

牛舎から発生するアンモニアガスへの消臭剤効果と消臭に影響する因子の検討

土手 裕^{a)}・林田 啓佑^{b)}・伊藤 健一^{c)}・関戸 知雄^{d)}

Consideration of the Deodorization Effect on Ammonia Gas from Caw Barn and Factors Influencing Deodorization

Yutak DOTE, Keisuke HAYASHIDA, Kenichi ITO, Tomoo SEKITO

Abstract

The purpose of this research was to investigate the effect of Deodorant-A on ammonia gas, which is the main odor gas in a caw barn. Several investigations were conducted in both barns using Deodorant-A and barns not using Deodorant-A in order to identify factors affecting the concentration of ammonia gas above litter. Deodorant-A affected nitrification activity at a deodorant concentration of 1% or more. There were barns with high concentration of ammonia gas above litter using Deodorant-A and barns with low ammonia gas concentration not using Deodorant-A. As a result of multiple regression analysis, urea degradation activity was a biological variable showing a significant negative partial regression coefficient for ammonia gas concentration above litter. Calcium showed a significant, positive partial regression coefficient for urea degradation activity. It was suggested that the concentration of ammonia gas above litter might be decreased by increasing calcium and zinc, which showed a strong, positive correlation with calcium and was reported to inhibit the activity of urease.

Keywords: Caw barn, Ammonia gas, Deodorant, Urea decomposition, Litter

1. はじめに

畜産業に起因する環境問題は、悪臭・水質汚濁問題が挙げられる。農林水産省の調査によると、平成 29 年度において牛（乳用と肉用）の苦情件数は 49.0%と約半分を占めている¹⁾。また、牛舎から発生する主要な悪臭成分はアンモニアであり²⁾、人体だけでなく³⁾牛に対しても健康被害をもたらす⁴⁾。したがって、様々な影響をもたらすアンモニアの牛舎での発生を抑制する必要がある。

日本において悪臭防止法により発生する悪臭について排出規制が行われ、規制地域や規制方法は、都道府県知事及び市の区域内の地域については市長が指定している。規制方法は、特定悪臭物質の排出濃度・臭気指数を規制基準として定められる。特定悪臭物質とはアンモニア、メチルメルカプタン、硫化水素等の 22 物質である。これらは不快なにおいの原因となり、生活環境を損なうおそれある物質であるため、政令で指定されている。都道府県知事、市及び特別区の長が当該区域に応じて臭気強度 2.5~3.5 の範囲内で敷地境界線上の規制を定める。宮崎県においても

敷地境界線におけるアンモニアの規制基準として、住居及び商業用の地域は 1ppm、工業用あるいは臭気に対する順応がある地域が 2ppm、その他の地域では 5ppm が対象となる^{5, 6)}。

畜産業における脱臭方法は物理的方法・化学的方法・生物学的的方法の 3 つに分けられる。物理的方法は水洗法・吸着法など、化学的方法は薬液吸収法・燃焼法など、生物学的的方法は生物脱臭などである。場合によってはこれらを組み合わせて用いる場合もある⁷⁾。

本研究で検討する消臭剤 A は消臭剤としての効果は認められており、天然ミネラル抽出の独自成分で悪臭の原因となるアンモニアを分解し、牛舎の環境面だけでなく敷替えなどの頻度を減らす効果を持っていると言われている⁸⁾。しかし、その消臭メカニズムは明らかになっていない。牛舎でのアンモニアガスの消臭メカニズムは、敷床上に排泄されたふん尿中の尿素の微生物によるアンモニアへの分解⁹⁾、生成したアンモニアのアンモニア酸化菌による分解、敷床への吸着¹⁰⁾などが考えられる。そのため、消臭剤 A が尿素分解抑制やアンモニア酸化促進の効果を持っていることが考えられる。なお、筆者等は消臭剤 A がアンモニアの物理的吸収・化学的分解効果を持たないことを報告している¹¹⁾。

- a) 社会環境システム工学科教授
- b) 社会環境システム工学科学部生
- c) 国際連携センター准教授
- d) 社会環境システム工学科准教授

表1. 消臭剤 A の成分分析結果(※pH, EC 以外の単位は mg/L)¹¹⁾

pH	EC (mS/m)	DM	Na	K	Ca	Mg	Al	Si	Fe	Zn	Mn
1.765	0.739	3,098	12	9	86	12	22	113	16	6.7	0.44
Cu	Cr	B	Cl	PO ₄ -P	T-P	SO ₄ -S	T-S	T-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	TOC
0.23	0.18	0.06	10	0.0	1.1	746	699	4.5	0.12	7.1	1.9

本研究では、牛舎の主要な臭気ガスであるアンモニアに対する消臭剤 A の効果の検討を行った。そのために、敷床溶出液に消臭剤 A を添加し、消臭剤 A の尿素分解、アンモニア分解活性等への影響を検討した。また、消臭剤 A を用いている牛舎及び用いていない牛舎でのアンモニアガス濃度を測定し、採取した敷床試料の尿素分解活性、アンモニア酸化活性、アンモニア酸化菌数の測定と溶出試験を行い、消臭剤 A の使用の有無による違いや牛舎でのアンモニアガス濃度に影響を与える要因を検討をした。

2. 実験

2.1 消臭剤 A による尿素分解阻害・アンモニア酸化菌増殖実験・硝化活性

実験に用いた消臭剤 A の分析結果¹¹⁾を表 1 に示す。また、敷床溶出液は敷床試料(2018年6月19日に宮崎大学農学部住吉フィールドで採取した牛の敷床を 9.5mm の篩で総雑物を除去したものに蒸留水を L/S=10 で加え、200rpm で 1 時間振とう後、100G で 10 分間遠心分離後の上澄みを用いた。敷床溶出液 20mL と 0.27M リン酸緩衝溶液 (NaH₂PO₄・H₂O) 4.78g と無水 NaHPO₄ 14.66g を 500mL の蒸留水に溶解させたもの) 180mL の割合で混合して敷床溶出液-リン酸緩衝溶液を作成した。

