

松中 照夫 (酪農学園大学)
 松本 武彦 (道立中央農試)
 古館 明洋 (道立上川農試天北支場)

三枝 俊哉 (道立根釧農試)
 神山 和則 (畜産草地研究所, 現・農業環境技術研究所)
 三浦 周 (道立上川農試天北支場, 現・道立北見農試)

佐々木寛幸 (畜産草地研究所)

環境に配慮したふん尿利用計画を パソコンで ー意志決定支援ソフト「AMAFE2006」の概要ー

1 AMAFE (アマフェ) とは?

アマフェとは、北海道の酪農場を対象にしてふん尿の利用計画を支援するために開発されたソフトウェア(ソフトと略)の名前です。現在のアマフェは将来の増補改訂に備え、2006年版の意味でAMAFE2006としています。

ここでいうふん尿の利用計画とは、どんな種類のふん尿(堆肥, ふん尿混合物=スラリー, 尿など)を、どの時期にどのくらい施与するのかを計画することを意味しています。このソフトを利用する人は、パーソナルコンピュータ(パソコンと略)上で草地や飼料用トウモロコシ畑に対して、いろいろなふん尿利用計画を入力し、アマフェからの情報を見ながら、最も効果的なふん尿の利用法を決定することができます。同時にアマフェは、ふん尿だけでは不足する養分を補給するために、適正な化学肥料の銘柄と施与量を提案してくれます。

ここでは、酪農場がアマフェを必要とする背景と、アマフェによってできることなどを具体的に解説したいと思います。

2 アマフェを必要とする背景

酪農場では乳牛が排泄するふん尿を通して土-作物-乳牛を巡る養分循環が成立しています。このふん尿は、いうまでもなく、作物にとって大切な養分源であるだけでなく、耕地の土づくりにも欠かせません。しかも、牧草やトウモロコシなどの生育に必要な養分をふん尿でまかなえば、それだけ化学肥料が節約できます。したがって、ふん尿を有効に利用することは、酪農場にとって欠くことのできない重要な技術です。

ところが、最近ではふん尿が有効利用されにくくなっています。また、ふん尿を利用する時には、環境への配慮が必要になってきました。こうした課題を解決するために、アマフェが必要なのです。

では、なぜふん尿が有効利用されにくくなってきたのか、また、ふん尿による環境汚染とはどんなことなのかということについて以下で考えてみます。

第54巻第4号 (通巻620号)

牧草と園芸／平成18年(2006) 7月号 目次

- 府県向き・雪印の夏播き用ムギ類優良品種ラインナップ……………表 2
- 環境に配慮したふん尿利用計画をパソコンで
 ー意志決定支援ソフト「AMAFE2006」の概要ー [松中 照夫ほか] …… 1
- 発酵TMRへの食品残さ・自給飼料の活用に向けて [吉田 宣夫] …… 7
- ご自分で取り組める暑熱対策(送風機の有効利用を中心に) [西 春彦] …… 12
- 飼料用麦類の活用法 [山淵 泰] …… 16
- 雪印の乾乳期用配合飼料 …… 表 3
- 酵素入りサイレージ調製用L型乳酸菌新製品登場・アクレモ コンク……………表 4



収穫間近のサイレージ用トウモロコシ(九州)

1) ふん尿を有効利用しにくい状況

北海道の酪農は、すさまじいばかりの規模拡大によって発展してきました。2004年の北海道における酪農家1戸当たりの飼養乳牛頭数（96頭/戸）や草地面積（58ha/戸）は1960年に比較し、それぞれ33倍および57倍にも達しています（図1）。

このように規模拡大が進んだ現状では、ふん尿を有効に利用するといっても、そのふん尿が酪農場全体で一体どのくらい産出され、それをどこにどのように施与するかということ、具体的に一つ一つの圃場で計画すること自体が極めて大変な作業です。さらに、ふん尿に由来する養分の肥料的評価をおこなない、その養分量を勘案して必要な化学肥料を補てんするというようなことは、極めて複雑な計算をしなければなりません。こうした状況下では、酪農場の個々の圃場において、ふん尿と化学肥料の利用計画を立案し、それらをまとめて酪農場全体の利用計画とするという作業は、事実上、不可能に近いわけです。ですから、酪農場全体でふん尿利用計画の立案が簡単にできるアマフェのような意志決定支援ソフトが必要となっているのです。

