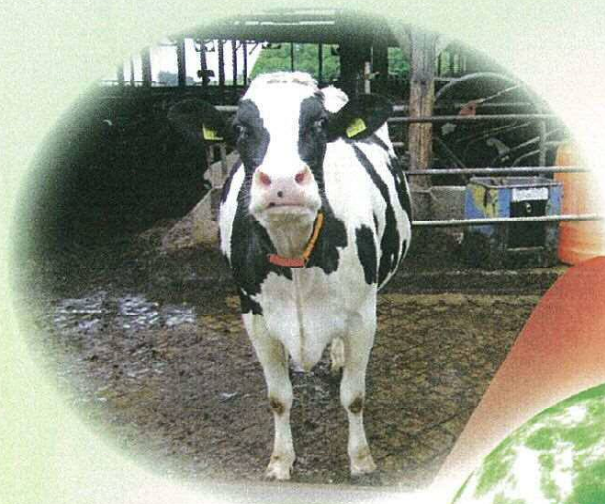


# 畜産環境情報

第54号

2014年10月



一般財団法人 畜産環境整備機構

# 畜産環境情報 <第54号>

## 目次

### 1. 環境中の窒素の流れと地下水の硝酸性窒素汚染

筑波大学 名誉教授  
田瀬 則雄 ..... 1

### 2. 臭気物質と微生物を運ぶエアロゾル

宇都宮大学 農学部 農業環境工学科  
教授  
池口 厚男 ..... 15

### 3. 長崎県の畜産環境対策の取り組みについて

長崎県 農林部 畜産課  
畜産経営班 係長  
堀 誠 ..... 25

### 4. 沖縄県の畜産と畜産環境対策について

沖縄県 農林水産部 畜産課  
経営環境班 主任技師  
鈴木 直人 ..... 31



# 環境中の窒素の流れと地下水の硝酸性窒素汚染

筑波大学 名誉教授

田瀬 則雄

## 1. はじめに

窒素(N)は、生命体にとって、炭素(C)、リン(P)、酸素(O)、そして硫黄(S)とともに必須な元素である。窒素は大気圏、水圏、生物圏での存在量が最も多く、上記の他の四元素の合計量よりも多い<sup>1)</sup>。しかしその大部分は大気中に窒素ガス(分子)すなわちN<sub>2</sub>として存在し、その総量は3.9×10<sup>21</sup>gであるが、99%以上の生命体は利用できず、ほんの一部の細菌類、根粒菌、藍藻などしか利用できない、いわゆる「反応性の低い」窒素(nonreactive nitrogen)が99%以上を占めている<sup>2,3)</sup>。

したがって、窒素の循環は、制限され、生態系を律速してきた。しかし、1913年

に始まったハーバー・ボッシュ法による工業的生産によりアンモニアおよびそれより派生する窒素化合物、すなわち「反応性の高い窒素」(reactive nitrogen)が環境へ大量に放出されるようになり、窒素の循環は大きく様変わりした。食料生産の増大など多大な恩恵をもたらしたが、富栄養化、地下水汚染などの負の影響も深刻となるとともに、化石燃料の燃焼に伴う窒素酸化物による大気汚染、酸性雨、源流域での窒素飽和の顕在化なども、大きな環境問題となっている(図1)。

本論では、窒素の動態を概観しながら、硝酸性窒素による地下水汚染に関する課題などについて考えてみたい。

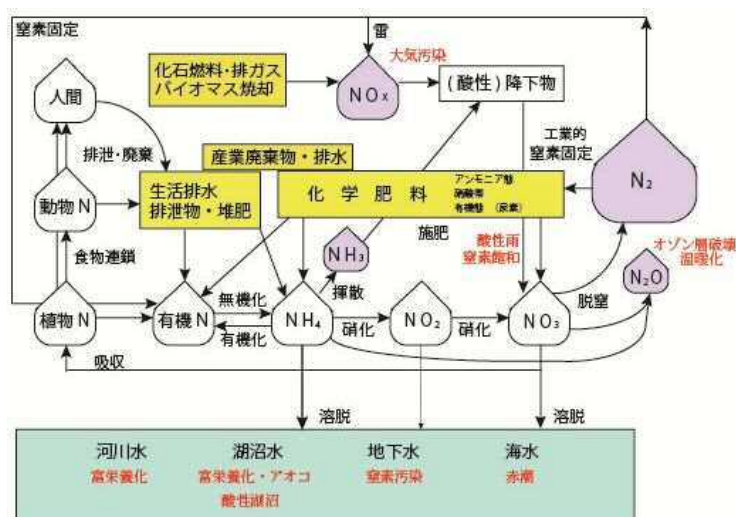


図1 環境中での窒素の流れの模式図

反応性の高い窒素の主な負荷源として化学肥料、家畜排せつ物、生活排水、産業排水、燃焼ガスなどがあげられ、それらから各種の環境問題が発生している。

## 2. 窒素の循環

### (1) 窒素の循環推測値

地球上の窒素の循環については、これまで多くの研究者<sup>4,5)</sup>により量的に評価されているが、Gallowayほか<sup>6)</sup>は1959年のErikssonから2013年のFowlerほか<sup>7)</sup>までの9つの推定を比較している。推測値には依然として大きな誤差が伴うが、最新の値<sup>7)</sup>では、陸上での窒素固定について、自然界で58TgN/年、耕地で60 TgN/年、また海洋では140TgN/年となっている(Tg=10<sup>12</sup>g=10<sup>6</sup>t(100万トン))。

### (2) 反応性の高い窒素の影響

これに対し、この50年で急増しているハーバー・ボシュ法による人工的な窒素固定は120 TgN/年となり、陸上での固定量と同等で、陸上では反応性の高い窒素が二倍になったことを意味している。

一方、脱窒は、陸上で109 TgN/年、海洋で100-280TgN/年となっている。大量に環境へもたらされた反応性の高い窒素は、いろいろな経路(システム)を、窒素の形態を多様に変化させながら循環し(図1)、窒素カスケード(nitrogen cascade)<sup>2)</sup>を形成している。ただし、単に循環しているのでなく、その量を増やしながら循環している加速的循環と表現するのが正しいかもしれない。

地球規模での循環量の詳細については、Fowlerほか<sup>7)</sup>などを参照していただきたい。また、循環量の増加に伴うひずみは、海洋での蓄積に来ており、国際的な対応の必要性が指摘されている。地球の温暖化が騒がれているが、地球の人為的壊変として最も大きな影響は今後も続くこの窒素問題とってよいかもしれない。

### (3) EUの窒素収支

なお、2011年にSuttonほか<sup>8)</sup>の編集による「The European Nitrogen Assessment」(ヨーロッパにおける窒素アセスメント)が出版され、インターネットでダウンロードできるようになっている。副題となっているSource, Effects and Policy Perspectives(窒素源、影響と政策的展望)にあるように、EUを中心に窒素問題に多面的、総合的にアプローチしており、参考となる。

水域への環境影響など現実の問題を考えるためには、地球規模より狭い国や地域、流域、あるいは圃場などのレベルで窒素の収支、流れを把握する必要がある。たとえば、EUについては、前述したSuttonほかの報告<sup>8)</sup>に詳細に記載されている。

### (4) 日本における窒素収支

日本については、国レベル<sup>9)</sup>、県レベル<sup>10)</sup>、流域レベル<sup>11)</sup>で数多くの調査事例がある。圃場レベルではさらに多くの事例<sup>12)</sup>がみられる。この中で、岩手県の事例<sup>10)</sup>は、県、地区、流域、圃場レベルでの窒素収支が示されている。

日本の窒素収支については、農業環境技術研究所<sup>13)</sup>が食料生産・消費を通じた窒素の循環に基づいて、環境への窒素の流出による水質影響を推定するモデル(窒素循環モデル)を作成している。この詳細はShindoほか<sup>14)</sup>に英文であるがとりまとめられている。

現在、日本の国土への窒素の流入量は約200万トンN/年(2TgN/年)でここ数十年ほぼ一定である。1980年代後半が流入量、流出量のピークで、食料・飼料の輸入、肥料の投入量が主要であるが、最近の後

者が減少し、前者が大きな部分を占めるようになっている。なお、2005年での作物・飼料輸入量は68万トンN、施肥量は55万トンNで、食料消費量は132万トンNである。そして環境(地下水及び河川)への負荷量は84万トンNと見積もられ、地下水の汚染、河川や湖沼、さらには海域の富栄養化を引き起こしている。

以上の収支は、窒素の全体的な流れを把握することはできるが、時空間的な偏り、ひずみを見ることはできない。たとえば、日本全体で家畜排せつ物を考えると、面積的には堆肥として全量を還元すること(その分の化学肥料の削減)が可能となる算定ができる<sup>15)</sup>が、実際には排せつ物を大量に発生する地域は限られており、輸送等の問題を考えると堆肥として供給可能な地域が限られ、その結果として供給量も限られ、何らかの処理が必要となるという現実がある。

したがって、どこで、どの程度の環境影響が発生するのかなどを具体的に考えるには、集中系での収支も重要であるが、分布系での窒素の流れ・動態の理解・認識が必要となるのは言うまでもない。

### 3. 窒素に関する環境基準

#### (1) 水質汚濁に関する環境基準

ここで、窒素に関係する環境基準を簡単に整理してみる。なお、定義や数値の記載には、日本水環境学会編集「日本の水環境行政改訂版」<sup>16)</sup>、環境情報センターのEIC ネット<sup>17)</sup>などの情報を利用している。

水質汚濁に関する環境基準には、人の健康を保護するための環境基準(健康項

目)と生活環境の保全に関する環境基準(生活環境項目)があり、前者は人の健康の保護のために定められる環境基準で、全国一律で公共用水域に適用される。生活環境項目は、生活環境を保全するうえで維持することが望ましい基準として設定された項目で、全窒素および全燐の基準は、植物性プランクトンの著しい増殖のおそれのある海域および湖沼について水域類型を指定して適用される。

窒素は健康項目と環境項目の両方に定められている唯一の物質である。人の健康を保護するための環境基準(健康項目)では水道水基準と同じ「硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素」で10mg/Lである。生活環境の保全に関する環境基準は、湖沼と海域で定められており、利用目的により類型化され、最も厳しい自然環境保全に該当する類型Iでは、全窒素で0.1mg/L以下、最も緩い水産3種・工業用水・農業用水・環境保全を目的とする類型Vでは1mg/L以下となっている。なお、公共用水域でない地下水の環境基準は、同様に「硝酸性窒素及び亜硝酸性窒素」として10mg/Lが設定されている。

#### (2) 亜硝酸性窒素の有害性

有害化学物質として、硝酸性窒素は、胃酸の弱い乳幼児の胃などではその一部が還元されて、亜硝酸性窒素となる。この亜硝酸性窒素が赤血球のヘモグロビンを酸化し、メトヘモグロビンに変化する。このメトヘモグロビンは酸素と結合できず、血液中の酸素が欠乏して、チアノーゼ、メトヘモグロビン血症を発症する。海外では死亡事例などが報告されているが、日本では発症事例が一例報告<sup>18)</sup>され

ている。また、体内でアミンやアミドと反応して、発がん性が疑われているニトロソアミンを生成することも報告されている。一方、生活環境項目では、窒素は富栄養化を促進する栄養塩とみなされている。上述のように窒素は本来不足する元素であり、湖沼の基準では1mg/L以下であるが、近年源流域では窒素飽和<sup>19)</sup>と呼ばれる渓流水濃度が1mg/L以上の状況が出現し始めている。

### (3) 健康項目と環境項目の基準値

以上のように、窒素は有害物質であると同時に、栄養塩ともみなされていて、それぞれの視点からのみそれらの基準値が設定されている。健康項目と環境項目の基準値には、10～100倍の違いがある。さらに、公共水域への排水基準(120mg/L)は環境での希釈効果を考慮してほぼ10倍に設定されているので、1000倍の違いが出ることになる。1000倍の濃度差は、環境中のシームレスな窒素の循環(カスケード)の中では調和的でなく、悪影響が出ることは避けられない。整合的に決められるべきコンセプトなり政策が必要であろう。

## 4. 窒素循環における地下水の役割

### (1) 地下水の役割

地下水汚染を取り上げる前に、窒素循環における地下水、地下水帯の役割を考えてみる。

地下水は、地表にもたらされた降水が最終的に海域へ流出するまでのプロセスにおいて、地下・地中での水の流動、貯留、そして水質の変質に関与する水体である。地下水は溶脱した窒素の運搬者であり、

貯留の場でもある。地下水は容量が大きく、滞留時間も長く、汚染されると窒素の貯留庫となり、汚染濃度は他の水体に対し高い状態となる。生物の生存場でもあり、地質条件なども関係して反応場になっている。水体での反応は、硝化と脱窒が中心となるが、地下水帯内では好氣的、あるいは嫌氣的条件が形成され、急激な反応が起こるホットスポット<sup>20)</sup>が見られる。とくに、地下水は河川、湖沼、湿地、海域などの水体と相互に水および物質の交換を行っている境界域で、このホットスポットが形成されることが多く、自然の浄化機能が働く場である。

水循環系を閉じた系と考えられる流域単位でとらえることが重要であると言われるが、それは水の流れを連続体として認識する必要性からである。すなわち、河川、湖沼、地下水、海域が相互に直接的・間接的に連結<sup>21)</sup>し、水そして物質を下流(水理ポテンシャルの低い方)へ輸送していく。その間に窒素の形態変化が周辺環境に応じて生起する。

### (2) 硝酸性窒素の変化

硝酸イオン( $\text{NO}_3^-$ )は、一般に酸化的、好氣的条件下の水中では、保存性物質として安定である。浅層地下水あるいは不圧地下水は、通常は好氣的で、窒素は硝酸イオンの形態で存在し、水とともに移動する。しかし、還元的、嫌氣的な条件下では、有機物(炭素)や硫化物などを電子供与体として、脱窒菌による脱窒により $\text{N}_2$ (一部は $\text{N}_2\text{O}$ )へ変化する。日本の場合、有機物を電子供与体とする反応が多いが、北米やヨーロッパでは硫化物である場合も多い<sup>22,23)</sup>。

## 5. 地下水汚染の実態と対策

### (1) これまでの経緯

硝酸性・亜硝酸性窒素による地下水汚染問題は必ずしも新しい問題ではなく、すでに1960年代にはかなりの地域で深刻な状況になっていたものと推測される。たとえば、1969年に行われた茨城県の調査<sup>24)</sup>では、全6,525地点のうち、36.4%が水道水基準値を超過していた。また、1982年に行われた環境庁の全国実態調査<sup>25)</sup>でも都市域を中心とした全1,083地点の10.7%が超過していた。このような背景の中、茶や果樹・野菜栽培地帯で、また

畜産や養豚地域で、急激な濃度上昇が顕在化し、大きな問題となり、社会的にも大きな関心を持たれるようになった。筆者はこれまでにいくつかのレビュー<sup>26,27,28)</sup>をしているので、実態、特徴などはそちらを参照していただきたい。

