特 集

物質循環と農作業

畜産における物質循環と農作業

一畜産分野での取り組みについて一

神田修平

東京農工大学農学部

Effects of Farm Work Procedures on Material Cycling of Animal Husbandary

Shuhei KANDA

Faculty of Agriculture, Tokyo University of Agriculture and Technology

1. はじめに

ガットウルグアイラウンド (1994 年 4 月) 等, 貿易自由化の進展と伴に小麦や大豆等, 農産物の輸入が増加し, 日本農業の他産業に占める生産額の比率は低下した。現在, 日本ではアメリカ, オーストラリアおよび中華人民共和国等, 合計 1,200 万 ha の外国の農耕地で収穫された小麦, トウモロコシ, 大麦, 大豆等を輸入している。家畜飼料もその例外でなく畜産経営の大規模化にともないその 75% が輸入されている。家畜生産に伴うふん尿は 9,430 万 t (農林水産省試算 1997 年) に及び, 家畜ふん尿を畜産農家だけの耕地に還元することは難しく, 耕地還元を原則とするならば日本の耕地面積 479 万 ha (2000 年) に均一に施用する必要がある。これは現実的には無理があると思われ, バイオマス資源としての利用や浄化处理等の併用も考える必要があるだろう。

畜産における耕地面積の拡大を伴わない 1965 年以降の多頭羽数飼育 (表 1) とあいまって, 悪臭, 水質汚濁等, 畜産公害が 1960 年代後半に発生し, 1973 年にはその苦情発生のピークを示し, その後, 徐々に減少している (図 1)。それらをさらに減らすためには畜産部門から耕種部門への堆肥, スラリー等の円滑な搬出が不可欠になっている。他方, パン屑,

ビール粕, オカラ等, 年間 2000 t の食品廃棄物, フスマ, 米ヌカ等の食品製造粕, および稲ワラ等の農業副産物を家畜の飼料として畜産農家で再利用を図って有効利用し, 輸入飼料を減らすことも自給率を高める上からも望ましい (図 2)。

今回, 畜産における家畜ふん尿の処理・利用とその耕種部門への循環, および畜産からの環境負荷物質排出量削減の可能性について述べてみたい。

2. 農業の展開

1) 複合農業

日本の農業は, 豊かな降水量を生かして山林を背景に湧き出る水を利用する水田と畑作を基本にしていた。そのため家畜の放牧等の草地を利用した大規模な畜産経営は従来, 大きく発展しなかった。他方, 農業副産物を飼料として利用する家畜を含んだ形態の複合農業が盛んであった。1960 年代まで家畜は, 肉・卵・牛乳等の畜産物生産および役畜として, 家畜ふん尿も厩肥・液肥として利用されていた。特に牛は, 複合経営農家において粗飼料のみで飼養可能であり, 乳・役・厩肥生産等, その利用価値が高かったので農宝として大切にされていた。しかし, 1960 年代における化学肥料, および耕耘機・トラクター等の農業機械の普及と伴に牛や馬を飼養する農家が次第に減少した。現代, 日本農業は畜産, 作物, 蔬菜, 果樹および花卉等に分かれて特化し, 家畜を含んだ複合経営は少なくなっている。

2) 畜産の専門化

明治以降, 牛肉や豚肉が食されるようになり, 牛

平成15年5月10日受付

平成15年7月26日受理

Corresponding author

神田修平 Shuhei KANDA

〒183-8509 東京都府中市幸町 3-5-8

3-5-8 Saiwai-cho, Fuchu-shi, Tokyo, 183-8509

E-mail: shuhei@cc.tuat.ac.jp

表 1 畜産経営における規模拡大の状況

		1965 年	1983 年	1993 年	2002 年
酪 農	戸数 (千戸)	382	92.6	50.9	31.0
	頭数 (千頭)	1,289	2,098	2,068	1,726
	1 戸当たり (頭/戸)	3.4	22.7	40.6	55.7
肉用牛	戸数 (千戸)	1,435	328.4	199.0	104.2
	頭数 (千頭)	1,886	2,492	2,956	2,838
	1 戸当たり (頭/戸)	1.3	7.6	14.9	27.2
養 豚	戸数 (千戸)	702	100.5	25.3	10.0
	頭数 (千頭)	3,976	10,273	10,783	9,612
	1 戸当たり (頭/戸)	5.7	102.2	426.2	961.2
採卵鶏	戸数 (千戸)	3,243	17.5	8.5	4.8
	羽数 (千羽)	120,197	123,449	148,076	18,028
	1 戸当たり (羽/戸)	27	7,040	17,500	30,447
ブロイラー	戸数 (千戸)	20	7.5	4.0	2.9
	羽数 (千羽)	18,279	134,717	135,371	105,658
	1 戸当たり (羽/戸)	892	18,100	30,400	36,400

