の推移

3. 那珂川水系河川の水質調査

那須野が原の地下水の水源は、河川の伏流水、降雨水の浸透であり、その内、河川の伏流水については蛇尾川、熊川がその主体である。これらの河川、特に熊川の上・中流域には畜産農家(乳用牛・肉用牛)が多数存在する。蛇尾川河川水は上流の発電所付近では表流しているが、著しい降雨があった場合をのぞき通常はそれより下流域では伏流し、塩那橋(塩那街道)と那須野橋(国道4号)の間まで水無し川になっている。伏流水の大部分は透水層の基底部である深さ約3mのところを流れ、表流水の少ない渇水期には半透水層と不透水層の境、深さ約6mのところを流れている。一方、熊川の地下構造も蛇尾川とほぼ同様であり、国道4号付近まで伏流し、大田原市内で蛇尾川に合流する。蛇尾川は箒川に合流した後、那珂川本流に流入する(図説那須野の地下水探査記録 1976年)。表4に蛇尾川、熊川の水質調査結果を示した。蛇尾川、熊川の全窒素濃度はいずれも上・中流域では極めて低かったが、河川水が表流し始める付近で著しく高くなっており、伏流部分のいずれかの地点で水質汚濁が発生している可能性が高い。いずれの河川でも上流域では本流、用水等流入水とも水温は低く、生活排水等の流入は極めて少ないと考えられる。一方、全窒素濃度が高い水域では、水温上昇が認められ、生活排水、工業排水等の影響が大きいと推測される。いずれの河川水的全窒素濃度も市街地を流下する間に2ppm以上に達した。大田原市内で蛇尾川に合流する支流の全窒素濃度は2.4ppmと極めて高く、こういった河川水の流入が蛇尾川的全窒素濃度を上昇させる一因となっていると考えられる。

表4 蛇尾川、熊川の河川水水質

| 河川 | 地点番号 | 水温 (°C) | pH | T-N 全窒素 (mg/L) | NO ₃ ⁻ -N 硝酸態窒素 (mg/L) | NH ₄ ⁺ -N アンモニア態 窒素 (mg/L) | T-P 全リン (mg/L) | PO ₄ ⁻ 可溶性リン (mg/L) | 備考 |
|-----|------|------------|------|----------------------|--|--|----------------------|---|-----------|
| 蛇尾川 | 1 | 8.3 | 7.84 | 0.2 | 0.1 | - | 0.023 | - | |
| | 2 | - | 7.66 | 0.2 | 0.1 | - | - | - | |
| | 3 | 15.2 | 7.23 | 1.1 | 1.1 | - | 0.01 | - | |
| | 4 | 13.7 | 7.37 | 0.8 | 0.7 | 0.03 | 0.055 | 0.03 | 焼却場近くの流入水 |
| | 5 | 13.6 | 7.11 | 1.3 | 1.3 | 0.03 | 0.015 | - | |
| | 6 | 13.6 | 6.69 | 1.8 | 1.8 | 0.03 | - | - | |
| | 7 | 13.6 | 6.68 | 2.4 | 2.4 | - | 0.009 | - | 蛇尾川支流 |
| | 8 | 13.7 | 6.9 | 2 | 2.0 | 0.03 | 0.026 | 0.02 | 蛇尾川・熊川合流後 |
| 熊川 | 1 | 8.7 | 6.57 | 0.2 | 0.2 | - | 0.005 | - | |
| | 2 | 7.1 | 6.95 | 0.2 | 0.2 | 0.03 | - | - | 熊川近くの小川 |
| | 3 | 7.4 | 6.96 | 0.2 | 0.2 | - | 0.001 | - | その下流 |
| | 4 | 7.5 | 6.7 | 0.2 | 0.2 | - | 0.006 | - | 用水路①からの流入 |
| | 5 | 7.5 | 6.79 | 0.3 | 0.2 | 0.04 | 0.005 | - | 流入水①混入後 |
| | 6 | 8.5 | 7.02 | 0.2 | 0.1 | 0.03 | 0.002 | - | 用水路からの流入水 |
| | 7 | 17.7 | 6.88 | 2.5 | 2.5 | 0.07 | 0.077 | 0.06 | |
| | 8 | 17.8 | 7.19 | 1.8 | 1.8 | 0.06 | 0.053 | 0.03 | |

表 5 栃木県北部における河川水質調査 2001. 1. 19

| 河川名 | 地点番号 | サンプル番号 | 水温(°C) | 硝酸性窒素(ppm) | 平均値 | |
|------|-----------------|--------|--------|------------|-------|------|
| 折戸用水 | 1 | 11 | 1.7 | 0.290 | 0.29 | |
| | | 12 | | 0.291 | | |
| | 2 | 21 | 2.7 | 0.256 | 0.26 | |
| | | 22 | | 0.255 | | |
| | 調査区間距離 7.3km | 3 | 31 | 1.9 | 0.234 | 0.24 |
| | | | 32 | | 0.237 | |
| 4 | | 41 | 1.8 | 0.228 | 0.23 | |
| | | 42 | | 0.223 | | |
| 武茂川 | 1 | 51 | 0.8 | 0.387 | 0.39 | |
| | | 52 | | 0.387 | | |
| | 2 | 61 | 0.4 | 0.447 | 0.45 | |
| | | 62 | | 0.445 | | |
| | 3 | 71 | 1.6 | 0.545 | 0.54 | |
| | | 72 | | 0.543 | | |
| | 4 | 81 | 1.4 | 0.520 | 0.52 | |
| | | 82 | | 0.522 | | |
| | 5 | 91 | 1 | 0.626 | 0.63 | |
| | | 92 | | 0.624 | | |
| 松葉川 | 1 | 101 | 1.1 | 0.411 | 0.42 | |
| | | 102 | | 0.424 | | |
| | 2 | 111 | 2 | 0.410 | 0.41 | |
| | | 112 | | 0.410 | | |
| | 3 | 121 | 2.8 | 0.549 | 0.55 | |
| | | 122 | | 0.552 | | |
| | 4 | 131 | 1.9 | 0.628 | 0.63 | |
| | | 132 | | 0.626 | | |
| | 5 | 141 | 1.8 | 0.620 | 0.62 | |
| | | 142 | | 0.620 | | |

