

生牛ふん多量連用による南九州の黒ボク土の腐植組成の変化*

品川昭夫・宮内信文・宇田川義夫*²

(食糧生産制御化学講座)

平成4年8月3日 受理

Effects of Heavy Application of Fresh Cow Dung on to the Humus Composition of an Ando Soil, Southern Kyusyu

Akio SHINAGAWA, Nobufumi MIYAUCHI and Yosio UTAGAWA*²

(Laboratory of Agronomical and Food Chemistry)

緒 言

鹿児島県農業試験場(鹿農試)は、大隅支場内の黒ボク、黒ニガ混合土壌畑圃場で、1972年から1977年までの5年間10作、飼料作物(夏作:ソルガム、冬作:イタリアンライグラス)に対して生牛ふんを(10a当り1年に0, 6, 12, 24, 48, 75, 100t)単独連用した区の牧草重、生育相、養分吸収量、跡地土壌の諸性質などを、金肥単用区、金肥と生牛ふんの併用区と比較検討した⁴⁾。

さらに、1977年冬作から1985年夏作までの8年間16作、5年間生牛ふんを単独連用した区で、飼料作物の無窒素栽培試験を行い、主として窒素の残効を調べた⁵⁾。

著者らは、鹿農試の試験研究、特に、生牛ふんの単独多量連用による黒ボク土の理化学性の変化を調べることにより、適量施用した場合にでも起り得る変化を解明しようと考えて、鹿農試とは別個に跡地土壌の諸性質を検討した。つぎに、連用試験終了時の1977年10月に跡地土壌(0-20cm)の中、生牛ふん単独施用、(0, 48, 100t/10a/年)、5年連用区の三種の土壌を大量に譲り受け、1/5000ポツ

ト栽培試験(夏作:陸稲、冬作:小麦)の無肥料栽培試験を2.5年、5作鹿児島大学農学部で行い生牛ふん多量連用土壌の残効を、作物学および土壌学の観点から研究した^{12, 14)}。第1表に生牛ふんの連続多量施用、その後の無肥料栽培による土壌の諸性質の変化の抜粋を示した。

100t区土壌の化学性は、5年10作連用—その後2.5年5作無肥料栽培により以下のように変化している。

炭素率:23.5-17.7-18.0, C E C:38.6-48.6-43.5, 塩基飽和度:8.99-55.21-47.24, 燐酸吸収係数:2522-1592-2182, 等電点:3.4-2.8-3.0。これらの変化は、生牛ふん連用により黒ボク土の化学性が改良され、その後の無肥料栽培により肥沃性が低下することを示している。

家畜ふん尿施用による土壌の理化学性の変化および残効については多くの報告が公表されており、九州では、黒ボク土に馬、牛ふん尿厩肥を10年20作連用した試験研究¹⁻³⁾、安山岩を母材とする土壌に対する豚糞の施用効果⁹⁾などが発表されている。

しかし、有機資材施用に起因する黒ボク土の腐植組成の変化についての研究は少ないようである。北川⁶⁾は、埼玉県の淡色黒ボク土(全炭素:3.74%, 炭素率:12.2)畑土壌に完熟堆肥(2-8t/10a/年)と化学肥料を併用すると、PQは増大するが、腐植酸の腐植化度は明らかに低下し、かつ、TAM M-A液可溶およびDCB法により溶出するR₂O₃量が減少すると述べている。

著者らが研究に使用した土壌は、厚層多腐植黒ボク土で、かつ、生牛ふん単独施用土壌であるので、堆肥熟成中起る牛ふんそのものの化学変化ならびに化学肥料と牛ふんとの相互作用を考慮することな

*南九州の黒ボク土に多量連用された生牛糞の肥効と残効—土壌の理化学性の変化(その2)

The Fertilizer Efficiencies and Residual Effects of Fresh Cow Dung Excessively Applied to the Black Volcanic Ash Soil (Andosols) - Changes of the Properties of the Soils - (2)

²元鹿児島県農業試験場、鹿児島市上福元町5500

Kagoshima Prefectural Agric. Exp. Stat. 5500 Kamifukumoto, Kagoshima (891-01)

本研究の一部は、日本土壌肥料学会九州支部会(1977年9月、1979年9月)および日本土壌肥料学会(1982年4月)で発表した。

本研究の一部は、昭和52, 53, 54年度文部省科学研究費(一般研究B, No. 247097)により行われた。

く、牛ふんと土壌およびその腐植との相互作用を解明するための最適試料である。よって、生牛ふんを単独多量連用した厚層多腐植黒ボク土の腐植組成の変化を明らかにすれば、牛ふんを適量施用した場合にも起り得るが、実験結果では見逃し易い変化も解明し得ると考え、1973年以来追跡したので、その結果を報告する。

材料および方法

1. 供試土壌

(1) 生牛ふん単独連用土壌：鹿農試大隅支場内の厚層多腐植黒ボク土（久米川統）の原土、生牛ふん単独連用試験区（0, 6, 12, 24, 48, 75, 100 t/10 a/年）の3作跡地（1974年6月採取）、7作跡地（1976年6月採取）および10作跡地（1977年10月採取）土壌。いずれの試料も、0-20cmの深さから採取した。

