

**BULLETIN
OF
RESEARCH INSTITUTE OF ENVIRONMENT, AGRICULTURE AND FISHERIES,
OSAKA PREFECTURE**

No. 1 March 2014

**大阪府立環境農林水産総合研究所
研究報告**

第1号 平成26年3月



地方独立行政法人
大阪府立環境農林水産総合研究所
Research Institute of Environment, Agriculture and Fisheries,
Osaka Prefecture

大阪府立環境農林水産総合研究所研究報告 第1号（平成26年3月）

目 次

「総 説」

家畜排せつ物の堆肥化における臭気低減技術	西村和彦	1
-------------------------------	------------	---

「技術論文」

大阪における光化学オキシダント生成レジームに関する考察	山本勝彦	9
--------------------------------------	------------	---

ニホンジカによる森林下層植生衰退度の広域分布状況	幸田良介・虎谷卓哉・辻野智之	15
-----------------------------------	----------------------	----

【短 報】

苗木の熱処理によるイチジク株枯病防除試験	瓦谷光男・三輪由佳・磯部武志・細見彰洋・ 岡田清嗣	20
-------------------------------	------------------------------------	----

シュンギク施設栽培での豚ふん堆肥炭化物分級残さのカリウム肥料効果	佐野修司・鈴木敏征・上田浩三・阪本亮一・ 関戸知雄・土手 裕・内山知二	23
---	--	----

家畜排せつ物の堆肥化における臭気低減技術

西村和彦

I. はじめに

農林水産省の平成25年畜産統計調査によると、我が国の畜産経営は乳牛が飼養戸数19,400戸と飼養頭数約142万頭、肉用牛61,300戸、約264万頭、豚5,570戸、969万頭、採卵鶏2,730戸、約17,478万羽、ブロイラー2,420戸、約13,162万羽で、家畜排せつ物の発生量は、乳牛約2,357万トン、肉用牛約2,442万トン、豚約2,238万トン、採卵鶏約745万トン、ブロイラー約514万トンで合計約8,295万トンと推計されている^{1,2)}。

大阪府の畜産業は乳牛33戸、飼養頭数1,500頭、肉用牛10戸、840頭、豚8戸、6,170頭、採卵鶏17戸、87千羽となっており（平成25年度畜産統計）、生産額も25億円/年に留まっている。しかしながら、市場近接や食品廃棄物の利用によるいわゆるエコフィードの有利性を生かして大阪ウメビーフ、大阪地玉子、大阪家鴨などユニークな畜産物を生産し、都市の消費者に新鮮でおいしい畜産物を提供している。



第1図 昭和60年度に建設された日本で初めての豚ふんと食品残渣を原料とするメタン発酵施設(大阪府泉佐野市)

さらに、家畜排せつ物処理においては昭和46年から堺市周辺の酪農家が酪農団地を形成して一元的に牛ふんをハウス内で乾燥し、主に冬の堆肥化時に乾燥ふんを水分調整材として用いて発酵を促進している。また、養豚でも昭和60年11月に豚ふんと食品廃棄物を原材料としたメタン発酵装置が日本で初めてを設置された（第1図）。こうした取り組みの結果、住宅地が隣接する都市部でも畜産経営が存続している。

大阪府では家畜ふんの堆肥利用を推進するために毎年、大阪府家畜堆肥共励会を開催して畜産農家が生産する家畜排せつ物堆肥の高品質化を促すとともに、大阪府家畜堆肥利用マニュアルを作成して、堆肥の利用を促進している。大阪府の畜産農家は住宅地に隣接しており、家畜排せつ物の処理や養豚における飼料調製には細心の注意を払っているが、特に悪臭発生量が多い堆肥の切り換えし時や残飯の加熱処理時に発生する臭気に対して万全の対策を取っていないとたちまち周辺住民から苦情が寄せられる。苦情処理の対応に時間を割いていると安定的な経営ができなくなる。今後とも畜産農家が存続していくためには畜産農家から発生する悪臭抑制のための適正な対策が欠かせない。そこで、本稿では最近の家畜排せつ物処理、特に堆肥化処理における臭気対策について述べる。

II. 家畜排せつ物の処理と悪臭防止に関する法的規制

1. 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

家畜排せつ物を適切に処理・利用することは、畜産環境保全による安定的な畜産経営の継続と消費者ニーズに対応した畜産物の安定供給に欠かせない。平成11年7月に施行された「食料・農業・農村基本法」（「新基本法」）第32条「自然循環機能の維持増進」において国は農業の自然循環機能の維持増進を図るため、農薬及び肥料の適正な使用の確保、家畜排せつ物等の有効利用による地力増進その他必要な施策を講ずるものとするとしている。

これを受けて、環境三法と呼ばれている「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」）、「肥料取締法の一部を改正する法律」（「改正肥料取締法」）、「持続性の高い農業生産方式の導入の促進に関する法律」（「持続農業法」）の三法が平成11年11月に施行され、平成16年11月から本格施行となった。

「家畜排せつ物法」は畜産経営者に家畜排せつ物の適正な管理を求め、家畜排せつ物の保管・処理の管理方法や堆肥化施設の管理方法を具体的に定め、堆肥などに処理された家畜排せつ物の利用を促進することによって畜産業の持続的な発展を目論んでいる。また、「改正肥料取締法」は堆肥等特殊肥料の品質表示制度を設け、堆肥等の肥料成分の名称、肥料の種類、届出を受理した都道府県、表示者の氏名又は名称及び住所、正味重量、生産した年月、原料を表示することを義務化している。これによって耕種農家が堆肥や乾燥ふん等を利用しやすくなっている。さらに、「持続農業法」は第1条で「持続性の高い農業生産方式の導入を促進するための措置を講ずることにより、環境と調和のとれた農業生産の確保を図り、もって農業の健全な発展に寄与することを目的とする。」と定められており、堆肥等を利用した土づくりや化学肥料と農薬使用の低減を推進しようとしている。これらの環境三法によって畜産農家と耕種農家が家畜排せつ物の堆肥等を活用した土づくりを一体化に推進することで持続性の高い農業生産を進めようとしている。

家畜排せつ物法では家畜排せつ物の管理基準を次のとおり定めている。

管理基準

① 施設の構造に関する基準

- (a) ふんの処理・保管施設は、床をコンクリートその他の不浸透性材料で築造し、適当な覆い及び側壁を有するものとする
- (b) 尿やスラリーの処理・保管施設は、コンクリートその他の不浸透性材料で築造した構造の貯留槽とする

② 家畜排せつ物の管理の方法に関する基準

- (a) 家畜排せつ物は、施設において管理すること
- (b) 送風装置等を設置している場合には、その維持管理を適切に行うこと
- (c) 施設に破損があるときは、遅滞なく修繕を行うこと
- (d) 家畜排せつ物の年間発生量、処理の方法、処理量について記録すること等

これら環境三法は施行後14年以上経過した現在、家畜ふん堆肥の利用が進められ、平成24年12月の法施行状況

調査では管理基準対象農家の49,236戸のうち49,228戸99.98%が管理基準適合農家となっており、国内の家畜排せつ物が適正に処理・保管されていることがわかっている³⁾。

2. 悪臭防止法

悪臭防止法では22種類の規制対象物質(許容限度)としてアンモニア(1ppm)、メチルメルカプタン(0.002ppm)、硫化水素(0.02ppm)、硫化メチル(0.01ppm)、二硫化メチル(0.009ppm)、トリメチルアミン(0.005ppm)、アセトアルデヒド(0.05ppm)、スチレン(0.4ppm)、プロピオン酸(0.03ppm)、ノルマル酪酸(0.001ppm)、ノルマル吉草酸(0.0009ppm)、イソ吉草酸(0.001ppm)、プロピオンアルデヒド(0.05ppm)、ノルマルブチルアルデヒド(0.009ppm)、イソブチルアルデヒド(0.02ppm)、ノルマルバレールアルデヒド(0.009ppm)、イソバレールアルデヒド(0.003ppm)、イソブタノール(0.9ppm)、酢酸エチル(3ppm)、メチルイソブチルケトン(1ppm)、トルエン(10ppm)、キシレン(1ppm)が悪臭と定められており、敷地境界線で許容限度以下でなければならない。

また、平成12年5月の悪臭防止法の一部改正により臭気測定の業務に従事する者に関する制度が法律に位置づけられ、同年6月に排水に係る臭気指数規制基準の設定方法が定められたことで規制基準が整った。それを受け、平成13年3月に臭気指数規制ガイドラインが策定された。臭気指数とは嗅覚検査であらかじめ嗅覚が正常とされている被検者が臭気を感じなくなるまで試料を無臭空気希釈したときの希釈倍率(臭気濃度)を求め、その常用対数値に10を乗じた数値である⁴⁾。

$$\text{臭気指数} = 10 \times \text{Log}(\text{臭気濃度})$$

都道府県知事は、関係市町村長の意見を聴取(法第5条)して事業場から発生する悪臭を防止すべき地域を規制地域に指定(法第3条)する。都道府県知事、指定都市の長、中核市の長及び特例市の長(以下「都道府県知事等」という)は規制地域を指定し、特定悪臭物質の濃度(法第4条第1項)または臭気指数(法第4条第2項)のいずれかの規制基準を定める。大阪府内で臭気指数規制が導入されている市町は大阪市(平成18年4月)、泉佐野市、泉南市、阪南市、田尻町、岬町(平成18年6月)、堺市(平成20年1月)、松原市(平成20年7月)、岸和田市(平成20年10月)、吹田市(平成21年4月)、貝塚市、高石市、熊取町(平成22年4月)、高槻市、箕面市(平成23年4月)、茨木市(平成24年4月)である⁵⁾。

3. 水質汚濁防止法

畜産農家から家畜の尿、畜舎や搾乳施設の洗浄水などを河川や湖沼、港湾沿岸海域など、公共水域等に排水する場合、水質汚濁防止法に基づく排水規制の対象となることがある。養豚の場合、豚房の総面積が50㎡、酪農や肥育農家などの養牛農家の場合は200㎡の牛房がある場合、都道府県または市町村に届出が必要となる。すべての特定事業場を対象として、健康項目として、アンモニア、アンモニウム化合物及び亜硝酸・硝酸化合物（硝酸性窒素等）の暫定排水基準700mg/lが平成28年6月末まで適用される。それ以降の排水基準を一般基準である100mg/lにするか検討される。

また、排水量50m³/日以上の特特定業所では生活環境項目として生物学的酸素要求量（BOD）、化学的酸素要求量（COD）、浮遊物質（SS）、大腸菌群数、窒素含有量、リン含有量などが規制対象となっている。特定事業場の場合、一年に一回以上排水の水質項目について測定・記録・保存が義務付けられており、違反すると罰金が科せられる。なお、内湾に河川等を通じて排水が流入する地域の窒素・リンの排水基準である一般排水基準（窒素120mg/l、リン16mg/l）を達成することが著しく困難と認められる一定の業種（畜産農業（豚房を有するものに限る）を含む）に対しては暫定排水基準（窒素170mg/l、リン25mg/l）が平成25年10月～平成30年9月末日までの間、設定されている⁶⁾。

また、瀬戸内海、東京湾及び伊勢湾を対象として、化学的酸素要求量（COD）、窒素含有量、リン含有量の3項目について濃度規制だけでなく、総量規制が実施されている。対象となる事業所は平均排水量が50m³/日以上の法で定める指定地域内事業場で、畜産農家も規制の対象となる⁷⁾。

4. 廃棄物の処理及び清掃に関する法律

本法の目的は第1条で、「廃棄物の排出を抑制し、及び廃棄物の適正な分別、保管、収集、運搬、再生、処分等の処理をし、並びに生活環境を清潔にすることにより、生活環境の保全及び公衆衛生の向上を図ることを目的としている」と定められており、法施行令第2条第10項で動物のふん尿（畜産農業に係るものに限る）が産業廃棄物として定められていることから、家畜排せつ物は産業廃棄物となる。したがって、畜産業者は自らの責務及び義務として処分しなければならない。その場合、家畜排せつ物の運搬または処分は、廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令に規定する廃棄物の収集、運搬、処分等の基準及び海洋汚染及び海上災害の防止に関する法律施行令に規定する埋立場所等に排出する廃棄物の排出方

法に関する基準に従って適正に行われなければならない⁸⁾。

さらに、罰則規定はないが、市街の形態区域においてふん尿を肥料として利用するには発酵処理、乾燥・焼却、化学処理、ふん尿施設による処理を行い、十分に覆土する必要がある。つまり、家畜排せつ物は有価物で取引される以外は廃棄物で、廃棄物の処理及び清掃に関する法律に則して適切に処理されなければならない。また、家畜の死体も同法による規制の対象となる。

ただし、この場合、「廃棄物とは、占有者が自ら利用し、又は他人に有償で売却することができないため不要になった物をいい、これに該当するか否かは占有者の意志、その性状等を総合的に勘案して判断するもの」（「廃棄物処理法の解説」廃棄物法制研究会編著、（財）日本環境衛生センター）と解釈されるのが一般的であると考えられ、家畜排せつ物の場合であっても、当該家畜排せつ物が「廃棄物」であるか否かについては、ケースバイケースで判断されるべきものと考えられる。

また、腐敗によって悪臭を放つ家畜・家さんの死体は家畜伝染病予防法、化成場等に関する法律、牛海绵体脳症対策特別措置法などによっても適正な管理が求められている。

III. 家畜排せつ物の堆肥化

1. 畜産業から発生する臭気

HartungとPhillipsは畜舎から発生する物質は136種類あり、そのうちアンモニアとメタンが環境に影響を及ぼす最大のリスク物質であると述べている⁹⁾。畜舎から発生する臭気の源は飼料や動物の呼気なども考えられるが、家畜排せつ物が最も大きな発生源である。

平成9年度の農林水産省統計情報部の調べによると、搾乳牛の排せつ物量は1頭当たり生重で58.9kgであったが、平成23年の山田らの調査によると64.1±7.4kg/頭/日、乾物で8.8±1.1kg/頭/日、水分量は86.3%であった。これは、十余年で乳牛の産乳能力が向上し、乳牛の飼料摂取量が増えたことが原因と思われる。また、山田らは乾乳牛の排泄したふん尿は生重で37.7±3.5kg/頭/日、乾物で4.9±0.3kg/頭/日、水分含量は86.8%であったと報告している¹⁰⁾。その他の家畜排せつ物の排せつ量は第1表に示す¹¹⁾。