一方、別途行った河川水質調査によれば（表5）、日の出地区近傍を流下する農業用水路（折戸用水）では窒素濃度上昇は観測されなかった。しかし、武茂川、松葉川のように、集水域が限定され、域内に畜産農家が点在するが大きな集落排水のない河川においては、絶対値は低いものの流下に伴い確実に硝酸態窒素濃度は上昇している。

これらの濃度上昇の原因としては、大流域河川では都市部における下水処理場の影響や農業以外の産業排水と、農業による汚染の双方が考えられ、現時点ではそれぞれの寄与率を算定することはできない。しかし、これらの数値が、この地域における家畜ふん尿発生量（潜在値）が畑の受容量を超えていることと無関係とは言い切れない。小流域の限定河川におけるわずかな窒素濃度上昇の原因が畜産農家を含む農業起源にある可能性は否定できない。

4. 蛇尾川周辺の井戸水水質調査

J 学園那須農場は蛇尾川河川敷から数 100m に位置し、敷地内には 30m 深（井戸 1）と 70m 深（井戸 2）の 2 つの井戸が存在する。この内、70m 深の井戸水については生活水として利用されている。当研究室では 2001 年 8 月よりこれらの井戸水の水質について調査を行っている。図 10 に 2001 年 8 月から 2002 年 12 月までの J 学園井戸水の窒素濃度の推移を示した。2 カ年とも夏の一定時期に浅井戸の窒素濃度は極端に高くなったが、その後、深井戸水とほぼ同水準（1.6ppm 前後）となり、ほぼ定常状態で推移した。一方、深井戸水の全窒素濃度は期間を通じて変動が少なかった。いずれの井戸水も全窒素のほとんどが硝酸性窒素で占められていた。出水時の蛇尾川の全窒素濃度は 0.31~1.2ppm の間で変動したが、硝酸性窒素濃度はいずれの場合も 0.3ppm 前後と極めて低かった（データ示さず）。J 学園井戸の水質は蛇尾川河川水の影響を強く受けると考えられるが、それと比べると井戸水の全窒素濃度や硝酸性窒素濃度は相対的に高く、農場内では恒常的に水質の汚染が発生している可能性がある。ただしその程度は軽微であるが、時期によっては懸念すべき水準に達することが示唆された。

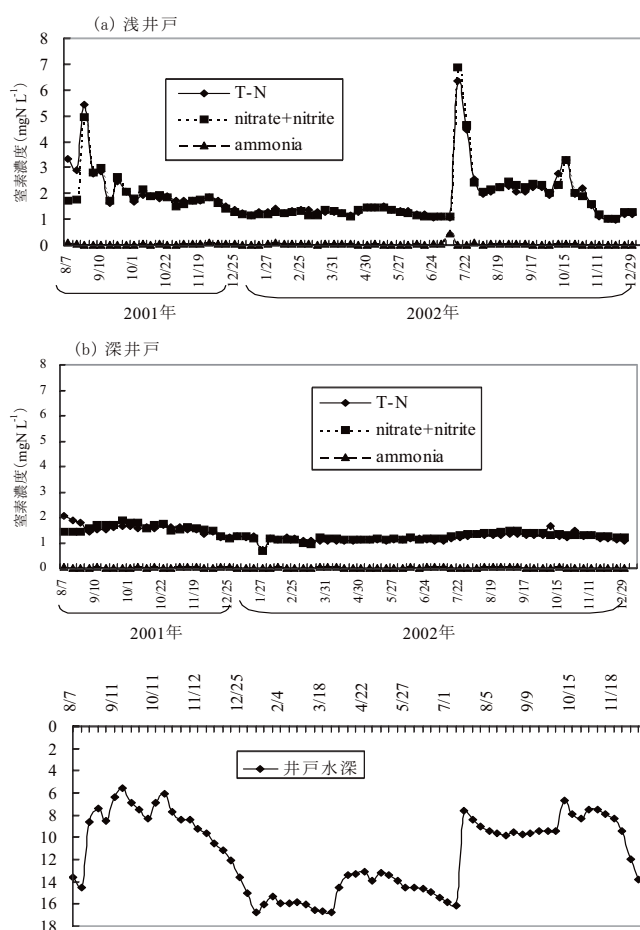


図 10 J 学園井戸の水質と水位 2001-2002 年（水位は浅井戸のもの）

5. まとめ

栃木県のふん尿およびふん尿窒素の発生総量は1949年以降1988年まで直線的に増大したがその後は一定している。栃木県北部では1989年まで同様の増大を示したが、その後もゆるやかな増大を続けている。最近の増大の主因は乳牛以外の畜種による。耕地面積当たりのふん尿窒素発生量は1970年以降増大しているが、栃木県北部ではその傾向が著しく、1999年には251kg/haであり、県内ではふん尿窒素による環境リスクが高い地域といえる状況にある。