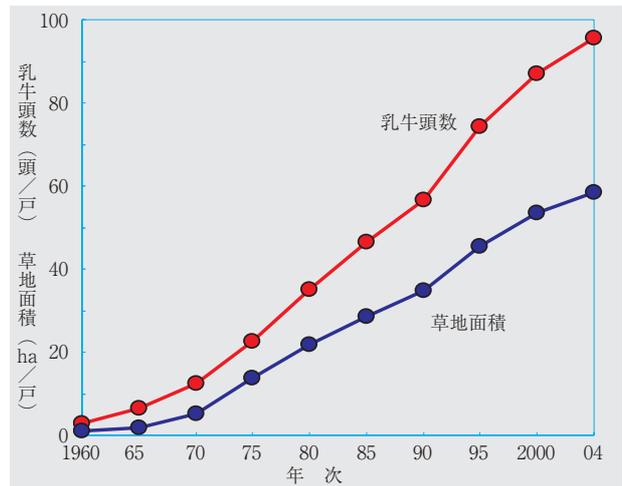
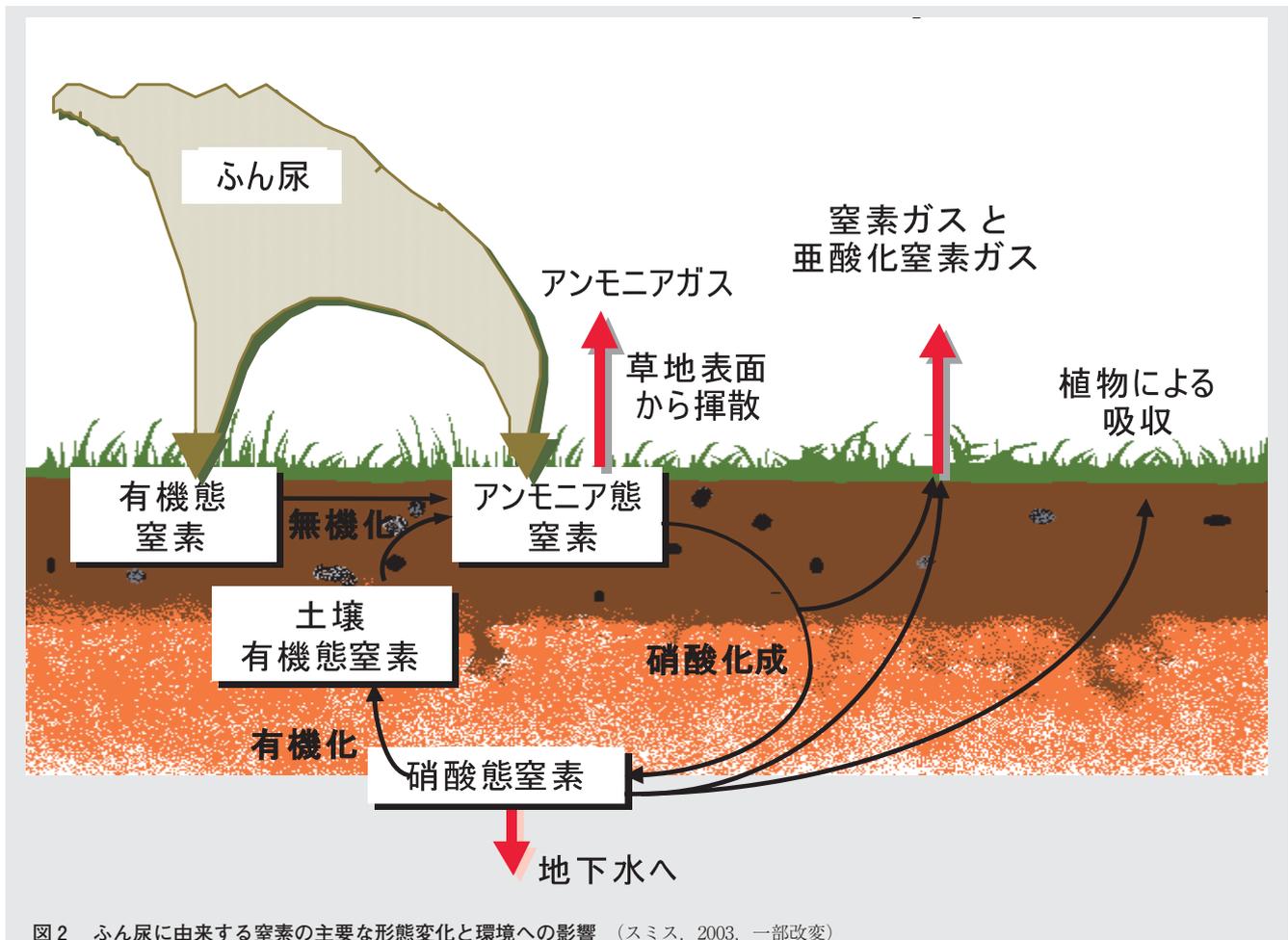