(2) ポット栽培試験跡地土壌：前記(1)の0, 48, 100 t 10作跡地土壌を1/5000ポットに充填し、陸稲、小麦を5作連続無肥料栽培した各作跡地土壌（5作跡地土壌は1980年11月採取）。ポット栽培は、当初は、8連で行い、各作後に同一処理ポット内の土壌を均一に混合し、分析試料を除去したので、5作跡地土壌は、0, 48, 100 t 区いずれも6ポットの土壌を混合した後分析試料を採取した。

2. 有機成分分析

Waksman ら¹⁰⁾の方法を改良した『堆きゅう肥等有機物分析法』¹⁰⁾に準拠した。

3. 牛ふん連用3作跡地土壌の腐植組成

Kumada ら⁹⁾の方法による。

4. 反覆抽出法による腐植組成

Kumada ら⁹⁾の方法では、苛性ソーダ、ピロリン酸ソーダ各1回の抽出であるためピロリン酸ソーダ抽出部にも Al-humate が存在する可能性が高い。そこで、著者等は確実に Ca(Mg)-humate を確認するため以下の方法を採用した。

pH: 12.5に調整した苛性ソーダを供試土壌に適量加え、沸とうしている湯煎中で15分間加熱抽出し、冷却後遠心分離し、残土に再び pH: 12.5の苛性ソーダを添加し、湯煎中で抽出する。遠心分離した上澄液が無色（600 nm の吸光係数: 0.010以下）になるまで抽出を反覆した。6000 rpm で10分間遠心分離しても上澄液が濁っている場合には、N-NaCl を添加して濁りを沈殿させた後抽出を続けた。

無色になるまで抽出した各回の腐植液は混合し pH: 12.5の苛性ソーダで一定量とした。苛性ソーダ抽出残土に0.1-M ピロリン酸ソーダを加え、遠心分離上澄液が無色になるまで反覆抽出した。以下、腐植酸の分離、PQ, $\Delta \log k$, RF などの測定、算出は、Kumada ら⁹⁾の方法で行った。しかし、腐植酸は、苛性ソーダ、ピロリン酸ソーダ抽出液に硫酸を添加し、pH を1.5に調整して沈殿させた。

苛性ソーダ抽出は、9-10回、ピロリン酸ソーダ抽出は4-6回反覆すると上澄液は無色になった。なお、腐植酸の変性を避けるため第一回めの苛性ソーダ抽出から最後のピロリン酸ソーダ抽出液に硫酸を添加して腐植酸を沈殿させるまでの操作は、約一日（8-14時間）以内で終了させた。

5. 土壌、生牛ふん、両者の混合物のインキュベーション試験

1976年7月に鹿農試大隅支場付近の畜産農家から排泄直後の生牛ふんを採取した。そのままでは、ジュースで粉碎し得なかったため含水率が90%になるようイオン交換水を加えた後ジュースで粉碎、均質化して懸濁液とした。以下、第5表（その2）に示した（土壌：ふん）の比率で混合し、500ml容の三角フラスコに入れ、ろ紙でフラスコの口をおおい、40°Cでインキュベートした。試料の水分が第5表（その2）に示した条件に達するまでには、10日から2ヶ月を要した。その後は、1週間毎に蒸発した水分を補給して水分条件を保ち、7, 14ヶ月後に、前記4.の反覆抽出法により腐植組成の変化を検討した。

6. 溶解性鉄およびアルミニウムの定量

DCB法、OXALATE法、PYROPHOSPHATE法、いずれも、児玉ら⁷⁾が紹介している方法で行った。しかし、三方法ともに、風乾細土1gに対して、溶液100mlの比率で添加し、1回抽出液中の鉄、アルミニウムを原子吸光分光分析法で定量した。

結果と考察

1. 生牛ふん連用10作跡地、その後無肥料栽培（ポット栽培）5作跡地土壌の化学性

既報¹²⁾から抜粋して第1表に示し、その要点を緒言で述べた。

なお、全炭素、全窒素の定量ならびに腐植組成の検討に際しては、風乾細土中の微細植物根を先の尖ったピンセットで可能な限り除去し磨砕後に1mmの篩

第1表 生牛ふん連用10作跡地、その後無肥料栽培5作跡地土壌の化学性（既報¹²⁾より抜粋）（乾物基準）
 Table 1. Changes of chemical properties of the soils after 10th crop with successive applications of fresh cow dungs, and of these soils after 5th crop without fertilizer and manure¹²⁾ (oven dry basis)