公開された水質データから那珂川水系を鬼怒川・小貝川水系、鬼怒川水系と比較すると、那珂川水系は窒素、リン濃度等の監視項目から見る限り、良い水質が保たれている。しかし実際に蛇尾川、熊川、武茂川、松葉川の水質を調査すると、流下に伴い明らかな窒素濃度の上昇がみられた。また蛇尾川河川敷に隣接するJ学園井戸の通年水質調査から、浅い地下水はある程度窒素濃度が上昇する時期があることがわかった。

以上のことから、栃木県北部の河川や地下水の水質は現状では概して問題のない状況にあるが、家畜ふん尿窒素の負荷量による潜在的環境汚染リスクは高く、場所によっては水質にその影響が表れる場合もあるといえる。

6. 参考文献

- 栃木県衛生環境部，栃木県水質年表（昭和48年度～平成6年度）
- 栃木県生活環境部，栃木県水質年表（平成7年度～11年度）
- 堤橋 昇，図説那須野の地下水探査記録，住宅新報社（東京）1976
- 下野地学会編，栃木の地質をめぐって，築地書館 1979

養牛に由来する窒素負荷量が水系へ及ぼす影響

草地生態部 草地資源評価研究室
神山 和則 佐々木寛幸 松浦庄司

1. はじめに

わが国では草地・飼料畑面積に対して飼養頭数が多く、草地・飼料畑面積あたりの乳牛と肉牛の飼養頭数は 5.0 頭 ha^{-1} である。土地利用型酪農地帯である北海道を除くとこの値は 10.5 頭 ha^{-1} となり、飼養密度は全国平均の2倍になる。栃木県北部では都府県の平均と比べこの数字はやや小さくなる (7.0 頭 ha^{-1}) もの、飼養密度は高い水準にあるといえる。結果として、購入飼料の割合が高くなるとともに、発生したふん尿を適切に利用するための土地が不足するという問題が生じている。さらに、余剰ふん尿を処理するためにふん尿が過剰施用されると自給飼料の品質低下や水系など周辺環境への影響が懸念される。

ふん尿に含まれる栄養物質のうち、窒素(N)は主にアンモニア態Nとして存在するが、堆肥化あるいは畑に施用する際に、アンモニアガスとして揮散する。また、畑に施用された後、土壤に比較的吸着されにくく、水の移動にともなって移動しやすい硝酸態Nに変化するため、作物に吸収されずに土壤中に残存するNは溶脱あるいは表面流去によって地下水や河川などへ流出しやすい。このため、過剰な施用によって大量の硝酸態Nが土壤中に残存すると水系へ及ぼす影響が懸念される。また、ふん尿の堆積中あるいは施用後に還元条件になると亜酸化窒素(N_2O)が発生する。亜酸化窒素は地球温暖化ガスの一つであり、この発生を減少させることが現在重要な問題となっている。したがって、畜産に由来する窒素の動態を把握することは地域環境に調和した畜産を行うために不可欠であると考えられる。本研究では栃木県北部地域における窒素負荷量を集水域単位で推定するために各種統計データおよび国土数値情報等を用いたモデルを作成し、当地域の畜産に由来するN負荷が水系へ及ぼす影響について検討した。

2. 方法

1) 農業統計データのメッシュ化

畜産に由来するN負荷が水系へ及ぼす影響を検討するためには、集水域単位に草地・飼料畑面積や牛の飼養頭数が把握できることが望ましい。5年ごとに実施される農業センサス農家調査の結果は市町村を細分した集落単位に集計される最も詳細な農業統計データであるが、集落が複数の集水域にまたがっていたり、一つの集水域に複数の集落が存在するなどの問題があり、これを直接集水域単位にまとめることは難しい。そこで、農業統計データを集水域単位にまとめるために、国土数値情報の10分の1細分区画土地利用データと農業センサス集落データ・集落地図を利用してメッシュデータを作成する手法を開発した⁸⁾。これを用いて1999年の栃木県北部(大田原市、黒磯市、湯津上村、黒羽町、那須町、西那須野町、塩原町の7市町村)の1kmメッシュ農業統計データを作成した。このメッシュデータは、水稻、主要畑作物、草地・飼料畑の作付け面積や乳牛・肉牛の飼養頭数などの推定値から構成される。

2) 水文・水質データ

(1) 集水域

1 kmメッシュごとの集水域は国土数値情報のデータ群の一つとして整備、提供されているのでこれを用いた。

(2) 溶脱水量

畑に施用されたふん尿N（堆肥N）の一部は作物に利用されずに降水とともに溶脱し地下水を通してあるいは直接河川へ流出していく。溶脱水量は降水量から蒸発散で失われた量を差し引いた量と考えられる。降水量の平年値は気象庁によりメッシュデータ化されている。一方、蒸発散量に関しては全国を網羅的に観測したデータの蓄積がほとんどないが、いくつかの方法で推定することが可能である。ここでは、月平均気温から推定が可能なソーンズウェイトの方法を用いて蒸発散量を推定した⁶⁾。必要な月平均気温は降水量同様にメッシュデータ化されているのでこれを用いた。