農林水産省「畜産統計」
注) 採卵鶏は 300 羽未満, 1998 年以降 1000 羽未満を除く

図 1 畜産関係苦情の発生件数

資料 農林水産省畜産局「畜産経営に係る苦情発生状況調査」

乳を飲む習慣も普及し、それにつれて畜産專業經營も増加した。さらに 1960 年代の高度經濟成長以降、所得増と伴に畜産物への指向が高まり牛・豚・鶏等、畜産農家 1 戸当たりの飼養頭羽数が著しく増加した(表 1)。それらは輸入飼料を多給し、飼料作物を自給するための土地基盤の拡大を伴わなかった。そのため耕地には堆肥が多量に施用され、乳牛が硝酸塩中毒を起こす等の問題も生じた。また適切なふん尿処理を怠ったために悪臭、水質汚染等の畜産公害が生じた。畜産經營では悪臭に関する苦情が多く、ブロイラー、産卵鶏、養豚等の農場が郊外に移転した例も少なくない。今後、畜産サイドからこれらの対策を緊急に進め、環境負荷物質の排出を低減することが必要になっている(図 3)。

図 2 家畜を中心とした物質の流れ

図3 畜舎附属施設からの環境負荷物質

3. 畜産における物質循環

1) 家畜ふん尿の循環

(1) 経営内での循環

大学附属農場や国や県の畜産試験場においては家畜飼養頭羽数にほぼ見合った飼料作物等を栽培し、ふん尿処理・利用が可能なだけの土地を確保している場合が多く見られている。東京農工大学農学部附属FSセンターにおいても、家畜ふん尿を稲ワラ、麦カンおよびオガクズ等の副資材と混合して厩肥として利用し、不足分を化学肥料で投入し、穀物と飼料作物を栽培する等、食料生産と飼料生産とを家畜を仲介にすることで、窒素、リン、カリの物質循環が適正に行われ、農場全体として持続的な複合農業が営まれている (Matsumura 1992, 2002)。

(2) 経営外への移動

比較的 land に恵まれている乳牛飼養においても、家畜1頭当たりの飼料作面積は北海道0.71ha/頭、東北0.78ha/頭で比較的広いが、関東では0.14ha/頭と非常に狭く、全国平均でも0.46ha/頭となり、多くの酪農家は自作地だけでは堆肥を利用しきれないのが現状である。東京都における酪農家の調査では耕地面積が狭いため、ほとんどの

酪農家がビニールハウス等を利用して牛ふんを乾燥処理して減量を図り、耕種農家による堆肥利用を促進していた。それにより80km圏にあたる神奈川県三浦半島の耕種農家にも流通されていた (森田ら1979)。その他、ブロイラー、採卵鶏、養豚についてはほとんど耕地を持たない畜産経営が多い。これらの畜産農家は、ふん尿を近在の耕種農家に堆肥やスラリーとして利用して貰うか、経営内で浄化等の処理する必要性が生じている。家畜ふん尿をN、P、Kや有機物を含んだ堆肥として耕種農家に有効利用して貰うことにより、化学肥料の購入を減らして有機物により土壌の物理性を改善することは資源の有効利用からも重要であろう。乳牛ふん尿についてみると含水比が300-800%の間では運搬等のハンドリングが難しいため副資材を加えて固形物として扱うか、他の汚水と混ぜて水溶液として扱うのが理想的である (塩谷1994)。しかしながら重量物であるので輸送を最小限する地産地消を奨励するための共同利用堆肥センター等の設置も全国各地で行われている。しかし、堆肥センターに対するアンケートによれば、堆肥の「販路の確保」や「価格が安い」等の問題も生じている (図説食料・農業・農村白書平成12年)。