Sample soil	Moisture		pH		Acidity		* *			Exchangeable		Base		Iso-	P-abs.	Avai-		
	Amount of applied cow dung (%)	H ₂ O (%)	N-KCl	N-KCl	CaOAc	T-C	T-N	C/N	CEC	base	(meq/100g)	saturation degree (%)	electric coef. point					
						(%)	(%)		(meq/100g)	Ca	Mg	K	Na		P ₂ O ₅ (mg/100g)	P ₂ O ₅ (mg/100g)		
Original		7.91	5.6	4.7	1.6	74.0	8.46	0.36	23.5	38.60	2.85	0.66	0.22	0.04	8.99	3.4	2525	1.32
							(8.90)**	(0.40)**	(22.3)**									
After 10th crop with application of cow dungs	0t	8.52	6.0	5.2	0.4	51.0	9.51	0.40	23.8	45.31	10.23	1.11	0.16	0.04	25.47	3.5	2434	1.31
	48t	8.31	6.0	5.3	0.7	55.7	9.14	0.46	19.9	46.14	13.73	3.52	0.78	0.08	39.20	3.0	1998	8.09
	100t	7.90	6.1	5.4	0.9	53.8	9.03	0.53	17.0	48.60	14.66	9.30	2.59	0.28	55.21	2.8	1592	43.48
							(10.33)**	(0.61)**	(16.9)**									
Croppings are succeeded on above-mentioned soils	0t	10.59	5.9	5.2	0.9	63.7	9.13	0.33	27.7	46.80	7.56	1.35	0.08	0.36	19.98	4.0	2698	0.18
After 5th crop without fertilizer and manure	48t	9.30	6.0	5.4	1.3	56.5	8.74	0.40	21.9	42.40	11.89	2.62	0.06	0.28	35.02	3.2	2623	3.22
	100t	9.72	6.2	5.4	1.4	54.9	8.60	0.47	18.0	43.50	16.59	2.72	0.04	1.20	47.24	3.0	2182	10.89

* : Total-C and -N are determined after fine plant roots were removed by sharp tip pincette.

* 2 (Closed circle) : Only coarse plant roots were removed.

を通した後実験に供した。粗大植物根のみを除去した土壌では、第1表の()中の数値が示すように、100 t 10作跡地の全炭素は原土の約1.2倍に、全窒素は1.53倍に増加している。

2. 生牛ふん連用による10作跡地土壌の有機成分の変化

エーテル抽出物、アルコール・ベンゼン抽出物、2%塩酸、80%硫酸抽出物の土壌に対する割合は極めて少であるので、試料中の有機物量に対する%で示した。

生牛ふん連用により、エーテル、アルコール・ベンゼン、熱水抽出物は明かに増加した。

第2表 有機成分の組成変化（各試料中の有機物量に対する%）

Table 2. Changes of organic constituents after 10th crop with successive heavy applications of fresh cow dungs (per-cent to oven dry soil organic matter)

Sample soil	Ether-soluble	Alcohol-benzene soluble	Hot water soluble	2% ^{*2} HCl soluble	80% ^{*2} H ₂ SO ₄ soluble	Amount of ^{*3} reductive sugar	80%-H ₂ SO ₄ unsoluble
Amount of applied cow dung	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	Lignin-like matter (%)
Original soil	0.50	0.37	1.97	1.39	4.22	2.0	62.58
Air dry cow dung *	1.42	1.65	18.25	25.60	18.21	15.8	18.69
Soils after 10th crop with application of cow dung	0 t	0.15	0.58	1.67	1.05	4.15	62.17
	48 t	0.60	0.76	2.74	2.41	4.59	65.39
	100 t	0.90	1.22	5.71	3.01	5.52	68.80

* : Fresh cow dungs (shown in Table 5-1) are crashed and homogenized by homogenizer, and dried under room temperature during two months.

* 2 : Values as sugar.

* 3 : (2% HCl soluble material + 80% H₂SO₄ soluble material) × 0.9 × 0.4¹⁰⁾

植物体分析では、2%塩酸、80%硫酸抽出物は、それぞれ、ヘミセルローズ、セルローズ類と考えられている。しかし、黒ボク土原土の2%塩酸抽出物中の有機物はフルボ酸が大部分を占め、さらに、苛性ソーダに不溶なCa-, Mg-humateの一部が含まれている可能性も考えられる。生牛ふん連用10作跡地土壌の2%塩酸抽出物量が原土の1.8-2倍に増加していることは、牛ふん施用により腐植の無機物との結合形態、腐植酸の腐植化度が変化することを示唆していると考えたい。

80%硫酸抽出物量は牛ふん連用によりわずかに増加している。2%塩酸抽出物と同様に、牛ふんと土壌中の80%硫酸可溶物はその性質がかなり異なると思われる。この増加量から腐植の結合形態の変化を類推することは困難であろう。

80%硫酸不溶解有機物量から含窒素有機物を差引いた値は、植物体分析ではリグニンと考えられよう。しかし、供試土壌の80%硫酸不溶解物の苛性ソーダ抽出液の紫外吸収スペクトルには、275 nmの吸収帯が全く認められないのでリグニンとは考え難く、腐植化度の高い腐植酸あるいは、酸にもアルカリにも不溶なフミンとみなすのが妥当であろう。第2表のリグニン様物質の割合は、生牛ふん100 t連用10作跡地土壌ではわずかに増加している。0 t区では、10作後でも殆ど増加していないので、80%硫酸不溶解物質は、施用後2-3年で分解し、5年10作後に残