図1 北海道の酪農場1戸当たりの飼養乳牛頭数と草地面積の推移

2) ふん尿による環境汚染

酪農場での飼養乳牛頭数が大幅に増えたため、酪農場で生産されるふん尿も膨大な量になっています。その結果、ふん尿は本来の意味である養分循環に基づいて有効利用されるのではなく、施与される時期や量を十分に考慮されず、半ば投棄的に農地へ施与される場合もでてきました。このように環境に



配慮することなく投棄的にふん尿を利用すると、以下に述べるような大気汚染や地下水汚濁といった環境汚染が発生します（図2）。

(1) 大気汚染

ふん尿が草地表面に施与されると、アンモニアガスが大気中に放出されます。この現象をアンモニア揮散といいます。揮散したアンモニアガスは、大気中で酸性の原因となる物質（例えば硫酸化物や窒素酸化物）と結合し、より強い酸性雨を作り出します。土に降下した後も、土の中で微生物の作用を受けてアンモニアから硝酸に変化し、それが土壌の酸性化をもたらします。それだけでなく、アンモニアガスは、森林に降下して樹木そのものに悪影響を与えます。また、もともと養分が不足している森林の土に養分としての窒素分が特異的に増加するため、樹木の生育をアンバランスにして森林の衰退を招きます。

アンモニア揮散の他にもふん尿に由来する大気汚染があります。それは、亜酸化窒素という強力な温室効果ガスの放出です。ふん尿や化学肥料に含まれるアンモニア態の窒素は、草地や畑状態では、土の中で微生物の作用を受けて硝酸態窒素に変化します（これを硝酸化成という）。その過程で亜酸化窒素ガスが生成されます。また、土の水分状態が湿潤な場合には、硝酸態窒素も微生物の働きによって亜酸化窒素に変化します。こうして生成した亜酸化窒素が土から放出されます。この亜酸化窒素ガスは、地球温暖化の主な原因物質である二酸化炭素に比べ、296倍も強い温室効果を持っています。したがって、農地に窒素を施与する時は、亜酸化窒素の放出量を可能な限り少なくするような配慮が必要になります。

(2) 地下水汚濁

ふん尿や化学肥料を作物の必要量以上に草地や畑へ施与すると、作物が吸収できなかった余剰の養分、とくに窒素は、すでに述べたように多くの場合、土の中で硝酸態窒素に変化します。硝酸態窒素は土に保持されにくいいため、地下へ浸透して地下水に流れ込みます。

硝酸態窒素を多量に含んだ水は飲用に適さないだけでなく、このような水を飲用すると、とくに乳幼児では血液中に輸送される酸素の量が減少して体が青色に変化し（チアノーゼという）、ひどい場合には死亡することがあります。また、硝酸態窒素を多量に含む地下水が河川に流れこむと、河川の水質が必要以上に栄養分を多く含む状態になってしまいます



図3 北京動物園内を流れる川、アオコが異常発生している状況
(2005年夏撮影)