消臭剤 A の尿素分解阻害実験は、敷床溶出液-リン酸緩衝溶液を 10mL、3%尿素-リン酸緩衝溶液 1mL、蒸留水に消臭剤 A を溶解させて濃度を調整した(0、0.1、1、10、100%)消臭剤溶液 1mL をこの順番で 50mL のポリ瓶に加えた。繰り返し回数を 3 とした。消臭剤濃度 0% のポリ瓶にすぐに 5.3M 硝酸を 1mL 加え反応を停止させた。その他のものは、28℃に設定したインキュベータ内で 24 時間静置した後に 5.3M 硝酸を 1mL 加えた。硝酸添加後、0.45 μm のメンブレンフィルターでろ過し、0 時間及び 24 時間後の試料中の NH₄-N 濃度を後述する方法で分析した。24 時間後と 0 時間の試料中の増加 NH₄-N 濃度を尿素分解活性とした。

消臭剤によるアンモニア酸化菌増殖活性(以降、AOB 増殖活性と呼ぶ)実験は、培養用の試験管に各濃度(0、1、10、100%)の消臭剤溶液 1mL とアンモニア溶液 3mL、敷床溶出液 1mL を加えた。その後、37℃に設定したインキュベータ内に 4 週間静置した。敷床溶出液の AOB 菌数および、4 週間後の AOB 菌数を土壌微生物実験法¹²⁾に従って計数した。4 週間培養した敷床溶出液の菌数を AOB 増殖活性とした。

表2. 牛舎条件

消臭剤 A	アンモニア臭:弱	アンモニア臭:強
使用	UW(Use, Weak odor)	
未使用	NW(No use, Weak odor)	
		NS(No use, Strong odor)

消臭剤 A による硝化活性実験に用いたアンモニア溶液は、土壌微生物実験法¹³⁾のアンモニア酸化菌計数培地の硫酸アンモニウムと炭酸カルシウムのみを残したものを加えたものを消臭剤溶液濃度毎に 4 本用意した。その後、測定時間 0 分のものに 5.3M の硝酸を 1mL 加えた。24 時間後に取り出し、5.3M の硝酸を 1mL 加えた。硝酸添加直後直ちに 20mL のシリンジと 0.45 μm のメンブレンフィルターでろ過し、ろ液の NH₄-N 濃度を後述する方法で分析した。24 時間後と 0 時間の試料中の減少 NH₄-N 濃度を敷床溶出液 1L 当たりの菌数(MPN/L)で除した値を硝化活性とした。

2.2 牛舎での調査方法

2.2.1 牛舎の種類と聞き取り項目

消臭剤 A 噴霧の有無と小林市畜産課への聞き取りで得た情報を元に牛舎でのアンモニア臭の強弱の組み合わせで牛舎を選定した。各牛舎の条件を表 2 に示す。消臭剤 A を使用している牛舎を 2 件、消臭剤 A 未使用かつアンモニア臭が弱い牛舎 2 件、アンモニア臭が強い牛舎 3 件を選定し、牛舎 ID として条件名の後に小文字のアルファベット(a~b)を付けて用いた。なお、牛舎 NSb については 1 回目の調査が不適切な場所を選んだため、再度調査を行った。その結果を牛舎 NSb' として今後示す。

2.2.2 調査方法

牛舎ではチャンバーを用いた敷床直上アンモニアガス濃度、敷床表面及び敷床内部温度、敷床から約 1.5cm 上のアンモニアガス濃度及び温度を測定した。全ての測定終了後、分析用の敷床を採取した。チャンバーの設置個所を図 1 に小文字アルファベットで示す。設置は図 1a) の様に三角形としたが、牛舎の構造上無理な NSa と NSb' では横一列で配置した。用いたチャンバーは既報¹¹⁾と同じものを用いた。

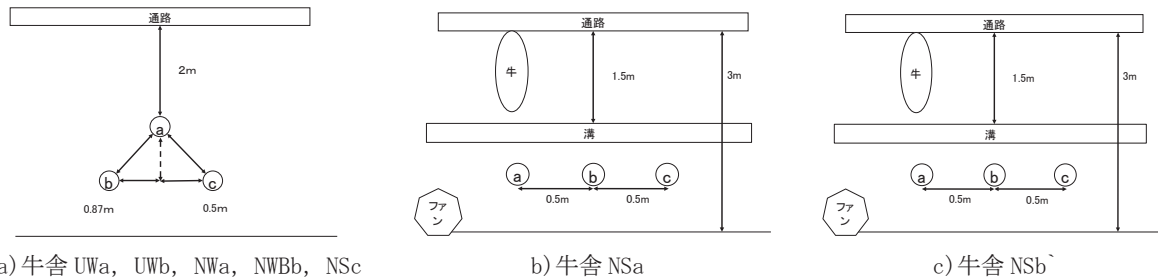


図1. チャンバーの設置個所

敷床直上アンモニアガス濃度測定は、まずチャンバーを敷床に押し付けてチャンバーを約1cm沈め、周辺の敷床を用いてチャンバーと敷床の隙間を塞いだ。次にシリコンチューブ下端のT字管を敷床から3cmの位置になるように固定し、上端をピンチコックで留め、自動ガス採取装置(株式会社ガステック、GSP-300FT-2)、ガス検知管(株式会社ガステック)を用いてアンモニアガス濃度を測定した。吸引速度は100mL/min、吸引時間は1~2分とした。測定前にT字管、シリコンチューブ内の空気を吸引して除いた。その後チャンバーを撤去し、チャンバー設置地点の表面温度を非接触温度計(株式会社マザーツール、MT-10)を用いて測定し、棒温度計(シンワ測定株式会社、H-1S)を用いて敷床深さ3cmの位置で敷床内部温度を測定した。その後、チャンバー設置地点から敷床500g程度採取し、採取場所ごとにビニール袋に保存した。ただし、UWa、UWb、NSb、NScについてはチャンバー設置場所の近傍から採取した。