(3) 水質データ

河川の水質データとして国立環境研究所環境情報センターが作成した公共用水域水質データファイルから対象地域内に含まれる21観測地点の全Nデータを利用した。

3) 各メッシュにおけるN量の計算とN負荷量

各メッシュにおけるN量は牛の飼養にともなうNと草地・飼料畑におけるNの合計から計算した。

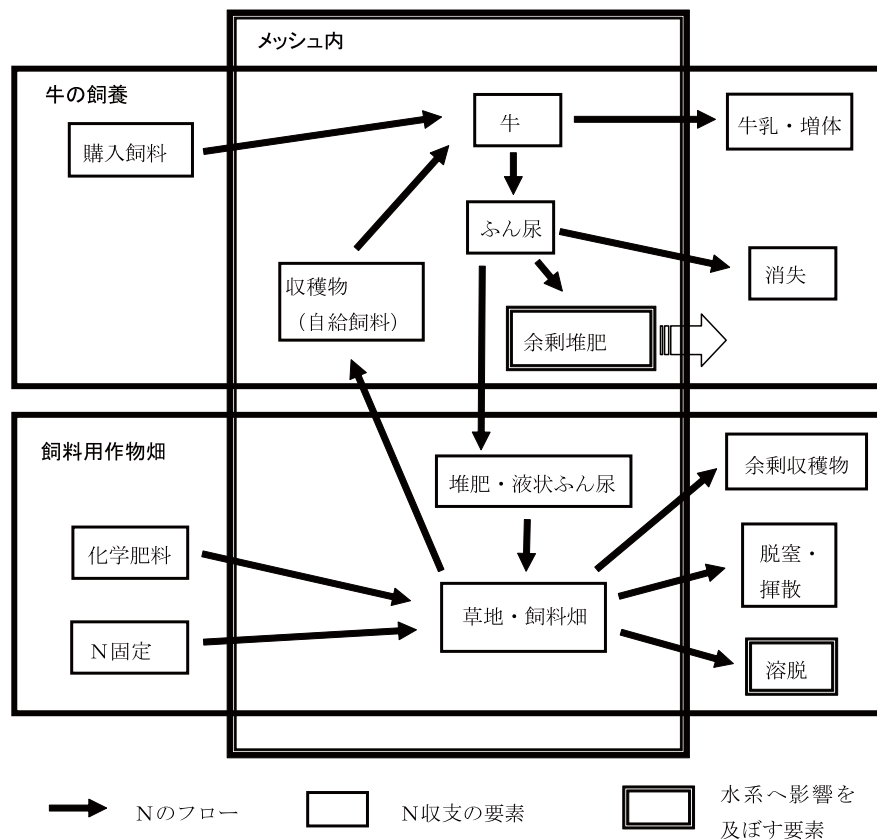


図1 Nフロー, 収支計算のスキーム

表 1 飼料計算に用いたパラメータ

| パラメータ項目 | 数値 |
|----------------------------|---|
| 飼料成分（購入飼料は乾物あたり，その他は現物あたり） | |
| イネ科牧草* | 水分率：80.8%，TDN含量：65.1%，CP含量：14.5% |
| 混播牧草* | 水分率：80.8%，TDN含量：65.1%，CP含量：14.5% |
| トウモロコシ* | 水分率：78.5%，TDN含量：70.4%，CP含量：9.0% |
| ソルゴー* | 水分率：79.6%，TDN含量：63.9%，CP含量：8.8% |
| 青刈りエンバク* | 水分率：81.1%，TDN含量：60.6%，CP含量：12.5% |
| 購入飼料 | TDN含量：87.0%，CP含量：16.0% |
| 乳用牛 | |
| 搾乳牛 | 乳脂率：3.5%，搾乳日数：305日，体重：650kg，日増体量：0.0 kg day ⁻¹ |
| 乾乳牛 | 体重：650kg，日増体量：0.0 kg day ⁻¹ |
| 育成牛 | 体重：350kg，日増体量：0.7 kg day ⁻¹ |
| 肉用牛 | |
| 子取り用めす牛 | 体重：600kg，日増体量：0.0 kg day ⁻¹ |
| 乳用種 | 体重：475kg，日増体量：1.0 kg day ⁻¹ |
| その他 | 体重：600kg，日増体量：0.6 kg day ⁻¹ |

*それぞれ日本標準飼料成分表¹⁴⁾の平均値

(1) 牛の飼養にともなうN

牛の飼養にともなうNは、メッシュ内の草地・飼料畑から生産される自給飼料N、購入飼料N、牛乳N、増体N、ふん尿Nおよび堆肥化の過程（ふん尿の堆積中）で消失するN（消失N）である（図1）。メッシュ内で生産される堆肥N（生産堆肥N、液状ふん尿Nを含む）はふん尿Nから消失Nを差し引いた量になる。計算にあたって、①飼料は同一メッシュ内の収穫物（自給飼料）を利用し、不足する可消化養分（TDN）量、粗タンパク質（CP）量を購入飼料で補う、と仮定した。計算には表1に示したパラメータを用いたほか、既往の文献^{1、3、12、13)}を参考にした。牧草・飼料用作物収量や牛乳生産量は市町村単位のデータを利用した^{4、5)}。