(この状態を富栄養化という)。

この窒素分の他に、家庭排水などに含まれるリンなどが加わって富栄養化した河川や湖沼では、アオコ（淡水性植物プランクトンの一群で、ラン藻や緑藻が含まれる）が異常発生し、水面が緑色のペンキを流したようになります（図3）。富栄養化した河川や湖沼では、美観が損なわれるだけでなく、悪臭が漂い、水道水に使われた場合は不快なおいや味の原因となります。またアオコの呼吸や死んだアオコの分解などで水中の酸素が不足したり、魚のエラが詰まることなどが原因となって、魚が死ぬことがあります。またアオコの原因となる植物プランクトンの中には、毒性を持つものもありますので、魚だけでなくこうしたプランクトンを含む水を家畜が飲むと、その家畜が死亡することもあります。

したがって、ふん尿の有効利用ということは、単にふん尿に含まれる養分の有効利用ということだけでなく、環境への悪影響を最小限にする利用を目指さなければならなくなっているのです。アマフェはふん尿施与による環境への影響程度を数値情報で提供しますので、環境への配慮が容易にできるようになります。

3 アマフェでおこなう作業

これまで述べてきたような問題点を解決するためにアマフェが作られました。では、実際にアマフェを利用する場合、利用者はパソコン上で具体的にどのような作業をおこなうのでしょうか。以下では、その具体的な作業を手順にしたがって解説します。

1) 圃場情報の入力と土壌の検索

アマフェをパソコンにインストールして、初期画面を開き、まず酪農場の位置（市町村）を決めます（図4-①）。これによって、「北海道施肥標準」の地帯区分がソフト上で定められ、適用すべき施肥標準量が対応づけられます。

続いて、アマフェの助けを受けつつ酪農場全体の圃場図を作成します。アマフェの利用者は、この圃場図の上で対象圃場を具体的にイメージし、この圃場にはこれくらいのふん尿なら、この時期に何とか施与できるだろうといった判断をしながらふん尿利用計画を考えます。当然のことですが、圃場図は一度作成すれば、圃場の状況が変化しない限り、作成済みの圃場図をアマフェ上で利用し続けることができます。

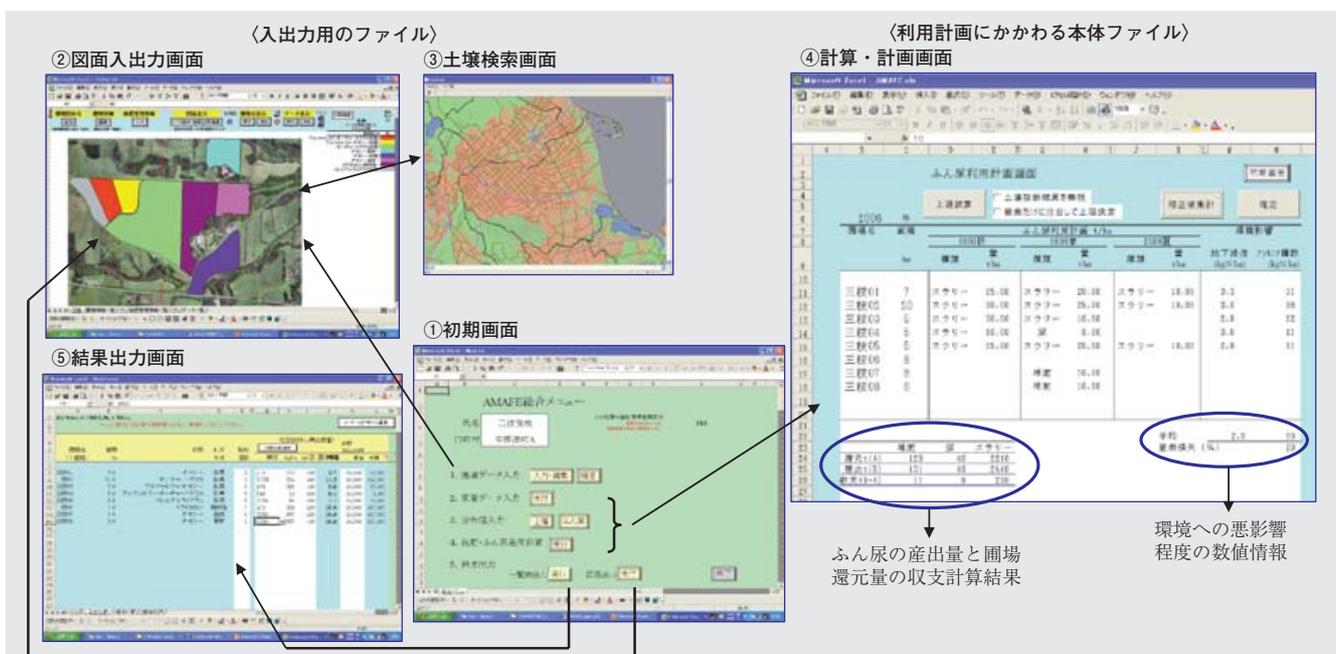
この圃場図上で、それぞれの圃場情報（各圃場の面積や、草地なら採草・放牧といった利用形態、さらにマメ科率区分など）を入力します（図4-②）。また、圃場情報の入力過程で、その圃場の土がどんな種類の土であるかを入力する必要がでてきます。その場合には、土壌検索画面で圃場の位置をクリックすれば、その圃場の土壌名が表示されますので、アマフェの利用者は簡単に土の種類を知ることができます（図4-③）。

