

2. 家畜ふん堆肥およびペレット化堆肥の農耕地への積極的利用

鹿児島県農業試験場 永 田 茂 穂

1. はじめに

鹿児島県は全国有数の畜産県で、農業粗生産額の約5割を畜産が占めている。これら家畜から産出される家畜ふん尿量は600万t以上に達している。また、家畜の飼養頭羽数には地域的な偏りがあるため、家畜ふん尿の産出量にも地域的な偏りがみられ、牛・豚の飼養頭数の多い曾於肝属地域で県全体の半分程度を占めている。さらに、産出される家畜ふん尿の7割程度は堆肥化されているが、その利用は流通性や品質上の問題等により、耕種農家の利用状況にも地域的な偏りがみられる。このため、家畜ふん尿が適切に処理されず環境問題を生じたり、過剰施用による周辺水系への硝酸態窒素汚染等の発生が問題化している。このように家畜ふん尿の偏在による環境負荷の発生に対して、豊富な家畜ふん尿を循環させるには、高品質堆肥の製造による環境に配慮した農耕地への積極的な利用と広域流通を含めた販売促進が重要である。

そこで、家畜ふん堆肥を積極的に利用および流通させるため、家畜ふん堆肥主体での作物の栽培を検討している。また、家畜ふん堆肥の取り扱い性、保管性、流通性を改善したペレット化を試み、その作物の養分吸収特性に合致した畜種別ペレット化堆肥のブレンド法および施用技術等を検討している。ここでは鹿児島県における家畜ふん堆肥の現状と家畜ふん堆肥主体の作物栽培の可能性と問題等を紹介する。

2. 鹿児島県における家畜ふん尿の処理・利用の現状

鹿児島県における家畜ふん尿の産出量は、年間668万tと推定され、全耕地に還元すると10a当たり5.0t、窒素負荷量は約40kgとなり、全国平均の約15kgや九州平均の約30kgを大きく上回っている。また、市町村別では60kg以上の地域が偏在している（第1表）。

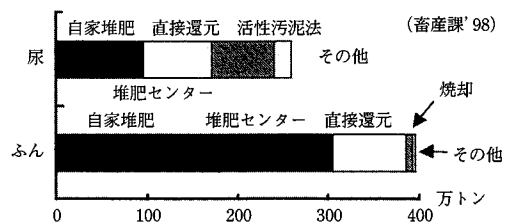
産出される家畜ふん尿の処理 利用状況を見ると、農耕地への直接還元や焼却等、畜産農家の処理容量を大きく超え、適切な処理を行わないと悪臭や水質汚染の発生等、畜産環境問題を生ずる危険性がある（第1図）。

第1表 家畜ふん尿の産出量

区 分	飼養頭羽数			ふん尿量			合計	ふん尿 窒素量 (千t/年)	耕地 [○] 面積 (万ha)	ふん尿 耕地還元量 (t/10a)	窒 素 負荷量 (kg/10a)
	牛	豚	鶏	牛	豚	鶏					
	(万頭羽)			(万t/年)							
全 国 [Ⓐ]	475	982	29,808	5,755	2,277	1,349	9,381	737.6	494.9	1.9	14.9
九 州 [Ⓑ]	115	288	8,082	1,192	665	372	2,229	182.7	61.5	3.6	29.7
鹿児島 [Ⓒ]	34	134	2,970	339	191	138	668	53.0	13.3	5.0	39.9

注) Ⓐ) は1997年, Ⓑ) は1996年頭羽数を基に, 原田¹⁾の原単位から算出。○) 農林水産省「平成9年耕地及び作付面積統計」

県内には約200の堆肥センターがあり、年間に50万t程度の堆肥が生産されている。これらの堆肥は一次発酵終了程度のもので多い等、品質面で耕種農家の要求を満足させる堆肥の生産は少ない。また、堆肥原料の家畜ふんの種類は単独の畜種を主体とするものが約7割を占め、特に牛ふんを主体とするものが多い。さらに、副資材混入量の減少、濃厚飼料の使用や施用作業性を考慮した水分含量の低下によって、堆肥の肥料成分濃度はいずれの畜種についても1981年の調査より高くなっている²⁾。これは、従来の家畜ふん堆肥が持っていた土壌改良の効果より肥料的効果が高くなってきていることを示し、特に窒素成分は化学肥料代替性を考慮した施用体系の確立が必要で、環境負荷低減の見地からも重要である（第2表）。