2) 家畜ふん尿処理・利用技術

家畜ふん尿の利用方法の特徴を表2に示した(羽賀 1998)。主な利用としては肥料, エネルギー, 飼料としての利用がある。肥料の利用では高品質化と流通利用に, エネルギーとしてはバイオマスエネルギーを利用した処理物の利用にそれぞれ課題がある。

主な家畜尿汚水の処理法を図4に示した(羽賀 1998)。好気・嫌気生物処理と物理・化学処理が畜種, 経営規模, 立地条件等, それぞれの畜産経営の実状に合わせて様々な形で行われている。ふん尿処理負担を軽減するため, 家畜の飼養管理に使う水を減らして汚水を増やさないこと, および家畜の畜舎内における夏季に見られる水遊びを飲水器の工夫により規制し, 飲水をある程度制限することも尿量を

減らし, ふんの水分含量を減少させるので処理装置の規模縮小が可能でふん尿処理のコスト削減からも重要なポイントになる。

(1) 家畜ふん尿の混合処理

一般に家畜の飼料は繊維分が多いため飼料消化率が低く, 家畜ふんには有機物が多く含まれる。例えば BOD は豚ふんの場合, 人ふんの 10 倍と高濃度である(羽賀ら 1998)。そのため家畜ふんを水処理装置で浄化する場合, その処理コストは非常に高価となる。それゆえ, ふん尿分離(固液分離)が原則となるが, 混合処理する場合には, 家畜ふん尿と稲ワラ, 麦ワラ, オガクズ, 落ち葉, 故紙等, 低水分の副資材と混ぜて全体の水分含量を 60% 以下に調整して堆積発酵が行われている。

表2 家畜ふん尿の利用方法の特徴(羽賀 1998)

利用方法	処理方法	利用形態	効 果	課 題
肥料利用	堆肥化	堆肥	腐熟した有機質肥料	高品質化 流通利用
	乾燥	乾燥ふん	有機質肥料	流通利用
	スラリー処理	液肥	有機質肥料	自己利用のみ
エネルギー利用	直接燃焼	温水	ふんの減量, 省エネ	排ガス, 粉塵
	熱分解	熱分解ガス	燃料生産	廃棄物
	石油化	石油状物質	燃料生産	試験研究段階
	堆肥化	温水, 温風	省エネ	エネルギー量少ない
	メタン発酵	メタンガス	燃料生産	液肥処理・利用
飼料利用	乾燥	(DPW ¹⁾ など)	飼料生産	消化率
	サイレージ	(ウエイストレージ ²⁾ など)	飼料生産	消化率
その他の利用	培養	クロレラ, 酵母など	飼料生産	試験研究段階
		ミミズ, 昆虫など	飼料生産	試験研究段階
	栽培	キノコなど	食料生産	馬ふんのみ

注 ¹⁾ DPW ; Dried Poultry Waste の略。乾燥処理した鶏ふん。
²⁾ ウエイストレージ ; Waste (ウエイスト) + Silage (サイレージ) の造語。家畜ふんをサイレージ処理したもの。

図4 主な家畜尿汚水処理の方法(羽賀 1998)

乳牛では牛床に敷料を使用しない場合、牛舎の地下に貯留槽を設置する自然流下方式が多く採用されている。貯留槽における攪拌処理後、スラリータンク等で液状堆肥を耕地還元するが、その際、液状堆肥が未熟であると悪臭が問題となる。その際にはスラリーインジェクターを用いることが望ましい。家畜ふん尿を利用したメタングス発酵については発生するバイオガスを熱源や電気として利用でき、処理中も嫌氣的発酵であるのでその臭いが外に漏れないことがメリットである。メタン発酵後、消化液の悪臭も減少するのでその圃場散布が可能ならば有効な手段である（神田ら 1988）。鶏ふんでは他の畜ふんに比べてカロリーは高いので、その水分含量を出来る限り低下させて焼却し、その余熱を利用して他の鶏ふんを乾燥させることも可能である（亀岡 2003）。