### (2) 汚染の実態

硝酸性窒素による地下水汚染は全国的なスケールで発生しており、汚染原因として窒素肥料の溶脱、家畜排せつ物および生活排水の不適切な処理が主要なものとしてあげられている<sup>29)</sup>。まさに、窒素循環、収支変化の弊害として発生している(図1)。

表1 環境省の概況調査<sup>29)</sup>による硝酸性窒素による地下水汚染の超過率の経年変化

平成 年度	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	合計
調査数(本)	1,685	1,945	1,918	2,654	3,897	3,374	4,167	4,017	4,207	4,288	4,260	4,122	4,193	4,232	3,830	3,895	3,361	3,238	3,240	66,523
超過数(本)	47	98	94	173	244	173	253	231	247	280	235	174	179	172	167	149	144	117	117	3,294
超過率(%)	2.8	5	4.9	6.5	6.3	5.1	6.1	5.8	5.9	6.5	5.5	4.2	4.3	4.1	4.4	3.8	4.3	3.6	3.6	5.0

(注) 平成6年度から10年度までは要監視項目として行われた測定結果をまとめたもので、超過率は現在の環境基準値を超過した数である。

表1は環境省が取りまとめている全国概況調査<sup>30)</sup>の19年間の結果を集計したものである。硝酸性窒素が環境基準に設定された1999年(平成11年)前後は大体6%前後の超過率で推移しており、最近では3%後半となっている。全期間の平均は5.0%である。また都道府県別のデータが掲載されている平成12~24年度の累計の超過率の状況を図2に、農林水産省の耕地面積当たりの家畜排せつ物発生量分布<sup>15)</sup>を図3に示したが、環境省が掲載している市町村別の汚染状況(最近の5年間の超過数)の分布図<sup>31)</sup>や、さらにはShindoほかの窒素収支モデルより8km×8kmメッシュで推定した河川水の全窒素濃度の分

布図<sup>14)</sup>(河川水の推定であるが、地下水についても同じ収支結果の配分なので、状況は同じとの私信)を参照・比較すると汚染の状況をよりよく理解できる。

都道府県全体での値なので、同県内でも集中している地域がある場合など数値として現れないこともある。概況調査は都道府県(市町村)により調査方法、調査数などは異なるので、現状を必ずしも反映していないところもあるが、超過率の高い都道府県は、それぞれの状況を反映している。首都圏の畑地面積が広く、野菜など集約農業が行われている、また畜産業も盛んであるなど、汚染源となるような活動が盛んな群馬、茨城、千葉、埼

玉は高い超過率である。果樹栽培、茶栽培、あるいは畜産業などが盛んな地域を含む府県は概して高い。しかし、静岡県、宮崎県、鹿児島県などは他のデータから想定されるより低い結果となっている。九州の県が低い理由の一つとして、降水量が多いこと、逆に香川県が高いのは降水量が非常に少ないことも水系汚染の場

合では挙げられる<sup>32)</sup>。

### (3) 汚染源対策

汚染源の同定・判別は、汚染源対策や修復に不可欠であるが、係争でなければ、必ずしも明確に汚染源の位置や汚染原因者を示す必要はないと筆者は考えている。これまでの各種の調査研究により、窒素肥料の溶脱、家畜排せつ物の不適切な処

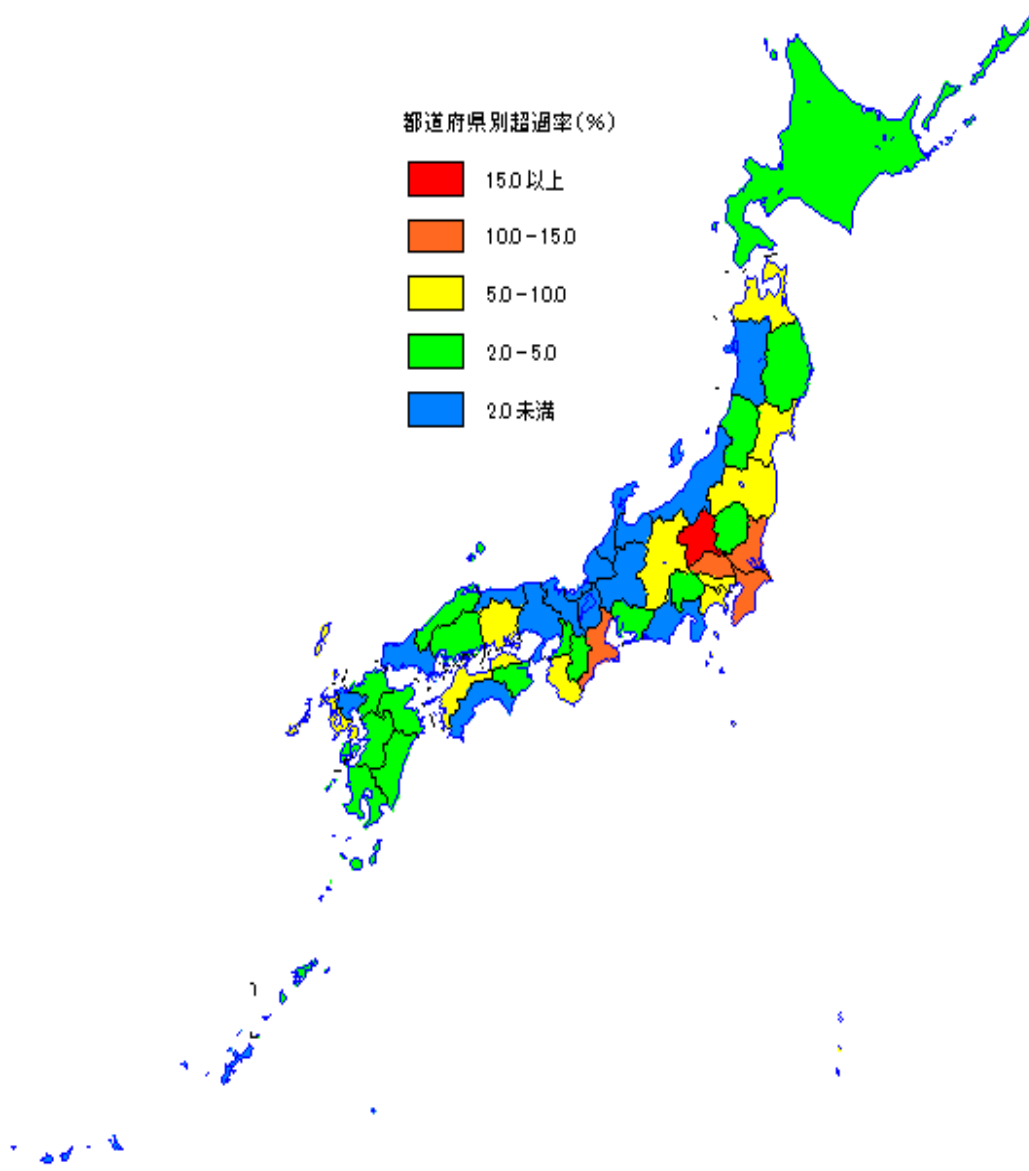


図2 概況調査に見る都道府県別の地下水の硝酸性窒素の超過率  
(環境省の「地下水質測定結果」平成12~24年度のデータ<sup>30)</sup>より筆者作成)



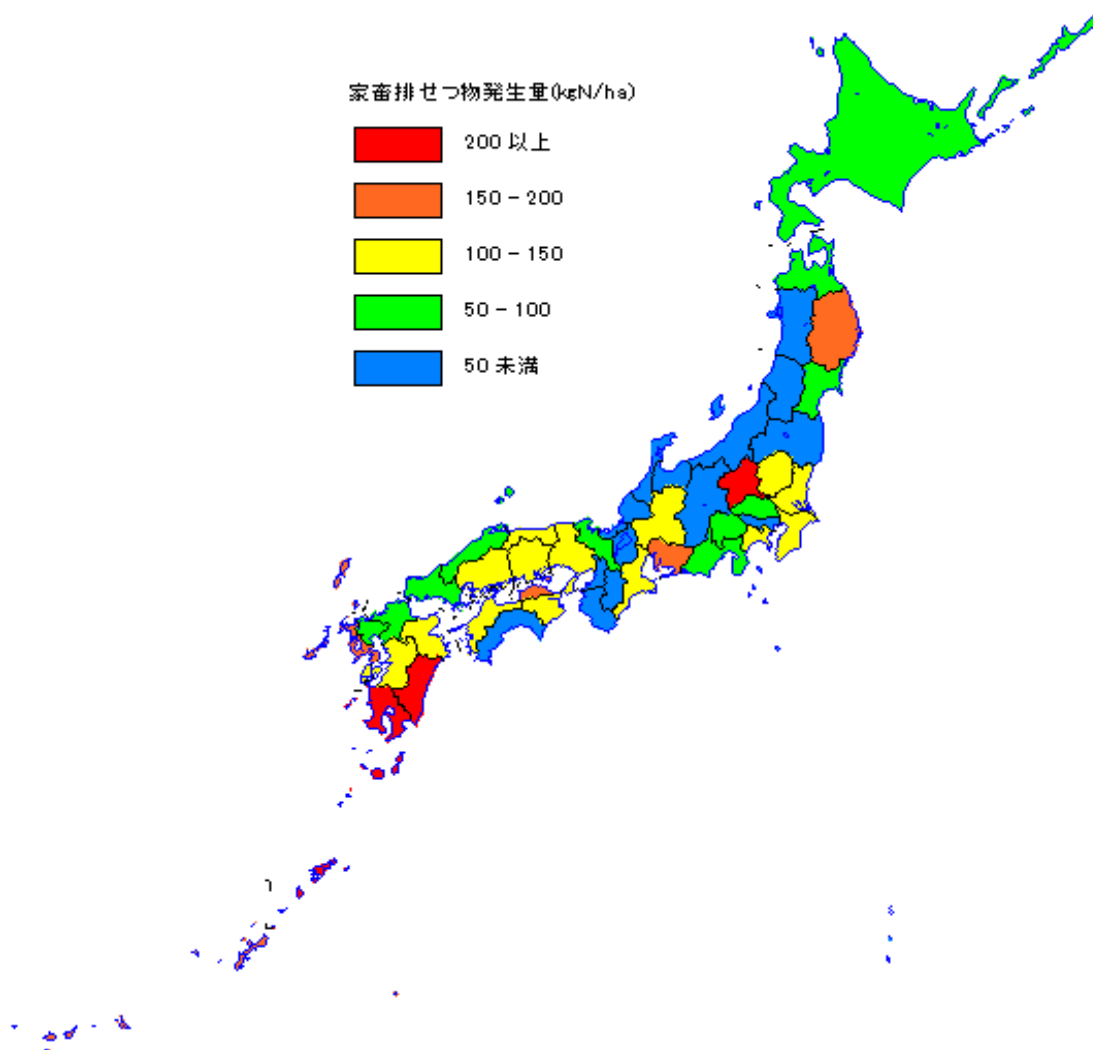


図3 耕地面積あたりの家畜排せつ物発生量（農林水産省のデータ<sup>15)</sup>より筆者作成）

理、生活排水の不適切な処理が主なる汚染源となることが明らかになっているので、汚染原因の判定は、周辺の土地利用状況と履歴、汚染地下水の水質組成の特徴、窒素（硫黄）などの安定同位体の値<sup>33)</sup>などを検討することにより、かなりの確度で3つの主要汚染源の状況を判断・判別できると考えられる。そして多くの場合、汚染原因者は単独でないこと、汚染行為が面的であることが多い。畑作地域では、複数の農家や農業法人が同様な生

産活動を行っている。畜産についても、多くの畜産農家や企業が集積し、畑地還元なども周辺で行っており、地域として対応しなければ解決、あるいは改善できない状況がある。

硝酸性窒素による地下水汚染における基本対策は未然防止、汚濁負荷源の削減であり、施肥基準の見直しや遵守、野積みや素掘りの禁止、高度処理合併浄化槽の導入・転換などが、産官学民一体となり、かなり推進されてきている。ただ

し、後述する負の遺産があること、土壌・地下水を介するため対策と効果の時間差が大きいこと、施肥基準を遵守しても溶脱を完全に止めることはできないという現実など、改善が急激に現れないかもしれないが、地道な努力が求められる。長年総合的な対策を行ない、成果を出している岐阜県各務ヶ原市での事例<sup>34)</sup>はこのことを示している。しかし、地下水の硝酸性窒素濃度を基準値以下にすれば、他の水域への影響がなくなるとは言いがたく、窒素汚染問題の難しい点を認識する必要がある。

#### (4) 地下水の浄化処理技術

汚染した地下水を浄化・修復することは可能であろうか？これまで環境省<sup>35)</sup>などが支援してきたプロジェクトで、いくつかの浄化技術が提案・試験されてきた。ほとんどの技術は水処理技術としては評価できるが、汚染した地下水を浄化する技術としては十分でないと思われる。すなわち、環境要素として面的に広がっている地下水汚染をいかに浄化するかという視点が足りないと思われる。コストなども含め、点的な浄化でなく、面的(立体的)な浄化技術を確立する必要があるからである。一部は、資金の都合から面的試験ができないという事情もあるが、少なくとも100m幅くらいの領域で浄化ができるようなコンセプトで検討されることを期待したい。

窒素の浄化は、生物化学的に硝酸イオンを窒素ガスへ変換する脱窒であるか、硝酸イオン(アンモニウムイオン)を植物に吸収してもらい、除去(収穫・伐採)するかである。前述のように地下水帯に

は、還元的な粘土層が存在すること、地下水の流出域、他の水域との境界域などは還元的な条件が成立することが多く、脱窒により硝酸イオンがほぼ完全に消失することもある<sup>36)</sup>。いわゆる地形連鎖、あるいは土地利用-地形連鎖(畑地である台地と谷地である湿地・水田の組み合わせ)は、地形・地質を利用して、水と窒素の流れをうまく制御するシステムである。ただし、これは自然条件なので、どこにでもあるのではなく、偏在しているので、その場やゾーンを特定する必要がある。また、当然ながらそれを移動したり、簡単に創造することは基本的にできない。しかし、汚染地下水を創造した(人工)湿地や水田へ導水し、浄化を進めている事例はある。

植生による浄化(bioremediation)は、湖沼の沿岸帯や湿地で、ヨシや水草を利用して、窒素を吸収し、収穫・除去などで行われているが、地下水については、深根性の樹木を利用して、毛管水縁付近の汚染地下水を吸収させるなどが検討されている。樹木を利用する最大の利点は安価にできることであるが、汚染地域の下流側に樹木帯をつくる土地が必要である。樹種としては成長が早く、深根性のユーカリは筆者らの調査では有望である<sup>37)</sup>。