家畜排せつ物の処理法として堆肥化が最も一般的である。堆肥化は水分や悪臭のある生ふんや尿の水分を調製して好気発酵させる方法で、微生物の作用によって60℃以上の高温になり、水分も減り、悪臭もほとんどなくなる。良質な堆肥は保管や散布、作物の成長や品質、雑草管理の面で利用者にとってメリットがある。羽賀は良質

第1表 家畜・家きんの排せつ物量(kg/頭/日)

		ふん	尿	合計
乳牛	搾乳牛	45.5	13.4	58.9
	乾・未経産牛	29.7	6.1	35.8
	育成牛	17.9	6.7	24.6
肉牛	2歳未満	17.8	6.5	24.3
	2歳以上	20.0	6.7	26.7
	乳用種	18	7.2	25.2
豚	肥育豚	2.1	3.8	5.9
	繁殖豚	3.3	7.0	10.3
産卵鶏	雛	0.059	-	0.059
	成鶏	0.136	-	0.136
ブロイラー		0.130	-	0.130

な堆肥づくりのメリットとして次の3点を挙げている¹²⁾。

- ①汚物感や悪臭をなくし、病原菌や寄生虫などを死滅させることによって、使用者にとって取り扱いやすい良質で安全な有機質肥料を製造できること。
- ②堆肥が土壌や作物にとって良質な有機質肥料となること。十分に腐熟し、有害物質や雑草の種子などが分解・死滅し、肥料成分をほどよく含む有機質肥料が製造できる。
- ③有機資源リサイクルによって資源循環社会に貢献できる。

流通に耐える良質な堆肥とは悪臭が少なく、衛生的で安全で、取り扱いやすく、品質表示していることが必須となる。そのような堆肥の生産には水分調整と切り返しが必要で、完熟させるためには、水分、送風方法と量、肥料成分、易分解性有機物割合、微生物、温度、堆肥化に要する期間などを考慮する必要がある。発酵がうまくいくと発酵温度が70℃以上に上昇し、大腸菌0-157、病原菌、寄生虫卵、雑草の種子などを死滅させることができる¹³⁾。

堆肥化の過程で発生するアンモニア量は一次発酵期間中に堆肥原料1トン当たり約1kgとなるが、最初の2週間でその9割が発生する¹⁴⁾。それ以外に牛ふんの堆肥化過程で硫化水素、メルカプタン、硫化メチル、二酸化メチル、プロピオン酸、ノルマル酪酸、ノルマル吉草酸、イソ吉草酸などが発生する。これら以外にも、悪臭物質ではないが、温室効果ガスであるメタンや亜酸化窒素が堆肥切り返し時や第1回切り返し後5~10日に緩やかな揮散のピークを示しながら発生する¹⁵⁾。

豚ふんと尿の混合物からはトリメチルアミン、硫黄化

合物、低級脂肪酸、フェノール類、インドール類が発生する。通気式発酵槽での15日間の堆肥化で堆肥化開始時にアンモニア、トリメチルアミン、メチルメルカプタン、硫化メチル、二硫化メチルが発生し、堆肥化の進行とともに減少し、15日後にはほぼ検出されなくなる¹⁶⁾。

家畜ふん中に含まれる窒素は有機体で、作物はほとんど吸収できない。家畜ふんは堆肥中および土壌への施用後、微生物の作用によって無機化され、アンモニア態となって作物に吸収される。家畜ふんの堆肥化に伴う窒素の無機化のパターンは20℃ではほとんど無機化せず、30℃で2ヶ月目から無機化する牛ふん型、日数の経過とともに直線的に無機化する豚ふん型、20℃及び30℃ともに1ヶ月目から易分解性窒素の50%以上が無機化する鶏ふん型に分けられる¹⁷⁾。また、堆肥化過程で有機物、全炭素、ヘミセルロース、セルロースの含有量は減少し、一方灰分、全窒素、リグニンの含有量は相対的に増加し、その結果C/N比は減少する¹⁸⁾。

2. 堆肥製造のための水分調整

家畜排せつ物から良質な堆肥を製造するには最初に水分を60~70%に調整する必要があるが、水分調整材を選ぶ場合、安全性、資材のコスト、吸水性、通気性、C/N比、肥料成分量、悪臭発生の有無などを検討して選ぶ必要があり、一般的にはおが屑やもみ殻などが副資材として利用されている。前田らは乳牛ふんに副資材としてもみ殻、おが粉、廃紙をそれぞれ乾燥質量比で全体の15%と30%混合して堆肥化した場合、副資材混合により乳牛ふん堆肥化時のアンモニア揮散を抑制できないとみられるとの結果を得ている¹⁹⁾。これらの副資材以外にブドウやモモ²⁰⁾、ナシ²¹⁾、ウメ²²⁾などの剪定枝や、小ネギ下葉残さ²³⁾、メロンなどの茎葉残さ²⁴⁾、ユズ絞り滓²⁵⁾、シイタケ菌床²⁶⁾、コーヒーチャフ²⁷⁾、水生植物のヒシ²⁸⁾、カニ殻²⁹⁾、使用済みのポリ乳酸³⁰⁾などの利用法が検討されている。

上記の副資材は主に地域で発生している有機性廃棄物の再利用を目的としている。堆肥の高温発酵を目的に廃食油³¹⁾や生ごみを添加して堆肥化することがあるが、生ごみの添加量によっては悪臭が発生することがあるため注意が必要である³²⁾。

また、完熟たい肥を家畜排せつ物に添加して堆肥化する戻し堆肥は水分調整と微生物による脱臭効果を目的としており、豚ふん尿混合物に戻し堆肥を混合して堆肥化することで、悪臭物質が大幅に低減できる³³⁾。敷料として戻し堆肥を用いることで畜舎内や堆肥化時に発生する臭気を抑えられるが、戻し堆肥を繰り返し敷料として使用する場合は塩類濃度が高くなるため、おが屑、もみ殻を添加して塩類濃度を薄める必要がある³⁴⁾。

炭化した水生植物を牛ふん堆肥に添加することで硫化メチル、プロピオン酸、ノルマル酪酸に低減傾向が認められている³⁵⁾。また、鶏ふん炭ももみ殻を混合して容積重を調整した鶏ふんに容積比で10%添加することによっても臭気指数で8~10ポイント低下させることができる³⁶⁾。しかし、各家畜ふん炭のアンモニア脱臭性能(家畜ふん炭, 14~111mg/l)は活性炭(247mg/l)に比べて1/2~1/20と低い³⁷⁾。したがって、家畜ふん炭を家畜ふん等に混合して堆肥化する場合や脱臭塔に入れて脱臭剤として利用する場合、用いる家畜ふん炭の脱臭能力を事前に調べておく必要がある。

さらに、家畜排せつ物に微生物を添加して堆肥化時における悪臭の発生を抑えようとする研究が進んでいる。Kurodaらは家畜ふん堆肥から分離された高いアンモニア耐性を有する好熱性菌を家畜ふんに添加して堆肥化することでアンモニア発生量を抑えることができると報告している³⁸⁾。小山らも*Bacillus* sp. TAT105株添加によって豚新鮮ふんと尿、パーライトの混合物の堆肥化過程において硫酸にトラップされる窒素量を無添加区に比べ約60%低減できることを報告している³⁹⁾。また、森本は家畜ふん堆肥から分離したアンモニア酸化菌を乳牛のふん尿に 10^9 cfu/g添加することによって堆肥化初期に発生するアンモニアの総量を約20%抑制できることを報告している⁴⁰⁾。

3. 堆肥化において発生する悪臭の脱臭

家畜排せつ物の堆肥化によって発生する悪臭を脱臭する方法として生物脱臭、燃焼、吸着、薬液処理などがある⁴¹⁾。コスト面から最も普及しているのは生物脱臭で、一定の水分を保って微生物が生息しているロックウール、土壌、完熟堆肥などに堆肥化過程で発生する悪臭を導入して悪臭を除去することができる。完熟堆肥には多種多様な微生物が豊富に存在し、脱臭装置に利用することができる。堆肥の通年平均脱臭率はアンモニア97%、硫黄化合物86~95%、プロピオン酸を除く低級脂肪酸では22~59%となる。ただし、プロピオン酸は87%の増加を示した⁴²⁾。また、田中は堆肥化初期の2週間に発生するアンモニア等の強い悪臭成分を完熟堆肥に吸着させて速効性窒素成分を多く含む高窒素濃度堆肥を製造することができることを示している⁴³⁾。

微生物脱臭法では処理能力以上の高濃度の悪臭を処理できないため、腐葉土を用いたシャワーリング装置が開発されており、生物脱臭装置の拡張よりも低コストであることが示されている⁴⁴⁾。また、排出臭気の捕集が可能な縦型密閉発酵装置から排出される高濃度の悪臭を脱臭して臭気濃度3.5以下にするには水洗浄法による一次処

理と生物脱臭法による二次処理を組み合わせ、脱臭微生物起源としては、液状で取り扱い易い活性汚泥がよく、微生物固定化担体としては、カキ殻・軽石・鉢底の石(軽石と竹炭の混合物)が有望であると報告されている⁴⁵⁾。

通常、一般的な堆肥化では堆積した家畜排せつ物の下に配管したパイプから空気を送って好気発酵を促進するが、逆に堆積した家畜排せつ物を吸引通気して堆肥化する技術が開発されている。この技術では吸引した気体を脱臭装置で脱臭すれば堆肥化過程で発生するアンモニアなどの悪臭を周辺環境に放出することはほとんどなくなる。また、同法によって堆肥化された堆肥の品質は圧送通気式と大きな差は認められない⁴⁶⁾。さらに、堆肥化過程で発生するアンモニアを硫酸で回収した場合、中和によって生産される硫安液肥を飼料用イネの追肥として6kgN/10aの施用することができる⁴⁷⁾。

貯留中の新鮮な家畜排せつ物や一次発酵の済んだ堆肥からの悪臭の発生を防止するため、一般的には排せつ物や堆肥の表面におが屑を散布するが、米ぬかや腐葉土、製紙工程で生じる残さを炭化した炭化パルプスラッジが有効であることが示されている。米ぬかを家畜ふんや堆肥の表面に厚さ2cm散布することによって1時間以内にアンモニアの発生がなくなり、その抑制効果は数日間持続することが示されている⁴⁸⁾。また、炭化パルプスラッジを被覆することで硫黄化合物や低級脂肪酸の揮散が大幅に抑制される⁴⁹⁾。

4. 栄養水準の変更や給与飼料への資材の添加による脱臭

梅本らは粗蛋白質率15.9%の標準飼料に比べ、粗蛋白質を8.2%、粗繊維水準を5%に調製した低蛋白質飼料を肥育豚に給与した場合、アンモニア揮散量が40分の1に低下することを示した⁵⁰⁾。また、もみ殻炭を0.5~2%の割合で飼料に添加することによって肥育豚の発育や健康に害を及ぼすことなく、硫化水素とメルカプタン類のみならず臭気強度も低減できる⁵¹⁾。肥育豚に5%のワイン粕乾燥粉末添加飼料を給与した結果、尿中窒素濃度が給与開始3週後で有意に低く(P<0.05)、ふん尿混合物の揮散アンモニア性窒素量もやや低い数値を示した⁵²⁾。

肉用鶏の場合、飼料中に竹粉サイレージ資材を約5%添加することにより、また、採卵鶏の場合は、約10%添加することにより、排せつ物から揮散する硫黄化合物の濃度低減の可能性が示唆されている⁵³⁾。また、ニンジン葉を乾燥、粉末化後、産卵鶏の配合飼料に重量比で5%添加し、9羽の産卵鶏に4週間給与した結果、鶏ふんの主要な臭気物質であるアンモニアガス濃度がニンジン葉給与1週目から低下しはじめ、給与4週目には給与前の1/2以下に低下することが示されている⁵⁴⁾。さらに、ニンジン屑と豆

腐粕を1:1で混合し、フスマなどを加え、乳酸菌を添加して調製したニンジン・豆腐粕サイレージを給与することで、乳牛ふんからの揮散アンモニアと硫化水素の濃度が低くなり、官能試験においても、ニンジン・豆腐粕サイレージを給与した試験区が対照区に比べて有意に悪臭が低減されることを我々も報告している⁵⁵⁾。

また、残飯養豚でもコーヒー炭を飼料に添加するとともにオゾンによって豚舎を脱臭している事例も報告されている⁵⁶⁾。そのほか、栄養面からの家畜排せつ物の性状の制御については畜産環境整備機構の古谷修氏の総説を参考にされたい⁵⁷⁾。

IV. 摘要

家畜排せつ物の堆肥化における臭気低減は都市畜産における長年の課題であるが、脱臭装置のコストや設置スペースの問題で小規模な畜産農家ではいまだに脱臭装置が設置されていないところもある。今後、低コストでコンパクトな脱臭装置の開発が望まれるが、そのためには悪臭分解能の高い光触媒や空気中の化学物質や微生物を破壊できる装置などの開発やそれらと生物脱臭等との組み合わせ技術の開発も必要になるであろう。一方、畜舎から発生する悪臭はこまめな清掃と速やかな処理が原則である。また、周辺住民との軋轢を生まないためには周辺住民への挨拶と周辺環境の整備として植栽や花壇の設置、ハエ対策などに気を付けることが有効である⁵⁸⁾。

