

木質廃材堆肥に関する研究 (第3報)

広葉樹バーク堆肥について

河 田 弘⁽¹⁾・白 井 喬 二⁽²⁾赤 間 亮 夫⁽³⁾・佐 藤 久 男⁽⁴⁾

Hiroshi KAWADA, Kyoji SHIRAI, Akio AKAMA and Hisao SATO :

Studies on Woody Waste Composts Part 3

On the hardwood bark composts

要 旨: この研究は第1報のヘムロックバーク鶏糞堆肥に引続いて、市販の広葉樹バーク鶏糞堆肥の品質の実態の把握と、主原料の新鮮ないし野外堆積バークの性質および組成、さらに、各工場ごとの副原料の配合比や製造工程などの相違が製品堆肥の性質および組成におよぼす影響を明らかにすること、バーク堆肥の規格ないし製造規準の設定のために必要な基礎的な資料を得ることを主目的として行った。

第1報と同様に化学的性質および組成は C, N, 水溶性 C, 無機態 N, P_2O_5 , 水溶性および 2.5% 酢酸可溶 P_2O_5 , K_2O , Na_2O , CaO , MgO , Cl の含有率, pH, CEC および EC を、有機態 N の形態は加水分解性 N, アマイド-N, アミノ糖-N, アミノ酸-N, 未同定-N の各 fraction の組成を、腐植の形態は腐植酸およびフルボ酸の抽出率、腐植酸の光学的性質および吸収スペクトルなどを検討し、第1報のヘムロックバーク堆肥と比較検討した。

得られた結果の概要は次のとおりである。

- 1) 広葉樹バークの化学的性質および組成、腐植の形態などは、新鮮バークの段階でヘムロックバークと著しい相違が見られた。
- 2) このような相違は野外堆積バーク、さらに製品堆肥の段階まで影響し、製品堆肥についてもかなりの相違が見られた。
- 3) 新鮮および野外堆積バーク、製品堆肥に至る N の形態の変化はほぼ同様の傾向を示していたが、その進行の程度はヘムロックバーク堆肥の場合より遅いといえる。

1. は じ め に

現在わが国における市販の木質廃材堆肥は大部分がバーク堆肥によって占められている。これらのバーク堆肥は主原料のバークの面から見ると、米材のヘムロックバークと国産広葉樹バークが大部分を占めている。その他にアカマツや北洋材の針葉樹バークを主原料とするものもあるが、量的にはわずかである。ヘムロックバークを主原料とするバーク堆肥については、すでに第1報¹⁾で報告したので、今回は引続いて残された国産広葉樹バークを主原料とするバーク堆肥について報告する。

米材のヘムロックバークを主原料とするバーク堆肥の生産は輸入港における小数の工場に集中しているのに対して、国産広葉樹バークを主原料とするバーク堆肥の生産は全国各地のチップ、パルプ、製紙、木材工場などで行われ、原料バークも落葉広葉樹から照葉樹まで多くの樹種におよび、副原料の配合比や製造工程などもかなりの相違が見られる。このような樹種、副原料、製造工程の相違がそれぞれの製品堆肥の品質—性質や組成—にどのような影響を及ぼしているかを明らかにする必要がある。最近バーク堆肥

の品質規格の設定が利用者側から強く要望されているが、品質規格や製造基準の設定のためには、これらの組合わせと製品堆肥の品質との関係について基本的な資料を収集しておく必要がある。

堆肥化の工程において重要な高温醗酵を行わせるためには、少なくとも約 1 m^3 以上の堆積規模を必要とすることが経験的に知られている。したがって、堆肥の製造条件と品質との関係を明らかにするために、多数の組合わせについて試験することは研究室ではかなりの困難を伴うといえる。そのために、今回は工場生産された市販の広葉樹パーク堆肥の中から、原料パークの種類、副原料の配合比、製造工程、製品の肉眼的な判定などに基づいて適宜選択し、さらに、主原料のパークも含めて、上述の諸点について検討を行った。この場合には各種の試料を容易に入手し得る利点があったが、その反面筆者らの希望する詳細な資料が十分に入手できない部分もあった。しかし、この点は工場生産の場合にはある程度はやむを得ない事情といえよう。