牛舎内のアンモニアガス濃度、気温は図1中のチャンバ一置位置aの近傍で、敷床約1.5cmの高さで上記と同じガス検知管、棒温度計を用いて測定した。牛舎に設置されているファンは牛舎内での測定の間停止してもらった。

2.3 牛舎敷床試験方法

2.3.1 含水率、VS

各牛舎で採取してきた敷床を採取当日に目開き9.5mmの篩でふるい分けを行い、篩下の敷床を均一化した後で含水率用、生物試験用、溶出試験用に分取した。含水率測定用試料約10gを磁皿にとり、105℃で24時間乾燥させて含水率を測定した。生物試験用に試料約30gを500mLのポリ瓶に加え冷蔵庫で保存して、翌日生物試験用の溶出操作を行った。溶出試験用に試料約40gを500mLのポリ瓶に加え冷蔵庫に保存して、後日(最大9日後)溶出操作を行った。

VSは磁皿に含水率測定後の敷床試料を取り、105℃で2時間乾燥後、600℃で2時間強熱を行うことで得た。

2.3.2 溶出試験

溶出試験は、溶出試験用の500mLのポリ瓶にL/S比10となるよう試料重量の10倍の蒸留水を加え、振とう機(タイテック株式会社 TS-4N)を用いて200rpmで1時間振とう

して行った。振とう後、溶出液のpHとECを卓上型pH水質分析計(株式会社堀場製作所 F-74BW)で測定後、溶出液を遠心機(トミー工業株式会社 Suprema21)で5,000Gで10分間遠心分離した。遠心分離後、5Cのろ紙を用いて吸引ろ過を行い、ろ液を金属用、TOC・T-N用にそれぞれポリ瓶に取り、金属用のろ液に濃硝酸、TOC・T-N用のろ液に濃硫酸をろ液に対して0.5%加え冷蔵庫に保存した。溶出液は次の方法で分析した。重金属元素(Al、Pb、Fe、Zn、Mn、Ni、Cu、Cr、B、Cd、Mo)、Si、T-P、T-SをICP-AES(株式会社島津製作所、ICP-8100)により測定した。Na、K、Ca、Mgをフレイム原子吸光光度計(株式会社日立ハイテクサイエンス、Z-2000)により測定した。NH₄-Nはインドフェノール青吸光光度法により測定した。T-N及びTOCはTOCアナライザー(株式会社島津製作所、TNM-1、TOC-VCPH)で測定した。溶出液中の塩素濃度は、チオシアン酸水銀吸光光度法で測定した。

2.3.3 生物学的試験

生物学的試験は、採取後ふるい分けを行った敷床試料30gと敷床重量9倍重量の蒸留水をポリ瓶に加え、200rpmで1時間振とう後に静置して上澄水を敷床溶出液として用いた。

尿素分解活性実験は、遠心管に0.27Mリン酸緩衝液9mLと3%尿素-リン酸緩衝液1mL、敷床溶液1mLを加え、2.1と同様に処理した。1敷床試料の繰り返し回数は1回とし、0、24時間用にそれぞれ用意した。

アンモニア分解活性実験は、試験管にアンモニア溶液3mLと敷床溶出液(敷床溶出液は0.5mLあるいは1mL)を加え、2.1と同様に処理した。繰り返し回数は1回とし、0、24時間用を用意した。

AOB増殖活性実験は、消臭剤溶液を加えることを除いて2.1と同様の方法で行った。ただし、2.1と異なり、0週間培養した敷床溶出液の菌数に対する4週間培養した敷床溶出液の菌数の比をAOB増殖活性とした。

3. 結果と考察

3.1 消臭剤Aによる尿素分解阻害・硝化活性・アンモニア酸化菌増殖活性結果

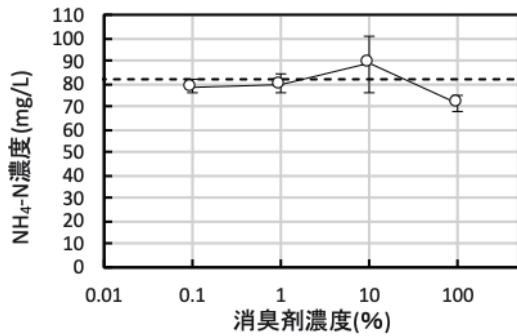


図2. 消臭剤濃度と24時間後のNH₄-N濃度 の関係(点線：消臭剤濃度 0%でのNH₄-N濃度).