V. 引用文献

- 1) 農林水産省・畜産統計調査・畜産統計平成25年(2013).
<http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/tikusan/>.
- 2) 農林水産省・畜産環境対策・家畜排せつ物の発生と管理の状況(2013).
http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisa/ku/t_mondai/02_kanri/.
- 3) 農林水産省・畜産環境対策・家畜排せつ物法管理基準と施行状況(2012)
http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisa/ku/t_mondai/04_zyokyo/pdf/25housekou.pdf
- 4) 環境省・大気環境・自動車対策・臭気規制ガイドライン(2001).
http://www.env.go.jp/air/akushu/guide_ind/00.pdf
- 5) 大阪府・悪臭対策に関する情報・市町村別規制マップ(2012).
<http://www.pref.osaka.lg.jp/jigyoshohido/akusyu2/map.html>
- 6) 農林水産省・畜産環境対策・畜産経営に関する排出基準について(2013).
http://www.maff.go.jp/j/chikusan/kankyo/taisa/ku/t_info/02_haisui/index.html
- 7) 大阪府・大阪湾と河川の環境保全・水質総量削減制度について(2012).
<http://www.pref.osaka.lg.jp/kankyohozen/osaka-wan/souryoukisei.html>
- 8) 環境省・法令・告示・通達・廃棄物の処理及び清掃に関する法律施行令.
<http://www.env.go.jp/hourei/syousai.php?id=11000450>
- 9) Hartung J., Phillips VR. (1994). Control of Gaseous Emissions from Livestock Buildings and Manure Stores. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 57:173-189.
- 10) 山田明央・張建国・青木康浩・河本英憲・小林良次・野中和久・加茂幹男(2009). フリーストール牛舎における搾乳・乾乳牛の1日当たり糞尿排泄量. *日本家畜管理学会*. 45(3):124-130.
- 11) 農林水産省統計情報部編. 平成9年度畜産統計(1998).
- 12) 羽賀清典(2001). 家畜排せつ物の特性と堆肥化処理の基礎. 中央畜産会技術研修会資料 畜産環境保全 I. 41-72.
- 13) 羽賀清典(1998). あなたの堆肥は流通に耐え得るか 有機連携時代, 耕種農家と理解し合い, 堆肥を供給すべし. *DAIRYMAN*. 48(8):54-56.
- 14) 田中章浩(2003). 堆肥脱臭装置つき低コスト強制通気式堆肥舎の開発. 新技術内外畜産環境情報 1 新技術情報 その2
- 15) 田村忠・片山武彦・羽賀清典(1999). 牛糞の堆積式堆肥化過程における悪臭成分・温室効果ガスの揮散パターン. *日本畜産学会報*. 70(4):235-239.
- 16) 小山太・松原英隆・今村弥生・尾上武・近藤隆一郎(2011). 養豚堆肥化施設における発生源別の臭気物質の挙動. *日本畜産学会報*. 82(4):397-404.
- 17) 高橋朋子・山田正幸・鈴木睦美・浦野義雄(2001). 畜ふん堆肥の窒素無機化パターン. 群馬県畜産試験場研究報告. 7:107-112.
- 18) 原田靖生・羽賀清典・長田隆・伊澤敏彦・西村洋(1998). 牛ふん堆肥の腐熟過程における有機物の分解. *日本畜産学会報*. 69(12):1085-1093.
- 19) 前田武己・小藤田久義・立石貴浩・築城幹典(2009). 異なる副資材を用いた乳牛ふん堆肥化早期のアン

- モニア揮散. 農業機械學會誌. 71(5):81-87.
- 20) 古屋栄(2010). 鶏ふんを利用したブドウ, モモせん定枝の堆肥化技術. 農業および園芸. 85(2):258-264.
- 21) 森聡(2010). カンキツおよびナシ剪定枝, カンキツ果実搾りかすの堆肥化と施用効果. 農業および園芸. 85(6):617-625.
- 22) 武田知明・岡室美絵子(2012). ウメせん定枝の小規模簡易堆肥化法(1). 和歌山県農林水産総合技術センター研究報告. 13:49-55.
- 23) 安部貞昭・椎原誠一・奈良絵美(2010). 小ネギ下葉残さを用いた堆肥の作成方法と施用技術. 農業および園芸. 85(5):533-538.
- 24) 行弘恵・森永茂生・山崎浩司・北村明久(2006). メロン茎葉残さの堆肥化. 高知県農業技術センター研究報告. 15:45-54.
- 25) 吉川省子・村上敏文・藤原伸介(2010). ユズ滓と牛ふんを組み合わせた堆肥の製造とその特性. 農業および園芸. 85(6):626-632.
- 26) 小島陽一郎・阿部佳之(2011). 発酵乾燥させたキノコ廃菌床の乳牛ふん堆肥化における副資材利用. 農業施設学会. 131:39-45.
- 27) 高田修・篠倉和己(2005). コーヒーチャフの堆肥副資材適性試験. 兵庫県立農林水産技術総合センター研究報告 畜産編. 41:35-38.
- 28) 梅本英之・宇野史生・北田敬宇(2008). 水生植物「ヒシ」の高速堆肥化. 石川県農業研究センター研究報告. 28:45-47.
- 29) 南部奈津紀・笹木教隆(2012). カニ殻添加による牛糞の堆肥化への影響 カニ殻形状の変化. 福井県畜産試験場研究報告. 25:37-41.
- 30) 中谷洋・加藤隆久・鈴木良地・増田達明・原田英雄(2008). 牛ふんにポリ乳酸を添加した発酵堆肥と野菜栽培. 畜産の研究. 62(9):959-964.
- 31) 崎元道男(2000). 廃食油でたい肥づくり. ちくさんナビ4.
<http://www.jilia.lin.gr.jp/magazine/vol4/003html>
- 32) 内田啓一・白石誠・脇本進行・古川陽一・奥田宏健(2003). 牛ふんと生ゴミの混合堆肥化における高温発酵と悪臭低減効果. 岡山県総合畜産センター研究報告. 14:83-88.
- 33) 小山太・松原英隆・今村弥生・尾上武・近藤隆一郎(2011). 養豚堆肥化施設における発生源別の臭気物質の挙動. 日本畜産学会報. 82(4):397-404.
- 34) 羽賀清典(1998). 堆肥化を促進する水分調整と微生物添加の効果 戻し堆肥—そのメリットとメカニズム. DAIRYMAN. 48(4):46-47. デーリイマン社
- 35) 小林宙・白石誠・中町康人・疇地勲和(2009). 水生植物炭化物の添加による堆肥化時臭気低減効果の検討. 岡山総合畜産研報. 18:67-69.
- 36) 幸野拓矢・高木良弘・千歳健一・桑水郁朗(2009). 鶏ふん炭の悪臭抑制資材としての利用および, 大豆への施用効果に関する試験. 鹿児島農総セ研報(畜産). 3:11-18.
- 37) 石崎重信・大泉長治・岡崎好子(2005). 家畜ふん炭化物の脱臭性能, 畜産汚水脱色性能, および生ふんの通気性改善効果. 千葉県畜産総合研究センター研究報告. 5:37-42.
- 38) Kuroda K, Hanajima D, Fukumoto Y, Suzuki K, Kawamoto S, Shima J, Haga K. (2004). Isolation of thermophilic ammonium-tolerant bacterium and its application to reduce ammonia emission during composting of animal wastes. Biosci Biotechnol Biochem. 68(2):286-92.
- 39) 小山太・黒田和孝・浅田研一・尾上武・近藤隆一郎(2011). *Bacillus* sp. TAT105株添加による豚糞堆肥化過程のアンモニア揮散低減効果. 日本畜産学会報. 82(2):163-169.
- 40) 森本佐樹(2011). アンモニア酸化細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. 東京都農林総合研究センター研究報告. 6:19-23.
- 41) 道宗直昭(2009). 最近の研究動向 悪臭対策技術. 畜産環境情報 43:3-8.
- 42) 田中章浩(2003). 堆肥脱臭装置つき低コスト強制通気式堆肥舎の開発. 新技術情報. 畜産環境情報第21.
- 43) 田中章浩(2003). 堆肥脱臭による臭気低減化と高窒素濃度堆肥の製造 【特集】酪農における窒素循環効率化のための技術シーズ. J A T A F F ジャーナル1, 2.
- 44) 石橋誠・石原健・富森健助(2003). シャワーリングによる低コスト脱臭技術. 熊本県農業研究センター研究報告. 12:88-93.
- 45) 田村章・内田順子・串田光祥・岩崎幹男・藤田淳二(2004). 畜産系コンポスト処理時の臭気低減化に関する研究 残留臭気の高減化(二次処理)に関する研究. 香川県環境保健研究センター所報. 3:73-83.
- 46) 阿部佳之(2008). アンモニア排出を低減する吸引通気式堆肥化処理. 養豚の友. 472:51-57.
- 47) 森田昌孝・石川恵・吉田宣夫・堀口健一・高橋敏能(2012). 吸引通気式堆肥化システムで回収した硫安液肥が餌料用イネの生育および収量に与える影響. 日本草地学会誌. 58(3):166-172.

- 48) 高橋俊夫・村中謙昭・古本史(2003). 米ぬか等を利用した家畜ふんと堆肥の脱臭. 広島県立畜産技術センター研究報告. 13:72-76.
- 49) 庄野俊一・黒田和孝・鈴木一好(2005). 炭化パルプスラッジによる貯留豚糞の臭気抑制:鳥取県中小家畜試験場研究報告. 55:57-62.
- 50) 梅本栄一・折原惟子(2005). 飼料環境改善による畜舎発生臭気の軽減技術の検討(2) 蛋白飼料・高繊維質飼料利用による豚舎臭気の軽減. 神奈川県畜産研究所研究報告. 90:61-64.
- 51) 佐々木浩一・鈴木人志・遠田幸生・熊谷誠治・濱野美夫・栗本康司(2010). 粃殻炭添加飼料給与による豚糞からの臭気低減効果(第2報). 秋田県畜産試験場研究報告. 24:18-31.
- 52) 松葉賢次・甲斐敬康・竹之山慎一・後藤史明・丸田喜義・今林寛和・村上斉・河原聡・六車三治男(2010). ワイン粕給与が肥育豚の排せつ物の性状, 臭気および微生物菌叢に及ぼす影響. 宮崎大学農学部研究報告. 56:119-125.
- 53) 中村茂和・松井繁幸・杉山典・黒田博通(2009). 竹粉サイレージの給与が肉用鶏および採卵鶏の排せつ物臭気に及ぼす影響. 静岡畜技研中小研セ研報. 2:43-48.
- 54) 崎元道男・出雲章久(2001). ニンジン葉給与による鶏ふんの臭気軽減. 大阪府立農林技術センター研究報告. 37:39-42.
- 55) 大阪府環境農林水産総合研究所(2009). 平成20年度中小企業組合等活路開拓事業に係る受託研究成果報告書 豆腐粕・野菜屑等を活用した乳酸菌発酵飼料の調製と飼料評価.
- 56) 社団法人中央畜産会(2005). 平成17年度全国優良畜産経営管理技術発表会 都市と共存できる養豚経営確立.
<http://jlia.lin.gr.jp/superior/05prize/pdf/9.pdf#search='%E6%AE%8B%E9%A3%AF%E9%A4%8A%E8%B1%9A+%E6%82%AA%E8%87%AD%E5%AF%BE%E7%AD%96'>.
- 57) 古谷修(2004). 家畜排せつ物の栄養生理学的制御技術. 中央畜産会技術研修会資料 平成16年度畜産新技術A, B:133-147.
- 58) 財団法人畜産環境整備機構(2010). 畜産環境緊急技術開発普及事業(平成20~22年度) 悪臭苦情低減技術等開発 事例解説集 悪臭苦情を減らすために ~ 養豚・酪農経営をささえる技術と知恵~.

大阪における光化学オキシダント生成レジームに関する考察

山本勝彦

Consideration on Photochemical Oxidant Production Regime in Osaka

Katsuhiko YAMAMOTO

Summary

It is considered that there are 2 regimes in photochemical oxidant production process – NO_x-limited and HCs-limited. To construct the regional countermeasures of photochemical oxidant, it is necessary to consider the regime in each district. In this study, the relation between the yearly change of NO_x/HC ratio and the trend of Ox concentration is investigated. In Osaka, many monitoring sites showed NO_x-limited regime in late 1990s. At these sites, concentration of HCs was reduced because of the countermeasures of HCs. But reduction of PO(Potential Ozone) concentration was not apparent. Recently, most of the monitoring sites are in the neutral position of these regimes, so the effects of HCs and NO_x reduction measures become apparent.

I. はじめに

光化学オキシダント(以下, Ox)年平均濃度は, 1970年代に顕著な低下を示した後, 緩やかな上昇をみせ, 近年は上昇が明確になっている(第1図).

Oxは, 環境大気中の光化学反応により生成され, その生成反応の原因物質(前駆物質)は, 大気中の窒素酸化物(以下, NO_x)と, 揮発性有機化合物(以下, VOC)とされている. これらの前駆物質に対して, 排出規制策がとられてきた. NO_xについては, 1992年に制定された自動車NO_x・PM法にもとづき, 大阪府が総量削減計画を策定するなどして対策を進め, 2010年度には府域の全測定局でNO₂の環境基準を達成するなど, 濃度は着実に低下している(第2図). また, VOCについては, PRTR法や府条例にもとづく化学物質管理制度の導入と排出規制を導入した結果, VOCを含む非メタン炭化水素(以下, NMHC)についても, 濃度が大きく低下している(第3図). このように, Ox生成の前駆物質の濃度が低下しているにもかかわらず, Ox年平均濃度の上昇が続いている.

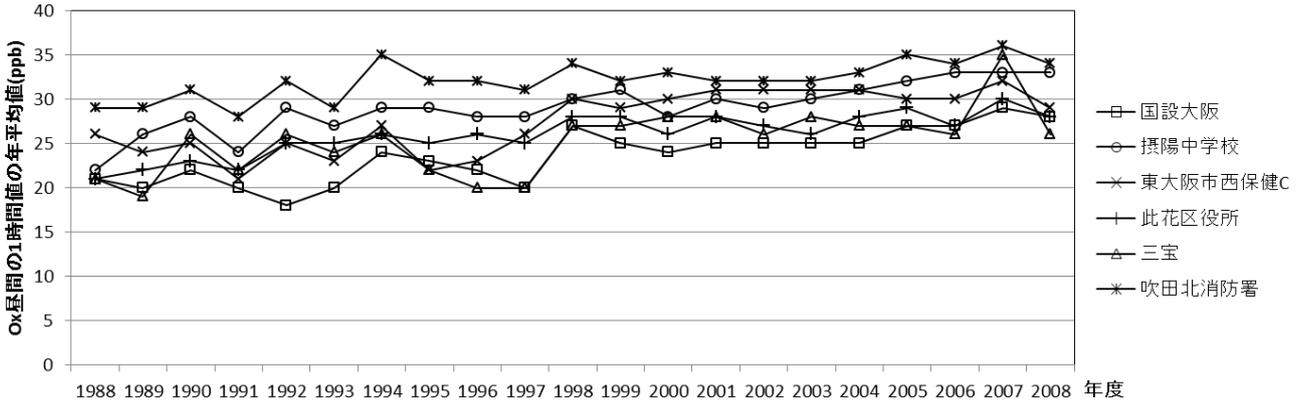
この原因としては, NO_xの大部分がNOとして排出されるが, これが大気中でOxと反応してNO₂となることでOx濃度の低下をもたらす, いわゆるタイトレーション効果が, NO_x濃度の低下により少なくなり, 結果としてOx濃度上昇をもたらしていることが考えられる. また, 東ア

ジア地域で排出された大気汚染物質が長距離輸送により日本に飛来する, 広域移流による寄与も考えられる. しかし, タイトレーションによる消失を含めたOxの指標であるPO濃度(後述)でも上昇がみられることや, 広域移流の少ない夏季でもOx濃度上昇が観測されることから(図省略), これら以外の要因も考えられる.