留している成分は、6-7作後に施用、すなわち、5年前に施用された成分が残っているのではなく、2-3年前に施用された成分が残留していると考えたい。

3. 生牛ふん連用3作跡地土壌の腐植組成

第3表にKumadaら⁸⁾法による腐植組成を示した。

ふん施用量の増加とともに以下の傾向が認められるようである。

- (1) He/Ht {苛性ソーダ、ピロ燐酸ソーダ各1回抽出腐植量の和} が土壌の全有機物量に占める割合はわずかに低下する。
- (2) OHe/Pe (苛性ソーダ抽出腐植量とピロ燐酸ソーダ抽出腐植量の比) は低下する。特に、48 t区以上の区では明白に低下。
- (3) 苛性ソーダ抽出腐植のPQは低下し $\Delta \log k$, RFから判断される腐植酸の腐植化度も判然と低下する。
- (4) ピロ燐酸ソーダ抽出腐植のPQは増大し、腐植酸の腐植化度も明らかに高くなる。

これらの結果から、牛ふん施用により原土の腐植の一部、特に、腐植化度の高い腐植酸の一部が苛性ソーダには不溶でピロ燐酸ソーダに可溶性形態、すなわち、Al-humateの一部がCa-humateに変化したのではないかと推測し得る。

4. 反覆抽出法による腐植組成

予備実験として、0, 100 t連用3作跡地土壌と風乾牛ふんの反覆抽出法を行った。0 t土壌と風乾

第3表 生牛ふん連用3作跡地土壌の腐植組成 (Kumadaらの方法⁸⁾による)

Table 3. Humus composition of soils after 3rd crop with successive applications of fresh cow dung (Kumada et al. method⁸⁾)

Sample soil Amount of applied cow dung ton/10a/yr.	Ht	He	He/Ht	OHe/Pe	0.1N-NaOH Extractable.		0.1M-Na ₂ P ₂ O ₇ Extractable					
					OHe	PQ	Pe	PQ				
Original soil	145.9	87.5	0.60	4.15	70.5	68	0.510	120.5	17.0	57	0.465	130.4
Air dry cow dung *	636.7	178.3	0.28	25.60	171.6	35	1.008	7.0	6.7			
0 t	160.8	102.9	0.64	4.28	83.4	66	0.522	126.4	19.5	57	0.467	138.4
6 t	161.2	101.6	0.63	3.99	81.3	64	0.543	108.6	20.3	60	0.456	151.0
12 t	158.6	106.3	0.67	4.16	85.7	65	0.544	109.2	20.0	65	0.467	126.2
24 t	154.8	97.5	0.63	4.16	78.6	60	0.560	93.7	18.9	68	0.472	124.7
48 t	152.9	91.7	0.60	3.68	72.1	61	0.585	91.8	19.6	75	0.470	140.6
75 t	155.8	96.0	0.62	3.71	75.6	62	0.553	88.9	20.4	69	0.452	138.8
100 t	164.2	98.5	0.60	3.60	77.1	60	0.564	80.7	21.4	72	0.446	141.3

* Crashed, homogenized and air dried cow dung, same sample as shown in table 5-1.

Ht: Total organic matter content (mg/oven dry soil or cow dung 1 g).

He: Amount of extractable humus (0.1N-NaOH extractable + 0.1 M-Na₂P₂O₇ extractable)

He/Ht: Extractable humus/total organic matter of soil or cow dung.

OHe: Amount of 0.1 N-NaOH extractable humus (mg/100 g oven dry soil).

Pe: Amount of 0.1 M-Na₂P₂O₇ extractable humus (mg/100 g oven dry soil).

第4表 生牛ふん連用10作跡地、その後無肥料栽培5作跡地土壌の腐植組成（反覆抽出法）
Table 4. Humus composition of soils after 10th crop with successive applications of fresh cow dungs, and of these soils after 5th crop without manure and fertilizer (Repeated extraction method)

Sample soil Amount of applied cow dung	Ht	He	He/Ht	OHe/Pe	0.1N-NaOH Extractable		0.1M-Na ₄ P ₂ O ₇ Extractable						
					OHe	PQ	Pe	PQ	Humic Acid Δlogk	RF			
Original soil	145.9	126.9	0.87		126.9	66	0.510	125.5					
Air dry cow dung*	636.7	222.8	0.35		222.8	33	1.015	9.9					
After 10th crop with application of cow dung t/10a/yr.	0 t	163.9	129.5	0.79	129.5	67	0.505	111.9					
	48 t	157.6	119.8	0.76	8.5	107.2	70	0.550	109.0	12.6	72	0.446	139.2
	100 t	155.7	109.0	0.70	6.8	95.0	60	0.553	92.1	14.0	78	0.420	150.1
Croppings are succeeded on above-men- tioned soils	0 t	155.4	114.9	0.73		114.9	56	0.536	110.5				
After 5th crop without fertilizer and manure	48 t	150.7	117.6	0.78	11.4	108.1	53	0.560	87.2	9.5	68	0.525	128.0
	100 t	148.3	111.2	0.75	10.3	101.4	52	0.585	85.8	9.8	69	0.513	137.4

* Same as shown in table 5-1.

Ht, He, He/Ht, OHe, Pe : Same as shown in Table 3.