## 6. 地下水汚染に関わる課題

今後、地下水汚染を改善していくために、次の3つの課題は、検討あるいは解決しておかなくてはならないと考えている。

### (1) 土壌中での窒素の蓄積

一つ目は、土壌中の窒素の蓄積、すなわち溶脱につながる窒素の土壌中での蓄積を定量的に評価することが、時間スケールを導入して防止対策などを実効的に行うために必要である。農学関係の分野では、作土層など表層1 m深くらいまでの窒素収支の調査研究<sup>12)</sup>が数多くなされているが、数m以深の地下水面までの蓄積量を評価した例は少ない。筆者らが調査した埼玉県入間市の茶畑の例<sup>38)</sup>では、表層より12mのローム層に1,000kg/10aの硝酸性窒素が蓄積していた。茶畑での地下水の溶脱量は36kg/10aであり、土壌中には30年分あまりの窒素量が蓄積していることになる。ちなみに、17年間無施肥であった同地区の栗林は、蓄積量が110kg/10a、溶脱量は1.1kg/10aであった。このように長年の農業活動などの結果は、土壌中あるいは地下水質に履歴として残っており、単に施肥量を削減するだけでは、短期間で改善を期待することができないケースもある。全国的なレベルでの実態の把握が必要であり、いずれ必要となる窒素の土壌環境基準の設定のための基礎情報にもなると考えられる。

## (2) 家畜排せつ物

二つ目は負の遺産としての素掘り処理跡の除去である。「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」(家畜排せつ物法)が成立する1999年以前は、家畜排せつ物発生量の10%が、野積み・素掘りなどで不適切に処理され、法律施行後は大きく改善され、一定規模以上の施設では、適切に処理されるようになった<sup>31)</sup>。

しかし、これまでに行われた素掘り跡

は基本的に存続しており、素掘りが流域の硝酸性窒素濃度に大きな影響を与えていること<sup>39)</sup>、また筆者らの調査<sup>40)</sup>のように小さな素掘りでも使用埋設後20年を経ても大きな汚染源となっていることを考えると何らかの対策を行う必要がある。農林水産省<sup>31)</sup>によると、1999年時点で約90万トンの家畜排せつ物が野積み・素掘りで処理されていたとのことであるので、その半分が素掘りとしても、それまでの数千万トンが依然として地中に蓄積していることになり、大いなる負の遺産である。小規模な素掘り跡については、埋設物の掘削除去が最も効果的で、経済的であると筆者は考えている。できれば、掘削したものを廃棄物として処理をするのでなく、堆肥として利用できれば、処理も容易になる。

## (3) 浄化槽

負の遺産はもう一つあり、浄化槽である。浄化槽は、下水道未整備地区のトイレの水洗化を促進するため導入された。し尿のみを処理する単独浄化槽はBOD処理を目的にしており、窒素やリンの処理は想定されていなかった。単独浄化槽は2001年4月1日以降は新設が禁止され、既設単独浄化槽の合併浄化槽への転換の努力が求められている。

現在(平成24年度末)でも450万基あまりの単独浄化槽が存在し<sup>41)</sup>、1基の使用人数を1.4人、窒素排出原単位9g/人/日とすると、年間約2万トンの窒素が依然として環境へ負荷されていることになる。ただし、旧型の合併浄化槽も窒素についてはほとんど浄化できないこと、単独浄化槽を利用している家庭は、家庭雑排水

も垂れ流しにしていると考えると、年間約5万トンの窒素が依然として環境へ負荷していることとなる。地下水汚染に対しては、相対的にその寄与は少ないと考えられるが、宮古島<sup>44)</sup>など特殊な条件下では、主要な汚染源となる可能性がある。浄化槽の排水は公共水域へ排出されることが多く、河川や湖沼の富栄養化などに寄与している可能性は否定できないと思われる。

#### (4) 地下深層

三つ目の課題と考えられるのは汚染メカニズム、特に深層への汚染経路の問題である。窒素の汚染源は基本的に地表あるいは地表近くの地中であるので、浅層の不圧地下水が汚染される。しかし、実際には100mに達するような深井戸、被圧地下水にも汚染が見つかることがある。

図4に示すように深層への経路としては、地表付近で溶脱した硝酸イオンが地下水の流れに沿って深層まで輸送される(a)、あるいは難透水層が不連続でその隙間を経由して透過浸透する(b)などが、自然の状況で想定される経路である。この場合、汚染の範囲はある程度広がっていることが考えられる。ただし、硝酸イオンが深層で酸化還元状態の変化に伴い変質を受ける可能性があるので、高濃度の硝酸イオンがそのまま深層へ到達するかは十分な検討が必要である。

他方、自然の経路以外に考えられるのは、井戸を介しての拡散である。その一つは、使用中の井戸のケーシング・遮水の不備(c)により、汚染されている浅層地下水と取水している深層地下水が水理的に連続し、揚水とともに汚染地下水を吸

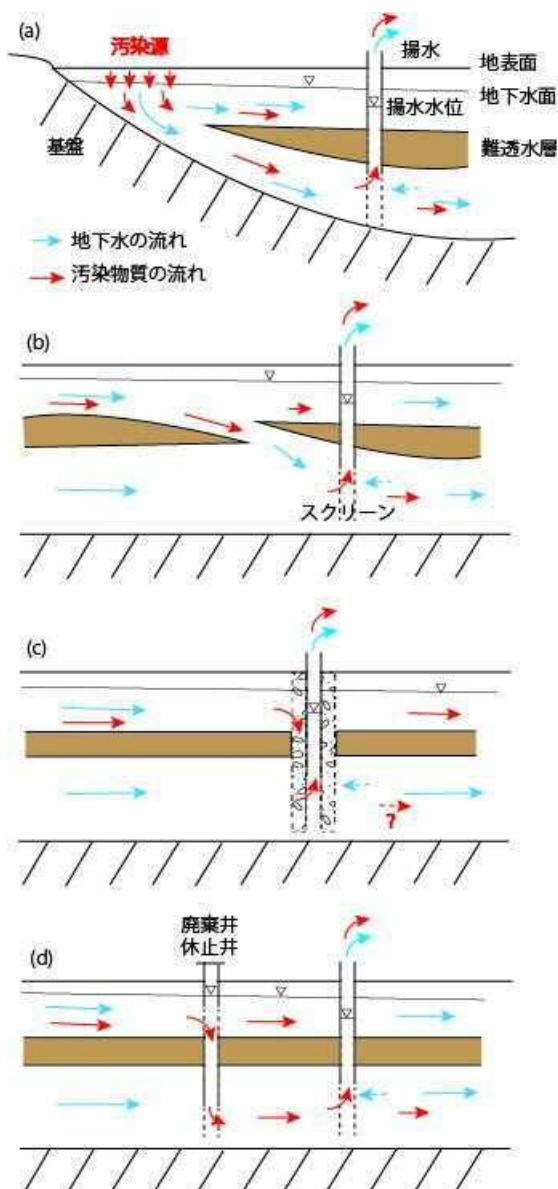


図4 汚染経路の模式  
(田口<sup>43)</sup>を参考に筆者作成)

引することになる。また、多層取水(とくに汚染している浅層地下水と深層地下水を取水するために複数のスクリーンを設置)している休止井戸あるいは廃棄井戸が輸送経路となる場合(d)があり、ケーシング・遮水が不備な場合はその効果はさらに顕著になると想定される。筆者の経験からすると、同じ地域でも民家の深



井戸での汚染は、公共の水源井に比べて多く、施工の不備が推察される場合がある。(c)の場合、揚水しているので、汚染のメカニズムは当該井戸近傍で閉じている可能性が高く、周辺への拡散は大きくない可能性が高い。

休止井・廃止井の場合は、現在の取水・揚水井との関係で、密度、揚水量、水位低下量などにより、影響範囲、拡散範囲が決まるものと考えられる。この問題は窒素だけでなく他の物質にも同様であるので、今後の検討が必要である。

汚染機構の解明そして予測にシミュレーションがよく使われるが、深層地下水の汚染をどのように評価するかは課題である。シミュレーションで汚染状況を再現しようとする、上記の状況をどのように考えるかにより、結果は左右されることになるが、現実では井戸の影響を考慮したシミュレーションはなされていないので、負荷源、負荷量の逆推定は難しいこととなる。むしろ浅層地下水の汚染状況(濃度、負荷源など)に整合させ、深層地下水については、汚染の範囲、散在性などから検討すればよいと考えられる。

## 7. おわりに

窒素ガスが人工的に固定できるようになって、まだ100年しか経っていないが、「反応性の高い窒素」の急激な増加、とくにこの50年間の増加は、地球上の窒素の循環を大きく変化させた。食料の増産など多大な恩恵をもたらしたが、一方で、多様で深刻な環境問題が生起しており、硝酸性窒素による地下水汚染はその一断

面であるに過ぎない。

恐らく、環境中を循環する「反応性の高い窒素」は地球規模では今後も増加し、一部は蓄積して行くと予測されるので、長期的な視点に立った国際的な協働が求められることになるであろう。

日本国内では、窒素の投入量が減少傾向にあるとは言え、使用や排出には地域的な偏りがあり、一部の地域では今後も環境の悪化、汚染の発生あるいは継続を防止できない懸念がある。

地下水汚染に関してはこれまでの経験、対策により改善の可能性は十分ある。すなわち、環境基準を超過する事例を減少させていくことはできる。しかし、地下水汚染を含めた環境中の窒素問題を根本的に解決するためには、一歩高い視点からの政策、対策が求められる<sup>44)</sup>。

## 参考文献

- 1) Mackenzie, F.T. (1998): Our Changing Planet: An Introduction to Earth System Science and Global Environmental Change, (変わりゆく我が惑星: 入門 地球のシステム科学と地球環境変化) 2nd ed. Prentice-Hall, Upper Saddle River, NJ.
- 2) Galloway, J.N. et al. (2003): The nitrogen cascade. (窒素カスケード) *BioScience* **53**, 341–356. (doi:10.1641/0006-3568(2003)053[0341:TN]2.0.CO;2)
- 3) 新藤純子(2004): 人間活動に伴う窒素負荷の増大と生態系影響. *地球環境*, **9**(1), 3-10.
- 4) Galloway J.N. et al. (2004): Nitrogen

- cycles: past, present, and future. (窒素循環：過去・現在・未来) *Biogeochemistry* **70**, 153-226.  
(doi:10.1007/s10533-004-0370-0)
- 5) Gruber, N., Galloway J.N. (2008): An Earth-system perspective of the global nitrogen cycle. (地球の窒素循環—地球システムとしての展望) *Nature* **451**, 293-296.  
(doi:10.1038/nature06592)
- 6) Galloway J.N. et al. (2013): A chronology of human understanding of the nitrogen cycle. (人類は窒素循環をどのようにとらえてきたか—その歴史) *Phil. Trans. R. Soc. B* **368**, 20130120.  
(doi:10.1098/rstb.2013.0120)
- 7) Fowler, D., et al. (2013): The global nitrogen cycle in the twenty-first century. (21世紀における地球の窒素循環) *Phil. Trans. R. Soc. B*. **368** 20130164;  
doi:10.1098/rstb.2013.0164
- 8) Sutton, M.A., et al.(ed) (2011): The European Nitrogen Assessment - Source, Effects and Policy Perspectives-. (ヨーロッパにおける窒素アセスメント—窒素源、影響と政策的展望) Cambridge Univ. Press, 664p.  
<http://www.nine-esf.org/ENA-Book>
- 9) 三輪睿太郎・織田健次郎・松本成夫 (2006)：わが国の食飼料供給に伴う窒素の動態に基づく環境負荷発生構造の解析. 日本土壌肥科学雑誌, **77(6)**, 627-634.
- 10) 岩手県環境生活部環境保全課(2006)：『平成17年度 岩手県窒素・リン環境許容量将来予測調査報告書概要版』(株式会社 日水コン、平成18年2月)  
<http://www2.pref.iwate.jp/~hp031501/dojo-tikasui/np/h17houkoku.pdf> 2014.8.3 参照
- 11) 森 邦広・青井 透・阿部 聡・池田 正芳(2002)：谷川岳を含む利根川最上流から利根大堰までの栄養塩濃度の推移と流出源の検討. 環境工学研究論文集, **39**, 235-246.
- 12) 小川吉雄(2000)：地下水の硝酸汚染と農法転換, 農文協, 200p.
- 13) 農業環境技術研究所 HP:  
<http://www.niaes.affrc.go.jp/techdoc/press/090818/press090818.html>, 2014.7.26 参照
- 14) Shindo, J., Okamoto, K., Kawashima, H. and Konohiro, E. (2009): Nitrogen flow associated with food production and consumption and its effect on water quality in Japan from 1961 to 2005. (1961~2005年の日本における食料生産・消費と関連した窒素の流れと水質に与える影響) *Soil Sci. Plant Nutr.*, **55**, 532-545.
- 15) 農林水産省 生産局 畜産部 畜産企画課 畜産環境・経営安定対策室(2014)：畜産環境をめぐる情勢  
[http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/meguru\\_jousei.pdf](http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/meguru_jousei.pdf), 2014.7.26 参照
- 16) 日本水環境学会編集(2009)：日本の水環境行政 改訂版. ぎょうせい, 288p.
- 17) EIC ネット. <http://www.eic.or.jp/>
- 18) 田中淳子ほか(1996)：井戸水が原因で高度のメトヘモグロビン血症を呈した1新生児例. 小児科臨床, **49(7)**, 1661-1665.
- 19) 古米弘明・川上智規・酒井憲司編著

- (2012): 森林の窒素飽和と流域管理. 技法堂出版, 144p.
- 20) 田瀬則雄(2006): 地下水流動系からみた地下水汚染問題ーホットスポット, ホットパス, ホットパスゾーンー. 筑波大学陸域環境研究センター 電子モノグラフ No.2, 17-23.  
[http://www.ied.tsukuba.ac.jp/wordpress/wp-content/uploads/pdf\\_papers/terc\\_em02/terc\\_em02\\_04.pdf](http://www.ied.tsukuba.ac.jp/wordpress/wp-content/uploads/pdf_papers/terc_em02/terc_em02_04.pdf)
- 21) 中山忠暢・渡辺正孝(2005): 霞ヶ浦流域での地下水が水・物質収支に及ぼす影響の再評価. 水工学論文集, **49**, 1231-1236.
- 22) 井岡聖一郎・田瀬則雄(2004): 茨城県筑波台地、斜面-湿地プロットでの地下水帯における硝酸イオンの還元場, 地下水学会誌, **46**(2), 131-144.
- 23) Böhlke, J.K., et al.(2002): Denitrification in the recharge area and discharge area of a transient agricultural nitrate plume in a glacial outwash sand aquifer, Minnesota. (ミネソタ州の融氷流水性砂質帯水層内の一過性農業系窒素プルームの流入域における脱窒) *Water Resources Research*, **38**(7), 10-1~10-26.
- 24) 斎藤功ほか(1972): 茨城県の生活用水の調査. 茨城県衛生研究所年報, 8号, 109-190.
- 25) 環境庁水質法令研究会編(1997): 地下水の水質保全. 100p, (社)土壌環境センター.
- 26) 田瀬則雄(2003): 硝酸・亜硝酸性窒素による水質汚染の現状と動向. 水環境学会誌, **26**(9), 546-550.
- 27) 田瀬則雄(2004): 硝酸・亜硝酸性窒素による地下水汚染の現状と動向. 環境管理, **40**(3), 255-263.
- 28) 田瀬則雄(2006): 硝酸性窒素による地下水汚染. 地下水技術, **48**(1), 31-44.
- 29) 環境省 水・大気環境局: 硝酸性窒素対策に関するパンフレット「未来へつなごう私たちの地下水〜気づいてますか? 硝酸性窒素汚染〜」  
[http://www.env.go.jp/water/chikasui/no3\\_taisaku/pamph/pamph\\_1.pdf](http://www.env.go.jp/water/chikasui/no3_taisaku/pamph/pamph_1.pdf)
- 30) 環境省水・大気環境局(〜2014)地下水質測定結果.  
<http://www.env.go.jp/water/chikasui/index.html>
- 31) 環境省水・大気環境局 (2014): 平成24年度地下水質測定結果.
- 32) 寶示戸雅之ほか(2003): 我が国農耕地における窒素負荷の都道府県別評価と改善シナリオ. 日本土壌肥料学雑誌, **74**, 467-474.
- 33) 三上英敏・高田雅之・三島啓雄(2009): 地下水硝酸汚染に係わる汚染源簡易判定の手順. 北海道環境科学研究センター所報, **35**, 27-34.
- 34) 各務原地下水研究会(1994): よみがえる地下水ー各務原市の闘いー. 京都自然誌研究会, 311p.
- 35) 環境省水・大気環境局 (2009): 硝酸性窒素による地下水汚染対策手法技術集.  
[http://www.env.go.jp/water/chikasui/no3\\_taisaku/tech.html](http://www.env.go.jp/water/chikasui/no3_taisaku/tech.html)
- 36) 菅原洋平・田瀬則雄 (2004): 台地末端部における硝酸イオン浄化ゾーンの3次元分布. 地下水・土壌汚染とその防止対策に関する研究集会第10回講演集, 383-390.

