

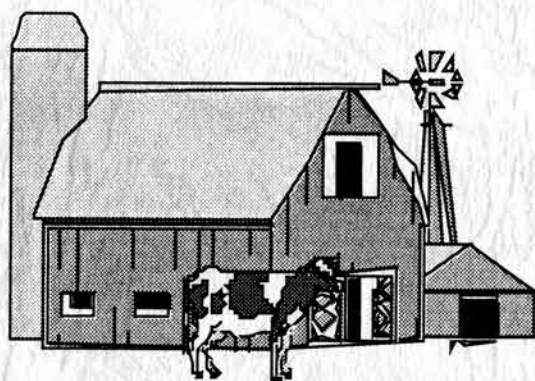
財団法人伊藤記念財団保存版

ヨーロッパ諸国における畜産環境保全 研究の推進状況の調査について

(ドイツ、フランス)

平成6年度

(財)伊藤記念財団委託事業海外調査報告書



平成7年3月

農林水産省

農業研究センタープロジェクト研究第6チーム

畜産試験場飼養技術部廃棄物資源化研究室

は じ め に

この報告書は、財団法人 伊藤記念財団の委託を受けて実施した「ヨーロッパ諸国における畜産環境保全研究の推進状況の調査」の調査結果の報告書である。

畜産物に対する需要が高まるにつれて、我が国の家畜・家きんの飼養頭羽数は年々増加し、それに伴って排泄物の量も著しく増加した。また、我が国の畜産は大規模化・専門化の道を辿っており、飼養頭羽数とそれらの排泄物を施用すべき農地面積の間にアンバランスを生じ、排泄物を有効にリサイクルすることが困難な状況が多々見られる。その結果、周辺の住民に対し、悪臭の発生や水質汚濁など大きな影響を及ぼすことが少なくない。最近、とくに環境問題に関する法的な規制が強化されつつある。また、環境に対する関心が高まるにつれ、畜産が原因となる環境問題に対しても厳しい目が向けられるようになり、このままでは我が国の畜産業の将来に大きな影響を及ぼしかねない状況にある。そこで、畜産の先進地域であるヨーロッパ諸国における畜産環境保全研究の推進状況を調査し、我が国の畜産環境保全の研究に役立てる目的で本調査を実施した。

この調査は、平成6年10月20日から同年11月2日にわたり、ドイツとフランスにおいて関係機関・施設を訪問し、畜産環境保全研究の推進状況を視察調査したものである。また、この調査報告書はドイツとフランスにおける畜産環境の規制の状況とそれに対する農家の対応状況、畜産環境保全に関する研究の状況などを取りまとめたものである。我が国における畜産環境問題の対策を考える上での参考になれば幸いである。

調査実施に当っては、財団法人伊藤記念財団、農林水産省の関係各位、畜産試験場松川場長、在ドイツ大使館荒川一等書記官並びに在フランス大使館小風一等書記官の御協力・御支援をいただいた。収集した資料の翻訳に当っては、農業研究センターの築城主任研究官、畜産試験場の田中主任研究官と長田主任研究官、国際農林水産業研究センターの八田主任研究官のほか、福士定雄さんに御協力いただいた。本調査に御協力いただいた関係の方々に厚くお礼を申し上げる。

平成7年3月

農業研究センタープロジェクト研究第6チーム長 原田靖生
畜産試験場飼養技術部廃棄物資源化研究室長 羽賀清典

目 次

はじめに

第1章 ヨーロッパ諸国における畜産環境保全研究の推進状況調査について	1
1. 目的	1
2. 期間	1
3. 調査先	1
4. 調査者	1
5. 日程表	2
6. 調査行程図	3
第2章 調査結果の概要	5
1. ドイツにおける調査結果の概要	5
(1) ヴェーザー・エムス農業会議所	5
(2) ふん尿処理パイロット・プラント	6
(3) 連邦農業研究センター (FAL)	8
(4) ヴァイエーン・シュテファン技術専門学校トリエスドルフ分校	12
(5) バイエレン州農民連盟	16
2. フランスにおける調査結果の概要	19
(1) セーヌ・マリティム県農業会議所	19
(2) オート・ノルマンディー地域の農家調査	28
(3) 農業工学・環境工学研究所 (CEMAGREF)	29
(4) ブルターニュ地域農業会議所	32
(5) ブルターニュ地域の農家調査	37
3. 収集文献一覧	38
第3章 畜産環境問題に関する研究情報	43
1. ドイツ	44
(1) 環境に調和した処理のための各種実証プラントによる試験	44
(2) ダンメーハーベルベックのパイロット・プラントにおけるスラリーの浄化	54
(3) 好気-好熱処理によるスラリーの養分の分離と利用	63
(4) ヴェーザー・エムス地方における土壌管理と浄水場の地下水の硝酸塩負荷	72
(5) 農業におけるふん尿の適切な施用について	82
(6) スラリー：貴重な農業用肥料	96
2. フランス	117
(1) 環境省 省令 1993年11月2日	117
(2) CEMAGREFの活動内容-畜産廃棄物と副産物の処理・利用	124
(3) 豚ふん尿スラリーの好気性処理の前処理としての沈殿分離の効果	126
(4) 豚ふん尿スラリーの生物処理	131
(5) 環境と競争的農業：水の保護-私たちの硝酸塩を管理しましょう	137
(6) 競争的農業と環境：適応土壌の耕作により侵食を抑制する	141
写真	145
おわりに	

第 1 章 ヨーロッパ諸国における畜産環境 保全研究の推進状況調査について

1. 目的

我が国の畜産環境問題としては、混住化に伴う悪臭や衛生害虫発生の問題、畜産の大規模化・専門化に伴うふん尿の過剰施用による地下水汚染、閉鎖系水域への流入による富栄養化などの問題が生じている。また、悪臭防止法や水質汚濁防止法など法的な規制がますます強化されつつあり、畜産を維持・振興するためには環境問題の解決は必須なものとなっている。

一方、畜産の先進国である EU 諸国においては、オランダを除けば農耕地に対する家畜ふん尿の負荷量がそれほど高くないため、畜産環境問題は我が国ほど深刻な問題にはなっていない。しかし、局地的に見れば家畜飼養密度が高い地域も多く、農地へのふん尿の多量施用による地表水の汚濁や地下水汚染、アンモニア揮散による酸性雨などが重要な環境問題と考えられており、窒素・リンなどの過剰な投入を防止するための規制、窒素・リンなどの除去やアンモニア揮散防止のための技術開発が進められている。

これらヨーロッパ諸国の畜産環境問題に対する規制の動向や研究の推進状況を調査し、これらの情報を収集して我が国の畜産環境問題の解決に活用することも重要である。このため、ドイツとフランスにおける畜産環境規制の状況と研究の推進状況の調査を現地において実施した。

2. 期間

平成 6 年 10 月 23 日～11 月 5 日（14 日間）

3. 調査先

- (1) ドイツ ヴェーザー・エムス農業会議所
 ふん尿処理パイロット・プラント（ヨハネスブルグ青年の家）
 連邦農業研究センター（FAL）
 ヴァイエーン・シュテファン技術専門学校
 バイエルン州農民連盟
- (2) フランス ノルマンディー地域農業会議所
 ノルマンディー地域農家（3 戸）
 農業工学・環境工学研究所（CEMAGREF）
 ブルターニュ地域農業会議所
 ブルターニュ地域農家（2 戸）

4. 調査者

農林水産省	農業研究センター	プロジェクト研究第 6 チーム長	原田靖生
農林水産省	畜産試験場	飼養技術部 廃棄物資源化研究室長	羽賀清典

日 程 表

日数	年 月 日	曜	行 程	用 務 先	宿泊地
1	6.10.23	日	農林団地中央→成田空港 成田空港→フランクフルト 13:00 (JL-407) 17:00 フランクフルト→ボ ン		ボ ン
2	6.10.24	月	ボン → オルデンブルグ	移動日	オルデンブルグ
3	6.10.25	火	オルデンブルグ → ヨハネスブルグ → ブラウンシュバイク	ヴェーザー・エムス 農業会議 ふん尿処理パイロット・プラント	ブラウンシュバイク
4	6.10.26	水	ブラウンシュバイク → ビュルツブルグ	連邦農業研究センター (FAL)	ビュルツブルグ
5	6.10.27	木	ビュルツブルグ → フライジング → ミュンヘン	バイエルン・シュテファン 技術専門 学校	ミュンヘン
6	6.10.28	金		バイエルン州農民連盟	ミュンヘン
7	6.10.29	土	ミュンヘン → パリ 17:15 (AF-1509) 18:55	移動日	パリ
8	6.10.30	日		資料整理	パリ
9	6.10.31	月	パリ→ルーアン→パリ	ノルマンディ地域農業会議所 畜産農家調査	パリ
10	6.11.1	火	パリ → レンヌ	移動日	レンヌ
11	6.11.2	水		農業工学・環境工学研 究所 (CEMAGREF)	レンヌ
12	6.11.3	木	レンヌ → パリ	ノルマンディ地域農業会議 畜産農家調査	パリ
13	6.11.4	金	パリ——		(機中泊)
14	6.11.5	土	——→成田空港 19:25 (JL-406) 15:10 成田空港→農林団地中央		



ドイツ



フランス

第2章 調査結果の概要

1. ドイツにおける調査結果の概要

(1) ヴェーザー・エムス農業会議所

ニーダー・ザクセン州にある2つの農業会議所の1つであり、もう1つはハノーヴァーにある。対応していただいたWodemann氏は普及を担当し、Dr. Lorenz氏は環境保全を担当している。

◎プロジェクト研究

RAM 1と2のプロジェクトがあり、RAM 1は終わって現在はRAM 2が進行中である。ここでは、狭い地域にどれだけの家畜を確保できるかという研究がされている。ドイツでは、家畜のふん尿で飼料を作るとは法律で禁じられている。FALなどで検討はされているが、現実には利用できない。

◎ふん尿の需要と供給の調整

ある農家がふん尿を多く出してしまったときは、農業会議所に連絡する。そうすると、農業会議所は飼料作物を作っているようなふん尿を利用したい農家を紹介し、ここにふん尿をどの程度運んでも良いという許可を出すようになっている。

◎ふん尿の施用量

乳牛が中心の地域では環境問題は比較的少ない。しかし、豚や鶏の場合にはふん尿中に栄養分が多く含まれている上に草地が少なく、以前はこれらの農家がふん尿を勝手に散布しており、そのため硝酸態窒素による地下水汚染が問題となった。地下水汚染は土壌の違いによって大きく異なり、とくに砂質土壌では地下に移行するスピードが早い。

ニーダー・ザクセン州では、15年前にふん尿に関する規則を作った。そこでは、ふん尿の施用量は240kgN/ha以下、施用禁止時期は10月中旬～2月中旬と定められた。施用量については、現在は200kgN/ha以下となっており、将来は160kgN/ha以下となる予定である。これらの数値は最大を示すものであり、これらよりもさらに少ないほうが望ましい。これは、窒素（廃棄物）をここまで捨てても良いという考え方の規則に従っているため、投入量が少なければ少ないほど良いということになるが、もう1つの考え方としては農作物を栽培するためには必要な施肥量および施用時期というものがある。

この地方では、化学肥料を使うとコストがかかるのでほとんど使われていないが、これらの数値は家畜ふん尿だけではなくて、農地に入るすべての窒素量を示したものである。まず土壌診断をして、土壌の窒素含量が高い場合には施用量を減らすよう指導している。新しく畜産業を始める農家があって、計画の申請が出されると、土壌診断をしてその農地で作れる作物の種類や施肥量などについてアドバイスするようになっているので、窒素施肥量の上限値は将来160kgN/ha以下に下げることが可能である。また、上記の農業会議所のふん尿需給の調整機能を活用し、「秩序正しい農業」というパンフレットに従って施用を行えば、これらの数値は達成できる。このパンフレットは当農業会議

所がハノーヴァー農業会議所と協力して作成したものである。

◎ふん尿の貯蔵

家畜ふん尿の貯留槽を作ることが極めて重要である。上記パンフレットには、貯留槽の構造はどうしたらよいとか、州の補助金50%を受けて共同で貯留槽を作れば良いという提案なども載せている。

◎水保護地域

ドイツでは地下水を飲料水とする割合が高いので、とくに地下水を汚染させない地域を水保護地域として指定している。ニーダー・ザクセン州では、100カ所の水保護地域があり、この地域に6,000戸の農家が含まれている。これらの農家では家畜ふん尿を多く施用してはならないし、肥料を多く必要とするトウモロコシなどの栽培は禁止されている。ニーダー・ザクセン州では、この6,000戸の農家に対して約5億DMの予算を持っており、貯留槽建設の補助などに使用している。

将来、このような地域が増えると考えられるので、家畜ふん尿の処理技術を高めて地下水を汚染しないようにしなければならない。

水保護地域には25の特別な地域を設けて、農業会議所が農業全体について徹底的なコンサルティングを行っている。これはすべて州の予算で行っているため、農家は無料である。この地域では、年に1回土壌の検査が行われている。これは、収穫後90cmのところの土を採って窒素とリンを測定している。水保護地域は無料であるが、それ以外の地域の農家が分析してもらう時は有料である。当州の水道料金は総計1億2千万DMになるが、その約50%が水保護地域の相談料や試験費などに使用されている。これらの水道料金は農家を保護するためだけに使われるのではなく、安全な飲料水を供給するということで、水道料金を支払った人に還元されるという考え方をとっている。

(2) ふん尿処理パイロット・プラント

ヨハネスブルグ青年の家の館長であるWillenborg氏がこのふん尿プロジェクトのリーダーを務めており、当パイロット・プラントの概要を説明していただいた。

◎ヨハネスブルグ青年の家

当施設は1903年に設立された職業学校であり、家庭生活で問題があるいわゆる不良少年・少女あるいは学校の成績が悪くてこのままでは卒業・就職が困難な青少年を引き受けて教育している。ここには180人の教員がおり、25の職業を学ぶことができる。生徒300人のうち150人が寄宿舎に入っている。この学校にバイオガス生産施設を造り、そのエネルギーをこの学校で利用しようとしてプロジェクト研究を開始したが、これによって家畜ふん尿の処理を行うことになった。また、これは教育の一環として取り入れられている。

◎ふん尿処理プロジェクト

この施設は1992年に建設され、1993年から稼働開始し、1996年3月まで稼働する予定である。イニシャルコストは700万DM、1993～1996年までのランニングコスト（修理代や電気代などすべて）は200万DMである。施設の予算は、連邦技術開発局が60%、

ニーダー・ザクセン州農林省が25%、ヴェーザー・エムス地域が10%、残りは施設を納めた民間企業によるものである。企業には、連邦技術開発局が最初から20% O F F の条件をつけて納入させている。

このプロジェクトには、数人の研究者が参画しており、リーダーのWillenborg氏は化学の専門家であり、微生物学や農業機械など様々な専門家がおり、その他に運転手、コンピューター、電気、修理などの技師も関わっている。この施設は、研究が終わっても1.5人の労働力で運転を続ける予定である。現在は4.5人で管理しているが、それまでに1.5人で管理できるような体制にしておくことになっており、現実的な方向に進んでいる。

◎家畜ふん尿の収集

この施設の処理能力は50m³/日であり、平均して5～7 km以内の農家（例外的には30 km）のふん尿を集めている。各農家からは計画表を提出してもらい、それに従って電話で確認してから取りに行くようにしている。

◎パイロット・プラント

ドイツでは、7カ所（うち1カ所はすでに試験終了）でそれぞれ異なるシステムのふん尿処理パイロット・プラントが稼働している。他のプラントはいずれも単独の事業所から出るふん尿の処理をしているが、ここでは多くの農家を対象にしている。当システムはふん尿からエネルギー（バイオガス）と肥料（コンポスト）を作り、廃液を河川に放流しても良いほどきれいな水にすることを目的にしている。ドイツではバイオガス生産はかなり普及しており、約1万戸の農家で稼働している。

集められたふん尿は、まず病原菌等を死滅させる目的で、高温（70℃あるいは90℃）で2時間処理し、殺菌効果はシュツットガルトの研究所で検査してもらっている。殺菌効果を低下させないでどこまでエネルギーを節約できるか、現在研究中である。

バイオガスのリアクター（500m³）は2基あり、リアクター1（1時間だけ攪拌）とリアクター2（連続攪拌）を用いて攪拌の効果を試験中である。廃液の1/3は貯留しておき、農家に取りに来て農地に施用している。また2/3はスクリーブレス（0.7mm）を用いて固液分離する。3割が固形物で、これは堆積してコンポスト化を行う。7割が液状物で、そのうち30%を膜技術でさらに処理する。

膜技術は処理効率が悪く、技術的にはまだ液状物を全量処理するには至っていない。最初に0.1mmのフィルターを通した後、限外ろ過（0.2μm）を行い、さらに40～60気圧の圧力をかけて逆浸透を行う。限外ろ過の効率は2m³/hrであり、逆浸透は400～500 L/hrである。逆浸透により50%の固形物と50%の処理水に分離できる。固形物は濃縮タンクで濃縮してから他の分離固形物とともにコンポスト化を行う。当プラントで用いられている逆浸透装置はオランダの企業製である。オランダでは逆浸透装置を使用している農家もある。ドイツでは逆浸透は下水処理では実用化されているが、農業関係では当プラント以外ではまだ用いられていない。

処理水の水質は、COD（150mg/L以下）、BOD（40mg/L以下）、P（2mg/L）、NH₄-N（10mg/L以下）、NO₃-N（5mg/L以下）を目安としている。当プラントでは、ほとんどの項目はこ

これらの基準以下になっているが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ だけはこの基準を達成できていない。液の pH は 9 前後と高いので、 NH_4^+ は NH_3 となってガス浸透するために逆浸透膜でも窒素が除去できないと推測される。従って、第 1 逆浸透の後で pH を調整してから第 2 逆浸透で処理すれば窒素の除去率は上がると思われる。

◎コスト

当プラントでは、 $50\sim 70 \text{ DM/m}^3$ のランニング・コストがかかっている。現在は 4.5 人で管理しているが、2～3 人で管理することとし、ふん尿の処理料（現在は 4 DM/m^3 ）、肥料の販売料、ガス販売料などを含めれば、なんとかコストをカバーできると思われる。デンマークでは、家畜ふん尿だけでなく、屠場や食品工場の廃棄物なども引き受けて処理しているプラントがあり、そこでは利益が上がっていると聞いている。コストのことを考えると、このような措置も必要であろう。

◎ハーベルベックのパイロット・プラント

ダンメ・ハーベルベックのふん尿処理プラントは、前記 7 つのパイロット・プラントの 1 つであり、デュンメル湖の水質悪化を防ぐために建設された。イニシャル・コストは 1,300 万 DM であった。このプラントでは豚のふん尿を処理し、1 日に $600\sim 900 \text{ m}^3$ のバイオガスと年間 $1,500 \text{ m}^3$ のコンポストを生産していた。このシステムの特徴は、メタン発酵の廃液に石灰を添加し、P はリン酸カルシウムとして沈殿させ、N はアンモニアガスとして揮散させた後硫酸に吸収させ硫酸アンモニウムとして回収するものである。しかし、この方式では処理水の目標とする水質を達成できず、またコンポストの石灰含量が高すぎて使用できなかった。このプロジェクトは終了し、施設はすでに撤収されている。

(3) 連邦農業研究センター (FAL)

FAL はブラウンシュヴァイクにある連邦政府の農業研究センターであり、土壌・作物関係、畜産関係、農業機械・技術関係、農業経済関係など多くの部から構成されている。ドイツにおける家畜ふん尿の利用状況やふん尿処理システムに関するプロジェクト研究について、技術部の Dr. Weiland 氏と Dr. Hahane 氏、生産機械部の Dr. Sonnenberg 氏より説明を受けた。

◎家畜ふん尿の発生量 (Dr. Weiland 氏の説明)

全ドイツで年間 1 億 9 千万トンの液状ふん尿と 8 千万トンのふん（固形状）が発生している。液状ふん尿の中には 76 万トンの窒素と 40 万トンのリン酸が含まれている。液状ふん尿からは 34 億 m^3 のバイオガスを作ることにもできる。しかし、これは全ドイツで使用するエネルギーの 1 % にすぎない。液状ふん尿は多くの栄養分を持っていながら、地域的には環境汚染の原因になっている。

◎農地への施用量についての規則

州によって多少異なるが、施用して良い量及び時期が定められている。ニーダー・ザクセン州では、 80 kgN/ha を 1 DE (肥料単位) とし、地域によって施用して良い量を次の表に示す。カテゴリー I は水保護地域や肥料を一切使用してはいけない地域、カテゴリー II は研究所で達成できる数値、カテゴリー III はニーダー・ザクセンの現状を示す数

値である。カテゴリーⅢのようにN施用量は 180～240kg/haが通常であるが、作物と時

	カテゴリー			畜 種	1 M U
	I	II	III		
肥料単位 (M U)	1.0	2.0	2.5	搾乳牛	1.5 頭
N kg/ha	80	160	200	未經産牛	3.0
P ₂ O ₅ kg/ha	70	140	175	子 牛	9.0
				豚	7.0

期を選べば、160kgN/ha は可能である。たとえば、トウモロコシを含むほとんどの穀物類の栽培はこの施用量では無理だろう。

◎家畜飼養頭数の地域的偏在

オルデンプルグやブレーメンの付近は「豚の地域」と呼ばれており、ふん尿の負荷量が高い。全ての農家で家畜の頭数と農地面積のバランスがとれているわけではない。家畜は地域的に偏在しているので、まだ余裕のある旧東ドイツも含めて平均化したい。長期的には畜産を分散させたいが、短期的にはふん尿を運搬することが重要である。

◎家畜ふん尿による環境影響

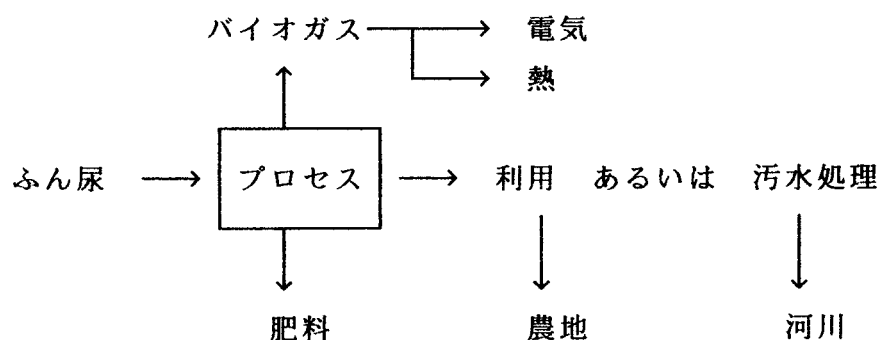
ふん尿が原因となって生じる環境影響としては、硝酸態窒素による地下水汚染、地表水の富栄養化、土壤汚染、アンモニア揮散、メタン発生（二酸化炭素の20倍の温室効果）、亜酸化窒素（二酸化炭素の 200倍の効果）、悪臭、病原菌（ペスト等）などがある。

◎家畜ふん尿の処理技術に関する研究

F A Lでは、固液分離によって液状物をできるだけ分離する技術、コンポストおよびミネラル肥料として栄養分を回収する研究、バイオガスを生産してエネルギー利用する研究、揮発性汚染ガス（NH₃、N₂O、CH₄）発生を抑制する研究、悪臭の発生を防止する研究等を実施している。

この研究に関与する研究者は、技術部では5名であるが、全体では20～30名になるだろう。この研究に対して、ドイツ連邦政府は 4,500万 D M、ニーダーザクセン州政府は約 2,000万 D Mの予算を出している。これは5年間のトータルの金額である。

◎家畜ふん尿の基本的な処理・利用システム



◎排水の水質の目標値

排水の水質規制については、全国的な基準はないが、地域的には目標値を定めている。たとえば、ニーダー・ザクセン州では右に示すような数値を設定している。但し、これらの数値は排水基準ではなく、技術的にはここまで可能という目標の数値であり、これらの目標値が達成できている所は少ない。ヨハネスブルグの実証プラントでは、ほとんどこれらの数値を達成しているが、膜処理の効率が悪く、処理に時間がかかりすぎるのが問題である。

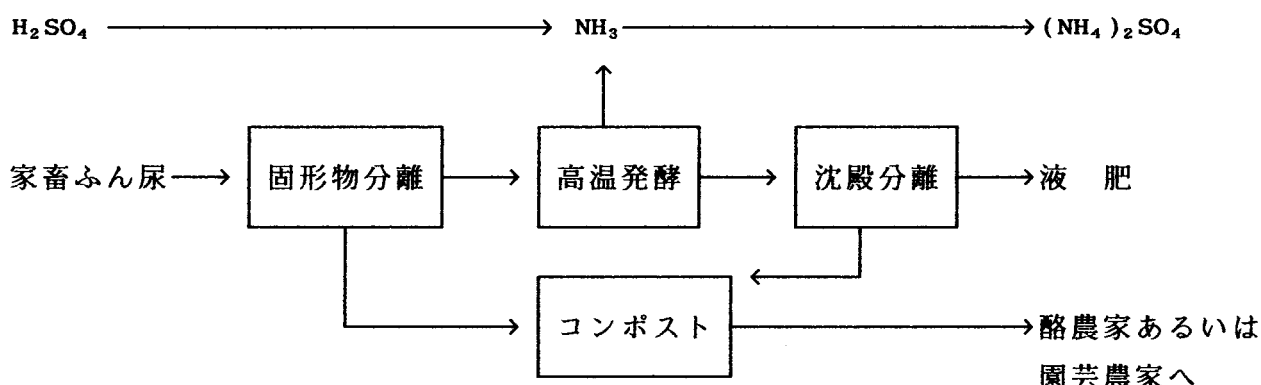
C O D	100	mg/L
B O D	30	
N H ₄ -N	10	
N O ₂ -N	1	
T K N	25	
P	2	
K	50	
C ℓ	200	

◎家畜ふん尿処理を実施するか否かの選択

ドイツでは農耕地への家畜ふん尿の投入量が制限されているため、農地面積が狭くてふん尿が過剰になる場合には、処理技術によってふん尿中の養分量を低下させるか、あるいは農地を購入して面積当たりの投入量を低下させることが必要であり、農家はいずれの方法が得であるかを考えて選択することになる。

◎高温発酵技術の研究（Dr. Hahane 氏の説明）

現在、F A Lでは家畜ふん尿の効率的な処理システムとして、高温発酵技術を組み入れたプロセスの研究をしている。プロセスの概要は以下のようなものである。



高温発酵では、10m³のスラリーに対して1時間当たり10～20m³の空気で曝気する。それにより、pHが9.6まで上がり、温度はB O Dと無関係に70℃以上に上がる。高pHと高温により微生物、たとえばサルモネラ菌などが死滅する。曝気の期間は、スラリー中の窒素と炭素の量によって幅があるが、2～5日間程度である。

このプロセスでのNとPの除去率は、豚ではそれぞれ66%と36%、牛では61%と65%である。但し、この除去率はスラリーの濃度によって大きく異なり、高濃度のスラリーでは除去率は高くなるが、希釈されたスラリーではこの値は下がり、これらの数値はその平均値である。

◎固形物分離技術の研究（Dr. Sonnenberg氏の説明）

ふん尿より固形物を分離するために、スクリープレス、フィルタープレスおよび遠心分離が用いられている。スクリープレスあるいはフィルタープレスを用いた場合の

固形物、NおよびPの除去率を下に示す。

		牛	豚
スクリープレス	固形物	27 %	38 %
	N	10	
	P	35	
フィルタプレス	固形物	31	33
	N	16	16
	P	21	20

遠心分離機を用いる脱水式は機械の価格が高いし、ランニングコストもかかりすぎる。スクリープレスやフィルタプレスは最近小型化されて良い製品が開発されているし、コストも安く農家でもよく使用されている。

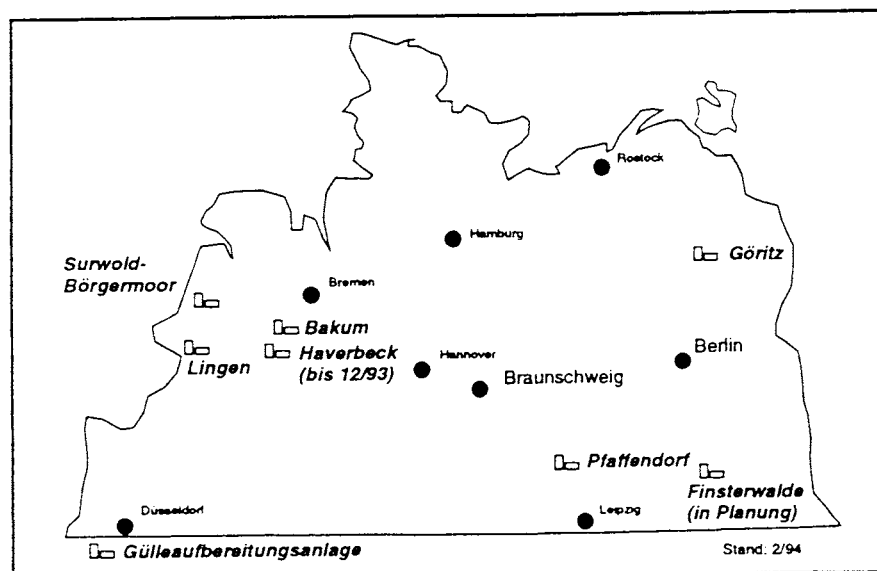
スラリーの濃度が高いほど、すなわち全乾物含有率が高いほど、全固形物、NおよびPの除去率は高くなり、とくにPの除去率は高濃度で急速に上昇する。従って、固形物が高い状態で分離したほうがPはよく除去できる。

◎家畜ふん尿処理のためのプロセスと実証プラント（Dr.Weiland氏の説明）

プロセスのタイプ	処理技術
機械的プロセス	固形物分離 逆浸透
熱的プロセス	蒸散 アンモニア・ストリッピング
化学的プロセス	リンの沈殿 窒素の沈殿（MAP） 有機物のフロック化
生物的プロセス	嫌気性消化 好氣的汚水処理 硝化・脱窒 コンポスト化

これらのプロセスを組み込んだ実証プラントを7か所に建設し、実証試験を実施中で

ある。実証プラントはニーダー・ザクセン州に4カ所（ベルガームーア、ハーベルベック、バクム、リンゲン）あり、旧東ドイツに3カ所（ゲーリッツ、フィンスターバルト、ファッフェンドルフ）ある。ニーダー・ザクセン州は昔から畜産が盛んであり、また旧東ドイツは農家1戸当たりの規模が大きい。また、ドイツ南部は畜産農家戸数は多いが、規模が小さいため、家畜の飼養密度は低い。このような理由から、実証プラントはドイツ北部に集中して設置されている。



実証プラントの所在地

これらの実証プラントには家畜ふん尿のみを処理しているところもあるし、民間からの廃棄物処理を同時に行っているところもあり、この場合はコストの面で有利になっている。フィンスターバルトのプラントは現在建設中であるが、食品会社の廃棄物を引き受けて処理するよう最初から契約しており、1995年の中頃に完成する予定である。リンゲンのプラントは、屠場の廃棄物を引き受けて処理しており、この場合も経費的には大変助かっている。いずれのプラントでも共通して実施しているのはコンポスト化とバイオガス生産である。バイオガスはヒーターおよび発電に利用している。ヒーターの場合は主に自己の経営内で使用しており、電気の場合には60%を売電しているところもある。

これらの実証プラントのどのシステムが機能的・コスト的に有利であるかはまだ分かっていない。2年後にすべてのデータを検討した後に結論を出す予定である。

(4) ヴァイエン・シュテファン技術専門学校分校

バイエルン州の畜産の状況、当技術専門学校で実施しているふん尿処理の研究、環境保全的な施用技術などについて、Dr.Seibert氏、Dr.Lorenz氏、Dr.Feige氏より説明を受けた。

◎ ヴァイエン・シュテファン技術専門学校について（Dr.Seibert氏の説明）

当技術専門学校はバイエルン州で最大の専門学校であり、緑に関するすべてのことを教える唯一の学校である。たとえば、伝統的な農業、園芸、家庭内の保健、食品、バイ

オ・テクノロジー、森林、土壌学、農業生物学、地質生態学、環境保全などである。

この分校では、環境保全と一般の農業に関して力を入れている。現在、ここでは 500 名の学生を教育しており、そのうち 350名が農業、150名が環境保全を学んでいる。その他、外国からの留学生としては、ポーランド、チェコ、スロヴァキア、アルディック諸国（旧ソ連）などから来ている。当校ではロシアの学校とコンタクトをとり、学生や教授の交換を行っている。また、当校はフィールドを持っているので、机の上だけでなく現場での勉強ができる。

◎南ドイツの農業の概要

ドイツ南部では北部に比べて、農家が有している土地の広さが小さい。平均16.4haであり、ニーダー・ザクセン州の約 1/2である。ドイツ全土の農家戸数は65万戸であり、バイエルン州ではその約 1/3で、20万 5千戸である。バイエルン州は工業の盛んな州であるが、農家戸数もこのように多い。また、バイエルン州の全農地（339万ha）のうち約 1/3が牧草地（125万ha）であり、牛が多い。農家1戸当たりの牛の平均飼養頭数は36.6頭であり、そのうち乳牛は16.5頭である。農地面積当たりの牛の平均頭数は132頭/100haである。また、豚の頭数は、農家1戸当たり45.4頭であり、農地面積当たりでは114 頭/100haである。

◎肥料単位

バイエルン州では、138,000 戸の農家の農地に対するふん尿負荷量の平均値が1.1MU/haであり、ここでは現在のところふん尿の問題は少ない。3.0MU/ha以上の農家はまだ少ないが、経済的な理由から規模が拡大し次第に多くなる傾向にある。そして、農家の土地面積の拡大よりも、家畜頭数の増大のスピードのほうが大きい。バイエルン州では他の地域に比べて地価が高いので、家畜だけが増える結果となった。また、主な収入が農業でない兼業農家が増えているが、完全に農業をやめる農家は少ない。そのために、売買の対象となる農地が出てこない。また、豚は農地を必要としないため、豚の頭数が増えて、汚染がひどくなっている。

◎今後の畜舎および飼養形態について（Dr.Lorenz 氏の説明）

バイエルン州の畜産農家が生き残るためには、投資すべきコスト、スペースなど現状の分析を行い、今後の改善計画を立てることが重要である。

バイエルン州の子牛、種牛の牛舎はその90%が敷料を使っておらず、床はスノコ式になっていて、ふん尿は下に落ちるようになっている。スノコの穴の幅は25~30mmである。これがバイオガスを生産するときの最初の装置になる。現在、乳牛は90%以上がつなぎ飼いであるが、今後10年以内に、つなぎ飼いは30%、フリーストールが70%になるだろう。また、肉牛も乳牛も将来はすべてフリーストールになるだろう。

養豚では、今後新しく豚舎を建設する場合にはこのタイプになる。1つのストールが180 × 180cm で、30kgまでの豚なら10頭、妊娠した豚は1頭の母豚と23匹までの子豚を飼うことができる。これが経済的な広さである。豚舎をこのような形で建設するならば、30~100kg の肥育豚を720頭まで飼って良いことになる。もし、720 頭以上飼う場合には、将来は特別な許可が必要となる。州によって異なるが、隣のバートブルテンブ

ルグでは、全体の頭数が決められており、どこかの養豚場がやめない限り、飼養頭数を増やすことは厳しく禁じられている。連邦政府では、毎年2回、8月と12月に飼養頭数をチェックしている。バイエルン州でも、環境保護のためには、今後このような措置が必要であろう。

牛および豚のふん尿発生量と貯留槽の必要容積

畜 種	m ³ /頭			m ³ /GV		
	1日	6ヵ月	8ヵ月	1日	6ヵ月	8ヵ月
乳牛						
4000 kg ¹⁾	0.050	9.0	12.0	0.042	7.7	10.2
5000 kg ¹⁾	0.053	9.5	12.8	0.044	8.0	10.6
6000 kg ¹⁾	0.056	10.0	13.6	0.047	8.6	11.4
肥育雄牛	0.024	4.2	5.8	0.034	6.2	8.2
若牛	0.024	4.2	5.8	0.040	7.3	9.6
育成子牛	0.008	1.5	2.0	0.040	7.3	9.6
肥育子牛	0.004	0.7	1.0	0.020	3.7	4.8
肥育豚	0.005	0.9	1.2	0.042	7.7	10.8
繁殖雌豚	0.007	1.3	1.8	0.021	3.9	5.2
子豚	0.002	0.4	0.6	0.050	9.1	12.0
19頭の子豚を伴う母豚	0.013	2.4	3.2	0.028	5.1	6.8

¹⁾ 乳量/頭・年

◎バイエルン州でのふん尿の利用 (Dr.Feige氏の説明)

バイエルン州でのふん尿施用量の現状は以下のとおりである。この 19.2 m³のふん尿中には、75kgの N、35kgの P₂O₅、100kg の K₂O および20kgの CaO が含まれている。

牛ふん尿	17	m ³ /ha
豚ふん尿	2	m ³ /ha
鶏ふん尿	0.2	m ³ /ha
合 計	19.2	m ³ /ha

バイエルン州における、家畜ふん尿と化学肥料の両方を含む施肥量の1993年の平均値 (kg/ha)は以下のとおりである。

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
化学肥料	95	40	45	80
家畜ふん尿	75*	35	100	20
合 計	170	75	145	100

* このうち50%は
NH₃として揮散
する。

しかし、環境保全の観点からすれば、これではまだ施用量が高すぎる。ビートや冬小麦ならば、Nは120、P₂O₅は65、K₂Oは75 kg/haで十分である。とくに K₂Oの場合にはかなりの量がわらの中に残るので、施用量は少なくてよい。N施用量の現状は170 kg/haであるが、目標は120 kg/haである。但し、ここではトウモロコシは計算に入れていない。トウモロコシはより多くの養分を必要とするので、その場合には施用量は多くなるが、養分の回収量も多くなるので、トウモロコシを栽培しても環境中への養分の放出量がそれほど多くなるわけではない。また、ふん尿を施用すればアンモニアが揮散するので、これを50%削減するための試みが上記の120 kg/haという数字である。

◎アンモニアの損失

大気中のアンモニアの90%は農業由来であることが判明している。貯留槽にふん尿を貯留している間に、アンモニアの30～40%は揮散する。ふん尿を土壤に施用する場合、表面散布をすればNの損失は大きい、土壤に注入すればNの揮散はかなり防ぐことができる。

◎スラリー中の養分の変動

スラリーを発酵させる時の処理の仕方によって養分が変動する。

	生	放置	攪拌	時々曝気	連続曝気
乾物量	6.1	6.0	6.0	4.8	3.0
無機態N	5.1	4.1	4.1	4.0	3.3
有機態N	1.0	1.4	1.2	1.5	1.7
pH	7.8	7.2	7.4	7.9	8.6

スラリーの乾物量は、攪拌しても曝気しなければほとんど変化しないが、曝気すると有機物が分解して急激に低くなる。無機態Nは曝気によって揮散し、含量が低くなる。有機態Nは微生物が増殖するために増加する。また、pHが上昇し、そのためN揮散量も多くなる。

2～3カ月貯留したスラリーのN量を100とすると、攪拌だけしたものでは99、時々曝気したものでは93、連続曝気したものでは90になる。メタン発酵したものでは、アンモニアの量は多くなる。連続曝気すると、処理中には臭気が発生するので住宅地では問題であるが、曝気処理によって悪臭の原因となる物質が分解されるので、臭いの少ない

ものにすることができるとのこと。

◎牛舎およびバイオガス施設の見学

本校で飼養している牛の品種はシーメンタールであり、乳量は約6,000 kgである。牛舎の床はスノコにしており、穴の幅は25～30mmで、70mm間隔であけてある。床に敷料を敷くと衛生的でないし、ゴムマットにすると衛生的ではあるが滑りやすいため、動物愛護の観点からも、スノコ床を採用している。ミルキング・パーラーでは、搾乳中に乳量、温度、乳脂率、搾乳のスピードなどが自動的に測定できるようにしている。

バイオガスについてはウッド、メタル、セメントと各種の材料を用いたタンクが用いられている。木製のタンクはサイロを再利用したものであり、長持ちがするが、乾燥に弱いという欠点がある。タンクは建設費が安価という理由から、すべて地上式である。保温対策も講じてあり、たとえばコンクリートはグラスファイバーで囲み、床にヒーターが設置してある。

このバイオガス施設では、ふん尿だけでなく食品工業の廃棄物も引き受けて処理している。ふん尿は1日に3回搬送し、まず固液分離を行う。ここで用いている固液分離機の処理能力は3 m³/hr である。分離固形物は堆肥化し、分離液をタンクに投入する。タンクの容量は150 m³であり、投入量は25℃の場合に5m³/日、35℃にすれば8m³/日、55℃では13m³/日となる。この施設では、1日に100m³のバイオガスが生産されており、ガスは建物のセントラルヒーティングに使用しているが、将来は発電も行う予定である。

この施設の建設費は13万DMかかっているが、バイオガスの販売収益（学校にガスを販売したとして計算する）は年間18,000DMであり、20年間使用できるとして計算されている。この地域では、このバイオガス施設を導入する農家が多くなった。現在、バイエルン州では80戸の農家が使用しており、中部フランケンでは昨年20戸の農家が建設し、さらに30戸が計画中である。

(5) バイエルン農民連盟

当農民連盟では、バイエルン州の農業者のための労働組合のような仕事をしている。当所が本部であるが、バイエルン州には7つの支部（地域単位）、73の大きな地域の支部（町単位）、7,000の小さな地域の支部（村単位）から成り、全体で19万戸の農家がメンバーになっている。これはバイエルン州の農家の93%を占めている。農民連盟の会長はゾンネン・ライトナー氏で、この農民連盟の上部組織は連邦にあり、さらにそれはECに属している。10月に総選挙があるが、農民の選挙に対する影響力は非常に大きい。

◎バイエルンでの農業の問題

農民は自分で作りたいものを作って、それを自分で売りたいと思っているが、連邦だけでなくヨーロッパ全体のルールによって、今はそうならない。もちろん、ECのルールには従わねばならないが、その範囲の中でオープン・マーケット式に出来るのではないかと考えている。

バイエルンは工業が盛んであり、それにつれて人口が増えたため住宅地が多くなり、農地が減少している。地価も非常に高く、小作料も高くなっている。たとえば、20年前

に 1万～1.5 万 DM/ha の土地が今では 5万 DM/ha になっている。旧東ドイツでも地価は高くなっており、1～2万 DM/ha 程度である。ミュンヘンの近くですでに住宅地になっているところは 2,000DM/m²、同じバイエルン州でも東の方では 20DM/m² というところもあり、これほどの差がある。

その他の問題としては、環境問題がある。農家の方もこの問題については知識が十分でないし、経済的に対応できない農家もある。

◎バイエルン州の農業の概況

バイエルン州には全体で 340万 haの農耕地がある。その36%が牧草地、62%が畑である。210 万 haの畑のうち穀物が 116万 ha (収量 644万 t)、ジャガイモが 6.2万 ha (242 万 t)、ビートが 8万 ha (500 万 t)、油作物 (ナタネ、ヒマワリなど) が 11.6 万 ha (33万 t)、サイレージ用トウモロコシが 32.5万 ha (1,30万 t) である。

家畜の頭数については、牛が1993年時点で 430万頭いるが、1980年には 490万頭飼養されており、この13年間に13%減少したことになる。農家1戸当りの平均飼養頭数は38頭である。そのうち乳牛の頭数は1980年で 198万頭、1993には 160万頭であり、20%減少している。乳牛の1戸当りの平均飼養頭数は17頭である。豚の総飼養頭数は 380万頭であり、1戸当りの平均飼養頭数は母豚が18.3頭、肥育豚は57頭で、極めて小規模である。バイエルン州でも専門化の傾向は多少見られるが、多くの農家は牛も豚も飼っており、繁殖も肥育も行っている。また、ふん尿の問題があるため、いずれの農家も畑を持って換金作物なども栽培している。現在、食肉の価格が低下しており、農家は畜産の専門化を望んでいるが、政府としては各農家に対して頭数の制限をしようとしている。

◎バイエルン農作物プログラム

バイエルン州では、毎年 5,000戸の農家がやめており、1960年から現在までに約15万戸の農家が減少している。しかし、農業をやめても他の農家はその家畜を購入して規模を拡大しているので、家畜の総飼養頭数はそれほど減少していない。1974年に州として農家をよりサポートしようという運動を始めたが、農家の現象を防ぐことが出来なかった。現在では、農耕地がこれ以上減少するのを防ぐように変わってきている。そのための補助金は州政府と連邦政府が50%ずつ出している。

DMはヨーロッパの中では非常に強い通貨であるので、ヨーロッパで作物の価格が決められているために、農家の収入は他の国に比較すると下がってしまう。このプログラムでは、このような収入の低下分も補償するようになっている。

また、このプログラムでは、現在ある農耕地について景観を保全しつつ休暇地として利用したい場合には家畜の頭数を減らさねばならず、それに対しても補償するようになっている。この補助は州政府や連邦政府だけでなく、EUからの補償も受けられるようになっている。バイエルンは、ドイツの中でEUからの補助金を初めて受けた州である。

◎家畜ふん尿のプログラム

バイエルン州にも、1984年にふん尿のプログラムができた。たとえば、地下にふん尿の貯留槽を新たに建設する農家には補助金を出すようになっている。この補助金により、1984年から現在まで 1,100万 m³の貯留槽が建設された。これまでは、地上式の貯留

槽が多かったが、この制度によって地下式の貯留槽を作る農家が多くなった。地下式は建設費が高くつくが、アンモニアの揮散防止に有効であるので、このプログラムの中で提案している。

◎水保護地域

バイエルン州では、法律によって規制されているのは水保護地域のみである。現在のところ、全農地の3%が水保護地域に指定されているにすぎないが、バイエルンの水道局では水保護地域をもっと増やしたいと計画している。但し、水道局でも、家畜の頭数の多い場所とか特に施肥量の多い作物を栽培している場所は避けるようにしている。

農民連盟では、汚染された農地をきれいにするように指導している。具体的には、73の支部の環境保全の担当者が計画を立て、これを各村に持って行き、農家の収入などを考慮に入れて相談しながら進めている。

水保護地域では、農家1戸当たり乳牛なら120頭、豚なら400頭までとなっている。これらの農家は最低6カ月分のふん尿を貯留できるタンクを持っていなければならないが、このようなタンクを2つ持っている場合には乳牛160頭まで飼ってよいことになっている。畜産の専門化を進めるためには、この程度の規模が必要であるが、そのためにはそれに応じた農地を有していなければならない。



2. フランスにおける調査結果の概要

(1) セーヌ・マリティム県農業会議所（オート・ノルマンディー地域）

同会議所の環境・施設担当専門技術員のChristophe de Colnet氏から説明を受けた。フランスではふん尿による地下水の硝酸塩汚染が問題となっているが、農家単位に対策を組んだほうが実効が上がると考えている。すなわち、農家のふん尿貯留槽や各種装置を整備し、農地散布の時期などを規制することによって、地下浸透による硝酸塩汚染を防ぐことができる。

◎指定施設規制の年次計画

フランスでは、古くから公害の発生源となる施設について指定施設規制がある。新設の牛舎では40頭以上の施設が対象となるが、既設の場合は200 頭以上と優遇されている。しかし、表1にあるように1994年現在では200 頭だが、年々厳しくなり、1998年には70頭になる。指定施設は、畜舎の床面やふん尿貯蔵・輸送施設が漏水しないこと、雨水がふん尿に混じらないような設備を整えること、スラリーや堆肥の貯蔵容量が4 か月分以上あることなどが義務付けられる。また、畜舎は他人の居住施設から100 m 以上離れていること、井戸や水源などあらゆる水域から35m、遊泳域から200 m、養殖域から500 m 離れて設置される必要がある。

表1 規制の年次計画

	1994年	1995年	1996年	1997年	1998年
豚（常時飼養頭数）	1,000	800	650	550	450
牛（大家畜単位：UGB）	200	150	100	90	70
採卵鶏	60,000	50,000	40,000	30,000	20,000
他の家畜飼養農家（UGBN）	200	150	100	90	70

UGBN：大家畜単位相当の窒素（表3参照）

◎事前診断と規制のプログラム

規制のプログラムのフローチャートは図1に示すとおりである。汚染対策の事前診断調査には2日間で約6,000 フラン（約12万円）の経費がかかるが、それは全額補助金で賄われる。

事前調査の結果、規格に合致した雨樋や貯留槽（4 か月分）などの建設を行う場合には、国や公共団体から35%、集水流域局から30%の補助金が出る。工事開始時に一時金が出て、工事完成後、検査に合格すると全額が支払われる。