表2 飼料用作物畑におけるNフローに関連するパラメータ

| パラメータ項目 | 数値 |
|------------------------------|---|
| 化学肥料* (kg ha ⁻¹) | イネ科牧草：200, 混播牧草：120, トウモロコシ：220, ソルゴー：200, 青刈りエンバク：90 <栃木県農作物施肥基準 ¹⁹⁾ > |
| 堆肥* (Mg ha ⁻¹) | イネ科牧草：30, 混播牧草：30, トウモロコシ：40, ソルゴー：30, 青刈りエンバク：20 <栃木県農作物施肥基準 ¹⁹⁾ > |
| 利用割合 (堆肥：液状ふん尿) | 7：3 (乳用牛), 9：1 (肉用牛) <黒磯市畜産環境整備対策研究プロジェクト報告書 ¹¹⁾ > |
| N含有率 (現物あたり) | 堆肥：0.57 %, 液状ふん尿：0.38 % |
| 代替率 | 堆肥：30 %, 液状ふん尿：60 % |
| 肥効率 | 堆肥：30 %, 液状ふん尿：55 % <倉島 ¹⁰⁾ > |
| 収穫物 (現物あたり) | |
| N含有率 | イネ科牧草：0.45 %, 混播牧草：0.45 %, トウモロコシ：0.31 %, ソルゴー：0.29 %, 青刈りエンバク：0.38 % <日本標準飼料成分表 ¹⁴⁾ > |
| 脱窒 (施用量に対する割合) | |
| 化学肥料 | 10 % (イネ科牧草, 混播牧草) または 15 % (トウモロコシ, ソルゴー, 青刈りエンバク) <牧草類：木村 ⁷⁾ , 飼料作物：小川 ¹⁶⁾ > |
| 堆肥 | 化学肥料割合 × (肥効率 30 %) |
| 液状ふん尿 | 化学肥料割合 × (肥効率 55 %) |
| アンモニア揮散 (施用量に対する割合) | |
| 化学肥料 | 0 % |
| 堆肥 | 0 % |
| 液状ふん尿 | 10 % <斉藤ら ¹⁸⁾ > |
| 溶脱 (施用量に対する割合) | |
| 化学肥料 | 2 % (イネ科牧草, 混播牧草) または 20 % (トウモロコシ, ソルゴー, 青刈りエンバク) <牧草類：木村ら ⁷⁾ , 飼料作物：小川ら ¹⁷⁾ > |
| 堆肥 | 化学肥料割合 × (肥効率 30 %) |
| 液状ふん尿 | 化学肥料割合 × (肥効率 55 %) |
| 窒素固定 | |
| 混播牧草 | 110 kg ha ⁻¹ <東田 ²⁾ > |
| その他の飼料作物 | 0 kg ha ⁻¹ |

*目標収量をイネ科牧草：5.5 Mg ha⁻¹, 混播牧草：5.5 Mg ha⁻¹, トウモロコシ：6.0 Mg ha⁻¹, ソルゴー：5.5 Mg ha⁻¹, 青刈りエンバク：3.5 Mg ha⁻¹に設定。

<>の文献を参考にパラメータを決定した。

(2) 草地・飼料畑におけるN

草地・飼料畑におけるNは施肥N、施用堆肥N（液状ふん尿を含む）、収穫物N、脱窒N（アンモニア揮散を含む）、溶脱N、窒素固定Nである（図1）。施肥Nと施用堆肥Nはイネ科牧草、混播牧草、トウモロコシ、ソルゴー、青刈りエンバクについて栃木県農作物施肥基準¹⁹⁾を用いて施用量を求め、それぞれの合計量から計算した。計算には表2に示したパラメータを用いた

(3) N負荷量の計算

図1に示したNフローに基づいて各収支を計算し、余剰堆肥N（生産堆肥Nと施用堆肥Nの差）、草地・飼料畑における溶脱N量の合計値を各メッシュにおけるN負荷量とした。生産堆肥Nのうち、販売・譲渡される量について明らかな数値はないが、農水省の調査結果¹⁵⁾にいくつかの仮定を加えて試算すると乳用牛で発生したふん尿Nの5~10%、肉用牛で30~50%が系外へ搬出されるという結果が得られている。これについてはより詳細な検討が必要であるが、ここでは販売・譲渡される堆肥はないと仮定した。

3. 結果と考察

1) メッシュ単位にみた草地・飼料畑面積、飼養頭数、N収支

本地域で牛が1頭以上飼養され、草地・飼料畑面積が0.01 ha以上のメッシュは662メッシュで全体の47%にあたる。これらのメッシュあたりの草地・飼料畑面積は0.02~93.5 haで、平均値は8.3 haであったが、1 ha未満のメッシュが約30%あった。草地・飼料畑における収穫物N、施肥N、施用堆肥N、固定N、脱窒N、溶脱Nのメッシュあたりの年間平均値はそれぞれ1,659 kg、1,162 kg、1,558 kg、283 kg、319 kg、209 kg、草地・飼料畑面積あたりの年間平均値は、それぞれ202.8 kg ha⁻¹、140.7 kg ha⁻¹、188.7 kg ha⁻¹、34.2 kg ha⁻¹、38.7 kg ha⁻¹、25.3 kg ha⁻¹であった。

また、飼養頭数のメッシュあたりの平均値は乳用牛が47.6頭、肉用牛が29.0頭で、合計76.7頭が飼養されている。合計頭数で見ると10頭以下のメッシュが約30%であった。いくつかのメッシュでは、飼養頭数が500頭を越え、飼料用畑作物面積は0~1 haであった。

草地・飼料畑における搬入量（施肥N、施用堆肥N、固定N）から搬出量（収穫物N、脱窒N、溶脱N）を減じたメッシュ内のN収支を計算した結果、メッシュあたりの年間平均で800 kg（草地・飼料畑面積あたりでは96.8 kg ha⁻¹）の搬入過剰であった。この系で発生する過剰量は土壌中に未分解のまま残存する堆肥Nと収穫物以外に蓄積された吸収Nに由来するものが大部分を占めていると考えられる。