消臭剤Aの尿素分阻害効果(24時間後のNH₄-N増加濃度)を図2に示す。図中の点線は消臭剤濃度 0%でのNH₄-N増加濃度を示す。全ての消臭剤濃度で0時間のNH₄-N増加濃度よりも高いNH₄-N増加濃度が検出され、24時間で尿素が分解されたことが確認できた。また、消臭剤0%の群と各消臭剤濃度の群との間でNH₄-N増加濃度の平均値の差の検定を行ったが、有意水準5%で有意でなかった。したがって、消臭剤濃度を高くしても24時間後のNH₄-N増加濃度は影響を受けなかったことから、消臭剤は尿素のアンモニアへの分解を阻害しないと云えた。

消臭剤A濃度と硝化活性(AOB菌数当たりのNH₄-N減少量)の関係を図3示す。図中の点線は消臭剤濃度0%での硝化活性を示す。消臭剤濃度0%の硝化活性と比較すると、消臭剤濃度1%以上で2倍程度高い活性を示した。

図4に消臭剤濃度と4週間培養後のAOB増殖活性の関係について示す。図中の点線は消臭剤濃度0%での4週間後のAOB増殖活性である。消臭剤濃度0%での4週間後のAOB濃度は、培養前の濃度(7×10³ MPN/mL)と比べてわずかに増加した。培養後のAOB濃度は、消臭剤濃度0.1%、10%、100%は消臭剤濃度0%の場合と比較してAOB濃度が増加していたが、消臭剤濃度1%の場合は消臭剤濃度0%の場合と比較してわずかにAOB濃度が減少した。しかし、消臭剤濃度0%の群と各消臭剤濃度の群との間で平均値の差の検定を行った結果、消臭剤濃度0%と各消臭剤濃度の平均値の差は有意水準5%で有意でなかった。

以上より、消臭剤Aは硝化活性について濃度1%以上で活性を2倍程度にする効果があったが、尿素分解阻害、AOB増殖活性については効果がないことが分かった。

3.2 牛舎でのアンモニアガス濃度分析結果

表3に牛舎での聞き取り調査結果を示す。全体として敷床におが粉を使用している牛舎が多かった。また、敷床に石灰を添加している牛舎(NWa)や、敷床におが粉ではなくシラスと稲わらを使用している牛舎(NSb')があった。敷床の交換頻度は1ヶ月に1回行っている牛舎が多く、最も頻度の多い牛舎で1日2回、最も頻度の少ない牛舎で6ヶ月

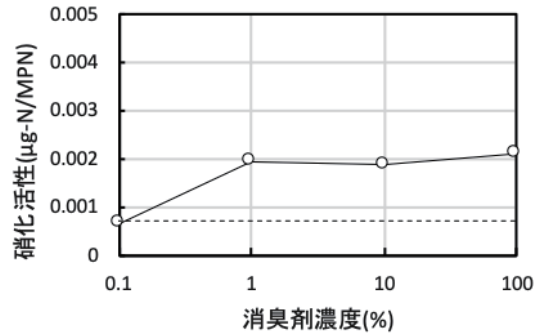


図3. 消臭剤濃度と硝化活性(点線:消臭剤濃度0%での硝化活性).

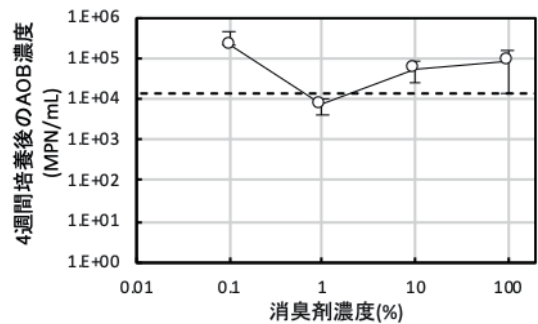


図4. 消臭剤濃度とAOB増殖活性の関係(点線：消臭剤濃度0%での4週間後のAOB濃度).

表3. 牛舎での聞き取り調査結果.

牛舎ID	敷床交換頻度	直近の敷床交換時期	敷床の材料	測定場所の牛の種類	悪臭対策
UWa	1回/1ヶ月	1週間前	おが粉	肉牛	消臭剤散布
UWb	1回/6ヶ月	6ヶ月前	おが粉	肉牛	・消臭剤散布 ・餌にスーパーネッカーリッチを添加
NWa	1回/1ヶ月	1ヶ月前	おが粉, 石灰 (60kg/8t)	肉牛	なし
NWb	2回/1ヶ月	2週間前	おが粉	肉牛	飲料水に薬品添加
NSa	1日2回	当日	おが粉	乳牛	なし
NSb'	不明	2ヶ月前	シラス 稲わら	乳牛	餌にスーパーネッカーリッチを添加
NSc	1回/4ヶ月	2ヶ月前	おが粉	肉牛	なし

に1回敷床の交換を行っていた。敷床の厚みが薄いところが多かった。

表4に敷床直上アンモニアガス濃度、敷床表面温度、敷

表 4. 敷床直上アンモニアガス濃度, 敷床表面温度, 敷床内部温度の変動

牛舎 ID	敷床直上アンモニアガス濃度 (ppm)		敷床表面温度 (°C)		敷床内部温度 (°C)		牛舎内のアンモニアガス濃度 (ppm)	牛舎気温 (°C)	調査日
	平均	変動係数 (%)	平均	変動係数 (%)	平均	変動係数 (%)			
UWa	35	20	31	2	34	1	2.0	30.7	180830
UWb	4	124	22	1	22	1	1.0	21.8	181004
NWa	3	19	29	1	30	1	1.5	29.5	180724
NWb	1	35	29	1	30	4	0.5	29.1	180724
NSa	2	10	28	1	30	3	0.7	27.9	180719
NSb'	13	47	27	0	28	1	1.0	27.4	180830
NSc	8	127	32	5	30	2	0.5	34	180828