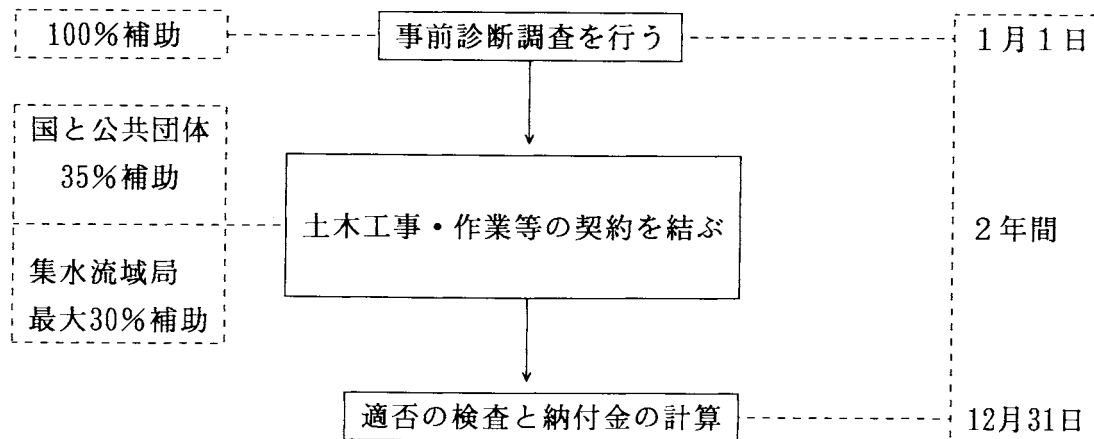


図1 事前調査診断と規制のプログラム

◎事前診断結果の例

診断項目は、貯留施設の容量、雨水の集水と分離、集水溝や貯留槽の水漏れ防止、機械式曝気によるスラリーの脱臭、散布施設（傾斜角度）、肥料成分の収支などである。例えば、表2は欠陥のある畜産農家を診断した結果の例である。この診断結果をもとに、雨樋を付けたり、十分な量の貯留施設を建設したり、ふん尿施用量を適正化したり、規格に合わせる措置を講ずる。

表2 事前診断調査の結果の例

建築物について：
<ul style="list-style-type: none"> ★運動場の周りの樋がなく、ふんの掻き取り装置が壊れている。 ★搾乳パーラーの洗浄水を集める施設がない。 ★ふん尿の性状は良いが、貯留施設の容量が不十分で、汚水の貯留槽がない。 ★スラリーの貯留期間が不十分である。 ★汚水が回収されていない。
農業体系について：
<ul style="list-style-type: none"> ☆散布面積の全部を利用していない。 ☆トウモロコシ、テンサイ、牧草畑への施用が窒素過剰である。 ☆ふん尿の60%が、散布許可期間以外の時期に散布されている。 <p>（貯留施設の容量が不十分である）</p>

◎施設の規格

①大家畜単位相当の窒素量（UGBN）の決め方

大家畜単位相当の窒素量を73kgとし、それを1 UGBNと呼ぶ。その換算方法は、表3に示すように決められている。

この値は、CORPEN (Comite d'Orientation pour la Reduction de la Pollution des Eaux par les Nitrates, les phosphates et les produits phytosanitaires provenant des activites agricoles：農業活動を起源とする硝酸塩およびリン酸塩による水質汚染削減指導委員会)の規準にそって、乳量6,000～7,000ℓ相当またはそれ以上の搾乳牛の排出する窒素量を1 UGBNとしている。例えば、未經産牛の1～2年の場合は、 $73\text{kg} \times 0.6 = 43.8\text{kg}$ と算出する。

②搾乳牛のふん尿貯留施設の規格

畜舎の型式の異なる乳牛のふん尿貯留施設の規格を表4に示す。体重650 kgの乳牛については、牛乳生産量を7,000ℓとして、スラリーの量を算出した。体重550 kgの場合には牛乳生産量を5,000ℓとして、スラリーの量を15%減とした。

例えば、図2はフリーストールの屋根あり運動場、敷ワラ踏み込み、コンクリート運動場、ふんを固形状でかき取る型式について、畜舎の見取り図(a)と内部の平面図(b)を示している。畜舎内部は奥の10m幅にワラが積み重ねられており、その前3.5 mがコンクリート製の通路で、ここにたまったふんとワラをかき取る。さらにその前4 mが給飼用の通路である。この場合、表4から4か月分の貯留施設は、堆肥用に 4.2 m^2 ／頭、液状ふん尿用に 1.4 m^3 ／頭が必要となる。

図3は屋外に運動場を持つ型式である。ふん尿は雨水で希釈されたスラリーとなり、飼料のやり方によって、スラリー量が異なる。例えば雨水量を90mm、4か月貯留施設の必要量は表4から、敷ワラ踏み込みで飼槽への給飼方式の場合 6 m^3 、サイレージの自由採食の場合 7.2 m^3 、また牛房で給飼方式の場合 8.4 m^3 となる。

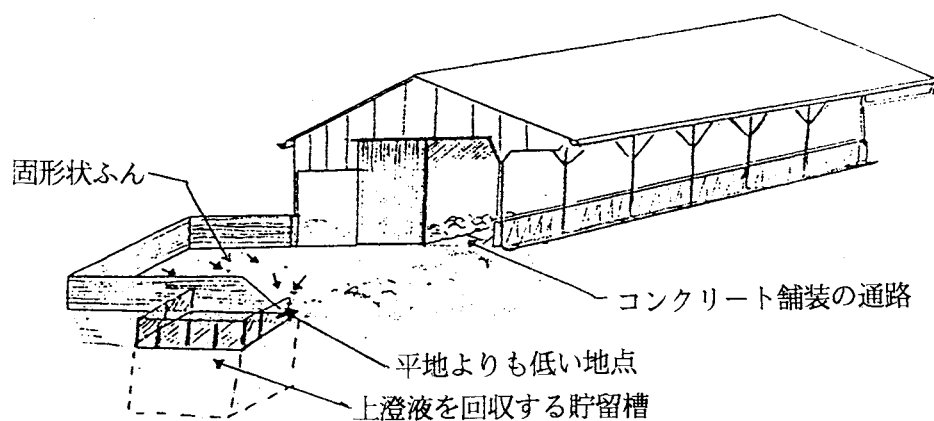
表3 各種の畜産経営のUGBN値 (CORPENの規準)

(注: 1 UGBN = 73kg窒素)

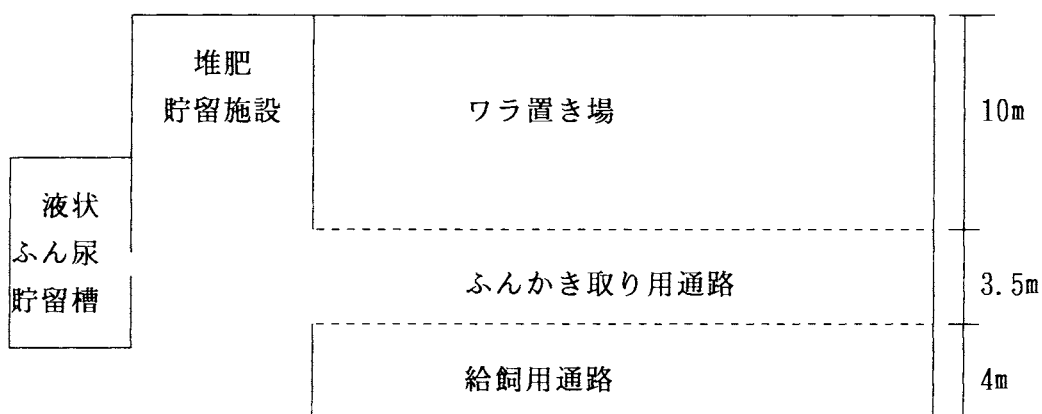
牛			
牛: 相対単位: UGB	搾乳牛	乳量8,000 ℓ 相当またはそれ以上	1.1
		乳量6,000 ~ 7,000 ℓ 相当またはそれ以上	1
		乳量6,000 ℓ 以下	0.9
	哺乳母牛		0.7
	未經産牛	0 ~ 1 年	0.3
		1 ~ 2 年	0.6
		2 年以上	0.8
	肉用牛	0 ~ 1 年	0.3
		1 ~ 2 年	0.6
		2 年以上	0.7
	去勢しない雄牛		1
	肉用子牛: 相対単位: 生産された子牛 (VP)		
	子牛生産 (90kg/150 kg)		0.03/0.04
		肉用子牛飼養 (3 群/年)	0.1
豚			
相対単位: 肉豚 (PP)			
肉豚、離乳後出荷まで (常時飼養頭数 × 2.5 = 出荷頭数)			0.05
雌豚、雄豚			0.25
離乳後の子豚			0.01
屠殺時に離乳の肉豚			0.06
鶏			
採卵鶏、繁殖鶏: 相対単位: 採卵鶏 (PP)		採卵鶏	0.007
		繁殖用雌鶏	0.007
		繁殖用雌七面鳥	0.014
		若雄鶏	0.002
		繁殖用若雌七面鳥	0.0035
肉用鶏 (若鶏、かごで飼う七面鳥、ホロホロ鳥)			
相対単位: 畜舎の年間占有面積、m ²		肉用鶏 (VC)	m ² 0.06
		アヒル	m ² 0.03
ウサギ			
相対単位: ケージで飼う母ウサギ (CML)			
ケージ飼い母ウサギ			0.06
羊-山羊			
相対単位: 雌羊 (BRE)			
雌羊、雄羊			0.14
雌子羊			0.07
出荷用子羊			0.04

表4 畜舎の型式の異なる乳牛のふん尿貯留施設の規格

畜舎の型式			ワラの 必要量 kg/頭・日	貯留時の ふん尿の性状	貯留施設の規格 家畜1頭当たり	
					4か月	6か月
つなぎ飼	敷ワラあり		2～3	固形 液状	4.8 m ² 1.8 m ³	6.5 m ² 2.7 m ³
	敷ワラなし		0	スラリー	7.2 m ³	10.8 m ³
フリーストール 屋根あり 運動場	傾斜させた ワラ		5～7	固形 希釈液状	5.6 m ² 0.8 m ³	7.6 m ² 1.2 m ³
	敷ワラ 踏み込み	コンク リート 運動場	4～6	固形ワラ	飼養場所に堆積	
			-	かき取り固形 液状	4.2 m ² 1.4 m ³	5 m ² 2.4 m ³
		板敷 運動場		スラリー	5.4 m ³	8.1 m ³
	牛房	コンク リート 運動場		スラリー	4.8 m ³	7.2 m ³
			2～3	かき取り固形 液状	5.8 m ² 2.2 m ³	8.3 m ² 3.3 m ³
		板敷 運動場	0～0.5 (細切)	スラリー	7.5 m ³	11.25 m ³
			0～0.5 (細切)	スラリー	7.2 m ³	10.8 m ³
フリーストール 屋根なし 運動場	敷ワラ 踏み込み	飼料 給与	4～6	固形ワラ	飼養場所に堆積	
			-	希釈スラリー 雨水60mm 90mm 120mm	5.6 m ³ 6 m ³ 6.4 m ³	8.4 m ³ 9 m ³ 9.6 m ³
			-	希釈スラリー 雨水60mm 90mm 120mm	6.2 m ³ 7.2 m ³ 8.8 m ³	9.3 m ³ 10.8 m ³ 13.2 m ³
	牛房	飼料 給与	0～0.5	希釈スラリー 雨水60mm 90mm 120mm	7.8 m ³ 8.4 m ³ 9 m ³	11.7 m ³ 12.6 m ³ 13.5 m ³
			0～0.5	希釈スラリー 雨水60mm 90mm 120mm	8.4 m ³ 9.6 m ³ 10.8 m ³	12.6 m ³ 14.4 m ³ 16.2 m ³
			0～0.5	希釈スラリー 雨水60mm 90mm 120mm	8.4 m ³ 9.6 m ³ 10.8 m ³	12.6 m ³ 14.4 m ³ 16.2 m ³
	サイロで 自由採食	飼料 給与	0～0.5	希釈スラリー 雨水60mm 90mm 120mm	8.4 m ³ 9.6 m ³ 10.8 m ³	12.6 m ³ 14.4 m ³ 16.2 m ³
			0～0.5	希釈スラリー 雨水60mm 90mm 120mm	8.4 m ³ 9.6 m ³ 10.8 m ³	12.6 m ³ 14.4 m ³ 16.2 m ³



(a) 見取り図



(b) 畜舎内部の平面図

図2 乳牛舎の例(1)

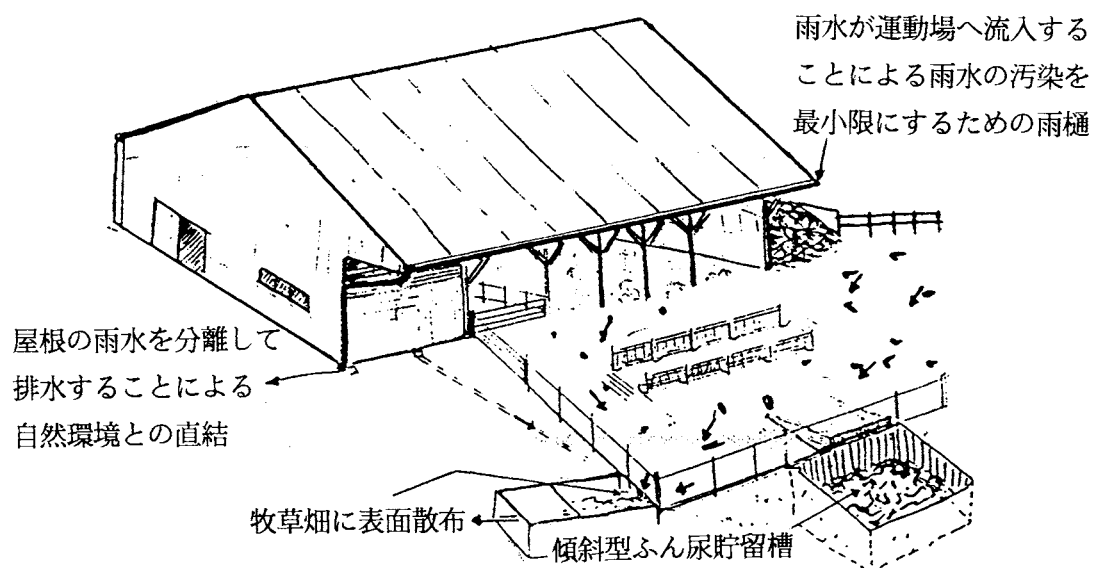


図3 乳牛舎の例(2)

③ふん尿以外の排水

ふん尿以外の排水には表5に示すように、搾乳施設からの排水とサイロからの排水がある。搾乳施設からの排水は、搾乳器の洗浄排水（白い水）と、搾乳パーラーや待合室の床洗浄排水（緑の水）の両方から成り立っている。例えば、表5の2列×4頭の場合、白い水と緑の水の合計で28m³ /月の貯留槽が必要となる。これら、排水はふん尿と同じように農地へ散布するので、4か月分の容積として112 m³ が必要である。また、白い水の水質は表6に示すように、BODが1,000 mg/ℓ くらいだが、緑の水が混じると2,000 mg/ℓ 荷なることもある。

表5 ふん尿以外の排水

搾乳施設の排水				サイロの排水		
施設の型式	貯留槽の容量			サイレージ の性質	貯留槽の容量／ サイロの単位容積当たり	
	m ³ /月				ℓ /m ³	m ³ /100 m ³
	白い水	緑の水	合計			
搾乳パーラー				トウモロコシ、		
2列×3頭	10	12	22	ビートパルプ、	15	1.5
2列×4頭	12	16	28	ビール粕		
2列×5頭	16	17	33	乾物率25～28%		
2列×6頭	19	20	39			
2列×8頭	28	25	53	再乾燥または		
2列×10頭	34	31	65	予備乾燥した牧草	30	3
				乾物率20～25%		
畜舎の搾乳機						
3頭用	8	-		他の水分の多い材料	60	6
5頭用	12	-		乾物率20%以下		
バケット搾乳				採草直後の牧草	80	8
2バケット	6	-				

表6 乳牛40頭規模の搾乳室の白い水（60～110 ℓ /日）の性質

	負荷量 (g /日)	濃度 (mg /ℓ)
COD	80～150	1,000～2,000
BOD	45～75	500～1,000
SS	20～50	300～600
N	2～4	30～60
P	20	300

◎納付金制度

搾乳牛1頭当たり年間319.61フラン（約6,400円）の納付金が定められている。しかし、放牧期間や建物の整備状況、さらにふん尿を散布する土地面積当たりの窒素量などによって、納付金の金額が違ふ。表7と表8には、搾乳牛58.5頭、肉用牛10頭、豚500頭の畜産農家について、改善措置が成されない場合と成された場合について、納付金を算出したものである。改善措置が成されない場合は年間8,020.02フラン（約16万円）納付金が必要だが、改善措置が成された場合には、2,428.7フラン（約5万円）ですむことになる。

表7 年間納付金の計算例（改善措置が成されていない場合）

例：	搾乳牛	肉用牛	豚	散布特性
	58.5頭（UGB:大家畜単位）	10頭（UGB）	500頭（常時飼養頭数）	クラスⅡ
	放牧：3か月	放牧：6か月	建物：良クラス	
	建物：中クラス	建物：中クラス		
	搾乳牛	肉用牛	豚	
総納付金（フラン）	18,697.2	3,196.1	8,666	
単価（フラン）	319.61	319.61	17.332	
浄化に関わる係数	0.64	0.64	0.72	
純納付金（フラン）	6,730.99	1,150.59	2,426.48	
放牧係数	0.25	0.5	-	
納付金（フラン）	5,048.24	575.30	2,426.48	
	8,020.02			

注1：搾乳牛を例とした計算方法：総納付金 18,697.2 = 58.5 × 319.61
純納付金 6730.99 = 総納付金 × (1 - 0.64)
納付金 5,048.24 = 純納付金 × (1 - 0.25)

注2：クラスの分類方法については、環境省省令931102参照

表8 年間納付金の計算例（改善措置が成された場合）

例：	搾乳牛	肉用牛	豚	散布特性
	58.5頭（UGB:大家畜単位）	10頭（UGB）	500頭（常時飼養頭数）	クラスⅠ
	放牧：3か月	放牧：6か月	建物：優良クラス	
	建物：優良クラス	建物：優良クラス		
	搾乳牛	肉用牛	豚	
総納付金（フラン）	18,697.2	3,196.1	8,666	
単価（フラン）	319.61	319.61	17.332	
浄化に関わる係数	0.90	0.90	0.90	
純納付金（フラン）	1,869.72	319.61	866.6	
放牧係数	0.25	0.5	-	
納付金（フラン）	1,402.29	159.8	866.6	
	2,428.7			

注1：搾乳牛を例とした計算方法：総納付金 $18,697.2 = 58.5 \times 319.61$
純納付金 $1,869.72 = \text{総納付金} \times (1 - 0.9)$
納付金 $1,402.29 = \text{純納付金} \times (1 - 0.25)$

注2：クラスの分類方法については、環境省省令931102参照

(2) オート・ノルマンディー地域の農家調査

Christophe de Colnet氏の案内で、地域の農家3戸を調査した。

◎A 農家 (Vatelier氏のFerm Simon共同農場)

乳牛（主にホルスタイン種）60～65頭を飼養し、農地面積は160ha で穀物、シュガービート、エンドウを栽培している。牛1頭当たりの農地面積は約2.5ha となる。労働力は父、母、本人で2.5 人分である。

畜舎の配置やふん尿処理方式は典型的な図3のタイプである。畜舎の屋根には雨樋が設置され、雨水が運動場に落ちて汚水量が増加することを防止している。樋によって集めた雨水は FRP製のタンクに貯留し飲料水などに有効利用している。

運動場に溜まったふん尿は隣接した貯留槽（800 m³）に落とし込む。このスラリーは年に2回、秋の麦を播種する前と、春のトウモロコシを播種する前に散布し肥料利用する。搾乳パーラー（4頭づつ2列）の排水や運動場の排水は、傾斜を持った貯留槽に流入し、そこで固形物を沈殿させ、上澄液をパイプを通して約5haの農地に浸透させる。同じ場所に大量に浸透させると硝酸塩汚染があるので、1～2か月に1回はパイプの位置を移動する。

◎B 農家 (Allais氏)

乳牛（ノルマンディー種）30頭を飼養し、農地面積は78haで穀物とサイレージ用のトウモロコシを栽培している。4月～10月が放牧期間である。牛1頭当たりの農地面積は2.6haとなる。労働力は本人1人だけである。樋で分離した雨水は池に流入させている。

畜舎とふん尿処理方式は図2のタイプに近い。ワラとふんの混じった固形物の堆肥はマニュアルスプレッダーで散布している。40t/ha以上散布してはいけないことになっているが、ここでは50t/haの散布量になっている。1tの堆肥は5.5kgの窒素を含むので、堆肥40t/haの施用量でも窒素の施用量が200kg/haをオーバーしてしまう。搾乳パーラー（3頭づつ2列）の排水は堆肥場の排水といっしょに沈殿槽に流入し、その上澄液をパイプを通して農地に浸透させる。

◎C 農家 (Antonie 氏)

乳牛（ノルマンディー種）45頭を飼養し、農地面積は60haで穀物とシュガービートを栽培している。4月～10月が放牧期間だが、調査時点ではすでに畜舎内で飼っていた。牛1頭当たりの農地面積は1.3ha となる。労働力は父、母、本人の3人である。畜舎とふん尿処理方式は図2のタイプに近い。ノルマンディー種はワラの上で飼ったほうが良いので、10～12kg/頭・日のワラを使用している。したがって、ふん尿のほとんどは固形物の堆肥で排出され、マニュアルスプレッダーで農地に散布している。汚水は、ワラのキューブで囲った貯留槽によるフィルター法を試験したが、あまり結果が良くないので再検討している。

(3) 農業工学・環境工学研究所 (CEMAGREF) (レンヌ)

CEMAGREFは国立研究機関で全国9か所にあり、水、機械・施設、国土整備に関する工学研究を行っている。農業由来の環境汚染に関する研究について、7か所の主な研究テーマを図4に示す。

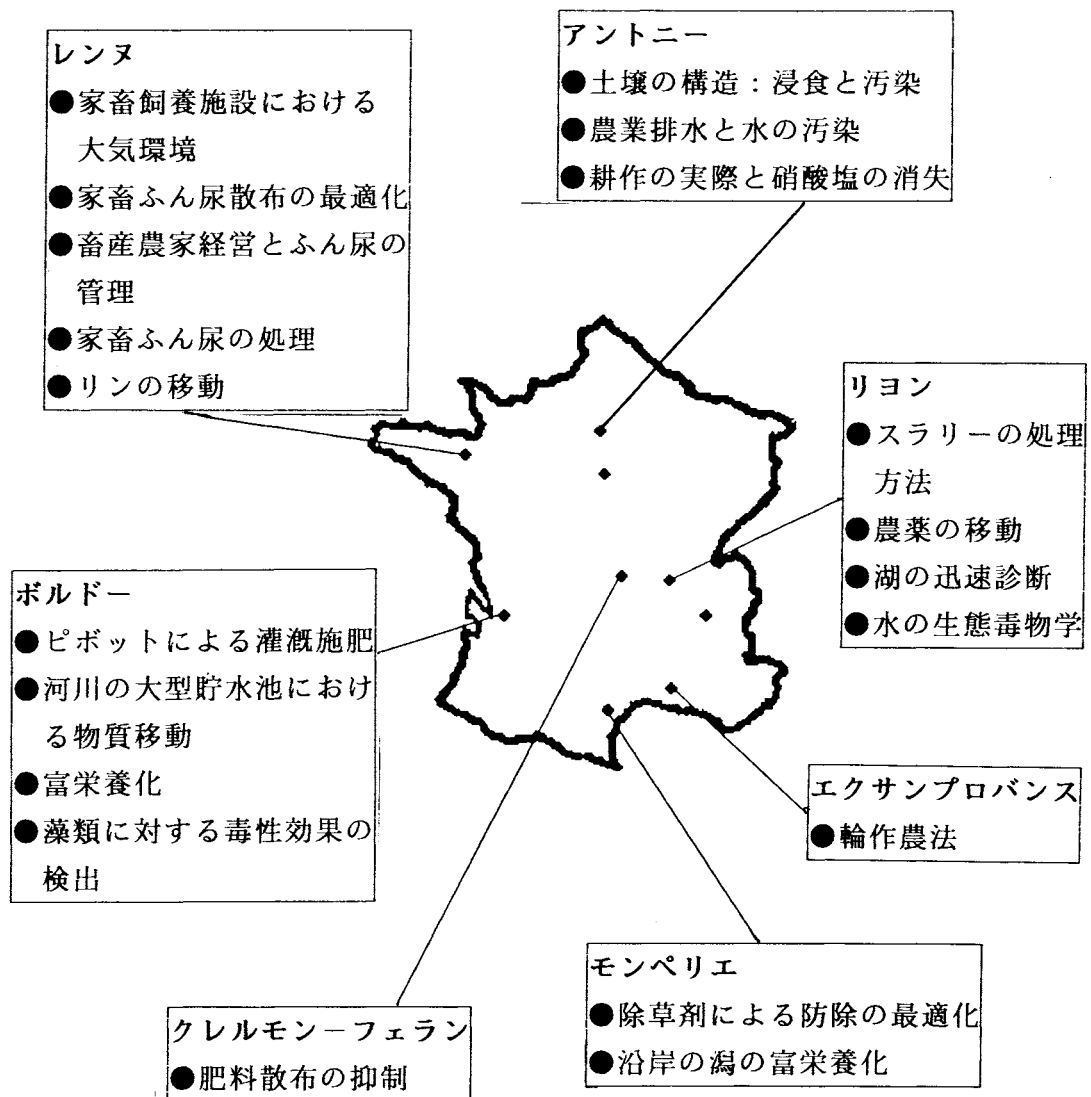


図4 農業由来の環境汚染に関するCEMAGREFの研究テーマ

今回調査したレンヌのCEMAGREFは一番西に位置し、畜産に重点を置いた研究所となっている。レンヌのCEMAGREFには、建物・ロボット部門、家畜ふん尿部門、家庭ゴミ部門の3つの部門があり、約50人の職員（研究者20人、技術者20人、総務関係10人）が勤務している。家畜ふん尿部門の長でありスラリー処理が専門のDr. Martinez 氏、スラリー処理とコンポスト処理が専門のGuiziou 氏、硝酸塩対策が専門のAbrassart 氏、法律が専門のTurpin氏の計4名から説明を受けた。

◎スラリー処理について (Dr. Martinez 氏)

スラリー処理方法としてCEMAGREFが開発した方法にソルピュール法がある。これは土壌によってスラリーの濾過と硝化を行い、脱窒反応槽によって窒素を除去する方法である。

ソルピュール法については、別添資料参照。

◎鶏ふんのコンポスト化について (Guiziou 氏)

鶏ふんには下記のような3つの性状のものがある。

- ・堆肥 (フミエ fumier) : ワラやココナッツ屑が混合した堆肥。
- ・家禽ふん (フィアント fiente) : 水分25~30%の固形状のもの。
- ・スラリー (リジエ lisier) : 水と混合し、ポンプで散布できるもの。

鶏ふんを、幅6m、長さ90m、深さ1mの堆肥化装置によってコンポスト化し、その水分変化や窒素収支などを調べた。投入窒素の50~55%が消失し、アンモニア窒素にして800~1,000 kgが1週間に揮散した。

◎硝酸塩汚染について (Abrassart 氏)

ブルターニュ地方のふん尿問題の主要なもののひとつとして硝酸塩問題がある。EC指令では、窒素の施肥量の上限を1995年までは210 kg/ha、2004年からは170 kgにしようとしている。ブルターニュ地方は地下水層がないので、地表水を水源としているが、窒素の施肥量が多い地域ほど、地表水中の硝酸塩が多くなっている。

図5はブルターニュ地域の郡・県ごとの家畜ふん尿由来の窒素量を、農耕地1ha当たりの量で示したものである。175 kg/haを越す窒素の多い地域が、西部のフィニステール県に一部、中央のコートダモール県とモルビアン県を横断するところに一部みられる。とくに、中央の横断帯は豚の谷間と呼ばれ、豚の飼養頭数の多い地域である。

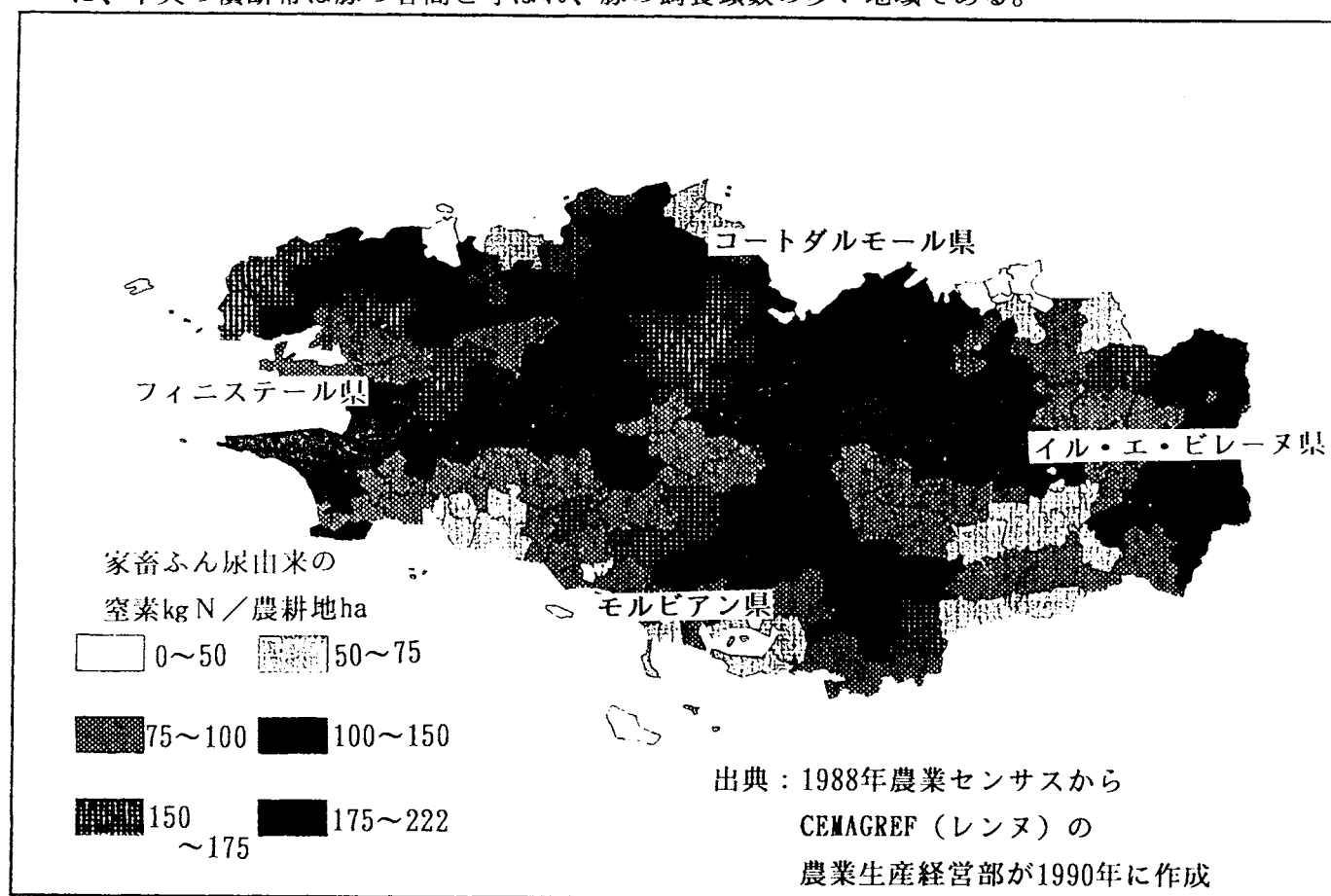


図5 ブルターニュ地域の郡・県ごとの家畜ふん尿由来の窒素量

◎規制について（Turpin氏）

指定施設規制があり、豚に関しては450 頭以上が許可制、50～450 頭が届出制となっており、新規に農場を作る場合と増設する場合とでは行政に対する手続きが異なる。許可は県令によって出されるが、申請書を出してから県令が出るまでには2年間かかる。

申請書には建物の設計図、配置図、家畜の頭数など農場の概要を記述しなければならない。スラリー貯留槽の水源からの距離や居住地からの距離を明示する必要がある。隣の建物から50m以上離れたところにしか畜舎を建てることはできない。しかし、畜舎の近く20 mくらいのところに新たに家を建て、臭いと文句を言っても、農家の責任ではなく、畜産農家を追い出すようなことはできない。

ふん尿の散布ノートの作成も必要である。その中には、ふん尿の散布時期、散布場所、散布量などを明記するが、検査は難しいのが実状である。1992年から、牛40頭以上の農家ではふん尿を自分の農耕地以外に散布してはいけないことになった。1992年以前は80頭以上であったので、より厳しくなる情勢であるが、1996年までは過渡期であり、とくに罰則はない。

県によっては、より厳しい独自の規制がある。例えば、バンデー県では窒素の規制だけでなく、オランダのようにリンの規制がある。リン酸100 kg/haか窒素150 kg/haかどちらか厳しい方を採用するようになっているが、農民の反対もありリン酸は120 kg/haになるかもしれない。ふん尿散布については、フィニステール県では冬でも散布ができるが他県では冬（11月15日～2月15日）の散布は禁止されている。

フランスはECレベルに達していない点がいくつかあり、2000年までには規格に合わせるように要請されている。家畜頭数、散布の実状、河川への放流などを検査するのは難しい。ブルターニュでは2年前から、協会の執達人が家畜の頭数をチェックすることを実施している。

◎パイロットプラント

CEMAGREFのパイロットプラントが運転されている、コートダルモール県の農業高校（Lycee d'Enseignement Professionnel, Caulnes）を見学した。そこには、固液分離機の性能試験、スラリーストアの改良、スラリー上澄液の表面曝気処理や微細気泡による深層曝気処理などの研究が行われていた。

スラリー上澄液の表面曝気処理の曝気装置には、フローティングエアレーターを使用し、水温、pH、電気伝導度（EC）、溶存酸素（DO）、酸化還元電位（ORP）などをモニターしながら、ORP による曝気の自動管理を行っていた。

微細気泡による深層曝気処理は、高さ5.5 m、容積80m³ の曝気槽にメンブラン型散気装置を用い、20日間の滞留時間で処理を行っていた。1日に処理するBOD は150 kg、窒素は30kgであり、窒素の70～75%が除去できた。

メタン発酵処理については、現在研究を行っていない。その理由としては、1973年の石油危機以来、いくつかの研究を行ってきた、エネルギー収支の上からあまりプラスにならないと考えている。それよりも、現在は窒素の除去に重点を置いて研究を進めているとのことであった。

（４）ブルターニュ地域農業会議所

環境担当のPlet氏から、ブルターニュ地域の農業の現状、農業と環境との関係、環境保全対策などについて説明を受けた。

◎ブルターニュの農業関係従事者

農業従事者は119,000人で、ブルターニュ地域の雇用者の12%に当たる。この比率はフランスやEC加盟国の約2倍にも相当し、ブルターニュ特有のものである。食品加工業従事者は5,400人で雇用者の6%に当たり、地域の工業生産高の29%を占めている。このように農業及び食品加工業は関連産業を含めて、ブルターニュ地域の雇用者の20～25%に当たる重要産業である。

◎ブルターニュの農業生産の特殊性

ブルターニュ地域は、フランスの農耕地（SAU）の6%、農業経営体数の9%を占めるが、農業の最終農業生産高（PAF）は12%に上る。すなわち、ブルターニュ地域は価格の安い農産物を多量に生産しており、その内訳をみると、フランスの豚肉の54%、家禽類と卵の30%、牛乳の20%、牛肉の13%、ジャガイモの27%、生鮮野菜の10%を生産している。

◎ブルターニュの農業の強い点と弱い点

農業生産を組織化していることが強い点である。例えば、集約的畜産と屠殺場と食肉加工場のように川上産業から川下産業までが揃っているのも、経費節減ができ、他の地域に比べ競争力がある。

最終農業生産高（PAF）の12%は金額にすると384億フラン（約7,680億円）になるが、生産額の中の付加価値の比率は36.3%と、フランス平均の53.4%に比べて低く、加工部門の強化が必要である。ただし、経営体の粗収入は134,300フラン（約268万6000円）とフランス平均の131,500フラン（約263万円）をわずかに上回っている。

農業経営体1戸当たりの面積は25ha／戸と狭く、他地方の70～80ha／戸に比べると小さい規模で高い粗収入を上げていることになる。しかし、生産に対する投入資材（インプット）の量は多く、例えば、家畜の飼料や作物の肥料などが多量に投入されている。

◎農業人口と経営体

1988年の農業センサス（RGA）によると、農業経営者の55%が50歳以上で占められており、2000年には62歳と農業退職年代になる。50歳以上の経営者で後継者のあるものは40%だけである。農場の規模は拡大傾向にあるものの、競争力の点からはまだまだ小さい。

その結果、現在82,500戸ある農業経営体は、西暦2000年には5,500～6,000戸しか残らない。その中で農業のみで経営の成り立つ専業経営体は3,500戸くらいしかない。このような状況で、経営体の面積は大きくなる傾向にあり、現在の25haから10年くらいの間に50～60haになる可能性がある。

◎競争力の強い農業へ

ブルターニュ地域は競争力のある生産性の高い農業を目指しており、他の地方の農業が粗放化を目指しているのとは異なる。競争力の強い農業を維持するための切り札は、次の4つに集約される。

- ・自然環境（気候、土壌など）

- ・人材（技術水準の高さ）
- ・関連産業の組織化の充実（肉の生産からカットまで）
- ・既存の加工施設の発展

さらに今後努力すべきことはインプットの量を節減・調節することである。

◎地域による差

ブルターニュの中でも、さらに地域によって農業経営体の規模に差がある。畜産が中心の地域は平均土地面積がわずかに拡大しているが、家畜飼養頭数はそれ以上に増加している。畜産の集中度の低い地域は、面積が拡大しているが、その地域に畜産を導入することは難しい。その理由には2つあり、1つはその地域には関連産業が組織化されていないことであり、これからも関連産業が充実する可能性は少ない。2つめは環境保全主義者が畜産による環境汚染に反対していることである。

豚ふん尿由来の窒素の量を郡ごとに N kg/ha で表すと、図6のようになる。ブルターニュ地域は西部のフィニステール県と東部のイル・エ・ビレーヌ県にはさまれた中央部の北のコートダルモール県と南のモルビアン県の4県から成っている。

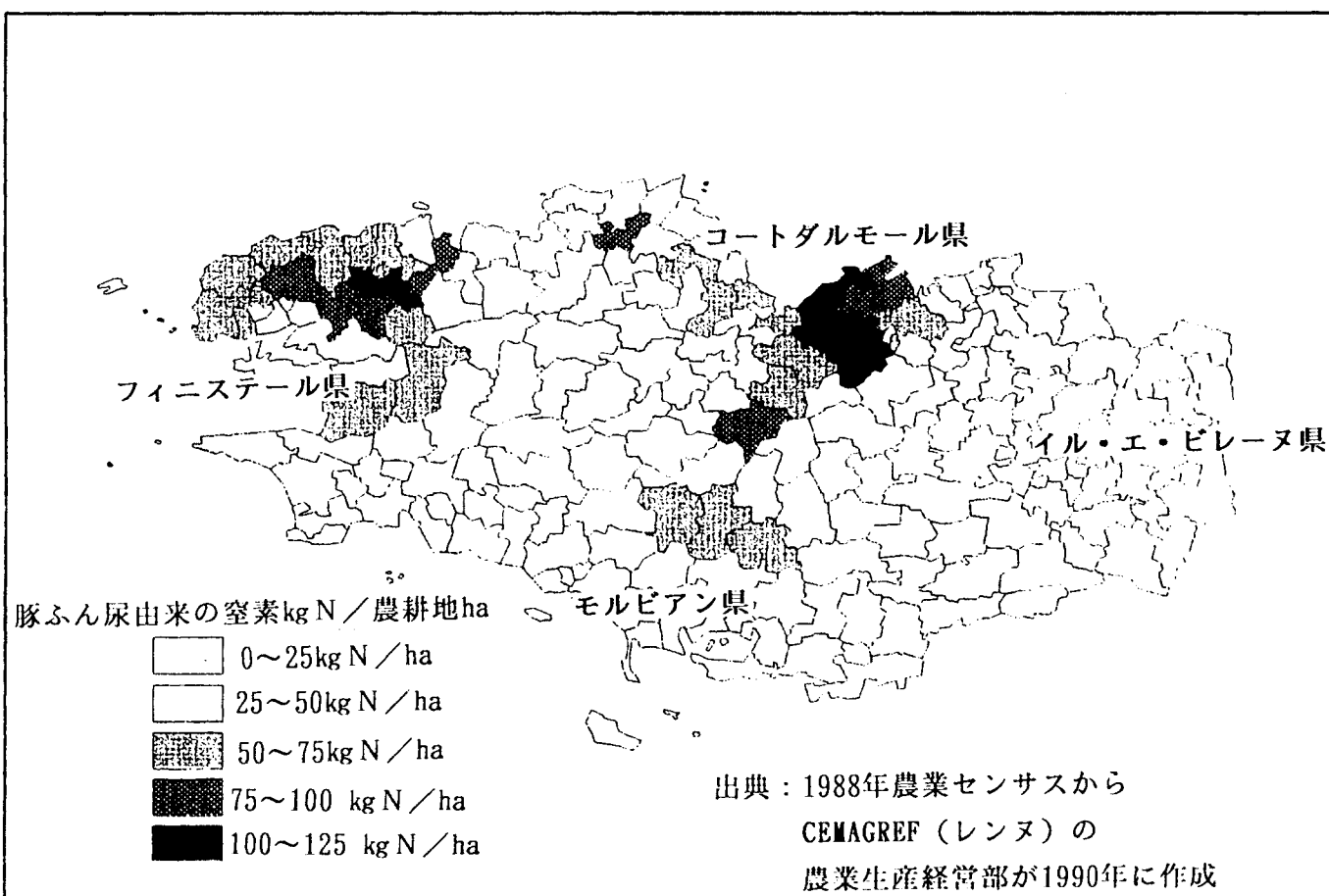


図6 ブルターニュ地域の県・郡ごとの豚ふん尿由来の窒素量

豚はフィニステール県とコートダルモール県に多く、ほとんど飽和状態である。イル・エ・ビレーヌ県は元来酪農地域だが、最近豚の頭数が増加しつつある。

◎畜産の環境改善のための予算的方策

現状では、施設型畜産の養豚と養鶏について、ふん尿を散布する面積が不十分である。指定施設の制度があり、頭数に応じて貯蔵・回収施設などの必要施設が決まっているが、散布に対する規制はない。

酪農と乳肉複合については、ふん尿を散布する面積は十分にあるが、ふん尿を貯蔵・回収するシステムの整備が不完全である。これは、指定施設に該当するものが割りと少ないことによるものであろう。

水環境に対する新しい法律ができ、それに対応するためにブルターニュ全体で35億フラン（約700億円）の予算が組まれている。養豚・養鶏などの施設型畜産に5億フラン（約100億円）、酪農・乳肉複合には30億フラン（約600億円）でありそのうち酪農専業には24億フラン（約480億円）となっている。予算の使途は、ふん尿貯留槽や雨樋などの整備である。

◎水汚染問題について

ブルターニュ地域は飲料水の70～80％に河川などの地表水を使用し、地下水をあまり使用しない。水網整備が遅れており、夏季の水不足のときなど、汚染が起きると重大問題である。また、海岸地方では貝やカキの養殖が行われており、汚染問題が影響を与える。さらに、観光も重要な産業であるため環境汚染対策が必要である。

水の主要汚染源とその原因を整理すると次の表ようになる。細菌やウィルスなどの汚染は畜産の排水や下水が原因となる。硝酸塩やリン酸塩は肥料、家畜ふん尿、生活排水などが原因となる。重金属は工業から出るのが大きい。家畜ふん尿の銅や亜鉛、リン鉱石を原料とした肥料に含まれるカドミウム、漁船の藻の付着防止用塗料に含まれる銅や亜鉛がある。除草剤や殺虫剤の農薬による汚染は、農業だけでなく道路の雑草の防除からも起こる。これらの中で一番、起きやすく関心の高いのは硝酸塩による汚染である。

水の主要汚染源	原因
微生物	畜産 下水の設備
硝酸塩 リン酸塩	農業・畜産 生活・洗剤
重金属	(銅・亜鉛) 畜産 (カドミウム) 畜産・農業 工業 (銅・カドミウム) 漁業
農薬	農業 道路

◎景観の改善

景観を整備することで汚染物質の流出を防ぎ、水質などにも好影響を及ぼす。後継者がなく農場を放棄する場合があります、農村空間の維持が問題となっている。ブルターニュ南部では、放棄した農場の一部を観光会社に売り、他の一部が放置され荒廃している例が診られる。

大気汚染のリスクとして家畜ふん尿から出るアンモニアの問題がある。家畜ふん尿が散布できる農地面積が狭いため、アンモニアガスの発生がないように家畜ふん尿を処理する必要がある。窒素を除去するために生物学的な硝化・脱窒処理の研究が行われたが、アンモニア態窒素のままで、窒素ガスにすることができなかった。また、オゾン層を破壊する窒素酸化物類が発生することもある。コンポスト化もアンモニアガスが多量に発生する。

廃棄物の管理については、回収システムなど一貫した処理の流れが不完全である。廃棄物としては、廃油、プラスチック（サイロ、ハウス、マルチなど）、クズ鉄、獣医関係用具（注射針、薬ビンなど）、農薬の容器などが問題となっている。

◎「きれいな水ブルターニュ (Bretagne eau pure)」計画

1990～1996年の7年間にわたって実施されているプログラムである。これに出資している組織は、国から農業省と環境省、地方からブルターニュ行政州とイル・エ・ビレーヌ県、フィニステール県、コートダルモール県、モルビアン県の4つの県、それに集水流域局 (Agence de l'eau) である。この計画で農業に関係するものは、下記の4項目であり、予算の総計は1億8,850万フラン（約37億7000万円）に上る。また、そのほかに水の浄化に800万フラン（約1億6,000万円）の補助金を出している。

・ 農業者の啓発と教育	700 万フラン（約1億4,000万円）
・ 家畜ふん尿処理・開発	3,700 万フラン（約7億4,000万円）
・ 研究・実験	650 万フラン（約1億3,000万円）
・ 農家の建物の整備の援助	1億3,800 万フラン（約27億6,000万円）

1993年に国と地方の分担制度の改正があったために見直しがあり、1994年から再スターを切っている。

以下に、4項目の内容について概説する。

①啓発と教育

現在農業に従事している人達は、水環境問題が起きる前の教育を受けているため、問題の重要さを理解してもらうために再教育が必要である。畜産の技術水準は高いが、環境問題については畜産だけでなく土壌管理も関連している。

研究・技術者と農業者の対話の場を作ることも重要である。また、現場の指導員（農業会議所や農業協同組合など）の意見を統一させることが重要である。例えば、環境を考えた場合、インプットを減らした方が良いが、肥料などの投入資材を扱っている流通業者はそれを多く投入しようとする。

そこで、施肥については、例えば施肥行政地方グループ (GRF)を組織し、意見を一致さ

せ、共同調印し、パンフレットなどを発行している。それに含まれる3つの部門は、1つに研究（INRA, CEMAGREF, CNRS, IFRE など）・教育・行政、2つに肥料製造流通業者、3つに農業会議所、国立の応用開発研究機関（Inst. Elevageなど）である。

②家畜ふん尿処理・開発

家畜ふん尿処理については、財政的・技術的・戦略的の3つの面での援助が必要である。財政的には、テストやパイロット事業の援助が必要であり、農家の実際のものについても、それが順調に運転されないこともあるので財政的援助が必要となる。技術的には、パイロットで成功したシステムでも、現地でいつも成功するとはいえず技術的指導が必要となる。いくつかのシステムの選択や組み合わせのための技術的コメントも必要となり、それは農家の状況に応じたアドバイスでなければならない。戦略的には、ふん尿処理を組織する企業・農協に対する支援が必要である。また、組織化だけの支援でなく、生産物の市場調査的な情報上の支援も必要となる。

③研究・実験

ふん尿処理生産物を土壌に散布した場合、土壌中での変化のメカニズムに対する知識が必要である。それは自然条件によって違いがある。例えば、レンヌ付近の土壌の有機物含有量は2%、ブルターニュの西部では7%、雨量はレンヌ付近が620 mm、西部が1,200 mmと異なり、土壌中での分解も異なるはずである。

生産システムを環境と経済との関係で見直す必要があり、経済的に成り立つかどうかのシミュレーションも必要である。

④農家の建物の整備の援助

診断が早く行えるように適切なアドバイスが必要である。1994年から1998年にかけて30,000件の経営体の診断が必要である。すでに1994年8月で3,000件の申請があり、現在135人の指導員がいる。個々の農家ではコストが高いが、地域的システムを考えればコストが下がる可能性もある。

(5) ブルターニュ地域の農家調査

ブルターニュ地域農業会議所のRuffel氏の案内で、ブルターニュ地域の農家2戸を調査した。

◎D農家 (Cochet氏 : La Crespiniere共同農場)

搾乳牛75頭、未經産牛50頭、豚2,000頭(母豚168頭)を飼養している。農耕地面積は145haで、小麦(60ha)、トウモロコシ(60ha、そのうち搾乳牛用が25~30ha)、カラスムギ(30a)、牧草(10ha)などを栽培し、飼料は全部自給である。飼養家畜を牛換算にして300頭とすると、1頭当たりの農耕地面積は0.48haとなる。