2) 飼養乳牛頭数の入力

続いて、酪農場全体で年間に産出されるふん尿量を推定するために、飼養乳牛頭数を入力します。この場合の頭数は、各月別に牛舎で飼養されている頭数です。放牧牛や預託牛などは、牛舎からのふん尿産出量には影響しないので、こうした乳牛を除き可能な限りふん尿産出量が正しく推定できるようにします。

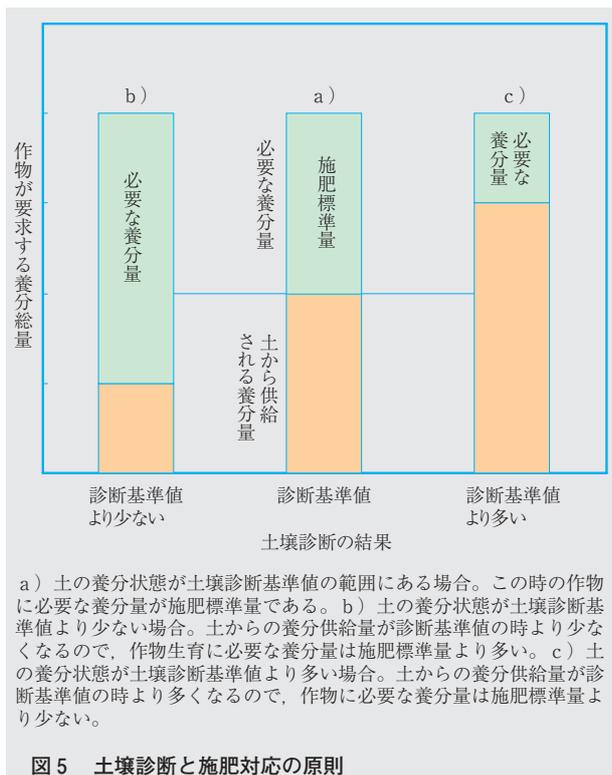
3) 牧草やトウモロコシに必要な養分量の算出

アマフェでは、牧草やトウモロコシ（以下、作物と一括）が必要とする養分量、とくに窒素、リン、カリは「北海道施肥標準」相当の養分量に設定されています。この「施肥標準」は、対象圃場の土の養分状態が土壌診断基準値の範囲にあり、堆肥などの有機物が与えられていない条件の時、作物が正常生育し、地域の目標収量を得るために必要な養分量を示しています。したがって、土壌診断結果から、土の養分が診断基準値より多く含まれている場合、その多く含まれている養分量を施肥標準から差し引いて必要養分量を求めます（図5）。逆に、診断基準値より少ない養分量しか土に含まれていない場合、不足分を施肥標準量に加えて必要養分量とします。アマフェに土壌診断結果を入力すると、上記の計算をそれぞれの圃場で自動的におこないます。