第1図 鹿児島県における家畜ふん尿の処理状況

第2表 1981年産と1995年産家畜ふん堆肥の化学成分の比較²⁾ (乾物当たり%)

堆肥の種類	項目	水分	pH	T-C	T-N	炭素率	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
牛ふん	1981年産	58.6	7.8	36.2	1.67	22.5	1.91	2.43	2.04	0.75
	1995年産	51.1	8.1	36.7	2.17	16.9	2.86	3.07	2.56	1.29
豚ふん	1981年産	46.7	7.2	33.6	2.41	14.6	6.10	2.68	4.11	1.31
	1995年産	27.4	8.2	30.6	3.69	8.3	6.35	3.17	7.31	2.30
鶏ふん	1981年産	48.2	7.9	29.0	2.38	14.6	7.78	2.85	8.16	1.59
	1995年産	22.2	8.5	32.9	4.01	8.2	4.99	4.20	11.1	1.49

3. 地力維持のための有機物施用と肥料的効果をねらった有機物施用

元来、家畜ふん堆肥等の有機物は土壌生産力の維持・向上を目的として施用されてきた。その施用効果は土壌の膨軟、透・排水性の増大、保水性の増加等の物理性の改善、糸状菌、細菌等の増殖による微生物相の多様化や有用微生物の増加、有機物に含まれる化学肥料成分の蓄積で、これら物理性、生物性、化学性改善の総合的な効果が生産性を向上させる。そして、この場合の施用量は最も多い牛ふん堆肥でも10a当たり2tが基準量で、現在の家畜ふん尿産出量から算出される農耕地への還元量にははるかに及ばない施用量である。

一方、有機農法に代表されるような肥料的効果をねらった有機物施用がみられる。今後、豊富に産出される家畜ふん堆肥の積極的な利用拡大を図るには、家畜ふん堆肥の肥料成分の化学肥料代替性を考慮した施用体系を確立し、積極的に利用することが重要である。この場合、畜種による肥料成分の濃度バランスや肥効率（特に窒素）が異なること等から、これらのことを考慮しつつ、作物の養分吸収パターンに合致した畜種別家畜ふん堆肥のブレンド施用や過不足成分を化学肥料で調整する必要がある。また、窒素の肥効率に基づいて家畜ふん堆肥を施用するため、施用量が多くなることから、散布作業等の機械化、省力化に向けた取り扱い性・貯蔵性・流通性の改善、すなわち成型（ペレット）化の検討が重要と考える。

4. 家畜ふん堆肥のペレット化とその特性

1) ペレット化の意義

現在、生産・販売されている家畜ふん堆肥は、施用量が多い、散布時の粉塵発生、保管時の品質変化等の欠点がある。これらの欠点は、成型（ペレット化）することで流通性・保管性・散布適正などが改善され、さらに、肥効および品質の均質化により、農耕地への施用や域外への流通が促進される。

2) ペレット化堆肥の製造

家畜ふん堆肥のペレット化は、水分含量40%程度の堆肥を天日乾燥によって、水分含量20～25%まで減じた後、粉碎し、ディスクペレッター方式で固形・成型化（直径3.5mm×長さ5mm）し、さらに、ガラスハウス等で暫く天日乾燥を行い、長期保存が可能な水分含量15%程度に調整する。

家畜ふん堆肥のペレット化については、県内の堆肥センターの原料構成が単独畜ふんを主体とするものが約7割と多い²⁾ ことと、家畜ふん堆肥の窒素発現パターンが畜種で異なること等から、作物の養分吸収特性（特に窒素）に合致させた多様な窒素比率のブレンドを容易にするために、畜種別に製造することが望ましいと考える。

3) ペレット化堆肥の特性

ペレット化堆肥は、重量が乾燥と圧縮・固形化により、水分50%の原料堆肥が40%程度軽くなり、また、牛ふん堆肥では容積が40%に減少し、さらに乾燥によって臭気が軽減する等、保管性、流通性が改善された。また、乾燥して水分が少ないため、散布量が少なく、散布時の粉塵の発生が減少した。さらに、微生物の活動が緩慢で、成分、形状等の品質の変化が少なく長期保存が可能となる等、ペレット化のメリットは大きい。

ペレット化堆肥の窒素溶出特性について、湿式法のエキストラクターで作られた径5～10mmペレットは崩壊し難く硝化抑制効果があることや、乾式法による径8mmペレットでも窒素放出パターンが持続的になる等の報告³⁾ があるが、今回、ディスクペレッター方式で製造したペレット化堆肥の30℃、最大容水量の60%

