

ふん尿利用計画ソフト「AMAFE」の開発と普及

「AMAFE」開発グループ

松中照夫^{*1}・三枝俊哉^{*2}・佐々木寛幸^{*3}・松本武彦^{*4}

神山和則^{*5}・古館昭洋^{*6}・三浦 周^{*7}

Development of PC-software “AMAFE” (Decision support system for application of manure and fertilizer to grassland and forage corn field based on nutrient recycling) and extension activities for its users

Teruo MATSUNAKA, Toshiya SAIGUSA, Hiroyuki SASAKI, Takehiko MATSUMOTO,
Kazunori KOHYAMA, Akihiro FURUDATE and Shu MIURA

1. AMAFE (アマフェ) とは？

AMAFE 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) Decision Support System for Application of Manure and Fertilizer to Grassland and Forage Corn Field based on Nutrient Recycling の名称である。

ここでいうふん尿の利用計画とは、乳牛の排泄ふん尿に由来するきゅう肥や尿、それにふん尿混合物 (液状きゅう肥、以下ではスラリーと略) を、どの時期にどの程度施与するのかを計画することを意味している。本ソフト利用者は、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、様々なふん尿利用計画を入力し、AMAFE からの情報を見ながら、最も効果的で、しかも環境への悪影響の少ないふん尿利用法を決定できる。同時に、AMAFE は、施与されたふん尿由来養分だけでは不足する養分の補給のために、適正な化学肥料の銘柄と施与量を提案する。

本報告では、はじめに酪農場が AMAFE を必要とする背景を述べ、続いて AMAFE ができることを具体的に解説する。

2. AMAFE 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る。このふん尿は、いうまでもなく、作物の養分源であるだけでなく、耕地の土壤肥沃度維持にも欠かすことができない。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供給できれば、それだけ化学肥料の節減が可能となる。したがって、ふん尿を有効に利用することは、酪農場にとって重要な技術である。

ところが、近年の酪農場では、ふん尿が有効利用されにくく、「有効な資源」というよりも「廃棄物」としての扱いを受けることが多い (原田 1998)。また、ふん尿を利用する時には、環境に対する配慮が必要になってきた (Matsunaka 2004)。

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のようなことで、何が問題なのかということ、AMAFE の具体的な作業を説明する前に、以下で考えてみる。

1) ふん尿が有効利用されにくい要因

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倍にも達している。

このように規模拡大が進んだ現状では、ふん尿を有効

^{*1}酪農学園大学 (069-8501 江別市文京台緑町 582) Rakuno Gakuen University

^{*2}道立根釧農試 (086-1135 中標津町旭ヶ丘 7) Hokkaido Konsen Agricultural Experiment Station

^{*3} (独) 畜産草地研究所 (329-2793 那須塩原市千本松 768) National Institute of Livestock and Grassland Science

^{*4}道立中央農業試験場 (069-1395 長沼町東 6 線北 15 号) Hokkaido Central Agricultural Experiment Station

^{*5} (独) 畜産草地研究所 (329-2793 那須塩原市千本松 768) National Institute of Livestock and Grassland Science (現、農業環境技術研究所, 305-8604 つくば市観音台 3-1-3; present address, National Institute for Agro-Environmental Sciences)

^{*6}道立上川農試天北支場 (098-5738 浜頓別町緑ヶ丘 8-2) Hokkaido Kamikawa Agricultural Experiment Station, Tenpoku Branch

^{*7}道立上川農試天北支場 (098-5738 浜頓別町緑ヶ丘 8-2) Hokkaido Kamikawa Agricultural Experiment Station, Tenpoku Branch, (現、道立北見農試, 099-1496 訓子府町弥生 52; present address, Hokkaido Kitami Agricultural Experiment Station)

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ある。さらに、ふん尿に由来する養分の肥料的評価をおこない、その養分量を勘案して必要な化学肥料を補給するということは、極めて複雑で面倒な計算をしなければならない(三枝ら 2005a, 2005b, 2005c, 2006)。もちろん、各圃場の土壌診断も必要になってくる。こうした状況下では、酪農場の個々の圃場で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。それゆえに、ふん尿利用計画の立案が簡単にできる AMAFE のような意志決定支援ソフトが必要となっている。