床内部温度の変動を示す。敷床直上アンモニアガス濃度の平均が高かった牛舎は UWa で 35ppm、NSb' が 13ppm であった。消臭剤 A を使用しているにも関わらず UWa は高いアンモニアガス濃度であったが、これは消臭剤 A の噴霧ムラによる可能性も考えられた。敷床直上アンモニアガス濃度の低かった牛舎は UWb、Nwa、NWb、NSa の 1~4ppm であり、消臭剤 A を噴霧していても濃度の低い牛舎もあった。敷床にシラスを主に用いている NSb' のガス濃度は高く、おが粉を主に用いている牛舎は UWa を除いてガス濃度が低いことから、おが粉がアンモニアガス発生抑制に効果がある可能性があった。敷床交換頻度と敷床直上アンモニアガス濃度との間には関係がないと思われた。また、直近の敷床交換時期も 1 週間前に交換した UWa で濃度が高く、6 ヶ月間交換していない UWb で濃度が低いことから、交換時期も敷床直上アンモニアガス濃度との関係がないと思われた。悪臭対策として飼料にスーパーネッカリッチを添加している牛舎は、UWb と NSb' であったが NSb' はアンモニアガス濃度が高く、その効果は認められなかった。

宮崎県では敷地境界線上の規制値として、住居地域で 1ppm が設けられている。牛舎内アンモニアガス濃度は最大でも 2ppm であった。牛舎は住居地域に隣接している場合もあるが、臭気が敷地境界上に達するまでに大気による希釈が期待できることから、住居地域に隣接している場合も、規制基準を満足する可能性が高いと考えられた。

表中の敷床直上アンモニアガス濃度は 3 箇所での平均値であるが、変動が大きく、例えば UWb では 0.5~11.5ppm、NSc で 0.5~21ppm と同じ牛舎でも測定箇所により敷床直上アンモニアガス濃度は大きく異なった。よって、敷床直上アンモニアガス濃度の代表値として平均値を用いることは不適切と考えられた。

敷床表面温度と敷床内部温度は概ね同じ敷床直上内部温度が 1~2°C 高かった。UWb の敷床温度等が他の牛舎よりも低い理由は、UWb 以外の調査時期が 7 月中旬から 8 月下旬であったが、UWb は 10 月上旬に調査を行ったためである。全測定箇所での敷床直上アンモニアガス濃度と敷床表面及び内部温度の相関を取ると、敷床表面温度の相関係数は 0.38、敷床内部温度は 0.45 で敷床直上アンモニアガス濃度とこれらの温度の間には弱い正の相関がみられた。

表 5. 各牛舎の敷床の含水率, VS の平均及び変動係数

牛舎 ID	含水率 (%)		VS (%)	
	平均	変動係数 (%)	平均	変動係数 (%)
UWa	60	2	79	1
UWb	71	1	71	3
NWa	43	8	91	2
NWb	68	7	87	3
NSa	78	2	76	7
NSb'	53	4	28	1
NSc	61	13	67	6

3.3 牛舎敷床試験方法

3.3.1 含水率、VS

表 5 に各牛舎の敷床の含水率、VS の平均及び変動係数を示す。敷床の含水率は 43~78% であった。変動係数は 1~13% であり、牛舎内での変動は少なかった。Nwa の含水率が低い理由として、敷床に石灰を添加していることで、石灰が敷床中の水分と反応しているためだと考えられた。また、NSb' の含水率が低い理由として敷料にシラスを添加しており、水はけが向上しているためだと考えられた。

敷床の VS は 28~91% であった。変動係数は 1~7% であり変動は少なかった。NSb' の VS が低かったが、敷床中にシラスが添加されているためだと考えられた。全測定箇所での敷床直上アンモニアガス濃度と含水率、VS の相関をとると、敷床の含水率の相関係数は -0.15、敷床の VS は -0.16 で敷床直上アンモニアガス濃度と含水率、VS に相関は見られなかった。

3.3.2 溶出試験結果

表 6 に各牛舎の溶出量の平均と変動係数を示す。アンモニアガス濃度の高い牛舎 (UWa、NSb') において共通して溶出量が高いもの、低いものはなかった。また、敷床直上アンモニアガス濃度の低い牛舎 (UWb、Nwa、NWb、NSa) で、溶出量の低い物質は K であった。飼料に石灰を添加している牛舎 (NWb) の Ca は他と比べて Ca 溶出量が特に高くはなかった。

表 7 に全測定箇所での敷床直上アンモニアガス濃度と

表 6. 各牛舎の溶出量の平均と変動係数

牛舎 ID	平均(mg/kg-wet)																
	pH	Na	Mg	K	Ca	T-P	T-S	Si	Fe	Zn	Mn	Al	B	NH ₄ -N	Cl	T-N	TOC
UWa	8.16	1,235	354	7,873	36	1,211	474	113	2	3	5	2	2	409	4,318	1,061	2,055
UWb	8.80	3,171	189	4,570	159	216	41	196	7	2	4	16	1	16	4,557	112	1,073
NWa	7.45	1,180	425	4,838	337	380	398	80	4	3	2	3	2	194	4,117	658	2,602
NWb	7.84	1,136	561	4,071	271	409	464	109	3	3	5	0	2	250	2,894	534	2,182
NSa	7.66	1,358	706	4,301	1,064	376	234	79	6	5	3	2	6	331	3,199	689	3,147
NSb'	8.94	983	312	5,038	187	390	134	120	22	4	4	15	5	250	2,327	494	1,842
NSc	8.53	3,116	304	7,446	262	378	179	253	13	3	12	14	0	265	8,013	519	1,928