一方、牛の飼養についてみると、購入飼料N、自給飼料N、牛乳N、増体N、ふん尿N、消失Nのメッシュあたりの年間平均値はそれぞれ4,587 kg、1,603 kg、1,120 kg、187 kg、4,882 kg、732 kgであった。搬入量（購入飼料N、自給飼料N）から搬出量（牛乳N、増体N、消失N）を減じたメッシュ内の年間N収支は4,150 kg、牛一頭あたり54.1 kgの搬入過剰であった。搬入量のおよそ33%がメッシュ外に搬出される計算となるが、生産物として搬出される割合は約21%にすぎない。

表3 養牛に起因するN収支

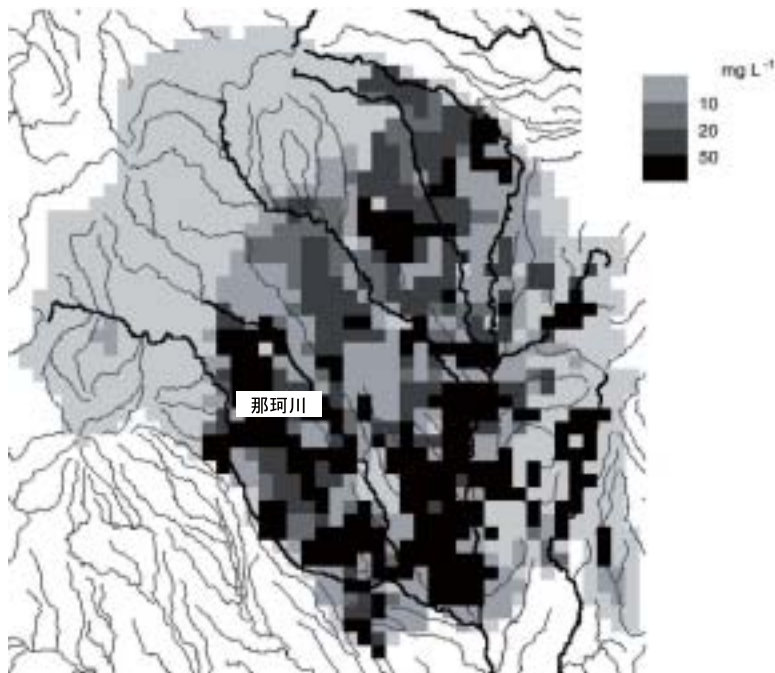
| 系内搬入 | | 系外搬出 | | N収支 | |
|-------|------------------|--------|------------------|--------|------------------|
| 項目 | N量 | 項目 | N量 | 項目 | N量 |
| 購入飼料N | 4,587 (555.5) | 牛乳N | 1,120 (135.7) | 余剰ふん尿N | 2,623 (317.7) |
| | | 増体N | 187 (22.6) | | |
| | | 消失N | 732 (88.7) | | |
| 施肥N | 1,162 (140.7) | 脱窒N | 319 (38.7) | 土壌残存N | 800 (96.8) |
| 固定N | 283 (34.2) | 溶脱N | 209 (25.3) | | |
| 施用堆肥N | 31 (3.8) | 余剰収穫物N | 72 (8.7) | | |
| 合計 | 6,062 (734.2) | 合計 | 2,640 (319.7) | 合計 | 3,423 (414.5) |

数値はメッシュあたり (kg), () 内は飼料用作物畑面積あたり (kg ha⁻¹)

養牛においては多くの場合、収穫した飼料用作物は自給飼料として利用され、発生したふん尿は圃場に還元するという形で循環しているため、草地・飼料畑と牛飼養をあわせた養牛に起因するメッシュあたりの年間N収支を計算した(表3)。メッシュに搬入されるのは購入飼料N、施肥N、固定Nであり、搬出されるのは、牛乳N、増体N、脱窒N、溶脱N、消失Nおよび余剰収穫物Nである。ただし、施用堆肥Nが生産堆肥Nを上まわる場合は不足するN量(施用堆肥N-生産堆肥N)を搬入量に加えた。搬入されるNの75%が飼料に由来し、20%が施肥Nに由来している。一方、搬出されるNの約50%が牛乳Nと増体Nに由来し、ふん尿から揮散消失するNも約30%ある。搬出量は搬入量の約40%で、メッシュあたりのN収支の年間平均値は3,423 kg、草地・飼料畑面積あたりでは414.5 kg ha⁻¹の搬入過剰となり、過剰のうち約75%がふん尿N、25%が土壌に残存したNに由来していた。

2) 水系へのN負荷量と溶脱水N濃度

水系へのN負荷量はメッシュあたり年間平均で2,832 kg(草地・飼料畑あたり343.1 kg ha⁻¹)であった。メッシュごとにN負荷量を溶脱水量で除した草地・飼料畑における養牛に起因する溶脱水N濃度を計算すると、2.0 mgL⁻¹から214,680 mgL⁻¹の範囲で平均値は43.2 mgL⁻¹であった。溶脱水N濃度が極端に高いメッシュは先に述べたメッシュあたりの飼養頭数が500頭を超えるメッシュであった。これらの値は販売・譲渡される堆肥がないなどいくつかの仮定を含んだ計算上の数値であるが、計算対象としたメッシュのうち飲料水の硝酸態N濃度の基準値である10.0 mgL⁻¹未満のメッシュは20%にすぎなかった。図2に草地・飼料畑あたりの溶脱水N濃度の分布を示した。これを単位集水域ごとに集計し、養牛に起因するN負荷濃度を計算すると、N負荷濃度は0.0~30.2 mgL⁻¹の範囲で、平均値は2.3 mgL⁻¹であった。この値は草地・飼料畑あたりで計算した平均値43.2 mgL⁻¹の約5%にすぎない。集水域内の草地・飼料畑割合は5.6%とほぼ同等の値であり、草地・飼料畑で