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、酪農場で産出されるふん尿も膨大な量になっている。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が十分に考慮されず、半ば投棄的に農地へ投入される場合もでてきた。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、施与されたふん尿の養分に由来する大気汚染や地下水汚濁といった環境汚染が発生する。

(1) 大気汚染

ふん尿が草地表面に施与されると、ふん尿中のアンモニウム態窒素 ($\text{NH}_4\text{-N}$) は大気へアンモニアガス (NH_3) として揮散損失する (Sommer and Hutchings 2001, 松中ら 2003)。大気中の NH_3 の主要な発生源は農業であり、その割合は全 NH_3 放出量の 50% に達すると見積もられている (Schlesinger and Hartley 1992)。

ふん尿からの $\text{NH}_3\text{-N}$ 揮散は、ふん尿中の窒素 (N) からみた肥料的価値を確実に低下させるだけでなく(松中ら 2003)、環境への悪影響が極めて大きい。例えば、揮散した NH_3 は、①大気中での反応でより強い酸性雨を作り出したり (Apsimon and Kruse-Plass 1991)、②土壌に降下後、硝酸化作用によって土壌を酸性化させたり、③森林に降下して樹木そのものへの悪影響と同時に、養分不足の森林土壌に養分としての N の特異的増加で樹木の生育にアンバランスをもたらし、結果的に森林衰退を招いたりする (Roelofs and Houdijk 1991)。

NH_3 揮散以外のふん尿由来大気汚染には、亜酸化窒素 (N_2O) の放出がある (Matsunaka et al. 2005)。この N_2O は、地球温暖化の主な原因物質である二酸化炭素 (CO_2) に比べ 296 倍 (100 年単位の地球温暖化指数) もの強い温室効果を持っている (IPCC 2001a)。大気中の N_2O のうち、人為的発生量の 52% は農耕地に由来していると推定されている (IPCC 2001b)。このため、地球温暖化防止の意味から、農地への N 施与時には、 N_2O 放出量を可能な限り少なくするような配慮が必要になっている。

(2) 地下水汚濁

ふん尿や化学肥料に由来する養分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 N は多くの場合、土壌中で硝酸態窒素 ($\text{NO}_3\text{-N}$) の形態で存在している。この NO_3 は陰イオンであるため、土壌の負荷電に反発し、土壌に保持されずに地下浸透して地下水に流れ込みやすい。

最近の報告によれば、飲用水中の $\text{NO}_3\text{-N}$ それ自身が人間の健康を害する可能性は極めて低い (L'Hirondel and L'Hirondel, 越野訳 2006)。しかし、かつて $\text{NO}_3\text{-N}$ を多量に含んだ水の飲用で、とくに乳幼児の健康被害が取りざたされたこともある (Addiscott et al. 1991, 熊澤 1999)。また、 $\text{NO}_3\text{-N}$ を多量に含む地下水が河川や湖沼に流れこみ、これに家庭排水などに含まれるリンなどが加わると、河川や湖沼が富栄養化してラン藻や緑藻などの淡水性植物プランクトンが異常発生する。さらに、ラン藻や緑藻などの呼吸や、それらの遺体の分解などで溶存酸素量が不足したり、魚のエラが詰まることなどが原因となって、魚類を死亡させる事態を招く (Brady and Weil 2002)。植物プランクトンの中には毒性を持つものもあり、魚類だけでなくこうしたプランクトンを含む水を家畜が飲用することによって死亡することがある (中西 2002)。

したがって、ふん尿の有効利用には、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配慮が不可欠である。AMAFE 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、環境への配慮を容易にできるようにしている。

3. AMAFE でおこなう具体的な作業

1) 圃場図の作成と圃場情報の入力

AMAFE 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) を決める (図 1-①)。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る。AMAFE の施肥量計算はこの施肥標準量が基本となる。つづいて、管理している圃場の概要 (各圃場の面積や、草地なら採草・放牧といった利用形態、さらにマメ科率など) を入力し、AMAFE の助けを受けつつ酪農場全体の圃場図を作成する (図 1-②)。圃場図を一度作成すれば、圃場状況が変化しない限り、作成済みの圃場図を AMAFE 上で利用できる。