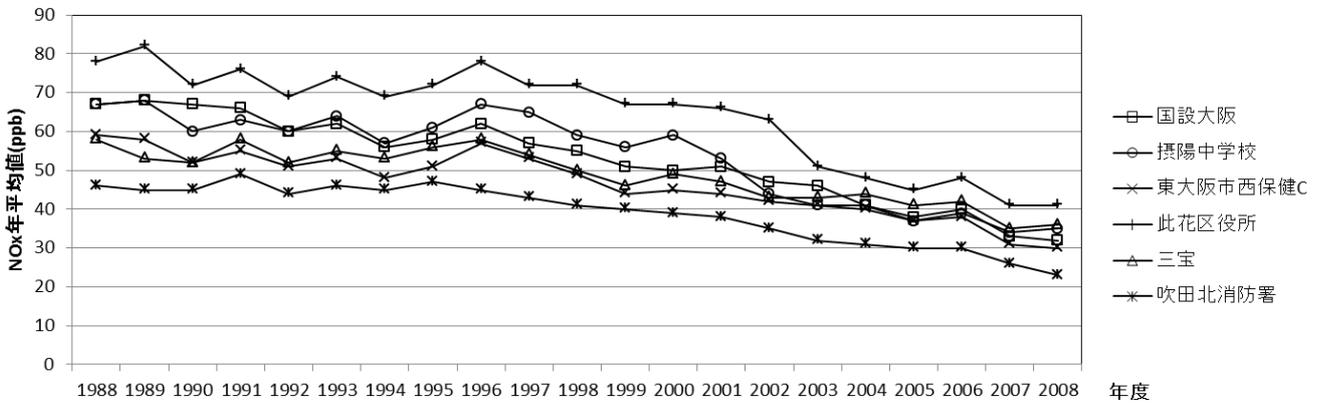
光化学反応による生成に大きな役割を果たすOHラジカルとそれと反応する既知の物質の測定結果から, OHラジカルの未知の反応相手の存在が考えられ^{1),2)}, それを未把握のVOCと推測し, いくつかの研究がなされている^{3),4)}.

また, これらの考え方に加えて, Ox生成反応には, 大気中のNO_xと炭化水素(以下, HC)の濃度のバランスにより, NO_x律速とHC律速の2つのレジームの存在が考えられ, 地域によってレジームの違いがあるという研究がなされている^{5),6),7)}. 大阪においても, 週末のOx濃度上昇の現象について, このレジームを踏まえた説明がなされている^{8),9)}. 本研究は, 大阪府域における効果的なOx対策の確立に資するため, NO_x-HC濃度バランスの経年的な変化とOx濃度の動向の解析を行うものである.

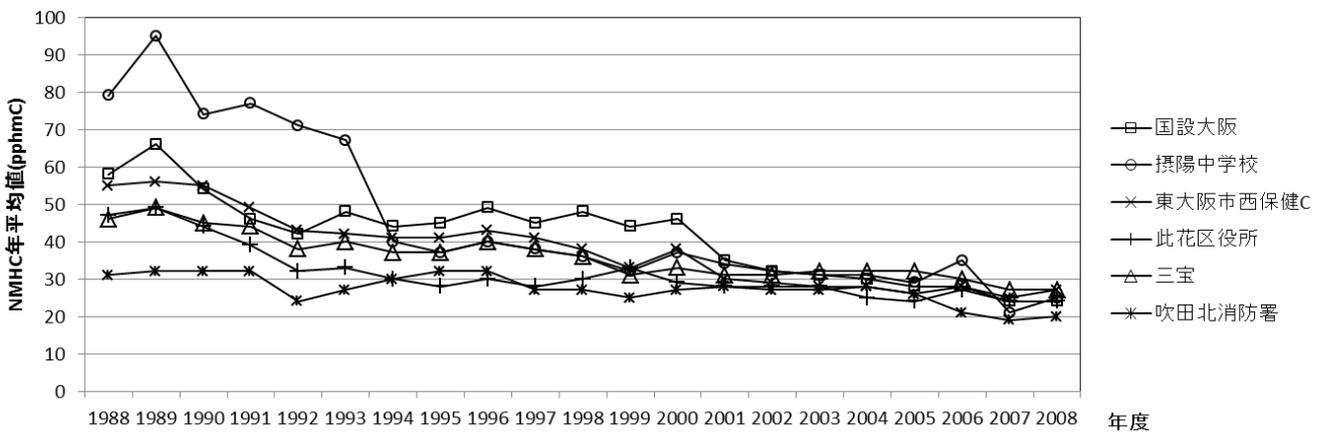
なお, 本研究は, 国立環境研究所と地方環境研究所との共同研究「PM_{2.5}と光化学オキシダントの実態解明と発生源寄与評価に関する研究」(2010~2012年度)の成果の一部を用いるため, 解析対象年度を1988~2008年としている.



第1図. オキシダント濃度経年変化(大阪府常時監視主要局)



第2図. 窒素酸化物濃度経年変化(大阪府常時監視主要局)



第3図. 非メタン炭化水素濃度経年変化(大阪府常時監視主要局)

II. 方法

1. Ox生成レジームについて

ジェイコブは、Oxの生成に前駆物質であるNOxとHCの濃度バランスが影響を及ぼすとしている。すなわち、NOxがHCに比べて高い濃度である場合、HCの増がOHラジカルを生成することによりOx生成を促す。一方HCが高い濃度にある場合は、NOxの増がOx生成の増をもたらす⁵⁾。これらのことからSillmanは、アメリカ東部の都市域と郊外地域におけるOx濃度を化学モデルにより解析し、Ox生成にHC律速とNOx律速の2つのレジームが存在するとした⁶⁾。この考えは、我が国においても適用され、神成は、関東、関西地域における光化学Oxの週末高濃度の解析にこのOx生成レジームを用いている^{7),8)}。また、Kanayaらは、2004年の夏と冬の東京でのOx生成速度の解析から、同様のOx生成レジームを論じている⁹⁾。また、大阪でのOx週末高濃度の解析に、濱名ら¹⁰⁾や藤原ら¹¹⁾がこのレジームを用いている。

Ox生成レジームを用いた我が国での解析は、週末効果や高濃度日を対象にしたものが多い。ここでは、Ox削減対策に結び付けるため、平均濃度を用いて生成レジームを論じることとする。

2. 解析に用いるデータ

木村は、NO、NO₂、O₃の反応モデルを作る中で、NOのタイトレーション効果によるO₃の減を含むOxの指標として、NO₂とO₃濃度を足し合わせたポテンシャルオゾン(PO)という変数を考案した¹²⁾。さらに一次排出のNO₂がNOxの約10%を占めるとして、第1表に示すPOの定義を提案している¹³⁾。ここではOxをタイトレーション効果により消失した分も含めて評価するため、OxにかわってPOを用いた。HC濃度としては、NMHC濃度を用いた。

ここで解析に用いるデータは、1988～2008年の大阪府大気汚染常時監視データとし、神成⁷⁾、濱名ら¹⁰⁾により、

第1表. 解析に用いるデータ

<p>解析期間:1988～2008年夏季(5～9月)</p> <p>14時までの日射量積算が5MJ/m²以下の日は除く(日射量データがない局は、国設大阪のデータを利用する)</p> <p>解析項目</p> <p>PO: (Ox+NO₂-0.1×NOx):5～9月の日ピーク値</p> <p>NOx, NMHC:5～15時の平均</p> <p>解析対象局:Ox, NO₂, NMHC測定的一般局</p>
--

第2表. 解析対象局

局名	所在地
国設大阪	大阪市東成区
摂陽中学校	大阪市平野区
東大阪市西保健C	東大阪市
此花区役所	大阪市此花区
三宝	堺市
吹田消防署	吹田市

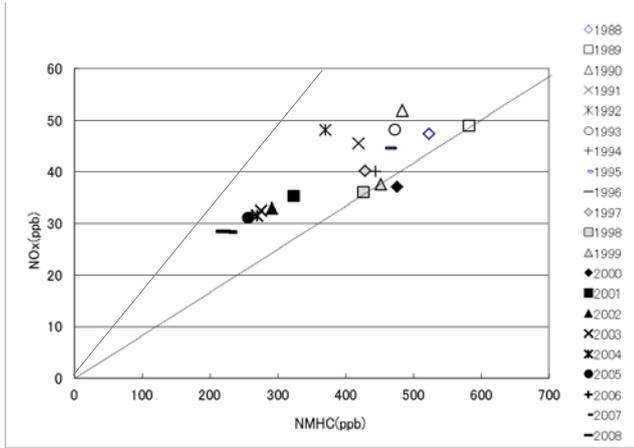
第1表に示すような絞り込みを行った。NOx, NMHCの濃度を5～15時の平均濃度としたのは、Ox生成にかかわる時刻と考えるからである。日射量の積算値を用いて解析対象日を限定しているのは、Ox生成の少ない曇り、雨の日を除くためである。解析対象局は、Ox, NOx, NMHCを当該の期間測定している一般局のうち、比較的POの変化の明瞭な局を選び、第2表に示す6局とした。

III. 結果および考察

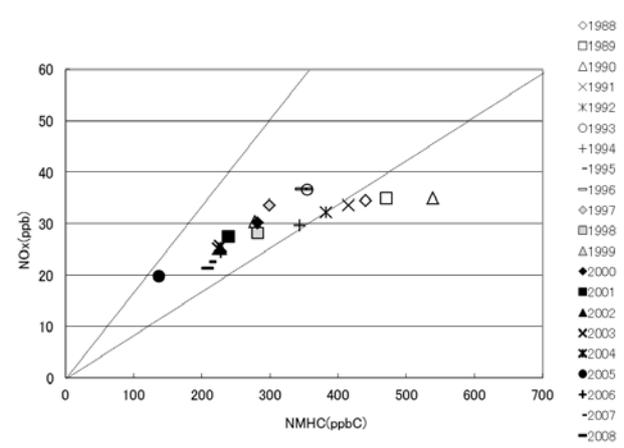
第4～9図に解析対象局のNOx-HC図を示す。神成らは、関西地域においてのNOx律速とHC律速の境は、NMHC/NOxが6～12程度のところとしている⁸⁾。この境を参考として第4～9図に示す。これより右下がNOx律速、左上がHC律速としている。概ね1990年代後半から2000年にNMHC濃度が大きく低下した局(国設大阪局、東大阪西保健センター局、摂陽中学校局)と、低下が大きい局(此花区役所局、吹田北消防署局、三宝局)の2つに分けられることがわかる。それぞれのPO濃度の経年変化を第10,11図に示す。

NMHC濃度が大きく低下した局(第4～6図)は、NMHC濃度が高かった局である。これらの局は、元来NOx律速の領域にあったため、NMHC濃度低下がPO濃度に顕れにくく、第10図及び第3表に示すように2000年までのPO濃度は若干の低下にとどまっている。一方、NMHC濃度の低下が大きい局(第7～9図)については、元来NMHC濃度が低く、2000年前後のHC対策の効果が顕れず、第11図及び第3表にみられるように、2000年までのPO濃度は若干の増を示している。

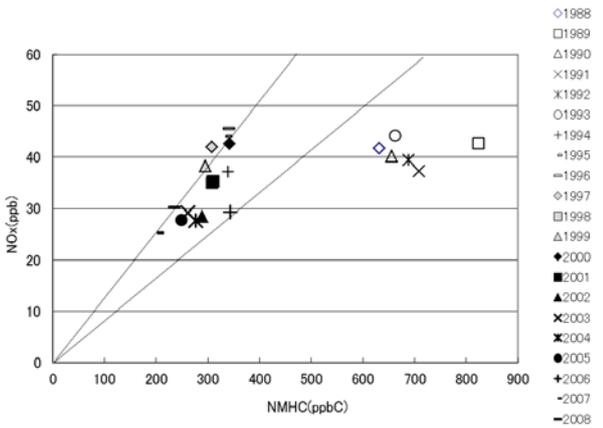
最近では第10,11図及び第3表にみられるように、多くの局でPO濃度の低下がみられ、近年いっそうこの傾向が顕著になっている。これは、全体的にNOx-NMHCバランスの差が小さくなり、対策(特にNOx対策)の効果が同じように顕れてきたためと考えられる。



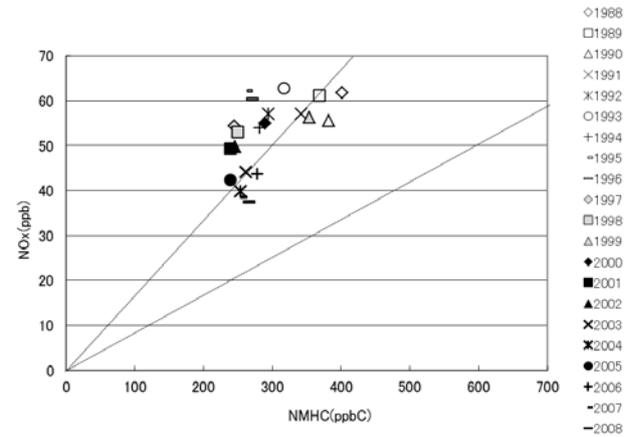
第4図. 国設大阪局 NMHC- O_x 散布図 (1988~2008年)



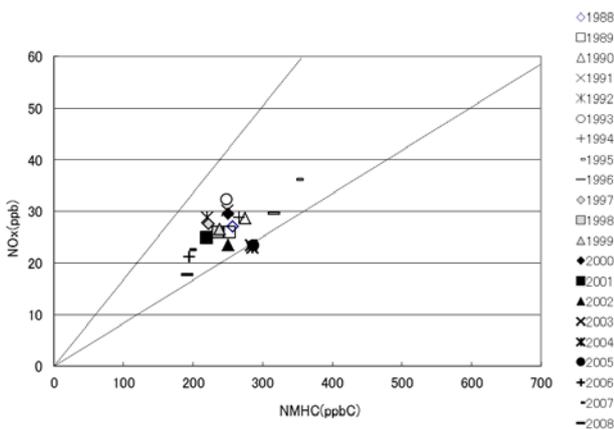
第5図. 東大阪西保健センター局 NMHC- O_x 散布図 (1988~2008年)



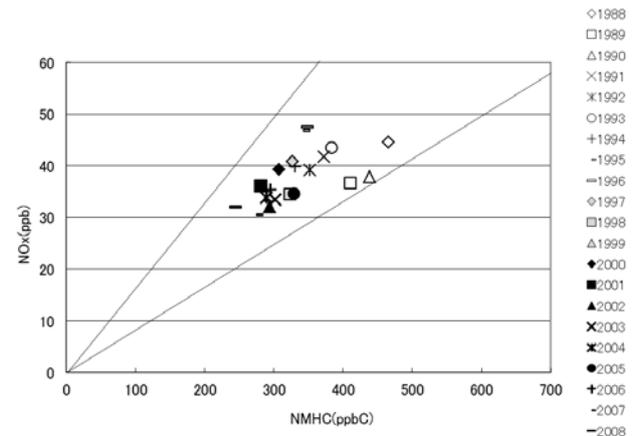
第6図. 摂陽中学校局 NMHC- O_x 散布図 (1988~2008年)