この農家はCochet夫妻と長男、娘、義弟の5人によるガエック(共同体)になっている。仕事の分担は父が豚の給飼、母が豚の分娩と子豚の衛生管理、長男が人工授精、豚の分娩・肥育、耕作、義弟も耕作を担当している。酪農は娘、次男、パート労働者が担当している。また、ふん尿スラリーの運搬などはパート労働者が行っている。父はブルターニュ農業組合の会長職にあり、時間の3/4を、その仕事に費やしている。

ふん尿は堆肥として年間450t、スラリーとして4,000 m³ 肥料利用し、化学肥料は使用しない。豚ふん尿を中心としたスラリーは900 m³ の地下式スラリーストアに貯留し、農地に散布する。農地への施用量は窒素の量を基本にし、過剰施用にならないように気を付けている。堆肥の窒素含有量は比較的一定だが、スラリーの窒素含有量は水分によって非常に変動するので、カントフィックス(Quantofix)装置を用いて窒素含有量を測定している(カントフィックス装置については、CEMAGREFの資料を参照)。

◎E農家 (Collin氏)

搾乳牛30頭、育成牛25~30頭、肥育牛15頭、アヒル4,000~5,000羽を飼養している。農地面積は48haで、10.5haがサイレージ用トウモロコシ、15haが穀物、2haがエンドウマメ、5haが休耕地、残りは草地である。労働力は夫婦2人である。現在340 m³ ある貯留槽の拡充を計画中である。

アヒルを飼うようになった動機は、1987年にモルビアン県の生産者グループの勧めによるものである。肉用子牛の世話が大変で、搾乳時間と重なったりするとさらに大変なことから新しい収入源を模索しているときであった。アヒルは生産量の制限がなくが自由であり、生産すれば必ず購入してもらえるのが利点である。アヒル舎は床面がスノコのウィンドレスス畜舎であり、オスは生体重4.5 kgになるまで12週間、メスは生体重2.5 kgになるまで10週飼養する。アヒルを出荷したあとの畜舎の洗浄などはすべて業者に委託している。

収 集 文 献 題 目 一 覧

1. ドイツ

(1) ヴェーザー・エムス農業会議所

- 1) Landwirtschaftskammer Weser-Ems: Bautechnische Vortragstagung "Kälberhaltung, Rindermast", 1993 (畜舎に関する研究会資料－子牛および肥育牛)
- 2) Landwirtschaftskammer Hannover: Aspekte zur ordnungsgemäßen Rinderhaltung, Tagungsbericht, (秩序正しい牛の飼育－研究会報告書)
- 3) Verein Deutscher Ingenieure: Emissionsminderung, Tierhaltung - Schweine, VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 3, 1986 (揮散防止、家畜管理－豚、V D I－大気保全ハンドブック)
- 4) Verein Deutscher Ingenieure: Emissionsminderung, Tierhaltung - Hühner, VDI-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 3, 1986 (揮散防止、家畜管理－鶏、V D I－大気保全ハンドブック)
- 5) Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge. 1990. (大気汚染、騒音、振動などによる有害な環境影響からの保護のための法律)
- 6) Gesetz zur Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen, 1994. (廃棄物の回避、利用および除去に関する法律)
- 7) G. Flachowsky: Sind unsere Milchkühe "Umweltsünder ?", Ökologie (乳牛は"環境違反者"か?)
- 8) A. Pfeiffer und F. Arends: Ammoniakemissionen in der Rindviehhaltung, Landwirtschaftsblatt Weser-Ems, 27(8), 1994. (牛の飼育におけるアンモニア揮散)
- 9) G. Steffens: Geruchs- und Ammoniakfreisetzungen bei und nach der Ausbringung von Wirtschaftsdüngern, Dtsch. tierärztl. Wschr., 98, 1991. (家畜ふん尿の施用による悪臭およびアンモニアの揮散)
- 10) H. Vetter: Einsatz von Gülle: Boden-, Wasser- und Luftbelastungen vermeiden, Fachzeitschrift für die Land- und Forstwirtschaft in Weser-Ems (スラリーの利用：土壌、水、大気への負荷を避ける)
- 11) Landwirtschaftskammer Hannover & Landwirtschaftskammer Weser-Ems: Leitlinien Ordnungsgemäße Landbewirtschaftung (指針：秩序正しい農業)
- 12) H. Hoffmann & U. Hege: Gülle - ein wertvoller Wirtschaftsdünger, 1991 (スラリー：貴重な農業用肥料)
- 13) Deutschen Maiskomitee: Gülledüngung zu Mais - umweltgerecht (トウモロコシへの環境に適したスラリーの施用)
- 14) Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft: Lagern und Behandeln von Gülle, (スラリーの貯蔵と取り扱い)
- 15) G. Steffens and F. Lorenz: Aspects of Agricultural Practice in the Application of Organic Manures (農業におけるふん尿の適切な施用について)
- 16) F. Lorenz and G. Steffens: Agronomically efficient and environmentally

careful slurry application to arable crops, Aspects of Applied Biology 30, 1992. (作物に対し有効で環境にも配慮したスラリーの施用)

17) H. Vetter, G. Steffens and F. Lorenz: Stickstoffverluste durch Auswaschung, Ammoniakverflüchtigung und Denitrifikation, Kongreßband, 1991
(流亡、アンモニア揮散及び脱窒による窒素の損失)

18) P. Foerster und A. Klasink: Strategien der Landwirtschaft zur Verringerung von Nährstoffeinträgen (養分記帳の低減のための農業の戦略)

19) H. Vetter und G. Steffens: Bodenbewirtschaftung und Nitratbelastung des Grundwassers bei einem Wasserwerk in Weser-Ems, Z.f.Kulturtechnik und Flurbereinigung 29, 1988

(ヴェーザー・エムス地方における土壌管理と浄水場の地下水の硝酸塩負荷)

(2) 連邦農業研究センター (F A L)

20) Federal Agricultural Research Centre, Braunschweig-Völkenrode (FAL)
(連邦農業研究センター 要覧)

21) P. Weiland: Experience with different demonstration plants for an environmental compatible treatment
(環境に調和した処理のための各種実証プラントによる試験)

22) F. Schuchardt, J. Hahne, H. Sonnenberg und J. Janssen: Nährstoffabtrennung und -verwertung aus Flüssigmist durch aerob-thermophile Behandlung
(好気-好熱処理によるスラリーの養分の分離と利用)

23) P. Weiland: Gülleaufbereitung in der Pilotanlage Damme-Haverbeck
(ダンメ＝ハーベルベックのパイロット・プラントにおけるスラリーの浄化)

(3) ヴァイエンシュテファン技術専門学校

24) Fachhochschule Weihenstephan und Versuchsanstalt für Gartenbau Weihenstephan Jahresbericht 1993 (ヴァイエンシュテファン専門単科大学およびヴァイエンシュテファン園芸試験場 年報)

25) Fachhochschule Weihenstephan, Abteilung Triesdorf, Fachbereich Landwirtschaft und Umweltsicherung
(ヴァイエンシュテファン技術専門学校、トリエスドルフ分校、農業および環境保全学科 紹介パンフレット)

26) J. Lorenz, F. Berkner und D. Schneider: Moderne Abferkei- und Aufzuchtställe
(現代的な繁殖および肥育豚舎)

(4) バイエルン州農民連盟

27) Bayerischer Bauernverband: Körperschaft des öffentlichen Rechts
(バイエルン州農民連盟 紹介パンフレット)

28) Bayerisches Staatsministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten: Bauern in Bayern - Leistung für alle (バイエルンの農民)

29) Bayerische Landesanstalt für Bodenkultur und Pflanzenbau Freising und München: Merkblatt für die Landwirtschaft zur Verminderung der Nitratbelastung des Trinkwassers, 1983.

(飲用水の硝酸塩負荷を低減する農業のための説明書)

フランスにおける入手資料一覧（アルファベット順）

- 1) A biological treatment of pig slurry: laboratory and field study of an in situ drainage water denitrification reactor, by J. Martinez, S. Levillain, XII world congress on agricultural engineering, Milano, August 29-September 1, 1994
- 2) A decision support system for evaluating and reducing pollution (N,P), by J. Abrassart, M. Bertrand, XII world congress on agricultural engineering, Milano, August 29-September 1, 1994
- 3) Agriculture compétitive et environnement,
 - couvrir les sols en hiver pour piéger les nitrates, Chambre d'agriculture Seine Maritime, Juillet, 1992
 - maitriser l'érosion par un travail du sol adapte, Chambre d'agriculture Seine Maritime, Juillet, 1992
 - protection des eaux gerons les effluents d'élevage, Chambre d'agriculture Seine Maritime, Septembre, 1991
 - protection des eaux gerons nos nitrates, Chambre d'agriculture Seine Maritime, Juillet, 1991
 - raisonner la fertilisation proteger la qualite des eaux, Chambre d'agriculture Seine Maritime, Janvier, 1992
- 4) Agriculture et environnement, Programme de maitrise des pollutions d'origine agricole, travaux du comite national de suivi, Mai 1994
- 5) Amelioration des pratiques agricoles pour reduire les pertes de nitrates vers les eaux, CORPEN, Juin 1993
- 6) A study of the potential contribution of sedimentation to aerobic treatment processes for pig slurry, by J. Martinez, C. H. Burton, R. W. Sneath, J. W. Farrent, XII world congress on agricultural engineering, Milano, August 29-September 1, 1994
- 7) Batiments d'élevage bovin et porcin, Reglementation et preconisations relatives a l'environnement, Ministère de l'agriculture et du developpement rural, 1993
- 8) Bilan global de l'azote, phosphore et potassium, Methode pour une evaluation a differentes echelles, by J. Abrassart, M. Pertrand, A-M. Herve. Informations Techniques du CEMAGREF, Septembre 1993, no. 91, note 1

- 9) Cahier des charges detaille des operations de conseil aux agriculteurs en vue de proteger l'eau contre la pollution nitrate, CORPEN, Avril 1991
- 10) Connaissance et prevention des pollutions d'origine agricole, Les actives du CEMAGREF, CEMAGREF, 1992
- 11) Document de collecte et calculs, DeXeL (diagnostic environnement de l'exploitation d'elevage), Institut de l'elevage, Avril 1994
- 12) France's policy with regard to nutrients of agricultural origin, Oslo and Paris conventions for the prevention of marine pollution working group on nutrients (NUT), Berne, 18-21 October 1994
- 13) Interculture, CORPEN, Ministère de l'Agriculture et de la Foret, Ministère de l'Environnement, 1991
- 14) L'agriculture de la Seine Maritime, Chambre d'agriculture Seine Maritime, Mai 1994
- 15) L'environnement, un challenge essentiel pour l'avenir de l'agriculture bretonne, by P. Plet, Chambre d'agriculture Bretagne, Octobre 1993
- 16) Le programme de maitrise des pollutions d'origine agricole dans les exploitations d'elevage, APCA, FNSEA, CNJA, CNMCCA, Agences de l'eau, Ministère de l'Agriculture et de la Pêche, Ministère l'Environnement
- 17) L'érosion des sols par l'eau dans les regions de grande culture: aspects agronomiques, Ministère de l'environnement, Ministère de l'Agriculture Octobre 1987
- 18) Les fumiers de bovins, Aspects agro-ecologiques et technico-economiques, Ministère de l'Agriculture et de la Foret, Agence Nationale pour la Recuperation et l'Elimination des Dechets/Les Transformeurs, Juin 1991
- 19) Les materiels d'épandage, Valorisation agricole des boues d'épuration et autres engrais de ferme: fumiers, lisiers, fientes, Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie, Groupe Inter-Agences des Agences de l'Eau, Ministère de l'Agriculture et de la Foret, 1992

- 20) Les nitrates dans l'eau, un défi relevé, Ministère de l'agriculture,
Ministère de l'environnement
- 21) Ministère de l'Environnement, arrêté du 2 novembre 1993, Journal officiel de
la République française, 26 novembre 1993
- 22) Programme d'action contre la pollution des eaux par les produits
phytosanitaires provenant des activités agricoles, CORPEN, Octobre 1993
- 23) Propositions du CORPEN pour le code de bonne pratique agricole, directive
du conseil du 12 décembre 1991 concernant la protection des eaux contre
la pollution par les nitrates à partir des sources agricoles, CORPEN,
Avril 1993
- 24) Solepur: An original process for treating slurry by soil, CEMAGREF

第 3 章 畜産環境問題に関する研究情報

Experience with different demonstration plants for an environmental
compatible treatment

環境に調和した処理のための各種実証プラントによる試験

P. Weiland

Institute of Technology, Federal Research Center of Agriculture (FAL)

Bundesallee 50, D-38116 Braunschweig, Germany

【摘要】

ドイツのそれぞれの地域で集約的畜産が盛んになり、またふん尿の農地施用に対する環境規制が強化された結果、局地的にふん尿の過剰が生じるようになった。このように過剰となったふん尿は、栄養分による地下水や地表水の汚染および温室効果や酸性雨の形成を助長する大気中への汚染物質の揮散のような深刻な環境問題の原因となりうる。環境に調和したふん尿の利用を行うために、ふん尿処理の新技术が開発され、技術的規模で試験がなされている。技術研究所（FAL）の技術指導のもとに、7つの実証プラントが稼働している。これらの異なる実証プラントおよび処理工程を用いた試験の概要について述べる。

（キーワード）

産業的ふん尿処理、養分回収、固形物分離、嫌気および好気処理、アンモニア・ストリッピング、蒸散、逆浸透

1. 環境に関する情勢

ドイツでは、約 1,800万頭の反芻家畜と 2,700万頭の豚から、年間 1 億 8 千万～2 億^{m³}の液状ふん尿が発生している。これらを処分できる農地面積と作物の全養分要求量に関して見れば、ドイツ全体としてはオランダやベルギーのように家畜ふん尿が過剰にはなっていない。しかし、集約的な畜産が行われている地域や多くの水保護地域においては、局地的に見ればふん尿が過剰となっている。この問題を解決する対策は、他の地域へのふん尿の長距離輸送、プラントにおけるふん尿の処理、あるいは家畜頭数の削減である。

家畜ふん尿は 90% 以上の水分を含み、以下のような物質で汚染されている。

- 溶解および懸濁している有機化合物
- アンモニアを含む様々な窒素化合物
- 主に SS（懸濁物質）中に存在するリン
- 主に液相に溶解するカリウム、塩素、カルシウム、マグネシウムなどの物質
- 様々な病原菌

従って、ふん尿の貯蔵や農地施用は深刻な環境問題の原因となることがある（表 1）。

悪臭、衛生上の危険性およびアンモニアや気象に関連する微量ガスに加えて、主要な問題は窒素とリンによる地下水および地表水の汚染である。そのため、水および廃棄物関係部局は多くの規則を発布している。これらの規則により、1 haの農地に 1 年間に散布でき

る養分の量が制限されている（表2）。

最大養分投入量は80～200kgN/ha および70～175kgP₂O₅/haに制限されている。従って、技術的なふん尿処理の主なねらいは、より多くの液分が施用できるように、あるいは全ての液分を河川に放流できるように、液相を分離しそれらの養分含量を削減することである。除去した養分は濃縮して取り扱いやすく輸送に適した肥料に加工し、有機成分はメタン発酵によりエネルギー回収に用いられる。さらに、その処理プロセスは揮発性汚染物質の濃度や病原菌の数を低減する。

2. ふん尿処理のプロセス

ふん尿処理のプロセスは、一般的には、養分、有機物及びミネラルを除去、分解、変換あるいは濃縮するような数段階の処理技術から構成される。稼働中の各の実証プラントでは、機械的、熱的、化学的および生物的なプロセスがふん尿処理に用いられている（表3）。

個々の実証プラントは、適用される単位処理技術のタイプと組み合わせにより、また処理プロセスの目的によって異なる。もし処理されたふん尿を圃場に散布するのであれば、養分はごく部分的に除去するだけでよい。従って、比較的簡単な処理法が必要とされる。多くの場合、養分の除去には固液分離だけで十分である。しかし、もし最終的な排水を河川に放流するのであれば、水関係当局の要求に合わせるために、極めて高度の浄化処理が必要である。処理したふん尿を開放系水路に放流する場合の代表的な最低必要条件を表4に示す。

固液分離やバイオガス生産のようないくつかの単位処理技術が、すべての稼働中の処理プロセスに適用されている。それぞれの実証プラントの最も重要な単位処理技術は次のように要約される。

機械による固液分離

すべての実証プラントで、生あるいは嫌気性消化をしたふん尿からの懸濁物質（SS）の機械による分離が用いられている。なぜなら、ふん尿の取り扱い性がかなり改善されるし、同時に有機物、リン酸および窒素の負荷が削減できるからである。分離機のタイプによるが、約20～60%のリン酸、10～20%の窒素および15～35%の有機物が除去できる。遠心分離機を用いればより高い値が達成されるし、スクリーンプレスではもっと低い値になる。分離した固形物（TS：25～35%）は、自分の農場で施用する場合には前処理をしなくてもよいが、もしそれが外部で用いられるならばコンポスト化が必要である。

嫌気性消化

嫌気性消化は、有機物負荷を削減し、悪臭物質を分解し、有機態窒素をアンモニアに変換し、バイオガスを生産するための重要な処理法であり、稼働中のすべての実証プラントで用いられている。そのプロセスは完全混合あるいは部分的混合リアクターを用いて中温（33～37℃）あるいは高温（53～55℃）条件で運転されており、バイオマス固定のために担体を用いる場合と用いない場合がある。ふん尿の質と運転条件によるが、CODの約40～50%が除去でき、また1 m³のふん尿から60～65容積%の純メタンを含む12～20 m³のバイオ

ガスが生産される。

アンモニア・ストリッピング

アンモニア・ストリッピングによる窒素の除去が5つの実証プラントで用いられている。アンモニアの揮散はエアーあるいはスチーム・ストリッピングによって行われる。そして揮散したアンモニアを吸収する方法によって様々な副産物が生成され、これらは肥料として用いることができる。アンモニアあるいは硫酸アンモニウムの水溶液、重炭酸アンモニウム、あるいは標準化した肥料を得るために尿素と混合した硝酸アンモニウム水溶液が代表的な副産物である。スチーム・ストリッピングは液相をアルカリ化しなくても行うことができるが、エアー・ストリッピングではpHを約11.5まで高める必要がある。ストリッピングでは、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 約4,500mg/Lの汚水からアンモニアを効率的に除去し、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 約30mg/Lの処理水を得ることが可能である。

リン酸の沈殿

ふん尿中のリン成分の大部分は懸濁物質の形態で存在しているので、リン酸の60%までは機械によって除去することができる。さらに高い除去率を達成するためには、石灰を添加して溶解しているオルトリン酸を沈殿させ、続いてフィルターによって分離しなければならない。河川に処理水を放流するのに必要な低いリン酸濃度（2mg/L $\text{PO}_4\text{-P}$ ）を達成するためには、比較的多量の石灰（30～40kg/m³ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ）を嫌気性消化したふん尿に加えねばならない。なぜなら、沈殿した生成物（主にカルシウム水素アパタイト）の溶解度はpHが上昇するにつれて低下するのに対し、ふん尿の緩衝力が極めて強いからである。従って、リン酸の沈殿とアンモニア・ストリッピングを結びつけると好都合である。

蒸散

ふん尿を蒸散させると、通常2つの産物が得られる。すなわち、すべての養分、ミネラルおよび不揮発性有機物を含む濃縮物と、易分解性の揮発性有機物（主に脂肪酸）が混入した凝縮水である。ふん尿を蒸散によって処理する前に、いくつかの段階の前処理（固液分離、嫌気性消化および酸性化）が必要である。濃縮物中のアンモニアを不動化させるにはふん尿に酸を加えねばならないが、濃縮物中でのアンモニアの固定は全く必要ではない。なぜなら、揮発したアンモニアは酸抽出によって蒸気相からも分離できるからである。このプロセスを用いれば、3つの生成物が形成される。つまり、濃縮物、凝縮水およびアンモニア塩の水溶液である。熱要求量を減少させ、熱伝導体（ふん）の表面に殻ができる危険性を減少させるためには、蒸散は減圧で行うべきである。

逆浸透

逆浸透は、後処理としての場合のみ、ふん尿処理に適用することができる。なぜなら、SSやコロイドや様々な有機物によって膜が目づまりするからである。処理を十分確実にするためには、ふん尿の遠心分離、精密ろ過および嫌気性消化が必要である。逆浸透は溶解している無機塩類や有機成分を除去し、水とある種の小さな有機物質のみを通過させる。有機物質の除去はそれらの分子量によって左右され、100g/mol以上の分子量ではほぼ完全に除去できる。アンモニア態窒素の除去はその状態によって異なる。アンモニウム塩は除去されるが、アンモニアガスは膜を通過する。従って、アンモニア成分を完全に除去する

には、その液を酸性にしなければならない。ふん尿処理では2段階の逆浸透を用いるべきである。すべての養分や他のミネラルを含む濃縮物は肥料として用いることができる。

3. 実証プラント

表5は、それぞれの実証プラントの概要、それらの副産物および処理したふん尿のタイプを示している。4つのプラントは開放系水路に放流できる処理水を得るように設計されており、3つのプラントは養分を部分的に除去するように設計されている。

ただ1つのプラント (Damme-Haverbeck)が数年前から稼働しており、最終的な処理データが得られている。5つのプラントは数か月前から稼働していて主に始動段階であり、残りの1つのプラント (Finstertal) はまだ設置段階である。

4つの実証プラントの特徴はアンモニア除去にストリッピング法を用いていることであり、それらの処理手段はいくらか異なっている。他のプラントの特徴は蒸散と逆浸透法を使用していることである。個々の実証プラントの代表的な処理手段と特徴は以下に示される。

3. 1 アンモニア・ストリッピング法を用いるふん尿処理

アンモニア・ストリッピングを実施している3つのプラントの処理システムが図1～3に図示されている。

Damme-Haverbeck (図1) と Pfaffendorf (図2) のプラントはふん尿の完全な浄化を行っているが、Göritz (図3) のプラントはふん尿の部分的な処理を行っている。

Damme-Haverbeck (図1) のプラントはエア・ストリッピングを行っており、これは固液分離、嫌気性消化およびリン酸の沈殿によるふん尿の前処理の後に適用される。ストリッピング装置は外気温で、またpH 11.5-12.0で運転されており、これはリン酸の沈殿段階において石灰の添加によって調整されている。沈殿したリン酸は、スラリーがストリッピング装置に投入される以前にフィルタープレスによって分離される。ストリッピング装置は閉鎖系のエア・ループで運転されている。なぜなら、アンモニアは分離吸収カラムの中で硫酸によってガス相から洗い出されるからである。リン酸とアンモニアはほぼ完全に除去される。従って、好気的な後処理ユニットでのそれ以上の養分の除去は不必要である。浄化した処理水は2mg/L以下のP、20mg/L以下のNH₄-Nしか含まないが、CODは400mg/L以上あり、これは分解しにくい腐植酸によるものである。すべての副産物は肥料として用いることができ、取り扱い性が良い。

Pfaffendorf (図2) のプラントの特徴は、固定床式リアクター・システムによる嫌気性処理とスチーム・ストリッピングによるアンモニア除去である。ストリッピング装置は、pH調整用の試薬を添加せずに運転されている。この方式ではアンモニア除去が不完全なので、残っているアンモニアを除くために生物的硝化・脱窒の処理ステップがさらに必要である。汚水を放流する前に、石灰を添加することによってリン酸を沈殿させる。ストリッピング装置からの蒸気を凝縮させてアンモニアの水溶液を得る。分離した固形状のリン酸化合物は、養分濃度の高いコンポストを得るために分離された有機性固形物に加えら

れる。

Göritz (図3) の実証プラントでもスチーム・ストリッピングを行っているが、処理手段が多少異なることによってPfaffendorfとは大きく違って、最終産物として重炭酸アンモニウムが生成される。そのプラントは部分的な処理を目的として運転しているので、養分除去のためにそれ以上の処理ステップは不必要である。そのプロセスの特徴は2段階の嫌気性消化であり、第1ステージは中温条件で行い、第2ステージは高温条件で行っている。高温条件で運転すると衛生的になるので、その農場の外部でも廃液を使用しやすくなる。

いずれの処理プロセスも、カリウム除去については比較的能力が低い。従って、図1と図2に示される処理システムからの処理水は、高い塩濃度を受け入れられる開放系水路にのみ放流することができる。

3. 2 蒸散法を用いるふん尿処理

ふん尿を脱水するために蒸散法を用いている2つの実証プラントは、全く異なる処理システムを持っている(図4および図5)。

Bakum (図4) で用いられている処理法の目的は、エバポレーターによる高品質の凝縮水を得ることである。凝縮水の低いCODおよびBOD値を達成するためには、ふん尿は固液分離と嫌気性消化による前処理をしなければならない。凝縮水中にアンモニアが蓄積するのを避けるために、硫酸を添加してふん尿のpHを約4.5まで低下させる。その凝縮水は低濃度の揮発性脂肪酸を含むだけであるが、開放系水路に放流する前に、単純な好氣的分解によって後処理をしなければならない。濃縮物はすべての養分を含んでおり、固液分離の段階で分離された有機性固形物とともにコンポスト化すべきである。

Lingen (図5) の実証プラントでは、蒸散はすべての揮発性化合物の分離のための前処理ステップとして用いられている。従って、エバポレーターからの蒸気は多量の揮発性脂肪酸とアンモニアの揮発性部分を含んでいる。そして、このアンモニアは硝酸への吸収によって蒸気から回収される。エバポレーターの凝縮水は2段階の生物的污水处理プラントで処理されている。この処理プラントは固定床式嫌気性リアクターとそれに続く好氣的下水処理プラントから構成されている。すべての成分についての除去効率はBakumのプラントのような高い水準は得られない。なぜなら、Lingenの処理水は公共の污水处理プラントに流入させるからである。

いずれの実証プラントでも、下降流フィルム・エバポレーター装置がふん尿処理に用いられている。エバポレーターは約60℃の低温で減圧しながら行われる。ふん尿の脱水の程度は濃縮物の粘性が高くなることによって制限される。粘性が高くなると、エバポレーターを汚す危険性が高くなる。濃縮物中でのアンモニアの固定は処理プロセスをより単純で効率的にするが、それは望ましくない方法で濃縮物中の塩含量を増加させる。

3. 3 逆浸透を用いるふん尿処理

Surwold-Börgermoorで用いられている処理システムを図6に図示する。

このプロセスの第1段階は殺菌、嫌気性処理および固液分離である。そうやって前処理されたふん尿を逆浸透によって処理する以前に、全ての懸濁物質を完全に分離するために精密ろ過が必要である。2段階の逆浸透は、第1段階が約40bar、第2段階が10 barの圧力をかけて運転している。事前テストからは、高品質の浸透（流入水を酸性化せずに、 $\text{CO}_2 \leq 80\text{mg/L}$ 、 $\text{P} \leq 2\text{mg/L}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N} \leq 100\text{mg/L}$ ）が達成できることが示されたが、現在までに運転期間が短くて不十分である。なぜなら、膜の汚れを防ぐために数時間の運転の後に膜を洗浄する必要があるからである。

4. 結論

- いずれの実証プラントも、ふん尿を有価産物と有機物や養分濃度の低い水に変換するために、4つ以上の除去段階を必要としている。
- それぞれの養分が別々の副産物の中に、あるいは1つの産物の中に濃縮されている。形成された副産物に対する信頼は低いものである。なぜなら、それらの産物の特性は通常の肥料と大きくかけはなれているからである。
- それぞれのふん尿処理システムのイニシャル・コストには大きな違いはなく、処理コストはランニング・コストと産物の価値に強く影響される。実証プラントの処理期間が短いので、処理コストの詳細な評価はまだできない。
- 将来、それぞれのプロセスはふん尿が大過剰な問題のある地域に限って適用されるだろう。なぜなら、個々の農家は高い処理コストをかけることができないからである。

（原田靖生 訳）

表1 液状ふん尿による環境汚染問題

汚染の範囲	危 険 性
地下水	<input type="checkbox"/> 硝酸塩の蓄積 <input type="checkbox"/> 病原菌による感染
地表水	<input type="checkbox"/> NとPによる富栄養化 <input type="checkbox"/> 病原菌と寄生虫の蓄積
大 気	<input type="checkbox"/> 悪臭物質の拡散 <input type="checkbox"/> 毒性および気象に関連するガス

表2 ふん尿の農地施用に関する規則

	地域カテゴリー		
	I	II	III
肥料単位 (MU)	1.0	2.0	2.5
窒素 kgN/ha a	80	160	200
リン酸 kgP ₂ O ₅ /ha a	70	140	175

家畜のタイプ	肥料単位当りの家畜頭数
成牛	1.5
未経産牛	3.0
子牛	9.0
豚	7.0

表3 ふん尿処理のためのプロセス

プロセスのタイプ	単位処理技術
機械的プロセス	<input type="checkbox"/> 固液分離 <input type="checkbox"/> 逆浸透
化学的プロセス	<input type="checkbox"/> リン酸の沈殿 <input type="checkbox"/> 窒素の沈殿 (MAP) <input type="checkbox"/> 有機化合物のフロック化
生物的プロセス	<input type="checkbox"/> 嫌気性消化 <input type="checkbox"/> 好氣的汚水処理 <input type="checkbox"/> 硝化・脱窒 <input type="checkbox"/> コンポスト化

表4 開放系水路へ排水を放流する場合の最低必要条件

汚染物質	限界濃度 (mg/L)
化学的酸素要求量 (COD)	100
生物的酸素要求量 (BOD)	30
アンモニア態窒素 (NH ₄ -N)	10
亜硝酸態窒素 (NO ₂ -N)	1
全窒素 (TKN)	25
全リン (P)	2
カリウム (K)	50
塩素 (Cl)	200

表5 それぞれの実証プラントの副産物と廃液

実証 プラント	ふん尿の タイプ	副 産 物				廃 液
		有機肥料	液 肥	固形肥料	バイオガス	
Bakum	豚ふん尿	コンポスト			電気／熱	汚水（完全 浄化）
Finsterwalde	牛ふん尿 豚ふん尿 屠場残渣	コンポスト		NH_4HCO_3	電気／熱	細粒ふん尿
Göritz	牛ふん尿	コンポスト		NH_4HCO_3	電気／熱	細粒ふん尿
Haverbeck	豚ふん尿	コンポスト	$(NH_4)_2SO_4$ 溶液	Ca・P	電気／熱	汚水（完全 浄化）
Lingen	豚ふん尿 牛ふん尿 消化管内 容物	コンポスト	AHL溶液		電気／熱	汚水（間接 放流）
Pfaffendorf	牛ふん尿 豚ふん尿	コンポスト	NH_3 水溶液 P-汚泥		電気／熱	汚水（完全 浄化）
Surwold- Börgermoor	牛ふん尿 豚ふん尿	コンポスト	塩濃縮物		熱	汚水（完全 浄化） 細粒ふん尿

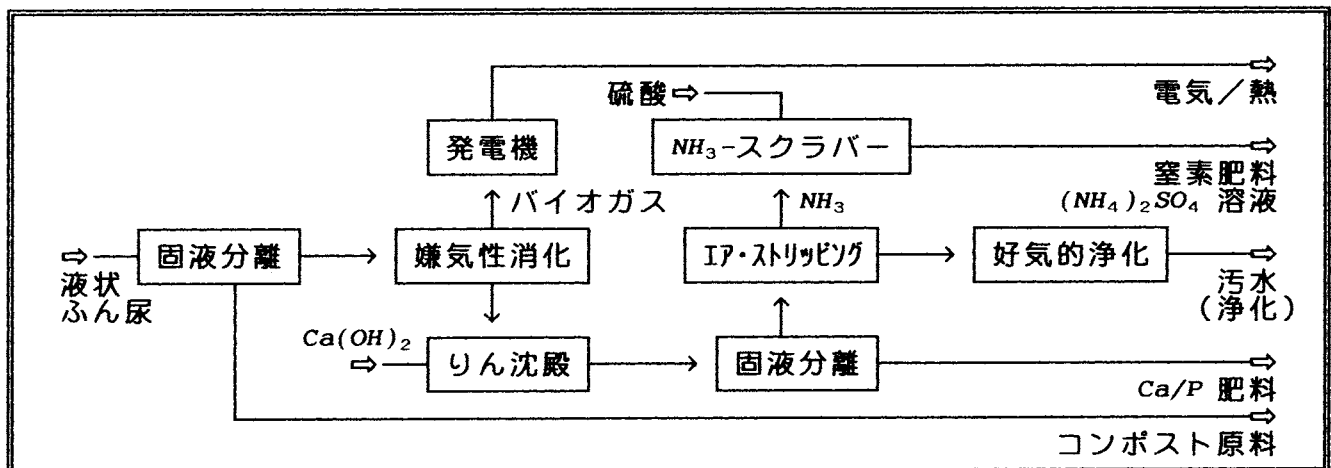


図1 Damme-Haverbeck の実証プラント

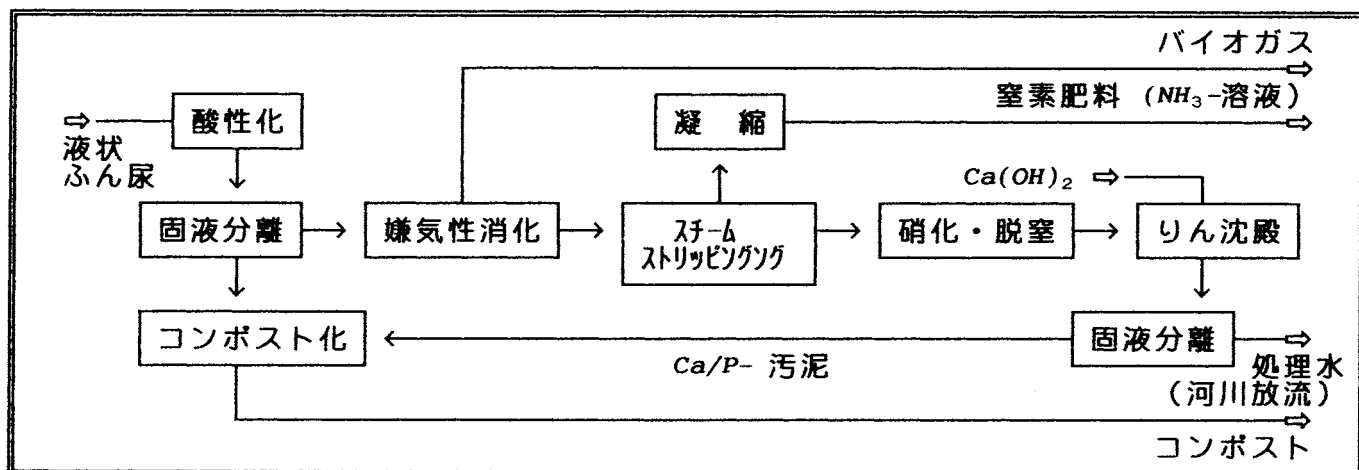


図2 Pfaffendorfの実証プラント

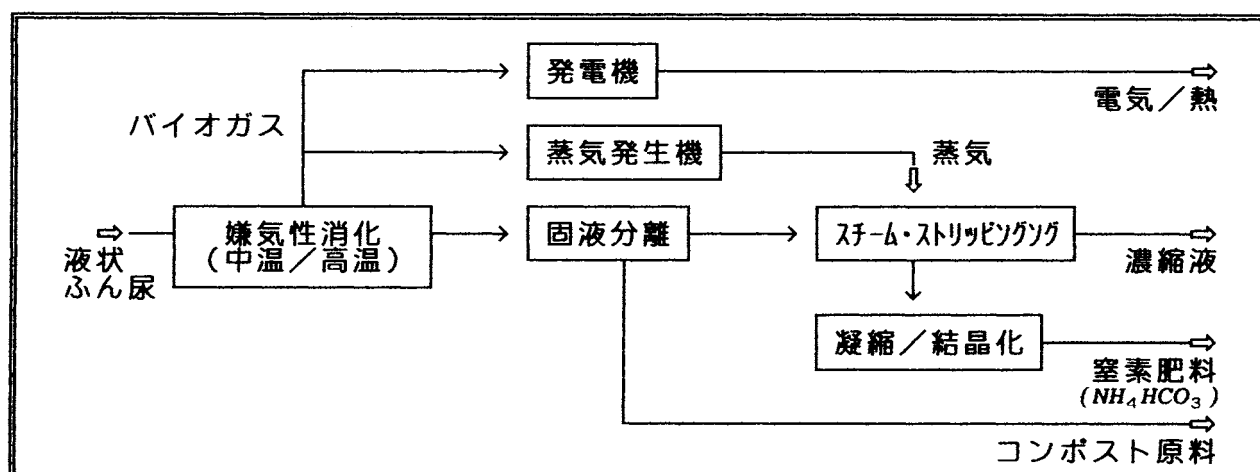


図3 Göritzの実証プラント

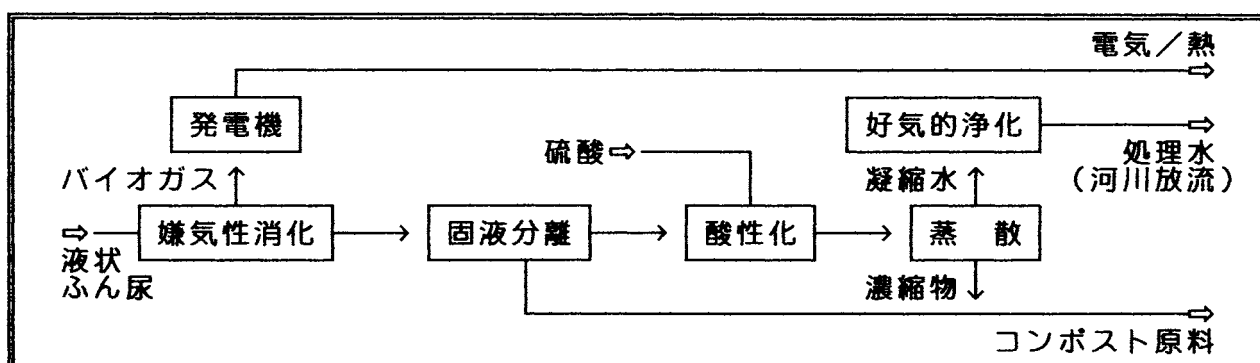


図4 Bakumの実証プラント

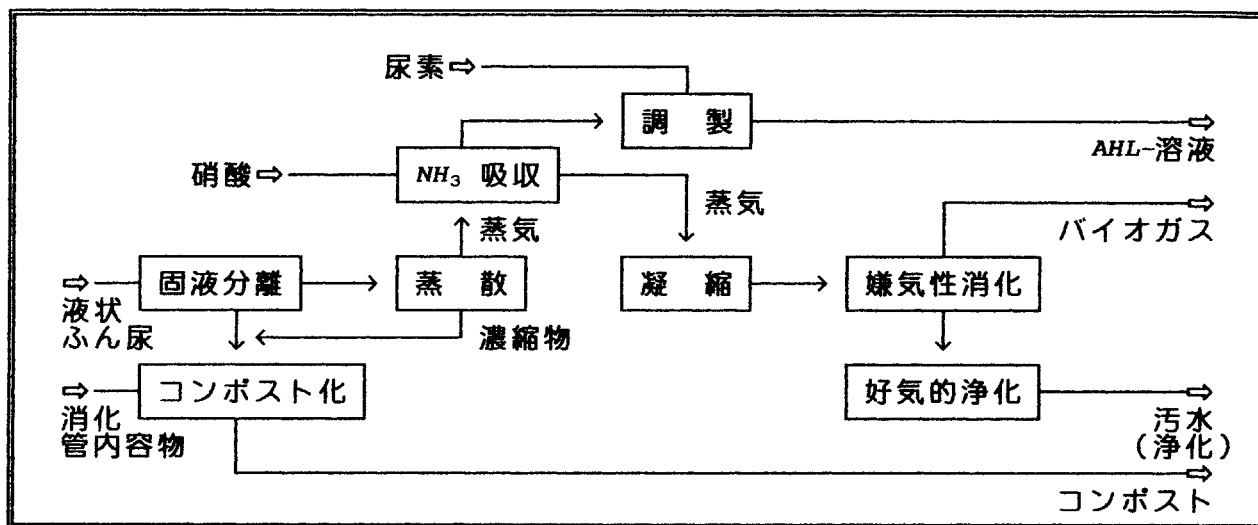


図5 Lingenの実証プラント

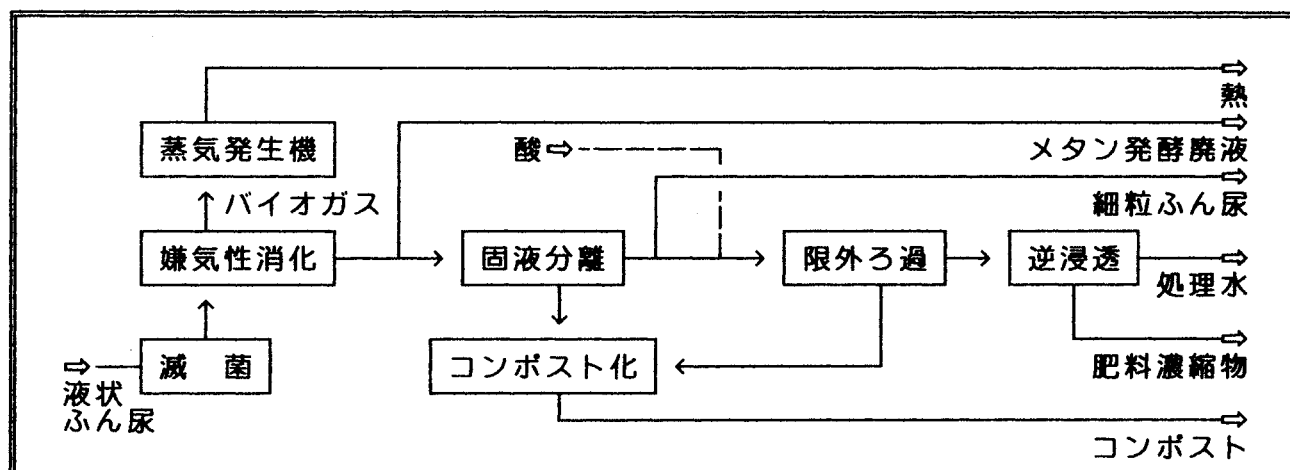


図6 Surwold-Börgermoorの実証プラント

Gülleaufbereitung in der Pilotanlage Damme-Haverbeck
ダンメ＝ハーヴェルベックのパイロット・プラントにおける
スラリーの浄化

Peter Weiland

BMFT-Statusseminar zum Förderschwerpunkt
"Umweltverträgliche Gülleaufbereitung und -verwertung"

1. 前書と問題設定

デュンメル湖の周りの地域は、そこに見られる自然空間に特有の植物界と動物界によって、生態学的に特に重要な、保護に値する地域であり、同時に保養地域としても重要性をもっている。デュンメル湖それ自体人気のある水中スポーツ水域で、1600 ha の水面を持ち、ニーダーザクセン州で2番目に大きな湖である。しかし、デュンメル地区はドイツでも家畜飼養密度の最も高い地域に属するので、大量のスラリーをこの地区に散布せねばならない。家畜頭数が多いのは、平均たった17haという、より小さな経営面積の結果であり、そのために家畜飼養を主体とする小農経営が高密度に分布する結果となっている。デュンメル湖の西と北の経営で、家畜飼養頭数が豚では州平均の約5倍、牛では州平均を25%上回っている。このことから自然保護、観光および農業の間で目標の矛盾が生じることは避けられない。

スラリーの集約的農業利用により、そしてまた周囲の高位泥炭地からの養分負荷ならびに入植と観光により、デュンメル湖には数年来非常に多量の養分が供給されたため、この水域に極めて激しい富栄養化が生じ、著しい軟泥形成の結果、湖の陸化が進行した。

自然保護と保養の地域の生態学的価値への差し迫った危険のため、1987年ニーダーザクセン州政府は、自然保護の利益と農業および観光の存在を保障する整備計画を決定した(3)。この整備計画の目標は、デュンメル湖の西の約2200haの中心地帯を湿草地に転換し、その地帯ではスラリーの散布を禁止することとしている(図1)。この中心地帯では畑を草地に転換し、さらに約2000haの緩衝地帯で取り囲み、その中でのスラリー散布は1～2 DE/ha に制限せねばならない。

この措置に該当するのは約480の農業経営であり、そこではこの措置実施後約180,000 m³/aの過剰スラリーを生じるであろう。

農業経営の存立保障のためには、経営外及び地区外でのスラリー使用のほかに、技術的な利用法も予定した、過剰スラリー活用のさまざまな措置が決定された。廃水処理技術による処理法の目標は、養分をできるだけ完全に、農業利用可能な産物の形で回収し、液相は排水路に放流して面積にかかわらず処理できるまで浄化することである。

スラリーを排水路に放流できるまで浄化するための、工業的に機能し得る処理法はこれまでにはなかったため、そのような処理法の稼働の信頼性、機能および性能についての情報を得るために、そして大きな処理施設に必要な技術的、経済的データを得るために、

1989年ダンメ＝ハーヴェルベックにパイロット・プラントを建設することが決まった。リスクを最小限に抑えるために、実際に試験した処理手段に基づいて組立てた一つの処理法を選択せねばならなかった。それゆえ、個々の処理手段が矛盾なく作用することと、スラリーに特有の材料としての性質への適応だけについて、補足的な研究と開発の活動が不可欠である。

このような観点から、いろいろな処理計画の中からズルツァー水・汚水処理技術会社が提案したシステムを選択した。施設の運営者としてニーダーザクセン土地有限会社（NLG）が落札した。必要量のスラリーの供給はヴェヒタ自給肥料利用登録組合により行われた。そしてこの組合はスラリーの伝染病への安全性と乾物含量に関し、契約により定めた品質決定特性の遵守についても権限をもった。

計画の専門家としての援護および施設運営者からの技術的・科学的相談への対応はブラウンシュヴァイク＝フェルケンローデの連邦農業研究所（FAL）テクノロジー研究所が担当した。

2. 材料および放流水の限定条件

デュンメル地区に生じるスラリーは約2／3が豚の飼養からのもので、乳牛およびその他の牛の飼養に由来するものは約1／3に過ぎない(4)。豚のスラリーは窒素とリン酸に関して養分含量が高いので、なおのこと豚を対象として施設を設計した(表1)。

供給された豚スラリーはたいてい6.0～7.0%の乾物を含み、養分含量も表1の平均値と一致していた。

WHGの§7aによる廃水管理規定のなかには、スラリー浄化後の直接放流のための最低要求値がこれまでまだ明示されてはいないし、施設の設計および運転の時点では、排水路に放流可能なスラリー浄化のための比較の対象となり得る施設がドイツにはまだ存在しなかった。スラリーの物質としての独特の性質を特に考慮することなく、できるだけ広範囲の水域保全の観点だけから放流限界値の決定が行われた。それゆえ、スラリーはあらゆる廃水特性値において200倍以上の高い負荷を示すにもかかわらず、市町村の廃水に普通用いられている限界値に準じて放流条件が決定された。表2に当局が決定した放流条件と無処理スラリーの固有値とを比較して示す。

表2に示すとおり、すべての調査固有値について監視値を守るためには約99.9%の浄化性能が必要である。カリウム含量は排水路の塩分の上昇に寄与し、稀釈が不十分な場合、水域生物に不都合な影響を及ぼすが、当時は制限されていなかった。

3. 処理法の説明

ズルツァー社の考案した処理法は次の6段階の基本操作から成る(5)。

- －有機物溶解のための化学溶解、
- －デカンターによる固形物の分離、
- －分離した液相の嫌気的前浄化、
- －石灰乳によるリン酸の沈殿、

- 通気によるアンモニアの揮散除去、
- 放流可能になるまでの好气的後浄化。

高温で石灰を添加して行うアルカリ性化学溶解のために、施設の運転の経過でさまざまな処理技術上の困難が生じた。それはとりわけ嫌气的前浄化過程の不安定性および固形物分離のためのデカンターの運転の妨害という形で現れた。そのため、この処理法は連邦農業研究所テクノロジー研究所と運営者（NLG）がさらに検討した結果、アルカリ性の前溶解は見合わせてもよいことにした（6）。変更した処理過程の略図を図2に示す。

施設は毎日の処理量を豚スラリー 30m³ として設計され、1日24時間運転される。養分の除去は、原料スラリーからの浮遊する固形物の分離、通気によるアンモニアの揮散と酸性でのガス洗浄ならびに石灰乳による溶存リン酸化合物の沈殿により行われる。有機質負荷の減少は、主として好气的および嫌气的分解ならびに嫌气的処理の前およびリン酸塩沈殿後の固形物分離によって起る。副産物として生じる、分離された有機質固形物は短期間の好气的腐熟の後、有機質肥料および土壌改良資材として農業に投入でき、さらに他の副産物である約 33%の (NH₄)₂SO₄ を含む硫酸水溶液およびリン酸塩を含む石灰も施肥と土壌改良の需要に応じて農業に投入できる。発生したバイオガス（メタン等）は硫化水素除去のためアルカリ洗浄後、施設運転用の電気と熱をつくるため、いわゆる火力発電装置での燃焼に供給される。