2) 土の種類の種類

圃場情報の入力の過程で、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ある。その場合、土壌検索画面で圃場の位置を指定 (クリック) すれば、その圃場の土の名前が表示されるので、AMAFE の利用者は簡単に土の種類がわかる (図 1-③)。

3) 飼養乳牛頭数の入力

つぎに、酪農場でのふん尿産出量を推定するために、飼養乳牛頭数を入力する。この場合の頭数は、毎月牛舎で飼養されている頭数で、放牧牛や預託牛など、牛舎で

<入出力用のファイル>

<利用計画にかかわる本体ファイル>

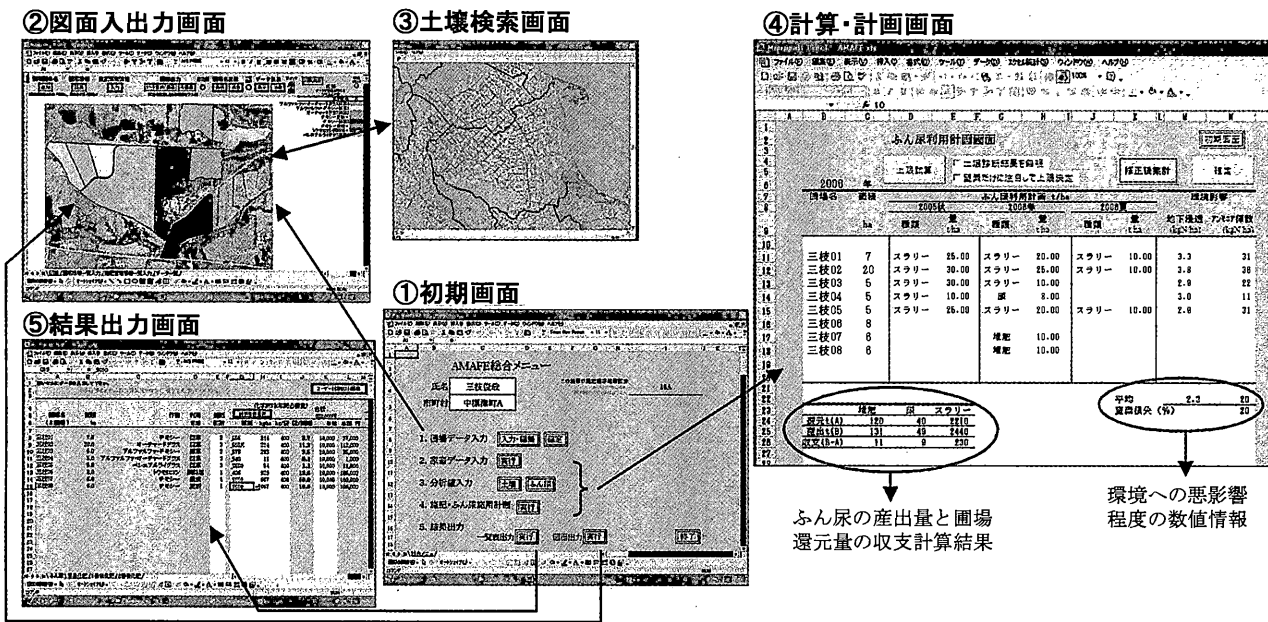


図1. AMAFE のファイル構成とそれぞれの役割

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完するために、最適な化学肥料銘柄を選定し、その施与量を計算する。

ふん尿を排泄しない乳牛を除いて入力する。

4) 牧草やトウモロコシに必要な養分量の算出

AMAFE 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」の養分量に設定されている。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る時、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る。それゆえ、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る（図2）。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する。AMAFE に土壌診断結果を入力すると、上記の計算を各圃場で自動的におこなう。

AMAFE では、対象となる圃場で土壌診断が実施されていないと、施肥標準量を作物の必要養分量とする。このため、ふん尿などからの養分供給量と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、適正な養分供給量とならない可能性がある。したがって、ふん尿などからの養分供給量を適切にするためには、定期的な土壌診断の実施が望ましい。