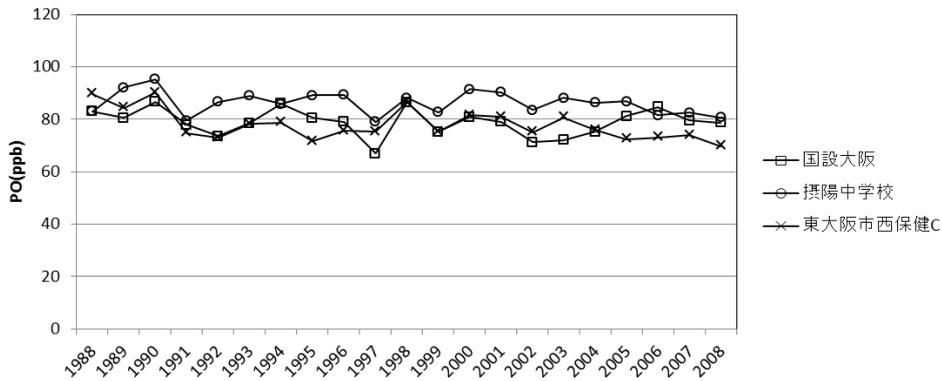
第7図. 此花区役所局 NMHC- O_x 散布図 (1988~2008年)



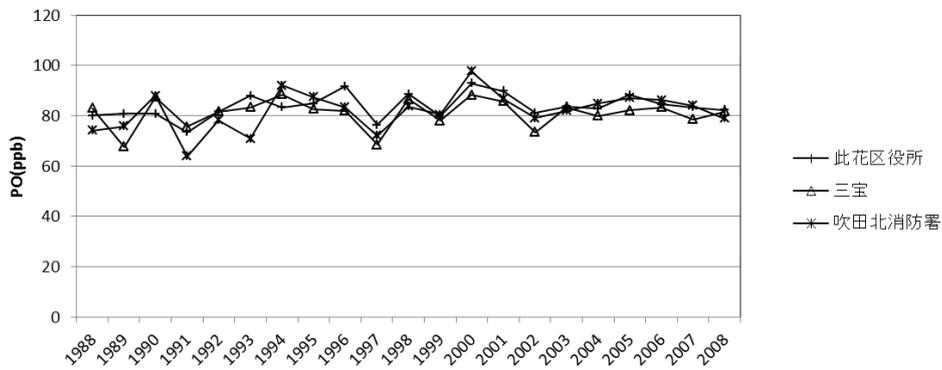
第8図. 吹田市北消防署局 NMHC- O_x 散布図 (1988~2008年)



第9図. 三宝局 NMHC- O_x 散布図 (1988~2008年)



第 10 図 PO 経年変化 (NMHC 減の大きい局)



第 11 図 PO 経年変化 (NMHC 減の大きくない局)

第 3 表. PO 濃度変化の年度との勾配 (ppb/年)

局名	2000年まで	2001年以降	2005年以降
国設大阪	-0.33	0.98	-1.24
摂陽中学校	-0.11	-1.09	-1.79
東大阪市西保健C	-0.59	-1.33	-0.73
此花区役所	0.71	-0.39	-1.92
三宝	0.33	-0.01	-0.64
吹田消防署	1.08	-0.19	-2.68

IV. 摘要

本研究では、以下のことが明らかになった。

- ①大阪においても、Ox生成には、2つのレジーム(NOx 律速, HC律速)が存在することを考慮する必要がある。
- ②大阪では、HC対策の効果は、1990年代後半から2000年前後に顕著になるが、NOx律速の局が多く、NMHC濃度の低下がみられた局でも、PO濃度の低下は若干にとどまった。また、NMHC濃度の低い局については、HC対策の効果は顕れず、PO濃度の上昇がみられた。

③近年は、PO濃度が全体的に顕著に低下している。これは、NOx-NMHCバランスの差が小さくなり、対策(特にNOx対策)の効果が同じように顕れているためと考えられる。

以上のことから、これまでのOx対策が、前駆物質の濃度低下を達成していながらOx年平均濃度の低下に至らなかったことは、個々の対策がここで論じたOx生成レジームを考慮して遂行されていなかったことによると考える。今回の考察により、大阪府域においても両方のOx生成レジームが混在し、時期的にも変化していること

がわかった。今後、Ox対策の効果的な遂行のためには、Ox生成レジームの動向を踏まえて、NOx対策に重点を置くべきかVOC対策に重点を置くべきかを詳細に検討し、見極めていく必要があると考える。

神成は、NOx-HC散布図上にOx等値線を示している⁷⁾。これは数値解析により求めた生成速度の値である。このように、これまでの研究では、Ox生成速度として数値解析結果を用いている。しかし、Ox生成速度は地域的な違いがあり、実測で求めるべきと考える。今後、Ox生成レジームをOx生成実測値で論じることができることをめざしたいと考える。

本研究にあたっては、国立環境研究所と地方環境研究所との共同研究「PM_{2.5}と光化学オキシダントの実態解明と発生源寄与評価に関する研究」(2010～2012年度)の成果の一部を用いた。

V. 引用文献

- 1) 吉野彩子・定永靖宗・渡邊敬佑・吉岡篤史・加藤俊吾・宮川祐子・林一郎・市川雅子・松本淳・西山綾香・秋山成樹・梶井克純(2005). OHラジカル寿命観測による都市大気質の診断—東京郊外における総合観測. 大気環境学会誌. 40:9-20.
- 2) 中嶋吉弘・松井裕明・井出滋雄・宮崎洸治・山崎晃治・岡崎創・長田拓也・田島洋介・Suthawaree J.・加藤俊吾・下紳郎・松永壮・Ape E.・Greenberg J.・Guenther A.・上野広行・佐々木啓行・星純也・吉野彩子・横田久司・石井康一郎・梶井克純(2009). OHラジカル寿命観測による都市大気質の診断—東京都心部における総合観測. 大気環境学会誌. 44:33-41.
- 3) 山崎昌平・Emile A.D.J.・Jones C.・中嶋吉弘・加藤俊吾・梶井克純(2012). 北米産針葉樹から放出されるVOCsの化学分析とOH反応測定. 大気環境学会誌. 47:1-8.
- 4) 加藤俊吾・中嶋吉弘・梶井克純(2012). Ox生成に関わる未計測VOCについて. 大気環境学会誌. 47:A2-5.
- 5) ジェイコブ D.J.(2002). 大気化学入門(近藤 豊訳). 東京大学出版会.
- 6) Sillman S., Logan J.A., Wofsy S.C.(1990). The Sensitivity of Ozone to Nitrogen Oxides and Hydrocarbons in Regional Ozone Episodes. J. Geophysical Research. 95:1837-1852.
- 7) 神成陽容(2006). 関東・関西地域における光化学オキシダント濃度の週末効果に関する解析 第1報 二種類の週末効果反転現象の発見. 大気環境学会誌. 41:209-219.
- 8) 神成陽容(2006). 関東・関西地域における光化学オキシダント濃度の週末効果に関する解析 第2報 ダイナミックに変化するオゾン生成レジームの検証. 大気環境学会誌. 41:220-233.
- 9) Kanaya Y., Fukuda M., Akimoto H., Takegawa N., Komazaki Y., Yokouchi Y., Koike M. and Kondo Y.(2008). Urban photochemistry in central Tokyo:2.Rates and regimes of oxidant (O₃+NO₂) production,. J. Geophysical Research,. 113, D06301, doi:10.1029/2008JD008671.
- 10) 濱名実・定永靖宗・竹中規訓・坂東博(2006). 大阪府におけるオゾンと前駆体濃度の平日/週末間の違い—現状とその要因について. 大気環境学会誌. 41:300-308.
- 11) 藤原大・定永靖宗・竹中規訓・坂東博(2012). 大阪府におけるオゾンとその前駆物質の週内変動. 大気環境学会誌. 47:75-80.
- 12) 木村富士男(1978). 近似解法によるNO,NO₂,O₃の反応モデル. 大気汚染学会誌. 13:67-75.
- 13) 木村富士男・相川光明(1991). 寒候期の大都市域におけるNO₂の生成要因. 天気. 38:315-323.

ニホンジカによる森林下層植生衰退度の広域分布状況

幸田良介・虎谷卓哉・辻野智之

Distribution Pattern of Shrub-layer Decline Rank by Feeding Pressure of Sika Deer

Ryosuke KODA, Takuya TORATANI and Tomoyuki TSUJINO

Summary

To assess the distribution pattern of deer feeding impacts on forest vegetation, “Shrub-layer Decline Rank (*SDR*)” was determined by combining the shrub-layer vegetation coverage and the presence of browsing signs by sika deer, and the distribution pattern of *SDR* was estimated using the inverse distance weighting method. *SDR* showed the significant correlation among deer impacts on other forest components, suggesting the reasonability of *SDR* to assess the decline of forest vegetation by sika deer. Distribution pattern of *SDR* roughly coincided with the distribution of deer sighting per unit effort. At this time, extremely high *SDR* was not found in Osaka Prefecture. However, deer population still increase, and it is therefore important to continue monitoring *SDR*. For the future, more precise estimation of the distribution pattern of deer population density and analysis of the relationship between *SDR* and deer population density are necessary.

I. はじめに

近年日本各地でニホンジカ (*Cervus nippon*, 以下「シカ」)の個体数の増加や分布域の拡大が指摘されており、それにとまなう森林植生の衰退や農林業被害が大きな問題となっている^{1, 2, 3)}。大阪府においても北摂地域を中心にシカによる被害が発生しており、特定鳥獣保護管理計画による対策が進められている⁴⁾。計画が目指す科学的な管理や統合的管理のためには、シカ個体群や被害の状況、生息地の状況をモニタリングし、結果をフィードバックしていくことが必要である³⁾。被害状況のうち、農林業被害については、農林業従事者を対象としたアンケート調査などによって被害金額や被害面積などを把握していくことが可能であり、実際に大阪府を含むほとんどの都道府県によって被害モニタリングが行われてきた。一方で、森林植生への影響についてはモニタリングが行われていない都道府県が多く、大阪府でもこれまでのところ限定的な植生調査に留まっており、広域的な被害分布状況は把握できていなかった。

シカによる森林植生への影響は、下層植生の生長率や

生残率の低下⁵⁾、不嗜好性植物の優占による植生の単純化⁶⁾といった直接的な影響だけに留まらず、森林生態系の様々な側面に間接的に波及する⁷⁾。例えば、シカの採食によって森林植生が衰退すると、森林を生息地として利用するクモ類⁸⁾や鳥類⁹⁾が減少するなど、多様な分類群の生物に影響が及ぶことが指摘されている。加えて、森林植生が著しく衰退すると土壌浸食が発生することが示唆されており^{10, 11)}、土壌保全機能の低下も懸念される。以上のように、シカによる森林植生被害状況を広域的に把握することは、森林植生保全のみならず、生物多様性を保全し、森林の有する公益的機能(生態系サービス)を保持していくためにも非常に重要である。

そこで本研究では、藤木¹²⁾による簡易な下層植生衰退度調査手法を導入し、シカによる森林植生被害状況を広域スケールで把握することを目的として調査を行った。野外において森林の下層植生調査を行うとともに、出猟カレンダーによるシカ目撃効率の分布状況を解析し、下層植生衰退度の分布状況と比較した。

II. 材料および方法

1. 野外植生調査

調査は大阪府北摂地域（能勢町、豊能町、池田市、箕面市、茨木市、高槻市、島本町）を対象に、平成25年6～11月に行った。コナラ-アベマキ林やアカマツ-コナラ林などの落葉広葉樹が卓越する林分を、調査地域を均等にカバーできるように53ヶ所選定し（第1図）、林分内の下層植生調査を行った。なお、調査林分の選定にあたっては、下層の光条件や人為的攪乱の影響の程度をできるだけ揃えるため、藤木¹²⁾に従って、1) 林冠の高さが10m以上であること、2) 林冠が閉鎖していること、3) 伐採痕など人為的な攪乱痕跡がないこと、4) 林縁部からの光が入らない程度に林縁から離れていること、5) アセビ等の不嗜好性樹木が低木層に優占していないこと、の5点に留意した。

各調査林分において、20m四方程度の調査区を設定し、GPS（Garmin社 GPSmap60CSx）を用いて調査区中央の位置座標を測定した。その後、調査区内をくまなく踏査し、シカによる採食痕跡の有無を記録した。採食痕跡は過去2～3年以内の比較的新しいもののみを対象とした。また、低木層（樹高1～3m）での木本類の植被率と、地上高3m以下の全ササ類の植被率を、1) 50%以上、2) 25%以上50%未満、3) 10%以上25%未満、4) 1%以上10%未満、5) 1%未満、の5つのカテゴリーでそれぞれ記録した。

その後、他の森林構成要素への被害状況として、樹高30cm以上の高木性稚幼樹の有無を記録した。また、ディアライン（樹木の下枝がシカの届く高さまで一様に食いつくされて消失した状態、「ブラウジングライン」とも言う）の形成状況を、1) 明瞭、2) 不明瞭、3) なし、の3段階で、シカの嗜好種であるリョウブが分布する場合はその樹皮剥ぎ被害割合を、1) 50%以上、2) 25%以上50%未満、3) 10%以上25%未満、4) 10%未満、5) 0%、の5段階でそれぞれ評価した。

2. 植生データ解析

各調査林分におけるシカによる下層植生衰退度を、藤木¹²⁾に従って、低木層の植被率とシカの食痕の有無により、以下の6段階に区分した。

- 無被害：シカの食痕が全く確認されなかった林分
- 衰退度0：シカの食痕がある林分のうち、低木層の植被率が75.5%以上の林分
- 衰退度1：低木層の植被率75.5%未満38%以上のシカの食痕あり林分



第1図. 大阪府北摂地域に選定した調査地点（黒丸）の位置図

- 衰退度2：低木層の植被率38%未満18%以上のシカの食痕あり林分
- 衰退度3：低木層の植被率18%未満9%以上のシカの食痕あり林分
- 衰退度4：低木層の植被率9%未満のシカの食痕あり林分