施設の運転にはもっぱらコストの安い化学薬品、焼石灰または石灰乳、硫酸およびさまざまな凝集剤が必要である。施設の排出水はそのつど一日の処理水として一時貯留するので、廃水の残存負荷量を放流前に再度分析して調べることができる。

4. 処理の結果

施設の試験運転が示すところでは、排出水の COD 100mg/L を除き、当局の要求するすべての放流値を確実に守ることができた。投入された原料スラリーの養分含量が変動しているときでさえ、運転のパラメーターを物質組成の最初の条件に適合させることにより、この処理法の浄化機能は、当局が要求する限界値、NH₄-N 10mg/L、全リン 2mg/L をクリアするように調節することができる。好气的浄化段階の過程をできるだけ簡単にするために、先行する物理的-化学的処理段階をすでに十分に行っておけば、好气的活性汚泥処理ではそれほどの生物的養分除去は必要ない。

4. 1 窒素除去

スラリーに含まれていた窒素のうち 12%だけが固形物分離（有機質肥料）により、15%がリン酸塩沈殿物分離（Ca/P肥料）により過程から引き出される。それゆえエア・ストリッピングにより除去せねばならないのは窒素負荷の 73%である。ストリッピングによる除去は充填材（Hiflow リング 50mm）を乱雑に積み重ねたカラム中で行われる。図3は得られた副産物への窒素の配分割合および1トンのスラリーから処理により生じた副産物の量比を示す。

アンモニア・ストリッピング・カラムへの流入水の窒素濃度 3800~4800mgNH₄-N/L を流

出水の濃度 $< 20\text{mg NH}_4\text{-N/L}$ まで低下させねばならないので 99%を越える揮散効率が必要である。中温性嫌気前処理のために $30\sim 33^\circ\text{C}$ となっている普通の作業温度で、このような高い効率を達成するには、 > 3200 という高い空気／液体流量比並びにストリッピング・カラムへの流入液のpH値の正確な調節が必要である(2)。

試験の示すところでは、流入水のpH値が11以下では流出水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度が激しく上昇するのに反し、pH値が11.5以上ではもはやストリッピング・カラムの除去性能の向上へのpH値の影響は見られない(図4)。

ストリッピング・カラムの効率が流入水のpH値に著しく敏感なことは、スラリーのアンモニウム含量が高いことの直接の結果である。アンモニアの追い出しによりストリッピング・カラム内部のpH値の著しい低下が起るので、解離平衡の変化によりストリッピング・カラムへの流入水から揮散され得るアンモニウム態窒素の割合は急激に低下する(7)。

図5に示すとおり、流入水のpH値が11.5を越える場合、ストリッピング・カラム内部のpHの変化は起らないのに反し、流入水のpH値が11ですでに流出水のpH値は25%以上低くなる。従って、エア・ストリッピングではpH値11.5~12.0を守らねばならない。

アンモニアを含む揮散ガスからのアンモニア除去にもやはり充填材(Hiflow リング50 mm)を乱雑に積み重ねたカラムを用い、アンモニアを含む気相の流れと逆方向に硫酸水溶液を流す。ほとんど完全にアンモニアを洗い落とすためには、循環して流す液に硫酸を追加してpH値を2に保たねばならない。吸収カラム内での結晶の析出を防ぐために、硫酸液の濃度が35重量%以下で流出させる。硫酸液を肥料として利用するためには中和が必要である。液は作物の要求に応じ、液肥散布機で施用する。

4. 2 リン除去

スラリーの中のリン酸化合物は主として微粒子に分散した形で存在するので、嫌気処理前の固形物のデカント(傾瀉)だけで固形物とともにリン酸負荷の半分以上を処理過程の外に取り出すことができる。残りのリン負荷は主に溶解した正リン酸塩の形で存在するが、その除去は石灰乳による沈殿、次いでフィルタープレスによる沈殿生成物の分離により達成される。石灰乳の添加は同時にストリッピング・カラム流入水のアルカリ性化に役立つので、pH値を11.5~12.0に合わせるように量って行う。

図6に示すとおり、沈殿生成物として形成されるカルシウムヒドロキシアパタイトの溶解度はpH値の上昇に伴い著しく低下する。それゆえ、アンモニア揮散に必要なpH条件下でのリン酸化合物の溶存濃度は 1mg/L よりも低くなる(1)。

リン除去は徹底的に行われるので、ふつう許容廃水基準 2mgP/L を明らかに下回り、それどころかリン酸欠乏の結果、次に続く好氣的活性汚泥施設での過程に支障さえ起る。

図7は、原料スラリー中のリン負荷が2種の副産物にどのように配分されるか、そして1トンのスラリーの処理でどれだけの産物を生じるかを示す。

CA/P肥料と表したリン酸沈殿産物は多量の石灰を添加したため0.34%の全Pしか含んでいない。フィルタープレスにより乾物含量の高い(約65%)ものが得られ、濾過残滓を粉碎した後散布可能となるので、それ以上の後処理なしに肥料散布機でまくことができる。

4. 3 COD 除去

COD は処理過程のなかで、沈殿および固形物分離により、そしてまた嫌気的および好気的分解により段階的に除去される。図 8 に示すとおり、COD 負荷の約 38% が嫌気的浄化段階で除去され、その際同時にスラリー 1 m³ 当り、平均 76% の CH₄ を含むバイオガス 8.2~9.5m³ が形成される。

デカンターによるスラリーの固形物分離ならびにリン酸沈殿後の固形物分離により、合わせて流入 COD 負荷の 57% が分離される。それゆえ好気的浄化段階でさらに処理せねばならない残りの COD 負荷は 5% に過ぎない。しかし、この残った COD 負荷は 10 以上という都合のわるい COD/BOD 比 (原料スラリーでは 2.5 ~ 3.0) を示す。これは、処理過程で生物的に分解困難な成分が集積することを示唆している。この COD は、好気的活性汚泥施設では分解されない難分解性腐植質の割合が高いことが特徴である。そのため、処理後の排出水に残存する COD は 500~650mg/L である。この腐植質は水域生物学で毒物学的には危険がないとされ、また大きな酸素消費につながることもないが、100mg/L の COD 放流限界値を 6.5 倍まで超過するので、排出水を予定通り排水路に放流することはできなかった。それゆえ、浄化した排出水は農耕地で処理せねばならなかった。当局が要求する COD 排出基準は、適当な吸着剤たとえば活性炭で後処理して初めて達成される。嫌気的分解の際形成されるバイオガスは火力発電装置により処理過程内のエネルギー調達に完全に利用される。バイオガスから生じるエネルギーは、過程の熱需要のすべてと電気エネルギー需要の約 1/3 をカバーできる。

5. 要約と展望

廃水処理技術に取り入れられているさまざまな手段を組み合わせることにより、浄化した排水を適当な排水路へ悪影響を与えることなく放流できるほど十分に豚のスラリーを浄化できることを、工業的規模で施設を運転して、初めて実証できた。この処理法は植物養分、窒素とリンを、取扱い易い産物の形で、ほとんど完全に回収することを可能にする。この産物は植物の必要に応じて投入できるし、地区外の農業に利用することもできる。さらに、投入スラリーの潜在エネルギーの十分な利用が達成される。そこでは火力発電装置により得た熱と電気のエネルギーを施設内で十分に利用することができる。

スラリーの 3000mg K₂O/L にまで達するほど高濃度のカリ負荷は、この処理法によってあまり低下せず、排水路に高い塩分負荷を与えるので、この処理法の適用は、それに対応した受容能力のある排水路をもつ地点だけに限られる。副産物は肥料関係法規に定められた養分含量規格を満たしていないので、今までの経験では養分を含む副産物を商品化し、利益を挙げることは達成できない。

廃水処理技術によるスラリーの完全な浄化は高い技術的消費のために、問題のある地区だけに将来性のある解決策である。

(福士定雄 訳)

表1 スラリーの固有値

		豚	乳牛
排泄量	kg/d 頭	4 — 7	35 — 60
乾物 (TM)	kg/m ³	60 — 100	100 — 120
有機乾物	% d. TM	77 — 84	77 — 85
COD	mg/L	50,000 — 80,000	80,000 — 130,000
BOD ₅	mg/L	15,000 — 32,000	18,000 — 25,000
全 N	mg/L	5,000 — 6,000	3,000 — 4,000
NH ₄ -N	mg/L	2,500 — 4,500	1,500 — 2,000
P ₂ O ₅	mg/L	3,000 — 4,000	1,500 — 2,000
K ₂ O	mg/L	2,500 — 3,000	5,000 — 6,000
CaO	mg/L	2,500 — 3,000	1,500 — 2,000
MgO	mg/L	800 — 1,000	500 — 800

表2 ダンメ=ハーヴェルベック パイロット・プラントの放流水質監視値

廃水の特徴値	未処理ふん尿	放流水	除去率 %
COD mg/L	60,000	100	99.8
BOD ₅ mg/L	24,000	30	99.9
NH ₄ -N mg/L	6,000 ¹⁾	10	99.8
全 P mg/L	2,000	2	99.9
K ₂ O mg/L	2,500	監視値なし	—

¹⁾ 全窒素を適用

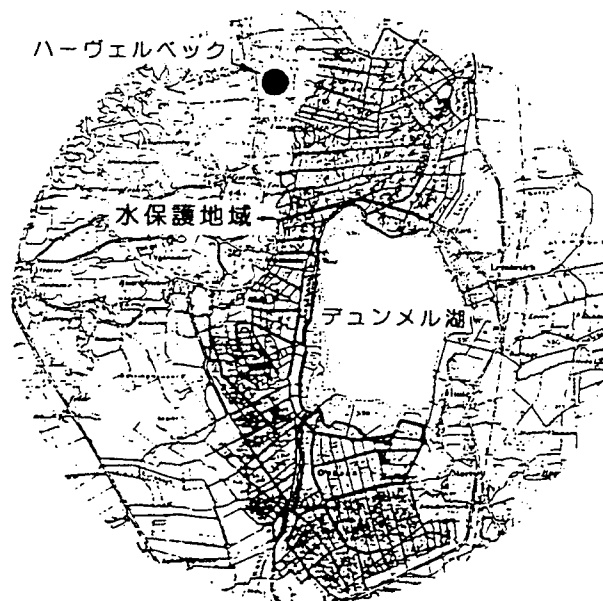


図1 デュンメル地区に計画された水保護地域

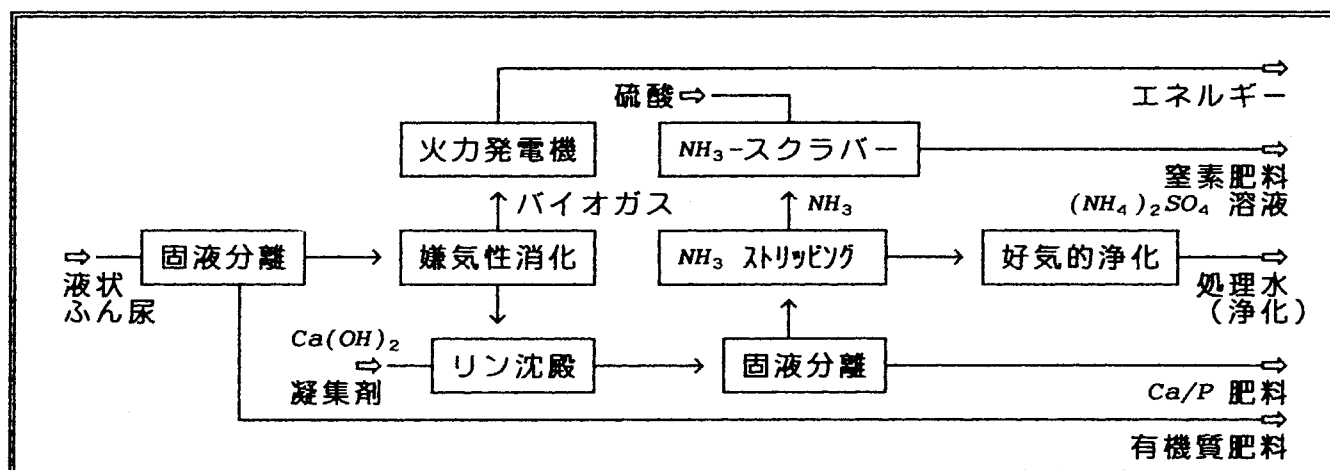


図2 ダンメ＝ハーヴェルベック パイロット・プラントの処理概要図

スラリー 1 トン当りの副産物

	質量 kg	乾物 %	全 N %
N 肥料	75	33	7
有機質肥料	85	34	1.1
Ca/P 肥料	190	64	0.6

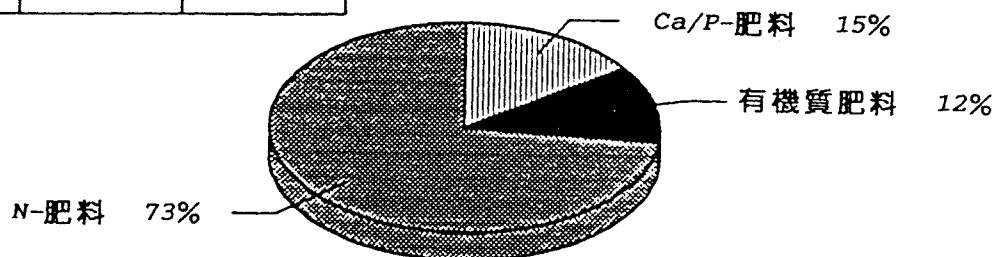


図3 分離した窒素の副産物への配分

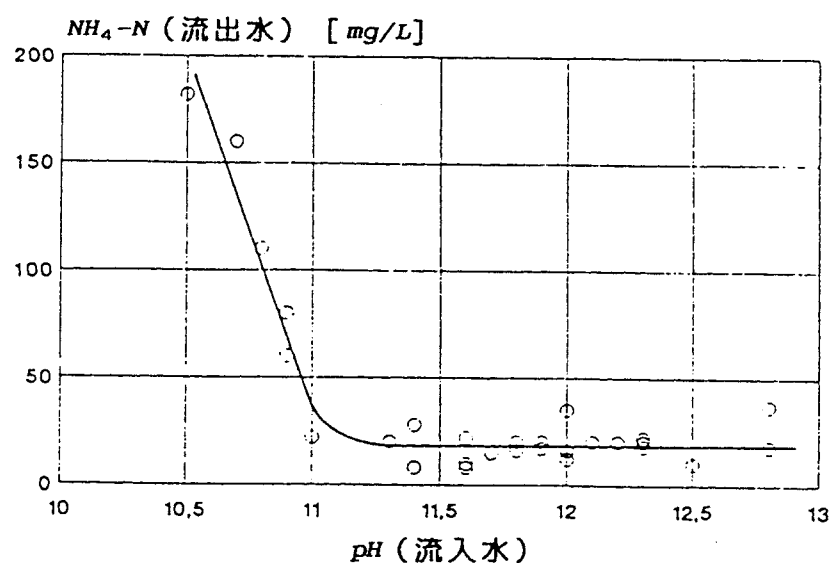


図4 流出水の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度に及ぼすストリッピング・カラム流入水の pH の影響

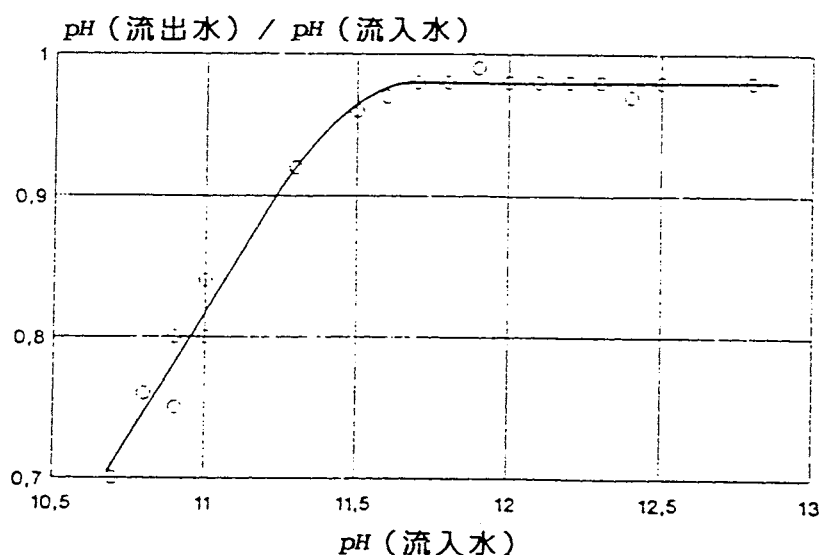


図5 流出水のpH値に及ぼすストリッピング・カラム流入水のpH値の影響

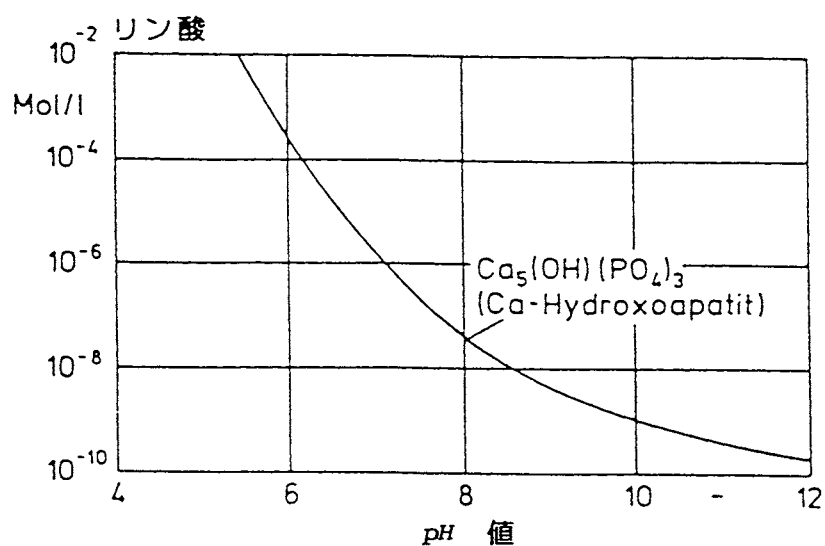


図6 リン酸カルシウムの溶解度に及ぼすpH値の影響

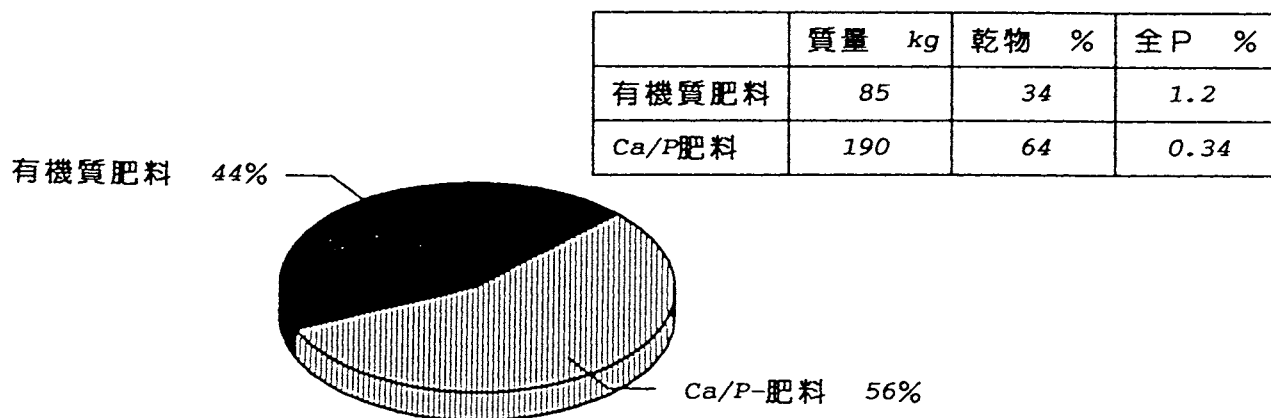


図7 分離したリン酸の副産物への配分

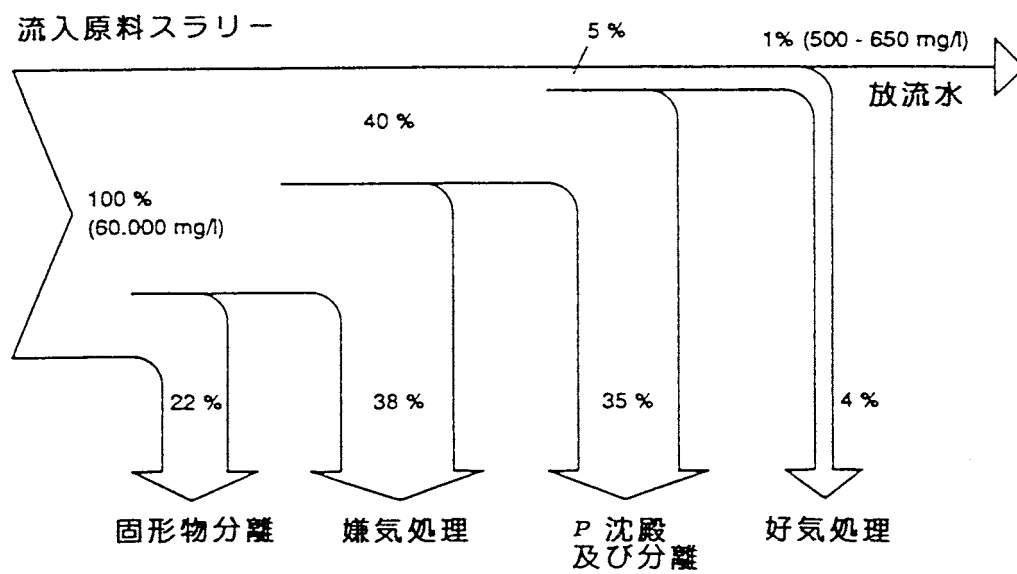


図8 処理過程における CODのフロー

Nährstoffabtrennung und -verwertung aus Flüssigmist
durch aerob-thermophile Behandlung

好気-好熱処理によるスラリーの養分の分離と利用

F.Schuchaedt, J.Hahne, H.Sonnenberg und J.Janssen

BMFT-Statusseminar "Umweltverträgliche Gülleaufbereitung und
-verwertung" 15. bis 17. Juni 1993 in Surwald-Börgermoor

1. はじめに

州のスラリー条例により、また計画された施肥基準により、ヘクタール当りに散布してよい年間の窒素とリン酸の負荷量が制限されている。したがってスラリーの施用量それ自体が制限されているわけではなく、スラリーとともに散布される窒素とリン酸の量だけが制限されているのである。

条例に定められた限界値を越える家畜を飼養する経営では窒素とリン酸を経営の外へ移動させる必要がある。それは、スラリーを他の経営へ輸送するか、排水路への放流に向けて技術的に浄化するかまたは窒素とリン酸を除去し、含量を低下させることにより可能である。そのようにして除去した養分は他の経営そしてまた農業外（たとえば造園、景観保全）にも移動させることができる。ここに述べる処理法はこれらのうち後者の方法によるものである。

2. 処理法の説明

スラリーの養分すなわち窒素とリン酸の負荷を一部除去するための F A L（連邦農業研究所）の処理法を図 1 に示す。スクリーブプレスまたはフィルタープレスにより原料スラリーから固形物とともに窒素とリン酸を分離する。固形物は堆肥化し、液は曝気する。曝気の際自己発熱により温度は 65℃ まで上昇し得る（高温発酵）。この過程でスラリーから揮散するアンモニアは、堆肥化の際の排気とともに洗浄する。洗浄液に硫酸を用いれば農業に利用可能な硫酸が生じる。

必要に応じ発酵させたスラリーは、その後で残りの固形物、窒素とりわけリン酸を分離するためにデカント（傾瀉）する。上澄液をデカントして残った沈殿物は、最初に分離した固形物とともに堆肥化する。

養分負荷を低減させた、衛生的に危険のない、安定したスラリーは従来通りの方法で農業的に利用される。堆肥と硫酸液も同様に土壤改良材または肥料として作物生産に利用することができる。

3. 分離

実験室規模の試験のほかに工業規模でのスラリー分離試験を行った。その際次の装置を用いた。

- ・スクリーブプレス
- ・フィルタープレス
- ・デカンターー遠心分離機

ふん尿の性質のほか、養分の分離と固形物の分離に及ぼす濾過機の穴の大きさの影響を調べた。投入した原料スラリーは、飼料の与え方や飼養法が原因で、異なる結果を生じるが、大きな原料供給地域からとって混合したので、全体として現実の状況を代表している。

表1はフィルタープレスで牛のスラリーを分離した結果を示す。

牛と豚のスラリーを分離する際の、異なる装置による結果を表2に示す。それによれば農業の現場で圧倒的に用いられているフィルタープレスにより、豚のスラリーから窒素の11%以下、リン酸の11%以下、牛のスラリーから窒素の28%以下、リン酸の27%以下が分離できる。

遠心分離は検討したフィルタープレスよりも窒素の分離に適していない。それに反しリン酸の場合は、固形粒子の分離がよいため、分離の程度が明らかに高い。豚のスラリーを遠心分離で脱水する場合、凝集剤の添加により、窒素もリン酸も分離度を向上させることができる。

利用した装置は構造の大きさが異なり、それに応じて通過量も異なる。通過量はスラリーの粘性および分離相の必要とする乾物含量に応じて著しい変動があり、そのつど非常に狭い限界内でだけ選択が可能である。表3はスラリー分離における通過量とエネルギー需要を示す。

4. 堆肥化

スラリーの分離および液相のデカントで生じた固形物は堆肥化し安定化する。豚と牛のスラリーから生じた、乾物含量の異なる固形物ならびに固形物と粉碎度の異なる糞または作物残渣との混合物の堆肥化処理の試験を行った。2週間の堆肥化前期には準連続的に材料で満たされる連続式縦型リアクター（容積1 m³、高さ2 m、とげのある円筒で下から閉ざされている）、堆肥化後期には箱型発酵槽（容積0.25 m³、高さ1 m）を用い、強制通気は行わなかった。

図2は高さ約2 mに詰めたリアクターの中の温度条件を示す。短い始動期間の後、温度は50~70℃に安定することが認められる。鋸歯状の曲線は固形物を満たす周期のせいで生じる。豚のスラリーから分離した固形物の乾物含量は試験期間中25~28%であった。多数の試験結果の示すところでは、混合剤なしに固形物を堆肥化する場合、乾物含量は25%を下回ってはならない。

1回だけ固形物を添加した場合の堆肥化前期における中心部と周辺部の温度の経過を図3に示す。中心部と周辺部の温度はたいていくつついており、9日間は50℃以上、ほとんど4日間は60℃以上であることが、殺菌のために重要である。

堆肥化後期にもなお分解過程は強烈で、発酵温度は60℃までを示している（図4）。6~7週間後に堆肥は（LAGAの注意書きによる）腐熟度Vになる程安定化していた。曲

線が鋸歯状なのは、毎週材料を切り返したためである。

固形物の堆肥化における質量と体積の収支は図5と6から明らかである。豚のスラリーからの固形物の場合に注目すべきことは、窒素の損失が大きく、原料の約45%、もとのスラリーの窒素の約4.5%に当ることである。

温度の影響により病原菌、寄生虫および雑草の種子は死滅するかまたは数が著しく減少する。約8週間の全堆肥化期間後、固形物は販売可能な、腐熟した堆肥に変化した。

5. 高温発酵

固形物を除去したスラリーは高温発酵を受けさせる。この発酵でスラリーの内容物の酸化分解により遊離するエネルギーが自己発熱に利用される。高温発酵の目的はスラリーの窒素濃度を低下させ、同時に殺菌を保証することである。

強烈な曝気の結果起る、微生物による基質の分解過程で、バイオリアクターが十分に絶縁されていれば、スラリーの温度は65℃まで上昇する。通気によりスラリーのpHは9.6まで上昇する。温度の上昇とアルカリ度の上昇は、アンモニウム-アンモニア平衡に著しい影響を及ぼすため、アンモニアの揮散割合が向上する。

一段式のバイオリアクター（容積 0.8m³）は一種の蒸留カラムと解釈される（図7）。曝気はローフレックス-メンブレン通気装置により1 m³当り毎時 5~20m³の曝気量で行なう。形成されるスカムは機械的に破壊する。

スラリー1 m³当り毎時20m³の曝気量で行った豚スラリーのバッチ試験の示すところでは、4日間の曝気で、おおよそCODの40%、BOD₅の90%、全窒素の50%以上が除去される（図8）。

窒素の除去は通気量と固形物含量に大きく左右される（図9）。通気量が多く、固形物が少ないほどアンモニアの脱離にプラスに作用する。豚スラリーに比べると牛スラリーからのアンモニア除去は、C/N比が高く、アンモニウム濃度が著しく低いため、有利な結果をもたらさない。

スラリーの殺菌については、腸内細菌はpH9.5で48℃から不活性化すると見なされるのに対して、全細菌数は50℃ではじめて減少することが、実験結果から明らかとなった。スラリーの温度が55℃以上では、数時間以内に腸内細菌の99.9%以上が殺菌される（図10）。生菌数はプラスの常用対数(pC)で示す。

殺菌の必要条件のために、一段式バイオリアクターの完全な連続稼働は不可能である。短絡的な流動が避けられないからである。それゆえ、稼働方法としてSBR法（連続的バッチ法）が選択される。この方法では、毎日一定量をリアクターから排出し、続いて新鮮なスラリーを一定水面まで満たすのである。この方法により確実な殺菌が保証できる。

準連続的稼働法で得られる窒素除去率は曝気量と滞留時間とに左右される（図11）。曝気量20m³/m³・h(35℃の湿った空気)の場合、滞留時間3~4日では、全窒素の約50%をアンモニアとして分離できる。

6. 養分のフロー

表4は処理全体の養分のフローを示す。それによれば、それぞれ元のスラリーについて、豚のスラリーから窒素の66%、リン酸の76%、牛のスラリーから窒素の61%、リン酸の65%が分離される。

7. 要約

スラリー中の窒素とリン酸を減少させるために、半工業規模で開発した処理法について述べた。この方法では最初、スクリュープレスまたはフィルタプレスでスラリーから固形物を分離し、堆肥化する。液相は4日間曝気する。その時、温度は65℃まで上昇する（高温発酵）。高温発酵の間に遊離するアンモニアはガス洗浄機中で吸収させる。リン酸をさらに分離するために、曝気したスラリーをデカントする。この処理法での全体の分離割合は、豚のスラリーで窒素の66%、リン酸の76%、牛のスラリーでそれぞれ61%と65%であった。この処理法の最終産物は、負荷を低減させたスラリー（これは慣行通りに農業に利用される）、アンモニウム液（これも同様に農業に投入できる）および堆肥である。

（福士定雄 訳）

表1 牛ふん尿スラリーのフィルタプレスによる分離後の各相中成分濃度と量的割合（フィルターの穴の直径 = 1.6 mm）

			原料スラリー	固相	液相
量的割合	[L]		100	12.4	87.6
乾物	— 含量	[%]	5.17	17.8	3.27
	— 割合	[%]	100	44	56
PO ₄ -P	— 濃度	[mg/kg]	511	864	462
	— 割合	[%]	100	21	79
全-N	— 濃度	[mg/kg]	2.09	4.42	2.16
	— 割合	[%]	100	18	82
有機-N	— 濃度	[mg/kg]	0.88	3.27	0.99
	— 割合	[%]	100	24	76

表2 堆肥化可能な固形物（乾物含量＞25％）を分離した場合の牛および豚スラリーから固形物とともに分離された窒素とリン酸の量的割合
 フィルタープレス（SÜDTECH, フィルターの穴の直径＝3.2mm）
 スクリュープレス（FAN, 篩のスリット幅＝0.75mm）
 デカンター遠心分離機（WESTFALIA SEPARATOR, 防御段階 9）
 牛スラリーの乾物含量＝ 8% （6-9%）
 豚スラリーの乾物含量＝ 6% （4-7%）

	フィルタープレス		スクリーンプレス		デカンター遠心分離機	
	牛	豚	牛	豚	牛	豚
全-N [%]	16-25	9-11	10-28	5-10	-22	12-24 (-40)
全-P [%]	16-27	7-20	13-27	7-20	-60	72-77 (-90)

() 凝集剤添加後

表3 スラリー分離における通過量とエネルギー需要

	フィルタープレス		スクリーンプレス		デカンター遠心分離機	
	牛	豚	牛	豚	牛	豚
通過量 [m^3/h]	16-25	9-11	10-28	5-10	-22	12-24 (-40)
エネルギー需要 [kWh/m^3]	16-27	7-20	13-27	7-20	-60	72-77 (-90)

表4 FALの処理法におけるスラリーからの窒素とリン酸の分離
 [1 DE (肥料単位) = 80 kgN, 70 kgP₂O₅]

豚スラリー				
処理の段階	窒素		リン酸	
	kg/DE	%	kg/DE	%
分離	8	10	11	15
高温発酵	36	45	0	0
デカント	9	11	42	61
合計	53	66	53	76

牛スラリー				
処理の段階	窒素		リン酸	
	kg/DE	%	kg/DE	%
分離	22	28	19	27
高温発酵	18	22	0	0
デカント*	9	11	27	38
合計	49	61	46	65

* 結果は牛の新鮮なスラリーでの試験による。

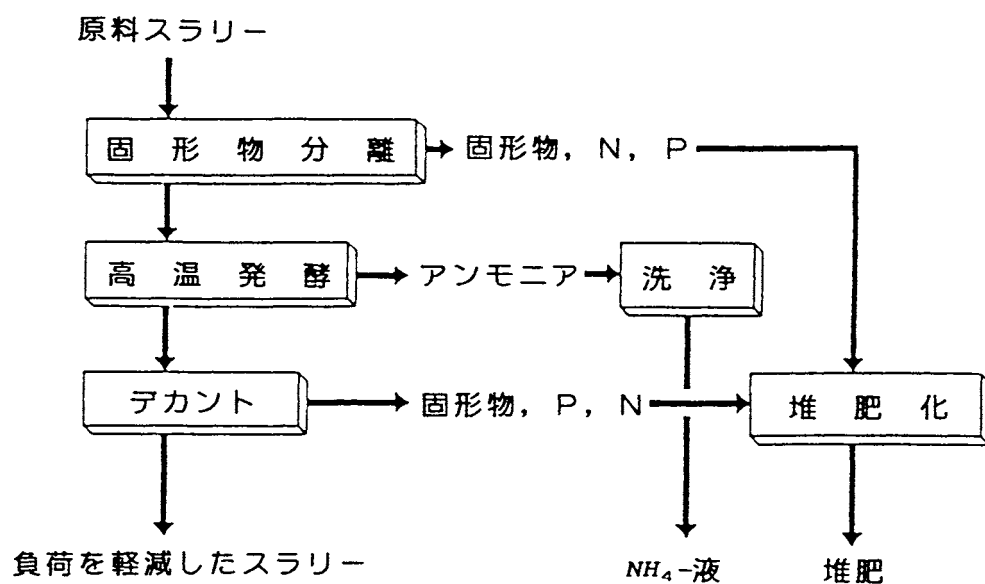


図1 FALのスラリー分別のための処理法

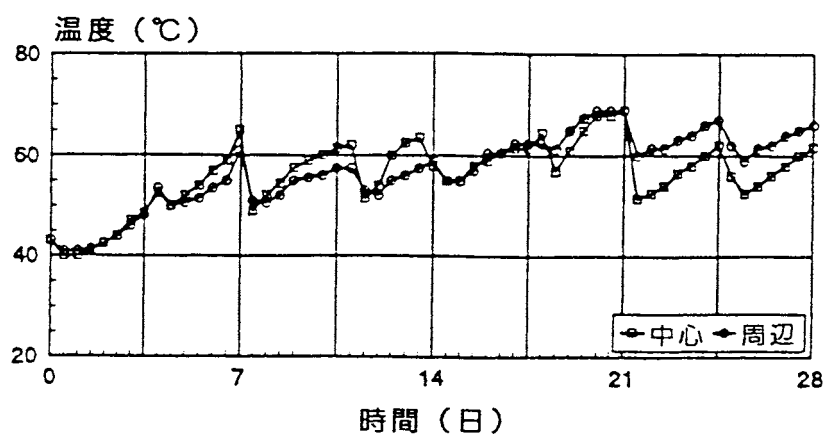


図2 豚スラリーから分離した固形物（乾物含量25～28％）の縦型リアクター内での堆肥化前期における温度

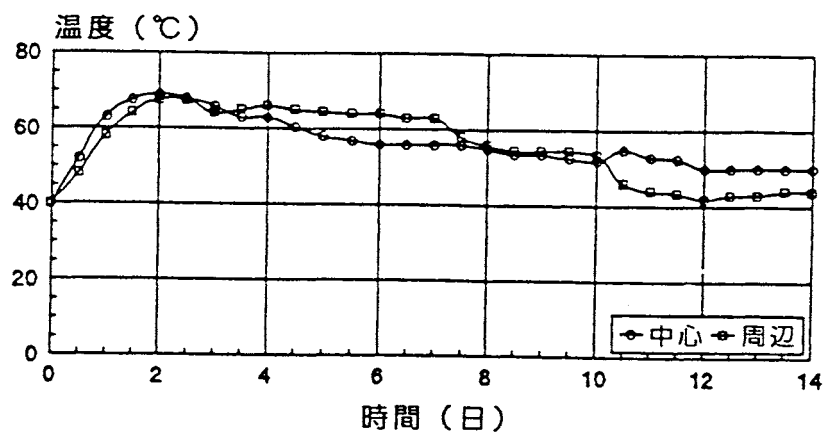


図3 豚スラリーから分離した固形物を一回投入した場合の堆肥化前期における温度の経時変化

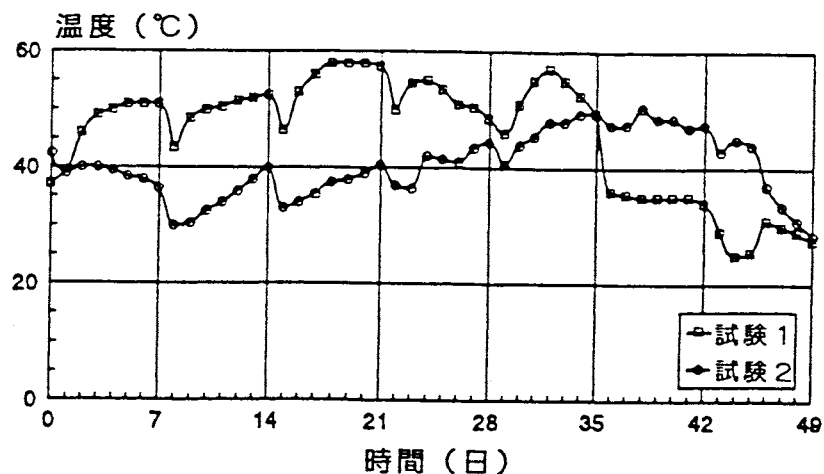


図4 豚スラリーから分離した固形物の堆肥化後期における温度の経時変化
乾物含量： 試験1 (27.5%) ; 試験2 (30%)

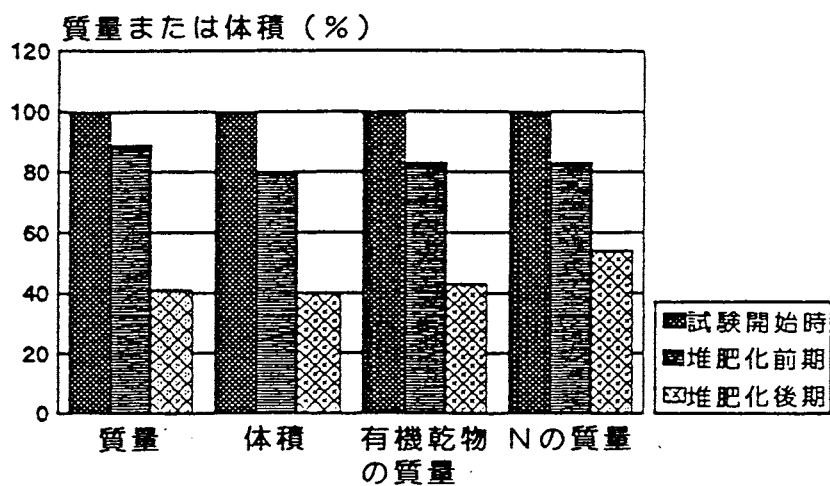


図5 豚スラリーから分離した固形物の堆肥化前期および後期の質量と体積の収支

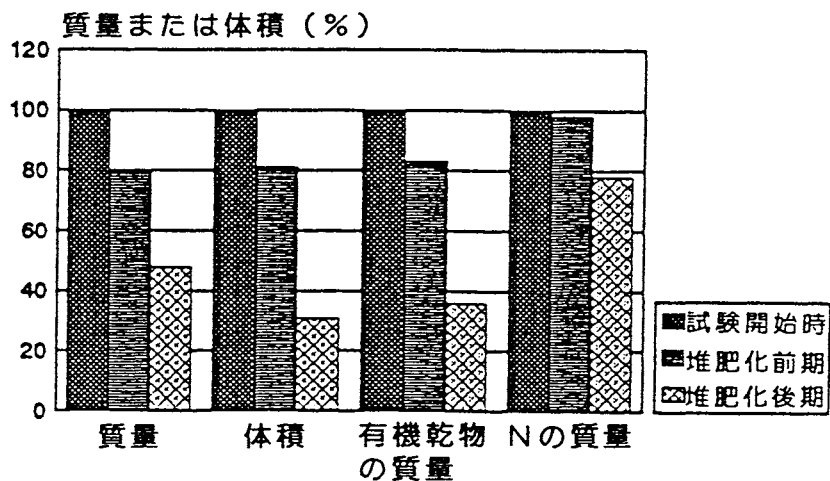
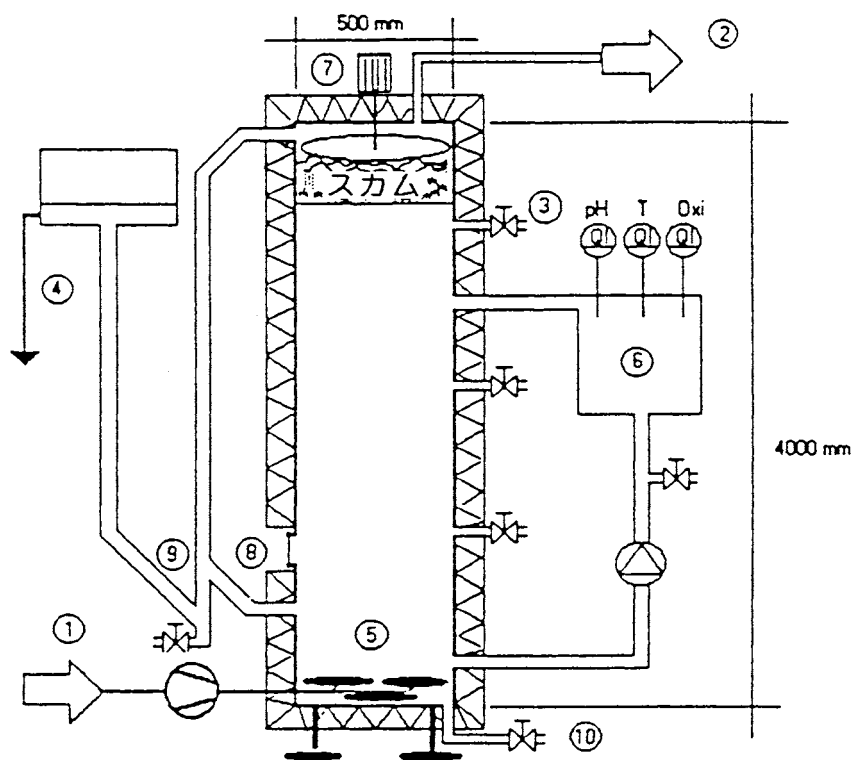


図6 牛スラリーから分離した固形物の堆肥化前期および後期の質量と体積の収支



構成部分の名称

- 1 吸気
- 2 排気
- 3 吸水
- 4 排水
- 5 圧縮空気－メンブレン通気装置
- 6 測定電極の容器と絶縁した導管
- 7 スカム除去用円板
- 8 観察用マンホール
- 9 スカム分離用のしかけ
- 10 流入および排気用バルブ

図7 バイオリアクターの図解

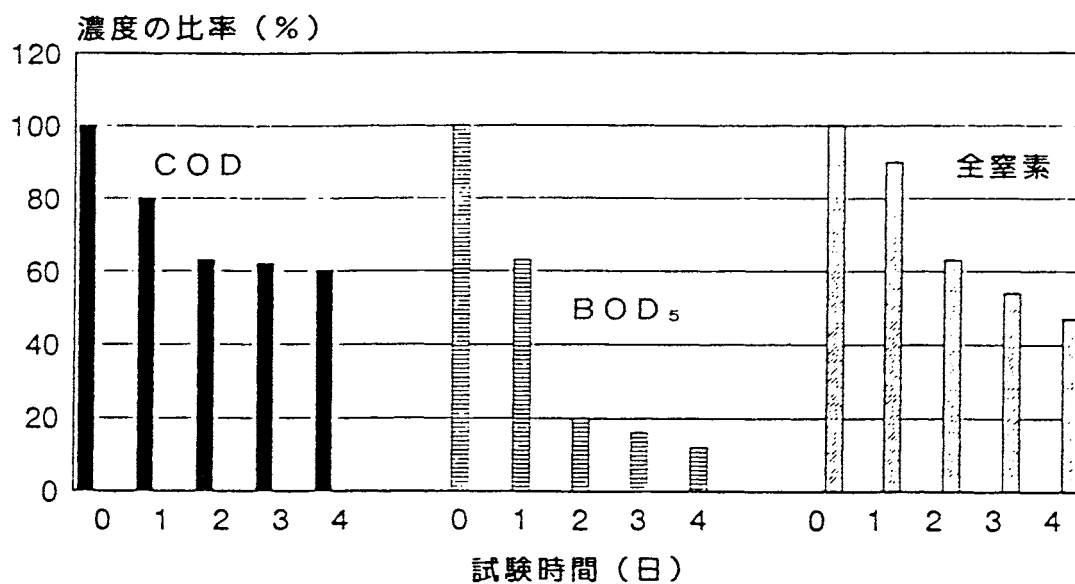


図8 バッチ試験における炭素の分解と窒素の除去

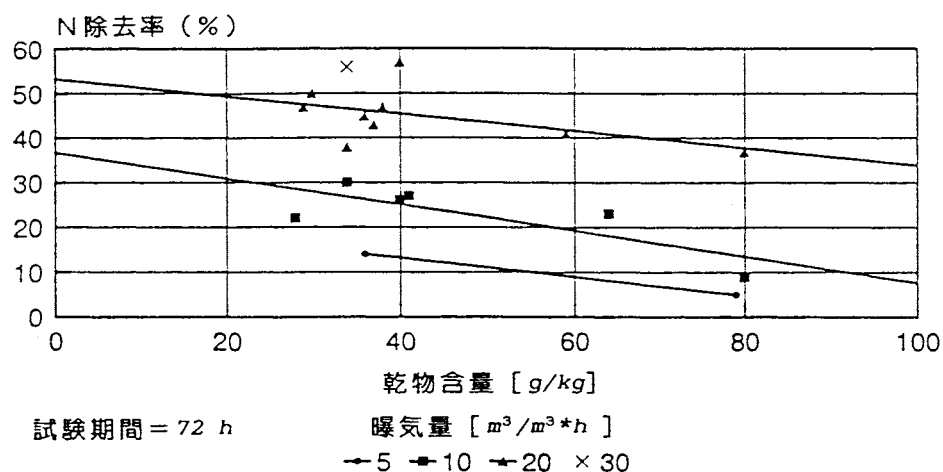


図9 通気量および乾物含量と窒素除去率との関係

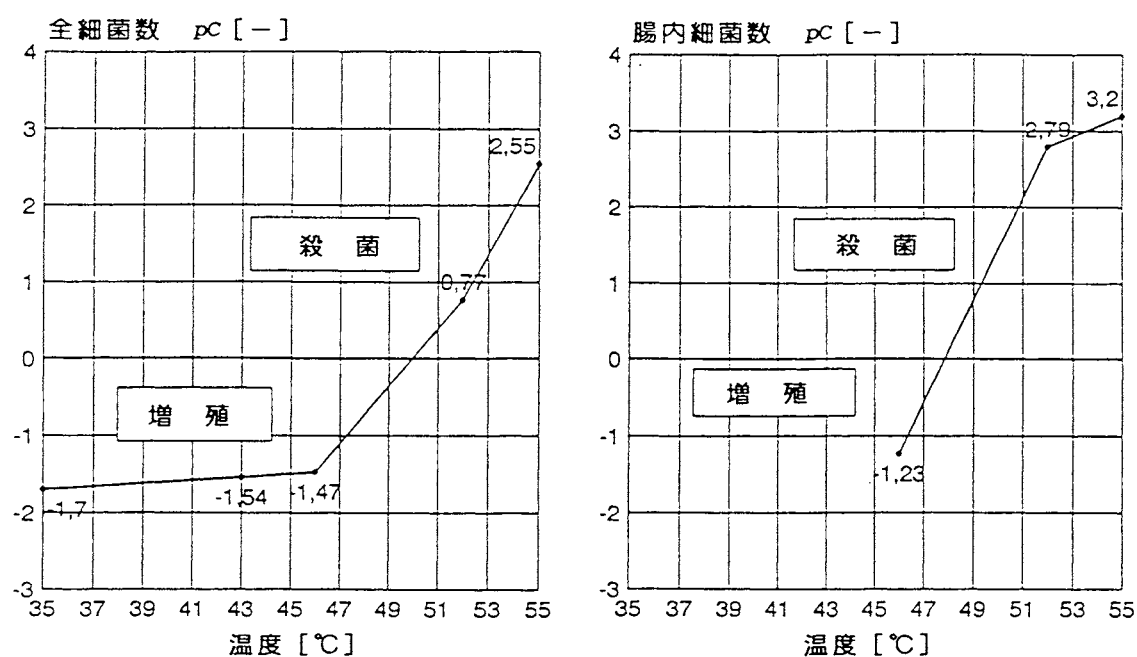


図10 pH 9.5におけるスラリー殺菌と温度との関係

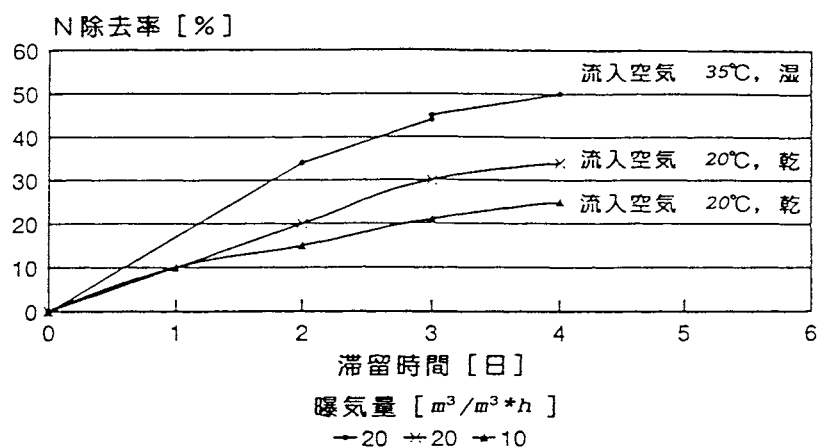


図11 滞留時間および通気量と窒素除去率との関係

Bodenbewirtschaftung und Nitratbelastung des Grundwassers
bei einem Wsserwerk in Weser-Ems