- 37) Tase, N. et al. (2014): Dynamics of water and nutrients around border of eucalyptus forest and sugar cane field in Rio Claro, São Paulo. (サンパウロ州リオクラールのユーカリ林とサトウキビ畑の境界付近における水および栄養塩類の動き) Workshop on “Water, Nitrogen, and Agriculture in the State of São Paulo, Brazil”, Univ. Tsukuba, Japan.  
<http://samerica.envr.tsukuba.ac.jp/kaken/Proceedings.pdf>
- 38) Okada, R., Tase, N., Tamura, K., Negishi, M. and Takagi, K. (1999): Fate of fertilizer from surface to groundwater —How much does it accumulate in the soil? —. (地表水から地下水への肥料成分の行方—その成分はどのくらい土壌に蓄積しているのか?)  
 In Proceedings of the International Symposium on Groundwater in Environmental Problems, Chiba University, 57–62.
- 39) 加藤 亮・志村もと子・黒田久雄・中 曾根英雄(2005): 素掘貯留池からの窒素排出負荷に関する考察. 農業土木学会論文集, **238**, 61-67.
- 40) 李 盛源・保坂亜紀子・田瀬則雄(2009): 家畜排せつ物の素掘り廃棄ピットが地下水水質に及ぼす影響. 日本地下水学会誌, **51**(1), 3-14.
- 41) 環境省(2014): 平成24年度末における浄化槽の設置状況等について(お知らせ). 報道発表資料, 平成26年1月31日  
<http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=17689>
- 42) 近藤洋正・田瀬則雄・平田健正(1997): 沖縄県宮古島における地下水中の硝酸性窒素の窒素安定同位体比について. 地下水学会誌, **39**(1), 1-15.
- 43) 田口雄作(1989): 深刻化する地下水汚染. 地質ニュース, **422**号, 63-65.
- 44) 田瀬則雄(2014): 流域スケールから見る窒素汚染対策—窒素の統合的管理に向けて—. 日本水文科学会誌, **44**(3), 147-154.



## 臭気物質と微生物を運ぶエアロゾル

宇都宮大学 農学部  
農業環境工学科 教授

池口 厚男

### 1. はじめに

畜産における重要な課題の一つは悪臭であり、畜産に対する苦情のトップを常に維持し続けている。飼養規模の拡大、宅地との混住化等、近隣住民の畜産に対する目は厳しくなっている。畜産農場から5 kmも離れた住民から悪臭苦情があり、それよりも農場に近い住民からの苦情がないという場合や、悪臭の苦情があり、農場敷地境界で悪臭防止法に基づき計測を行っても基準値以下しかないという場合が多々ある。これらのことは農場の悪臭の拡散が単なるガスの拡散現象のみではないことを示唆すると思われる。当然、悪臭が発生するタイミングとしての農場内作業や気象条件の要因が考えられる一方、エアロゾルによる悪臭成分の輸送という現象から説明がつく。畜舎で発生するエアロゾルには臭気成分が吸着し、エアロゾルが遠方まで風で運ばれて、そこで臭気がエアロゾルから発生するという報告がある<sup>1)</sup>。エアロゾルが臭気を拡散させる一つの媒体である。

2010年に宮崎県で発生した口蹄疫や高病原性鳥インフルエンザ等の家畜伝染病は畜産のみならず地域経済に大きな損害をもたらした。特に口蹄疫の伝播にはエ

アロゾルの関与が多数報告されている。家畜感染症の伝播は病原体が付着したバイオエアロゾルの拡散が一つの要因となっている。

上記のように悪臭、家畜感染症の伝播に関して、エアロゾルは共通の鍵になるものと考えられる。ここでは、畜産で発生するエアロゾルについて概説する。

### 2. エアロゾルについて

#### (1) エアロゾルとは何か?

エアロゾルとは気体中に浮遊する微小な液体または固体の粒子と定義されている。その生成過程の違いから粉じん(dust)とかフェーム(fume)、ミスト(mist)、ばいじん(smokedust)等の呼び方がある。気象学的には、視程や色の違いなどから、霧(fog)、もや(mist)、煙霧(haze)、スモッグ(smog)等に分類している。

性状は、粒径や化学組成、形状、光学的・電気的特性など多くの因子によって表され、きわめて複雑である。分子やイオンとほぼ等しい $0.001\mu\text{m}=1\text{nm}$ 程度から花粉のような $100\mu\text{m}$ 程度まで約6桁にわたる広い範囲が対象となる。

(2) 濃度と粒径

エアロゾル濃度の表現方法には、単位容積あたりの質量で表す質量濃度、単位容積あたりの個数で表す個数濃度がある。粒径測定一つをとっても、単一の方法はもとより同一の原理に基づく方法により全域を測定することは容易でない。粒径にも幾何学的粒径、電気移動度粒径、光散乱等価径、空気力学粒径等があり、それぞれ測定器が異なる。エアロゾルの形状は複雑かつ、不規則であるため、球や立方体のように単純に粒径を定義できない。決められた規則にしたがって測定した粒子の長さをそのまま粒径とした長軸径、短軸径、定方向径などがある(図1)。

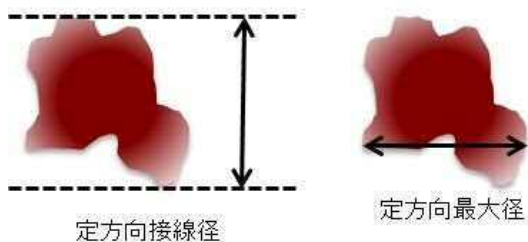


図1 定方向径

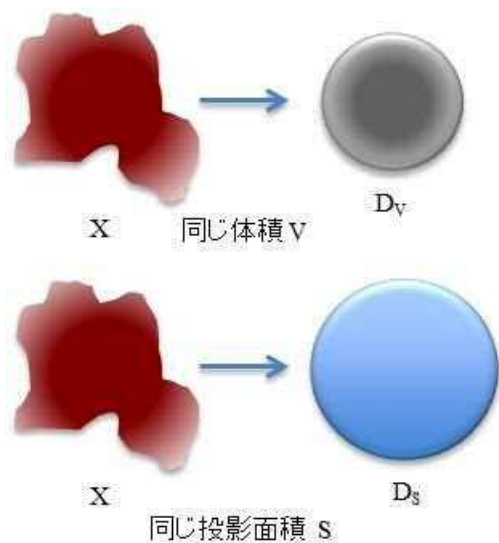


図2 相当径

粒子の投影面積、体積を幾何学公式を用いて円、球、立方体等の規則的な形状の粒子に換算してそれを粒径とする相当径というものがある(図2)。また、特定の物理的な条件を仮定したとき導かれる物理学的法則(例えばミー(Mie)理論)を用いて測定量を粒子径に算出する有効径がある。光散乱では図3に示すようにレーザー回析パターンで粒径を算出する。これが光散乱等価径である。

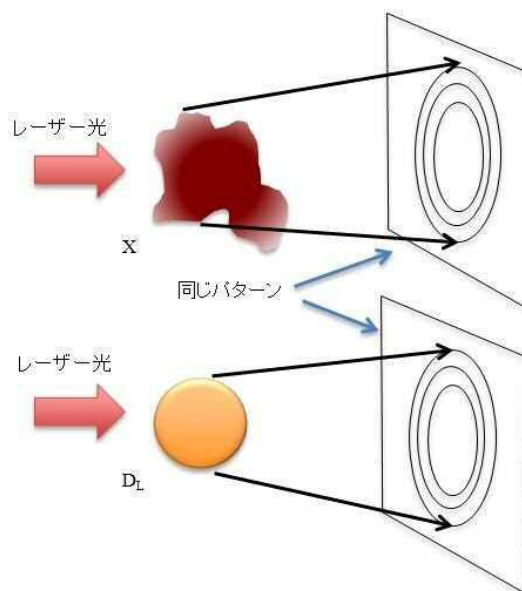


図3 光学的特性における有効径

(3) 伝播や拡散と粒径

家畜感染症の空気伝播や悪臭の拡散を考えた場合は、動力的な特性を考慮する必要がある。これには2種類あり、1つはストークス(Stokes)径と空気力学径である。Stokes径は、その粒子と同じ密度と沈降速度を持つ球の直径である。空気力学径は、その粒子と同じ沈降速度を持つ単位密度( $\rho_p = 1 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )の球の

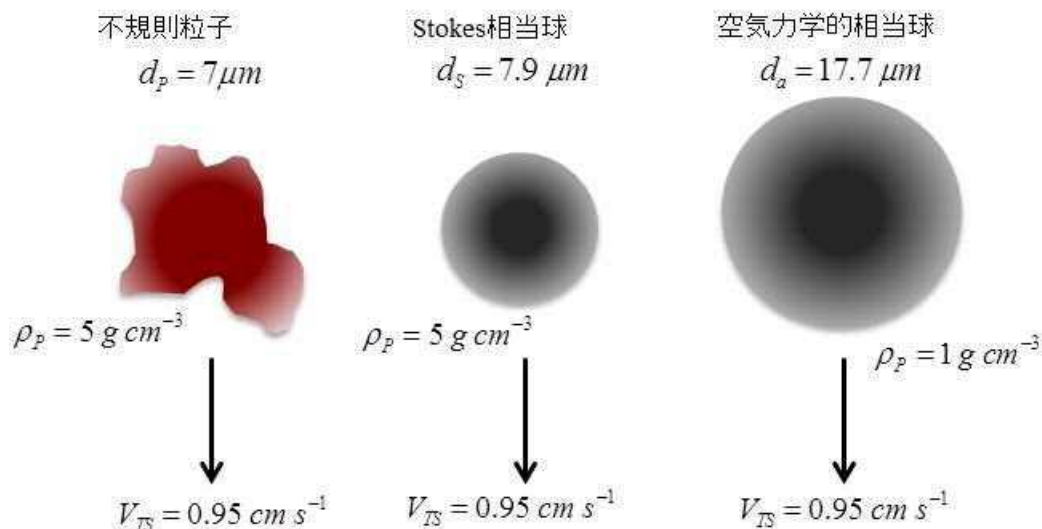


図4 空気力学的な有効径

直径である(図4)。これらの関係を式で表すと以下となる。

$$V_{TS} = \frac{\rho_b d_s^2 g}{18\eta} = \frac{\rho_o d_a^2 g}{18\eta}$$

$V_{TS}$ : 終末沈降速度

$\rho_b$ : 平均密度

$\rho_o$ : 単位密度

$d_s$ : Stokes 径

$d_a$ : 空気力学径

$g$ : 重力加速度

$\eta$ : 粘性

空気力学径は形状のみならず、密度についても基準化している<sup>2)</sup>。

### 3. 畜舎内エアロゾル

#### (1) エアロゾル研究のはじまり

畜舎内のエアロゾル研究は、約30年前に欧州で作業者の呼吸系の疾病と畜舎内のエアロゾルとの因果関係を調査するところから始まった。その後、欧米を中心に畜種、畜舎の換気システムと舎内のエ

アロゾル濃度の関係を調査した研究が多数報告されるようになった。それらの結果からエアロゾル濃度を低くする換気システムを見いだそうとした。また、畜舎内のエアロゾル濃度を低減させる研究として植物油の噴霧に関する報告が見られた。

#### (2) 豚舎

豚舎内でのエアロゾル濃度は  $1.3 \sim 23.5 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 、アンモニア濃度は  $5 \sim 12 \text{ ppm}$  程度である<sup>3)</sup>。豚舎内のエアロゾルの乾物は約87%で、そのうち約24%がタンパク質、約4%が脂肪、約15%が灰分である<sup>4)</sup>。これらは、餌、豚の体(ふけ等)、ふん等から発生すると言われており、餌が80~90%、ふんが2~8%、豚の体から2~12%の割合であると報告されている<sup>5)</sup>。

#### (3) 鶏舎

一方、鶏舎内でのエアロゾル濃度は  $1.2 \sim 17.6 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$  である<sup>6)</sup>。ちなみに建築物環境衛生管理基準でのエアロゾル濃度は

0.15 mg・m<sup>-3</sup>である。エアロゾル濃度の約90%が乾物であり、そのうちの約60%がタンパク質、約9%が脂肪、約4%が繊維である。これらの由来は、鶏の羽や皮膚であると言われている<sup>4)</sup>。一方、アンモニア濃度は2~47 ppm程度で、50 ppm以上になる場合もある。

(4) 微生物の濃度

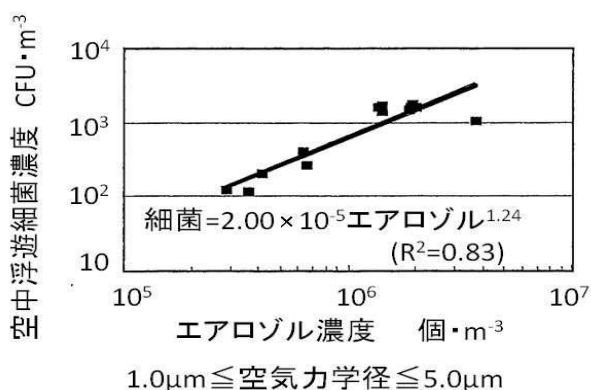


図5 無窓採卵鶏舎内のエアロゾル濃度と空気中一般好気性生菌濃度

無窓採卵鶏舎において空気中に浮遊している微生物濃度とエアロゾル濃度との間には高い正の相関関係があることが認められた(図5)<sup>7)</sup>。

病原体はそのままの形で空気中に浮遊していない。エアロゾルとして空気中に浮遊する。空気力学径で5mm以下の粒子はパッシブスカラーと呼ばれ、気流とともに動く。それより大きな粒径になると外力(重力)の影響を受けて気流とは異なった動きをする。エアロゾルの舎内の発生は動物の行動、生活リズムと密接な関係がある。これは飼養管理における作業と密接に関係するというのである。