水分条件下の土壤中での無機態窒素生成量は、豚ふん堆肥ペレットが通常堆肥よりわずかに少ないものの、牛ふん、鶏ふん堆肥では、ペレット化による窒素発現の抑制を認められず、ペレット化しても通常堆肥と同様の肥効発現を示すと考えられる (第2図)。

5. 家畜ふん堆肥主体の栽培の可能性と問題点

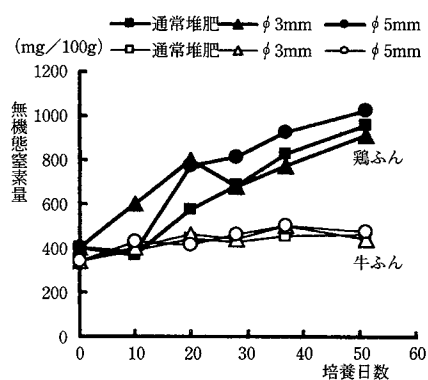
1) 通常の家畜ふん堆肥だけによる栽培

露地野菜 (キャベツ, サトイモ, ダイコン, ジャガイモ) について、牛ふん堆肥, 豚ふん堆肥, 鶏ふん堆肥の窒素肥効をそれぞれ40~50, 50~60, 60~70%に設定し、化学肥料窒素相当量の家畜ふん堆肥の施用だけで、化学肥料施用を対照に延べ8作栽培した。ここでは3作目, 7作目のキャベツと4作目, 6作目のサトイモの栽培を紹介する。

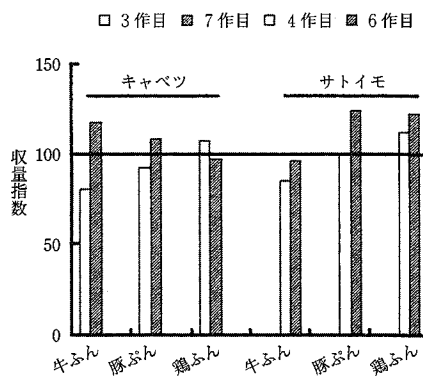
(1) キャベツ: 化学肥料の窒素施用量が基肥 12kg + 追肥 3kg/10a の慣行栽培 (対照) に対して、牛ふん堆肥は3作目 30kg, 7作目 37.5kg, 豚ふん堆肥は2作とも 25kg, 鶏ふん堆肥は2作とも 21.4kg の窒素を各々の家畜ふん堆肥で基肥施用した。家畜ふん堆肥の3, 7作目での現物施用量は栽培時での水分, 窒素成分量が異なるため、それぞれ10a 当たり牛ふん堆肥 6.9, 6.3t, 豚ふん堆肥 1.2, 0.6t, 鶏ふん堆肥 1.4, 0.9t 程度であった。品種は「金系 201」, 播種 1995 年 10 月 30 日および 1997 年 9 月 22 日, 定植 11 月 29 日および 10 月 13 日, 収穫 1996 年 5 月 7 日および 1998 年 1 月 29 日であった。生育後期の気温が低温になる 1 月収穫の 3 作目の収量 (結球重) は牛ふん堆肥区が対照区に比べ、劣るものの、豚ふん、鶏ふん堆肥区は対照区と同等以上の収量が得られた。一方、生育後期の気温が上昇する 5 月収穫の 7 作目では、いずれの家畜ふん堆肥区も対照区と同等以上の収量が得られた。家畜ふん堆肥だけによるキャベツの栽培は可能で、生育後期の気温が低温になる作型は鶏ふん・豚ふん堆肥を主体に、また、生育後期の気温が上昇する作型は牛ふん堆肥を主体にした施用が有効と考える (第3図)。

(2) サトイモ: 基肥窒素 20kg/10a の慣行栽培 (対照) に対して、牛ふん堆肥は2作とも 50kg, 豚ふん堆肥では4作目 40kg, 6作目 33.3kg, 鶏ふん堆肥は4作目 33.3kg, 6作目 28.6kg の窒素を各々の家畜ふん堆肥で基肥施用した。家畜ふん堆肥の4, 6作目での現物施用量は、それぞれ10a 当たり牛ふん堆肥 8.2, 10.2t, 豚ふん堆肥 1.1, 0.9t, 鶏ふん堆肥 0.9, 1.1t であった。品種は「石川早生丸」, 定植 1996 年 5 月 27 日および 1997 年 4 月 8 日, 収穫 1996 年 9 月 26 日および 1997 年 8 月 19 日であった。サトイモは生育初期の窒素要求量が多いため、窒素溶出の遅い牛ふん堆肥区の上いも収量は対照区を下回る傾向を示したが、豚ふん、鶏ふん堆肥区は対照区と同等以上の収量が得られた。家畜ふん堆肥だけによるサトイモの栽培は可能で、鶏ふん堆肥, 豚ふん堆肥を主体にした施用が有効で、窒素溶出の遅い牛ふん堆肥を利用する場合、鶏ふん・豚ふん堆肥とのブレンド施用や速効性窒素肥料と組み合わせた施用が必要と考えられる (第3図)。