牛ふんは、pH:12.5の苛性ソーダで上澄液が無色になるまで抽出を反覆した後、ピロリン酸ソーダで処理しても有色物質は全く抽出されなかった。しかし、100 t 3作跡地土壌では、苛性ソーダで無色になるまで反覆抽出した後ピロリン酸ソーダで腐植化度の高い腐植（腐植酸の $\Delta \log k$:0.402, RF:171）が少量（OHe/Pe:10.0）抽出された。

そこで、生牛ふん連続施用10作跡地、その後無肥料栽培5作跡地土壌の反覆抽出法による結果を第4表に示した。予備実験の傾向と同様に風乾牛ふん、原土、0 t区では、苛性ソーダ反覆抽出後ピロリン酸ソーダで抽出される腐植は、全く存在しない。48 t, 100 t区では、明らかに存在し、苛性ソーダ抽出物よりもPQは大で、 $\Delta \log k$, RFから判断される腐植酸の腐植化度も高い。OHe/Peの値は生牛ふん施用量が多くなる程低下し、無肥料栽培により再び低下する。すなわち、苛性ソーダに不溶解でピロリン酸ソーダに溶解する腐植量は、生牛ふん施用量が多く、連用期間が長いほど増加し、その腐植酸の腐植化度も高くなり、施用を中止すると、抽出量は減少し、腐植酸の腐植化度も低下する。表には示さなかったが、牛ふん連用期間における化学肥料単用区、無肥料栽培期間における標準区（1/5000ポット当り、窒素、リン酸、加里を各成分で1 gを硫酸、過石、塩加で施用）では、第4表の原土、0 t区と同様に、

苛性ソーダ抽出後にピロリン酸ソーダで抽出される着色物質は全く存在しなかった。

5. インキュベーション試験

第4表の結果をさらに確認するため第5表（その1）に示した土壌と生牛ふんを使用し、第5表（その2）に掲げた（土壌：牛ふんの乾物比）と水分含量を保たせながら40°Cでインキュベートし、7ヶ月、14ヶ月後に反覆抽出法により腐植組成の変化を調べ第5表（その3）に結果を示した。

第4表と全く同様に、牛ふんを添加していない土壌である『A』と牛ふんのみである『B』、『C』の3試料は40°Cで14ヶ月インキュベートしても、苛性ソーダで反覆抽出後にピロリン酸ソーダで抽出される腐植は全く存在しない。しかし、牛ふん単独試料である『B』『C』はインキュベートにより苛性ソーダ溶解部のPQは明らかに大になり腐植酸部の腐植化度は僅かに高くなる。含水率の低い『C』の方が『B』よりも腐植化度は高い。

土壌と牛ふんの混合物である『D』、『E』では、腐植化度の高い腐植酸がピロリン酸ソーダで抽出されている。牛ふん含量の多い『E』の方がピロリン酸ソーダ抽出物割合がわずかに大（OHe/Pe比が小）で腐植酸の腐植化度も高い。

第4表と5表（その3）から、黒ボク土と牛ふんの両者ともに、単独では、腐植の結合形態の変化は

第5表 室内実験による腐植の組成変化 (その1) 供試土壌と生牛ふんの化学組成 (乾物基準)
Table 5. Changes of humus composition during incubation
(1) Chemical properties of soils and fresh cow dung (oven dry basis)

Sample	Amount of soil applied cow dung	Moisture	pH		Acidity		T-C (%)	T-N (%)	C/N	CEC (meq/100g)
		(%)	H ₂ O	N-KCl	Y ₁ N-KCl	Y ₁ CaOAC				
After 7th crop	0 t *	10.12	5.8	5.0	0.8	56.3	9.53	0.40	23.8	46.60
		Exchangeable	bases	(meq/100g)		Base saturation degree (%)	Iso-electric point pH	P-abs. coef. P ₂ O ₅ (mg/100g)	Available P ₂ O ₅ (mg/100g)	
		Ca	Mg	K	Na					
		7.57	1.00	0.26	0.15	19.28	3.54	2447	1.34	

* : Cited from references ¹²⁾.

Fresh cow dung	*2 Moisture (%)	T-C (%)	T-N (%)	C/N	P ₂ O ₅ (%)	K ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	
	83.32	* 3	36.93	3.15	11.7	2.12	2.22	2.02	1.33

* 2 : Cow dungs are taken in July in 1976, from the farm near Osumi branch station of Kagoshima Prefectural Agric. Exp. Stat.

* 3 : Per-cent to oven dry organic matter.

第5表 室内実験による腐植の組成変化 (その2) インキュベーション条件
Table 5. Changes of humus composition during incubation
(2) Incubate condition of water content, and ratio of soil and cow dung

Sample	Ratio (oven dry basis) Soil : Cow dung	Moisture	Remarks
Soil after 7th crop.		Oven dry soil : Water	Corresponding to 50% of max. water holding capacity of soil
A Amount of dung is 0 ton.	1 : 0	1 : 0.55	*
B Fresh cow dung	0 : 1	Oven dry cow dung : Water	
		1 : 2	
C Fresh cow dung	0 : 1	Oven dry cow dung : Water	
		1 : 1	
D A + Fresh cow dung	10 : 1	(Soil + Cow dung) (Oven dry basis) : Water	Corresponding to application of fresh cow dung (83 ton per 10 a)
		1 : 0.57	*
E A + Fresh cow dung	5 : 1	(Soil + Cow dung) (Oven dry basis) : Water	Corresponding to application of fresh cow dung (166 ton per 10 a)
		1 : 0.77	*

* : Bulk density of soil is 0.692. Values of * are calculated under the following condition, fresh cow dung is mixed homogeneously with the soil, 20 cm thick from the surface.