図6に無窓採卵鶏舎の1日のエアロゾル濃度と空気中一般好気性生菌濃度の変動を示す<sup>8)</sup>。これを見ると明らかに照明が点灯と消灯、給餌が行なわれた時に濃度が高くなる傾向を示した。このことはエアロゾル濃度や微生物濃度を測定する際に測定者が動物の行動に与える影響を考慮しなければならないことを示している。逆にエアロゾル濃度の制御を行なう場合、濃度が高くなる作業、動物が行動をするときに制御機を作動させると濃度のピークを抑えることができることを示すものである。

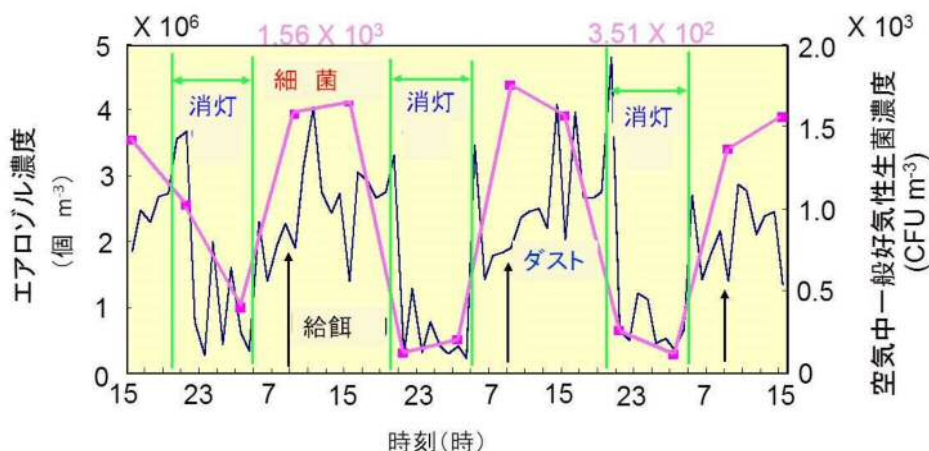


図6 無窓採卵鶏舎内のエアロゾル濃度、空気中一般好気性生菌濃度の日内変化



#### 4. エアロゾルの拡散

##### (1) 畜舎の換気方式

エアロゾルの畜舎からの拡散は、舎外気象条件や畜舎が建設されている地理的な要因に左右されるのは当然であるが、畜舎の換気タイプによっても大きく影響される。畜舎の換気方式は自然換気と換気扇を使用した強制換気の2種類があり、各換気方式によって畜舎の構造が異なる。前者は開放型と呼ばれ側壁部に開口部(窓等)がある。牛舎では、ほとんど柱のみで、屋根と柱だけという場合もある。後者は閉鎖型で開口部がなく無窓畜舎と呼ばれる場合もある。養鶏や養豚に多く用いられている。これらの折衷型もある。閉鎖型で陰圧換気の場合は排気空気の出る場所が特定できるので舎内で汚染され

た空気をトラップする方策をたてやすい。しかし、開放型の場合、自然換気であるため舎外の風や天候に影響され、入排気の位置が特定できないため汚染空気のトラップは困難である。また、畜舎形状や周辺状況によって汚染空気の舎外への拡散が異なってくる。

開放型フリーストール乳牛舎、開放型豚舎、閉鎖型2階建ブロイラー鶏舎の各建物からの汚染空気の拡散を明らかにするため風洞模型実験を行ったのでその内容を紹介する。

##### (2) フリーストール乳牛舎

フリーストール乳牛舎は図7に示すように一般的にオープンリッジ、セミモニター、片流れの3つの屋根形状がある。

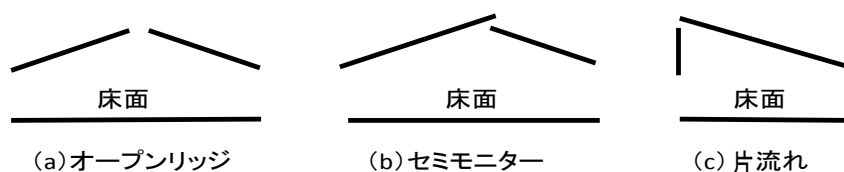


図7 開放型フリーストール乳牛舎の屋根形状(立面)

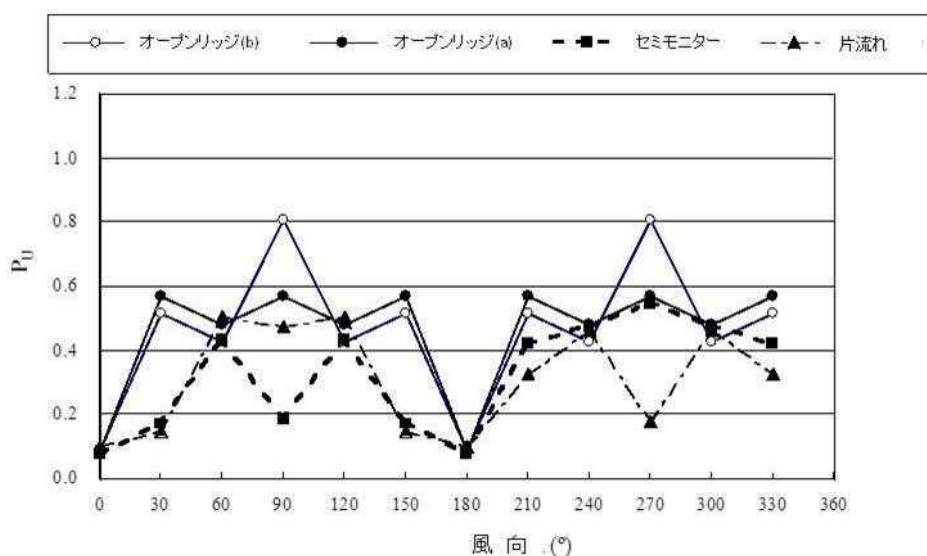


図8 フリーストール乳牛舎の屋根形状の違いによる拡散する度合いの違い

風洞模型実験では等温条件、汚染物質は空気とともに動くパッシブスカラーと仮定した。汚染物質のマーカールは問わず、気流の抜ける量で評価を行った。屋根形状によって舎内から舎外への拡散する量が異なり、舎内から舎外への拡散が大きい順は、オープンリッジ、セミモニター、片流れであった<sup>9)</sup>。図8は棟高きの2倍の距離風下側に離れた位置での拡散されうる度合いを表したものである<sup>11)</sup>。屋根形状や風向によって拡散の度合いが異なることがわかる。これは屋根の形状の違いが後流の形態の違いや外気の流入量に影響したことが原因であった。オープンリッジは風向の影響を最も受けた屋根形状であった。

### (3) 開放型豚舎

前述した(2)と同様の仮定をおいた場合、開放型豚舎では図9に示すように風上側に豚舎の棟高きの3倍の距離に高さが軒高さと等しい防風壁を設置すると、外風が防風壁により跳ね上がり、風下側から風上に向かって後流が豚舎内に流入し、中の空気を風上側に出すという経路を取る。防風壁と豚舎の間に、舎内から速度の遅い気流が出てくるので、この場所に臭気が停滞することが予測される。したがって、スプリンクラー等をこの箇所に設置し、気象データと連動させることで、農場内で臭気をトラップすることが可能となる(図10)<sup>10)</sup>。

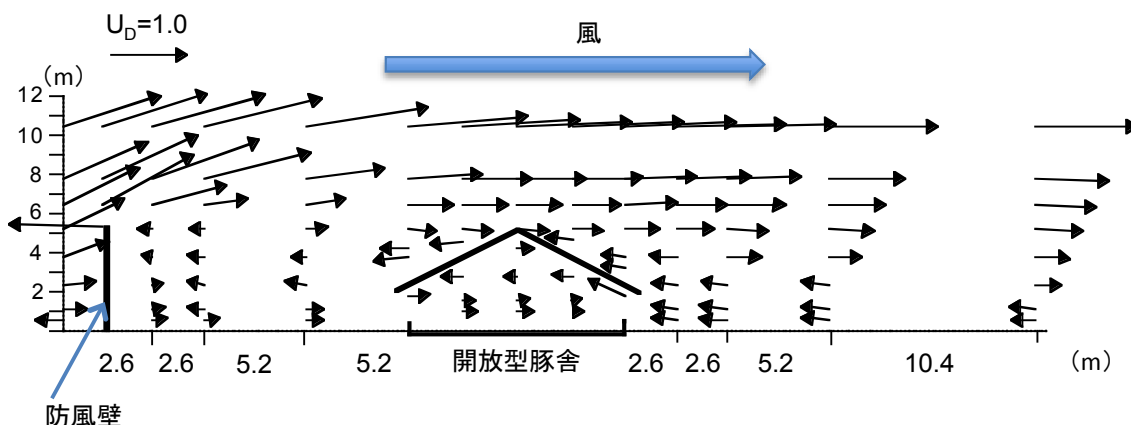


図9 風上に防風壁がある場合の開放型豚舎内外の無次元気流速分布

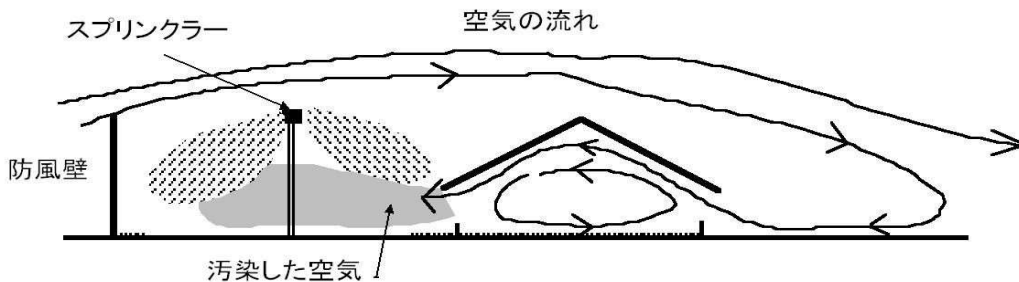


図10 風上に防風壁を利用した対策技術の例

#### (4) 2階建閉鎖型ブロイラー鶏舎

非等温条件、汚染物質のマーカースとして空気と比重が同じであるエチレンを用いた風洞模型実験を行った。図11に示すような2階建閉鎖型ブロイラー鶏舎において最も拡散量が多いケースは、2階から汚染物質が放出され、排気ファンが風下を向いた場合である。

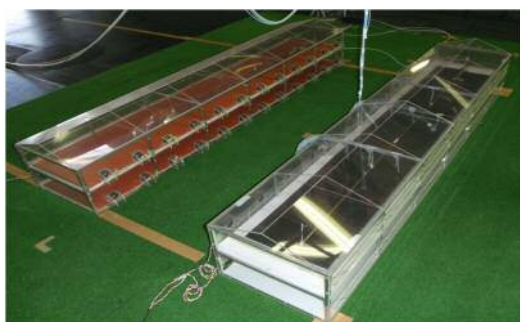


図11 2階建無双ブロイラー鶏舎模型

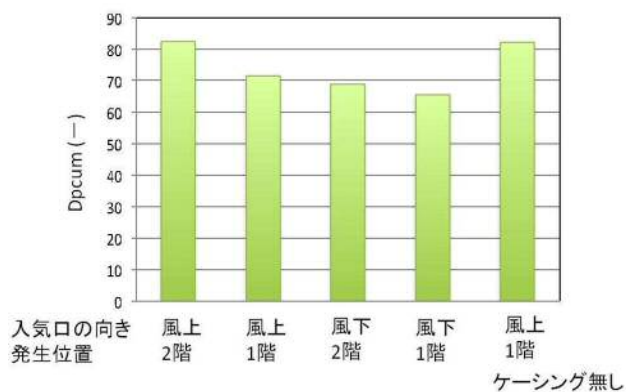


図12 模型鶏舎の棟高さの10倍までの距離の汚染物質の拡散量  
(Dpcum: 鶏舎から風下のある距離までの積算の拡散量)

最も少ないのは、1階から汚染物質が放出され、排気ファンが風下に向いている場合である。汚染物質が発生する位置の影響は、1階で発生した方が拡散量は少

ないことが言えた。入気口の方向は入気口が風上を向いている場合のほうが拡散量は多くなった。入気口が風下を向いている場合は、発生源が風下であっても、風上側の鶏舎に汚染物質が到達する可能性が考えられる。排気ファンにケーシングがないと拡散量が多くなった(図12)。

### 5. 畜舎間での伝播

前節と同様に風洞模型実験によって畜舎間で汚染物質が伝播する量を計測したので紹介する。隣接する畜舎に対しては、畜舎間の距離によって発生した病原体等の汚染物質の侵入量が異なった。前節の(3)の開放型豚舎、(4)の2階建無窓鶏舎それぞれに対してエチレンをマーカースとし、畜舎間の距離を要因として風洞実験を行った。

#### (1) 開放型豚舎間の伝播

ここで興味深いことは、風下で発生した汚染物質は風上側の畜舎に侵入するという結果が出た事である(図13)。侵入量は畜舎間の距離によって異なり、棟高さの3倍の距離が離れていると、棟高さと同じ距離だけ離れた場合と比較し、100倍も侵入が少なくなる。畜舎間の距離が棟高さと同じである場合は、発生濃度の約1%の濃度が侵入された畜舎内で確認された<sup>11)</sup>。

#### (2) 2階建閉鎖型鶏舎間の伝播

実験因子は畜舎間距離と発生位置である。畜舎間距離は、棟高さ(H)を基準に、その1(1H)、2(2H)、4(4H)倍の3水準とした。発生位置は、風上、風下の各建物の1階と2階の各室の4カ所の4水準とした。