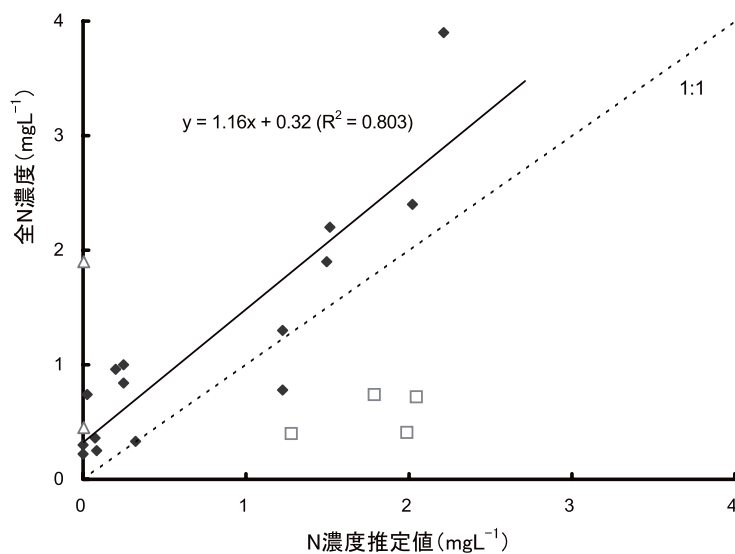


溶脱水 N 濃度の推定値は販売・譲渡される推肥がないなどいくつかの仮定を含んだ数値である。

図2 養牛に起因する飼料用作物畑面積あたりの溶脱水 N 濃度の推定値
(1ピクセルは1kmメッシュ)

高いN負荷濃度が、集水域内の他の土地利用に由来する溶脱水で希釈され低くなったためである。

養牛におけるN負荷量が河川水質に及ぼす影響を明らかにするために、環境省でとりまとめた河川水の水質調査の結果と比較した(図3)。大部分の点が1:1の直線より上側にプロットされ、観測値(河川水質全N濃度)より低い値を示す。これは、河川水質全N濃度は農業系、生活系、産業系に由来するN負荷が加わるためである。ただし、推定値と観測値には高い相関関係があり、養牛に起因するN負荷はこの地域の河川水質に少なからず影響を及ぼしていると考えられる。



溶脱水 N 濃度の推定値は販売・譲渡される推肥がないなどいくつかの仮定を含んだ数値である。回帰式の計算には黒川, 余笹川の観測地点と湯川の観測地点を除外した。

□ : 黒川, 余笹川の観測地点 △ : 湯川の観測地点 ◆ : その他の観測地点

図3 養牛に起因する水系 N 負荷濃度の推定値と水質調査の全 N 濃度との関係

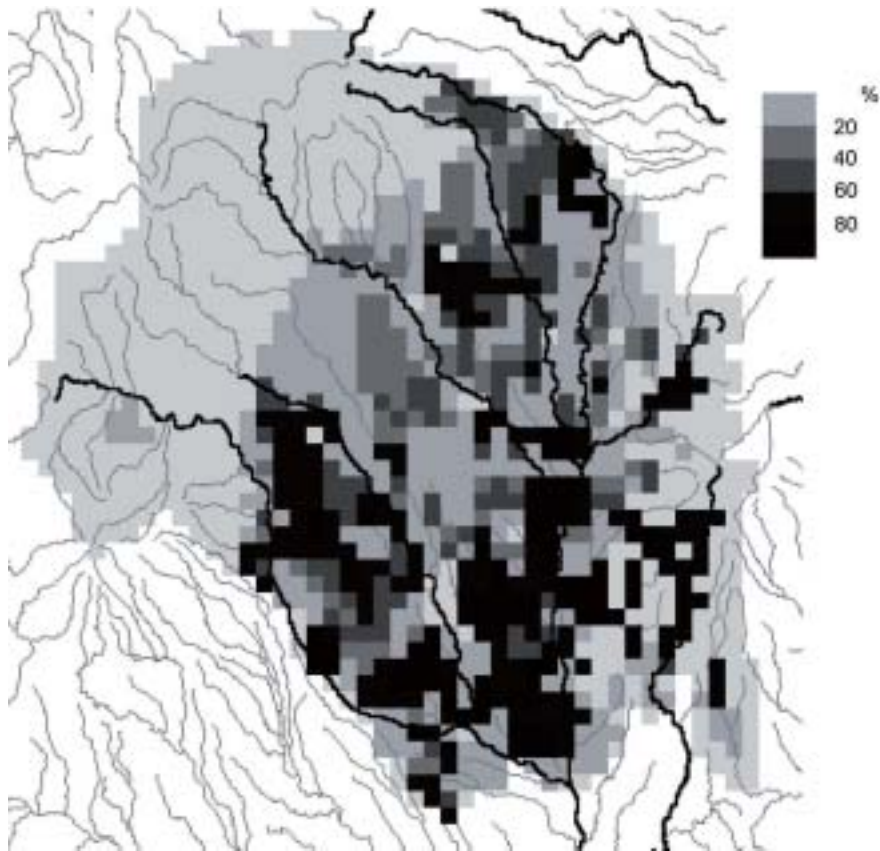


図4 溶脱水N濃度を 10mg L^{-1} 以下にする場合の生産推肥Nの搬出割合
(1ピクセルは1kmメッシュ)