牛舎 ID	変動係数(%)																
	pH	Na	Mg	K	Ca	T-P	T-S	Si	Fe	Zn	Mn	Al	B	NH ₄ -N	Cl	T-N	TOC
UWa	2	5	36	5	5	14	5	1	7	3	6	10	1	25	7	7	4
UWb	1	5	10	5	4	3	4	4	11	4	4	9	3	2	1	1	4
NWa	2	12	2	12	4	5	11	26	38	23	18	21	4	36	6	12	15
NWb	2	9	13	11	18	18	12	8	12	10	22	-	3	34	5	24	12
NSa	4	6	12	17	46	15	20	18	33	26	30	12	14	74	23	52	35
NSb'	3	5	10	2	16	3	3	4	13	8	10	17	6	6	1	1	6
NSc	7	58	45	53	62	9	47	26	27	47	81	60	33	108	53	59	16

表 7. 全測定箇所での敷床直上アンモニアガス濃度と溶出 pH, 溶出量の相関係数

pH	Na	Mg	K	Ca	T-P	T-S	Si	Fe	Zn	Mn	Al	B	NH ₄ -N	Cl	T-N	TOC
0.22	-0.08	-0.27	0.56	-0.39	0.86	0.28	-0.02	0.02	-0.14	0.01	-0.08	0.02	0.43	0.07	0.59	-0.14

表 8. 尿素分解活性及び硝化活性, 敷床溶出液の菌数, AOB 増殖活性の平均及び標準偏差, 変動係数

牛舎 ID	尿素分解活性 (mg/L)			硝化活性 (μ g-N/MPN)			敷床溶出液の AOB 数 (MPN/g-wet)			AOB 増殖活性 (AOB-4/AOB-0)		
	平均	標準偏差	変動係数 (%)	平均	標準偏差	変動係数 (%)	平均	標準偏差	変動係数 (%)	平均	標準偏差	変動係数 (%)
UWa	825	16	2	1.7E-03	1.4E-03	81	2.2E+06	2.0E+06	90	7	6	90
UWb	368	16	4	4.0E-04	3.5E-04	88	6.0E+05	2.0E+05	33	151	79	53
NWa	295	77	26	6.5E-04	1.7E-04	26	5.0E+05	1.5E+05	29	52	40	77
NWb	281	35	13	1.4E-03	1.5E-03	105	2.1E+06	2.0E+06	92	14	11	78
NSa	168	48	29	4.0E-04	2.3E-04	57	2.7E+06	1.4E+06	54	3	1	33
NSb'	628	64	10	2.3E-03	7.2E-04	32	5.9E+05	2.6E+05	44	15	9	59
NSc	354	99	28	2.4E-03	1.9E-03	80	5.7E+05	5.3E+05	94	1	1	130

溶出 pH, 溶出量の相関係数を示す。敷床直上アンモニアガス濃度と強い正の相関を持つものは T-P であった

3.3.3 生物学的特性

尿素分解活性及び硝化活性、敷床溶出液の AOB 数、AOB 増殖活性の平均及び標準偏差、変動係数を表 8 に示す。AOB 増殖活性は培養前の菌数 (AOB-0) に対する 4 週間培養後の菌数 (AOB-4) の比である。敷床直上アンモニアガス濃度の高い牛舎 (UWa, NSb') において共通で活性の高いものは尿素分解活性であった。また、敷床直上アンモニアガス濃度の低い牛舎 (UWb, NWa, NWb, NSa) において共通で活性の低いものは尿素分解活性であった。

全測定箇所での敷床直上アンモニアガス濃度と尿素分解活性及び硝化活性、AOB 増殖活性の相関係数を表 9 に示

表 9. 全測定箇所での敷床直上アンモニアガス濃度と尿素分解活性及び硝化活性, AOB 増殖活性の相関係数

尿素分解活性 (mg/L)	硝化活性 (μ g-N/MPN)	敷床溶出液の AOB 数	AOB 増殖活性 (AOB-4/AOB-0)
0.85	0.26	-0.03	-0.23

す。敷床直上アンモニアガス濃度と硝化活性、AOB 数、AOB 増殖活性には相関が見られなかったが、敷床直上アンモニアガス濃度と尿素分解活性には強い正の相関が見られた。

3.4 敷床直上アンモニアガス濃度に影響を与える因子

3.4.1 重回帰分析に用いる非生物系変数の選定

全測定箇所での敷床直上アンモニアガス濃度と非生物

表 10. 全測定箇所での敷床直上アンモニアガス濃度と含水率, VS, 溶出 pH, 溶出量成分の相関分析結果

	敷床直上アンモニアガス濃度	含水率 (%)	VS (%)	pH	Na	Mg	K	Ca	T-P	T-S	Si	Fe	Zn	Mn	Al	B	NH ₄ -N	Cl	T-N	TOC	
敷床直上アンモニアガス濃度	1																				
含水率 (%)	-0.15	1																			
VS (%)	-0.16	0.10	1																		
pH	0.22	0.13	-0.74	1																	
Na	-0.08	0.35	-0.04	0.54	1																
Mg	-0.27	0.19	0.34	-0.73	-0.55	1															
K	0.56	-0.02	-0.11	0.39	0.57	-0.39	1														
Ca	-0.39	0.34	0.20	-0.48	-0.20	0.63	-0.39	1													
T-P	0.86	-0.13	0.14	-0.08	-0.26	-0.01	0.48	-0.28	1												
T-S	0.28	-0.22	0.58	-0.57	-0.35	0.36	0.26	-0.05	0.56	1											
Si	-0.02	0.19	-0.23	0.67	0.87	-0.60	0.53	-0.35	-0.20	-0.42	1										
Fe	0.02	-0.23	-0.89	0.61	-0.02	-0.28	-0.06	-0.07	-0.30	-0.63	0.26	1									
Zn	-0.14	0.05	-0.23	-0.25	-0.60	0.60	-0.46	0.67	-0.09	-0.11	-0.49	0.39	1								
Mn	0.01	-0.13	-0.01	-0.02	-0.16	-0.01	-0.25	-0.02	0.03	-0.23	0.20	0.31	0.21	1							
Al	-0.08	-0.13	-0.56	0.58	0.22	-0.50	-0.22	-0.17	-0.38	-0.84	0.46	0.74	0.05	0.56	1						
B	0.02	0.20	-0.40	-0.09	-0.51	0.55	-0.22	0.49	0.04	-0.04	-0.57	0.27	0.73	-0.33	-0.22	1					
NH ₄ -N	0.43	0.14	-0.06	0.02	-0.09	0.14	0.48	-0.13	0.44	0.35	-0.12	-0.02	0.17	-0.13	-0.37	0.33	1				
Cl	0.07	-0.09	0.06	0.33	0.84	-0.39	0.80	-0.21	0.01	0.00	0.80	-0.10	-0.53	-0.12	-0.05	-0.49	0.11	1			
T-N	0.59	-0.09	0.14	-0.23	-0.27	0.25	0.50	-0.13	0.70	0.59	-0.31	-0.24	0.11	-0.15	-0.55	0.28	0.87	0.08	1		
TOC	-0.14	-0.05	0.21	-0.51	-0.37	0.76	0.01	0.38	0.09	0.37	-0.41	-0.17	0.52	-0.16	-0.50	0.53	0.47	-0.07	0.54	1	