(2) 家畜ふん尿の分離処理

家畜ふん尿処理を簡素化するため、家畜ふん（固形物）と尿（液状物）をふん尿分離スクレーパー等、通路や尿溝構造の工夫あるいは固液分離機等の使用により固液分離する方式、および、固形物を副資材を使って水分含量を 60% 以下に調整して堆肥化処理し、液状物を酸化池や活性汚泥等の処理をする家畜ふん尿分離処理方法が多く採られている。その他、牛ふん等の炭化処理も可能であるが、その製品は木炭に比べてカロリーが低い。土壤改良材等の他の利用法についての検討も必要となる（凌 2003）。

固形堆肥・液状堆肥のどちらを選択するにしても都道府県で平均規模の畜産農家では圃場に制約があり、耕種農家の圃場を利用しなければ処理できない状態にある。それゆえ、畜産サイドでふん尿処理施設や耕種農家への輸送手段であるバキュームタンク車やダンプトラックを所有している事例が多い。しかし共同利用の堆肥センター同様、畜産農家が堆肥の販売によって利益を得るまでには遠く及ばない現状である。

(3) その他の利用

酪農家では敷料不足とふん尿処理、両面の解決策として牛床への敷料としての堆肥の利用（戻し堆肥）が行われている。戻し堆肥を 3～4 回繰り返すと尿に含まれるカリ等の塩類が集積するので、適宜、オガクズ、パーク等の有機物を添加する必要がある。他方、戻し堆肥の衛生管理面上から堆肥の発酵温度を 50℃ 以上に保つことやその水

分含量を 50% 以下することに留意する必要がある。

その他、表 2 に示したように家畜ふんの利用方法としては濃厚飼料と混合して発酵させ家畜の飼料として再利用することも研究されている（宮崎 1978）。しかし、肉骨粉の不適切な熱処理のために生じた牛海綿状脳症（BSE）が大発生したことから、今後、家畜からの生産物の家畜による直接利用については人間や家畜に対する安全面からの慎重な検討を要するだろう。

3) 飼養管理面からの環境負荷物質軽減への取り組み

畜舎および堆肥舎、サイロ等の附属施設からは炭酸ガス、亜酸化窒素、メタングス等の環境負荷物質が常に放出されている（図 3）。耕種部門の肥料施用と同様、基本的に家畜に対する過剰な濃厚飼料や添加物の給与を避け、家畜の栄養状態によりカロリー、蛋白、ミネラル等、飼料設計を適正にすることが基本である。その他、消化器、代謝器等の疾病を出さないこと、および防寒対策、暑熱対策等のストレスを減らす合理的な家畜飼養管理の工夫により呼吸、あい気および家畜ふん尿に排出される地球温暖化物質、悪臭物質、水質汚染物質等の環境負荷物質を削減し家畜生産の効率化を図ることが可能になると思われる。

(1) 大気環境への負荷物質軽減

① 温室ガス

・炭酸ガス

農業もトラクター、モーター、農業資材、軽油、重油等の利用による化石燃料の消費がある（坂井 2003）。しかし、化石燃料を大量に消費する工業と違い、農業の場合には太陽エネルギーが生産の基盤の一つになっている（図 2）。家畜飼養の場合、牧草や穀類・糟糠類が主体となっているため、家畜の呼吸により放出される炭酸ガスも植物体に吸収され光合成反応により酸素に変換されて放出され、自然界で循環している。基本的に炭酸ガスは、植物にとって炭水化物を生成する基本的な材料であり、植物体の骨格であるセルロース、ヘミセルロース、リグニン等の有機物の原料でもある。それらはリターとして残存し、圃場に蓄積される場合も多いであろう。特に放牧における牧草地の多面的な機能は、水田や森林、同様に環境保全面からも重要であろう。農業全体でも有機物を蓄積することで炭酸ガスの減少に貢献していると思われる。

・メタンガス

地球におけるメタンガス全放出量の約16%が反芻動物から排出され、その中の約70%が牛から排出されると言われている (IPCC1994)。メタンガスは炭酸ガスの約26倍の温室ガス効果をもつ。乳牛の反芻胃内においてメタン菌は原虫 (プロトゾア) の体表面に生息しており、微生物により放出される水素を利用してメタンを生成する働きがある。主なメタン発生抑制物質を表3 (板橋ら 1992) に示した。サポニン (ユッカ抽出物)、フィマール酸 (バヤルら 2001)、中鎖脂肪酸であるカプリンサン-CD (包摂化合物)、ラウリク酸-CD (鯉坂ら 2002)、プロモクロロメタン-CD 等の飼料添加がメタン生成の減少に効果があることが報告されている。堆肥化の過程でもかなりのメタンが排出されるので曝気や切り返し等により好氣的発酵を促進する必要がある。