①初期画面：アマフェの玄関口、データの行き先を指示。②図面入出力：圃場図の作成と、最終的な利用計画を図示する。
③土壌検索：地図上で圃場の位置を指示すると、その場所の土壌がどんな種類であるかを表示する。④計算・計画：ここでふん尿の利用のしかたを様々に繰り返し、そのたびに明示されるふん尿の産出量と圃場還元量の収支や、環境への悪影響程度の数値情報を参考にしつつ最終的な利用計画を決める。⑤結果出力：ふん尿の最終利用計画をまとめ一覧表にする。ふん尿からの養分では不足する養分を補てんするために、最適な化学肥料銘柄を選定し、その施与量を計算する。

図4 AMAFE2006の構成とそれぞれの役割



土壌診断を実施していない圃場では、土の養分が土壌診断基準値内にあるものと仮定し、その圃場で必要な養分量を施肥標準量に設定するため、その圃場で実際に必要とする養分量との間に過不足が生じます。このため、ふん尿などからの養分供給量を適切に設定するためには、定期的に土壌診断を実施することが望まれます。

4) ふん尿から供給される養分量

施与されたふん尿から供給される養分量を把握するには、ふん尿中の養分含有率のデータが必要です。これもアマフェに入力します。このデータは正式に分析した値でも、簡易分析値でも構いません。簡易分析は、ふん尿中の導電率（電気伝導度：EC）と乾物率（スラリーの場合、比重計を用いた比重の測定から簡単に乾物率が推定できます）から養分を推定するものです。その詳細は、「家畜ふん尿処理・利用の手引き2004」（道立農業・畜産試験場家畜ふん尿プロジェクト研究チーム編、http://www.agri.pref.hokkaido.jp/sintoku/ecolo/manual2004/manual04_chap4.htm#4-03）にまとめられています。

ふん尿中の養分含有率の分析値がない場合、ふん尿由来の肥料としての養分量は把握できません。このような場合、アマフェは北海道で産出されるふん尿の平均的な養分含有率や、ふん尿中の各養分の肥

効率などを勘案して求められた平均的な減肥可能量の値を用います。この場合も、設定された平均的な養分量と実際に施与されたふん尿から供給される養分量との間に過不足が生じます。したがって、可能な限りふん尿の養分含有率の測定が必要です。それが困難な場合、少なくとも簡易分析を実施するようにしたいものです。

5) 環境への悪影響の数値情報

次に、アマフェの利用者は先に作成した圃場図の上で、施与しようと考えているふん尿の種類とその施与時期や施与量を、それぞれの圃場ごとに、とりあえず入力してみます。そうするとアマフェが、①その圃場の作物が必要とする養分量から求めたその圃場へのふん尿施与上限量や、②各圃場に施与したふん尿の合計量と牛舎からのふん尿産出量との差異、さらに③環境への悪影響、とりわけ、アンモニア揮散による窒素の損失量と、地下水への硝酸態窒素の流出量などを計算し、その数値情報を表示します（図4-④）。

6) ふん尿利用計画の決定

アマフェの利用者は、アマフェが提示する情報を参考にして、①各圃場へのふん尿施与量の合計値が、ふん尿産出量に見合っているかどうかを確かめつつ、②環境への悪影響を可能な限り少なくするように、③各圃場へのふん尿の施与時期や施与量を変化させることを繰り返します。その試行錯誤の結果から、最適なふん尿施与時期と施与量をアマフェの利用者が決定します（図4-④）。

アマフェが「ふん尿利用計画支援ソフト」とされているのは、ふん尿利用計画の意志決定を自動的に提示するのではなく、アマフェはあくまでもふん尿の有効利用に関連する情報を提供することによって、アマフェ利用者による最終的な意志決定を支援するソフトであるからです。

7) 適正な化学肥料の選定とその施与量の決定

ふん尿の利用計画が決定されると、ふん尿から供給される養分量だけでは、各圃場の作物に必要な養分量をすべて満たすことができない場合がでてきます。その場合、不足する養分を化学肥料で補てんする必要があります。アマフェは、その不足した養分を補てんするために、どんな銘柄の化学肥料をどの程度施与すればよいかを自動計算し、情報提供します。利用者はその結果から、指定された銘柄の肥料