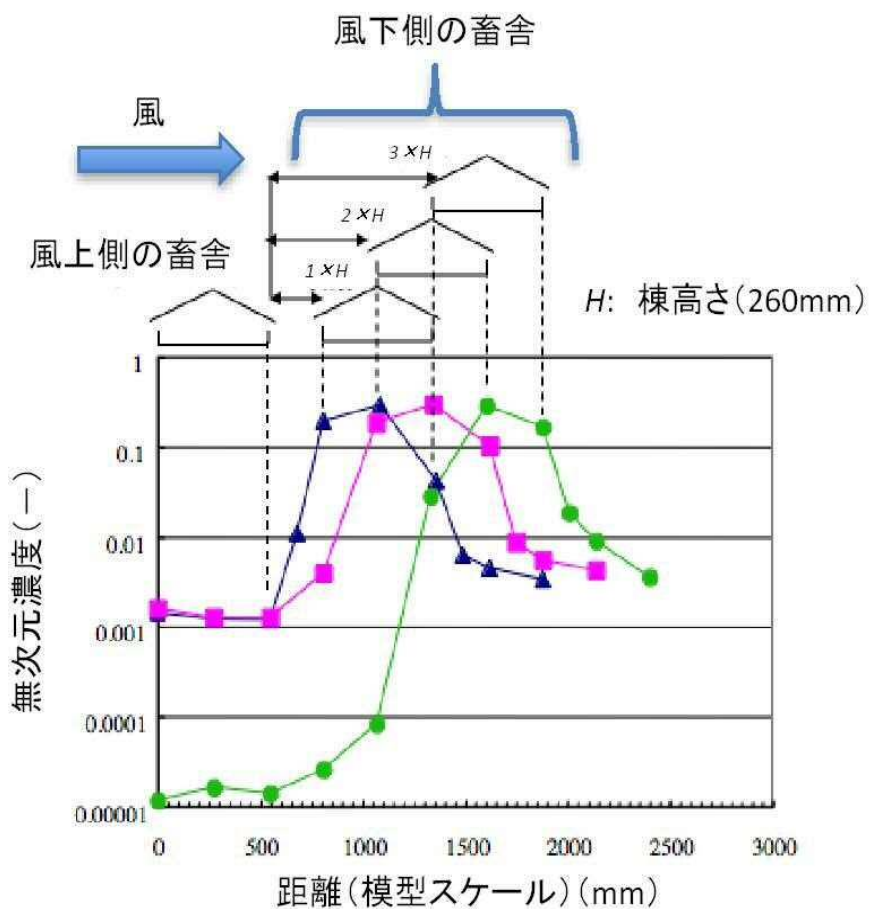


図13 風洞模型実験による畜舎間の汚染物質の伝播(汚染物質の発生は風下側の畜舎)

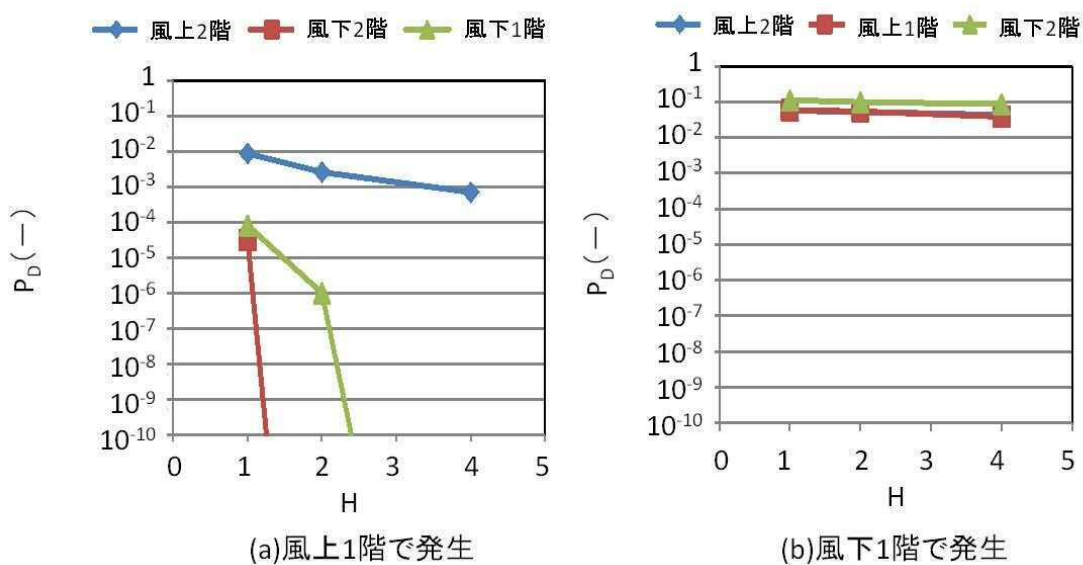


図14 閉鎖型鶏舎における畜舎間距離、発生位置の違いによる各室の侵入濃度



風下の建物から発生した場合のほうが、風上の建物から発生するよりも隣接の建物の室に侵入する割合は高くなった。例えば風下の1階で発生すると風上の建物の1階、2階の室の濃度は発生濃度の $10^{-2}$ の濃度となるが、風上の建物で発生した場合は、 $10^{-6}$ から $10^{-3}$ の濃度となる(図14)。畜舎間距離が長くなるほど侵入した濃度

は低くなった。本条件で最も伝播量が低くなったのは、発生源が風上の建物の1階で、畜舎間距離が $4H$ の場合であった。舎外への拡散量は、畜舎間の空間で多く、風上の建物から $6H$ の距離を離れるとどの条件でも同程度の拡散量となることが明らかになった(図15)<sup>12)</sup>。

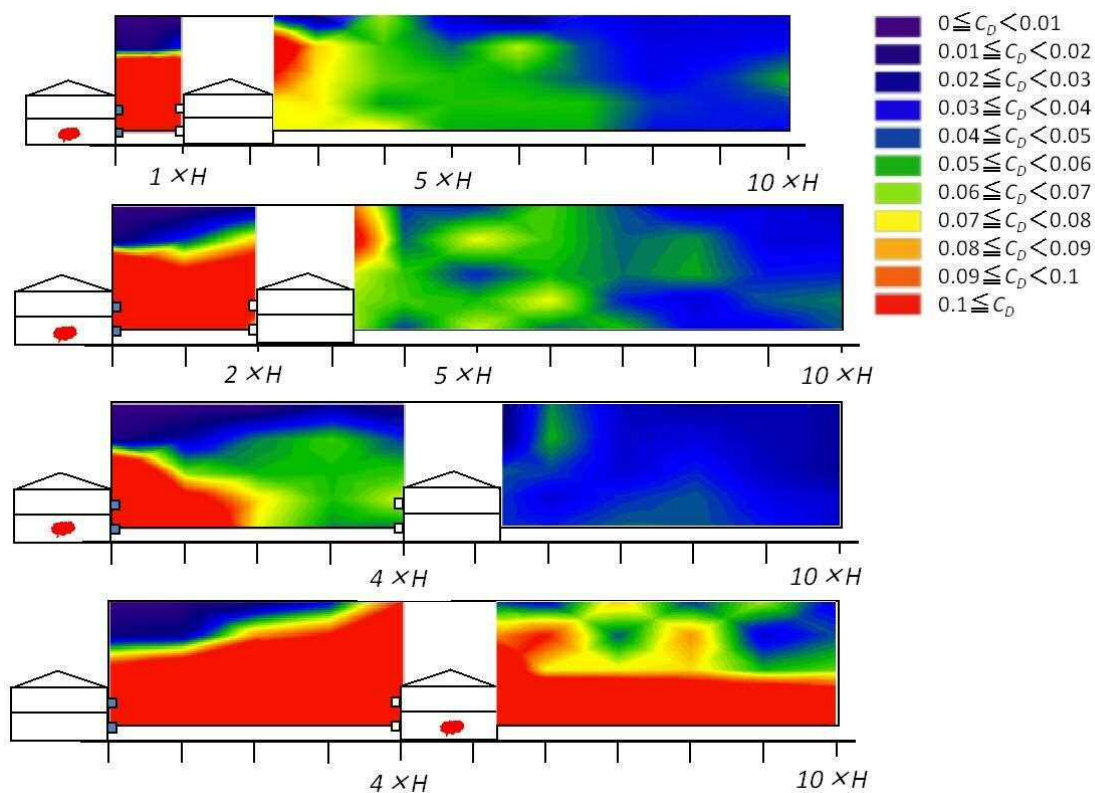


図15 鶏舎間距離、発生位置による舎外への拡散性状

引用文献

- 1) Bottcher, R.W. 2001. An environmental nuisance: Odor concentrated and transported by dust. (環境被害; ダストによって濃縮され運ばれる悪臭) *Chemical Senses*, **26**(3), 327 - 331.
- 2) ウィリアム C. ハイน์ズ. 1985. エアロゾルテクノロジー. (訳) 井上書院. pp 52.
- 3) Robertson J.F. et al. 1993. Dust and Ammonia Concentrations in Pig Housing: The Need to Reduce Maximum Exposure Limits. (豚舎のアンモニアとダスト; 最大曝露限界を低減する必要性) *Proceeding of Fourth International Livestock Environment Symposium*.

- 694-700.
- 4) Dawson, J.R., 1990. Minimizing Dust in Livestock Buildings: Possible Alternatives to Mechanical Separation. (畜舎のダストの低減; 機械的分離に替わるものの可能性). *J. agric. Engng Res.* **47**, 235-248.
  - 5) Riskowski, G.L. 2003. Overview of methods to reduce odorant emissions from confinement swine buildings. (豚舎からの臭気揮散を低減する手段の概要) University Illinois Pork Industry Conference Swine Odor and Manure Management.
  - 6) Whyte R.T. et al. 1993. Air Pollutant Burdens and Respiratory Impairment of Poultry House Stockmen. (ハウス養鶏業者の大気汚染負荷と呼吸被害) Proceeding of Fourth International Livestock Environment Symposium.
  - 7) Ikeguchi, A. 2001. Relationship between Airborne Bacteria and Dust Concentration in Layer House. (採卵鶏舎における大気中の細菌とダスト濃度の関係) Proceeding of Sixth International Livestock Environment Symposium.
  - 8) Ikeguchi, A. 2002. Ultra sonic sprayer controlling dust in experimental poultry houses, (超音波式散布機による実験鶏舎のダストの制御) *CIGR E-journal* Volume 4, manuscript BC 01 002 : 1-10.
  - 9) Ikeguchi, A. and Okushima, L. 2001. Airflow patterns related to polluted air dispersion in open free-stall dairy houses with different roof shapes, (型式の異なる開放フリーストール牛舎における汚染空気の拡散と関係する気流パターン) *Transactions of the ASAE*, **44** (6) : 1797-1805.
  - 10) Ikeguchi, A., Okushima, L., Bennetsen, J. C. 2003. Windward windbreak effects on airflow in and around a scale model of a naturally ventilated pig barn. (模型自然換気豚舎の内部及び周辺における風上の防風壁が気流に与える影響) *Transactions of the ASAE*, **46** (3) : 789-795.
  - 11) Ikeguchi, A., Okushima, L., Zhang, G. and Strom, J. S. 2004. Contaminant air propagation between naturally ventilated scale model pig buildings under steady-state conditions (大気安定条件下の模型自然換気豚舎における汚染空気の拡散). *Biosystems engineering*, **90** (2) : 217-226.
  - 12) Ikeguchi, A. and Okushima, L. 2009. Propagation and dispersion of contaminant air between enclosed forced ventilated scale model broiler buildings (模型の閉鎖式強制換気豚舎における汚染空気の拡散) *Journal of the Society of Agricultural Structures, Japan*, **40** (1) : 35-46.

## 長崎県の畜産環境対策の取り組みについて

長崎県 農林部 畜産課  
畜産経営班 係長

堀 誠

### 1. 長崎県の概要

本県は、九州の西北部に位置し、東西213km、南北307kmにおよぶ豊かな自然と美しい景観に恵まれた県域です。

地形は、佐賀県と隣接する以外は周囲を海に囲まれ、内陸地は平坦地に乏しく、海岸線は多くの半島、岬と湾、入江から形成され、海岸線の延長4,178kmと北海道につき全国第二位の長さであり、島しょ面積は県土の46%を占めています。

気候は、西南団地の温暖な気候であるが、気温、日照、降雨量などの地域格差は大きいことが特徴となっています。

### 2. 長崎県の農業と畜産業

本県の農業産出額は、1,422億円(平成24年)で、1位は肉用牛で181億円、2位に米の159億円と続き、4位のばれいしょは、北海道に次ぐ全国2位の生産量を誇っています(表)。

離島や中山間地域といった立地条件の中で、畜産全体の産出額は441億円で全体の31.0%を占め、畜産業が盛んであり、特に肉用牛の飼養戸数は3,010戸で全国5位に位置しています。

また、豚は118億円で3位、生乳52億円、鶏卵45億円、ブロイラー34億円と畜

産が産出額の上位を占めています。

表 農業算出額上位品目 (単位:億円)

順位	品目	金額
1	肉用牛	181
2	米	159
3	豚	118
4	ばれいしょ	94
5	いちご	92
6	みかん	80
7	生乳	52
8	トマト	45
9	鶏卵	45
10	レタス	43
11	ブロイラー	34

### 3. 畜産環境対策

安定的な畜産経営の発展を目的に、畜産経営に起因する環境汚染の防止並びに堆肥の有効利用を図り、環境保全型の畜産確立を実現するために「長崎県環境保全型畜産確立基本方針」を定めています。また、その方針に即して、資源循環型の畜産を促進するための具体的な取り組みを示した「長崎県資源循環型畜産確立事業実施要領」を定めて活動を行なっています。

(1) 資源循環型畜産確立対策協議会

畜産環境の保全と堆肥の利用促進を図るため、県段階及び地域段階で協議会を設置し、推進指導體制を整えています。県協議会は、畜産協会や農協等の畜産関係団体及び県機関で組織され、畜産環境汚染の防止と堆肥の有効利用を図るための情報共有や環境関連事業の推進、指導體制の整備などを検討を行ないます。また、県内6地域の協議会は、市町、農協、県地方機関など、地域の関係機関で構成され、連携した管理指導を定期的に行なうとともに、環境問題が発生した場合には、一体となって改善指導を行ない

ます。さらに、施設や機械の整備についても環境関係事業の取り組みを支援します。

1) 環境問題の発生状況

本県では畜産経営に係る環境問題の苦情が年度により変動はあるものの、毎年40件前後の発生があります(図1)。

全国的には悪臭に係る苦情の割合が過半を占めていますが、本県の苦情発生状況を見てみると、水質汚濁に係る割合が高い状況にあります。これは、傾斜地で棚田やため池が多いといった土地条件や降水量が比較的多いことが要因と思われます。