・亜酸化窒素

現在、堆肥化施設や土壌脱臭装置から硝酸の還元反応とアンモニアの酸化反応による硝化過程により、温室ガス効果の高い亜酸化窒素 N_2O (炭酸ガスの約270倍) としてかなり揮散していると思われるので、今後、堆肥化や脱臭方法の改善が望まれる。農耕地からの亜酸化ガス発生

については松村 (2002) の前回の特集を参照して戴きたい。

②悪臭

畜産経営における悪臭は最大の苦情の原因となっている。そのため、脱臭方法も様々で炭やオガクズを利用する吸着法や土壌やロックウールを用いた微生物脱臭、水洗法、木酢等を用いたマスキング法および自然換気や強制換気を利用した空気希釈法が多く行われ、一部では燃焼法や薬液処理法も用いられている。飼料添加物を用いた悪臭物質の削減については板橋 (2003) の報告を参考にされたい。

・アンモニア

畜舎から発生する悪臭で大きな問題となるのがアンモニア臭である。黒毛和種の肥育牛を飼養した実験例では畜舎解放時、夏場に高く冬に低い傾向があり、年平均では1.1ppmと低く推移し、密閉時には6ppmまで上昇した (東城ら 2002)。それらの畜舎内の臭いを削減するためには悪臭の発生源であるふん尿を取り除くため除ふんをこまめに行うことが基本となる。また、敷料にオガクズ等を用いてその悪臭を吸着させることも有効である。さらに周辺が宅地化されている場合、堆肥化装置から放出されるアンモ

表3 メタンおよび水素生成に及ぼす各種 CD 包摂物の影響 (In vitro 培養実験)

CD 包摂物	メタン生成量 ^{a)}	水素生成量 ^{a)}	プロトゾアの活性 ^{b)}
フマル酸	60	150	+++
ユッカ抽出物	62	53	++
プロモクロロメタン- α CD	1	7500	+++
C8 カプリル酸- β CD	80	68	+
C10 カプリン酸- β CD	60	65	—
C12 ラウリン酸- β CD	82	120	—
Eu- α CD (ユーカリ)	86	128	+
Gi- α CD (シネオール)	145	108	+++
P- α CD (ペパーミント)	90	103	+++
Me- α CD (メントール)	103	79	++
T- α CD (タイム)	99	139	+++
W- α CD (ワサビ)	54	453	+++
W- α CD + フマル酸	53	240	+++
W- α CD + リンゴ酸	73	360	+++
IP- α CD (ヨードプロパン)	1	14083	+++
IP- α CD + フマル酸	1	7600	+++
I- α CD (ヨウ素)	92	283	+++
I- β CD (ヨウ素)	2	14000	+++
ジアリルマレイン酸- α CD	50	250	+++
アリルイソチオシアネート- α CD	10	650	+++

a) 無添加を100とした場合の割合 (%), b) — (消滅) ~ +++ (活性大)

板橋ら (2003)

ニア等を捕集し脱臭する必要がある。一般に用いられている生物脱臭法の中で土壌脱臭法は、悪臭物質を土壌に吸着させ土壌微生物により分解させる方式である。土地面積を多く必要とする反面、安価で維持管理が容易な方法である。その他、炭・オガクズおよび水溶液に吸着させる方法、高温分解法と酸化チタン等の触媒反応により化学的に分解してしまう方法等も行われている。畜ふんからのアンモニアの発生については低蛋白飼料の給与と腸内乳酸菌を活性化するオリゴ糖の添加（佐藤ら 2000）等で抑制することが可能である。

・低級脂肪酸

サイレージ等の臭いが問題となる場合が多いので飼料作物を適期収穫し、予乾等により水分含量を下げ細断・密封および糖蜜、乳酸菌等の添加を行い良質のサイレージを作ることが基本である。地下式サイロ等ではサイロの取り出し口を適正な大きさにして蓋を設ける等で2次発酵を防ぐことや取り出しの際にもサイロを側壁やカーテンによって外部に悪臭を漏らさない工夫が必要となる。畜舎でサイレージを給与する際にも低水分の他の飼料と混合して臭い成分の揮散を防ぐこと、および取り出し後、直ちに給与すること等も必要であろう。