起こらないが、土壌と牛ふんの混合、放置により腐植の存在形態が変化、恐らくは、Al-腐植複合体の一部がCa-腐植に変化したと推論し得るであろう。

6. 溶解性鉄、アルミニウム

第6表に結果を示した。

原土-生牛ふん連用-その後の無肥料栽培により、DCB法、PYROPHOSPHATE法による可溶性アルミニウム含量は、明らかに、減少-増加の傾向を呈

第5表 室内実験による腐植の組成変化 (その3) 7ヶ月, 14ヶ月後の腐植組成の変化 (反覆抽出法)

Table 5. Changes of humus composition during incubation

(3) Changes of humus composition after 7 and 14 months (Repeated extraction method)

Sam- ple	Incubation period	Ht	He	He / Ht	OHe / Pe	0.1N-NaOH		Extractable.		0.1M-Na ₄ P ₂ O ₇		Extractable	
						OHe	PQ	Humic Acid Δlogk	RF	Pe	PQ	Humic Acid Δlogk	RF
A	After air drying	166.2	136.3	0.82		136.6	67	0.523	119.5				
	7 months	156.5	126.3	0.80		128.3	66	0.513	110.0				
	14 months	155.2	124.2	0.80		124.2	71	0.480	126.5				
B	* 2 months	636.7	222.8	0.35		222.8	33	1.016	9.9				
	7 months	509.3	224.1	0.44		224.1	68	1.000	9.8				
	14 months	432.9	212.1	0.49		212.1	73	0.973	12.5				
C	* 2 months	636.7	222.8	0.35		222.8	33	1.016	9.9				
	7 months	490.3	196.1	0.40		196.1	65	0.987	11.3				
	14 months	392.2	180.4	0.46		180.4	69	0.964	15.4				
D	* 10 days	(227.4) *2											
	7 months	158.1	102.8	0.65	9.7	93.2	69	0.579	45.0	9.6	84	0.484	135.5
	14 months	156.5	98.6	0.63	9.4	89.1	67	0.537	62.4	9.5	85	0.460	150.2
E	* 1 month	(291.5) *2											
	7 months	159.7	108.6	0.68	9.5	98.3	64	0.589	84.0	10.3	86	0.448	153.5
	14 months	157.8	101.1	0.64	9.1	91.0	63	0.527	98.4	10.0	88	0.400	180.3

* After 20 days - 2 months, moisture contents of samples B, C, D and E decreased as shown in Table 5-2.

* 2 Total carbon contents (Closed circle) of mixtures are calculated from carbon contents of cow dung and of soil as shown in Table 5-1.

Ht, He, He/Ht, OHe, Pe : Same as shown in Table 3.

第6表 生牛ふん連用10作跡地, その後無肥料栽培5作跡地土壌の溶解性鉄, アルミニウム含量 (乾土基準)

Table 6. Changes of amounts of soluble Fe and Al (oven dry basis)

Sample soil	Solvent	DCB			OXALATE (* 1)			PYROPHOSPHATE (* 2)			(* 1) - (* 2)			
		Amount of applied cow dung	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	R ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	R ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	R ₂ O ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	R ₂ O ₃ (%)
Original			2.02	2.74	4.04	1.64	3.03	4.67	0.50	1.91	2.41	1.14	1.12	2.26
After 10th crop with application of cow dung ton/10a/yr.	0 t		2.03	2.70	4.73	1.49	3.04	4.53	0.53	1.98	2.51	0.96	1.06	2.02
	48 t		2.34	2.53	4.87	1.74	3.70	5.44	0.55	1.57	2.12	1.19	2.13	3.32
	100 t		2.25	2.20	4.45	1.71	3.48	5.14	0.63	1.30	1.93	1.08	2.18	3.21
Croppings are succeeded on above-mentioned soils	0 t		2.20	2.52	4.72	1.60	3.13	4.73	0.51	1.93	2.44	1.09	1.20	2.29
After 5th crop without manure and fertilizer	48 t		2.03	2.56	4.52	1.69	3.30	4.99	0.44	1.66	2.10	1.25	1.64	2.89
	100 t		2.11	2.58	4.69	1.57	2.87	4.44	0.49	1.50	1.99	1.08	1.37	2.45

し, OXALATE法では, 逆に, 増加-減少の傾向を示している. 溶解性鉄含量の変化は, アルミニウム含量ほどには判然としないが, 連用-無肥料栽培

により3方法ともに増加-減少の傾向が認められるようである.