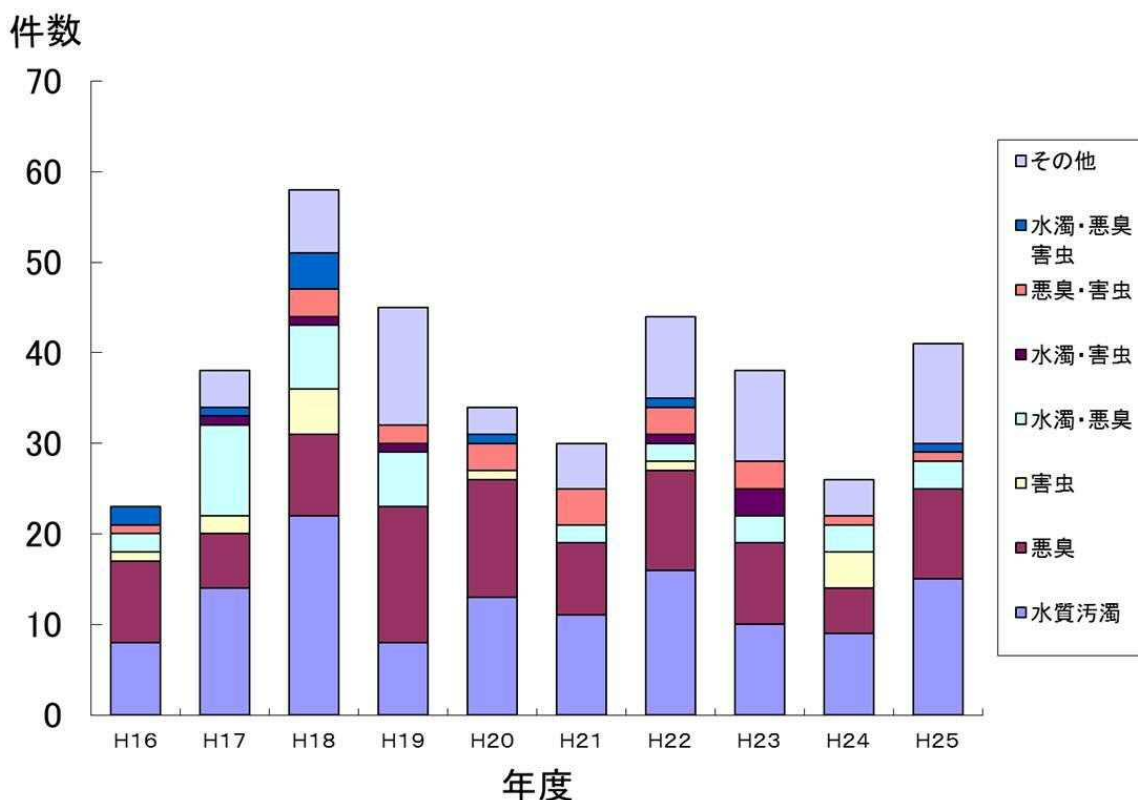


図1 畜産経営に起因する苦情発生状況

## 2) 堆肥コンクール

堆肥生産の技術向上と耕種農家のニーズに即した堆肥づくりの推進、そして流通促進を図る目的で、平成19年度から関係団体の協力のもと毎年度開催しています(写真1)。

肥料取締法に基づく特殊肥料生産業者で、県内で家畜ふんを原料とする堆肥を生産し、耕種農家等へ供給するものを出品対象者として、「牛・馬ふん」、「豚ふん」、「鶏ふん」の3部門を設け、成分や流通状況等を審査し、各部門の優秀な堆肥とその中で最も優れたものを表彰しています(写真2)。

審査においては、成分分析の数値による科学的な視点に加え、原物の流通実績

を考慮した配点で、生産技術と流通促進を総合的に評価する特徴的なものになっています。

当初は、堆肥の品質にバラツキがあり、堆肥化の技術や意識も高くありませんでしたが、現在では全体として品質のレベルが高くなっています。

出品者からも、成分の分析により改善点の把握や製品の高品質化、販売のPRにつながっているとの意見があります。堆肥コンクールの実施により、良い堆肥を作るという意識改革につながり、堆肥化技術の向上が図られるており、その結果堆肥の流通も促進されていることは大きな成果と考えています。



写真1 堆肥コンクール審査会の様子



写真2 堆肥コンクール表彰式の様子

## 3) 広域流通対策

県内の家畜排せつ物が処理され堆肥として出てきたものは、基本的に自作地への耕地還元を基本としています。しかしながら、豚や鶏、肥育牛等については還元する土地を十分保有していなかったり、規模拡大により処理量が増大し、経営内

で循環が出来ない経営体も多い状況にあります。

また、畜産経営が盛んな地域では耕種農家との需給バランスが崩れている地域もあり、広域的な流通の必要性が増しています。

堆肥の流通を促進するため、補助事業



を活用した施設や機械、運搬車等の整備支援を行っています。

さらには市町や団体、県等が一体となって地域の対策協議会として推進体制を整備し、流通推進を図っています。

今後は更に、耕種農家だけではなく、家庭菜園を目的としてホームセンターを利用する一般消費者への利用推進も図っていくこととしています。その一つの取り組みとして、県産農畜産物の展示即売を通して県産食材の地産地消の推進を図る生産者と消費者が一同に会するイベントにおいて、堆肥(牛、豚、鶏)の無料配布

を行い、PRとアンケートによる意向の把握に努めています。

#### 4) 需給者リスト(ホームページ)

堆肥の広域流通の推進は各地域で積極的に行われていますが、供給する側の堆肥生産と利用する側の需要者の情報を相互に交換できるシステムとして、「堆肥需給者ネットワーク」を県畜産課のホームページ内に開設しています(図2)。現在、供給者125件、需要者9件、流通業者2件(平成26年6月1日時点)の登録となっています。



図2 県ホームページの堆肥受給者ネットワークの画面

## (2) 各種事業の推進

### 1) 堆肥化施設・機械、保管庫、運搬車整備(事業活用)

新たな家畜ふん尿処理施設・機械等の整備にあたっては、農家の経費負担を軽減すると同時に地域的な畜産環境保全を達成するために、各種補助事業等による

共同利用施設・機械の整備を積極的に推進しています(写真3、4)。

特に、県内で畜産が盛んで、堆肥の生産が過剰になっている地域においては、県単独の補助事業により、良質堆肥の広





写真3 補助事業を活用し建設した  
共同堆肥舎



写真4 補助事業を活用し整備した  
堆肥成型機

域流通促進を図り、地域間の需給バランスの適正化に貢献しています。

また、個人で堆肥の調製・保管に必要な機械施設を整備する場合においては、積極的にリース事業の推進を行っており、有効に活用されています。

#### 4. 畜産環境アドバイザーの養成

畜産経営の生産現場における家畜排せ

つ物の適正な管理の維持・推進には、指導体制の充実・強化が重要であり、指導者の能力向上を図るため、国で実施されています「畜産環境アドバイザー研修」に積極的に参加し、本県では現在 232 名の畜産環境アドバイザーが育っています。

畜産農家への排せつ物処理技術はもとより、施設・機械の導入など、各種事業における指導、助言など大いに活躍しています。

#### 5. 優良事例 (T 堆肥生産組合)

国庫補助事業を活用し、強制攪拌の堆肥舎を整備し、事業参画農家から持ち寄った堆肥を年間 3,000 t 処理しています。原料は水分調整後、ロータリー攪拌(3日に1回攪拌)で 60 日間発酵(ブローア有)しています。その後、堆肥舎で 1 ヶ月程熟成させ、バラや応じて袋詰で販売されています。

この組合の特徴として、特に良質堆肥の生産に重点をおき、戻し堆肥による適正な水分調整を行なうとともに、牛と豚とバークを混和することで成分バランスの良い堆肥が生産されています。

また、散布サービスを行なうことにより、流通の促進が図られ、生産された堆肥の 70%は耕種農家に利用されています。さらに、昨年度、県単補助事業を活用し堆肥成型機を整備されたことから、耕種農家が利用しやすい堆肥の製造と流通促進が図られると期待しています。



参考写真1 事業を活用して整備した汚水処理施設



参考写真2 事業を活用して整備した縦型攪拌発酵処理施設

## 沖縄県の畜産と畜産環境対策について

沖縄県 農林水産部 畜産課  
経営環境班 主任技師

鈴木 直人

### 1. 沖縄県の概要

沖縄県は、本土と東南アジアのほぼ中間、南西諸島の南半分に位置し、およそ北緯24度から28度、東経122度から132度まで、距離にして南北約400km、東西約1,000kmに及ぶ広大な海域に散在する大小160の島しょ(うち有人島49)から構成される日本で唯一の亜熱帯地域です。本県の気候は、亜熱帯海洋性気候に属し、年平均気温は23.1℃と、1年を通して温暖な気候となっていますが、夏秋に襲来する台風のほか、地域的降水分布にばらつきがあり、しばしば干ばつの被害などが発生しています。

県土の総面積は、2276.64km<sup>2</sup>で、うち沖縄本島は、総面積の53%(1,204km<sup>2</sup>)で最も大きく、次いで西表島、石垣島、宮古島と続き、この4島で全体の約83%(1,875km<sup>2</sup>)を占めています。

### 2. 沖縄県の農業

沖縄県においては、基幹作物であるさとうきびのほか、ゴーヤー、マンゴー、さやいんげん、すいか、かぼちゃ、きく、肉用牛、豚等、亜熱帯気候の特性を活かした農業が多様に展開されており、日本における甘味資源の供給産地として一定

の地位を占めています。その一方で、農林漁業者の減少・高齢化の進行、耕作放棄地の増加等により、農業産出額が1,000億円を超えたのは平成7年までで、それ以降は1,000億円を下回る水準で推移するなど、厳しい情勢にあります(平成24年度 877億円(図1))。



図1 沖縄県の農業産出額内訳

※赤枠は畜産部門

※沖縄の農林水産業(平成26年3月  
沖縄県農林水産部)より



### 3. 沖縄県の畜産

平成24年度の畜産産出額は385億円で、農業産出額の約44%を占め、畜産は、農業全体の基幹的部門となっています(図1)。内訳は、肉用牛が最も多く144億円で全体の37.4%、次いで豚が131億円で34%、鶏66億円17.1%、乳用牛42億円10.9%となっており、豚と肉用牛は戦略品目に位置づけられています(図2)。



写真1 琉球在来豚アグー

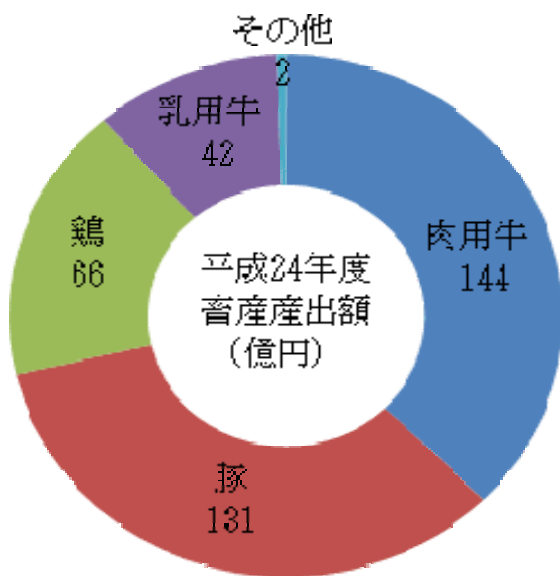


図2 沖縄県の畜産産出額内訳

※おきなわの畜産(平成26年3月  
沖縄県畜産課)より

沖縄では、豚は昔から鳴き声以外全部食べられると言われるほど馴染みの深い食材です。最近では「琉球在来豚アグー」ブランド豚にも注目が集まっており、その肉質は高く評価されています(写真1)。また、本県の黒毛和種の家畜市場取引頭数は、全国第4位で有数の肉用子牛供給基地となっており、沖縄県産牛は、ストレスの少ない温暖で良好な環境の下、の

びのびと肥育され、「石垣牛」などに代表される良質な牛肉として全国へ出荷されています(写真2)。さらに沖縄は、日本で唯一山羊を食する文化が根付いている地域であり、近年、山羊を新たな畜産品目として確立することを目指して、県産山羊の増体性、飼養管理技術の向上など多様な取組みを展開しています。



写真2 県供用種雄牛「勝群星」号

#### 4. 沖縄県の畜産環境対策

##### (1) 家畜排せつ物の発生状況

平成25年度の家畜飼養頭羽数から推計した本県における家畜排せつ物の年間発生量は、121万t/年であり、畜種別で最も多いのが肉用牛の66万t(約55%)と

なっており、次いで豚の35万t(約30%)となっています(図3)。

地域別では、大規模経営体が多い沖縄本島北部地域の発生量が最も多く、次いで肉用牛の飼養頭数が多い八重山地域となっています(図4)。

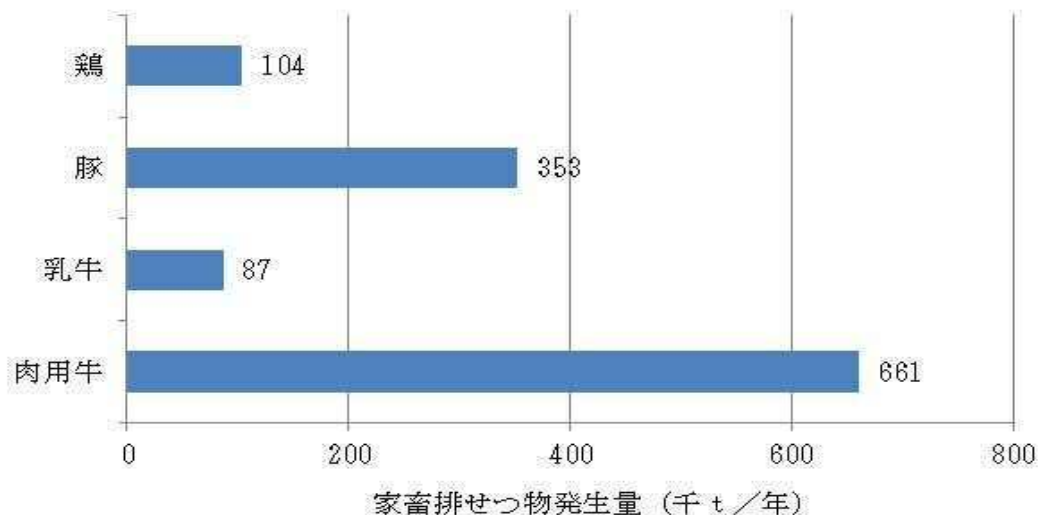


図3 平成25年度沖縄県における畜種別家畜排せつ物発生量

※平成25年12月末家畜・家きん等の飼養状況調査結果(県畜産課)より推計

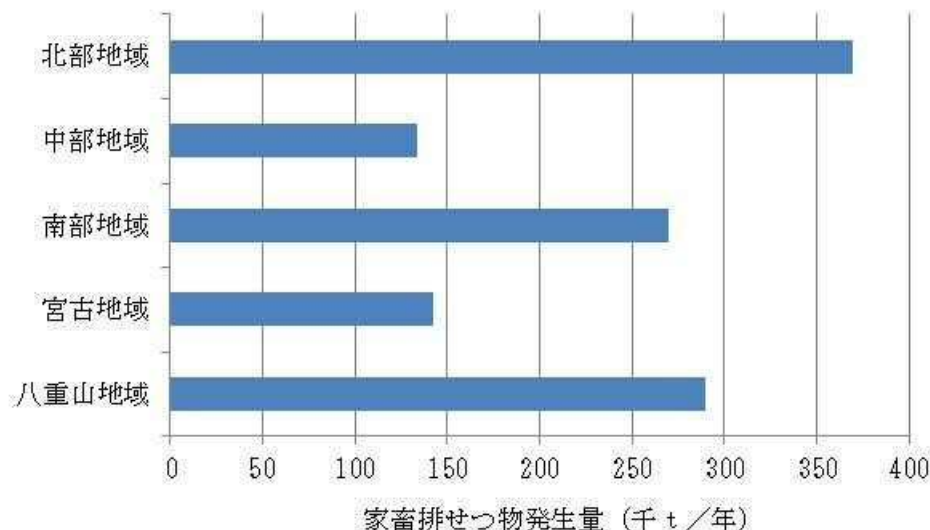


図4 平成25年度沖縄県における地域別家畜排せつ物発生量

※平成25年12月末家畜・家きん等の飼養状況調査結果(県畜産課)より推計

## (2) 畜産経営に起因する苦情の発生件数

畜産経営に起因する環境問題の発生件数は、平成16年度以降大幅に減少し40～80件の範囲で推移しています(図5)。平成25年度は、前年度53戸に比べ23戸

増加(43%増)しています。特に「豚の水質汚濁及び悪臭」と「鶏の悪臭及び害虫」が、増加している状況です。畜種毎の内訳は、養豚業が全体の約6割と高い割合となっています。