・その他

ミルクングパーラーの廃液から生ずる塩素系化合物の中には悪臭を示すものもあり、また微生物活性を阻害する。それらの化合物に含まれる塩素を除去してから微生物を利用した污水处理をする必要がある。

酪農家では周辺の宅地化に伴い悪臭が最大の問題になっているので、乳牛の敷料にオガクズはもとより、コーヒー粕およびカカオ粕等を使用している農家もある。基本的には発生源をオガクズ等に吸着させるか、悪臭物質を閉じこめて捕集し脱臭装置で処理するか、または悪臭物質を上手に拡散させる方法が有効となる。その他、大型換気扇を牛舎内に設け、牛舎内の通風を図り敷料と通路を乾燥させること、および給餌や除ふん、および堆肥の切り返し時に市販の消臭材の散布を行うことも有効である。また、周辺環境を考慮に入れた畜舎および堆肥舎、サイロ、ミルクングパーラ等、附属施設配置の工夫（神田ら 1997）や換気システムの改善（池口

2003）、畜舎、堆肥舎およびサイロ周辺への樹木等の配置の工夫等、新たな環境整備も必要になるであろう。

(2) 土壌・水的環境への負荷軽減

①窒素

蛋白質の構成元素であり、動・植物にとって不可欠なものである。植物は無機態の窒素として吸収しアミノ酸および蛋白質に合成する。根粒菌は空中窒素を固定し、植物と共生している。植物やバクテリアによって利用される限りにおいては環境負荷については問題は生じない。しかし、植物が動物によって採食され、蛋白質が吸収利用されてアンモニアや尿酸として排泄された場合に問題となる。それらが硝酸態窒素やアンモニア態窒素になり流亡・溶脱した場合には水質汚濁・地下水汚染、および亜硝酸ガスで揮散した場合には地球温暖化を引き起こす。そのため、畜産サイドでは家畜ふん尿に由来する窒素を低減するため、悪臭低減の場合と同様、家畜に給与する蛋白質量を低レベルに制限し、欠乏し易いリジンやメチオニン等の必須アミノ酸を添加する研究がなされている（平成 14 年度関東東海北陸農業試験研究推進会議畜産草部地会資料 2002）。乳牛の反芻胃内で良質な蛋白質が微生物により無機態窒素に分解されるのを防止するため、腸内で分解・吸収されるパイパス蛋白を給与して効率的に蛋白質を利用する方法も実用化されている。

堆肥や窒素肥料も圃場に適正量が施用されていれば環境負荷物質の発生は減少する。それゆえ作物の多収を目的にした窒素肥料の多量施肥やふん尿処理を目的にした堆肥の多量施用をすることは環境保全のみならず人間や家畜の健康面からも避けるべきである。

②リン

日本では天然のリン資源がないため、現在、南アメリカ、オーストラリア、中華人民共和国から輸入している。他方、リンは家畜の污水处理でも最後まで除去されない場合が多く、その場合、河川や湖沼の富栄養化を進行させる。そのため廃水処理の最終段階におけるリンの回収に関する研究がなされてきた（鈴木 2003）。その他、家畜ではフィターゼ添加によるリンの効率的利用とそれによる家畜ふん尿中のリン低減に関する研究が行われている（梶 2003）。

③塩類

電気伝導度の高い戻し堆肥 (EC 8mS/cm 以上) や家畜尿だけを散布した場合、土壤中に塩類集積が起き作物が栽培できなくなる場合も考えられる。堆肥施用によるこれらの障害を取り除くためには、戻し堆肥、同様に稲ワラ、麦ワラ、オガクズ等、植物由来の有機物を混ぜて塩類濃度を減少させた堆肥を作る必要がある。