低木層の植被率は、低木層での木本類の被食率と全ササ類の植被率を合計して算出した。なお合計値の算出は、それぞれの植被率カテゴリーの中央値を用いて行った。

シカによる森林植生への影響の指標としての下層植生衰退度の妥当性を評価するために、下層植生衰退度と他の3種類の森林構成要素への被害状況との関係を、一般化線形混合モデル（Generalized Linear Mixed Model, 以下「GLMM」）によってそれぞれ解析した。下層植生衰退度を説明変数、高木性稚幼樹の有無、ディアラインの形成状況、リョウブの樹皮剥ぎ被害割合をそれぞれ目的変数とし、二項分布を誤差構造に用いた。ランダム効果は市町村とし、RのglmmMLパッケージ¹³⁾を解析に用いた。なお、本研究における全ての統計解析にはR 2.15.2¹⁴⁾を利用した。解析では赤池情報量基準（AIC）を用いた変数選択を行い、AICが最少となるモデルを最適モデルとした。

森林植生への影響の広域的な広がりを把握するために、下層植生衰退度の空間分布図を作成した。北摂地域を3次メッシュを基準とした約1km²のメッシュ378個に区切り、各メッシュの値を各調査林分の位置情報と下層植生衰退度を用いてIDW（Inverse distance weighting, 逆距離

加重)法¹⁵⁾によって推定した。ここで下層植生衰退度は、0から5の整数値にそれぞれ変換して解析に用いた。IDW法による空間補間にはR用パッケージgstat¹⁶⁾を用いた。

3. 銃猟シカ目撃効率調査

北摂地域におけるシカ生息密度の空間分布を把握するために、銃猟狩猟者によるシカ目撃効率の調査を行った。目撃効率は広域的なシカ密度の動向を把握できる指標であり^{17, 18)}、日本でよく用いられる密度指標の中では比較的測定誤差が小さい¹⁹⁾など有用性が示されている指標である。

シカとイノシシを対象とする狩猟者に出猟カレンダーを配布し、猟期中(11月15日～3月15日)の出猟日、出猟場所、シカ目撃数(捕獲分を除く)と捕獲数の情報を収集した。その後、5kmメッシュごとに銃猟シカ目撃効率(SPUE; sighting per unit effort)を算出した。ここで目撃効率は

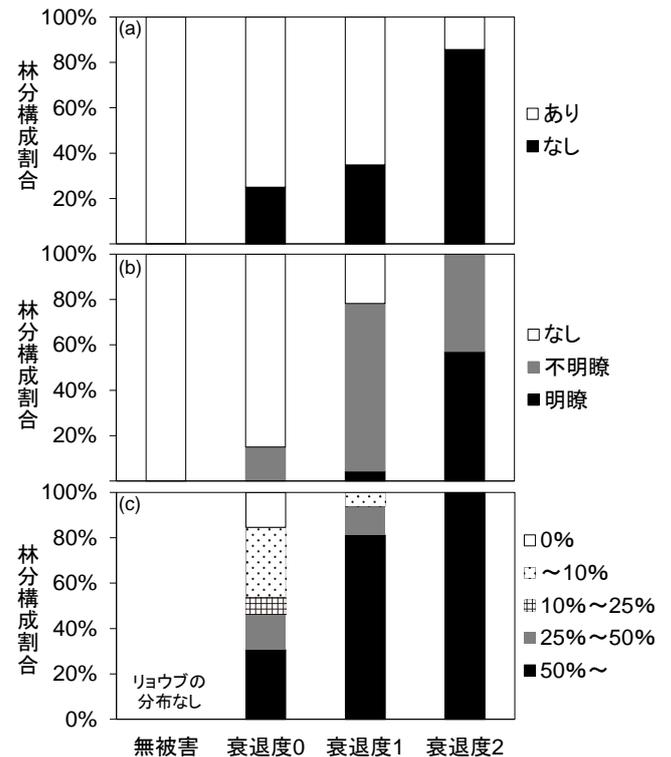
$$\text{目撃効率} = \frac{\text{目撃数} + \text{捕獲数}}{\text{出猟人日数}}$$

として計算した。

森林の下層植生は、直前のシカによる採食のみではなく、過去からの累積的な採食の影響を受ける²⁰⁾。そのため、本研究では平成22～24年度の情報を合算して5kmメッシュごとの目撃効率を計算し、下層植生衰退度の分布図と比較できるようにした。なお、出猟人日数が10未満のメッシュについては、目撃効率の計算結果が大きく変動するため、分布図から除外した。

III. 結果および考察

野外植生調査の結果、3ヶ所の林分が「無被害」、20ヶ所の林分が「衰退度0」、23ヶ所の林分が「衰退度1」、7ヶ所の林分が「衰退度2」に区分され、「衰退度3」以上に区分される林分は認められなかった。第2図に下層植生衰退度と他の3種類の森林構成要素への被害状況との関係を示す。GLMMによる解析の結果、下層植生衰退度は全てのモデルにおいて説明変数として選択され、高木性稚幼樹の有無($n=53$, $p=0.010$, $AIC=66.3$, nullモデルの $AIC=72.8$)、ディアラインの形成状況($n=53$, $p<0.001$, $AIC=24.9$, nullモデルの $AIC=40.0$)、リョウブの樹皮剥ぎ被害割合($n=32$, $p<0.001$, $AIC=56.1$, nullモデルの $AIC=71.8$)それぞれと有意な関係を示した。藤木¹²⁾によると、森林構成要素の衰退状況と下層植生衰退度との有意な関係が認められれば、被害指標として妥当であると評価できるとされている。そのため、本研究における下層植生衰退

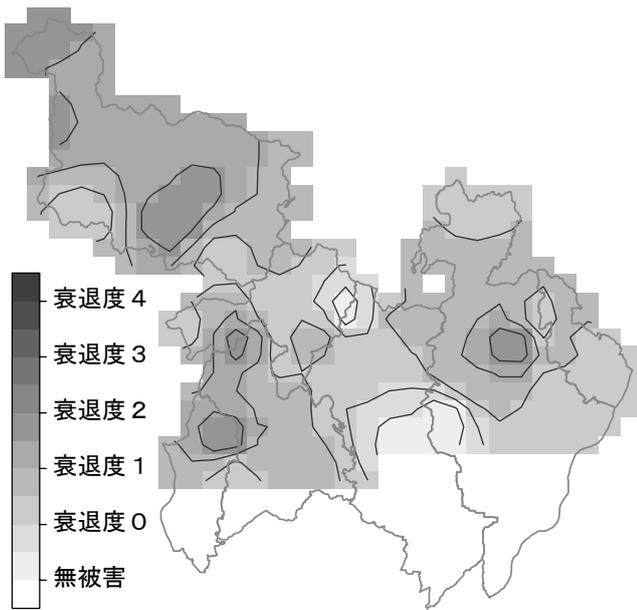


第2図. 下層植生衰退度と、(a) 高木性稚幼樹の有無、(b) ディアラインの形成状況、(c) リョウブの樹皮剥ぎ被害割合との関係

度の評価結果は、シカによる森林植生への被害指標として妥当であると言える。

IDW法による空間補間によって推定した下層植生衰退度の空間分布を第3図に示す。下層植生衰退度は能勢町の広範囲や池田市から箕面市にかけての地域、高槻市の一部などで高く、豊能町東部や茨木市南部などでは低かった。藤木¹²⁾はLeave-one-out交差検定法²¹⁾による補間精度の検証方法を解説しており、100m四方のメッシュの値を半径10km以内の調査地点の値から推定した結果でも、十分な精度で推定できていることが報告されている²²⁾。これに対して本研究では約1km四方のメッシュの値の推定に留めており、またどのメッシュも半径3km以内に調査地点を含んでいる。そのため、本研究では補間精度の検証は行っていないものの、十分な精度での空間補間が行えていると考えられる。近隣他府県との境界部分での推定結果は、同様の調査を行っている京都府²³⁾や兵庫県²⁴⁾で推定されている分布とよく対応している。そのため、本研究で得られた下層植生衰退度の広域分布は、妥当なものであると考えられる。

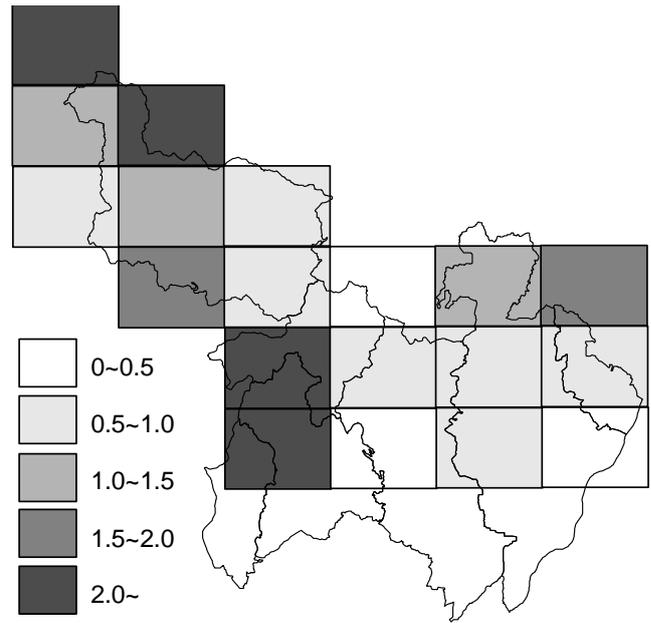
また、本研究では衰退度3や4に区分される地域は認められなかったものの、同様の調査を実施している福井県²⁵⁾、京都府²³⁾、兵庫県²⁴⁾では、大半の地域が衰退度2以下



第3図. IDW法による下層植生衰退度の空間補間図

である一方で、衰退度3や4に区分される地域が一部に認められている。このことから、大阪府でのシカによる森林植生への影響は、近隣府県に比べるとまだ比較的小さいと考えられる。ただし、大阪府におけるシカ個体数には増加傾向が認められるため⁴⁾、今後の被害拡大については注意が必要であろう。兵庫県では平成18年度と22年度というように、4年に一度の頻度で下層植生衰退度のモニタリングが行われている²⁴⁾。大阪府でも同様に下層植生衰退度のモニタリングを継続し、被害状況の推移を注視していくことが必要であろう。

銃猟でのシカ目撃効率の分布図を第4図に示す。目撃効率は能勢町北部のメッシュや箕面市から豊能町にかけてのメッシュなどで高い値がみられる一方で、豊能町東部や茨木市南部、島本町南部を含むメッシュでは低い値となっていた。目撃効率と下層植生衰退度との関係を解析した研究によると²⁰⁾、下層植生衰退度は半径4.5km以内の過去4年分の平均目撃効率とよく対応すると報告されている。本研究での目撃効率と下層植生衰退度の分布結果を見比べると、概ね一致した結果が得られているものの、高槻市のようにやや差異がみられる地域も確認できる。この一因として、大阪府ではシカの行動圏が小さく非常に定着的であるという報告があることから²⁰⁾、5kmメッシュ単位での目撃効率ではうまく対応をみることが難しいという可能性が指摘できる。また、北摂地域は細長く伸びた複雑な府境界が多い上に、住宅地も多く銃猟禁止区域が点在している²⁷⁾ため、目撃効率が密度指標として使用しづらいことも影響しているのではないかと



第4図. 銃猟シカ目撃効率の分布図

と考えられる。今後は、GISを用いたバッファ解析などを行って下層植生の衰退程度を良く説明しうる範囲を特定するとともに、シカ糞調査などの目撃効率以外の大阪府の地域性に適したシカ生息密度分布の詳細な把握手法を導入し、下層植生衰退度とシカ密度の関係を定量的に評価していくことが必要であろう。

IV. 摘要

シカによる森林植生被害状況を広域的に把握するために、森林下層植生の植被率とシカによる採食痕跡の有無を調査し、IDW法を用いて下層植生衰退度の空間分布図を作成した。下層植生衰退度の区分結果は他の森林構成要素への被害状況と有意な相関関係を示しており、シカによる森林植生への被害指標として妥当であると考えられた。下層植生衰退度には地域差が見られ、概ねシカ目撃効率の高い地域で衰退度も高くなっていた。大阪府では今のところ極端に高い衰退度の地域は認められないものの、シカ生息密度の増加傾向が継続していることから、モニタリングの継続が必要だと考えられた。今後はシカ密度分布状況をより詳細に把握し、下層植生衰退度とシカ密度の関係を定量的に評価していくことが求められる。