ヴェーザー・エムス地方における土壤管理と浄水場の地下水の硝酸塩負荷

H.Vetter und G.Steffens

Z.f.Kulturtechnik und Flurbereinigung 29, 129-140 (1988)

1. はじめに

ホルドルフにあるオルデンプルクー東フリースランド水道協会（O O W V）の浄水場は14の原料水汲上用井戸をもっており、1968年以来深さ20～25m から取水している。1979年から原料水の硝酸塩含量が著しく上昇した。地下水層上部の硝酸塩含量がどれほど高いかを確認するために、一連の観測井戸（深さ約10～20m）を設け、これまで定期的に試料を採取した。

1983年の初めから地下水の硝酸塩含量に及ぼす施肥および土壤管理の影響に関する調査を行った。この調査結果を報告する。

2. 問題提起、方法論および立地条件

浄水場への原水供給地域は大部分農業に利用されている。浄水場への原水供給地域における施肥と土地利用が地下水の硝酸塩含量に及ぼす影響を調べるために、保全地帯ⅡおよびⅢから1983、1984、1985年に土壤の深さ 0～30、30～60および60～90cmから試料を採取し、硝酸態窒素、アンモニウム態窒素ならびに乳酸石灰法による可給態リン酸およびカリウムの含量を測定した。この調査により次の疑問のひとつひとつに答えねばならない。

a) 水の硝酸塩含量と土壤中の硝酸塩およびその他の養分の含量との間にどのような関係があるか？

b) 施肥と土地利用が土壤の硝酸塩含量にどのような影響を及ぼすか？

試料採取地域は、土地利用により森林、伐採地、トウモロコシ畑、間作をしていない穀物畑および間作をしている穀物畑に区分した。さらに、昔の森林は伐採後新たに植林したところと伐採後畑として利用しているところを比較調査した。そのほか家畜スラリーの施用試験も計画した。試験圃場にはトウモロコシとエンバクを半分ずつ栽培した。それぞれ播種直前に豚のスラリーをNとして 0, 140, 280 kg/ha 施用した。時々土壤試料を採取し、無機態窒素を測定した。

ここに述べた調査計画は、結果を見た後に一步一步発展させたものである。水への硝酸塩の流出を減少させる手がかりの発見に寄与する調査が主として問題とされている。地下水の分析はO O W Vによって行われた。

立地条件の記載

浄水場の保全地帯ⅠないしⅢの土壤は、土壤図 No.3414(1:25,000, 1979)によれば、主として土層の厚さ中程度のポドゾルに分類されている。より狭い範囲が、土層の厚さ中程

度のグライーポドゾル、土層の深いポドゾルーランカーおよび土層の厚さ中程度の灰色ブラッゲン土壤として示されている。土性は深い地下水層まで主として砂土で、孤立したシルトの沈積を伴う。土壤の腐植含量は4～8%の間にある。

長年のライシメーターでの測定によれば、土壤の根群域から下へ、降水量（年間約700mm）のうちの約40～50% すなわち約300mmが浸透する（SÜTTERING, 1982）。地下水位は、その立地条件に応じて、年間深さ2～8mの間で変動する。

3. 結果

3.1. 水の硝酸塩含量と土壤中の硝酸塩、アンモニウムおよび他の養分の含量

3.1.1. 水の硝酸塩含量

ホルドルフ浄水場の原料水（深さ20～50m）の硝酸塩含量は1968年から1978年までは僅かに上昇するに過ぎなかったが、その後の4年間に10から約26 mg NO₃/Lに上昇した。

浅い観測井戸（深さ約10m）、また一部の深い観測井戸（深さ約20m）の水の硝酸塩含量は、原料水汲上用井戸の水の硝酸塩含量よりも著しく高い。浅井戸と深井戸が隣接している現場で比較したところ、1982年に浅井戸の水の硝酸塩含量は平均約185mg NO₃/L、深井戸のそれは約84mg NO₃/Lであった（表1）。極端な値は浅井戸で約287および36mg NO₃/L、深井戸で約253および1mg NO₃/Lであった。例外的な場合、深井戸の硝酸塩含量が浅井戸のそれよりも高いことがあった。

3.1.2. 土壤中の硝酸塩、アンモニウムおよび他の養分の含量

原料水汲上用井戸および観測井戸の隣接地から1983年3月に採取した土壤は腐植質砂土ばかりであった。土壤試料8点は森林、その他は農業利用地（草地1点を除きすべて畑）のものであった。

表2では土壤で測定された硝酸態およびアンモニウム態窒素含量を含量等級別に記載した。含量等級Ⅲ以上の無機態窒素含量は過度に高いと見なさねばならない（>75%！）。

表3に畑土壤のPおよびK含量の度数分布を記す。含量等級Mは非常に低く、Aは低く、Bは供給程度中を示す。目標とされ、適度に供給されると見なされるものは、通常含量等級Cである。含量等級DとEは養分含量が不必要に高いことを示す。

森林土壤のPおよびK含量は畑土壤のそれよりはるかに低い。もし畑地と同じ等級格付基準を用いれば、森林土壤のすべてのK含量は供給度M、すべてのP含量は供給度MからBとなる。

3.2. 水の硝酸塩含量と土壤の養分含量との間の相関

ここにあるデータ資料を統計計算するために、1982年に測定した原料水汲上用井戸または観測井戸の水の平均硝酸塩含量を、井戸の隣接地の土壤の無機態窒素およびリン酸含量と対比した。

次の相関を調べた。

△原料水汲上用井戸の水の硝酸塩含量—隣接地土壌の養分含量

△浅い測定用井戸の水の硝酸塩含量—隣接地土壌の養分含量

△深い測定用井戸の水の硝酸塩含量—隣接地土壌の養分含量

原料水汲上用井戸では特定の群についてのみ、水の硝酸塩含量と土壌の養分含量との間の相関を推論することができた。まとまった森林地帯内にある原料水汲上用井戸Ⅰ～Ⅳは平均で土壌の養分含量がより低く、主として畑として利用されているかまたは森林伐採後畑として利用されている土地では井戸水の硝酸塩含量も土壌の養分含量も高いことが示されている（表４）。

さらに、浅い観測井戸（深さ10m）の水の硝酸塩含量とそれに付属する土地の土壌のリン酸含量との間にだけ、統計的に有意な相関が明らかにされた（図１）。相関係数は 0.73 であまり高くはないが、有意水準５％で相関が確かめられた。このことは、多量の家畜スラリーの長年の投与の後にのみ見られる土壌の高いリン酸含量の場合に、地下水への激しい硝酸塩負荷のリスクが生じることを示している。他の調査から知られているように、スラリーを秋や冬に農地に散布し、間作を栽培しない場合、事態はいっそう著しい。

他のすべての相関、たとえば浅いかまたは深い観測井戸の水の硝酸塩含量と土壌の硝酸塩含量との間の相関は、統計的には確認できなかった。

3.3. 施肥と土地利用が水の硝酸塩含量に及ぼす影響

3.3.1. 施肥の影響

作物が利用できる量よりはるかに多量の窒素が施用されるとき、スラリー施用は硝酸塩の流出を増大させることが予想される。表３から明らかなように、調査した畑全体の52％はリン酸含量が含量等級DとEであり、それにより比較的多量施肥されたものとみなすことができる。調査した畑のカリウム含量は13％が供給段階DとEにある。明らかに高すぎるリン酸とカリウムの含量は、多量のスラリーが施用されたことのしるしであり得る。そのような場合、窒素の過剰施用のため水への硝酸塩の激しい流出を引き起こした可能性がないわけではない。

3.3.2. 土地利用の影響

保全地帯ⅡとⅢの現在の土地利用は、畑 51.5％、森林 33.4％で、草地は僅か2％である。残りの面積は池、宅地、道路、溝等に分けられる。畑には主として穀類とトウモロコシが栽培されている。

畑と森林の影響の比較

浄水場の個々の原料水汲上用井戸の硝酸塩含量には著しい差異がある。井戸の位置によって3群に区分することができる。

△第1群：国有林内の井戸Ⅰ～Ⅳ、森林として利用；硝酸塩含量の上昇は平均約 8mg NO₃/L；井戸Ⅰを除き水の硝酸塩含量<10mg NO₃/L。井戸Ⅰは国有林の周辺部にあり、国有林に隣接する畑に最も近い。

△第2群：井戸Ⅴ～Ⅺ、主として古い畑；硝酸塩含量の上昇は平均 19mg NO₃/L；すべて

の井戸が1968年にすでに比較的高い値であった。井戸VI > 限界値 50mg NO₃/L。

△第3群：井戸Ⅻ～ⅩⅣ、昔の森林地域、1972年伐採後主に農業に利用されている。ここでは硝酸塩含量の上昇が最も高かった（平均46mg NO₃/L）；井戸ⅩⅣでは > 50mg NO₃/L（SÜTTERING, 1982）。

これにより、1968年から1982年への硝酸塩含量の上昇は確かに林地でもかなりあったが、他の地域に比べると非常に少なかった。硝酸塩含量の上昇は森林伐採地では、古い畑よりもっとはげしかった。

林地下の水の低い硝酸塩含量は、森林下の土壌の低い無機態窒素含量に対応している（表5）。予期した通り、林地では土壌の平均無機態窒素含量がより低かった。3か所の林地では表土だけに、より高いアンモニウム態窒素が認められた（表2も参照）。これらの3か所のうち2か所は伐採地と伐採後の再植林地である。アンモニウム態窒素含量がより高い原因は、おそらく土壌の表層で有機物の無機化が林地より激しいことと考えることができる。

畑では土壌の平均無機態窒素含量はるかに高い。目立っているのは、土壌の表層で硝酸態窒素のほかにアンモニウム態窒素の含量も、より高いことである。より高いアンモニウム態窒素は、畑ではふつう有機施肥（冬のスラリー施用）との関連で認められる。

森林の畑への転換の影響

1972年に保全地帯Ⅱ～Ⅲの中にある林地の約50%が風害により破壊された。森林破壊地の約2/3は再植林され、約1/3は畑地利用に転換した。森林伐採後どれだけの量の窒素が無機化するか、その印象を得るために、古い林地に直接隣接する再植林地または現在畑として利用されている所から採取した土壌の全窒素含量を調査した。結果を表6に示す。再植林地または畑では、土壌（深さ0～90cm）中の全窒素含量が、いずれも古い林地のそれよりも明らかに、平均約2400 kg N/haだけ、低い。かつて林地だった畑は、すでに長年月栽培され、施肥もされているので、全部合わせると、古い林地との差し引き計算で現れるよりもっと多量の窒素が遊離したものと見積もることができる。

トウモロコシと穀類の影響の比較

さらに行われた調査では、隣接するトウモロコシ畑（8か所）と穀類畑（7か所）との無機態窒素含量を調べた。硝酸塩含量の平均値を図2に示す。この図は、1983年の3回の調査時点でトウモロコシ畑の土壌の無機態窒素含量が穀類畑のそれより明らかに高いことを示している。収穫期（1983年9月末）でさえトウモロコシ畑では無機態窒素含量がなお平均約240kg N/haもあった。それに対して、穀類畑では収穫期（1983年7月中旬）に無機態窒素含量が約30 kg N/haまで低下していた。その後再び約100kg N/haまで上昇したのは、一部はその後起った窒素の無機化、しかし一部は間作作物または秋播穀類への新たな施肥のせいに帰することができる。

トウモロコシ畑8か所のうち4か所は、新たな無機態窒素調査の一環として、1984年2月に調査を行った。これらの畑では無機態窒素含量が1984年2月には約20kg N/haまで低下した。この結果はトウモロコシ畑で大きな窒素の損失が起ったことを示している。そこから、多量の硝酸塩が冬の降水とともに土壌の深層へ移動し、そしてそれが地下水の硝酸

塩負荷の潜在的源泉と見なし得るという考えが出てくる。

図2に示す調査結果では、トウモロコシと穀類では施肥量と施肥時期が異なり、おそらくトウモロコシにより多量のスラリーが施用されたであろうという前提から出発せねばならない。同量の窒素をスラリーで与えた場合、穀類またはトウモロコシ収穫後の土壤にどれだけの窒素が存在するかを調べるために、腐植質砂土で施肥試験を行なった。試験開始前およびエンバクまたはトウモロコシ収穫後の土壤の無機態窒素含量を表7に示す。

試験開始前の無機態窒素含量はエンバクとトウモロコシで20~25kg N/haで、ほぼ同じ値であった。収穫後の土壤の無機態窒素含量は、同一施肥量にもかかわらず、トウモロコシ跡地ではエンバク跡地よりも2~3倍高かった。その原因は、トウモロコシの葉の屋根の下で土壤中の物質変化がより激しく進行することにある。他の調査でも、トウモロコシが収穫後の土壤中に非常に多量の無機態窒素を残し得ることが知られている(NITSCH, 1986; HUGGER, 1986)。トウモロコシの後に間作はもはや不可能なので、トウモロコシ作付後の地下水負荷のリスクは、穀類作付後間作する場合よりも一般に大きいものと見なすことができる。

間作の影響

穀類を収穫した圃場に晩夏および秋にスラリーを散布した場合に、間作はスラリーとともに加えられた養分を作物の生育に利用し、窒素の洗脱を減少させる可能性がある。このことの確認は、とりわけ1984年11月の無機態窒素調査の結果から導くことができる(表8)。個々の圃場に以前に施肥したか、そしてどれだけ施肥したかは不明であるが、間作跡は間作しない場合よりも土壤の無機態窒素含量がはるかに低いことが、はっきりと示されている。秋播穀類の圃場で無機態窒素含量が平均してより高いのは、多分冬作にスラリーを施用したせいであろう。間作により硝酸塩洗脱が減少することは、他の試験や調査でも証明されている(VETTER & STEFFENS, 1983)。

4. 結論

ここに示した調査結果によってホルドルフ浄水場の飲料水の硝酸塩含量の上昇には次のような幾つかの原因を挙げることができる。

△過剰の、そして不適当な時期のスラリー施用、

△土地利用の種類、

△森林から畑への転換。

地下水の硝酸塩負荷を長期的視野で低減するためには、とりわけスラリーをこれまでよりも適切に散布することが不可欠である。この地域ですでに以前に行われたFOERSTER(1982)の調査もこの確認を強調している。スラリー施用圃場では無機施肥圃場よりも観測井戸の水の硝酸塩含量の上昇がはるかに激しいことが確認された。

スラリーの適切な施用には

△販売肥料の窒素と同じ時点に散布し、

△スラリーの量を作物の肥料要求量に合わせ、

△適量を正確に計り、圃場に均一に散布する。

このことは、とりわけトウモロコシへの施肥について当てはまる。非常にしばしばトウモロコシの肥料要求量は過大評価されている。養分吸収量はより多いにもかかわらず、トウモロコシのスラリー必要量はコムギの場合よりも多くはないかまたは僅かに多いに過ぎない。生育期間の長いことは、土壌から遊離した窒素を合わせて利用する可能性をトウモロコシに与えているのである。VON BORSTEL (1985)の調査によれば、トウモロコシは最高180kg/haの窒素を吸収する。最高収量はもっと低い窒素施用量により得られることが多い。

地下水負荷低減のためのさらに重要な手掛かりは土地利用である。1984年11月の無機態窒素調査の示すところでは、間作を行った圃場では土壌の根群域に、より少量の硝酸塩しか存在しなかった。長年のライシメーター試験でも証明されたとおり、間作により冬期の窒素の洗脱は50%以上減少させることが可能である(VETTER & STEFFENS, 1983)。しかし間作は、十分早く圃場を空けられる作物がその前に作付されるときにだけ可能である。トウモロコシのあとにはもはや間作は栽培できない。

草地から畑へ、また森林から畑へ転換した場合、土壌に蓄えられていた窒素が多量に遊離する(STREBEL ら, 1984)。この窒素は地下水への大きな負荷に寄与し得る。したがって草地から畑へまたは森林から畑への転換は、水保全地域では避けるべきである。一般に森林および草地では硝酸塩の洗脱が畑よりもはるかに少ない。

ホルドルフ浄水場の井戸への硝酸塩汚染を監視するためには、今後次の調査が有意義と思われる。

△原料水汲上用井戸および観測井戸の硝酸塩含量の測定。この調査は地下水の硝酸塩負荷が増大したかどうかを明らかにする。

△水の硝酸塩含量が余りに高いときは、11月初めに行なう無機態窒素の調査によって、どの圃場で、またどのような処置の結果平均を上回る高い硝酸塩洗脱の可能性が土壌中に存在するのかを調べねばならない。この調査結果から、次の年の農業経営のために施肥と土地利用に関する結論を導くことができる。水保全地域で営農を行う農業者の組織的結合は、硝酸塩含量を低減する処置の確立を容易にすることができる。

5. 要約

ホルドルフ浄水場の水の硝酸塩含量の上昇が施肥と土地利用によって引き起こされるかどうか、そしてどの程度それらに影響されるかを明らかにしようとした。そのために、原料水汲上用井戸および観測井戸の水の硝酸塩含量を調べ、さらに土壌中の硝酸塩、アンモニウムおよびその他の養分の含量を調べた。ホルドルフ浄水場の原料水供給地域の水の硝酸塩汚染の最も重要な原因として挙げられるのは、次のとおりである。

△余りに多量のスラリー施用または秋のスラリー施用。

△森林から畑への転換。それは腐植の無機化を促進し、それにより硝酸塩の流出を増大させる。

△トウモロコシ栽培の増加。

トウモロコシ栽培では硝酸塩の流出が一般に穀類作物よりも激しい。トウモロコシには

ふつうより多量の施肥が行われるばかりでなく、この葉の繁る作物の下で、より多量の土壌窒素が無機化するからである。

穀類栽培後の間作により硝酸塩の流出は著しく減少する。11月初めに残存する窒素の測定は、硝酸塩洗脱の可能性を確認し、何によって硝酸塩洗脱のリスクが引き起されるのかを明らかにするための、すぐれた手段である。

(福士定雄 訳)

表1 観測井戸の水の硝酸塩含量 (1982年の平均値)

	採取深さ	mg NO ₃ /L		
		平均値	最高値	最低値
浅井戸	ca. 10 m	185	287	36
深井戸	ca. 20 m	84	253	1

表2 土壌の無機態窒素 (NO₃⁻-N+NH₄⁺-N, 深さ 0~90cm) の含量等級別分布 (1983年 3月中旬)

	試料数	森林の試料数	森林以外の試料数	森林以外の試料の分布割合
I 0 - 20 kg N/ha	7	5	2	5 %
II 21 - 40 kg N/ha	9	1	8	20 %
III 41 - 80 kg N/ha	14	1	13	32 %
IV 81 - 160 kg N/ha	10	1	9	23 %
V > 160 kg N/ha	8	0	8	20 %
合 計	48	8	40	100 %

表3 土壌のリン酸およびカリの含量等級別分布 (畑の試料のみ)

含量等級	P ₂ O ₅		K ₂ O	
	試料数	分布割合 %	試料数	分布割合 %
M	0	0	0	0
A	0	0	6	11
B	2	3	17	30
C	25	45	26	46
D	21	38	5	9
E	8	14	2	4
D + E	29	52	7	13
合計 A-E	56	100	56	100

表4 原料水汲上井戸の水の硝酸塩含量および隣接地土壌の養分含量の平均値

群	井戸の 番号	水の平均 NO ₃ 含量 mg/L	隣接地の平均 P ₂ O ₅ 含量 mg/100g 土壌	隣接地の平均 NO ₃ -N 含量 kg/ha
1 = 森林に隣 接	I II III IV	8.0	4	5
2 = 主として 畑に隣接	XI V VI VII VIII IX X	28.2	31	78
3 = 主として 森林伐採 地に隣接	XII XIII XIV	35.6	34	44

表5 1983年 3月の土壌の無機態窒素含量（森林と畑の比較）

		kg/ha		
		NO ₃ -N	NH ₄ -N	合 計
森林 n = 8	0 - 30 cm	3	16	19
	30 - 60 cm	3	2	5
	60 - 90 cm	2	1	3
合 計		8	19	27
畑 n = 56	0 - 30 cm	36	44	80
	30 - 60 cm	18	10	28
	60 - 90 cm	12	2	14
合 計		66	56	122

表6 森林および森林伐採跡地の土壌の全窒素含量

		kg N/ha		
		古い林地 0 - 90 cm	伐採後再植林 0 - 90 cm	伐採後8年間畑 0 - 90 cm
地点 1		7160	4764	5460
地点 2		10192	6270	
地点 3		5839	4920	
平均値		7750	5320	
差 異		2430		

表7 エンバクまたはトウモロコシに豚のスラリーを 0, 140, 280 kg N/ha
相当量施用した後の土壌の無機態窒素含量 (1984年 3月末)

		kg N/ha (深さ 0~90cm)	
		試験開始前 28.03.84	収穫後 10.09.84 10.10.84
スラリー無施用	エンバク トウモロコシ	24.8 20.1	9.6 23.2
140 kg スラリー-N	エンバク トウモロコシ	24.8 20.1	15.9 32.2
280 kg スラリー-N	エンバク トウモロコシ	24.8 20.1	23.9 58.3

表8 1984年11月における作付の異なる畑土壌の平均無機態窒素含量

	圃場の数	kg N/ha (深さ 0~90cm)
秋まき穀物	22	124
トウモロコシ刈跡	10	102
間作	7	38

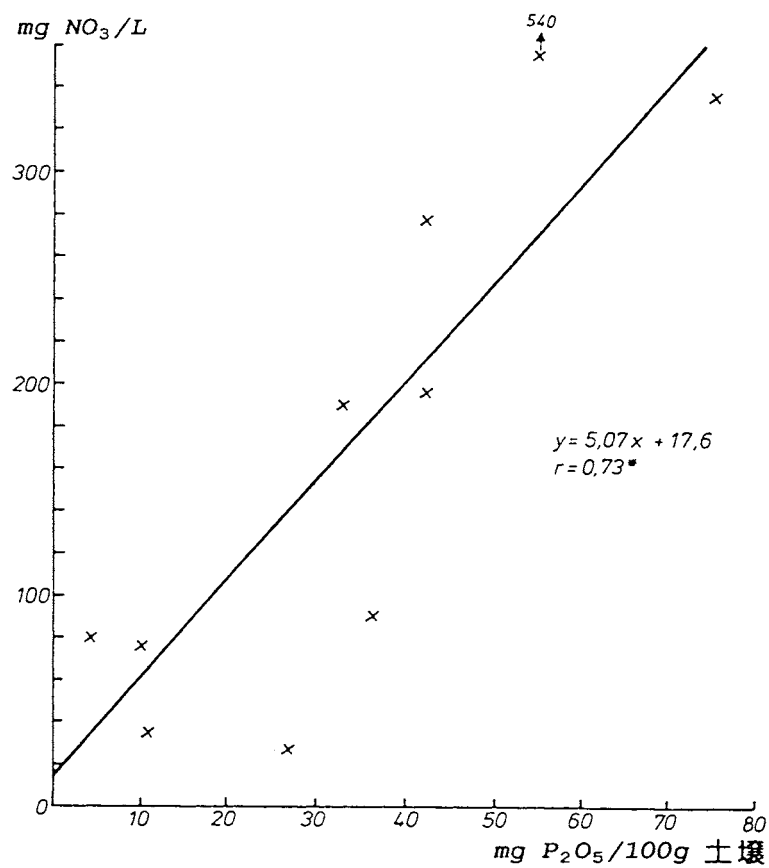


図1 地下水（深さ 10m）の NO_3 含量と土壤（0～30cm）のDL可溶リン酸含量

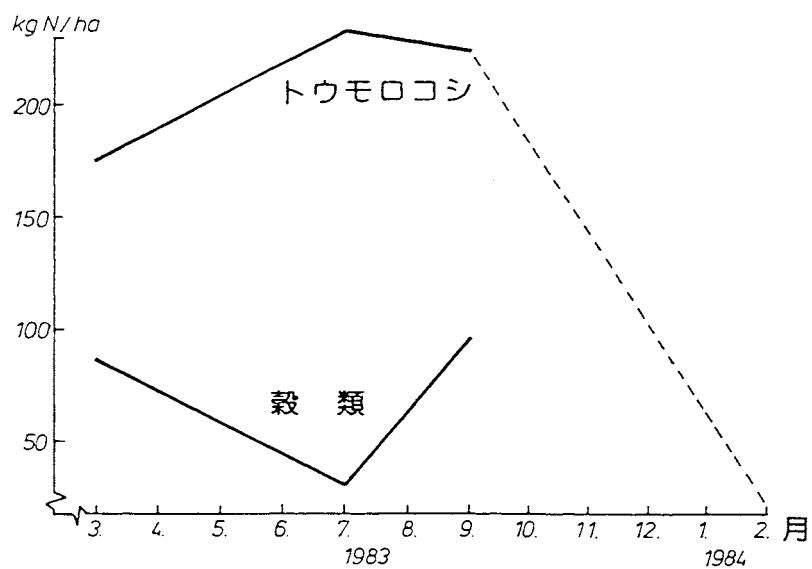


図2 トウモロコシおよび穀類畑の無機態窒素含量

農業におけるふん尿の適切な施用に対する視点

G.Steffens and F.Lorenz

Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt
der Landwirtschaftskammer Weser-Ems, Postfach 2549, D-2900 Oldenburg

要約

適切な農業管理とは、良質な作物を高い収量で得ながら、しかも環境汚染を最小にするような生産手段である。施肥の観点からは、作物による養分の吸収を高くすることで養分利用効率が高くなり、同時に、環境に対する負荷が低くなる。ふん尿中の養分の高い利用効率は、次のような原理によって達成される。

- －養分の量、含量や利用効率の把握
- －ふん尿の適正量施用のための機械の開発
- －植物や土壌へのダメージをさけ、適切な土壌や気象条件下で作物に利用されるようなふん尿の施用技術
- －低温時や曇天時に施用したり、施用後すみやかにすきこむ、あるいは他の適切な技術による、アンモニアや臭気の発生の最小化
- －養分要求量を最小限の量で満たすような、スラリーやふん尿の施与雨量の制限。この場合、ふん尿窒素の利用の改善や最適な収量を得るために、化学肥料による窒素の補充が必要である。
- －ふん尿の長期施用による、窒素無機化量の把握

1. はじめに

ふん尿、とりわけスラリーは、しばしば不適切に施用されている。最も多いまちがいは、施用量が多すぎると、あやまった時期に施用している点である。このことは、結果として養分の利用効率や収量の低下、そして、作物、土壌、水、大気にマイナスの影響を与えている。ふん尿の適切な施用は、効率的な養分の利用を助け、そして環境汚染を最小限にする。一般的に作物の生長に利用される養分を最大にするようにふん尿を施用することで、環境汚染を低くすることができる。この論文は、特にスラリーに注目して、次のような視点から報告する。

- －ふん尿の施用のための技術的な必要性
- －ふん尿の耕地への施用
- －ふん尿の草地への施用

－ふん尿の長期施用による窒素無機化量の増加

2. 養分の量、含量と利用効率

ふん尿の最適な利用のため、どれくらいの養分が農場で生産され、そしてその養分含量や利用効率がどれくらいなのかを知ることがきわめて重要である。

2.1 養分の量

農場で利用可能なふん尿からの養分の量は、家畜によって排泄される養分の量から計算される。表1は、スラリー中の養分の平均値である。もちろん、この値は、飼料の種類や家畜の能力によって変わる。

2.2 養分の含量

ふん尿の養分含量は大きく変動する。これは、畜種、飼料の種類、敷料の種類や水の供給の差による。したがって、ふん尿の養分含量を正確に計算することは絶対必要である。

2.3 養分の利用効果

ふん尿中のリン、カリ、マグネシウム、銅の利用効率は、最適な施用条件下では、化学肥料の利用効率と同じくらい高い。そして、作物の養分要求量の計算を十分考慮しなければならない。

窒素の利用効率は、ふん尿のアンモニア態窒素含量、生育シーズン中の窒素の無機化速度、施用条件や作物の種類によって変わる。ふん尿中のアンモニア態窒素は、約10～25%、スラリー中では約50～70%である。タイミング、アンモニアのロスを最小限にする施用速度といった、窒素の最適な利用のための施用条件については、あとで議論する。

最適な条件下では、ふん尿の利用効率は次のように推定される（表2）。

3. ふん尿の施用における技術的な必要性

ふん尿の最適な利用のための技術的な必要点としては、十分な貯蔵容量、均質化のための施設やふん尿の均一的な施用法である。

3.1 貯蔵容量

十分な貯蔵容量は、適切な時期にスラリーを散布するために必要である。それは家畜の数や種類だけではなく、洗浄水や流れこむ雨水の量、それに敷料の量などにも依存する。貯留施設のサイズは、ふん尿の施用できない期間をカバーできる必要があり、スラリーでは少なくとも6ヶ月分が必要である。

3.2 均質化

スラリーについては、均質化がとりわけ重要である。貯留中に、スラリーは乾物率の高い層と低い層に分離し、その結果、養分含量も変わってくる。スラリー散布中の

十分なかくはんは、養分含量の均一化や養分の均質な圃場への散布のために重要である（表3）。

3.3 正確な散布

ふん尿の正確な散布は、必要な量を均一に施用することを意味している。固形ふん尿のスプレッダは、通常スラリーほど問題にはならない。スプラッシュプレートを用いたものは、30%以上の分布の変動をもたらす（図1、10）。ペンドリングノズル、ノズルバー、トレーリングホース、トレーリングシューや注入技術といった最近開発された新しい技術を用いたものは、均質な散布を可能にするが、一方コストがかかる。これらの技術については後述する。

4. 耕地へのふん尿の施用

4.1 施用時期

化学肥料と同様に、ふん尿は作物に利用されるように施用しなければならない。これは、高いアンモニア態窒素（50～70%）をもつスラリーのような液肥でとりわけ重要である。このアンモニア態窒素は圃場では、数週間で硝酸態に変わる。

図2は、冬作物の圃場へのスラリー散布のタイミングの効果をみたものである。2、3月、すなわち養分の吸収が最も高い時期に、豚スラリーを $30\text{m}^3/\text{ha}$ （ $200\text{kgN}/\text{ha}$ に相当）施用した場合に最も収量が高くなっている。12月に施用した場合には、窒素利用効率がやや低く、8月や10月の施用ではさらに低い。8月や10月の施用では降雨が蒸発を上回る冬期の流亡による窒素のロスによって、収量が減収する（図2）。さらに、秋のスラリー散布は、脱窒によるロスも高くなる（14）。スラリーを最適時期近くに散布することで、窒素のロスを低くすることができる。

冬作物へのスラリー散布の最適時期は、窒素の流亡をおさえるだけではない。発育ステージもまた重要である。図3は、1月上旬から4月上旬までの9個の異なる日に $120\text{kgN}/\text{ha}$ のスラリーを散布した時のライ麦の収量を示したものである。最も効率的なのは、分けつ開始期の前、すなわち作物の最も養分を必要とする時期の少し前に施用した場合である。早期の散布によって、アンモニアや臭気物質の揮散もおさえられる。

生育中の作物や土壌へのダメージをさけるため、スラリーは次の条件下では散布しない。

- －土壌が受容量をみたしている
- －土壌が凍結したり、雪でおおわれる
- －作物が敏感に反応する時期にある
- －施用後に乾燥や高温あるいは霜におおわれる

流亡の損失のない畑では、スラリーはうすく凍結した土壌（ $<5\text{cm}$ ）にも施用される。この場合、車輪によるダメージやアンモニアの揮散はおさえられる。

春に播種された作物へのスラリー散布の最適期は播種直前である。播種後のスラリー散

布は、スラリーをすきこめないために、アンモニアのロスが大きくなる。うね間への施用は、トウモロコシのようなうね間の広い作物には適しているが、もし、アンモニアのロスが制限されるなら、すきこみや注入が行われる。

固形ふん尿では、スラリーよりもアンモニア態窒素含量がずっと低い。それにもかかわらず、窒素流亡を生じるような気象・土壌条件下の秋の施用は、窒素のロスを生じる。また浸透性の高い土壌やふん尿中窒素のかかなりの無機化を生じる生じる暖冬時にもロスを生じやすい。

4.2 アンモニアのロスの低減

ふん尿、とりわけスラリーの不適切な施用は、アンモニアのロスを高める施用後数時間のうちに、アンモニアの揮散は最大になる。もし、スラリーを裸地に施用するなら、アンモニアの揮散をおさえるために、すみやかにすきこむ必要がある（図4）。深耕よりも浅耕の方が好ましい。深耕ではスラリーの養分が深部に入り、幼植物が吸収できなくなり、結果として硝酸の容脱量がふえる。

冬作物や他の作物へのスラリーの散布は、スラリーのすきこみが通常できないために、高いアンモニアのロスを生じる。この場合、アンモニアロス低減を助ける気象条件を知る必要がある。施用中／後の降雨や低温下での施用によって、アンモニアロスはかなりおさえられる（図5）。アンモニアの揮散をおさえることは、同時に臭気物質の揮散もおさえる。

4.3 ふん尿の量

窒素含量のみに基づいてふん尿を施用するのは適切ではない。たとえばスラリーのみで最大の収量を得るためには、他の無機要素の要求量を満たす量以上のスラリーが必要である。ふん尿に含まれる養分を最適に利用するためには、微量元素の要求量を最小量でまかなえるような量に施用量を制限する必要がある（12）。ウシの場合には、カリがこれに当たり、ブタや鶏ではリンがこれに当たる。表4は、平均的な輪作下での制限養分に基づいてスラリー施用量を計算した場合の他の養分の供給量である。

最大の収量を得るためには、他の養分、とりわけ窒素の不足する分を、化学肥料で補う必要がある。

化学肥料による窒素の補充は、作物へのスラリー中窒素の利用を促進する。これは冬作の穀物のみでなく、砂糖大根にも当てはまる。砂糖大根は、土壌からの窒素無機化量がまだ少なくスラリーからのアンモニア態窒素が、作物に吸収されやすい硝酸態にまだ変わっていない生育シーズン初期に窒素を必要とする。図6は、化学肥料による窒素の供給が増えるにしたがって冬小麦の収量が増加することを示している。

ふん尿では、たとえ多量に施用されても化学肥料の窒素の補充なしでは通常高い収量を得ることはできない。一方、ふん尿と化学肥料の窒素の組み合わせは、化学肥料のみの場合よりも高い収量を得られる。

圃場試験の最も重要な結果は、スラリーや化学肥料の最適量が、トウモロコシを除いて、

生育ステージの終わりの土壌中無機窒素含量に何の影響もない点である。したがって、硝酸の流亡も増加しない（図7）。トウモロコシ収穫後の土壌中の無機窒素が多いのは、うね間が広く、その結果窒素の利用が低く、窒素の無機化速度が速いが窒素の吸収が低いためである。

衛生的な問題から、放牧地にはスラリーは散布されないが、サイレージや乾草を生産する草地には施用される。

5.1 施用時期

草地では、他の作物に比べて、養分の吸収が通常長い期間にわたるので、施用時期がそれほど窒素の利用効率に影響しない。Oldenburg の LUFA の試験では、1月、3月、5月、7月および9月のスラリー散布がほとんど同じ窒素の利用効率を示した（表5）。11月の施用のみが利用効率が低かった。

耕地と同様、凍土や降雪後あるいは流亡がおきやすいところにはスラリーを施用しない。

5.2 アンモニア揮散の抑制

草地へのスラリー施用は、時としてアンモニアや臭気物質の多量の揮散を生じる。通常の表面散布により、大部分のスラリーは牧草に付着し、土壌に達しない。さらに牧草はよごれて生育をおさえられる。

草地へのスラリーの施用に対しては、適切な気象条件で施用することによりアンモニアの揮散をおさえることがたいへん重要である。とりわけ散布によって施用する場合には、多湿で寒冷な気象条件下で施用することによりアンモニアの揮散をおさえるか、あるいは多量の揮散が生じそうな高温下で施用する場合には、水で希釈する場合がある。水で希釈することで、牧草への付着が減少し、収量が増大する（表6）。

近年、草地（多くの場合、耕地にも利用可能）へのスラリー施用におけるアンモニアや臭気物質の揮散をおさえるために、新しい技術が開発された。たとえば施用後のスラリーの洗いおとし、トレーリングホース、トレーリングシュー、さまざまなスリットや注入などである。これらの技術のいくつかを、散布による施用と比較した結果を図8に示した。アンモニアの揮散は、寒冷で雨天の時と同様、

温暖で乾燥した条件下でも減少した。スリットや注入は、土壌水分が低いような悪い条件下では、草生にダメージを与える。この技術は高価であり、また牽引するトラクターにかなりの動力が必要である。農業現場で広く利用するためには、トレーリングシューが好ましく、今後さらに研究する必要がある。

5.3 ふん尿の量

草地では、特にスラリーについて、1年間に利用できるふん尿の量と安全な範囲内での1日当たりの施用量を区別する必要がある。1年間のふん尿の施用量は、耕地の場合と同様、牧草の養分要求量に基づいて求めるべきであり、また、ウシふん尿ではカリ、豚ふん尿ではリンといったようにして牧草の要求量を最小量でカバーできるようにする必要がある。

る。牧草へのダメージをさけるため生育シーズン中のスラリーの1回の施用量は、希釈していない10%DMのもので、次の値を越えないようにする。

刈取り草地 15-20 m³/ha (牛スラリー)

 10-15 m³/ha (豚スラリー)

放牧草地 5-10 m³/ha (牛スラリー)

高い収量を得るためには、化学肥料や必要なら多の養分を補う必要がある。

6. ふん尿の長期施用による窒素無機化量の増大

多くの調査結果から、スラリーの長期施用によって、土壌中のトータル窒素が増加してることが示された(1,7,8,9)。この増加は、土壌からの窒素の無機化量の増加をもたらした(3,7)、窒素の供給と無機化の平衡点に達した後では、ふん尿施用開始時よりも高い養分効果を得られる(表7)。

結果的には、最適な収量を得るためのふん尿の量は、年々減少し、過施用によって硝酸容脱量が増加する(2)。特に可溶性窒素の含量が低い固形ふん尿で問題となる。

実際、農家や普及員はゆっくりながらふん尿の長期施用による窒素要求量の低下に気づいてきている。科学者は、ふん尿や化学肥料の施用量を決めるために、この長期の効果を調べる努力をおこなっている。

7. 今後の研究の必要性

これまでに述べてきた内容は、現在までに解明されてきた知見である。ふん尿をより有効に農業に生かしていくために、次のような点について研究していく必要がある。

1. ふん尿による窒素の集積による、土壌からの窒素供給量の決定
2. 牧草のダメージを減らし、アンモニアや臭気物質の揮散をおさえ、さらに草質を高めるような、草地へのスラリー施用技術の開発
3. 低窒素飼料の、アンモニア揮散や飼料の窒素利用効率に与える影響

必須アミノ酸の添加による低窒素飼料の給与は、家畜からの窒素排泄量を減らせる新しい技術である。この技術は、次第に重要になってきているが、スラリーの窒素含量が減少して、アンモニア態窒素：有機態窒素の比が小さくなる。したがってこのスラリーの施用条件は通常の飼料からのスラリーの施用条件とは異なるであろう。

4. 採卵鶏の乾燥ふん尿、ブロイラーや七面鳥のふん尿など新しいふん尿の施用に関する知見の集積

採卵鶏の乾燥ふん尿化や、ブロイラー、七面鳥の飼養の増大によって、固形ふん尿の量が増加してきている。これらのふん尿の効率的利用のための前処理についてはまだ十分に検討されていない。

5. 畜舎やふん尿の貯蔵・施用時の揮散の衛生的視点からの影響

多頭飼育を行っている地帯では、揮散物質によるアレルギーをおこす人が、特に子供で増えている。原因の調査は始まったばかりである。

6. 脱窒による窒素酸化物 (NO_x) の発生

窒素酸化物が気候変動（たとえば温暖化）に対して重要となっている。これは、硝酸が完全にN₂に還元されないと発生する NO_xの発生量や発生条件については、まだよく知られていない。

参考文献

- (1) GORLITZ, H. and ASMUS, F. (1981). Einfluss der organischen Düngung auf den Nährstoffgehalt des Bodens and Beziehungen zur mineralischen Düngung auf pleistozanen Boden. Arch. Acker- und pflanzenbau u. Bodenk. 25(4), 219-229.
- (2) Hoegen, B. and Werner, W. (1991). Chemische and mikrobiologische Charakterisierung des N-Haushalts langjährig begullter bzw. mineralisch gedüngter podsolflächen. VDLUFA-Schrittenreihe 33, 263-268, VDLUFA-Verlag, D-6100 Darmstadt.
- (3) KIRCHBERG, TH. (1988). Wirkung einer G lled ngung im Fruhjahr auf Ertrag und Qualitat der Zuckerrube sowie auf die Folgefrucht winterweizen unter Berucksichtigung des N-Umsatzes im boden. Doctor thesis, University of Gottingen.
- (4) KRETZSCHMAR, G. (1984). Mit G lled ngung den Gr nlandertrag steigern. Land.Wochenblatt Westfalen-Lippe 8.
- (5) LANDE CREMER, L.C.N. DE LA (1985). Long-term effects of farm slurries applications in The Netherlands. In: Williams, J.H., Guidi, G. and L'Hermite, P. Long-term effects of sewage sludge and farm slurries applications. proceedings CEC Seminar (Pisa), Elsevier Applied Science Publishers, London, 84-90.
- (6) LORENZ, F. and STEFFENS, G. (1992). Agronomically useful and environmentally careful slurry application to arable crops. Aspects of applied Biology 31, in press.
- (7) MALDL, F.X. and FISCHBECK, G. (1989). Effects of Long-term Applications of Slurry on Soil Nitrogen Mineralization. J. Agronomy & Crop Science

162, 310-319.

- (8) SCHERER, H. W., WERNER, W. and KOHL, A. (1987). Einfluss langjariger Gulleddung auf den Nahrstoffhaushalt des Bodens. 1. Mitteilung: N-Akkumulation and N-Nachlieferungsvermogen. Z. Pflanzenenernahr. Bodenk. 151, 57-61.
- (9) STEFFENS, G. and VETTER, H. (1985). Mittelfristige Nahrstoffbilanz und Nahrstoffauswaschung bei Gulleddung. Kali-Briefe 17(6), 441-460.
- (10) VETTER, H. and KOWALEWSKI, H. -H. (1986). Gulle-Ausbringen - umweltfreundlich, pflanzen- und bodengerecht. DLG-Manuskript 074.
- (11) VETTER, H. and STEFFENS, G. (1986). Wirtschsfseigene Ddung. Verlagsunion Agrar, Frankfurt - Munchen - Munster - Hilstrup - Wien - Bern.
- (12) VETTER, H., STEFFENS, G. and L'HERMITE, P. (1988). (Eds.) Safe and efficient slurry utilization. Conserted Action 'Treatment and Use of Organic Sludge and Liquid Agricultural Wastes', CEC Cost Project 681, CH-Liebefeld (Bern).
- (13) VETTER, H., KLASINK, A. and STEFFENS, G. (1989). Mist- und Gulleddung nach Mass. VDLUFA-Schrifteneihe 19, VDLUFA-Verlag, D-6100 Darmstadt.
- (14) VETTER, H., STEFFENS, G. and LORENZ, F. (1991). Stickstoffverluste durch Auswaschung, Ammoniakverfluchtung und Denitrifikation. VDLUFA-Schriftenreihe 33, 99-104, VDLUFA-Verlag, D-6100 Darmstadt.