の入手しやすさ、価格などを判断し、必要に応じてアマフェが提供した情報を修正して購入する肥料の銘柄と量を選定することができます（図4-⑤）。

8) 圃場図を利用した結果の色分け図示

アマフェの利用者が最終的に決定したふん尿利用計画は、各圃場に施与する予定のふん尿の種類別に、当初作成した圃場図上で、分かりやすく色分けして表示されます（図4-②）。その施与量は、マニュアルスプレッダの圃場当たり台数などとして圃場ごとに数値で表示されます。施与量を単位面積当たりで表示しないのは、実際の作業での利便性を優先したためです。単位面積当たりのふん尿施与量として情報提供すると、各圃場で実際に作業する時、その情報を圃場当たりの作業機の台数や肥料袋の数量に換算しなければならないという不便が生じてしまいます。それを避けたわけです。最終的に、作業する人はアマフェが提供するこの図面を持ち、各圃場での作業をおこなうことになります。

4 アマフェの意義

アマフェはふん尿利用計画の複雑で面倒な計算を、パソコン利用によって簡便化し、圃場ごとに別々に考えていたふん尿を利用した肥培管理計画を、酪農場全体で立案できるようにしました。しかもアマフェは、ふん尿が施与された採草地からの環境への悪影響程度を、わが国で初めて数値情報で評価しています。このため、アマフェの利用者は、その酪農場でのふん尿利用計画が環境におよぼす悪影響程度を一目で理解できます。

また、アマフェでは圃場ごとにふん尿の施与上限量が示されます。したがって、全圃場のふん尿施与量を上限量に設定してもなお、ふん尿が余る場合、アマフェの利用者は自らの土地で処理できないふん尿があり、それをふん尿のトン数やマニュアルスプレッダの台数といった具体的な数値で知らされることになります。すなわち、利用者は単位面積当たりの飼養乳牛頭数が適正であるかどうかを、ふん尿利用計画立案作業の中に、自然に気づくことになります。このように、アマフェが1戸の酪農家を基本単位とするもう一つの大きな意義として、利用者が飼養頭数と耕地面積のバランスを飼料生産と環境保全の両面から具体的に意識できるようになることも指摘できます。

5 北海道以外でのアマフェの利用

アマフェは、北海道の施肥標準や北海道における土壌診断とそれに基づく施肥対応、さらに、北海道でのふん尿主体施肥設計など、北海道独自の試験研究成果に基づいて作成されています。したがって、アマフェをそのままの状態では北海道以外の地域に適用することは、残念ながらできません。しかし、アマフェで用いられている論理は、どの地域でも適用できると思います。したがって、北海道以外の地域では、アマフェの演算論理を参考にし、アマフェで用いられている基礎データをそれぞれの地域に適したデータに更新すれば、各地域対応のアマフェのようなソフトができると思います。

6 本ソフトの入手方法

本ソフトは、酪農学園大学からCD（利用マニュアル付）で無償配布（送料実費）されています。具体的な入手方法は次のとおりです。

- 1) 使用者の氏名
- 2) 使用者の所属
- 3) 所属先の郵便番号、住所、電話番号、Fax番号
- 4) 本人に連絡可能な電子メールアドレスを記載し、
- 5) 返信用封筒

（①A4サイズの書類が送付できるもの、②390円切手を貼付、③受取人の住所・氏名を明記）を同封して、下記へ郵便で申し込んで下さい。申込先は、〒069-8501 江別市文京台緑町582, 酪農学園大学・酪農学部・酪農学科・土壌植物栄養学研究室です。受け付けられると、ユーザ登録番号をつけたCDが返信用封筒で送られてきます。なお、アマフェのホームページ（<http://www.rakuno.ac.jp/amafe/>）が開設されていますので、そちらも参照して下さい。

環境に対して悪影響をもたらさない持続的な酪農の実現に、アマフェが寄与できるようになれば大変幸せです。