系要因である含水率、VS、pH、溶出成分の相関分析結果を表 10 に示す。敷床直上アンモニアガス濃度と最も相関の強い因子は T-P であった。また、消臭剤 A に多く含まれる成分上位 3 項目 (T-S、Si、Ca) を含む 4 変数の相関は低かった。これら 4 変数と相関の低いもの (相関係数 0.6 以下) は、含水率、VS、K、Mn、B、NH₄-N、TOC であった。したがって上記 11 変数を非生物系変数として以降の重回帰分析に用いることとした。

3.4.2 敷床直上アンモニアガス濃度と非生物系要因との重回帰分析結果

敷床直上アンモニアガス濃度を目的変数とし、非生物系変数を説明変数とした重回帰分析の結果を表 11 に示す。得られた回帰式は有意であり、自由度調整済み寄与率は 0.77 で、説明変数 T-P、T-S のみが有意であった。敷床直上アンモニアガス濃度に対して T-P は正の相関、T-S は負の相関を示した。t 値は T-S よりも T-P が高いため、敷床直上アンモニアガス濃度に対して T-P の方が貢献度が高かった。図 5 に敷床直上アンモニアガス濃度の実測値と計算値の比較を示すが、ある程度的一致が見られた。

3.4.3 敷床直上アンモニアガス濃度と生物系変数の重回帰分析結果

敷床直上アンモニアガス濃度を目的変数とし、生物系要因である尿素分解活性、硝化活性、敷床溶出液の AOB 数、AOB 増殖活性を説明変数とした重回帰分析結果を表 12 に

表 11. 敷床直上アンモニアガス濃度と非生物系変数との重回帰分析結果

	係数	t	P-値
T-P	0.04	7.92	2.8E-07
T-S	-0.02	-2.25	0.04

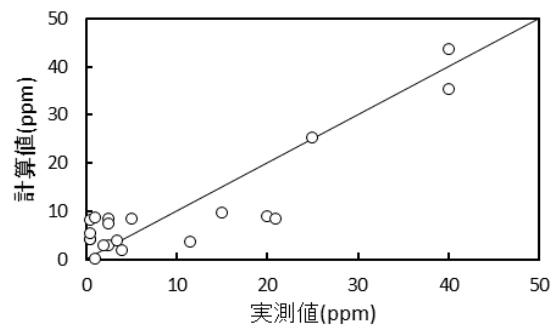


図 5. T-P、T-S を説明変数とした場合の敷床直上アンモニアガス濃度の実測値と計算値の比較 (図中の直線は実測値=計算値を表す)

表 12. 敷床直上アンモニアガス濃度と生物系変数の重回帰分析結果

	係数	t	P-値
尿素分解活 (mg/L)	0.05	7.09	9.7E-07

示す。得られた回帰式は有意であり、自由度調整済み寄与率は0.71で、尿素分解活性のみが有意で正の相関を示した。図6に敷床直上アンモニアガス濃度の実測値と計算値の比較を示すが、ある程度の一致が見られた。

尿素分解活性を目的変数とし、非生物系変数を説明変数とした重回帰分析結果を表13に示す。得られた回帰式は有意であり、自由度調整済み寄与率は0.66で、説明変数Ca、T-Pのみが有意であった。尿素分解活性に対してT-Pは正の相関、Caは負の相関を示した。t値はCaよりもT-Pが高いため、尿素分解活性に対してT-Pの方が貢献度が高かった。図7に尿素分解活性の実測値と計算値の比較を示すが、比較的良好な一致が見られた。

以上のことから、敷床直上アンモニアガス濃度に影響を与える生物変数は尿素分解活性であり、尿素分解活性と負の相関を持つCaは、尿素分解酵素であるウレアーゼの活性に阻害を及ぼす可能性が報告¹⁴⁾されている。また、表10に示すようにCaと相関の強いZnについてもウレアーゼ活性の阻害が報告されている。したがって、CaやZnを増やすことで尿素分解活性を抑制することができ、敷床直上アンモニアガス濃度が減少させることができる可能性が考えられた。

T-Sは敷床直上アンモニアガス濃度と負の相関が認められたが、その因果関係については分からなかった。

4. おわりに

本研究では、牛舎の主要な臭気ガスであるアンモニアに対する消臭剤Aの効果の検討を行った。また、消臭剤Aを用いている牛舎及び用いていない牛舎を調査し、牛舎でのアンモニアガス濃度に影響を与える要因を検討をした。得られた主な知見を以下に示す。