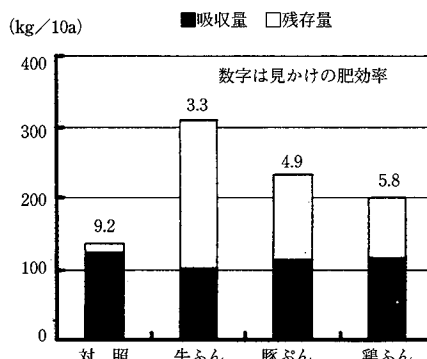
(3) 養分施用量と養分吸収および土壌への影響: 8 作合計の家畜ふん堆肥からの養分施用量は、窒素を基準としたため、



第2図 土壌における窒素無機化量



第3図 キャベツ・サトイモの収量



第4図 見かけの窒素収支 (8作合計)

牛ふん堆肥区のリン酸、カリウム、マグネシウム施用量は対照区の3倍以上と最も多く、また、他の家畜ふん堆肥も、各養分施用量は対照区を上回った。8作合計での施用窒素量から吸収窒素量を減じた窒素が最も多かったのは牛ふん堆肥区で、施肥窒素量の3割程度しか作物体に吸収されなかった。吸収窒素以外の窒素が最も少なかったのは鶏ふん堆肥区であった。豚ふん堆肥、鶏ふん堆肥のみかけの窒素肥効率は設定値より1割程度低いものの、対照区が9割程度であることを考慮すれば、ほぼ設定どおりの肥効率であったと考えられる。対照区、豚ふん堆肥区、鶏ふん堆肥区のカリウムの8作合計吸収量は施用量を上回ったが、牛ふん堆肥区の吸収量は、施用量の4割程度であった（第3表、第4図）。

8作栽培後の土壤中の全炭素、全窒素、トルオーグリン酸、交換性塩基含量は家畜ふん堆肥を施用したが増加した。特に交換性塩基については、家畜ふん堆肥からの当該成分の施用量が多いため、牛ふん堆肥区の交換性カリウムや鶏ふん堆肥区の交換性カルシウム含量が増加した（第3表）。施用した家畜ふん堆肥に由来する窒素や塩基類が土壤中に多く残存し、作物生育への影響や環境への負荷が懸念されることから、家畜ふん堆肥主体の栽培では、作物の養分吸収特性に合致した畜種別堆肥のブレンドや養分の過不足を化学肥料で調整する等、環境負荷を考慮した施用が必要と考えられる。

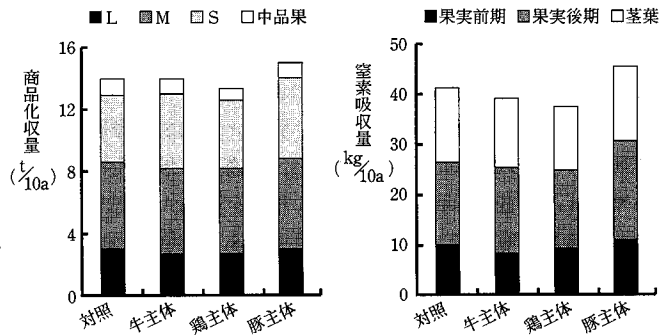
第3表 家畜ふん堆肥からの養分施用量、養分吸収量（8作合計、kg/10a）および8作栽培後の土壌化学性（乾土当たり）

項目	養 分 施 用 量					養分吸収量		T-C T-N		交換性塩基				トローグ [*] リン酸 (mg/100g)
	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	K ₂ O	(%)	CEC	K	Ca	Mg		
対 照	135	153	135	328	80	125	162	8.85 0.39	33.7	0.23	10.6	1.50	6.0	
牛ふん	306	579	522	430(+328)	226(+80)	102	213	9.85 0.46	40.3	1.33	16.2	5.10	17.0	
豚ふん	232	277	164	299(+328)	94(+80)	112	204	10.8 0.54	45.2	0.89	19.4	5.53	15.2	
鶏ふん	201	251	192	547(+328)	62(+80)	116	200	11.1 0.54	46.9	0.27	22.2	4.12	11.0	