4. まとめ

他の農業分野と同様、畜産においてもその生産の持続と環境保全についてはそれぞれのバランスを考えることが重要である。環境負荷物質低減のためにはヨーロッパなみの基準 (LCA) である家畜単位で 1.2-1.3 頭/ha を目標に畜産サイドからも土地面積当たりの家畜頭数を制限するなどの措置も必要であろう。その他、高齢化の進んでいる中山間地の不耕作地 21 万 ha (平成 12 年) や造林地における繁殖和牛の小規模な放牧利用等も検討する必要があるだろう (草地畜産試験場 2002, 山口県畜産試験場・山口県畜産技術協会 2002)。

引用文献

- 山地畜産研究部 山地畜産研究チーム (2002): 小規模移動放牧マニュアル, 草地畜産研究所。
- 板橋久雄, 田谷一善, 渡辺 元, 神田修平, Liu, J. X., Wu, Y. M., Yang, P., Shi, Z. (1992): 反芻家畜における繊維消化促進とメタン生成の抑制に関する研究, 文部省科学研究費補助金基盤研究 (B) (2) 研究成果報告書。
- 板橋久雄 (2003): 家畜排泄物の臭気抑制のための添加物利用, 畜産の研究 57 (1): 19-24。
- 中央畜産会 (1969): 家畜糞尿処理利用の知識とその実際。
- IPCC. (2001): Synthesis Report, Cambridge University Press, UK.
- 松垣 繁ら (1992): ふん尿処理対策, ここが決め手, 酪農事情増刊号。
- 梶 雄次 (2003): プタからの窒素・リン排泄量を減らす栄養管理, 畜産の研究, 57 (1): 14-18。
- 亀岡俊則 (2003): 焼却技術 (鶏ふんの焼却, 灰利用), 畜産の研究, 57 (1): 75-78。
- 凌 祥之 (2003): 炭化技術, 畜産の研究, 57 (1): 75-78。
- 神田修平 (1988): メタン発酵装置を用いた家畜糞尿の処理・利用, 日本農作業学会シンポジウム関東支部研究会; 13-22。
- 神田修平・伊藤正浩・柳岡陽子・塩谷哲夫 (1997): 乳牛飼養管理ふん尿処理システムの改善について, 農工大農場研報 15: 26-51。
- 松村昭治 (2002): 窒素循環と農作業, 農作業研究 37 (4): 241-249。
- 宮崎 昭 (1978): 21 世紀の牛肉を考えるーリサイクルリングによる牛肉作り, 丸の内出版。
- 森田琢磨・神田修平・鎌田寿彦 (1979): 牛糞尿の流通に関する 2・3 の考察, 家畜の管理, 14 (3): 61-70。
- 押田敏雄・柿市徳英・羽賀清典 (1998): 畜産環境保全論, 養賢堂。
- ポケット農林水産統計 (1989, 1994, 2001, 2002)
- 坂井直樹 (2002): 炭素循環と農作業をめぐる諸問題, 農作業研究 37 (4): 251-258。
- 佐藤哲誠・神田修平・板橋久雄・菊地恵理子・藤田孝貴・原 耕三 (2000): オリゴ糖のルーメン微生物による分解性と糞中臭気物質生成に対する効果, 日本畜産学会第 97 回大会講演要旨; 36。
- 塩谷哲夫 (1994): ふん尿のハンドリングと活用, 酪農事情増刊号。
- 鈴木一好 (2003): 浄化処理における資源回収技術, 畜産の研究 57 (1): 83-90。
- 鈴木創三・東城清秀・鎌田寿彦・安藤達男・板橋久雄・神田修平・松村昭治・黒川勇三・加藤 誠・坂上寛二・田中治夫・島田 順・岡崎正規 (1992): 省エネ脱臭堆肥化畜舎ー草地土壌生態系による家畜糞尿活用システムの開発, 文部省科学研究費補助金基盤研究 (A) (2) 研究成果報告書。
- 寺田文典 (2003): メタン発生量を減らす栄養管理技術, 畜産の研究 57 (1): 25-29。
- 独立行政法人 農業技術研究機構・中央農業センター・畜産草地研究所・動物衛生研究所 (2003): 平成 14 年度 関東東海北陸農業試験研究推進会議畜産草地部会資料。
- 山口県畜産試験場・山口県畜産技術協会 (2002): 耕作放棄地放牧マニュアル。
- 矢野史子・川島知之 (2003): 環境に対する畜産の貢献, 第 3 回畜産環境国際シンポジウム講演要旨; 7-11。