Wada and Higashi¹⁵⁾は黒ボク土では, 0.1-Mピ

ロ磷酸ソーダ可溶腐植量と、同時に溶出するアルミニウム、鉄の量との間には正の相関関係があると述べている。OXALATE法では、腐植と結合していない非晶質のアルミニウム、鉄も溶出すると考えられるので第6表の $\{(*1) - (*2)\}$ の値は、腐植と結合していないアルミニウム、鉄含量の一指標とみなし得よう。この値は、 Fe_2O_3 、 Al_2O_3 、 R_2O_3 いずれも牛ふん連用により含量が増加し無肥料栽培により低下している。この傾向は、 Al_2O_3 含量で特に判然と認められる。

従って、生牛ふん多量単独施用により、アルミニウムと結合した腐植からアルミニウムの一部が離脱し、腐植は他の無機物と結合して安定化し、その後の無肥料栽培により再びアルミニウム型腐植にもどると推測し得よう。

7. Ca-humate と重合 Al-humate の可能性

1927年以降の火山灰より生成されつつあるインドネシアのクラカタウ諸島の塩基飽和度の高い火山性土の腐植集積量と、交換性(石灰+苦土)含量との間には、正の相関関係が認められかつ、 OHe/Pe は、0.5-0.7である¹³⁾。従って、土壤の塩基飽和度、特にCa飽和度が高くなるとともにCa-humateが増加することは当然とも考えられよう。しかし、クラカタウ諸島でも本報の黒ボク土でもCa-humateの方が腐植化度が高い理由については、なお、研究の余地がある。

溶脱型である南九州の黒ボク土で、Ca飽和度が高くなりKumadaら法による腐植組成の(OHe/Pe)が小になっても、Ca-, Mg-humateが存在すると短絡的に考えるのは、なお、一考を要する。本研究に使用した黒ボク土の原土と類似した化学性(pH, 全炭素, 炭素率, CEC, 塩基飽和度, 磷酸吸収係数)を示すが、(OHe/Pe)の値のみが極めて小さな値であるジャワ島バンドン市郊外の埋没黒ボク土*では、Ca-, Mg-humateの存在は考え難い。塩基飽和度、石灰飽和度の低い黒ボク土で、苛性ソーダに不溶でピロ磷酸ソーダに可溶性腐植の結合形態については、さらに検討を続ける必要がある。Al(OH)_{2-2.5}の重合Al溶液と腐植酸との結合物は、腐植酸のCECが100%近くブロックされ¹⁴⁾、未発表であるが、このAl-humateは、苛性ソーダにかなり難溶性である。従って、塩基飽和度が高くなるとAlの重合が起こり、重合Alと腐植の複合体の生成が促進され

苛性ソーダに対する溶解性を低下させる可能性も考えられよう。

要 約

1. 鹿児島県農業試験場大隅支場の厚層多腐植黒ボク土に化学肥料を全く施用せず、生牛ふんを単独多量連続施用すると、苛性ソーダで上澄液が無色になるまで反覆抽出した後にピロ磷酸ソーダで腐植化度の高い腐植が抽出され、生牛ふん施用量の増加とともに抽出量が増加しその腐植酸の腐植化度も高い。牛ふん施用10作後、これらの土壤を用いて無肥料栽培を続けると、ピロ磷酸ソーダで抽出される腐植は明かに減少した。なお、牛ふん無施用土壤では、原土でも、10作跡地でも、苛性ソーダで反覆抽出した後では、0.1-Mピロ磷酸ソーダで抽出される腐植は存在しない。また、生牛ふんのみを14ヶ月インキュベートしても苛性ソーダで反覆抽出した後、ピロ磷酸ソーダで抽出される腐植は存在しない。

2. 生牛ふん施用により、腐植と結合しているアルミニウム(ピロ磷酸ソーダ可溶Al)含量が減少しているため、前記の苛性ソーダに不溶で、0.1-Mピロ磷酸ソーダに可溶性腐植は、Al(Fe)-humateの一部がCa(Mg)-humateに変化したと推定した。

3. 石灰(苦土)飽和度が非常に高い土壤を除外すると、黒ボク土の(OHe/Pe)の値が(Kumadaらの方法⁹⁾)が小である場合、原因はCa(Mg)-humateのみではなく、他の要因例えば、重合Alと腐植との複合体の増加等も考慮する必要がある。

謝辞 本研究を行うにあたり、ポット栽培試験を担当して頂いた鹿児島大学名誉教授植木健至氏に厚く感謝する。また、腐植の結合形態について助言して頂いた現筑波大学東照雄助教授に謝意を表す。供試土壤採取に助力された昭和49-52年度の鹿児島県農業試験場大隅支場土壤改良研究室の各位に感謝する。また、実験に協力された赤松昭博(昭和49年度、現在 福岡県教職)、杉原徹三(昭和50年度、現在 丸和バイオケミカル株式会社)、小野竜太郎(昭和51年度、現在 清和肥料株式会社)、中村信幸(昭和52, 53, 54年度、現在 チッソ株式会社)、横田節男(昭和54年度、現在 船橋市職)、内村仁幸(昭和55年度、現在 鹿児島県職)、大山邦雄(昭和61年度、現在 チッソ株式会社)の各氏に深く感謝する。