築城 幹典 訳

表 1 さまざまな畜種から排泄されるスラリー中の養分の量 (kg/年)

	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	Cu
ウシ 1 頭 (2 歳 齢 以 上)	72	35	100	-	14	0.09
繁殖豚 1 頭 (子豚付き)	25	18	18	-	6	0.05
肥育豚 10 頭	95	65	65	-	20	0.44
採卵鶏 100 羽	68	60	41	100	14	0.07

表 2 化学肥料中窒素と比較した、最適条件下でのふん尿中窒素の利用効率 (%)

作 物	堆 肥	ス ラ リ ー
穀 類	20 - 25	60 - 80
葉 菜	25 - 40	70 - 90
草 地	25	40 - 70

表 3 さまざまなスラリータンク中の豚スラリーの乾物とリン含量

		スラリータンク No.					
		1	2	3	4	5	6
DM	Kg/m ³	30	34	46	97	125	131
P ₂ O ₅	Kg/m ³	2.4	2.7	3.5	5.8	7.1	7.4

表 4 要求量を最小量のスラリーでまかなうように制限した場合の牛と豚のスラリーによる 1 年間の養分の供給
(穀類・穀類・根菜の輪作、平均的な土壌条件下)

	スラリー中含量 (kg/ha)		
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
牛スラリー	100	50	140
豚スラリー	140	90	90

表 5 草地の乾物収量 1 kgにたいする 1 kgのスラリー中窒素の効果

施用月	化学肥料窒素の施用量 (kg/ha)		平 均
	0	40	
1 月	7.0	9.5	8.3
3 月	6.6	10.9	8.8
5 月	11.4	8.3	9.8
7 月	8.4	8.5	8.5
9 月	7.7	6.5	7.1
11月	5.6	3.8	4.7

表 6 水で希釈したスラリーの施用後の草地の収量

希釈率	収 量 dt/ha DM	収量増加分 dt/ha DM
1 : 0	76	-
1 : 0.3	85	+ 9
1 : 1	90	+14
1 : 3	93	+17

表 7 耕地に春施用したスラリーの累積効果
(kg化学肥料N / 100kgスラリーN) (文献 5)

	スラリーの種類		
	豚	牛	鶏
施用開始年	55	50	65
長期施用後	72	71	76

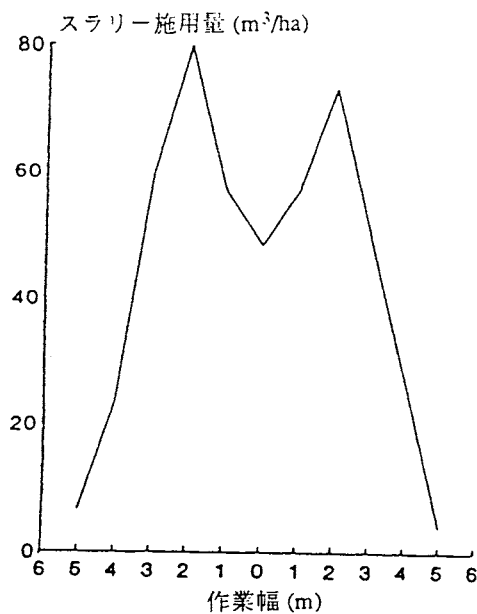


図1 スラリータンカによる散布の分布パターン

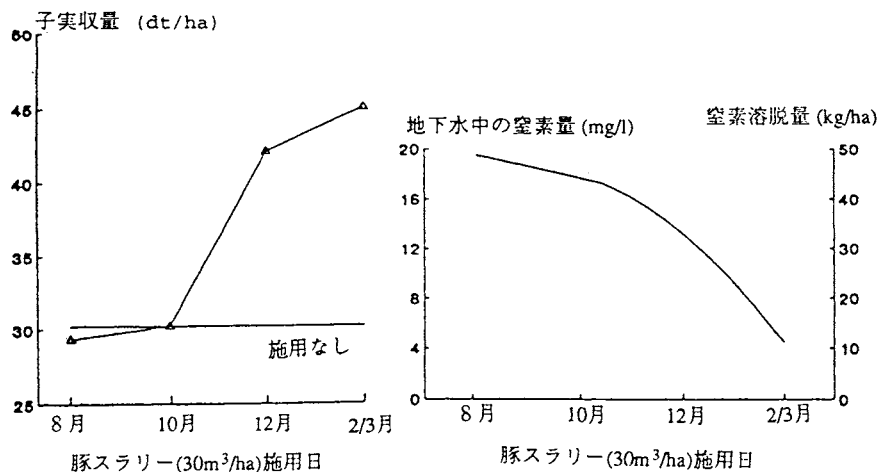


図2 さまざまな時期における $30\text{m}^3/\text{ha}$ の豚スラリー（ $200\text{kgN}/\text{ha}$ に相当）の施用が、冬作物の収量や地表水中の窒素含量や流亡窒素の量に与える影響

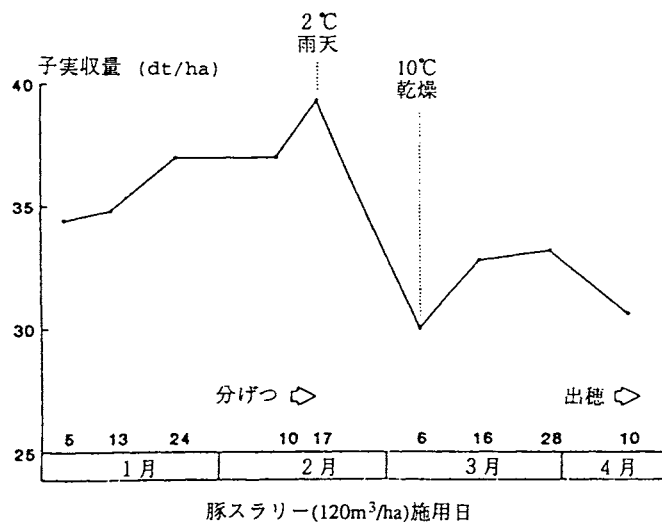


図3 異なる気象条件や発達ステージにおける豚スラリーの施用（ $120\text{kgN}/\text{ha}$ ）が1989年の冬ライ麦の収量におよぼす影響

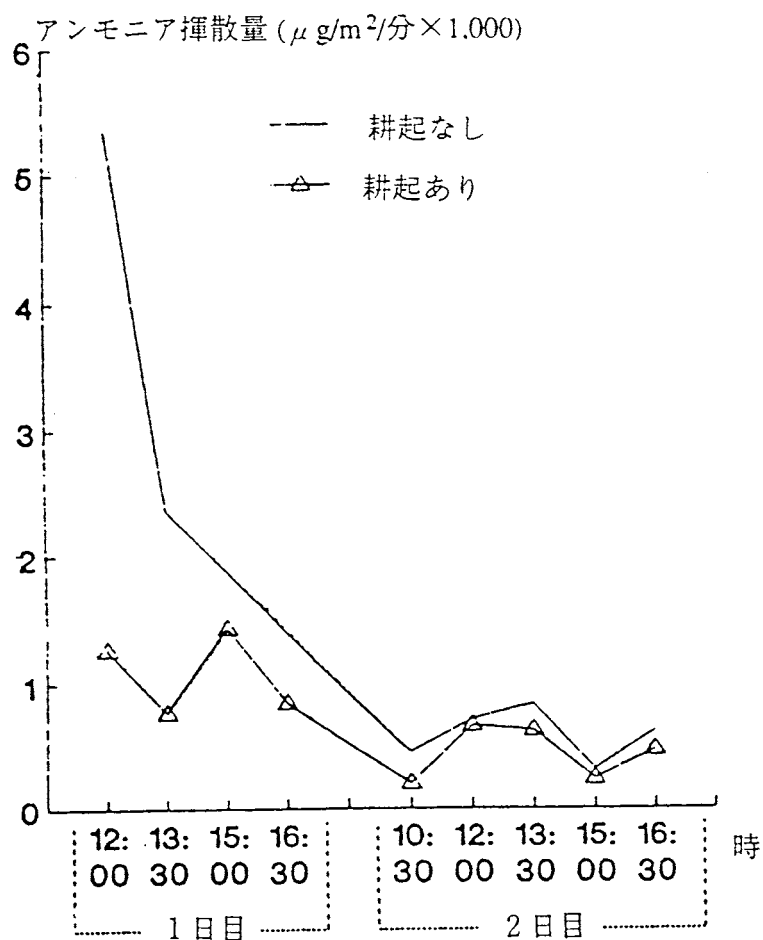


図4 豚スラリーのすきこみが、施用後2日目のアンモニア揮散におよぼす影響

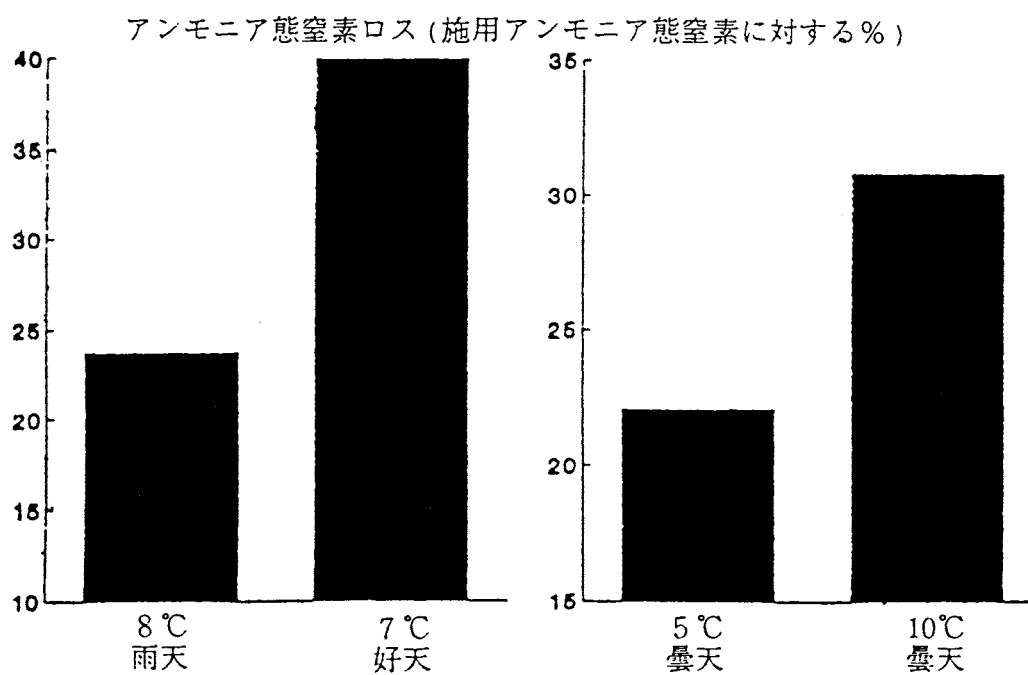


図5 初春の降雨の有無や気温の差がライ麦圃場に施用した豚スラリーからのアンモニア揮散におよぼす影響

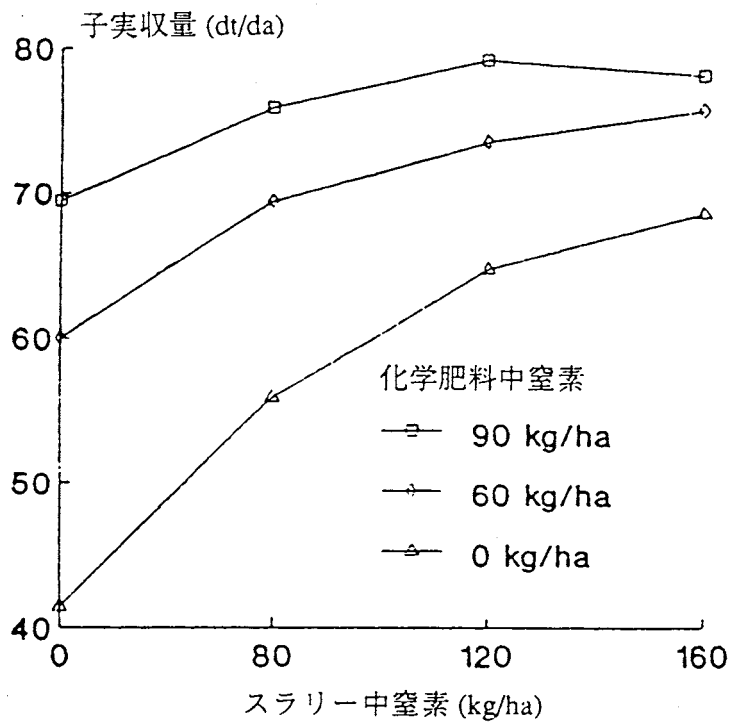


図 6 豚スラリー施用後の冬小麦収量に対する化学肥料中窒素の影響

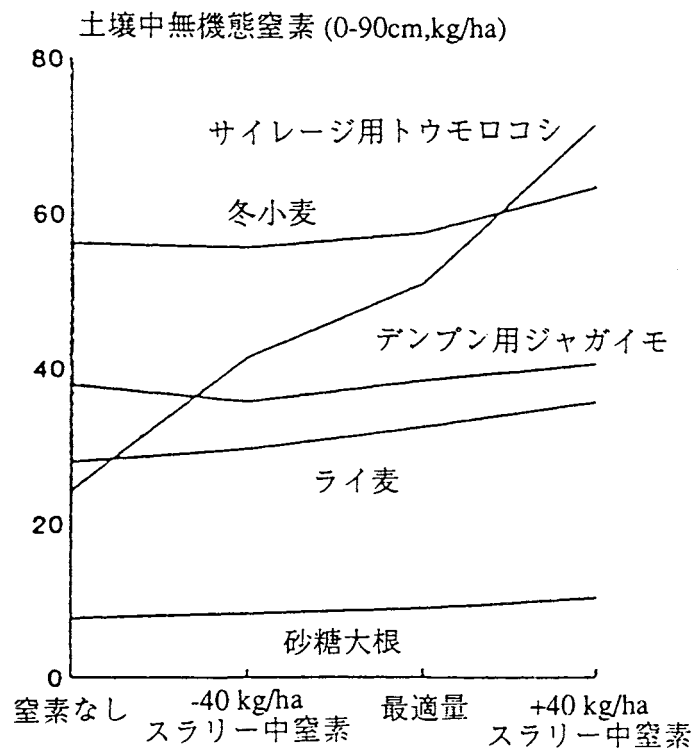


図 7 豚スラリーと化学肥料を施用下での生育シーズン後の土壌中無機窒素

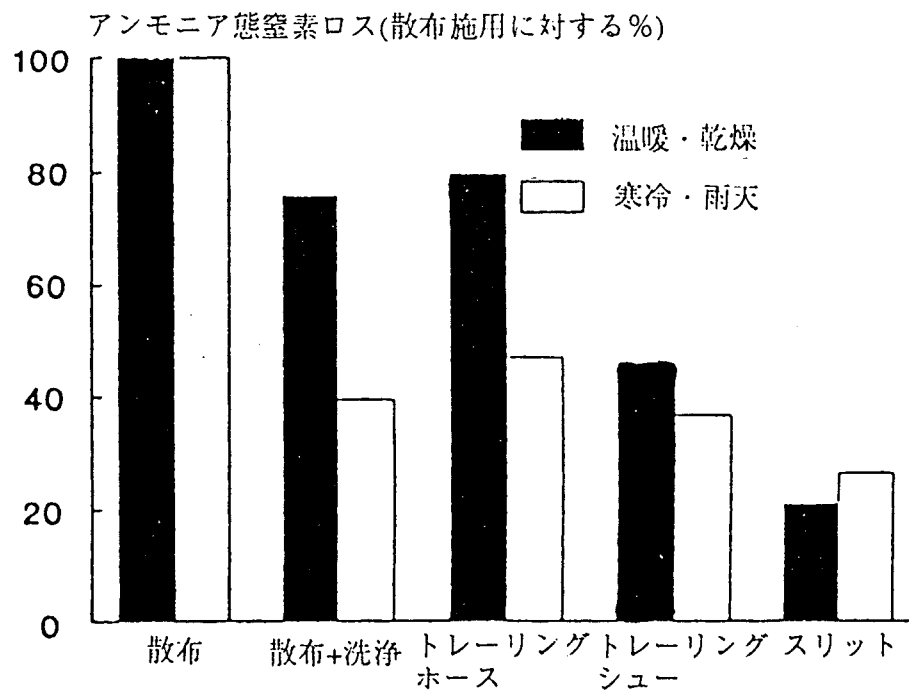


図8 さまざまな施用法が牛スラリーからのアンモニア揮散に及ぼす効果

Gülle - ein wertvoller Wirtschaftsdünger

スラリー - 貴重な農業用肥料 -

Dr. Hubert Hoffmann und Ulrich Hege

Herausgegeben vom Auswertung- und Informationsdienst für

Ernährung, Landwirtschaft und Forsten (AID), 1991

食料農林評価・情報サービス協会 (A I D)

【問題提起】

60年代中頃から、ほとんどすべての飼料作物栽培業や処理業では、厩肥・下肥農法からスラリー・液肥農法への脱皮に関する労働経済上の検討が進められてきたが、そのかわり、投資額と家畜保有頭数が絶えず増加するのに伴い、各農場でのスラリー発生量が大幅に増加してきた。またこのことは、輪作でのサイレージ用トウモロコシの割合の上昇や、濃厚飼料購入量の増加が、最終的に大量のスラリーを発生させることも意味するものである。

スラリーは、その成分と肥効から、『有機質液状完全肥料』と名付けることができるが、これによれば、各農場が多少なりとも市販肥料の購入量を削減できるようになる。

しかしスラリーを不適切に使用すると、著しい障害を起こすことがある。これに関する主な問題としては、次のようなものが挙げられる：

- 実際に必要とするスラリーの量、その成分ならびに肥料価値をできるだけ正確に把握すること、
- 環境への悪影響をできるだけ抑制すること、
- 総合施肥対策において、スラリーを可能最大限に活用すること。

【スラリーとは？】

スラリーには、ふん尿混合物のほか、外からの水、飼料残滓、敷わらや異物も含まれている。そしてこのことは、スラリーの成分が極めてまちまちになり得ること、またこれに伴い流動性も異なってくることを意味する（図1）。

貯蔵時に発酵プロセスが発生し、これが進行するにつれ、スラリーの物理的、化学的特質が変化する。たとえば尿を通じて動物から排泄された尿素が、ウレアーゼ酵素によって僅かな日数でアンモニアに変換される。

スラリーは、乾物（TS）の割合に従い、次のように区別される：

- 希薄スラリー（たとえば水洗ふん尿）：乾物（TS） 5%程度
- 濃厚スラリー（たとえば畜舎ふん尿）：乾物（TS） 10%程度

【スラリーの発生量】

毎日のふん尿排泄量は、牛では体重の約 8～9 %、肥育期間中期の豚は約 6%である。

自然のままのふん尿混合物中の乾物の平均含有率は、牛では10～11%、豚では9～10%である。また採卵鶏の1日当たりのふん排泄量は、約180g/羽で、これには乾物が20%含有されている。

スラリーをポンプ輸送可能にするには、乾物含有率を最大8～12%程度にしなければならない。しかしこれに加える水の量次第でスラリーの乾物含有率が大きく左右され、これに伴ってスラリー量と養分含有量との関係も変化してしまう(表1)。

乾物平均含有率が7.5%の場合、スラリーの年間発生量は、牛では約22m³/GV、肥育豚では18m³/GVになるものと考えなければならない。ただし乾物平均含有率が5%に過ぎない場合には、これを、牛では約34m³/GV、豚では26m³/GVに書換えなければならない。従って、これに必要な貯蔵容量を計算するときには、これに加える水量を考慮に入れることが極めて大事である。スラリーを適切な時季に施肥することによって環境への負担を軽くするためには、十分な貯蔵容量が本質的な前提条件になる。

【スラリーのテスト】

農場経営者は、そのスラリー固有の養分含有量を、例えばL U F Aでのテストによって確認するとよい。サンプル採取に際しては、貯留槽の内容物を長時間十分に攪拌しなければならない(均質化)。またサンプル採取の時点も養分含有量に影響する。従って、このテストを繰り返して平均値を求めない限り、農場指導者は表2に示した目安よりもましなデータを入手できない(表2)。

スラリーは有機質液状完全肥料であるが、主要養分(N、P₂O₅、K₂O)の比率が家畜の種類によって大きく変動する。乳牛のスラリーはカリが豊富、肥育牛舎からのスラリーはリン酸が多いが、乳牛のスラリーに較べてカリが少ない。また、豚と雌鶏のスラリーには、大量の窒素とリン酸が含まれているが、カリは少ない。

家畜頭数に関連してどの程度の量の養分が、スラリー(T S 5%の場合)を経由して養分リサイクルプロセスに戻されるのかを、表3に示す。

《スラリー養分の肥効》

スラリーが、時季的にもまた量的にも植物の要求に応じて適切に散布されるなら、その養分の肥効が無機質肥料のそれに匹敵したものになり得る。そしてこの場合、この肥効が、無機質肥料当量(MDA)で計算される。

全窒素

通常のスラリー施肥によれば、必ず著しい量の窒素が散布される。例えば50m³の牛スラリーには、全窒素約200kgが含まれているが、家畜の種類に応じてこれの50～70%がアンモニア態窒素であり、これが無機質肥料と同様、植物にすぐに吸収される。しかしこれは無機質肥料の場合とは異なり、揮発しやすいため、散布時に既に気化による窒素の損失が発生する(図2)。

アンモニア態窒素

スラリーに含まれるアンモニア態窒素は、そのまま植物に吸収されるか、もしくは土壌の温度や湿度の如何に応じ、土壌微生物によって2ないし3週間以内に硝酸塩（ NO_3 ）に変換される。この硝酸塩も、やはりそのまま植物に吸収され、大部分の窒素系無機質肥料と同様な形態の窒素である。しかし摂取量が僅かであったり、皆無な場合（根が未成熟な若い植物や休耕地）、硝酸塩が浸透水によって洗い流され、これがあとになって飲料水の中に出現する恐れが生ずるが、これは人間の健康を害する危険があることを意味する（A I D 誌1136号、『地下水と食用植物の中の硝酸塩』参照）。しかもこの硝酸態窒素は、空気遮断状態の下では微生物によって気体の窒素化合物に変換され、これが土壌から揮散する（脱窒）。またアンモニア態窒素は揮発しやすいため、スラリー散布に際しても窒素の損失が発生する。

有機態窒素

有機質に結びついたスラリー窒素のほとんどが、比較的分解しにくい蛋白化合物から成り、有機的に結合された土壌窒素と同様、年間その1～3%が無機化されるに過ぎない。従って短期間の肥効に関しては、これを全く無視するか、あるいはその一部のみを検討対象に加えればよい。しかしスラリー窒素のこのような僅かな部分も、長期的には土壌の栄養化にプラスに作用する。

《スラリー窒素の効果》

スラリーの中の窒素の肥効に関しては、散布時季、散布作業、追加有機質施肥（麦わら堆肥、間作栽培）ならびに作物の種類が決定的因子になる。施肥した年の肥効は、10ないし60%の範囲を変動する（表4）。

例えば50m³の牛スラリーによって200 kgの窒素を散布した場合（麦わら堆肥も間作栽培もない場合）、植物に対する肥効は次のようになる：

- ▲夏季収穫後では僅か20～30 kg N、
- ▲秋の稔りの前なら約40～60 kg N、そして
- ▲トウモロコシの播種前なら約 100～120 kg N。

ただし軽質で平らな泥土質土壌（*leichten und flachgrundigen Boden*）では、肥効を表4の値よりも低く見積もること。

中期ないし長期的に見れば、生産技術水準が高い場合には全窒素の75%が有効利用されるものと考えることができる。

《窒素の損失の防止》

一般的には、施肥時点と作物の養分摂取時点との時間的間隔が長くなればなるほど、窒素の損失が大きくなる。従ってこの損失を削減しようとするならば、スラリーは下記時季に施肥しなければならないことになる：

- ▲春季、

▲作物生育期間中、

▲麦わら堆肥や間作栽培と組み合わせて夏季に。

このほか、下記にも留意しなければならない：

▲耕地全体に均等散布すること、

▲1回の施肥量を、最大40m³/ha以下に制限すること、

▲冬作に先立ち、秋に施肥が必要な場合には、硝化抑制剤を併用すること。

スラリー散布時のアンモニア損失

スラリー散布時にアンモニアとして揮散する窒素損失の大きさは、特に気象条件、日射、風速ならびにスラリーの乾物含有率によって左右される。収穫直後の散布では損失が最高になるので、散布時またはその直後での鋤込みが必要になる。スラリーインジェクターを用いてスラリーを施肥すると、揮散損失を2～5%に抑え込むことができた。

《リン酸》

牛や豚のスラリーでは全リン酸の約80%、また鶏のスラリーでは約60%が水溶性の無機質リン酸である。そしてこのような形態のリン酸の肥効は、リン鉱石肥料のそれに匹敵する。また残りの部分が、有機質に結びついたリン酸（例えばフィチン→イノシット）であるが、これが地中で、先ず微生物によって分解され、作物が吸収可能な形態に変換されなければならない。しかし何年間にもまたがるリン酸バランスに関しては、スラリーのリン酸はリン鉱石肥料と同等に評価可能である。従って67m³の牛スラリーまたは33m³の豚スラリーによる100 kgのP₂O₅は、20%リン酸肥料の500 kg（5 dt）と等価であると考えられるべきである。

《カリ》

水肥のカリの80～90%が水溶性である。従ってこれは市販のカリ肥料のそれにほぼ匹敵する。25m³の牛スラリーまたは50m³の豚スラリー中の150kgのK₂Oは、その肥効において50%カリ 300kgと等価とすべきである。

もしカリ肥料を、作物栽培休止期間のかなり激しい雨天のときに極めて軽質な土壤に散布すると、場合によっては流亡損失が発生しかねない。従って無機質カリは、この種の土壤では原則として春になってから散布されるが、スラリーも夏や秋に散布すると、やはりかなりのカリの損失が発生することを考慮しておかねばならない（表5）。

《石灰》

鶏のスラリーには大量の石灰が含有されており、おしなべて全窒素含有率よりも高い。しかし牛や豚では、この関係が逆転する。従って常時鶏のスラリーを施肥し続けると、直ちにpH値が上昇するのに対し、牛や豚のスラリーを定期的に施肥した場合には、鉱物質石灰を追加しない限り、pH値を適正に維持させることができなくなる。

《微量成分》

主要養分である窒素、リン酸、カリ、カルシウムそれにマグネシウムのほか、スラリーには作物の成長に不可欠な大量の微量成分が含まれている。従ってスラリー施肥農場での微量成分欠乏症は、堆肥施用農場と同様に稀である（沼沢土壤のように微量成分が不足している場所を取りあえず無視した場合）（表6）。

【スラリーの肥料価値】

スラリーの平均養分含有量と、無機質肥料の養分の価格とをベースにして、スラリーの絶対肥料価値を、純粹計算法で求めてみよう（表7）。

しかし、スラリーに含まれているそれぞれの養分を、農業によって有効利用しない限り、スラリー本来の価値は定まらない。表8には3つの例が掲げられているが、これによれば、なお必要とされる無機質追加施肥量を確認するとき、スラリーによって与えられる養分、すなわちリン酸とカリとをどの程度考慮に入れておくべきかが分かる。

ヘクタール当たりの家畜頭数が 1.5～2.0 GV/ha の場合、乳牛や豚飼育農場でよく手入れされた土壤（土地調査に基づく養分濃度階級C）でのリン酸とカリの所要量は、スラリーで十分に、また輪作での所要窒素量は、スタート時点もしくは成育期間中のスラリー散布により、その50～60%がカバーされる。この結果、総合肥料コストを、ヘクタール当たり約300 DM程度引下げ可能となる。

十分に考慮して効果的にスラリーを施肥するということは、施肥時点を適正に選定することによって作物の要求にマッチさせながら、スラリー窒素を作物に供給することを目的にしたものでなければならない。またこのことは、とりも直さず環境に負担をかけずにスラリーを使用することも意味するものである。

【スラリーの適用】

スラリー 1 m³の重量は、平均して約1040kgになるが、実用上では次のような数値を適用すれば十分である：

$$\text{スラリー 1 m}^3 = 1000 \text{ kg}$$

$$1 \text{ ha 当たりスラリー 10 m}^3 = \text{散布量 1 mm}$$

適切なスラリー施肥に関しては、原則的に無機質窒素肥料の場合と同様、下記のような原理が適用される：

- 作物に提供可能なスラリー中の窒素が完全利用されるように散布時季を選定しなければならない。これはほとんどの場合、作物成長期もしくはその直前になる、
- スラリーの養分濃度に応じてヘクタール当たりの散布量（m³/ha）を決定すること、
- 実行すべきスラリー施肥計画に従い、農場面積全体に均等に施肥するように配慮すること、
- 当該土壤の車両走行可能性について留意すること、
- 大部分が牧草地で占められている農場で、僅かな耕地をスラリー貯蔵所の延長部分と見なしてはならないこと、

- スラリーの有効利用は、経営上の損得勘定だけではなく、例えば地下水への硝酸塩の浸透、空中へのアンモニアの揮散、悪臭の発生等、環境への万一の悪影響も考慮の上、決定すること。

十分な配慮の下にスラリーを施肥すれば、それだけで無機質肥料だけの場合と同様な収穫をあげることができる。作物に窒素を有効利用させるためのスラリー施用のタイムスケジュールを図3に示す。

【スラリーを適切に応用するための補助手段】

3ないし4年ごとに規則正しく土壌検査を行うことが、スラリーを適切に応用するための前提条件になる。

窒素の施肥については、作物に供給可能な相当量の窒素が1年間にもわたって土壌の中に蓄えられるわけではないので、毎年、各作物ごとに新たに立案する必要がある。スラリーによる窒素の施肥当年の肥効を考える際、アンモニア含有率が決定的因子になるが、これは、下記のいずれかによって判定すればよい。

- ▲表を参考にする、
- ▲農業検査官に依頼する、
- ▲迅速法、

例えば『アグロス-Agros』装置、『クアントフィックス-Quantofix』や『ギュレ・マックス-Gulle-Max』等の迅速法によれば、作物に供給可能なスラリー中のアンモニウム態窒素($\text{NH}_4\text{-N}$)を確認するための正確な値が得られるし、また5～10分間で判定可能なので、スラリー散布途中でも測定可能となる。

またN min 法によれば、春先に作物の根張り範囲の土中(最大90cmまでの深さ)に残存している窒素($\text{NH}_4\text{-N}$ と $\text{NO}_3\text{-N}$)を測定できる。この方法によれば、春先の最初の無機質窒素施肥量を計算できるようになるので(例えば、春施肥目標値120kg N/ha-N min 70kg N/ha = 無機質施肥量にして50kg N/ha)、特に夏と秋のスラリー施肥に際して便利である。その後の窒素投与に際しては、土壌からのN補充に注意しなければならない。

硝酸塩クイックテストによれば、主要成長時期間中の穀物へのN供給をチェックできるようになる。

【散布技術】

スラリーを効果的に散布するためには、成長中の作物にも適用できるような適切な散布技術が前提条件になるが、耕作ならびに作物栽培の観点に立てば、次のような必須要件が提起される：

- ▲適切なタイヤを装着すること、
- ▲牽引ホース法、ドリル法
- ▲土壌をできるだけ圧縮しないようにするため、タンク容量を6 m³以下にすること、
- ▲一列植えの作物、特にトウモロコシの場合にも走行可能とするため、車のトレッド幅を1.5 ～1.6 mにすること、

- ▲穀物栽培での採光孔用の細いタイヤを装着したときでも、土圧を抑制するため、スイングタンDEM車軸とすること、
- ▲農薬散布の作業幅に合わせ、作業幅を10～12mにすること、
- ▲走行速度5km/hでの散布量を約20m³/haにすること、
- ▲走行中にスラリーを攪拌して均質に維持させるため、ポンプ付タンク車使用のこと、
- ▲無機質肥料の分布に合わせ、縦横両方向に正確な量を分布させること。

【各種作物に対するスラリーの施用】

《穀物》

穀物は農地の中で最大の割合を占めているが、これへのスラリー施用は拒否されることが多い。その理由は、穀物に対するスラリーの相性や無機質窒素肥料の追肥に関する実績がまだ乏しく、しかもスラリーの散布が最適化されていなかったためである。

豚スラリーを用い、5年間にわたり継続実施されたヴェーザー・エムス農業会議所の実験結果によれば、各年を平均して、生育期途中でのスラリー散布では、スラリーの全窒素の60%しか収獲に貢献しなかったことが判明した。これに反し、無機質窒素肥料は、その100%が有効利用されたことが確認されている。また牛スラリーや鶏スラリーでも結果は同様であった。秋に散布すれば、スラリーの全窒素の20%しか活かされないであろう。20m³/haに達するまで何回にも分けて散布すると、穀類作物の傷みはほとんど発生しない。

秋播小麦の収量と、スラリー施用量（25-30m³/ha）並びに無機質窒素施肥量との関係（7回の試験の平均値）を図4に示す。

長年にわたる数多くの実験から、秋まき小麦については次のような結論が引き出される。

- 播種前の秋のスラリーは、主としてリン酸とカリの施肥として考えるべきである。これに伴い投与される作物が吸収可能な窒素は、その大部分が損失になるので、穀類作物への秋のスラリー施肥は好ましくなく、また環境保護の観点からもやめるべきである。
- スラリーと麦わら堆肥との組合せや夏の間作によれば、必要な窒素バランスないし窒素所要量を完全にカバーさせることが可能となる。
- 春季ならびに成育期間中でのスラリーの施肥は、これの一部を無機質窒素施肥と同一時点に投与すると、無機質施肥の場合と同等の収獲が得られる。ただし毎回の施肥量が、豚スラリーでは15m³/haを、また牛スラリーでは25m³/haを超えてはならない。
- もし可能なら、春まき穀物に対して耕作前にスラリーを施肥すると、轍の跡が、このあとの耕作によって消されてしまうので有利である。しかも間隔を詰めて走行できるので、オーバーラップさせながら、横方向に均等に散布できるようになる。またスラリーを大地に平たく散布すれば、気化による窒素の損失を予防できる。春まき小麦はしっかりと安定しているので、スラリー施肥に特に適している。ただしスラリー施肥量は、これに伴い投与される窒素の量を目安に決定しなければならない。

- 多くの実験によれば、秋まき穀物では春季のスタート時での $20\sim 40\text{m}^3/\text{ha}$ の少量の無機質窒素肥料の施肥が、また春まき小麦では播種直後でのスラリーの追肥が、いずれも有効であることが実証されている。このことは、 $20\sim 25\text{ m}^3/\text{ha}$ のスラリーでは窒素が不足すること、スラリー投与量が多すぎると消化不良になること、各種穀物それぞれの春の成長振りが年によって異なること、春先の最適時に重いタンク車で畑を走行することが場合によっては不可能であること、硝化作用が気象の関係で遅れることがあること、に由来するものであろう。

秋播大麦の収量と、スラリー施用量並びに無機態窒素施肥量との関係（10回の試験の平均値）を図5に示す。

《トウモロコシ》

トウモロコシは、さまざまに利用可能な飼料植物なので、サイレージ用トウモロコシの栽培とスラリー発生とスラリー施肥との間には、とくに密接な相互関係が成立する。そして多くの飼料栽培農場に対しては、下記のような関係が適用される：

大量のサイレージ用トウモロコシ＝多数の家畜＝大量のスラリー

トウモロコシは平らに根張りするので（根の約60%が表土層内に存在する）、春にはスラリーを鋤込まず、平らに散布したままとすべきであろう。牛スラリーの場合には最大スラリー散布推奨量 $60\sim 80\text{m}^3/\text{ha}$ を、また豚スラリーなら $45\sim 60\text{m}^3/\text{ha}$ を、3～4回に分けて、それぞれ $20\sim 30\text{m}^3/\text{ha}$ ずつ施肥すれば、経済的でしかも環境にもあまり悪影響を与えないようにすることができる。これは、前作（わらや間作）の取り入れ後であっても、またトウモロコシの播種前および播種後の発芽までに、牽引ホースで畝の間に散布すればよい。ただし葉にかかるほど幅広くスラリーをばらまくことは、 $15\sim 20\text{m}^3/\text{ha}$ 散布するだけで既に葉の傷みが発生する恐れがあるので、やめた方がよい。これによってトウモロコシが枯死するわけではないが、それでも育ちが遅くなって開花が1週間程度遅れるため、好ましくない成熟遅延が招かれかねなくなる。

トウモロコシの根の形成、根の質量（%）と土の深さとの関係を図6に示す。

《テンサイ》

慎重に配慮しながらテンサイに施肥する目的は、単位面積当たりの砂糖の収量を上げることではなければならない。従ってテンサイに対するスラリー施肥は、テンサイが必要とする窒素の程度にマッチさせなければならない。作物に供給可能なスラリーの窒素を決定することと、Nmin法で測定した作物に供給可能な土壌窒素の程度が、スラリー量確認のための重要な補助的手段になる。春季の総量は、 $30\sim 40\text{m}^3/\text{ha}$ を超えないようにすべきであろう。スラリーの量を増やすほど、葉の収量は伸びるが、精製糖の収量が減少する。スラリーの散布は土壌の状態が許す限り、耕作前、2月／3月になってから実施すべきであろう。

《ジャガイモ》

ジャガイモに対するスラリー施肥は、テンサイの場合と同様に実施すべきである。適正に量を定めてスラリーを散布すれば、食味や加工性が損なわれるようなことはない。これに反し、春先の過剰施肥、例えば40m³/ha を超える牛スラリーや、30m³/ha 以上の豚スラリー、あるいは20m³/ha 以上の鶏スラリーを投与すると、塊茎の乾燥分含有率の低下、成熟遅延、貯蔵性への悪影響が招かれかねない。また無機質窒素の追肥は、スラリー投与量との兼ね合いの下で決定しなければならず、場合によっては断念した方がよい。

《秋まき菜種》

秋まき菜種は、スラリーの窒素を特によく有効利用する。秋の種まき前にスラリーを施肥すると、望み通りの旺盛な秋の成育が促進される。わらを鋤込みながら、30m³/ha 以下の牛スラリーや20m³/ha までの豚スラリーを散布することが推奨される。これに反し、寒冷時（霧氷状態）や積雪時にスラリーを頭から散布すると、収量の減少を招く恐れがある。春季には菜種が穀物よりも旺盛にスラリーを消化するが、この時季には車が土の上を走行しにくいいため、殆どの場合、実行不能である。このような場合には、無機質窒素で必要量をカバーせざるを得ない。しかし車が走行可能なら、菜種の開花時季までにスラリーを散布するとよい。ただし毎回の散布量が20m³/ha を超えてはならない。

《牧草》

牧草栽培でのスラリー施肥は、播種前と毎回の刈り入れ後に実施するとよい。播き直した1年目は、上から散布したスラリーが全く消化されない。毎回の施肥量は、20m³/ha を限度とすること。

《間作》

穀物のあとに栽培されるアブラナ、芥子、アブラダイコン、StoppelrubenやMarkstammkoh等の間作は、夏の終わり頃、出来るだけ早い時季に耕作するほど、スラリーが有効利用される。これらが必要とする養分は、スラリーだけで十分にカバーされる。秋まきの間作栽培に対しては、春にもう一度鋤込みが可能な土壌と耕作法が特に適している。これによって、冬季間の硝酸塩の洗い流しを大幅に抑制することができる。スラリーの過剰投与（25m³/ha 以上）は好ましくない。その理由は、特に間作物を生のまま単独飼料として利用しようとする場合、作物体内の硝酸塩濃度が過剰になりかねないからである。

《わら》

スラリーを使用すると、無機質肥料の場合とは異なり、土壌の養分が有機物と結びついて補給されるようになる。しかしその程度は通常の堆肥の場合よりも低くなるが、スラリーとわら堆肥とを組み合わせると、それと同程度になる。この結果、わらと堆肥との場合の連鎖と同様、土壌の活力と土壌の肥沃化とが促進される。スラリー・わら堆肥によれば、間作栽培の場合と同様、非成育期間中の窒素損失が抑制される。また、わらをスラリーと共に畝の間に浅く鋤込むと、わらの堆肥化が促進される。

《牧草地》

牧草地にスラリーを散布する方法は、耕地に対する場合と根本的に異なり、全成育期間を通じてスラリーを散布して差し支えない。そして利用頻度の多寡に応じて毎回の施肥量と単位面積当たりの年間スラリー総量とが決定される。牧草地ではスラリーを鋤込むことができないので、養分の代謝は最上層の10cmの中で行われる（図7）。

バイエルン州の土地開墾植物栽培施設での実験によれば、毎回の刈り取りごとにスラリーと無機質肥料とを交互に施肥すると、好結果が得られることが判明した。4回刈り取り牧草地では、1回目と3回目、もしくは2回目と4回目にスラリーを、そしてこれらの間には無機質肥料を施肥することになる。これに反し、毎回スラリーを施肥する場合には、毎回の施肥量をそれ相当に引下げ、20～30kg N/haの無機質肥料を追肥しなければならない。草地にスラリーの窒素だけを補給し続けると、一般に過剰投与となって収量に悪影響する。

施肥が草地の植生の組成に及ぼす影響は極めて大きく、過度に窒素を投与すると窒素を好む種類、例えばカモジクサ属（Queck），シャク属（Wiesenkerbel），ハナウド属（Barenklau），スイバ属（Ampfer）やタンポポ属（Lowenzahn）等の勢力が増す。特に毎回のスラリーの投与量が多すぎると、上記の草本類やカモジクサ属が盛大に繁茂して他の植生を駆逐する。このような場合、除草剤を散布するか、あるいは更地にして再播種しない限り、牧草地を回復させることが不可能になる。

【牧草地経営での養分のリサイクル】

図8に、雌牛1頭当たりの牛乳生産能力5000kgおよびヘクタール当たりの家畜保有高2GVの牧草地経営でのリン酸とカリのリサイクルの様態を示す。

濃厚飼料やミネラル添加飼料を購入することにより、牛乳や食肉を売却することによるリン酸とカリの損失がバランスされるので、リン酸ならびにカリのほぼ完全に閉じられたリサイクル体系が成立する。そしてこのことは、無機質のリン酸やカリの購入を断念しても差し支えないことを意味するものである。

【所要貯蔵容量】

特に環境保護の理由から、また経済的根拠からも、十分なスラリー貯蔵容量を用意する必要がある。しかしこの貯蔵容量の計画に際しては、家畜のふん尿のほか、ときには流入することがある水（雨水）も考慮に入れなければならない。一般に秋と冬にはスラリーの散布を断念すべきなので、ほぼ6か月分程度のスラリー貯蔵容量を用意しなければならない。乾物平均含有率が7.5%の場合、家畜体重単位1GV当たり、乳牛では11m³、肥育牛では8m³、豚では9m³をそれぞれ念頭に置いて立案すべきである。

【スラリーと環境】

スラリー施肥の最も困難な欠点が、地下水への硝酸塩の浸透、大気中へのアンモニアの気化と悪臭である。

《悪臭》

これまでのところ、悪臭発散を完全に抑制する経済的な方法や追加対策はまだ実現されていない。従ってスラリー散布に際しては、悪臭発散を抑えるため、次のような緒措置に留意すべきであろう：

- ▲スラリーのタンク注入や散布に際しては、トラクターや装置を出来るだけ清潔に保つこと。
- ▲スラリーを地表近くに散布すること、
- ▲週末や休日にはスラリーを散布しないこと、
- ▲出来るだけ散布直後に耕地に鋤込むこと、
- ▲風向きや天候に留意すること、
- ▲住宅地との距離を保つこと。

《硝酸塩の浸透》

秋や冬に、また、わら堆肥や間作栽培なしで夏に、スラリーを散布すると、一般に流水ひいては地下水や飲料水に過大な量の硝酸塩が浸透するという結果が招かれる（図9）。このような時季にスラリーを散布しなくてもすむように、十分な貯蔵容量を用意しない限り、このような深刻な公害を抑制することは不可能である。

《アンモニアの損失》

空気から取り込む窒素の量が多くなると、土壤の酸性化が促進されるだけでなく、貧栄養生態系の富栄養化が招かれる。ドイツ連邦共和国では、全面積の NH_3 揮散総量が、約15 kg/ha と算定されているが、その中の約88%が家畜保有によるものとされている。 NH_3 揮散量の抑制が必要であることは、疑いない。

【農業用有機肥料散布に関する法的規制】

廃棄物処理法によれば、農業用施肥の程度を超えかつその結果、特に自然水域に有害な影響を与える恐れが生ずる場合、スラリーの散布を制限することができる。以下に参考までに各州の条例を掲げる：

- ◎ノルドハイム・ヴェストファーレン州は、1984年 3月13日、スラリーならびに堆肥の散布に関する条例を公布した。これによれば、1984年 6月 1日以降、スラリーの形態では、1ヘクタール当たり年間3肥料単位（1肥料単位＝80kg N）の散布しか許されなくなった。また1985年 3月 1日以降、10月15日から 2月15日に至る期間でのスラリー散布の一般的禁止が成立した。牧草地ならびに一面に間作物が栽培された耕地については、この禁止条例が10月31日から 2月 1日に至る期間に対して適用される。違反に対しては最高1万DMまでの罰金が課せられる。
- ◎ニーダーザクセン州では、1990年 2月 1日にスラリーと鶏ふんの散布に関する条例が発効し、これ以降1992年12月31日まではなおヘクタール当たり年間3肥料単位、またそれ以降は 2.5肥料単位以下しか散布が許されなくなった。またその期間も、2月 1

日から10月15日までに制限される。耕地については、収穫後の散布は、これに引き続く主作物もしくは間作物の栽培を条件としてのみ許可されるが、そのヘクタール当たりの量は、秋まき穀物では最大 0.5肥料単位まで、また秋まき菜種と間作物では最大 1.0肥料単位までとされている。また間作物は、2 月 1日以前に引き抜いてはならない。

水収支法の § 19に基づき、水質保護地域においては、特定の行為の禁止もしくは制限付でのみの許可を宣言することができる。ただしこれに伴う経済的不利益に対しては、州法の基準に従い適切な補償が実施されるべきである。

以上により、農業は当該地域（例えば水質保護地域）に適用されるスラリーに関する緒規定を遵守すべきであろう。

上記のほか、例えば自然水域へのふん尿の垂れ流し等、恣意的かつ無責任な自然水域汚染行為は処罰の対象になり得ることにつき、ここで注意を喚起しておきたい。

まとめ

- スラリーを合理的に散布するためには、十分な貯蔵容量と家畜GV当たりの十分な散布面積とが必要である。
- 冬季には原則としてスラリーを散布してはならない。またこのことは、特に傾斜地について言えることである。傾斜面では、スラリーが自然水域や導水路の中に流れ込む恐れがない場合にのみ、スラリー散布が許される。秋まき穀物、秋まき菜種や牧草地でのスラリーや堆肥の施肥は、状況が適切であれば既に2月から実施可能である。深さ 5cm以上も凍結した大地に対しては、絶対にスラリーを散布しないこと。
- 傾斜面では、洗い流しの恐れがあるため、毎回の施肥量が $25\sim 30\text{m}^3/\text{ha}$ を超えないようにすること。
- 水分が飽和状態で、それ以上受け入れられない土壌に対するスラリーの散布は控えること。
- 上記の他、スラリー施肥時の窒素のロスを防止するため、下記事項にも留意すること：
 - 春先に施肥すると、窒素が特に有効利用されるので、スラリーは主として春季に散布すること。
 - 収穫後のスラリー施肥に際しては、必ず、わら堆肥や緑肥あるいは間作栽培と組み合わせること。
 - やむを得ず晩秋にスラリーを投与する場合には、硝化作用抑制のためジシアンジアミドを添加すること。
- スラリー散布は、既耕地全面に均等に実施すること。
- スラリーの窒素含有量を考慮することにより、無機質窒素の施肥量をそれ相当に削減すること。
- 車両走行可能な程度に表面が固く圧縮され土地は、スラリー散布に先立ち、軽くほぐして置くこと。そうすればスラリーがより良く受入れられ、地表での流失量が抑制さ

れる。

○刈り取り後の牧草地へのスラリー散布は、作物の再発芽を待ち、刈り取り後、8日程度たってから実施すべきである。そうすれば草地はスラリーによる軽い傷みに最もよく耐えられるし、突然の豪雨による流失の恐れも著しく軽減される。

○河川からは5m、また湖畔からは10mの距離を遵守すること。

○スラリーを空気に晒したりスラリーを追肥しても、スラリー施肥のミスを修正することはできない。

○飲料水保護対象地域内では、スラリーや堆肥の散布が禁止される。配管による散布の場合には、幅の狭い保護ゾーン（ゾーンⅡ）にも禁止が適用される。その他の狭い保護ゾーン（ゾーンⅢ）では、原則として作物しか養分を受入れられないことが確実である場合にのみ、スラリーや堆肥の散布が許される。このような場合には、牧草や間作栽培が特に有意義である。個々のケースについては、それぞれに対して適用される保護条例に留意のこと。

文 献

- 1) Bauf rderung Landwirtschaft (Hrsg.): G lle-Erzeugung, Technik, Lagerung, Verwertung-. BauBriefe Landwirtschaft Heft 29. M nster-Hiltrup:
Landwirtschaftsverlag 1986. (スラリー: 生産、技術、貯蔵、活用)
- 2) Buchner, A.u.H. Sturm: Gezielter d ngen-intensiv-wirtschaftlich- umweltbezogen.
Frankfurt (Main): DLG-Verlag 1985.
(集約的、経済的、環境に留意した合理的な施肥)
- 3) Hansen, R.: Fl ssigungsausbringung w hrend der Vegetation. KTBL-Schrift 324.
M nster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag 1988. (栽培期間中のスラリーの散布)
- 4) Luoma, T.S.: Ausbringen und Verteilen von Fl ssigmist. KTBL-Schrift 279
M nster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag 1982. (スラリーの散布と分布)
- 5) Norsk-Hydro Agrar GmbH (Hrsg.): Faustzahlen f r Landwirtschaft und Gartenbau.
M nster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag 1988. (農業と園芸のための目安)
- 6) Thamsen, R.: Verteilg te beim Ausbringen von Fl ssigmist. KTBL-Schrift 303.
M nster-Hiltrup: Landwirtschaftsverlag 1985. (スラリー散布時の分布の質)
- 7) Vetter, H.u.H.-H. Kowalewsky: G lle-Ausbringen-umweltschonend, pflanzen- und bodengerecht-. DLG-Manuskriptdruck 074. Frankfurt (Main) :
Deutsche Landwirtschafts-Gesellschaft 1986.
(環境に優しく、植物と土壤に適したスラリーの散布)

(原田靖生 訳)

表1 スラリー発生量/GV(家畜単位)と乾物含有率との関係

スラリーの種類	乾物 %	スラリー発生量 /日 (kg/GV)	スラリー量/年 (m ³ /GV)
乳牛 泥状 流動的 液状	10	46	17
	7.5	61	22
	5	93	34
肥育牛 泥状 流動的 液状	10	33	12
	7.5	44	16
	5	66	24
肥育豚 泥状 流動的 液状	10	37	13
	7.5	49	18
	5	71	26
採卵鶏 1000羽	10	400	146

1 GV = 500 kg = 肥育豚 7.7頭または子豚約15頭
 = 乳牛 0.9頭
 = 採卵鶏 250羽

表2 各種スラリーの養分含有量と乾物含有率との関係

畜種	乾物 含有率 %	養 分 含 有 量					
		全 N	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O	MgO	CaO
乳牛* (牧草主 体)***	10	5.3	2.7	2.0	8.0	1.1	2.7
	7.5	4.0	2.0	1.5	6.0	0.8	2.0
	5	2.7	1.3	1.0	4.0	0.5	1.3
肥育牛*	10	6.0	3.0	2.0	4.7	1.1	1.7
	7.5	4.5	2.3	1.5	3.5	0.8	1.3
	5	3.0	1.5	1.0	2.3	0.5	0.9
肥育豚**	10	8.0	5.3	4.0	4.0	1.3	4.0
	7.5	6.0	4.0	3.0	3.0	1.0	3.0
	5	4.0	2.7	2.0	2.0	0.7	2.0
採卵鶏**	10	6.5	4.6	5.0	3.0	1.0	11.0

* NH₄-N が約50%

**新鮮スラリー内のNH₄-N が約70%

*** トウモロコシ主体の飼育に関しては、乾物 7.5%の場合、 N=3.0 kg, P₂O₅=1.3 kg, K₂O=4.0 kg として計算すること。

表3 家畜頭数と養分リサイクリングとの関係
(スラリーの乾物含有率が 7.5%の場合)