2) 家畜ふんペレット化堆肥のブレンド施用での栽培

作物の養分吸収特性に合致した畜種別家畜ふんペレット堆肥のブレンド施用による家畜ふん主体の栽培について、水稻、甘しょ、野菜、花き、茶等の作物を対照に検討している。ここでは施設栽培の促成ピーマンとニンジン栽培の概要を紹介する。

(1) 促成ピーマン・化学肥料窒素で基肥40kg + 追肥20kg/10aの慣行栽培（対照区）に対して、倍量の120kgの窒素を家畜ふん堆肥で基肥施用し、ブレンドは窒素成分で牛2：鶏1（牛ふん主体区）、豚2：牛1（豚ふん主体区）、鶏2：豚1（鶏ふん主体区）とした。現物施用量は水分50%換算で10a当たり牛ふん主体区で14.2t、豚ふん主体区で8.1t、鶏ふん主体区で5.2tであった。品種は「京ゆたか」で、主枝4本仕立て、ハウス内最低気温18℃管理で栽培した。栽培2年目の1996年10月14日定植のピーマンの商品果収量は、いずれのブレンド区とも慣行栽培と同等の10a当たり14t程度が得られた。これは施設内の温度管理によって25℃程度の地温が確保でき、家畜ふん堆肥からの窒素発現がスムーズであったためと考えられる。また、果実の窒素吸収量は、初期の窒素発現が緩慢な牛ふん主体区では収穫前期、初期の窒素発現が速い鶏ふん主体区では収穫後期の窒素吸収量が対照区に比べわずかに少なく、この中間的特性を持



第5図 ピーマンの商品化収量と窒素吸収量

つ豚ふん主体区が商品果収量、窒素吸収量とも他区を上回った(第5図)。なお、現地東串良町での現地実証試験においても、豚ふん主体のペレット堆肥だけの栽培は慣行栽培と同等の収量が得られた。

このように、長期どりの果菜類でも家畜ふん堆肥のみで栽培可能であったが、窒素代替率は50%程度で、窒素施用量が120kg/10aと多く、堆肥施用量も8t/10aと著しく多いことから、連用下での土壤養分の過剰集積が懸念される。今後は化学肥料との併用による窒素施用量の減肥の検討が必要である。

(2) ニンジン・ニンジンの秋まきマルチ栽培では、基肥窒素20kg/10aの慣行栽培(対照)に対し、窒素成分で鶏ふん堆肥20kgと牛ふん堆肥10kgを施用する鶏ふん主体区、豚ふん堆肥22kg+牛ふん堆肥10kgを施用する豚ふん主体区、鶏ふん堆肥11kg+化学肥料12kgを施用する化学肥料併用区を設けた。品種は「紅紫五寸」、播種1997年10月13日、1998年3月16日に収穫した。

家畜ふん堆肥を施用した区の商品化収量は対照区を上回り、生育初期の窒素発現が速い鶏ふん主体区が最も多収であった。また、規格別でみると、L級以上の割合は堆肥を施用した区が対照区を上回った。窒素吸収量は各区とも収量に対応した。家畜ふん堆肥を施用した区の施用窒素に対する吸収窒素の割合は35~44%で、化学肥料併用区が最も高く、化学肥料との併用でみかけの肥効率は高まった(第6図)。

ニンジンの栽培でも鶏ふん主体の家畜ふん堆肥のみで栽培は可能であったが、化学肥料の併用で肥効率が高まることから、化学肥料併用による窒素施用量の減少はコスト・環境負荷低減の見地からも有効な施用法である。