5) ふん尿から供給される養分量の推定

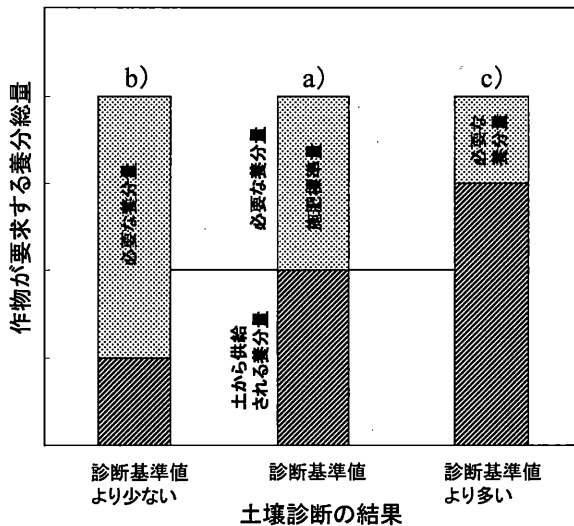


図2. 土壌診断と施肥対応の原則

a) 土の養分状態が土壌診断基準値の範囲にある場合。この時の作物に必要な養分量が施肥標準量である。b) 土の養分状態が土壌診断基準値より少ない場合。土からの養分供給量が診断基準値の時より少なくなるので、作物生育に必要な養分量は施肥標準量より多い。c) 土の養分状態が土壌診断基準値より多い場合。土からの養分供給量が診断基準値の時より多くなるので、作物に必要な養分量は施肥標準量より少ない。

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ある。これも AMAFE に入力する。このデータは正式に分析した値でも、簡易分析値でもよい。ふん尿中の養分含有率の分析値を持ち合わせていない場合、AMAFE は北海道で産出されるふん尿の平均的な養分含有率を用いる。

6) 環境への悪影響の数値情報

次に、AMAFE の利用者は先に作成した圃場図の上で、投入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」入力する。そうすると、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、③さらに環境への悪影響、とりわけ、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 揮散による損失量と地下水への $\text{NO}_3\text{-N}$ 流出量などを計算し、その数値情報が AMAFE 上に表示される(図1-④)。

7) ふん尿利用計画の決定と化学肥料の選定

AMAFE の利用者は、AMAFE が提供する情報から、①各圃場へのふん尿施与量の合計値が、ふん尿産出量にみあ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適宜変化させることをパソコン上で繰り返し、最適なふん尿施与時期と施与量を決定する(図1-④)。

この場合、ふん尿からの養分供給量だけでは、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ことが多い。その時は、不足する養分を化学肥料で補給する。AMAFE は、その不足した養分を補給するために、どの銘柄の化学肥料をどの程度補給すればよいかを自動計算する。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 AMAFE 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できる(図1-⑤)。

AMAFE が「意志決定支援ソフト (Decision support system)」であるのは、上述した試行錯誤によって、利用者のふん尿利用計画策定を AMAFE が支援するようにしているからである。AMAFE は、利用者の考えを反映することなく、与えられた条件の中で勝手に計算し、機械的に回答するというような「自動的な」ソフトではない。あくまでも「意志決定支援」のためのソフトである。

8) 圃場図を利用した結果の色分け図示

最終的に利用者が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る(図1-②)。その施与量は、マニュアルスプレッド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る。作業者は、AMAFE が提供するこの図面を持ち、各圃場でのふん尿施与の作業をおこなう。

4. AMAFE の特徴

北海道にある酪農場の圃場に対する肥培管理計画は、これまで、「施肥標準」と「土壌診断に基づく施肥対応」、さらに「ふん尿主体施肥設計」など多くの複雑な手続きと面倒な計算によって、個別の圃場ごとに考えられていた。しかし、酪農場には数多くの圃場があるため、それぞれの圃場での肥培管理計画ができたとしても、それを積み上げて酪農場全体として計画しておく必要がある。とくにふん尿利用計画はその必要性が大きい。そうでなければ、予定したふん尿の合計施与量が実際には酪農場で産出されるふん尿量より多い場合や、その逆の場合が発生する可能性がある。個別圃場の肥培管理計画を立案するだけでも複雑で面倒な計算を必要とするのに、酪農場全体での計算はさらに煩雑さを極める。