家畜頭数 GV/ha	スラリー発生量 m ³ /ha	リサイクルされる養分量 kg/ha			
		全 N	NH ₄ -N	P ₂ O ₅	K ₂ O
乳牛					
0.5	11	44	22	17	66
1.0	22	88	44	33	132
1.5	33	132	66	50	198
2.0	44	176	88	66	264
2.5	55	220	110	83	330
3.0	66	264	132	99	396
肥育豚					
0.5	9	54	36	27	27
1.0	18	108	72	54	54
1.5	27	162	108	81	81
2.0	36	216	144	108	108
2.5	45	270	180	135	135
3.0	54	324	216	162	162

表4 平均的なないし良質土壌における施肥当年の窒素の肥効（全窒素に対する％）と施肥時季ならびに作物の種類との関係

月						
	アブラナ	秋播作物 (穀物)	春播作物 (穀物) ジャガイモ	トウモロコシ テンサイ ジャガイモ	ドクムギ 属	間作物
7月	30	10 ¹⁾	10 ¹⁾	10 ¹⁾	50	50
8月	30	10 ¹⁾	10 ¹⁾	10 ¹⁾	40	50
9月	-	20 ¹⁾	20 ¹⁾	20 ¹⁾	(30)	40
10月	-	(20)	(20)	(20)	-	-
11月	-	(20)	(30)	(30)	-	-
12月	-	(30)	(30)	(30)	-	-
1月	-	(30)	(40)	(40)	-	-
2月	-	40	50	40	-	-
3月	50	50	50	50	40	-
4月	50	50	50	60	60	-
5月	-	50	50	60	60	-
6月	-	-	-	-	50	50

表5 スラリー中カリの肥効（％）と散布時季ならびに土壌の種類との関係

土壌の種類	下記季節に散布した時のカリの肥効（％）		
	夏	秋	春
ローム質および粘土質土壌	100	100	100
砂質土壌	80-90	80-90	100

表6 スラリー中の微量成分基準値 g/m^3

畜種	乾物%	Cu	Na	Mn	Zn	B	Mo
牛	7.5	2.8	450	23.6	14.4	2.7	0.12
豚	7.5	5.2	1200	20.5	27.6	2.7	0.13
鶏	10	5.8	380	35.9	27.2	2.8	0.26

表7 スラリーの養分価値 DM/m^3

養 分	価 格 DM/kg	牛スラリー		豚スラリー		鶏スラリー	
		含有量 kg/m^3	価 値 DM	含有量 kg/m^3	価 値 DM	含有量 kg/m^3	価 値 DM
N	1.14	4.0	4.56	6.0	6.84	6.5	7.41
P_2O_5	1.00	1.5	1.50	3.0	3.00	5.0	5.00
K_2O	0.71	6.0	4.26	3.0	2.13	3.0	2.13
CaO	0.15	2.0	0.30	3.0	0.45	11.0	1.65
MgO	0.55	0.8	0.44	1.0	0.55	1.0	0.55

窒素を有効利用したときの総合価値

目標	75%	10.32	11.26	14.89
	10%	6.92	6.81	10.07

表8 様々なタイプの農場における無機態 P_2O_5 並びに K_2O の追肥必要量の計算例

農場のタイプ 輪作 麦わらや木の葉の堆肥	養分	養分 吸収量 ¹⁾ kg/ha	養分濃度等級 Cの時の好ま しい施肥量 ²⁾ kg/ha	飼養頭数 GV/ha	スラリー 施用量 m^3/ha	スラリー由来の P_2O_5 及び K_2O の リサイクル量 kg/ha	養分濃度等級 Cの場合の無 機質追肥必要 量 kg/ha
1. 種牛飼養農場 サイレージ用トリスロー 秋蒔小麦－秋蒔大麦 麦わら堆肥	P_2O_5	61	61	1.0	16	24	37
				1.5	24	36	25
				2.0	32	48	13
	K_2O	92	92	1.0	16	56	36
2. 乳牛飼養農場 サイレージ用トリスロー 秋蒔小麦－春蒔大麦 ドクム干腐牧草－ 秋蒔小麦－秋蒔大麦 50% 麦わら堆肥	P_2O_5	67	67	1.0	22	33	34
				1.5	33	50	17
				2.0	44	66	1
	K_2O	150	150	1.0	22	132	18
				1.5	33	198	0
				2.0	44	264	0
3. 養豚農場 テンサイ－ 秋蒔小麦－秋蒔大麦 麦わら堆肥 落葉堆肥	P_2O_5	57	57	1.0	18	54	3
				1.5	27	81	0
	K_2O	73	73	1.0	18	54	19
				1.5	27	81	0

¹⁾ 下記の収穫に対して：
サイレージ用トリスロー 8000 KSTE/ha
秋蒔大麦，秋蒔小麦 70 dt/ha

春蒔大麦 50 dt/ha
テンサイ 600 dt/ha

²⁾ バイエルン州での推奨値
ドクム干腐牧草 600 dt FM/ha

表9 各種作物に必要な窒素がスラリーによってどの程度カバーされるかの理論値（窒素利用率を60%とした場合）

	N必要量 kg/ha (合計)	ほぼ右の数 値で置き換 えられる	スラリー m^3/ha		
			牛	豚	鶏
秋播穀物	150		60	40	25
春播穀物	130		55	35	20
トウモロコシ	200		80	55	30
カブ	150		60	40	25
ジャガイモ	120		50	35	20
秋播菜種	220		90	60	35
牧草	300		125	85	50
間作	60		25	15	10
わら	60		25	15	10

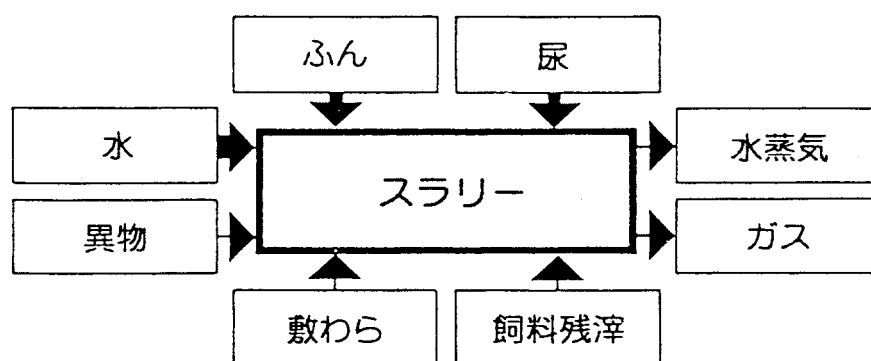


図1 スラリーの成分

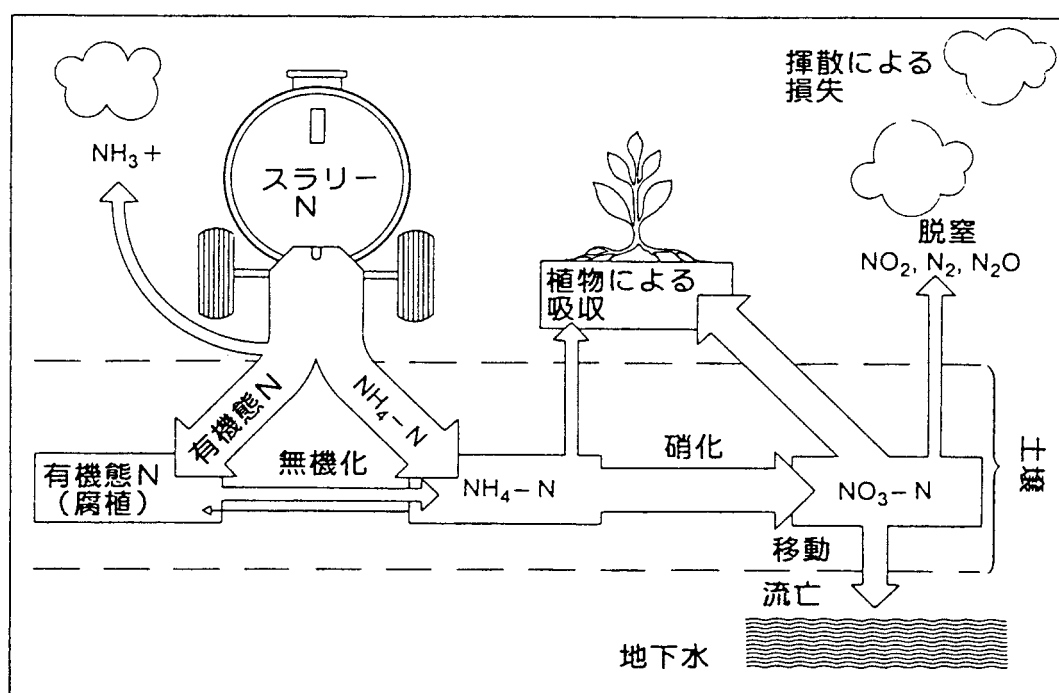


図2 スラリー窒素のルート

■ 良好 □ 比較的良好

	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月
秋まき穀物		□□□□□□□						■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■				□□
春まき穀物								□□□ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■				□□
トウモロコシ								□□□□ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■				
テンサイ								□□□ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■				
ジャガイモ								□□□ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■				
秋まき菜種	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■							■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■				
牧草	■ ■ ■ ■ ■ ■ □ □ □							□ □ □ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■				
間作	■ ■ ■ ■ ■ ■ ■ ■											
わら	□ □ □ □ □ □ □ □ □ □											

図 3 作物に窒素を有効利用させるためのスラリー施用タイムスケジュール

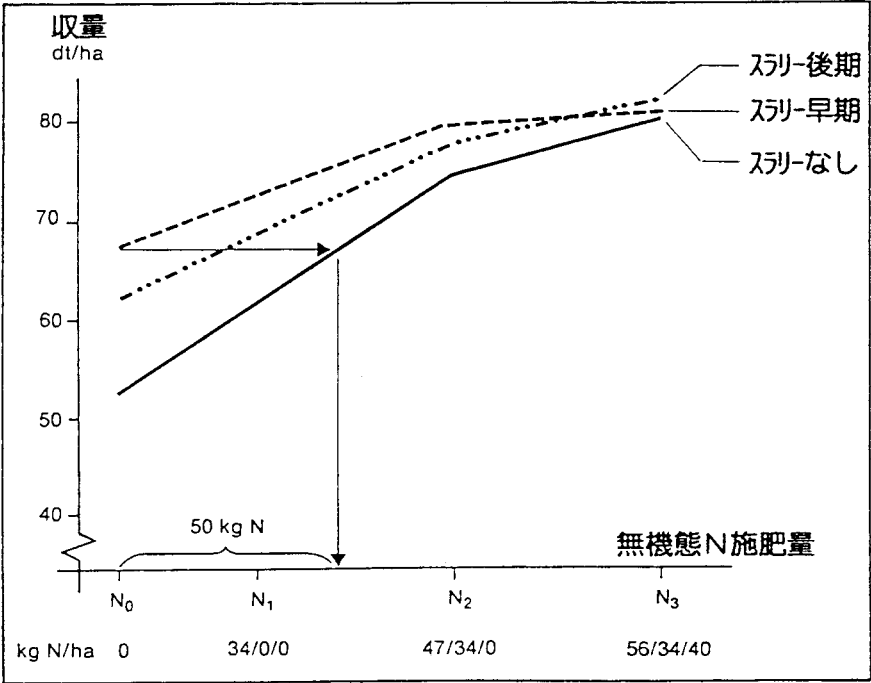


図 4 秋播小麦の収量と、スラリー施用量（ $25\text{--}30\text{m}^3/\text{ha}$ ）並びに無機質窒素施肥量との関係（7回の試験の平均値）

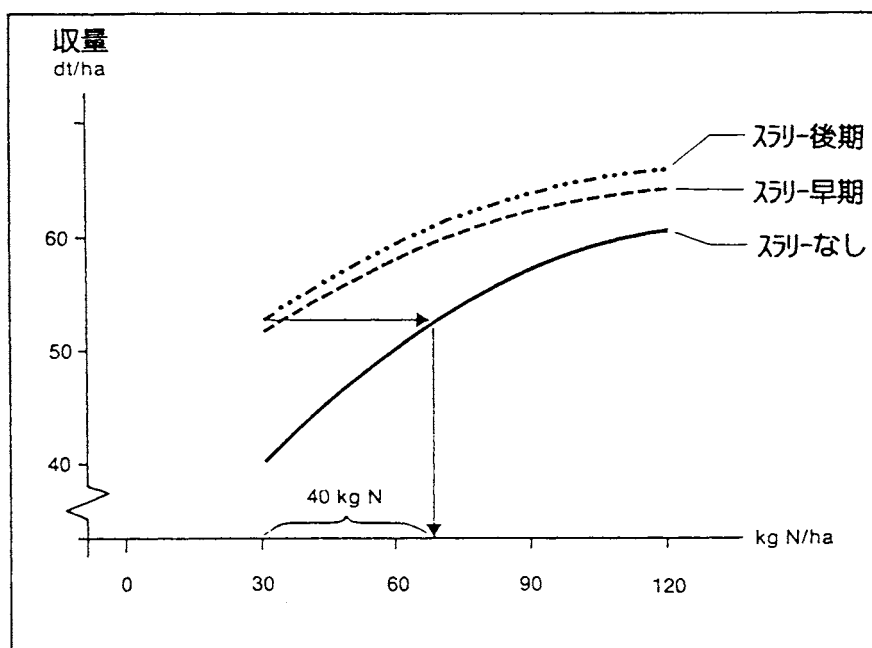


図5 秋播大麦の収量と、スラリー施用量並びに無機態窒素施肥量との関係（10回の試験の平均値）

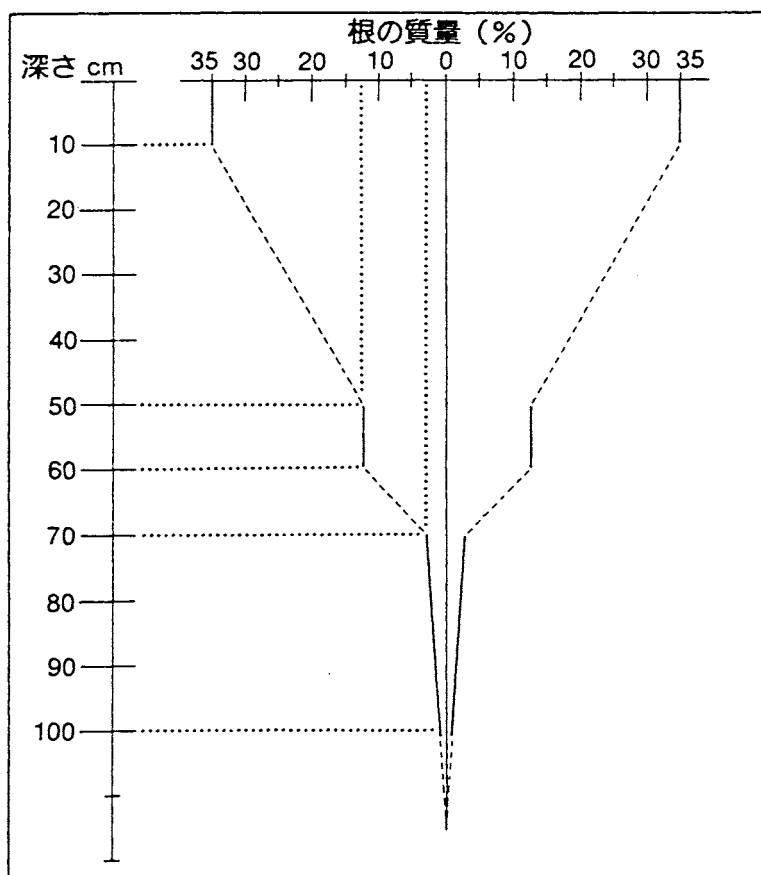


図6 トウモロコシの根の形成、根の質量（％）と土の深さとの関係

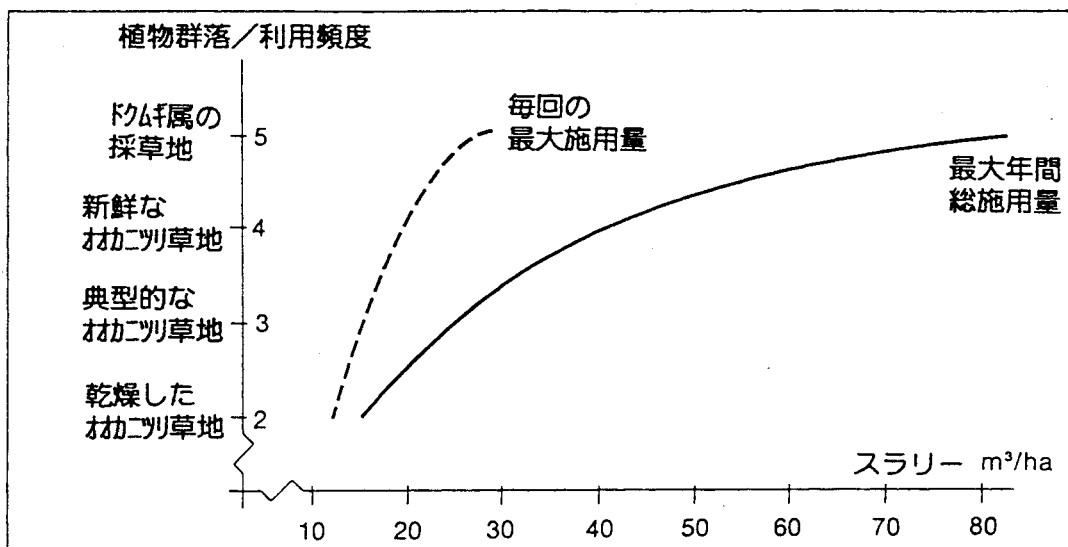


図7 スラリー施用量と植物群落並びに利用頻度との関係（リーデルによる）

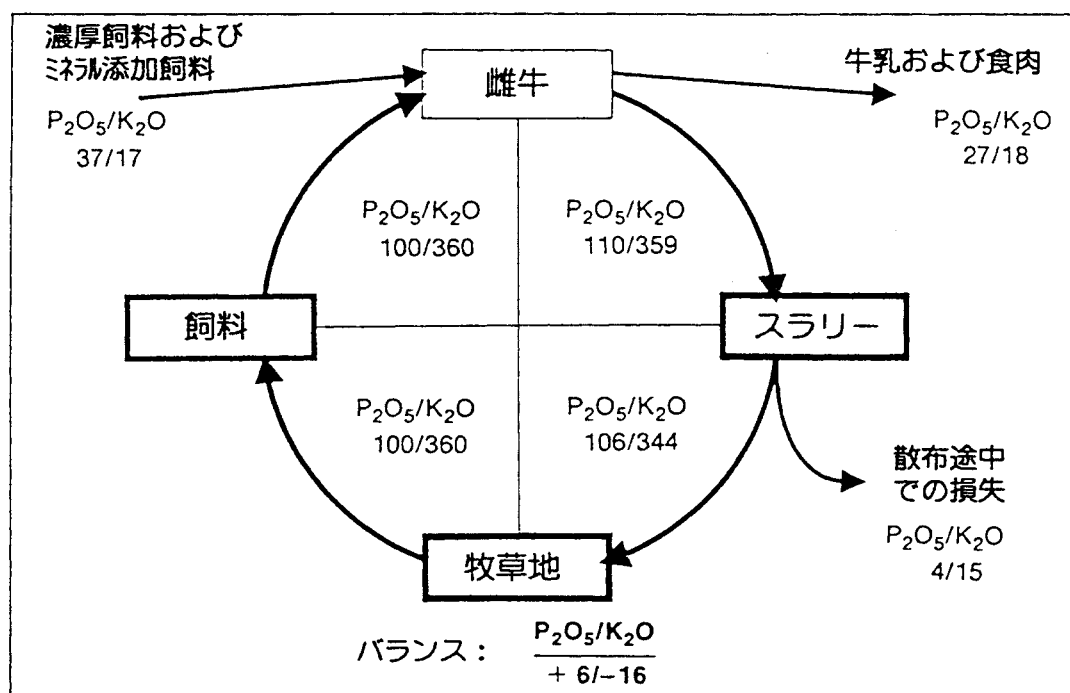


図8 牧草地におけるリン酸とカリのリサイクルの概要

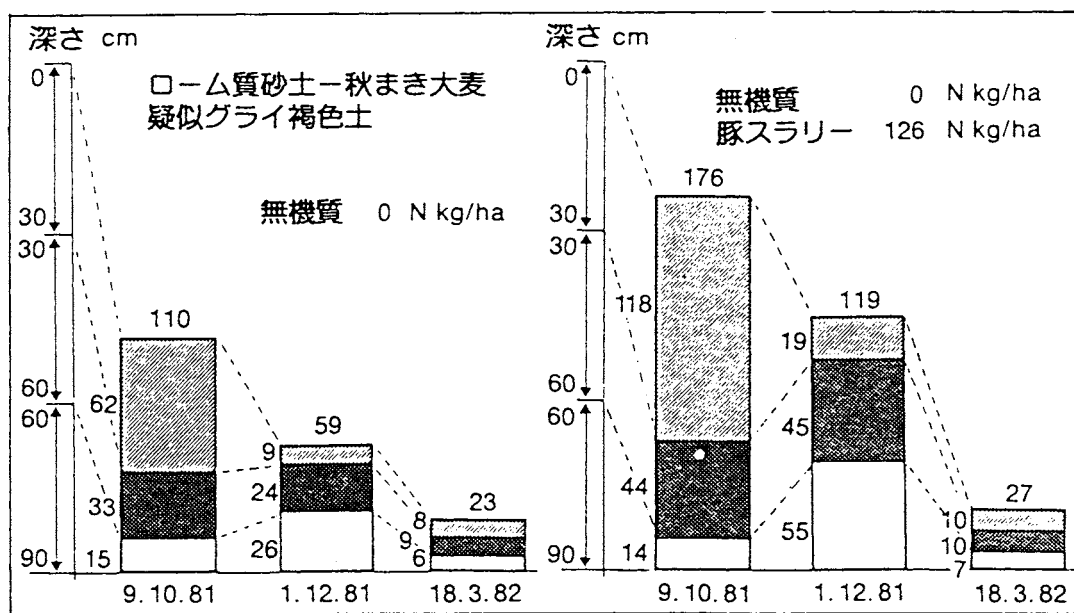


図 9 N_{min} テスト

1993年11月2日の省令は、1975年10月28日の省令を修正・変更するものであり、その中の政令No. 75-996 の第3条、第5条、第6条、第10条、第11条、第15条の施行のために修正されるものである。

第1条

1975年10月28日の省令の第3条を次の条文で補完する。

「納付金の算定基礎となる環境汚染の特性量については、牛の放牧によってその値が低減される。すなわち、放牧期間の関数として、次に示すように控除が計られる。

$$A = R \times N / 12$$

A : 控除

R : 納付金の算定基礎となる環境汚染の特性量

N : 放牧期間（月）」

第2条

1975年10月28日の省令の第6条、第1節を次の条文で補完する。

「自然環境の汚染を回避するために行われる汚泥の管理条件として、次に示す用途も入れる。

- －正式に認可され、検査を受けた放流
- －焼却
- －コンポスト化
- －農業におけるリサイクル、とくに散布計画や可能性試験を行ったもの」

第3条

1975年10月28日の省令の付則 I の A は今回の省令の付則 I で置き換える。

第4条 (略)

第5条

1975年10月28日の省令の付則 II の I は次の条文で補完する。

「畜舎排水の散布に関しては、第1に排水の回収方法の特性評価に応じて、第2に散布方法の特性評価に応じて、後に示す評価要素を考慮して、当該年の最後の状況によって、汚染対策が評価される。

A. 畜舎排水の回収方法の特性評価

すべての畜産経営体用（後述の家禽を除く）	
回収方法の特性評価	回収設備に関する記述
優良……………	タイル舗装、およびコンクリート通路 汚染しやすい雨水を全部収集（事前診断調査に応じて） 液状・固形状のふん尿を全部回収 サイレージ灰汁や搾乳パーラー排水の収集・管理 漏水のない貯留施設で、容量に関しては、散布試験を行っていること、もしくは4か月かそれ以上の期間貯留できること
良……………	タイル舗装や通路の部分的な防水（タイルに割れ目があったり、部分的なコンクリート舗装） 汚染しやすい雨水は一部収集 液状・固形状のふん尿を、少なくとも80％回収 漏水のない貯留施設で、容量は2～3か月分貯留
中……………	裸地 液状・固形状のふん尿の回収は80％以下 漏水のない貯留施設で、貯留容量は2か月分以下

家禽経営体用	
回収方法の特性評価	回収設備に関する記述
優良……………	ふん尿を全部回収（液状と固形状） 通路には草を生やす 畜舎の洗浄水や管理水を収集し、流出をなくす 65％よりも乾燥した状態で裸地に貯留、もしくは漏水のない貯留施設で、容量は4か月かそれ以上の期間貯留できること
良……………	少なくとも80％以上回収し部分的にも若干効果のある回収方法、または、他の排水と混合 通路が破損している（面積の50％） 収集施設には漏水がないことはない 貯留施設の容量は十分ではないが、流出はない
中……………	洗浄水を収集しない 貯留施設の容量は流出がある 裸地の野外の通路

この規準のひとつにでも合致しない場合、より下の評価を受けることになる

B. 散布方法の特性評価

クラス	満たすための条件
クラスⅠ……………	散布計画を立てていること 散布日誌を整備していること ha当たりの施用量が3 UGBN以下であること、もしも3～5 UGBNの範囲にあるときには散布試験を行い、施肥に適合した施設・機械を有すること
クラスⅡ……………	散布計画を立てていること 散布日誌を整備していること ha当たりの施用量が3～5 UGBNの範囲にあること、またはそれをオーバーしているときは散布試験を行うこと
クラスⅢ……………	散布計画を立てていること ha当たりの施用量が5 UGBN以上の場合

この規準のひとつにでも合致しない場合、より下の評価を受けることになる

ha当たりの施用量（施用量／ha）は、次に示すような平均年間窒素排出量をもとにして、大家畜単位（UGBN）を基準とし、畜産経営体の家畜全部の窒素排出量を算出する。

肉豚（PCP）： 3.5kg

採卵鶏（PP）： 0.5kg

肉用鶏の面積 m^2 （ m^2VC ）： 4.3kg

大家畜単位（UGB）： 73kg、これは21PCP、146PP、17 m^2VC に相当する。」

第6条

1975年10月28日の省令の付則ⅡのⅡは次のように修正・補完する。

第2項の後に次の本文を加える。

「畜産経営体が、排水の回収方法の特性評価では優良であり、散布方法の特性評価ではクラスⅠの両方を具備し、次に定義するふたつの水準のひとつを満たす場合、付則Ⅱの表Ⅲによって定められた係数が適用、優遇される。

1. 第1水準：

ha当たりの施用量が1 UGB かそれ以下であり、小さい面積に対して家畜のローテーションがきちんとできていることが証明されたとき

散布方法に関して、また必要に応じて散布前の処理方法も含まれるが、それらに関して畜産経営体の事前診断調査を行い、次に示す3つの条件が満たされたとき

①散布方法に関して、また必要に応じて散布前の処理方法に関しても、それらに適した施設・設備があること

②貯留施設の容量が十分であり、有機物と無機物とを合わせた施用量が正しいことが確定できるような、経営に関する簡潔な記録があること

③良好な農業経営と牧草地の維持とが結合していること

2. 第2水準：

第一水準に一致する条件、および農学的な詳しい追跡調査行うこと。その場合、必要に応じ部分的であるが、散布の実際の特性を明らかにし、農学的な物質循環平衡を明らかにし、とくに家畜の飲水と飼料との関連から牧草地の維持について明らかにする。」

第7条 (略)

第8条

施行条項

1975年10月28日の省令第15-1条に違反した場合、家畜飼養頭数の漸進的規制を導入するために、次の条文を適用する。

A. 家畜飼養頭数の漸進的規制

畜 種	実効年次				
	1994	1995	1996	1997	1998
豚（常時飼養頭数）	1,000	800	650	550	450
牛（大家畜単位）	200	150	100	90	70
採卵鶏（×1,000）	60	50	40	30	20
他の家禽飼養経営体 （UGBNで表す）	200	150	100	90	70
多種類の家畜飼養経営体は各家畜の実数の合計で表す					

B. 納付金の均衡をとるための移行措置 (略)

C. 納付金の清算 (略)

D. 家禽飼養経営体のための過渡的条文 (略)

第9条

本省令の施行は水保全局長に委任され、フランス共和国官報に公告するものである。

1993年11月2日 パリ

環境大臣代理、委任者：

水保全局長

J. L. Laurent

付則 I

汚染源の 種類	汚染源の 整理番号	汚染特性の 大きさ	汚染の特性係数				備考 適用のための当量
			S S (g)	B O D (g)	窒素 (g)	リン (g)	
A. 家畜飼養 豚	A 100	離乳後 1 年 経過し、 肉豚として 生産 PCP	126	80	21	6	1 頭当たりの PCP 当量 家畜の種類： 離乳後肥育 の肉豚……………1.00 雌豚 または雄豚……5.00 離乳後の子豚……0.20 屠殺時に 離乳の肉豚……1.2
牛	A 200	大家畜単位 UGB	3,300	1,800	200	44	1 頭当たりの UGB 当量 家畜の種類： 搾乳牛……………1.00 哺乳母牛……………0.70 未經産牛1年以下……0.30 未經産牛1-2 年…0.60 未經産牛0-2 年…0.50 未經産牛2年止……0.80 肉用牛 1 年以下…0.30 肉用牛1-2 年……0.60 肉用牛0-2 年……0.45 肉用牛 2 年以上…0.70 肉用子牛0-3ヵ月 …0.10
家禽： 一採卵鶏	A 300	採卵鶏 PP	27	6	1.4	0.8	1 羽当たりの PP当量 家禽の種類： 採卵鶏……………1.00 繁殖用雌鶏……………1.00 繁殖用雌七面鳥…2.00

汚染源の 種類	汚染源の 整理番号	汚染特性の 大きさ	汚染の特性係数				備考
			S S (g)	B O D (g)	窒素 (g)	リン (g)	適用のための当量
一肉用鶏	A 310	鶏舎の 占有面積 ㎡VC	160	30	12	5	若雄鶏……………0.25 (2群/年、12羽/㎡) 繁殖用若雌 七面鳥……………0.50 (1.75群/年、4羽/㎡) 1羽当たりの ㎡VC当量 家禽の種類： 肉用鶏……………1.00 (5.5群/年、20羽/㎡) 肉用七面鳥……………1.00 (2.6群/年、7.5羽/㎡) ホロホロ鳥……………1.00
遊禽類 (アヒルなど)	A 320	〃	〃	〃	〃	〃	
有機、 無機市販 肥料利用	A 900	〃	〃	〃	〃	〃	

付則Ⅱ

畜産経営体の場合の産出係数値

表Ⅱ

排水の回収		中	良	優良
排水の散布	基本項目	適用する係数		
クラスⅠ…	SS	1.00	1.00	1.00
	BOD	0.72	0.81	0.90
	N	0.72	0.81	0.90
	P	1.00	1.00	1.00
クラスⅡ…	SS	1.00	1.00	1.00
	BOD	0.64	0.72	0.80
	N	0.64	0.72	0.80
	P	1.00	1.00	1.00
クラスⅢ…	SS	1.00	1.00	1.00
	BOD	0.48	0.54	0.60
	N	0.48	0.54	0.60
	P	1.00	1.00	1.00

表Ⅲ

付則の条文		
排水の回収		優良
排水の散布		クラスⅠ
水準	基本項目	適用する係数
第1水準………	SS	1.00
	BOD	0.95
	N	0.95
	P	1.00
第2水準………	SS	1.00
	BOD	ケースバイケース
	N	ケースバイケース
	P	1.00

付則Ⅲ (略)

(羽賀清典 訳)

農業由来の汚染の解明と防除

－CEMAGREFの活動内容－

Connaissance et prevention des pollutions d'origine agricole

Les activites du CEMAGREF

畜産廃棄物と副産物の処理・利用

Gestion des dechets et des sous-produits d'elevage

豚ふん尿スラリーの肥料的価値の測定

Mesure de la valeur fertilisante des lisiers de porcs

豚ふん尿スラリーは、豚ふん尿の典型的な性状である。豚は、ブルターニュ地方の家畜起源の窒素負荷の25%を占める。スラリーは非常に水分含量が高く（乾物で2～10%）、施用にあたっては、農耕地の生産性の維持を優先的に考えなければならない。

スラリーに含まれる成分を調べないまま、大量のスラリーを表面施用すると、重大な汚染原因になる（硝酸塩、リン酸塩など）。成分を測定して肥料的価値を知ることは、汚染を引き起こすことを抑制し、作物栽培の最適施肥のために重要なことである。

（1）方法

①比重の計測

肥料成分の濃度は、スラリーの乾物濃度と良い相関がある。容積重の測定値は乾物濃度の良い指標となる。貯留槽のスラリーの比重（容積重）を測定する際に、きちんと代表するサンプルを採取できる装置を製作する必要がある。そして、実際に、貯留槽のスラリーの代表的サンプルをていねいに調製することが要求される。

②アンモニア態窒素の測定

スラリーのアンモニア態窒素を迅速に測定するために、いくつかの装置を比較検討した。そのなかでも、とくに目的に適った2つの装置を検討した。

（2）結果

①比重の計測

スラリーの容積重を計測することによって、乾物濃度を把握することができる。肥料成分と容積重の間関係を用いて、いくつかの元素（P, N……）の濃度を推定することができた。

アンモニア態窒素とカリについては、あまり良い関係がみられない。スラリーの容積重といくつかの成分の濃度との対応表が確立された。

②アンモニア態窒素の測定

AGROS（アグロス）装置と QUANTOFIX（カントフィックス）装置という、ふたつの土壌分析装置は、操作が簡易な反応器を使用する（次亜塩素酸カルシウムと次亜塩素酸ナトリウム）。土壌のアンモニア態窒素の測定について、この装置は正確かつ簡易である。

カントフィックス装置はコストも高くなく、協同組合によって開発された装置である。アンモニア態窒素は豚ふん尿スラリーの窒素の70%を占め、その量を測定することによっ

て、スラリーの環境への寄与の度合いを定量することができる。装置の正確な操作方法について、技術者や畜産農家の人達にお教えすることができる。

協力者：この仕事は、全体にわたってコートダルモール農業会議所の参加で実現した。

(羽賀清典 訳)

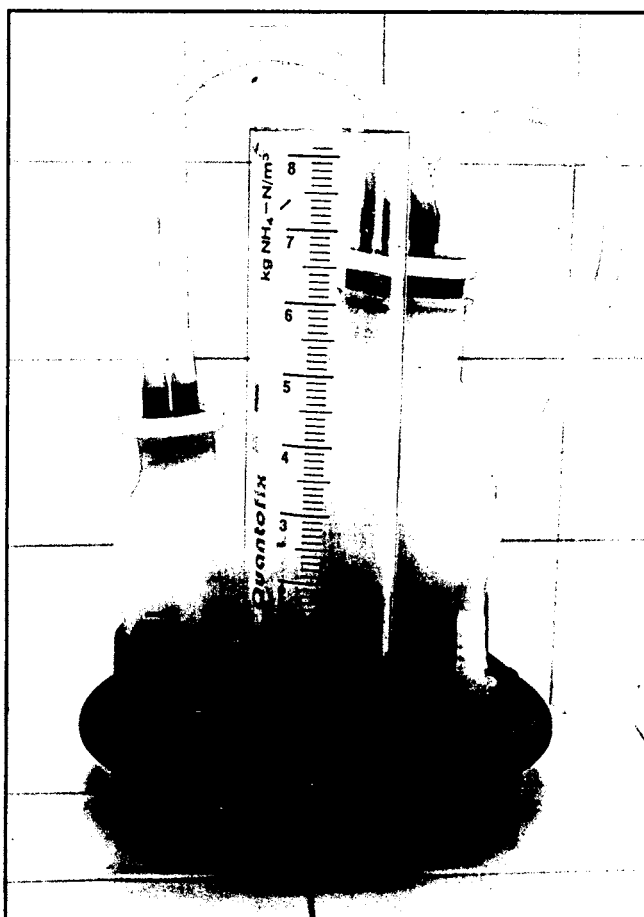


図 QUANTOFIX (カントフィックス) 装置

A study of the potential contribution of sedimentation to aerobic
treatment processes for pig slurry

豚ふん尿スラリーの好気性処理の前処理としての沈殿分離の効果

J. Martinez, C. H. Burton, R. W. Sneath and J. W. Farrent

1. はじめに

ECにおいては環境対策が今後の養豚の発展にとって非常に重要であることが広く認識されている。現在、化学肥料と堆肥の過剰な施用により水域や地下水の汚染を引き起こしている。また、ある地域では河口域底泥中の銅濃度と周辺地域の豚の飼養密度の間に相関のあることが示されている。

悪臭低減、硝化脱窒によるアンモニア除去、BOD低減などを目的とした豚スラリーの好気性処理については多くの研究がなされてきた。Sneath(1988)によると貯留スラリーからのVFAの発生は固形物の物理的な除去により低減することが示された。固形物の除去は好気性処理では除去しえない銅、亜鉛、リンなどの低減にもつながる。

スラリーからの固形物除去手法としてはスクリーニング、遠心脱水、沈降分離の3種類がある。これらの内で、沈降法は施設費が安く、単純なプロセスでありしかも貯留能力を増加させるという2次的なメリットもある。

従来の沈殿に関する研究は各種の沈殿技術が評価対象となっているため結果に混乱が見られる。またVoermans and Kleijin (1990)によると、凝集剤を使用しない限り沈殿の効果は低いとの結論を出している。Piccininiら(1987)は2～3箇月という長期間の貯留により比較的良好な結果を得た。彼らによると固形物濃度69%のスラッジが原スラリーの10%に当たる容積で発生することが示されている。

我々の研究の目的は以下のとおりである。

- ・好気処理、TS、沈殿時間等の主要ファクターが沈殿効率に与える影響の解明。
- ・好気性処理プロセスに引き続く連続沈降分離法の実用性評価。

2. 方法

2.1 分離係数の定義

$$\varepsilon = S/F(X_s/X_f - 1) \times 100\%$$

(ε :分離係数、F:原液量、S:濃縮汚泥量、X:成分の濃度)

2.2 装置及び材料

2.2.1 スラリー

1槽式の攪拌スラリータンクからスラリーを採取しブラシ式のスクリーンで処理した後実験に用いた。なを、スクリーン処理によりスラリーのTSは50 kg/m³から40 kg/m³に低下した。

スラリーの一部はパイロットスケールの装置で好気処理を行った。この際2種類の処理法を試みた。一つは高DO濃度(2mg/L)での比較的短時間(36時間)のばっ気による処理、もう一つは低強度のばっ気(ORPが-50mV程度)での4日間の長時間ばっ気で、硝化も目指した。

2.2.2 装置：カラム沈降試験

カラム沈降試験は直径100mm、容量8Lの透明プラスチックカラムで行った。満水状態での深さと直径の比は15:1である。

2.2.3 好気性処理装置

好気性処理パイロットプラントの詳細はBurtonら(1993)に示されている。処理後のスラリーは図1の沈降槽に流入させる。この槽は幅800mm、長さ1800mm、最深部深さが300mmである。底部は10度の勾配がついている。上澄水は自動的に流出し、汚泥は6~12時間おきに手動バルブの操作で引き抜いた。この槽の容量は240リッターで平均滞留時間は4日間曝気処理からのスラリーの場合48時間、36時間曝気の場合18時間である。

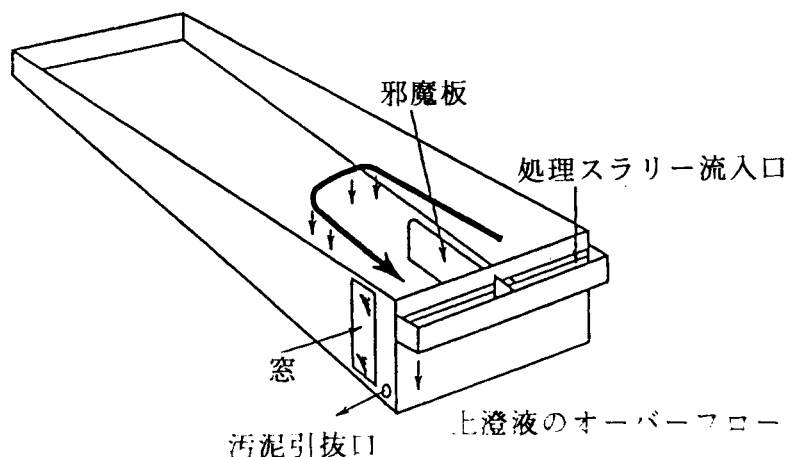


図1 連続処理式沈降槽の詳細図

2.2.4 分析方法

TS, TSS, COD, 銅、亜鉛、マンガン、カリウムの分析はAlpha(1985)の方法に従った。

3. 結果

3.1 カラムテスト

3.1.1 無希釈スラリーの沈降試験結果

無希釈スラリーの場合分離性能は遠心分離に比較して著しく劣り、分離係数は1/2、汚泥容積は原液の50%を越えた。ただし、上澄水のTSは15 kg/m³程度で遠心の場合とほぼ同じ値であった。この結果は、遠心と沈殿の相違は汚泥の圧密状態の差であることを示している。

3.1.2 希釈の影響

スラリーを希釈すると沈降性はかなり向上する。この効果は希釈率が1:2（スラリー：水）程度まで顕著で、それ以上では変化は小さい。ただし、沈降性は向上するものの上澄水の発生量が増加する欠点もある。

3.1.3 沈降のカイネチックス

4日間の好気性処理を行ったスラリーの沈降曲線は図2に示した。これらの曲線はOsborne(1981)によって提唱された古典的な沈降理論に合致した。すなわち、初

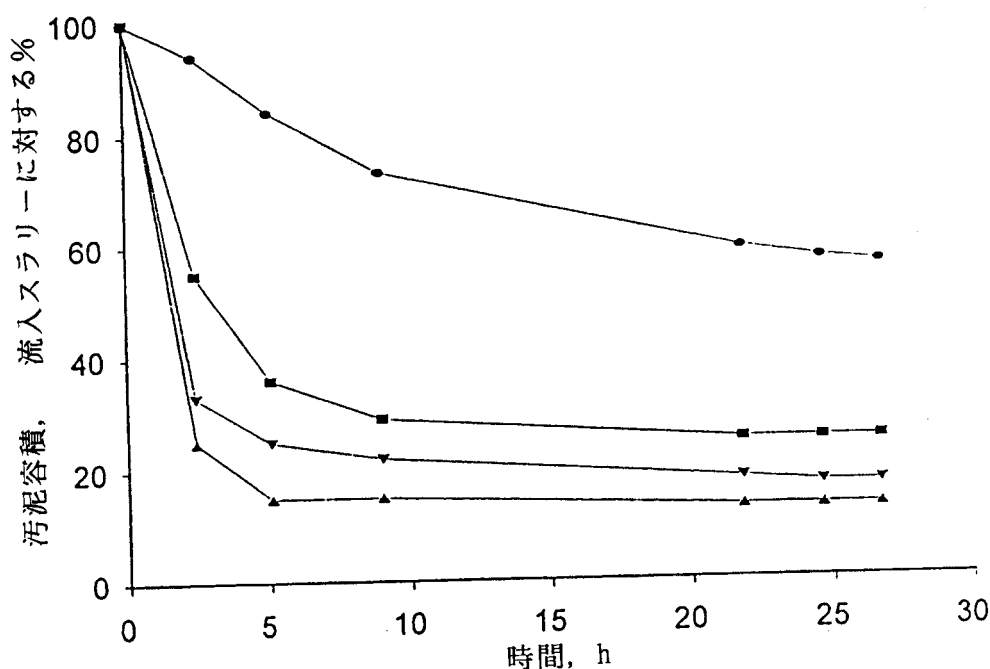


図2 各種希釈率によるスラリーのカラム沈降試験
●希釈なし；■1:1 希釈；▼1:2 希釈；▲1:3 希釈

期の4～6時間の直線的な沈降で大部分の沈降が終了した。4～6時間以後の汚泥容積の減少はわずかであり沈降ではなく圧密化が進行するものと考えられる。

無希釈スラリーの沈降パターンは特異的で、容積変化の割合が小さく、沈降過

程と圧密過程の境目も明かでない。

これらの結果より、20～30 kg/m³を越えるTSのスラリーは重力沈降に適さないことが分かった。

3.2. パイロットプラントでの実験結果

好気性処理後のスラリーを3日間連続的に沈降槽に流入させた。結果は表1に示した。分離係数を見ると、分離性能はカラム試験からの予測と良好な一致を示した。4日間の好気性処理スラリーは36時間の場合に比較して沈降性がかなり良好であった。この差は、前者の方が沈降槽の滞留時間が長いために生じたものと考えられる。

表1 連続沈降試験の結果 (数値は3日間の平均値で表示)

		スラリー処理	
		1.5 日	4 日
%v/v 汚泥		37	36
TS	全汚泥 (kg/m ³)	38.3	34.4
	汚泥 (kg/m ³)	53.2	47.0
	上澄液 (kg/m ³)	25.3	10.9
	分離係数, ε %	18	28
TSS	全汚泥 (kg/m ³)	27.8	23.8
	汚泥 (kg/m ³)	46.0	47.8
	上澄液 (kg/m ³)	13.8	3.1
	分離係数, ε %	28	46
COD	全汚泥 (kg/m ³)	36.3	31.4
	汚泥 (kg/m ³)	65.6	53.4
	上澄液 (kg/m ³)	19.8	8.0
	分離係数, ε %	29	36
銅	全汚泥 (kg/m ³)	—	38
	汚泥 (kg/m ³)	—	67
	上澄液 (kg/m ³)	—	6
	分離係数, ε %	—	41
亜鉛	全汚泥 (kg/m ³)	75	56
	汚泥 (kg/m ³)	89	94
	上澄液 (kg/m ³)	27	9
	分離係数, ε %	23	39
マンガン	全汚泥 (kg/m ³)	21	10
	汚泥 (kg/m ³)	28	18
	上澄液 (kg/m ³)	8	2
	分離係数, ε %	25	41

4. 考察

今回の実験全体を通じて明かになった点は以下のとおりである。まず、沈降汚泥のTSは50～60kg/m³程度であり70kg/m³を越えることはまれであった。次に、上澄水は懸濁物質をほとんど含まないが、溶解性物質の存在のためTSが10 kg/m³を下回することはまれであった。これらの結果は重力沈降プロセスの実用性の限界を示すものである。上澄水のこれ以上の水質向上は困難であるが、沈降汚泥の一層の濃縮は見込があるように思われる。

(田中康男 訳)

A biological treatment of pig slurry: laboratory and field study of
an in situ drainage water denitrification reactor

豚ふん尿スラリーの生物処理
：実験室および実装置による土壌透過水脱窒装置の試験

J. Martinez and S. Levillain

1. はじめに

生物処理は家畜ふん尿による公害防止最も有効な手段のひとつである。多くの畜産経営にとって、特に豚のスラリーの安全で、効果的処理は重大な関心事である。

有機物、栄養塩類、微生物に富んだ豚スラリーの取り扱いには、①土壌散布（農業利用）②土地連鎖と水システム（自然のリサイクル）③一般的水浄化処理である。

一般的な水浄化処理、たとえば嫌気消化や好気処理は、悪臭の軽減や窒素・リンや有機物の除去に使用可能である(Williams et al 1989)。しかし、これらの処理には複雑な施設機械と巧みな管理技術が必要である。

土壌への施用は、普通の農業利用の方法である。これは地表水や水環境の硝酸塩過剰をおこさぬため、現在は法律で規制を受けている。多くの養豚経営は生産されたスラリーを散布する十分な土地がない。

替わりに、自然の土壌と水プロセスによる単純な方法で豚スラリー処理が提案されてきた。Polprasert ら (1992)は、ホテイアオイの池による汚水処理を検討し、豚の汚水から、有機汚濁物質と窒素の50%から90%を除去した。

土壌処理はよく知られた浄化システムであり(Catroux et al, 1974)、いろいろな家庭排水や産業排水の処理(Ho et al, 1990 ; Russell et al, 1993)、そして豚、牛のふん尿(Lam et al, 1993; Ritter et al, 1978; Zelechowska et Rybinski, 1985)に使用されてきた。

合衆国で開発された土壌処理法は、閉鎖系土壌による水修復システム (BLWRS) と呼ばれるもので、不透水膜の上に盛り上げられた土壌と、BLWRSの上部の好気層と次の不透水膜との間の嫌気層からなる排水装置で構成される (Ritter et Eastburn, 1978)。

BLWRSは2年間検討され、液状の酪農排水のCOD（化学的酸素要求量）と窒素を90%以上減少させる高い処理能力を示した。

フランスで開発された《Solepur》（ソルピューール）(Bertrand et al, 1992)は豚のスラリーを過剰施用した土壌槽からの排水（高濃度硝酸塩液）を用いること以外は上記と同様な考え方であり、その排水を開放の池で脱窒させる。脱窒には有効な電子供与体が必要であり、豚ふん尿中に存在する有機物はこれを充足する。脱窒処理水は耕地への灌漑水としてリサイクルする。