水系への影響を減らすためには、購入飼料、化学肥料など系内へ搬入されるN量を減らし、循環量を増加させることが重要であるが、余剰Nを適切に系外へ搬出することも考える必要がある。そこで、草地・飼料畑あたりの溶脱水N濃度が飲用水の基準である 10mgL^{-1} 以下になるように余剰N（有機物資源N）を系外へ搬出する割合を計算した。その結果、草地・飼料畑面積が広い北西側の地域では一部を除き搬出割合は60%未満であるが、那珂川、蛇尾川の下流域では60%以上、場所によってはほぼ全量を搬出する必要があることが明らかになった（図4）。

4. まとめ

- 1) 栃木県北部におけるN負荷量を1 kmメッシュ単位で推定するためのモデルを開発した。このモデルを用いて年間のN収支、水系へのN負荷量、溶脱水N濃度を推定した。
- 2) 本地域のメッシュあたりの年間N収支をみると、草地・飼料畑では800 kg、牛の飼養では4,150 kg、養牛全体では3,423 kgの搬入過剰であった。
- 3) 水系へのN負荷量から計算したメッシュあたり溶脱水N濃度の平均値は 43.2mgL^{-1} であった。また、溶脱水N濃度を 10mgL^{-1} 以下とするために必要な余剰Nの搬出割合を算出した。

5. おわりに

本報告では農業統計データを利用して養牛に由来するNが水系へ及ぼす影響を推定した。現段階では多くの仮定が含まれているが、これまで蓄積された地理情報を上手に利用することによって地域のNの負荷の特徴がつかめたと考えられる。今後は現在不足している情報の収集・蓄積をはかり、推定精度を向上する必要がある。

6. 参考文献

- 1) 第一出版編集部編：五訂食品成分表，第一出版，東京（2001）
- 2) 東田修司：混播草地におけるN循環とマメ科草の維持技術，北海道草地研究会報，20，30-36（1986）
- 3) 生雲晴久：「畜産統計」にもとづく家畜排泄物中の窒素，リン，カリウム排泄量の推定，畜産技術，560，46-49（2002）
- 4) 関東農政局栃木統計情報事務所：畜産統計（2000）
- 5) 関東農政局栃木統計情報事務所：第47次栃木農林水産統計年報 平成11～12年（2000）
- 6) 榎根勇：自然地理学講座3，水文学，99-101，大明堂，東京（1980）
- 7) 木村武・倉島健次：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（1985）
- 8) 神山和則・寶生戸雅之・佐々木寛幸・宮路広武：国土数値情報を利用した農業統計データのメッシュ化，日土肥誌，74，415-424（2003）
- 9) 国土交通省河川局編：流量年表（平成11年），流況表，412-437，日本河川協会，東京（2001）
- 10) 倉島健次：施用基準，昭和58年度家畜ふん尿処理利用研究会会議資料，草地試験場，45-61（1983）
- 11) 黒磯市畜産環境整備対策研究プロジェクトチーム：黒磯市畜産環境整備対策研究プロジェクト報告書，55pp，（2000）
- 12) 農林水産省農林水産技術会議事務局：日本飼養標準 乳牛（1999年版）（1999）
- 13) 農林水産省農林水産技術会議事務局：日本飼養標準 肉用牛（2000年版）（2000）
- 14) 農林水産省農林水産技術会議事務局：日本標準飼料成分表（1995年版）（1995）
- 15) 農林水産省統計情報部：平成12年度持続的生産環境に関する実態調査 家畜飼養者によるたい肥化利用への取組状況調査報告書，159pp（2002）
- 16) 小川和夫：耕地における広域的にみた窒素の循環，北海道土壌肥料研究通信，第31回シンポジウム「北海道農業における窒素の循環と有効利用」，1-12（1984）
- 17) 小川吉雄・吉原貢：畑地からの窒素の流出に関する研究，茨城県農試特別研報，4，1-102（1979）
- 18) 斉藤元也・木村武・倉島健次：圃場還元液状きゅう肥からのアンモニア揮散量の推定と酸添加による揮散の低減法，草地試研報，41，1-9（1988）
- 19) 栃木県：栃木県農作物施肥基準，53-58（2002）

本研究に用いた主なデータファイル

- D1) 気象庁：気候値メッシュデータ <国土数値情報ダウンロードサービス>
- D2) 国立環境研究所環境情報センター：公共用水域水質年間地データファイル（平成 11 年度）<環境情報普及センター>
- D3) 国土地理院：10 分の 1 細分方眼行政コード（国土数値情報 KS-618）<日本地図センター>
- D4) 国土地理院：3 次メッシュ流域・非集水域面積（国土数値情報 KS-602）<日本地図センター>
- D5) 国土地理院：10 分の 1 細分区画土地利用データ（1997 年度版）<国土数値情報ダウンロードサービス>
- D6) 農林水産省統計情報部：2000 年農業集落カードおよび農業集落地図（CD-R 版）<農林統計協会>

本誌より転載・複製する場合は畜産草地研究所の許可を得てください。

技術レポート 4号

栃木県北酪農地帯における飼料作物圃場の生産環境実態調査

編集・発行 独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構
畜産草地研究所

発行地 〒329-2793 栃木県那須郡西那須野町千本松 768

発行日 平成16年1月30日

(問い合わせ先：畜産草地研究所飼料生産管理部
Tel.0287-37-7555 Fax.0287-36-6629)

印刷所 株式会社 近代工房