AMAFE 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利用の肥培管理計画を、酪農場全体で立案できるようにした。しかも AMAFE 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た。このため、AMAFE 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る。したがって、AMAFE を利用することで環境にも十分に配慮し、その上でふん尿の有効利用が実現できる。

5. 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) されている。具体的な入手方法は、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 (① A4 サイズの書類が送付できるもの、② 390 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む。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。受け付けられると、ユーザ登録番号をつけた CD が届けられる。なお、AMAFE のホームページ

<http://www.rakuno.ac.jp/amafe/>

が開設されているので、そちらも参照していただきたい。

6. おわりに

これまで述べてきたように、環境への影響を配慮しつつ養分循環に基づいた家畜ふん尿の有効利用が、AMAFE の利用でより簡易に実施できるようになった。ただし、ここでいう環境に配慮した家畜ふん尿の有効利用には大前提がある。それは、酪農場で産出されるふん尿を施与できる圃場面積が確保されているということである(松中 2002)。いかに養分循環に基づきたいと思っても、また、環境に配慮しようと考えても、単位面積あたりの飼養乳牛頭数(飼養密度)が極めて多く、排泄されるふん尿由来養分が土壌の環境容量を超えてしまつて

いる酪農場では、どのような配慮があったとしても、ふん尿中の養分が酪農場を巡る土-作物-乳牛の養分循環系外にあふれ出て行かざるを得ない。

AMAFE では圃場ごとにふん尿の施与上限量が示される。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、AMAFE の利用者は自らの土地で処理できないふん尿が存在し、それをふん尿のトン数やマニユア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る。すなわち、利用者は飼養密度が適正であるか否かを、自らのふん尿利用計画立案作業の中で自然に気づくことになる。このように、利用者に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させることは、AMAFE のもつ大きな教育的効果である。

ソフトを無料配布してわずか18ヵ月で458名の利用者が登録され、AMAFE が利用されている。今後も多数の利用者によって AMAFE が利用され、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寄与できれば幸いである。近い将来、酪農場において AMAFE なしではふん尿の利用管理ができないといわれるまでに、AMAFE が育って欲しいと願っている。そのために、関係者と協力しつつ AMAFE の普及活動をさらに推進していきたい。

謝辞：AMAFE の開発には酪農学園大学共同研究費の支援を受けました。さらに、北海道が蓄積してきた数多くの研究成果を利用させていただきました。厚く感謝の意を表します。道立中央農試・木曾誠二氏、釧路農業改良普及センター・中野長三郎氏、道立畜試・小関忠雄氏、道立上川農試天北支場・山川政明氏（所属は推薦していただいた当時）には、本会賞にご推薦をいただきました。心から感謝申し上げます。本ソフト開発中には、本研究会に所属する数多くの先輩、同僚、後輩の研究者から激励をいただきました。また、なによりもまして、現場の酪農家の皆様と農業改良普及センターの普及員の皆様から、現場で使い勝手の良いソフトにするために様々なご意見や具体的な提案をいただきました。こうした関係者の激励がなければ、本ソフトは完成しなかったでしょう。衷心より感謝の気持ちを表したいと思います。ありがとうございました。

引用文献

Addiscott T.M., Whitmore, A.P. and Powelson, D.S. 1991. Farming, fertilizer and the nitrate problem. CAB International, Wallingford, 6-14.

Apsimon, H. M. and Kruse-Plass, M. 1991. The role of ammonia as an atmospheric pollutant. Odour and ammonia emissions from livestock farming, (eds) Nielsen, V. C., Voorburg, J. H. and L'Hermite, P. Elsevier Applied Science, London and New York, 17-20.

Brady, N.C and Weil, R.R 2002. The Nature and properties of Soils. 13th Edition. Prentice Hall, Upper Saddle River, 673-674.