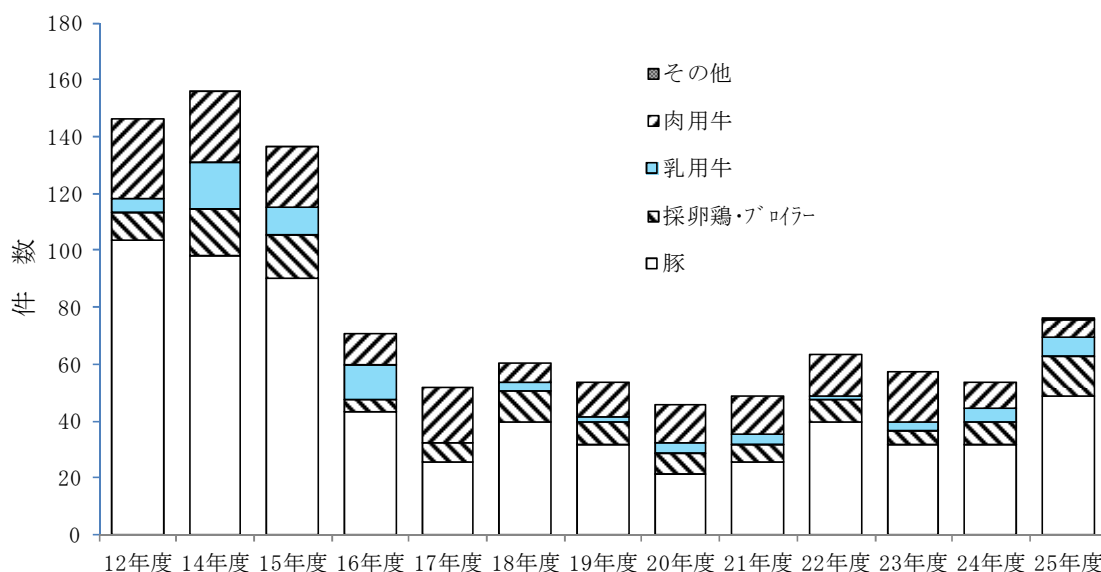


図5 沖縄県の畜産経営に起因する苦情の発生件数の推移

※平成25年度環境保全型畜産確立指導事業実態調査等結果報告書

(平成25年6月 県畜産課)より

## (3) 沖縄県における家畜排せつ物の利用の促進を図るための計画

本県の家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律に基づく管理基準は、ほぼすべての適用対象農家において遵守されている状況となっていますが、畜産経営体の大規模化が進展した結果、生産した堆肥を経営内でまたは地域内でいかに有効に活用していくかが新たな課題となっています。このため、家畜排せつ物の利用の促進、畜産環境問題の

解消及び環境と調和した畜産経営の確立に資するために必要な基本的な考え方を示し、環境と調和のとれた健全な畜産業の発展を一層計画的に推進していくために「沖縄県家畜排せつ物の利用の促進を図るための計画」(以下、「県計画」という。)を平成22年2月に策定しました。本計画は平成27年度を目標として定めており、県、市町村、農業関係団体、畜産農家、耕種農家等の関係者が一体となって家畜排せつ物の利用促進を計画的に取



り組まれるように推進する内容としています。

#### (4) 畜産環境対策の取組状況

本県の畜産環境対策は、現在県計画に基づいて以下の取り組みを実施しています。

##### 1) 沖縄県環境保全型畜産確立指導協議会

本県は、家畜排せつ物の適切な処理により環境汚染の防止を図り、地域社会と調和した畜産経営を推進するとともに、家畜排せつ物の積極的な利用により環境保全型畜産の推進を図るため、指導機関の有機的な連携の下に効果的かつ効率的な指導を行なっていく必要があることから県関係機関および畜産団体等で構成する「沖縄県環境保全型畜産確立指導協議会」、県協議会の下部組織として、県内4地域の家畜保健衛生所を中心とした県関係機関、市町村、畜産関係団体等で構成する「地域協議会」を設置しています(図6)。

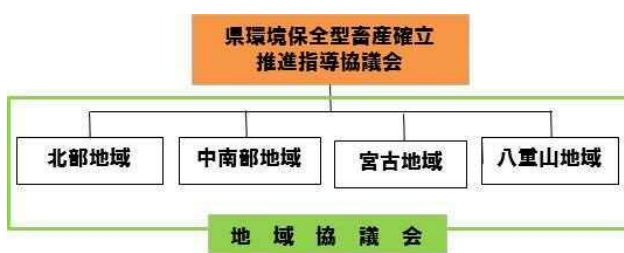


図6 沖縄県環境保全型畜産確立指導協議会の組織図

地域協議会は、各協議会毎に実施計画を作成し、巡回指導や指導資料の配付等家畜排せつ物の適正管理・処理、臭気防止対策の指導を行なうほか、畜産に起因

する苦情の発生状況や家畜ふん尿処理利用状況等の実態調査を行なっています。また、住民等からの苦情の申し立てに対応し、「家畜排せつ物の管理の適正化及び利用の促進に関する法律」に基づく立ち入り検査や指導等を行ないます。

##### 2) オガコ養豚の普及

本県の畜産環境問題においては、養豚業に起因する苦情が約6割と多くを占めており、特に水質汚濁および悪臭問題がそのほとんどを占めています。これら養豚に起因する環境問題の解消や循環型社会の構築を図るため、オガコ敷料を活用し排水や臭気発生を抑制する「オガコ養豚」方式を普及する事業を行なっています(「オガコ養豚普及促進事業」平成24年度～26年度)。

これまで、平成21年～23年に本県が実施した「オガコ養豚衛生対策推進事業」において、オガコ養豚で懸念されていた「抗酸菌症」対策として消石灰を1%添加した殺菌オガコでは、抗酸菌数が抑制されることを明らかにしています。また、併せて県内の養豚農家に対し実施したアンケート調査において、「オガコ養豚を採用できない理由」として、①オガコの安定供給・価格への不安、②衛生面の不安、③オガコ養豚導入に伴う豚舎改修費の不安などが主にあげられました。

これを受け、本事業では、①オガコの安定供給・低価格化に向けた県内産の未利用木質系資材の賦存量調査、粉碎剪定枝等の木質系未利用資源の養豚利用に係る研究検討。②農家講習会、リーフレット作成、実証展示による消石灰添加殺菌オガコの衛生効果の農家検証などの普及

啓発。③オガコ養豚を採用するモデル農家への豚舎改修等への支援等を実施しています(写真3)。



写真3 豚舎改修支援によるモデル作出

本事業にて豚舎改修支援を実施した農場は、指導機関による技術支援を行ない、モデル農家として育成し、オガコ養豚を普及推進していく計画です。

### 3) 畜産排水対策の強化

本県は、畜産業が盛んである一方で、県土が狭いことや河川が短く容量が小さいことを背景に排水の河川放流に係る規制が厳しくなっており、平成23年12月には、内湾などのいわゆる閉鎖性海域に排水する事業所に対して、水質汚濁防止法に基づく県独自の「上乘せ排水条例」が施行されております。

そこで、水質汚濁防止法に定める排水基準の強化への適切な対応や環境と調和した持続可能な生産体制の確立及び本県の畜産振興を図る目的で、「沖縄型畜産排水対策モデル事業」(平成24年度～26年度)を実施しておりますので、取組を一部紹介いたします。

①平成24年度に冬季、平成25年度に

夏季の排水実態調査を実施しました。その結果、我が国唯一の亜熱帯気候に属する本県は冬季でも10℃を下回ることはない温暖な地域ですが、冬季は水質が悪化していたため、本州同様に冬季における対策が必要なことが明らかになりました。

②平成24年度から本県の畜産排水対策や耕畜連携の方策を検討する目的で行政機関や民間組織の代表者を構成員とした「沖縄県畜産排水対策検討協議会」を設置しております。さらに平成25年度からは協議会の取組を補助し、活動を具体化することを目的に、各組織の担当者を構成員とした「環境保全部会」と「耕畜連携部会」を設置し、調査結果の分析・検討や液肥利用に向け、課題解決の検討を行いました。

③その他の取り組みとしては、県・市町村等関係者に対して、現場で測定可能な水質調査実習(写真4)の開催や、県外から専門家を招へいして講演会(写真5)を開催し、知識向上および情報共有を図っています。



写真4 水質調査実習の開催



写真5 (財)畜産環境整備機構の長峰先生による講演会の開催

④事業最終年度である平成26年度は、行政機関職員の指導力向上を目的とした実習や講演会を引き続き開催するとともに、環境と調和した畜産業の振興に資するため「沖縄県畜産排水対策指針」および「技術指導者用マニュアル」を作成する計画です。

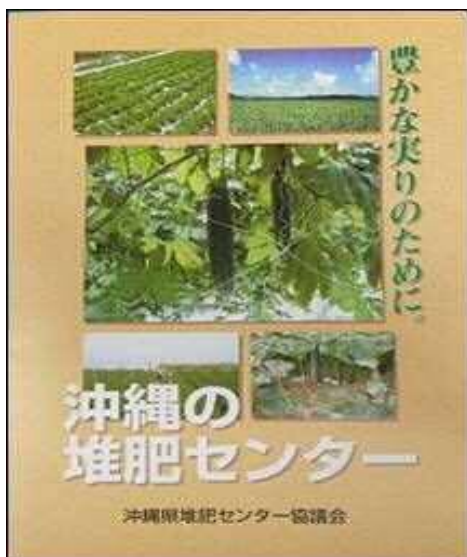


写真6 沖縄の堆肥センター

#### 4) 県産畜ふん堆肥の利用促進

家畜排せつ物の利用促進を目的として、耕畜連携に重要な役割を果たしている堆

肥センターと県関係機関が集まり、「堆肥センター連絡会議」を開催しています。連絡会議では、県行政機関の畜産環境対策、土づくり、有機農業等に係る施策や県研究機関における畜ふん堆肥化・利用関連の新知見・技術等の情報提供、堆肥センター相互間の情報交換を行なって県内産堆肥の品質向上、利用拡大等を図っています。今後は、畜産課ホームページでの「沖縄の堆肥センター」紹介ページの掲載などの取組みを行なう予定です(写真6)。

#### 5) 実証試験の紹介－汚水処理施設－

##### 【目的】

本実証試験は、「硝酸性窒素等」の排水基準強化に対応し、既存施設の能力を最大限引出す運転条件や沖縄県に適した施設仕様の検討を行うことを目的に、平成25年10月から12月にかけて実施しました。

##### 【方法】

今回実証を行った養豚農家の浄化槽は、酸化溝型回分式で水車により曝気を行っています。原汚水は、ふん尿混合であり、高分子凝集剤を使った固液分離が行なわれています。実証試験は、汚水投入・曝気・停止を繰り返す運転方法で、停止時間や排水の投入のタイミングにより、3パターン(図7 RUN-1～RUN-3)で比較検討しました。

また、各RUNを3回繰り返すことにより、嫌気時間(曝気停止)と好気時間(曝気)の同比率条件における、流入原水の負荷変動に対する処理の安定性を確認しました。



項目	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9
RUN-1																								
曝気停止:曝気=1:3	停止	曝気	曝気	曝気	停止	曝気	曝気	曝気	停止	曝気	曝気	曝気	停止	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気
RUN-2																								
曝気停止:曝気=1:1	停止	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気
RUN-3																								
RUN-1: 20日結果から 曝気停止:曝気=1:3で設定	停止	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気	曝気

図7 各RUNの曝気時間

【結果】

その結果、RUN-1 で設定した、停止時間：曝気時間＝1：3 で原汚水を間欠流入した運転方法が、窒素除去に対して効果的な手法であることが示唆され、実証試験で得られた結果から、本県における処理施設において、硝化脱窒を実施する場合の条件を整理すると、表のとおりとなりました。

表 硝化脱窒に必要な条件

項目	単位	推奨値
BOD/T-N比	-	3.0以上
BOD流入水質	mg/L	1,200以下
T-N流入水質	mg/L	400以下
BOD容積負荷	kgBOD/m <sup>3</sup> /日	0.50以下
T-N容積負荷	kgT-N/m <sup>3</sup> /日	0.20以下
曝気時間	-	曝気停止:曝気=1:3
MLSS	mg/L	6,000以下

なお、既存の反応槽において硝化脱窒運転を行う場合、通常の BOD 除去の場合よりも必要となる酸素の量が1.3～1.5倍程度増加するため、良好な水質を維持しつつ窒素除去を行う場合には、①曝気量を増加させる、②流入負荷（飼養頭数の削減、ふん尿分離等）を低減させる、の

どちらかに対する対応が必要であることに注意が必要です。また、本実証試験では、高分子凝集剤添加量の低減や電気代の節約により、維持管理費 6 割減の効果も得られました。なお、この結果については、各農家の施設の状況により大幅に変動することがあるため注意が必要です。

その他にも、以前よりも良好な処理水を得られるようになったため、実証農家が浄化槽管理に前向きに取り組むようになり、自ら水質検査を業者に依頼するようになったなど農家意識の向上もありました。今後は家畜保健衛生所など関係機関と連携して、当該技術の普及を図ってまいります。なお、この取組は、(株)建設技術研究所、(一財)沖縄県環境科学センター、(株)田幸技研コンサルタントと共同で実施しました。

5. おわりに

本県において畜産は、台風や干ばつなど厳しい気象条件の影響が少なく、今後も期待される農業部門です。一方で、環境規制は強化され、畜舎周辺の市街化も進行しており、健全な畜産を振興するためには、今後ますます地域住環境への配慮を図る必要があります。継続的な畜産経営を考慮しつつ、家畜排せつ物の適正な管理をベースとした畜産環境対策に取り組むと同時に、メタン発酵などバイオマスエネルギー利用技術、家畜排せつ物の利用の促進に係る取組みを関係機関と連携して実施していきます。

発行人	織田 哲雄
発行年月日	平成 26 年 10 月 1 日
発行	一般財団法人 畜産環境整備機構 〒105-0001 東京都港区虎ノ門 5-12-1 ワイコービル 2F TEL 03-3459-6300 (代) FAX 03-3459-6315 ホームページ <a href="http://www.leio.or.jp/">http://www.leio.or.jp/</a>



一般財団法人 畜産環境整備機構  
〒105-0001 東京都港区虎ノ門5-12-1 ワイコービル2階  
TEL. 03-3459-6300(代)  
FAX. 03-3459-6315