V. 引用文献

- 1) 湯本貴和・松田裕之 (2006). 世界遺産をシカが喰う, シカと森の生態学. 文一総合出版, 東京, 212 pp.
- 2) Takatsuki, S. (2009). Effects of sika deer on vegetation in Japan: A review. *Biological Conservation* 142: 1922–1929.
- 3) 環境省 (2010). 特定鳥獣保護管理計画作成のためのガイドライン (ニホンジカ編). 環境省, 東京, 52 pp.
- 4) 大阪府 (2012). 大阪府シカ保護管理計画 (第3期). 大阪府, 13 pp.
- 5) Koda, R., Noma, N., Tsujino, R., Umeki, K. and Fujita, N. (2008). Effects of sika deer (*Cervus nippon yakushimae*) population growth on saplings in an evergreen broad-leaved forest. *Forest Ecology and Management* 256: 431–437.
- 6) Koda, R. and Fujita, N. (2011). Is deer herbivory directly proportional to deer population density? Comparison of deer feeding frequencies among six forests with different deer density. *Forest Ecology and Management* 262: 432–439.
- 7) Rooney, TP. and Waller, DM. (2003). Direct and indirect effects of white-tailed deer in forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 181: 165–176.
- 8) Miyashita, T., Takada, M. and Shimazaki, A. (2004). Indirect effects of herbivory by deer reduce abundance and species richness of web spiders. *Ecoscience* 11: 74–79.
- 9) Hino, T. (2000). Bird community and vegetation structure in a forest with a high density of sika deer. *Japanese Journal of Ornithology*. 48: 197–204.
- 10) 柳洋介・高田まゆら・宮下直 (2008). ニホンジカによる森林土壌の物理環境の改変：房総半島における広域調査と野外実験. *保全生態学研究* 13: 65–74.
- 11) 内田圭・岸本康誉・藤木大介 (2012). 兵庫県本州部の落葉広葉樹林域におけるニホンジカによる土壌侵食被害の現状. *兵庫ワイルドライフモノグラフ* 4: 69–90.
- 12) 藤木大介 (2012). ニホンジカによる森林生態系被害の広域評価手法マニュアル. *兵庫ワイルドライフモノグラフ* 4: 1–16.
- 13) Brostrom, G. and Holmberg, H. (2011). glmmML: Generalized linear models with clustering. R package version 0.82-1.
- 14) R Core Team. (2012). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- 15) Fortin, M-J. and Dale, M. (2005). *Spatial Analysis. A Guide for Ecologists*. Cambridge University Press, Cambridge, 365pp.
- 16) Pebesma, EJ. (2004). Multivariable geostatistics in S: the gstat package. *Computers and Geosciences* 30: 683–691.
- 17) Ericsson, G. and Wallin, K. (1999). Hunter observations as an index of moose *Alces alces* population parameters. *Wildlife Biology* 5: 177–185.
- 18) Solberg, EJ. and Sæther, BE. (1999). Hunter observations of moose *Alces alces* as a management tool. *Wildlife Biology* 5: 107–117.
- 19) Uno, H., Kaji, K., Saitoh, T., Matsuda, H., Hirakawa, H., Yamamura, K. and Tamada K. (2006). Evaluation of relative density indices for sika deer in eastern Hokkaido, Japan. *Ecological Research* 21: 624–632.
- 20) Kishimoto, Y., Fujiki, D. and Sakata, H. (2010). Management approach using simple indices of deer density and status of understory vegetation for conserving deciduous hardwood forests on a regional scale. *Journal of Forest Research* 15: 265–273.
- 21) Wackernagel, H. (2003). *Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications* third edition. Springer-Verlag, Berlin, 387 pp.
- 22) 藤木大介 (2012). 兵庫県本州部の落葉広葉樹林におけるニホンジカによる下層植生の衰退状況—2006年から2010年にかけての変化—. *兵庫ワイルドライフモノグラフ* 4: 17–31.
- 23) 京都府農林センター森林技術センター (2011). ニホンジカによる森林植生被害の分布. <http://www.pref.kyoto.jp/nosoken/documents/1353471641246.pdf>
- 24) 兵庫県 (2012). 第4期シカ保護管理計画. 兵庫県, 24 pp.
- 25) 福井県 (2012). 第3期福井県特定鳥獣保護管理計画 (ニホンジカ). 福井県, 26 pp.
- 26) 石塚譲・川井裕史・大谷新太郎・石井亘・山本隆彦・八丈幸太郎・片山敦司・松下美郎 (2007). 季節、時刻および植生が大阪のニホンジカ (*Cervus nippon*) の行動圏に及ぼす影響. *哺乳類科学* 47: 1–9.
- 27) 大阪府 (2013). 平成25年度大阪府鳥獣保護区等位置図. 大阪府. <http://www.pref.osaka.lg.jp/attach/2659/00084659/Osaka-hogoku.pdf>

苗木の熱処理によるイチジク株枯病防除試験

瓦谷光男・三輪由佳・磯部武志・細見彰洋・岡田清嗣

I. はじめに

イチジク株枯病（以下、株枯病）は、水田転作作物としてイチジクが栽培されるようになった1970年代頃から愛知県で問題となり、国内では1981年愛知農試により新病害として報告された¹⁾。本病は1990年代になって各地に拡大し、大阪府では2005年頃から水田転作された園で多発し、現在もイチジク栽培に大きな被害を与えている。年々被害が増加する中で、本病汚染土壌でも栽培可能な抵抗性台木の開発がすすめられ有望な台木が選抜されたが²⁾、全面的な接ぎ木苗の普及には至っておらず、現状は依然として挿し木による自根栽培が主となっている。このような栽培体系において、散発的に苗木伝染と考えられる株枯病の発生が認められたため、健全な苗木の確保が求められている。果樹や花木において、定植時に病害の発生を予防するため苗の短時間熱処理が行われることがある^{3,4)}が、その条件を明らかにしている例は少ない。そこで、本菌が熱に弱い性質を利用して、苗を高温処理することにより株枯病の発病を回避する方法を検討した。

II. 材料および方法

1. 供試菌株と株枯病菌の死滅温度

供試したイチジク株枯病菌は、2011年大阪府内で発生した罹病株より単孢子分離し、PDAスラント培地で継代保存した分離株CF110729を用いた。PDA培地上25°Cで7日間培養した菌叢を、32~40°Cの各温度条件下で所定の期間培養後、生育適温の25°Cで7日間培養し生育を確認することで病原菌の死滅温度を調べた。病原菌の休眠器官に対する短時間熱処理による殺菌効果を検討するために、子嚢の形成されている培養菌叢を所定温度で熱処理し生存を確認した。PDA培地上に子嚢が形成された培養菌叢より子嚢数個（2~3個）をガラス製小試験管に取り、滅菌水0.2mlを添加して所定の温度の恒温水槽中で振とう培養し、所定時間経過後取り出し冷水中で冷却後、PDA培地において25°Cで7日間培養し生死を判別した。

2. 素掘り苗を対象とした熱処理による株枯病菌の殺菌効果

ポット植えイチジク挿し木苗（品種：榊井ドーフィン、幹径1.5~2.5cm）の幹または枝の3か所に、針先を培養菌叢表面にこすりつけて菌を附着させた注射針を2mm程度の深さに刺すことにより菌を接種した。接種部位をパラフィルムで覆い、25°C、12時間日長の恒温器内で5日間栽培後、熱処理に供した。

菌接種5日後のイチジク苗をポットから抜き取り、素掘り苗を想定して根部を水洗後、各温度の温湯中に所定時間浸漬し、熱処理した。所定の時間経過後取り出して、直ちに流水で冷却後、ポット中の滅菌土に移植した。風の当たらない25°Cの恒温室中で3日間養生した後、温室で通常の栽培を行った。病原菌の生死鑑別は、熱処理1週間後に、接種部位より厚さ5mmの切片を取り、25°Cの温室において切片上の菌叢発生の有無により確認した。

3. 土付きのポット苗を対象とした熱処理による株枯病菌の殺菌効果

ポット苗のように多量の土壌を含む場合、温湯処理では熱の伝達に時間を要し、苗が枯死する可能性があるため、ポット苗の熱処理は湿熱状態（湿度100%での熱処理）で行った。無送風の恒温器の最下段に水を張り、恒温器の室温を所定の温度に設定して、その上段に前述と同様の菌接種から5日後のイチジク苗をポットのまま置き、所定の温度と湿度を保持できるように密閉して1~2日間維持した。処理後、恒温器内から取り出した苗は、風の当たらない25°Cの恒温室中で3日間養生した後、温室で通常の栽培を行った。株枯病菌の生死の確認は、前述と同様に行った。

III. 結果および考察

1. 株枯病菌の死滅温度

株枯病菌の生育適温は25°C前後で、34~36°Cでは菌糸生育が停止するが、5日後に25°Cで培養すると生育が見

られ、死滅することはなかった。37°C1～2日、38～39°C1日の熱処理では生育は停止したが死滅はしなかった。一方、38～39°C2日熱処理または40°C1～2日熱処理したものは25°Cに戻しても生育は認められず、菌は死滅したものと考えられた（第1表）。

菌叢片は、45°C100分以下、47°C27分以下、50°C5分以下の熱処理後にPDA培地上25°Cに移して培養すると生存

が確認された。また子囊殻は、50°C6分以下では生存することが確認された。一方、45°C120分、47°C30分、50°C7分では、菌叢片及び子囊殻ともに25°Cに移しても生育が認められず、死滅したものと考えられた（第2表）。

なお、小試験管中0.2mlの蒸留水は処理温度に達するまで20秒程度要するため、これらの処理時間の数値にはこの程度の誤差を含むと考えられる。

第1表 PDA培地上、株枯病菌生育の温度依存性

培養温度 (°C)	培養日数 (日)	生育 (mm/day)	回復 (mm/day)
23	5	3.2	
25	5	3.8	
27	5	3.4	
29	5	1.8	
31	5	1.8	
32	5	0.4	3.6
33	5	0.4	0.1
34	5	0	2.6
35	5	0	0.1
36	5	0	0.3
37	1	0	4.3
	2	0	2.1
38	1	0	2.9
	2	0	0
39	1	0	1.4
	2	0	0
40	1	0	0
	2	0	0

「回復」は、表記温度で表記日数培養後25°Cに移して7日間培養した際の菌叢の伸長

第2表 菌叢片および子囊殻生存の温度依存性

処理温度 (°C)	処理時間 (分)	生存の有無	
		菌叢	子囊殻
45	90	+	+
	100	±	±
	120	—	—
47	20	+	+
	23	—	±
	25	±	—
	27	±	±
	30	—	—
50	4	+	+
	5	±	±
	6	—	±
	7	—	—

＋は、3～5反復のすべてで生存したもの、
±は一部生存したもの、—はどれも生存しなかったものを示す。

2. 素掘り苗を対象とした熱処理による株枯病菌の殺菌効果

株枯病菌を接種したイチジク苗は、接種5日後には接種部位に長径0.5～1.5cmの病斑が拡大しており、感染が成立していると考えられた。接種苗は、42°C24時間、45°C4時間以上、47°C30分以上、50°C20分以上温湯中に保持することにより発病が回避されたが、温湯によるダメージにより株が枯死するものがみられた。殺菌効果を優先すると、これらの条件で温湯処理することが必要であるが、一部の苗木の損失を伴うことは考慮せねばならない。より厳密な温度・時間管理でこれらの損失を最少限にできる可能性はあるので、今後の検討課題としたい。

また、45°C2時間、47°C20時間、50°C10時間処理では一部の株に発病が認められ、熱処理条件が不十分と考えられた（第3表）。これらは、菌叢片または子囊殻の死滅温度45°C2時間、47°C30分、50°C7分をほぼ反映していると考えられた。これらより、径1.5～2.5cm程度の苗の温湯処理による株枯病殺菌は、苗木の一部が損傷する危険は残るものの、45°C4時間、47°C30時間、50°C20時間が目安になると考えられる。

第3表 素掘り苗の温湯処理効果

処理温度 (°C)	処理時間 (分)	供試株数	生存株数	発病株数
42°C	24時間	2	0	0
		5	5	1
		6	5	0
		8	3	0
47	20分	5	5	1
		7	6	0
		3	2	0
		3	3	1
50	10分	7	5	0
		4	2	0
		4	2	0

第4表 ポット苗の熱処理効果

処理温度	処理日数	供試株数	生存株数	発病株数
40℃	1日	4	2	2
	2	2	1	0
41	1	9	9	2
	2	4	2	0
42	1	5	5	0
	2	4	2	0
43	1	3	2	0
	2	2	0	0

3. 土付きのポット苗を対象とした熱処理による株枯病菌の殺菌効果

株枯病菌を接種したポット栽培のイチジク苗は、40～41℃2日、42℃1～2日、43℃1～2日の湿熱処理により発病を回避することができた。しかし、40～42℃2日、43℃1～2日の湿熱処理では枯死する株がみられた。また、40～41℃1日湿熱処理では発病する株がみられ、熱処理条件が不十分と考えられた。これにより、熱処理による土付きポット苗の株枯病殺菌は42℃1日が目安になると考えられる(第4表)。

これらのことから、株枯病に感染していることが疑われるイチジク苗は、土壌を取り除いた苗木を定植前に上に示した条件を満たす温湯に浸漬することにより発病を回避できると考えられる。また、土付きのポット苗の場合は、温度と湿度を保持できる恒温装置を用いて熱処理することにより株枯病を防除できると考えられる。苗木の熱処理適期については、感染後の経過時間や休眠等も考慮してさらに詳細な検討が必要である。また、土壌からの感染についても、熱処理効果の有用性を検証する予定である。

熱を利用した病害防除は、土壌消毒や種子消毒の他、生育中の植物についても有効であることが示されている^{5,6)}。本研究によりイチジク苗の熱処理が株枯病防除に有効なことが示され、感染株に対する治療効果も可能であることが示された。本病の予防には未発病地への病原菌の持ち込みを阻止することが重要である。そのためには、発病圃場からの土壌や灌漑水を介した伝染を防ぐだけでなく、健全な苗木を確保することが必要であり、苗木の熱処理は、健全苗確保を可能にする技術として有効と思われる。

IV. 摘要

培地上の株枯病菌は25℃前後に生育適温があり、34℃で生育が停止し、40℃で1日培養すると死滅した。菌叢片または子囊殻は、45℃120分以上、47℃30分以上、50℃7分以上の熱処理により死滅した。

イチジクの素掘り苗(土なし)は、45℃4時間、47℃30分間、50℃20分間の温湯処理により、また、ポット苗(土付き)は42℃1日の湿熱処理により株枯病防除が可能と考えられる。

VI. 引用文献

- 1) 加藤喜重郎・廣田耕作・宮川壽之・横山竜夫(1981). イチジク株枯病(新称)について. 日植病報. 47:373-374.
- 2) Hosomi, A., Y. Miwa, M. Furukawa and M. Kawaradani(2012). Growth of Fig Varieties Resistant to *Ceratocystis* Canker following Infection with *Ceratocystis fimbriata*. J. Japan. Soc. Hort. Sci. 81 (2):159-165.
- 3) 田代暢哉(1989). ブドウ枝膨病. 農業総覧(農山漁村文化協会)病虫害防除・資材編. 6:209-213.
- 4) 広沢敬之(1991). ボタン・シヤクヤク根黒斑病. 農業総覧(農山漁村文化協会)病虫害防除・資材編. 8:1361-1363.
- 5) 杉村輝彦・岡山健夫(1997). キク白さび病罹病苗に対する高温処理の防除効果. 奈良県農業試験場研究報告. 28:23-28.
- 6) 岡山健夫・杉村輝彦・松谷幸子(1997). 高温多湿条件を利用したイチゴうどんこ病の防除. 奈良県農業試験場研究報告. 28:29-34.