われわれはここで、①Solepurの処理施設の説明とその特徴の紹介、②研究室と実施設での生物脱窒の主要成果について述べる

2. 試験手法

2.1. 実施設試験

処理施設（図1）は①管理草地(3,280m²)、ここには豚スラリーが散布され、ライグラスが植えられた土壌を通過した排水の全てが回収される。②脱窒のための貯留－ポンプ輸送、③高次処理のための非管理草地、以上で構成される。

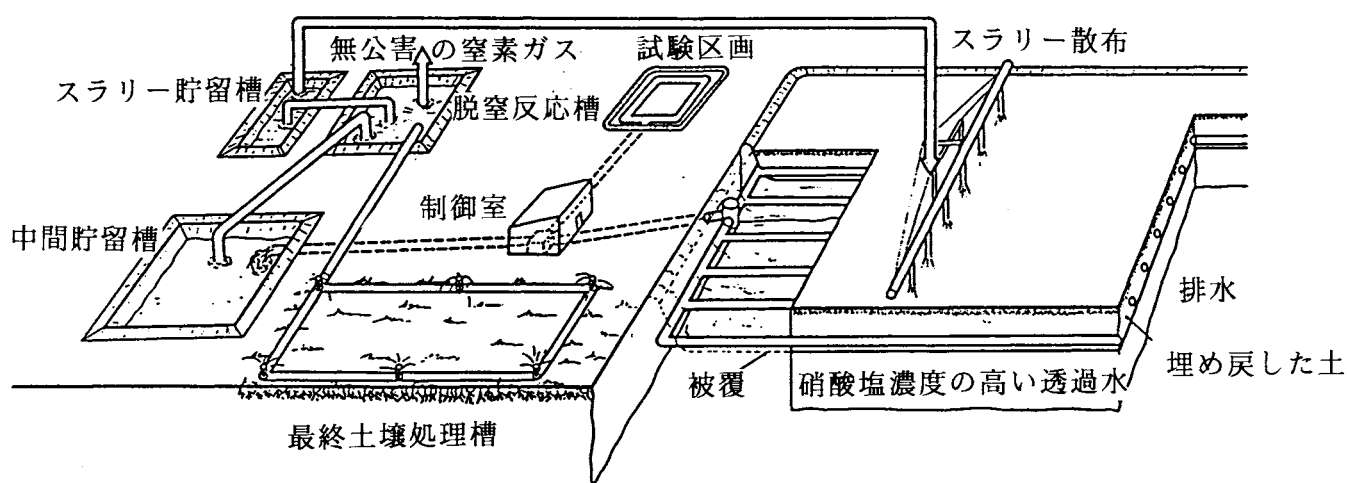


図1 ソルピュールの実施設：豚ふん尿スラリーの土壌透過水を脱窒する方法

ここには1990年春にシルト土壌（粘土14.1%、砂22.9%、シルト63.4%）が充填された（全炭素1.82%、全窒素0.178%で、初期pH5.6）。

このシステムは、孔隙を通過した排水を勾配によって集めるPVC管によって作られ、フラックスの測定のための装置も組み込まれている。集められた排水は、その後、つぎの処理工程の溜槽に輸送される。3つの溜槽はプラスチックの膜が敷かれた逆四角錐状の槽で土中に埋設されている。中間貯留槽(450m³)は一旦排水を受け、次の脱窒槽(350m³)に輸送する。スラリー貯留槽(160m³)からポンプ輸送し、管理草地に散布する。

この処理施設は1990年の12月から試験を開始した。豚のふん尿は管理草地に3月ないし4月から10月ないし11月までの各月に施用した。施用時の散布量は10mmから20mm（訳者注、1時間に1m²あたり10～20Lのスラリーをに散布）であり、年間散布量は窒素で約5,000kg/haになる。土壌が容量に達したとき（通常9月の末）、排水を開始した。排水は中間貯留槽に貯められた。所定量(150～250m³)の高濃度硝酸含有透過水は、少量のスラリー（3～6m³）とともに脱窒のための反応槽に投入・混合される。

経験的には完全な脱窒のために必要な炭素と窒素の比率は3：1と考えられている。スラリーの量を変動させて、このバッチ試験ではC／Nは25：1に調整した。

2. 2. 研究室での試験

室内規模の処理装置は60L容のポリエチレン製シリンダーとペリスタポンプで構成されている。ここで用いられた汚水は実規模試験の透過水を用いた。

3つの試験が行われた。

「試験1」

最初の試験は、C／N比の脱窒への影響の検討を行った。4つの槽に50Lの透過水（名目上500mg／Lの硝酸塩を含む）を入れ、ここにそれぞれ0、0.4L、2L、6Lのスラリーを混合し、C／N比を0、0.5、2.5、8.2に調整した。

「試験2」

2番めの試験は前の回分試験（つまり異なるレベルの炭素比の試験）の混合液の残存する脱窒活性を検討する、半連続試験である。前の回分試験混合液4種を、それぞれ15Lずつ、名目上450～500mg／Lの硝酸塩濃度の透過水に連続的に供給した。流入は100mL／hrでおこなった。

「試験3」

この試験は異なる炭素源、エタノールによる脱窒を回分試験で検討した。硝酸塩高濃度透過水(470mg／L)に回分試験で得られた少量の種微生物（試験1）を混合させた。ここにC／N比を2.9に合うようにエタノールを添加した。

3. 結果

3. 1. 実規模試験

3年間の運転後でも実規模装置は効率的に可動した。透過水の基本的組成は表1の通りである。

表1 ソルピュール透過水の基本的性質

項 目	濃度, mg/L	
	平均	範囲
C O D	48	30-75
B O D ₅	2.9	0.5-7
N O ₃ (硝酸塩)	657	440-828
N O ₂ (亜硝酸塩)	0.04	0-0.3
N H ₄ (アンモニア)	0.67	0.28-1.23
T K N	4.5	2-6.1

投入された汚水（豚スラリー）と比較すると、透過水の組成（表1）は、この土壌濾過システムの高い除去能力を示している。

この結果は前回の試験結果(Ritter & Eastburn, 1978)と一致しているが、実際

の結果がより長い試験期間のものが得られた。

多くの実規模装置によるこの透過水の脱窒試験が、3年間行われた。それぞれの回分試験槽の窒素負荷は10～40kgであった。試験槽内の過剰な炭素源の存在（C/N 20：1以上）するとき、硝酸態窒素の除去は3～4 kg窒素／日であった。多くの場合、脱窒は0.5～1 kg窒素／日であった。実規模の回分脱窒サイクルは7～60日のさまざまな間隔で達成された。

3. 2. 研究室試験

回分試験の間（試験1）、脱窒は高いC/N比（8.2）では4日後、一般的なC/N比（2.5）では8日後に完了した。低いC/N比（0.5）では十分な脱窒が起らなかった。他の研究者（Mc Carty et al. 1969; Carley & Mavinic, 1991）もC/N比や炭素源の脱窒への影響を検討し、同様の結論を述べている。とりわけ、Carley & MavinicはDOC/N-NO_x比で5.9：1から9.0：1の炭素源で完全な脱窒が達成されると述べている（その比は炭素源に依存する）。この試験の4区画のDOC/N-NO_x比は、それぞれ0、1.5：1、6.9：1、20.7：1であった。炭素源の違いがあるにもかかわらず、DOC/N-NO_x比の6：1が脱窒の完了には必要であることが示された。

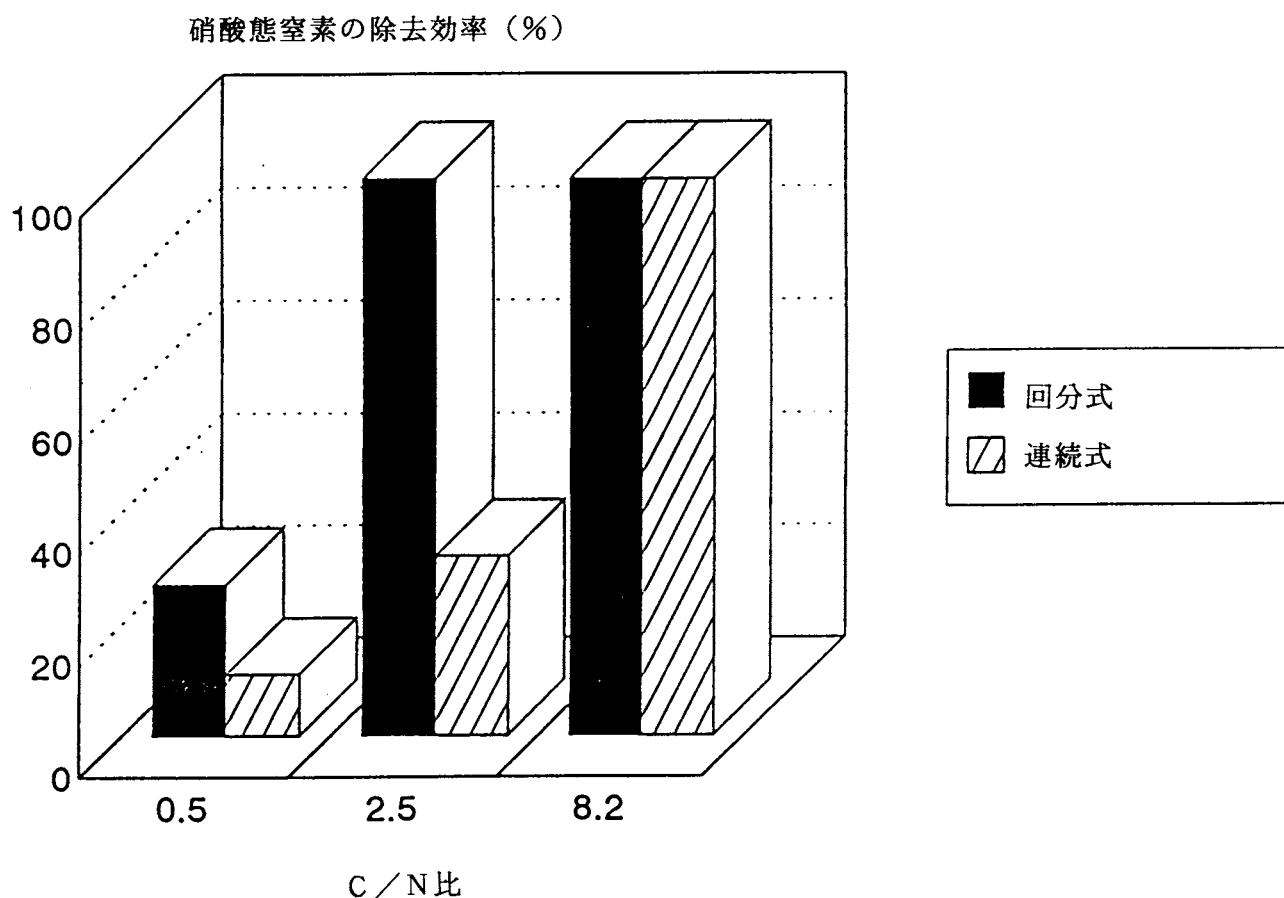


図2 回分及び半連続工程における脱窒効率に対するC/N比の影響

試験のなかで、低いC/N比（0と0.5）ではpHがずっと中性（6.5～7.2）であるのに、高いC/N比（2.5と8.2）では、処理と平行してpHは7.5から8.5と高くなった。これは、既知のように脱窒工程がアルカリ度を出す現象である。BODの除去は常にCODの除去を上回り、使用したスラリーを炭素源とした有機物を反映した。試験1と試験2の脱窒成績は図2に示した。

驚くべきことに、厳しいC/N比（0.5）では試験1（回分試験）の脱窒が不十分だったのに、半連続試験で、さらに脱窒がおきていた。

試験2は、明らかにわれわれの試験条件における、半連続脱窒試験の有効性を示すものである。これは実規模装置の管理に役だつ情報である。

図3はC/N比が2.9：1のときの典型的な結果で、特に中間産物の亜硝酸塩が示してある。

多くの実規模脱窒試験でこの亜硝酸のヤマが観察されている。この場合（試験3はエタノールを炭素源としている）の脱窒は、39mg/L・日と、スラリーを炭素源とした同様の回分脱窒試験の2～13mg/L・日に比べて高い。

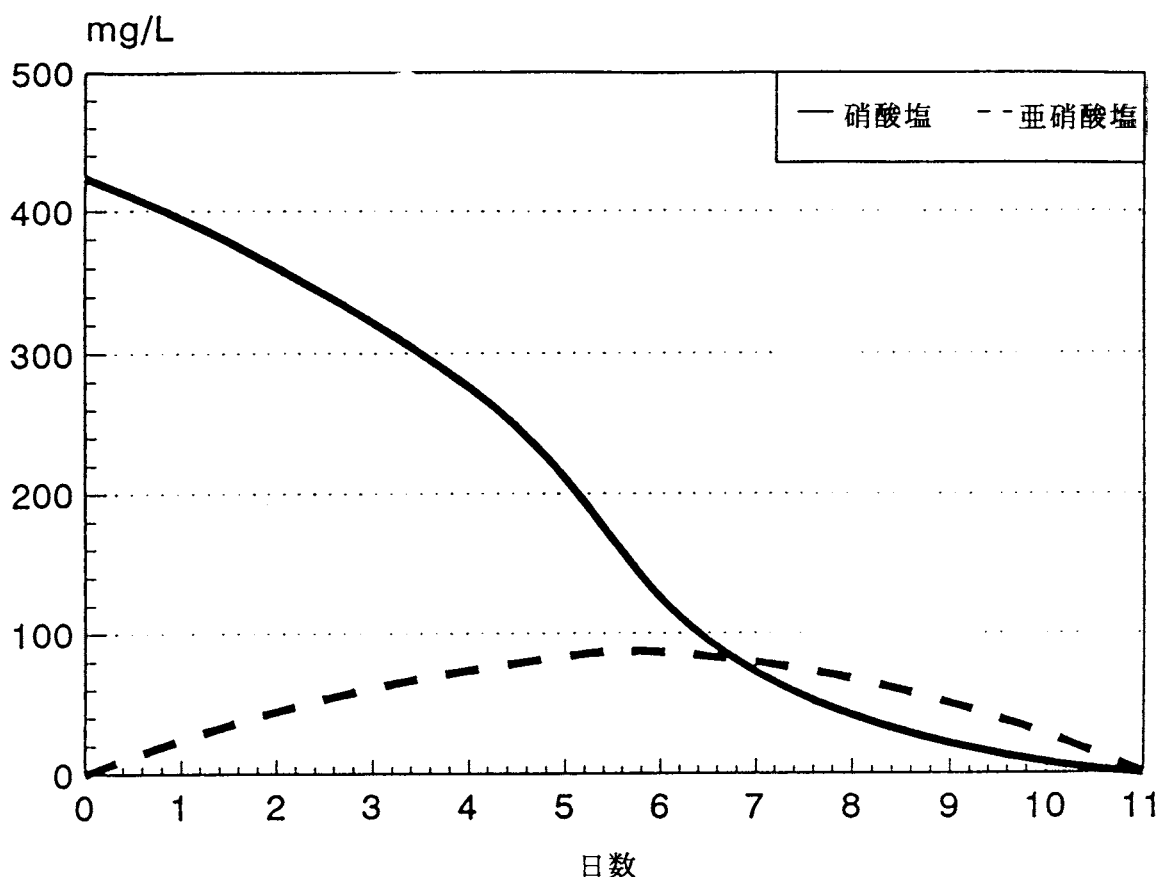


図3 脱窒の時間経過による硝酸塩及び亜硝酸塩の濃度変化
(炭素源：エタノール； C/N 比=2.9)

4. まとめ

この試験で《Solepur》の実装置の有効性とその効果が示された。

土壌槽を透過した排水は、土壌による高い除去能力と保持能力によって浄化さ

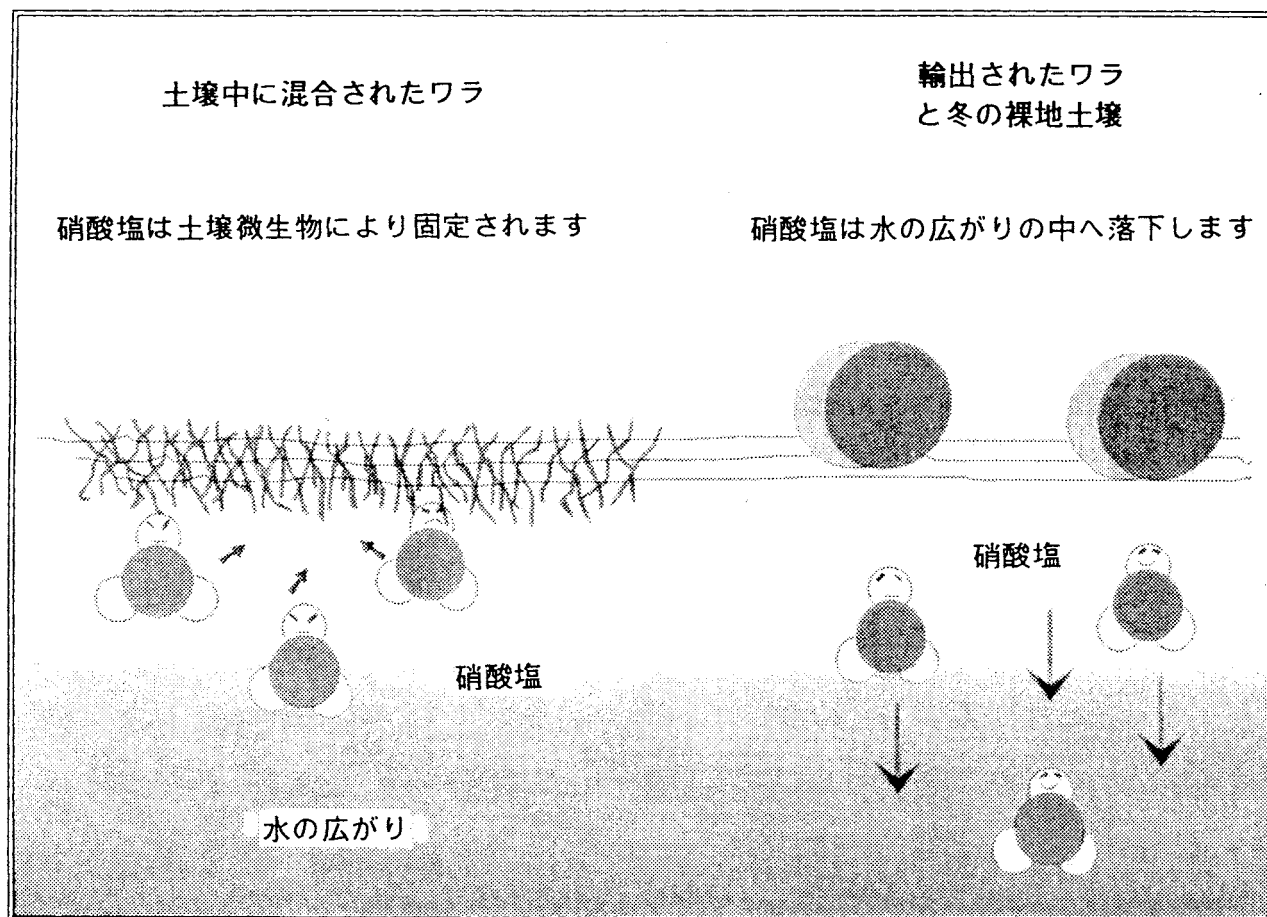
れた（生の豚スラリーから）。従来の処理の多くが、スラリーを処理した最終産物が、いまだスラリーであるのに対し、《Solepur》では最終産物は水である。

排水はきれいではあるが、高濃度の容存成分を含有している。その構成成分のなかで、ブルターニュの河川への排出に大きな問題なのが高濃度の硝酸態窒素である。だから、次の工程は硝酸態窒素の除去である。

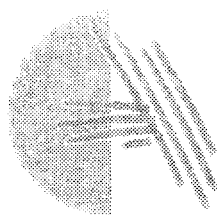
実規模と実験室の試験で、脱窒工程には炭素源の添加が効果的で操作できることを示した。《Solepur》では炭素源は豚スラリーから直接とっている。豚スラリーそのものの自浄能力がこのプロセスの興味深い点である。

（長田 隆 訳）

環境 と 競争的農業



水の保護
私たちの硝酸塩を管理しましょう



農業室

なぜワラを管理するのでしょうか？

とくに土壌の腐植の鉱質化作用の事実から，まさに莫大な量の硝酸塩が秋に土壌中に存在します

表面でのワラの混合(マルチあるいは表面だけの混合)は，秋の土壌中での硝酸塩の生産を減少させることができます。

窒素の損失を減らすための助言

ワラのマルチ

これは窒素の損失を減らすための理想的な技術です。収穫後，ワラを砕いて，それをロール巻きにし，土壌の上に置きます。埋めることはもっと遅くなったときにします。

表面だけの混合

この場合，可能な限り最も遅く開墾して，それから直接埋めることに取りかかるのがよいのです。ワラの分解を容易にするために：

- －ワラを十分に高く(長く)切り(25～30cm)，そして有機物の撒布をうけやすい小農地でワラ(茎)を砕きます
- －ワラを可能な限り最も細かく切ります(とくに打穀刈取機に重みがかかった破碎機)。
- －場合により被覆作物のゆっくりとした経過にしたがって，再度の破碎を考えます。

下表は窒素の残量について，これらの技術により得られた結果を示しています。

土壌中の硝酸塩管理についてワラを埋める様式の効果

(INRA Laon - CDLCP Melun - Regroupement de 5 essais).

耕作中の管理	硝酸態窒素(kg/ha) 10月15日 0-90cmについて
7/20に刈り株を掘り返し，それから9/20に埋める	40-90
9/20に刈り株を掘り返し，埋める	20-30
7/20に破碎，碎土，9/20に埋める	9-13

ワラ混合の有用性

ーワラは多量の無機元素，とくに肥料の流出によって補わなければならないカリウムを含んでいます。

ーワラは，長期間における増加をみると土壤有機物率の維持に貢献しています。

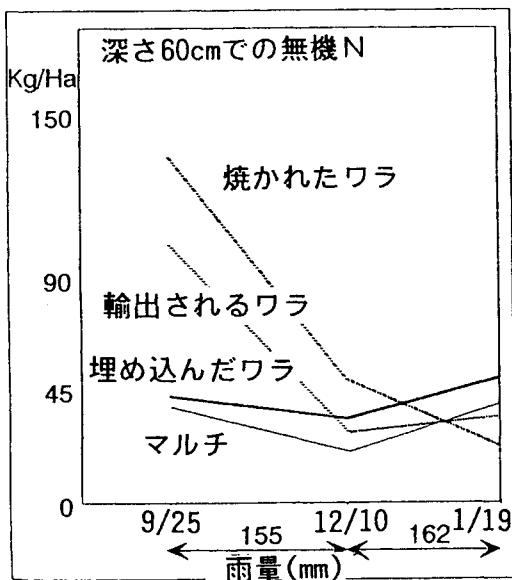
ーワラは，短期間に数回耕せる土壤層の弾性効果を増大させながら，土壤表面の固化と圧縮沈下の危険を制限します。

ーワラと茎(切り株)は，理論的方法を拡張した飼養の流出にとり，硝酸塩をよくトラップします。

しかしとくにワラの混合は秋における窒素の損失を制限します

ワラ転化とともに変化する無機窒素

I. T. C. F. Boigneville 1991による。



反対側の図は，ワラの混合が多量の窒素の浸出から守ることが可能であることを示しています(この場合，約80kg/ha)。
その結果，土壤窒素の一部分は，ワラの分解を確かなものとするために土壤微生物により移動されます。
この窒素はそれから次の耕作によって，取り戻されて維持されるでしょう。

反対に，ワラを輸出すること，またはもっと悪い焼くことは，秋における無機窒素のストックとそのための地下水面への脱窒素の危険を著しく増加させます。

いかなる場合でも決してワラを焼いてはいけません。さらにワラを焼くことは特別な許可以外の規制によって禁じられています。

同様に，窒素に富むマメの乾草は取りさならなければなりません。

ワラを埋めることは，このように農民に対する中期間における窒素管理と硝酸塩による水面の汚染に対して，有効な保護の基礎となります。

硝酸塩を適切に管理するための他の助言

秋に窒素を持ち込まない(耕作期)

- 一冬の穀類については、土壌が2月まで必要な窒素を満たしています
- 一油菜については、特別な場合以外、本質は同様です：難しい開始。この場合、あなたの農業助言者の意見に求めること

欠点：

硝酸塩は水面を豊かにするでしょう

土壌の構造を保護すること

圧密された土壌は、根の張りを制限し窒素の浸出を助長します。それゆえ次のことがされねばならない：

- 一乾燥土壌について単純に耕作すること。
- 一多数の通路（管状空隙）を制限すること。
- 一土壌の負荷を分割すること（対になった車輪，低い圧力のタイヤ．．．）。
- 一冬期の強い雨量地帯では，秋における土壌の耕作を最大に縮少すること。

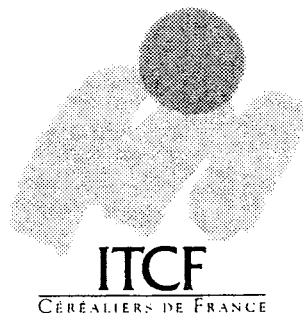
中間期の耕作に伴い土壌を被覆すること

緑の飼料趣意書（農業室-1990年7月）に意見を求めること。

この趣意書は，ノール-アグロおよびセーヌ-ノルマンディー水取扱所の金融協力で，セーヌ-マリティーム農業室および穀物飼料技術研究所により実現された。



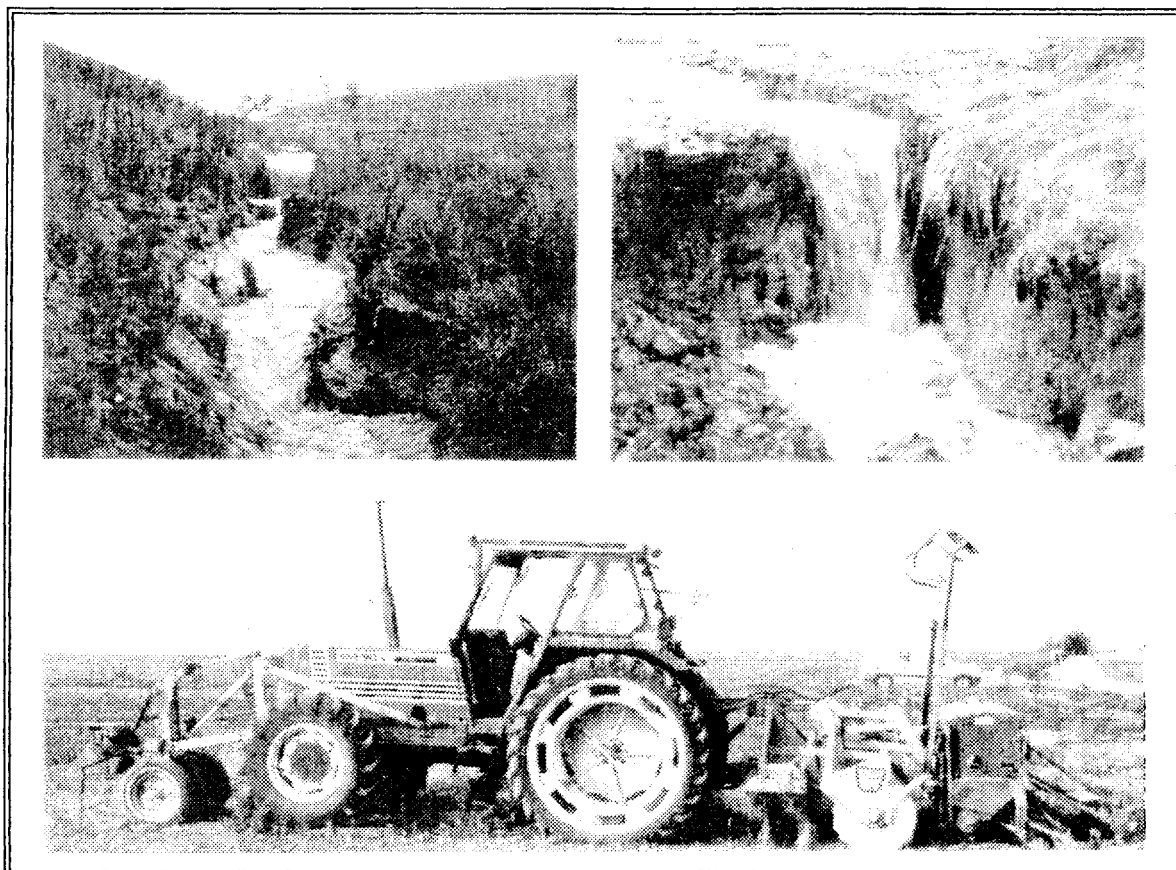
Chemin de la Bretèque
B.P. 59
76232 Bois-Guillaume
Tél. : 35 60 48 60



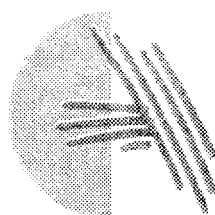
Chemin de la Bretèque
B.P. 50
76232 Bois-Guillaume
Tél. : 35 60 28 60

あなたは多くの情報に対してこれらの組織に問い合わせることができます。

競争的農業 と 環境



適応土壌の耕作により
侵食を抑制する



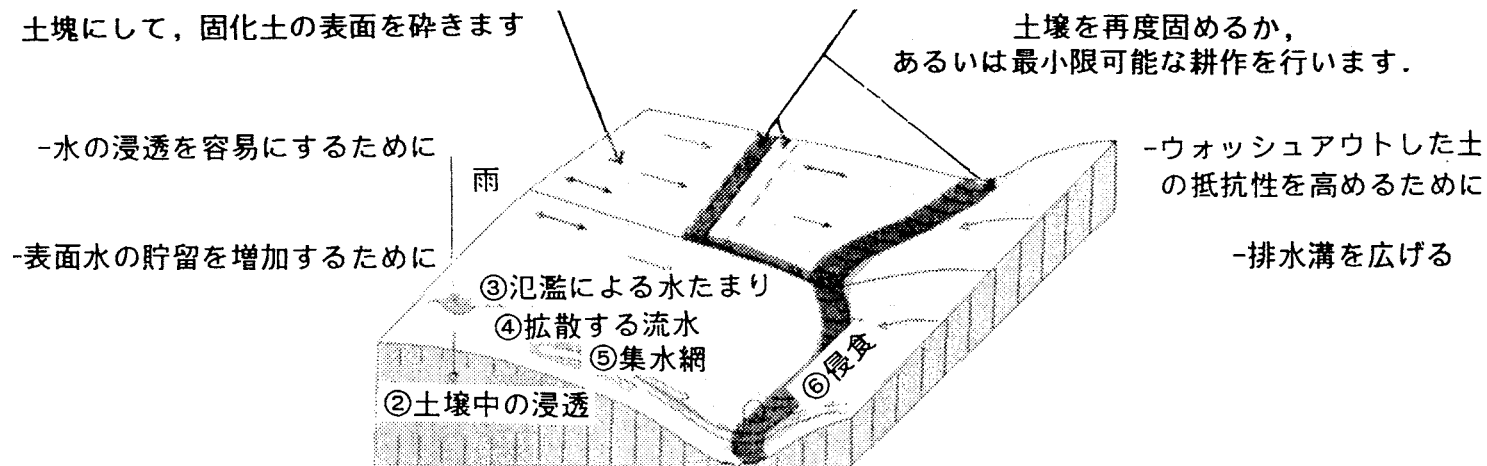
農業室

セーヌ マリティーム

侵食に対する戦いの原理のかなめ

斜面上の流水の生産地帯では：

川底と耕作地端の上の排水集中地帯では：



■ 侵食の危険地帯：斜面流域の土、1～5t/年/haの損失

J. Boiffin(INRA)によるオート(高)ノルマンディにおける侵食の単純化されたプロセス

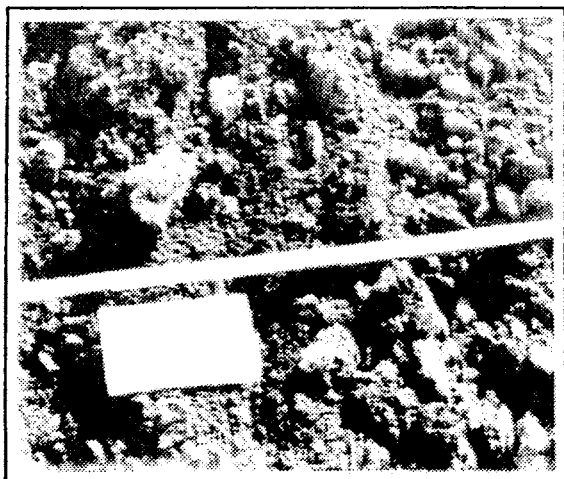
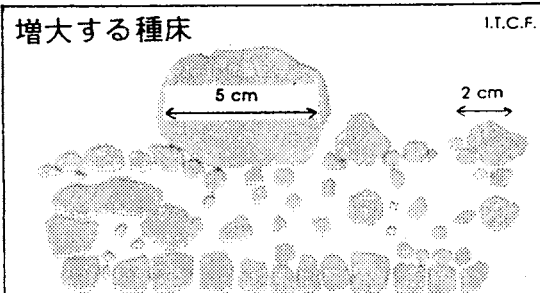
侵食の危険性は、裸地および剝削されたすべての農地の下流で、とくに11・12月ival de touteから3月に重要です(穀物の播種、刈株の掘り返し作業場)。

種床をよく準備します

種床を最小限に耕作しながら、塊状表面をつくりだします

凹凸の表面を最大限に保つ：

- 流水の出現を遅らせます
- 固化土表面の拡大を制限し、それで浸透を容易にして、
- 表面の大間隙を保ちます
- 水たまりを二倍あるいは三倍に、



再乾燥土壌上では、適応する材料を用いながら細片化を制限して流路数を減少します

固化泥土上では歯付きバイト(工具)が勧められます。

48時間以内に雨の予報がある場合には土地を耕しません

収穫後の土壌の耕作

多量の耕作の残りを伴う収穫作業場(穀類)。

表面で大変透水性の良い構造を保つマルチ保護をしておきます

作物を覆う1・2の流路により、収穫後直ちに、5～10cmの均一な混合物をえるために。

もし硬くなった土の表面が形成されたら、とくにすきべら工具で10月に再び行います

斜面の侵食を制限するために強い傾斜(>7/8%)上の土壌を耕作しないようにします

裸地を残す収穫作業場

車輪の跡およびわだちを消し、固化土の表面を砕きます

ヘラ付きすきは最も良い結果をもたらします

歯付バイト(工具)、は傾斜に直角な耕作に対して有用です

作物の覆いは固化している泥土(極細粒土)を止めます



傾斜に直角な土壌を耕作することは可能であり、flacageおよび浸透を容易にするために耕作期間に勤められます

排水地帯を異った方法で処理する



侵食に対する抵抗性を増加するために土壌を再び固化させること

小谷底と耕作地端で耕作期間中、残留物がわずかか無いかという状態の土を残します(わだちにとらわれず、穀物、取り去ったワラを伴う油菜、亜麻、豆、てんさい、とうもろこし)

冬の耕作あるいは再耕作された収穫の作業後、たとえば対になったトラクターの車輪の二筋によって水の排水帯を6～12mの幅で固化します。

土壌の耕作は、小谷中と斜面上とは異なっています

先立つ補足的な影響

- *石灰質および腐植質肥料(改良)の正しい使用によって、よい構造安定性を保たせます
- *秋に中間耕作をとりいれます(じゃがいもと豆の後); 農業室の小冊子-1992年7月を参照すること
- *水の集水地帯に草のはえた地帯を残すか、あるいは土地の氷結の場所をみつけます
- *透水性を大にして次の耕作の基礎を築きやすくするために耕作地の底(数十cm固化した)を除荷します

すべての利益のために侵食と戦う

農民はこのようにできます:

- 小農地の低地での満水と耕作地の損失を制限し、
- 土壌の肥沃性を保ち、
- 農業を混乱させる排水溝を作ることを避けます
(過度の耕作、物質の破壊、時間の損失)。

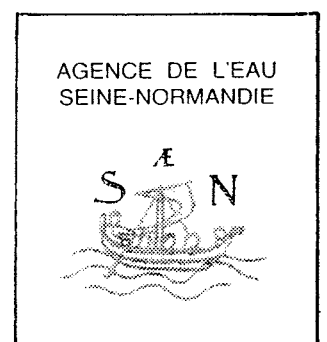
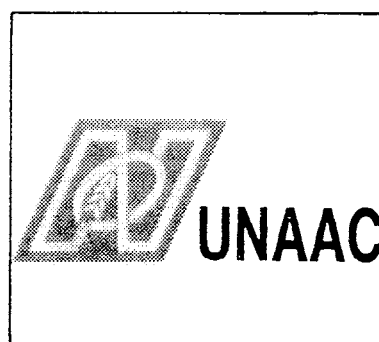
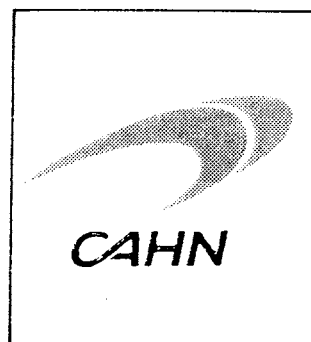
環境は次のことにより守られます:

- 村やごみすて場への泥の最小限の進入、
- 養殖者の生活を害する、河川でわずかな泥の堆積、
- 水面への泥水の浸透と天水池中の汚染物質の蓄積の減少: 汚染の最小限の損失
(濁水の原因のための集水の閉鎖)あるいは拡散(硝酸塩、農薬)。

この趣意書は、セーヌ-マリティーム農業室と
土壌研究・改良のための地域組織(以下の協力による)
のジャン-フランソワ ウブリーにより実現された。



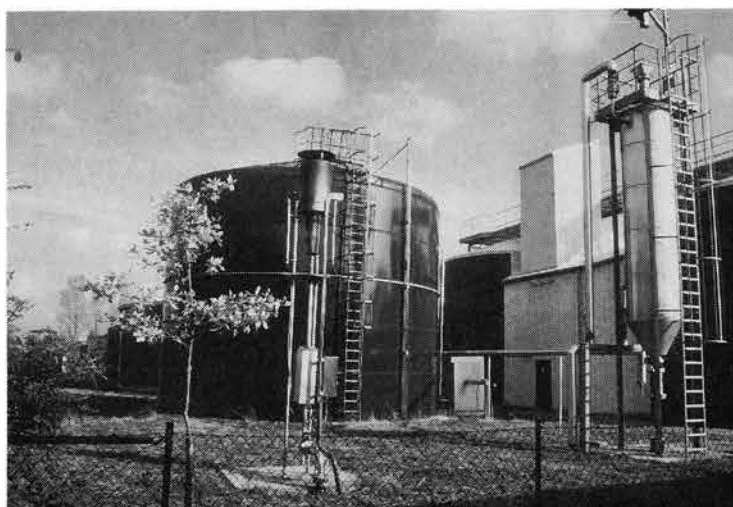
CONSEIL REGIONAL
DE HAUTE-NORMANDIE



1992年7月-全ての情報に対しては、以下に:

(八田珠郎 訳)

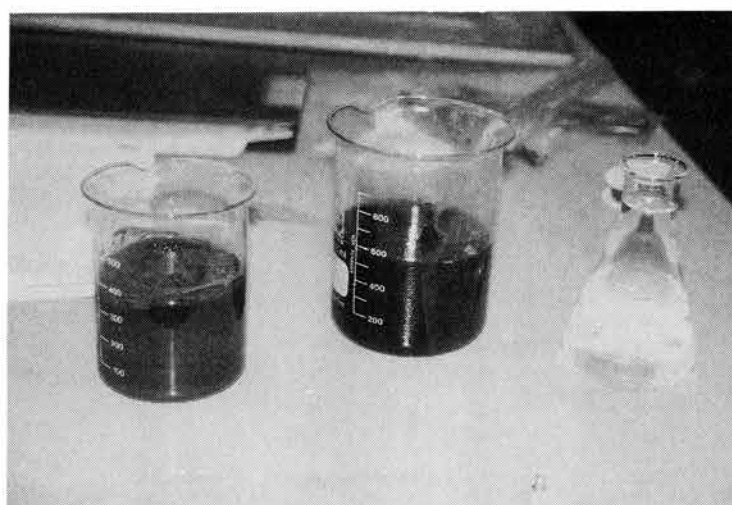
J.F. OUVRY - A.R.E.A.S. - 25, rue de Dieppe - SAINT-VALERY-EN-CAUX - Tél. 35.97.25.12
J.Y. BLOUIN Chambre d'agriculture - Bureau de SAINTE-MARIE-DES-CHAMPS - Tél. 35.56.62.29
M. MEYNIER Chambre d'agriculture - Bureau de CRIQUETOT-L'ESNEVAL - Tél. 35.27.28.33



酪農家から集めたふん尿をメタン発酵し、廃液は膜技術で処理している。



メタン発酵廃液を処理する逆浸透膜装置



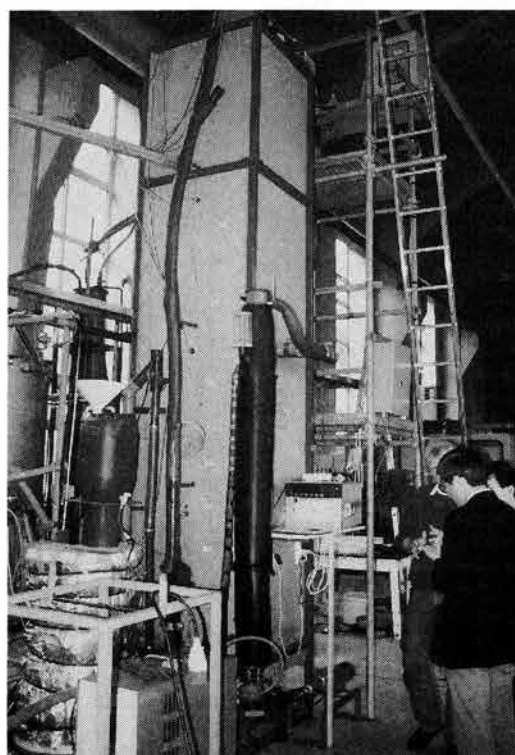
(左) 固液分離液 (中) 精密濾過液 (右) 逆浸透膜処理水



F A L 正門



技術部研究棟



好気-好熱処理実験装置

ド イ ツ

【ヴァイエン・シュテファン技術専門学校トリエスドルフ分校】



乳牛舎（シーメンタール種）



メタン発酵施設（左は木製、右はコンクリート製）

【水保護地域】





乳牛
ノルマンディー種



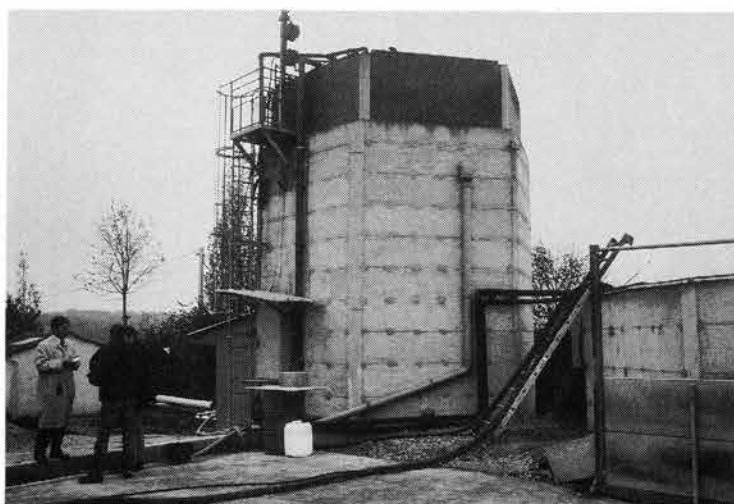
ミルク・パーラーの排水を沈殿槽に導き、上澄みはパイプで草地に散布。



堆肥場から出る廃汁を分離。



CEMAGREFの本館



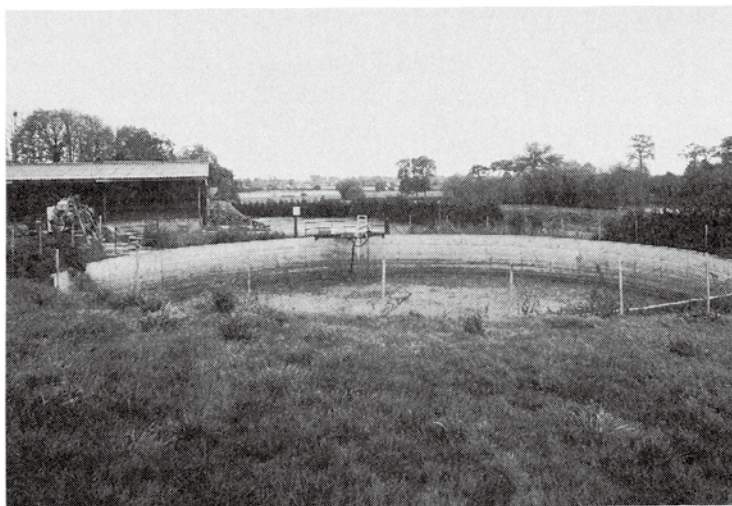
パイロット・プラントの深層曝気式活性汚泥処理施設



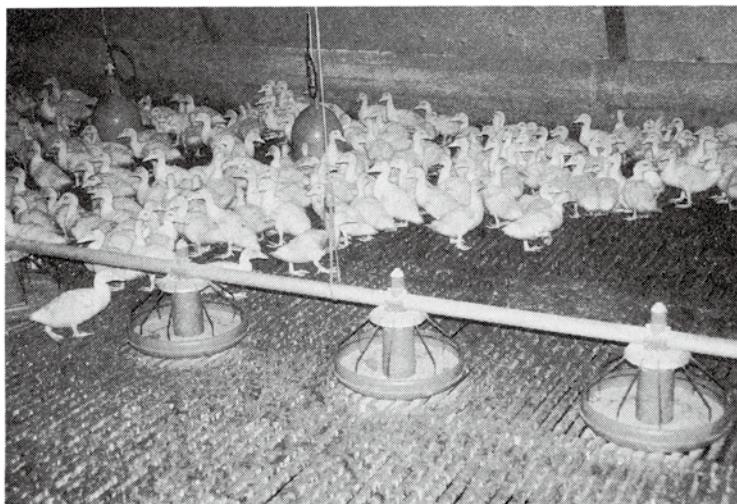
メムブラン型散気装置（微細気泡を発生させ、酸素の溶解効率を高める）



Cochet氏（右）が持っているのはスラリーの窒素分析装置（カントフィックス）



豚ふん尿のスラリー・ストア（時々攪拌はするが、曝気はしていない）



アヒル（ふんはスノコ下に溜り、出荷時に搬出する）

おわりに

ドイツとフランスの研究機関、農業会議所、農民連盟、農家などを訪問し、多くの方々から畜産環境問題に関する説明を受けるとともに意見交換を行った。本調査により、畜産環境保全に関する規制の状況及びそれに対する農家の対応の状況が把握できた。ドイツ、フランスのいずれの国においても、農地面積に見合った頭数の家畜を飼養することが基本となっており、環境汚染（とくに硝酸態窒素による地下水汚染）を防止するために、農地に投入されるふん尿の量をそれに含まれる窒素量によって制限している。州や地域によって多少の違いはあるが、現在のところ農地に投入できる窒素量は 200kgN/ha以下となっており、将来は 160kgN/ha程度まで基準値を下げるよう計画されている。この方針はEUの指令に基づき各加盟国で推進されているものであるが、政府機関や研究所だけでなく農業会議所や農家に至るまで極めて良く意志統一がなされていることが印象的であった。とくに、フランスで訪問した農家においては、スラリーを散布しすぎないために、その都度スラリー中の窒素含有率を測定して施用量を決めるという対策がとられており、農家を含めて環境汚染の防止に取り組む姿勢に感銘を受けた。

研究に関しては、両国とも家畜ふん尿を農地に施用することが基本となっているため、地下水汚染を生じさせない家畜ふん尿の利用技術、アンモニアや窒素酸化物の揮散を防止するための施用技術などの研究が中心に実施されていた。また、とくに畜産の盛んな地域などふん尿の負荷量が高い場合には、メタン発酵など農業利用以外の利用技術や汚水の浄化技術などの研究も実施されていた。印象的だったのは、これらの研究が基礎研究にとどまらず、いずれも現地あるいは実規模に近いパイロットプラントを用いて実施されていたことである。とくにドイツでは、それぞれシステムの異なるふん尿処理のパイロットプラントを7カ所に各々4億円から7億円をかけて建設し、実証試験により技術面並びにコスト面から総合的に評価するという極めて現実的な研究が実施されており、連邦政府の環境問題の解決に対する意欲が伺われた。

今回の調査では、ドイツ、フランス両国の畜産環境問題に対する制度的な取り組みや研究の推進状況などが把握できるとともに、両国の行政担当者及び研究者とも問題点を論議でき、極めて有意義であった。また、両国の畜産環境問題に関する最新の資料を多数入手することができた。これらの経験や情報が、我が国での今後の畜産環境保全対策並びに研究推進の一助になれば幸いである。