- (1) 消臭剤Aは硝化活性について消臭剤濃度1%以上で活性は2倍程度にする効果があったが、尿素分解阻害、A0B増殖活性については効果がなかった。
- (2) 消臭剤Aを使用しているのにも関わらず敷床直上アンモニアガス濃度の高い牛舎や、消臭剤Aを使用せずとも敷床直上アンモニアガス濃度の低い牛舎があった。
- (3) 敷床直上アンモニアガス濃度に対して有意の負の偏回帰係数を示した生物系変数は、尿素分解活性であった。
- (4) ウレアーゼ活性阻害が報告されているCaは、尿素分解活(4)性に対して有意で正の偏回帰係数を示した。
- (5) Caや、Caと強い正の相関を示しウレアーゼ活性阻害が報告されているZnを増やすことで敷床直上アンモニアガス濃度を減少させる可能性が示唆された。

謝辞: 本研究は宮崎県小林市からの受託研究によって行われた。ここに記して感謝します。

参考文献

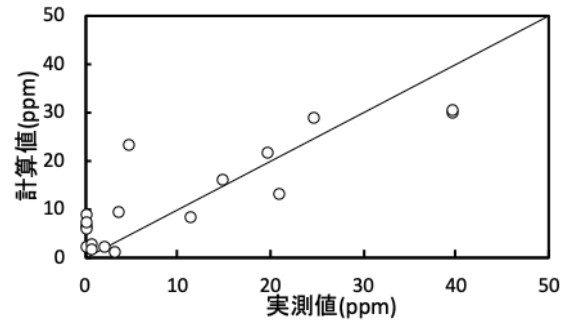


図6. 尿素分解活性を説明変数とした場合の敷床直上アンモニアガス濃度の実測値と計算値の比較(図中の直線は実測値=計算値を示す)

表-13 尿素分解活性と非生物系変数との重回帰分析結果

	係数	t	P-値
Ca	-0.24	-2.93	8.86E-03
T-P	0.44	4.64	2.06E-04

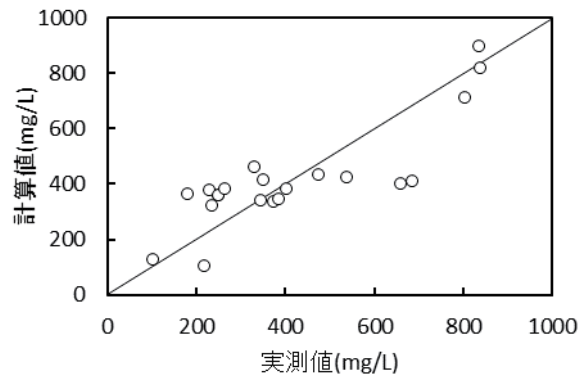


図7. T-P, Caを説明変数とした場合の尿素分解活性の実測値と計算値比較(図中の直線は実測値=計算値を示す)

- 1) 農林水産省: 畜産経営に起因する苦情発生状況, 農林水産省ホームページ http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisaku/pdf/kujoyou_29.pdf (閲覧日: 2020. 02. 15).
- 2) 張建国, 山田明央, 加茂峰男, 青木康浩, 河本英憲, 小林良次, 野中和久: フリーストール牛舎内におけるふん尿窒素の揮散損失, 日草誌, Vol. 52, pp. 106-108, 2006.
- 3) 石田聡一: イオンバランスを知って乳牛を健康に飼おう, 牧草と園芸, Vol. 54, pp. 11-14, 2006.
- 4) 森本直樹: アンモニア酸化菌による家畜ふん尿堆肥化過程におけるアンモニア発生低減効果, 東京農総研研報, pp. 19-23, 2011.
- 5) 環境省: 臭気対策行政ハンドブック, 環境省ホームページ <http://www.env.go.jp/air/akushu/guidebook/full.pdf> (閲覧日: 2020. 02. 15).
- 6) みやざきの環境: 悪臭防止に基づく規制地域等, <http://eco.pref.miyazaki.lg.jp/wp-content/uploads/2011/12/b053.pdf> (閲覧日: 2020. 02. 15).
- 7) 扇元敬治, 葦澤圭二郎, 桑原正貴, 寺田文典, 中井 裕,

- 杉浦勝明：最新畜産ハンドブック，pp. 550-551，講談社，2014.
- 8) 株式会社 OREC : Dr.MIST , <https://www.orec-jp.com/tokusetu/drmist.pdf> (閲覧日：2020.02.15).
- 9) 山本朱美：豚における低蛋白質飼料への高繊維質飼料原料の添加によるアンモニア発生量の低減，におい・かおり環境学会誌，Vol. 40，pp. 241-247，2009.
- 10) 道宗直昭：畜産施設における悪臭問題とその対策，環境技術，Vol. 30，pp. 206-212，2001.
- 11) 土手 裕，濱田 京平，伊藤 健一，関戸 知雄：牛舎から発生するアンモニアガスの消臭剤による消臭効果の検討，宮崎大学工学部紀要，47，pp.61-65，2018-07
- 12) 土壤微生物研究会：新編土壤微生物実験法，pp. 26，株式会社養賢堂，1992.
- 13) 土壤微生物研究会：新編土壤微生物実験法，pp210-212，株式会社養賢堂，1992.
- 14) 駒井豊，山田研一，山口益郎：多量に添加した重金属塩が土壤の二酸化炭素発生・無機態窒素の有機化・ウレアーゼ活性に及ぼす影響，日本土壤肥科学雑誌，Vol. 52，pp. 305-310，1981.