シュンギク施設栽培での豚ふん堆肥炭化物分級残さの カリウム肥料効果

佐野修司・鈴木敏征・上田浩三*・阪本亮一*・関戸知雄**・土手 裕**・内山知二
(*日立造船(株)・**宮崎大)

I. はじめに

近年畜ふん廃棄物を、環境負荷の低減や農地への還元の際の運搬のしやすさなどから、炭化することの有用性が指摘されている^{1, 2)}。畜ふん廃棄物の中でも、豚ふんは牛ふんに比べてリン酸やカリウムを多く含んでおり、近年肥料原料の価格が高騰している中で、限られた資源である両元素の回収利用が期待されている。

このような背景のもと、豚ふん堆肥を炭化した上で、リン酸濃度の高い部分と低い部分に分離することで、リン酸とカリウムを効率よく回収する技術が開発されている³⁾。この技術は、炭化物の表面に集積したリン酸濃度の高い部分を粉砕して微細化し分級することで、従来よりも省エネルギーかつ低コストでリン回収できるのが特徴で³⁾、回収したリン酸は化学肥料の原料として用いることができる。

一方で、リン酸濃度の低い部分は残さとして回収されるが、多量必須元素であるカリウムが数%程度含まれており、肥料効果も期待できる。カリウムについては有機肥料として流通しているのは草木灰など限られたものしかないのが現状であり、上記の回収残さをカリウム源として活用できれば、有機栽培や特別栽培農産物など、さらに付加価値の高い農産物の生産にも寄与できる。また、化学肥料のカリウムの原料は主にカリ鉱石であり、限りある鉱物資源であることから、廃棄物由来のカリウムの利用を検討することは、資源の有効利用の点でも有意義である。

炭化物を農地に施用した際のカリウムの肥料効果については、木炭^{4, 5, 6)}、牛ふん炭化物^{1, 2)}、食品残さ炭化物^{7, 8, 9)}などの報告はあるが、豚ふん由来の炭化物の知見は見あたらない。

そこで、大阪府で生産量の多いシュンギク¹⁰⁾を供試作物とし、有機入り化成肥料を対照に、この豚ふん堆肥炭

化物の回収残さ(以下、炭化物)を用いて、カリウム肥料効果を検証したので報告する。

II. 材料および方法

試験は、大阪府泉南郡熊取町で、約20年前に水田転作畑(土性は埴壤土 灰色低地土)に設置された約2aのビニールハウス(以下、試験ほ場)で実施した。試験ほ場では泉南地域で典型的に見られるシュンギクの連作が行われており、2~3年ごとに春から夏にかけてズイキが作付されてきた。試験を開始するまでは、有機資材として稲わらを200kg/10a程度年2回施用し、肥料は蒸製骨粉を主原料とする有機化成肥料が主に施用されてきた。

試験期間は2012年11月から翌年1月とし、試験区はほ場を6等分し、有機入り化成肥料を用いた慣行区と、なたね油かすと炭化物を施用する区(炭化物区)を各3連で交互に配置した。カリウム代替効果を確認するために、両区のカリウムの投入量が同じになるように、施肥量を調整した。第1表に各区の肥料の種類と施用量、そして成分ごとの投入量を示す。

耕種概要および調査方法は、以下の通りであった。炭化物や肥料の施用は11月2日に行い、トラクターで耕起およびうね立て後、11月5日に播種を行った。収穫調査は翌年の1月31日に行い、各区で生育の中庸な部分(うね長50cm、約0.3m²)のシュンギク地上部を採取し、新鮮重を測定し収量を算出した後、通風乾燥機中で80℃で24時間乾燥し、乾燥重より水分含量を測定した。各種成分の分析は、縮分した粉砕試料を用いた。炭素含量と窒素含量はCNコーダー(Yanaco MF-700)で、リンは灰化分解後バナドモリブデン酸法で、ミネラル分(カリウム、カルシウム、マグネシウム、ナトリウム、鉄、マンガン)は原子吸光法(日立Z-6100)で測定した。

第1表 試験区ごとの施用した肥料と成分投入量 (kg/10a)

試験区	資材名 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O%) と施用量	成分投入量 (N-P ₂ O ₅ -K ₂ O) (kg/10a)
慣行区	有機入り化成肥料 (マルキ有機 6-8-5) 200 kg/10a	12-16-10
	計	12-16-10
炭化物区	油かす (くみあいなたね油粕 5.3-2-1) 226 kg/10a	12-4.6-2.2
	炭化物 (0-12-4.4) 178 kg/10a	0-21.4-7.8
	計	12-26.0-10

有機入り化成肥料は蒸製骨粉と油かすを主体とし硫酸カリウムを混合した肥料
炭化物は窒素を3.7%含むものの、肥効は期待できないので0%と示した

第2表 作付前の土壌の理化学性 (11月2日採取)

試験区	pH	EC mS/cm	硝酸態窒素 mg/100g	全炭素 %	トルオーグリン酸 mgP ₂ O ₅ /100g
慣行区	7.25±0.01	0.41±0.05	1.77±0.40	1.71±0.00	537±31
炭化物区	7.24±0.11	0.39±0.11	2.51±1.94	1.67±0.01	528±38
試験区	交換性カリウム mgK ₂ O/100g	交換性カルシウム mgCaO/100g	交換性マグネシウム mgMgO/100g	交換性ナトリウム mgNa ₂ O/100g	交換性マンガン mgMn/100g
慣行区	14.4±1.6	453±31	24.4±2.7	1.90±0.20	0.045±0.000
炭化物区	17.5±3.9	426±14	23.8±1.9	1.86±0.19	0.050±0.011

それぞれ3反復の平均値と標準偏差を示す。

どの項目においても、試験区間で有意差 (P<0.05) なし。

表3表 シュンギク地上部の収量、水分含量および養分吸収量

試験区	収量 t/10a	水分含量** %	窒素吸収量 N kg/10a	リン吸収量 P kg/10a	カリウム吸収量 K kg/10a
慣行区	3.79±0.28	92.5±0.3	14.5±1.1	1.39±0.10	15.4±2.31
炭化物区	3.96±0.72	93.1±0.2	15.1±2.2	1.29±0.16	18.0±3.21
試験区	カルシウム吸収量 Ca kg/10a	マグネシウム吸収量 Mg kg/10a	ナトリウム吸収量 Na kg/10a	鉄吸収量 Fe g/10a	マンガン吸収量 Mn g/10a
慣行区	4.32±0.22	1.45±0.19	3.38±0.18	326±157	27.4±11.0
炭化物区	4.13±0.27	1.18±0.12	3.45±0.44	181±47	17.7±1.4

それぞれ3反復の平均値と標準偏差を示す。

**t検定において有意差 (P<0.01) あり。

以上の分析値と収量のデータから、それぞれ単位面積当たりの養分吸収量を算出した。

土壌は、作付前 (11月2日) と収穫後 (1月31日) に作土層を採取し、一般理化学性を分析した。作付前の土壌の特性は第2表に示す通り、試験区間で有意な違いは見られなかった。

各区のデータの有意差は、t検定により評価した。

III. 結果および考察

第3表にシュンギクの収量、水分含量および養分吸収量を示す。鉄吸収量のように平均値が大きく異なる項目もあったが、水分含量以外には有意差 (p<0.05) は認められなかった。カリウムも試験区間で吸収量は変わらなかった。作付前の土壌のカリウム含量は、15-20mgK₂O/100g となって、日本¹¹⁾や大阪府¹²⁾の施設土壌での値よりも低

第4表 収穫後の土壌の理化学性（1月31日採取）

試験区	pH	EC	硝酸態窒素*	全炭素**	トルオーグリン酸*
		mS/cm	mg/100g	%	mgP ₂ O ₅ /100 g
慣行区	7.19±0.08	0.79±0.17	4.05±1.63	1.71±0.03	546±26
炭化物区	7.22±0.09	1.08±0.16	14.1±2.62	1.90±0.04	485±27
試験区	交換性カリウム	交換性カルシウム	交換性マグネシウム	交換性ナトリウム	交換性マンガン
	mgK ₂ O/100 g	mgCaO/100 g	mgMgO/100 g	mgNa ₂ O/100 g	mgMn/100 g
慣行区	11.5±1.1	419±33.6	29.5±3.2	0.46±0.27	0.033±0.005
炭化物区	19.0±3.7	462±41.7	38.2±5.5	1.72±1.36	0.052±0.019

それぞれ3反復の平均値と標準偏差を示す。

*と**は、t検定において有意差（それぞれ $P < 0.05$ 、 $P < 0.01$ ）あり。

く、土づくり指針の適正値¹³⁾を下回っていたことから、作物体のカリウム吸収は、肥料からのカリウムの供給に大きく影響を受けたと考えられる。そして、慣行区の有機入り化成肥料のカリウムは全量化学肥料（硫酸カリウム）であるため、本研究で用いた炭化物（一部油かす）のカリウムには化学肥料由来のものと同等の肥料効果があったと考えることができる。

水分含量は炭化物区で慣行区より高くなった。木炭は、周辺環境が多湿のときには水分を吸収し、乾燥しているときには水分を放出する機能（調湿機能）のあることが知られている¹⁴⁾ほか、タマネギ炭化物についても同様の考察がなされている⁸⁾。本試験でも、炭化物の施用により土壌中の水分環境が適切に維持され、シュンギクが水を十分吸収した結果、その水分含量が高くなったものと考えられる。

第4表に作付後の土壌の理化学性を示す。多くの項目で有意差（ $P < 0.05$ ）は認められなかったが、硝酸態窒素、全炭素、トルオーグリン酸で有意な差が認められ、硝酸態窒素含量は炭化物区で高かった。原因として炭化物を施用することにより、先述の通り土壌水分が適切に維持され、微生物による窒素の無機化や硝化が促進されたことが考えられる。全炭素含量は200kg/10a程度の通常の炭化物の施用量ではあるものの、炭化物区で高くなった。

トルオーグリン酸は、リン酸の施用量が多かったにもかかわらず、炭化物区で低くなった。これは、土壌中のリン酸が炭化物へ吸着されることにより、トルオーグ抽出液では抽出できない形態に移行した可能性を示唆しており、今後形態別に存在量を測定し、リン酸の動態を評価する必要がある。交換性陽イオンは、有意差（ $P < 0.05$ ）は認められなかったが、ナトリウムでは炭化物区で高い値を示す土壌があり、数年程度の施用では問題はないものの、さらに長い年月連用する際には、施用量や方法に

留意する必要がある。

以上、炭化物はなたね油かすと組み合わせることで、栽培農家に広く用いられている有機入り化成肥料と変わらないカリウムの肥効を示すことが明らかとなった。有機由来のカリウム源が少ない中、特に有機農産物や特別栽培農産物の栽培で有効に活用できるものと考えられた。なお今回は検討していないが、施用の手間を考えると、炭化物は油かすのような窒素を高い割合で含む有機肥料とブレンドした形で流通させるのが望ましいと思われる。

なお、ほ場試験を行うにあたり、生産者の方には日常の管理など多大なるご協力をいただいた。記して謝意を表す。本研究は、農林水産省新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「豚ふん堆肥の炭化による低コストナリン・カリウム回収技術と環境保全型農業資材の開発（課題番号22075）」の一部として実施した。

IV. 摘要

豚ふん堆肥炭化物の回収残さを用いて、有機入り化成肥料を対照資材とした栽培試験を行ったところ、カリウムの肥料効果が期待できることが明らかとなった。

V. 引用文献

- 1) 松丸恒夫・真行寺孝（2005）．牛ふん炭化物中リン酸、カリの肥料効果 - 特にコマツナに対する多量施用の影響 - ．土肥誌．76: 53-57.
- 2) 牧浩之・河野哲・永井耕介（2009）．熟および炭化処理による牛ふん堆肥の無機元素収支と溶解性の変化．土肥誌．80: 257-262.

- 3) 上田浩三・阪本亮一・浜野修史 (2010) . 特開2010-194502「リン化合物の集積方法および回収方法」.
- 4) 今野一男・西川介二 (1993) . 炭化条件の異なる各種木炭粉の施用が畑作物の生育・養分吸収におよぼす影響. 土肥誌. 64: 190-193.
- 5) 磯部勝孝・山中亘・片野功之輔 (1996) . 木炭の施用がサツマイモの収量におよぼす影響. 日作紀. 65 : 453-459.
- 6) 佐野修司・東昌弘・内山知二 (2011) . 樹木オイル抽出残さより作成された各種炭におけるカリウムの肥料効果の解析. 土肥誌. 82: 58-60.
- 7) 磯部勝孝・山中亘・片野功之輔 (2002) . オカラ炭化物の施用が土壌理化学性とインゲンマメの生育におよぼす影響. 土肥誌. 73 : 287-290.
- 8) 牧浩之・渡辺和彦 (2004) . タマネギ炭化物のコマツナ栽培に対する肥料効果. 土肥誌. 75: 439-444.
- 9) 牧浩之・河野哲・小林尚司・永井耕介 (2007) . オカラ, タマネギ炭化物の肥料効果と利用法. 土肥誌. 78: 519-523.
- 10) 農林水産省 作況調査 (野菜)
http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/sakumtu/sakkyou_yasai/index.html (2013年5月) .
- 11) 小原洋・中井信 (2004) . 農耕地土壌の可給態リン酸の全国的変動 農耕地土壌の特性変動 (II) . 土肥誌. 75: 59-67.
- 12) 佐野修司・内山知二・辰巳眞 (2011) . 大阪府における土地利用別の農地土壌の特性. 大阪環農水研報. 4: 27-31.
- 13) 兵庫県農政環境部農林水産局農業改良課 (2010) . 土を知る (2)土づくり基本技術
http://web.pref.hyogo.jp/af07/af07_000000010.html (2013年9月) .
- 14) 凌祥之 (2002) . 農業廃棄物の炭化による再利用技術の確立. 農業技術. 57: 273-277

平成25年度

大阪府立環境農林水産総合研究所研究報告編集幹事

<編集幹事長> 松 下 美 郎
<編 集 幹 事> 奥 田 毅
藤 谷 泰 裕
高 浦 裕 司
有 山 啓 之
森 達 摩

大阪府立環境農林水産総合研究所研究報告 第1号

平成26年 3 月31日発行

発行 地方独立行政法人大阪府立環境農林水産総合研究所

〒583-0864 羽曳野市尺度442

TEL 072-958-6551

FAX 072-956-7684

<http://www.kannosuiken-osaka.or.jp/>

編集 経営企画室 企画G

**BULLETIN OF
RESEARCH INSTITUTE OF ENVIRONMENT, AGRICULTURE AND FISHERIES, OSAKA PREFECTURE**

CONTENTS

[Review]

Order Control on Compositing Process of Livestock Excreta

..... Kazuhiko NISHIMURA 1

[Originals]

Consideration on Photochemical Oxidant Production Regime in Osaka

..... Katsuhiko YAMAMOTO 9

Distribution Pattern of Shrub-layer Decline Rank by Feeding Pressure of Sika Deer

..... Ryosuke KODA, Takuya TORATANI and Tomoyuki TSUJINO 15

[Brief Reports]

Control of *Ceratocystis* Canker (*Ceratocystis fusicola*) of Figs by Heat Treatment of Nursery Stocks

..... Mitsuo KAWARADANI, Yuka MIWA, Takeshi ISOBE,
Akihiro HOSOMI and Kiyotsugu OKADA 20

Cultivation of Garland Chrysanthemums (*Chrysanthemum coronarium* L.) under Greenhouse by Residue

of Pig Manure Biochar in terms of Potassium Availability

..... Shuji SANO, Toshimasa SUZUKI, KOZO UEDA, Ryoichi SAKAMOTO,
Tomoo SEKITO, Yutaka DOTE and Tomoji UCHIYAMA 23