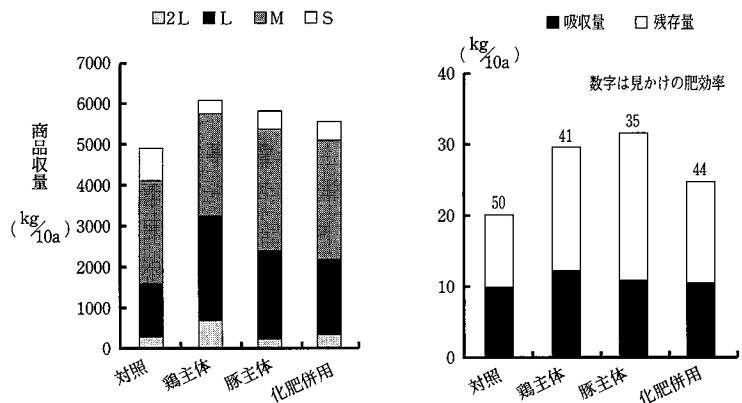
ここでは、促成ピーマンとニンジンについて紹介したが、普通期水稲、原料用甘しょ、キャベツ、サトイモ、花(キク)等についても家畜ふんペレット堆肥をそれぞれの養分吸収特性に合致させてブレンド施用することで栽培可能なことが明らかになっている⁴⁾。しかし、家畜ふん堆肥のみの栽培では施用量が多く、土壤養分の過剰集積、塩基含量のアンバランス化等が懸念されることから、今後、化学肥料との併用による土壤環境への負荷の少ない施用法を検討する必要がある。

6. 家畜ふん堆肥で栽培された各種作物の品質

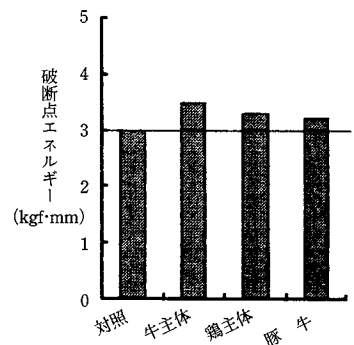
家畜ふん堆肥主体で栽培された作物の品質について、外観、可食部分の食味(硬さ)、内容成分(糖、ビタミンC、抗酸化能等)を化学肥料栽培の作物と比較調査している。家畜ふん堆肥主体で栽培されたジャガイモ、サツマイモ、キュウリ、ニンジンおよびピーマンの内容成分は化学肥料栽培と大きな差はなく、品質的差は明らかでない。しかし、キュウリの硬さは家畜ふん堆肥主体栽培が化学肥料栽培より硬く、歯ごたえのある傾向があった(第7図)。

7. おわりに

野菜類をはじめとする各作物について、家畜ふん堆肥の窒素肥効特性に基づいた畜種別の単独施用やブレン



第6図 ニンジンの商品収量とみかけの窒素収支量



第7図 キュウリの硬さ

ド施用で家畜ふん堆肥主体の栽培が可能になりつつあるが、家畜ふん堆肥の施用量が多量となるため、栽培終了後、多量の窒素が土壤中に残存し、またカリウム等の塩基類の集積・アンバランス化が生じ、作物生育への影響や環境負荷の発生が懸念された。

鹿児島県においては、家畜ふん堆肥の効率的利用促進を図るため、ペレット堆肥を利用した作物養分吸収特性に合致した肥料（新機能性有機質肥料）の開発と施肥法の確立に取り組んでいる。今後、家畜ふん堆肥の養分の過不足を化学肥料で調整する成分調整堆肥や家畜ふん堆肥の肥効をコントロールする方法の検討も必要である。また、作付け体系を視野に入れた連用下での、残存養分を有効利用した施用法の検討も、環境負荷の見地から重要である。なお、家畜ふん堆肥を主体にブレンドした有機質肥料の利用促進を図るには、品質の安定、含有肥料成分の表示、流通体系の整備などが必要である。

一方、新たに¹⁵Nで標識した家畜ふん堆肥を用いて、その窒素肥効特性の解明にも取り組んでおり、作物吸収特性に合致した家畜ふん堆肥主体の有機質肥料の開発、施肥法が確立され、品質の高い堆肥生産、利用の促進と併せて、環境にやさしい家畜ふん尿の適正処理が図られることを期待したい。

参 考 文 献

- 1) 原田靖生・家畜ふん尿の環境保全的循環システムへの展望，平成8年度家畜ふん尿処理利用研究会報告書，p.1～6，農林水産省農研センター・畜試・草地試1997
- 2) 協門英美ら・鹿児島県において生産・流通されている家畜ふん堆肥の特性，鹿児島県農業試験場研究報告，27，p.17～27，1999.
- 3) 原 正之：成型家畜ふん堆肥の肥効特性と散布適正，平成9年度家畜ふん尿処理利用研究会資料，p.46～55，農林水産省草地試・農研センター・畜試1997
- 4) 新機能性有機質肥料開発促進事業成績書（平成7～10年度）・鹿児島県農業試験場1996～1999.