原田靖生 1998. 畜産廃棄物による環境負荷. 農業・農村と環境. 養賢堂, 東京. 35-40.

IPCC 2001a. The scientific Basis. Climate Change 2001, Cambridge University Press, Cambridge, 388.

IPCC 2001b. The scientific Basis. Climate Change 2001, Cambridge University Press, Cambridge, 248-253.

熊澤喜久雄 1998. 地下水の硝酸態窒素汚染の現況, 土肥誌 70: 207-213

L'Hirondel, J and L'Hirondel, J-L (越野正義訳) 2006. 硝酸塩は本当に危険か-崩れた有害仮説と真実, 自然と科学技術シリーズ, 農山漁村文化協会, 東京, 1-256

松中照夫 2002. 北海道の草地の歴史と持続的発展へのシナリオ, 北海道草地研究会報 36: 16-19.

松中照夫・熊井実鈴・千徳あすか 2003. バイオガスプラント消化液由来窒素のオーチャードグラスに対する肥料の効果. 土肥誌 74: 31-38.

Matsunaka T. 2004. Animal manure - waste or nutrient source? Global perspective on livestock waste management. The 2004 Obihiro Asia and the Pacific Seminar on Education for Rural Development (OASERD), Obihiro, 75-82.

Matsunaka, T., Sawamoto, T., Ishimura, H., Takakura, K. and Takekawa, A. 2005. Efficient use of digested cattle slurry from biogas plant with respect to nitrogen recycling in grassland. Greenhouse Gases and Animal Agriculture, (eds) Soliva, C.R., Takahashi, J. and Kreuzer, M., Publication Series, Institute of Animal Science, Nutrition - Products - Environment, ETH Zurich, Zurich, 228-237.

中西康博 2002. 汚れているのは誰? -硝酸性窒素による地下水汚染. サンゴの島の地下水汚染, 中西康博編, 宮古島地下水水質保全対策協議会・宮古広域圏事務組合・宮古島水道企業団, 平良, 87-109.

Roelofs, J.G..M. and Houdijk, A.L.F.M. 1991. Ecological effects of ammonia. Odour and ammonia emissions from livestock farming, (eds) Nielsen, V. C., Voorburg, J. H. and L'Hermite, P. Elsevier Applied Science, London and New York, 10-16.

三枝俊哉・松本武彦・三木直倫・寶示戸雅之・大塚省吾・岡元英樹・二門 世・奥村正敏・木曾誠二・渡部 敢・田村 忠・阿部英則・前田善夫 2005a. チモシー草地におけるふん尿主体施肥設計法, 1. 乳牛スラリーおよび尿の基準肥効率, 北農 72: 3-10.

三枝俊哉・松本武彦・三木直倫・寶示戸雅之・大塚省吾・岡元英樹・二門 世・奥村正敏・木曾誠二・渡部 敢・田村 忠・阿部英則・前田善夫 2005b. チモシー草地におけるふん尿主体施肥設計法, 2. 乳牛堆肥の基準肥効率, 北農 72: 214-223.

三枝俊哉・松本武彦・三木直倫・寶示戸雅之・大塚省吾・岡元英樹・二門 世・奥村正敏・木曾誠二・渡部 敢・田村 忠・阿部英則・前田善夫 2005c. チモシー草地におけるふん尿主体施肥設計法, 3. 窒素の基準肥効率に対する施用時期と品質の補正係数, 北農 72 : 341-350.

三枝俊哉・松本武彦・三木直倫・寶示戸雅之・大塚省吾・岡元英樹・二門 世・奥村正敏・木曾誠二・渡部 敢・田村 忠・阿部英則・前田善夫 2006. チモシー草地におけるふん尿主体施肥設計法, 4. 化学肥料の併用方法, 北農 73 : 35-41.

Schlesinger W.H. and Hartley, A.E. 1992. A global budget for atmospheric NH_3 . *Biogeochem.* 15 : 191-211.

Sommer, S.G. and Hutchings, N.J. 2001. Ammonia emission from field applied manure and its reduction - invited paper, *Europ. J. Agronomy* 15:1-15.