*品川昭夫：クラカタウ諸島の火山性土壤について、第24回ペドロジスト・シンポジウム発表要旨集、p.3-4 (1985)

文 献

- 1) 橋元秀教・小浜節雄・辻藤吾：腐植質火山灰土壌における既肥連用の効果，九州農試報告，16，25-61(1971)
- 2) 橋元秀教：家畜ふん尿の大量連続施用における問題点，畜産の研究，30，199-204 (1976)
- 3) 伊東祐二郎・塩崎尚郎・橋元秀教：多腐植黒ボク土の畑地における牛ふん尿既肥の大量連用と土壌の肥沃性，九州農試報告，22，259-320 (1982)
- 4) 鹿児島県農業試験場：きゅう肥多施用土壌における作物の生理生態と有機物施用の必要性に関する研究，昭和48-53年度春夏作・秋冬作試験成績書（土壌肥料）
- 5) 鹿児島県農業試験場：きゅう肥多施用土壌における生産力に関する研究，昭和53-60年度春夏作・秋冬作試験成績書（土壌肥料）
- 6) 北川靖夫：淡色黒ボク土畑への堆肥連年施用に伴う腐植および非晶質無機成分の変化，土肥誌，54，50-52 (1983)
- 7) 児玉秀臣・林 久人：化学溶解法の比較検討—非晶質鉱物の同定と定量への応用—，粘土科学，25，139-147 (1985)
- 8) Kumada K., Sato O., Ohsumi Y. and Ohta S. : Humus composition of mountain soils in central Japan with special reference to the distribution of P type humic acid, *Soil Sci., Plant Nutr.*, 18, 151-158 (1967)
- 9) 宮崎 孝・五島一成・坂本耕一：豚糞の肥料的利用に関する調査研究，長崎県総合農林試研究報告，7，312-337 (1979)
- 10) 農林水産省農産園芸局農産課：堆きゅう肥等有機物分析法，p. 35-72 (昭和54年11月)
- 11) Shinagawa A., Miyauchi, N. and Higashi T. : Preparation of Al-humates and their aluminum content and cation-exchange capacity, *Soil Sci., Plant Nutr.*, 28, 1-7 (1982)
- 12) 品川昭夫・植木健至・宇田川義夫：南九州の黒ボク土に多量施用された生牛糞の肥効と残効—土壌の理化学性の変化—(その1)，鹿大農学術報告，35，229-241 (1985)
- 13) Shinagawa A., Miyauchi N., Higashi T., Djuansah Md. R. and Sule A. : The soils on the Krakatau Islands, IV. Accumulation and composition of humus, *Mem. Fac. Agr. Kagoshima Univ.*, XXII (Whole Number 31), 169-176 (1986)
- 14) 植木健至・品川昭夫：南九州の黒ボク土に多量施用された生牛糞の残効について—陸稲の地上部および根の生育相の変化—，鹿大農学術報告，34，1-7 (1984)
- 15) Wada K. and Higashi T. : The categories of aluminum-and iron-humus complexes in Ando soils determined by selective dissolution, *J. Soil Sci.*, 27, 357-368 (1976)
- 16) Waksman S. A. and Stevens K. B. : A critical study of the method for determining the nature and abundance of soil organic matter, *Soil Sci.*, 30, 97-116 (1930)

Summary

The study to elucidate the effects of heavy application of cow dungs to an Ando Soil (T-C : 8.46 %, C/N : 23.5, Base saturation degree : 8.99 %) in southern Kyusyu on the characteristics of their soil humus composition was made.

Obtained results and attempt assumptions are as follows :

1. For the original soil, chemical fertilizer applied soils and for cow dungs (fresh, air-dry, 40 °C incubated specimen), any colored substances were unextracted with 0.1M- $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ after repeated extraction of humus with NaOH (pH : 12.5), obtaining the colourless extract, whereas, after being treated with the same NaOH treatment, some amount of highly humificated humus soluble in 0.1M- $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ was extracted from the soils with heavy application of cow dungs. Amount of the above-mentioned 0.1N- $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ soluble humus was increased and humification degree of their humic acid became higher with the increase of amounts of applied dungs.

2. With the increasing of amounts of applied dungs, amounts of DCB, pyrophosphate soluble R_2O_3 , especially amounts of Al_2O_3 , were made to be decreasing, but oxalate soluble Al_2O_3 was increased. Therefore, amounts of calculated free Al_2O_3 (oxalate soluble Al_2O_3 minus pyrophosphate soluble

Al_2O_3) were increased with the increasing of applied dungs, accompanied by the higher values of base saturation degree, lower values of iso-electric-point, phosphate absorption coefficient of the dungs applied soils.

And basing on these conformation, it is assumed that some amounts of highly humificated Al(Fe)-humates in the original soils were converted to Ca (Mg)-humates by mutual interaction of soils and dungs, resulting undissolution with NaOH and dissolution with $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$, and these Ca (Mg)-humates were reverted to Al(Fe)-humates during croppings are susucceeding on dungs applied soils without fertilizer and manure.