今回供試した試料は主として日本パーク堆肥協会および全国パーク堆肥工業会の会員各社とその他の会社の厚意によって提供されたものである。これらの関係各社に対して心からお礼申し上げる次第である。

なお、以下に述べる各社の副原料の配合比や製造工程などは数年前の試料収集当時のものであって、一部の会社ではその後改変が行われているために、今回の資料は必ずしも現在製造中の製品の実態を示すものではないことをとくに付記しておきたい。

2. 供 試 試 料

今回供試した広葉樹の新鮮パークは HW-Bf (Hardwood bark, fresh), 野外堆積パークは HW-Bp (Hardwood bark, piled in open yard), 製品堆肥は HW-B-C-C (Hardwood bark-chicken droppings compost) の略号を用い、同じ会社のものは末尾に同じ番号をつけて示した。

供試したパーク堆肥の原料の新鮮パークの樹種および野外堆積パークの堆積期間などは Table 1 に示すとおりである。

一部の工場では新鮮パークを直接堆肥の主原料として用いているために、野外堆積パークを欠く場合もある。また、新鮮パークおよび野外堆積パークの試料を得られなかった場合もある。

今回新鮮パークとしたものは、各工場において原木の剥皮によって排出されたパークであって、立木を伐倒直後に剥皮したいわゆる生パークではない。したがって、皮付原木のまま工場の貯木場に置かれた期間を経過しているので、その期間の長短に応じていわゆる生パークと比較すると変質している可能性も考えられる。また、剥皮の際に付着していた少量の材部も含まれている。さらに、各工場における広葉樹の原木は Table 1 に示した主要な樹種以外に多種類の広葉樹も量的には少ないが混入されていた。

野外堆積パークは剥皮した新鮮パークを野外に堆積貯蔵したもので、野外堆積中に化学肥料の添加や切返しは行われていないが、自然に分解が進行し、堆積の厚さなどの影響で醗酵熱が蓄積されて高温になった場合には、撒水を行う程度の管理がなされていた。

今回の野外堆積パークは試料入手時に以前から野外に堆積して、当時堆肥の主原料として使用されていたものである。各工場における広葉樹原木の集荷時における樹種およびその構成などは時期によって多少の相違が予想される。今回の試料は同一の新鮮パークから出発して、野外堆積パーク、製品堆肥に至る一連の経時的な変化を追跡したものではないことを付記しておきたい。

Table 1. 主原料パークの樹種および野外堆積期間
Hardwood bark species of fresh barks and their piling periods
of barks in the open yard

Sample name of fresh barks	Bark species	Sample name of piled barks	Piling period in the open yard
HW-Bf ₁	<i>Fagus</i> spp. (ブナ), Deciduous <i>Quercus</i> spp. (ナラ)	none	none
HW-Bf ₂	<i>Fraxinus</i> spp. (40%) (タモ), Deciduous <i>Quercus</i> spp. (30%) (ナラ), <i>Fagus</i> spp. (10%) (ブナ), <i>Betula</i> spp. (カンバ)	"	"
HW-Bf ₃	<i>Fagus</i> spp. (ブナ), Deciduous <i>Quercus</i> spp. (ナラ)	"	"
HW-Bf ₄	<i>Distylium</i> spp. (イス), <i>Castanopsis</i> spp. (シイ), Evergreen <i>Quercus</i> spp. (カシ)	HW-Bp ₄	4~6 months
HW-Bf ₅	<i>Fagus</i> spp. (ブナ), Deciduous <i>Quercus</i> spp. (ナラ)	HW-Bp ₅	1~2 years
HW-Bf ₆	<i>Fagus</i> spp. (ブナ), Deciduous <i>Quercus</i> spp. (ナラ) (chip dust)	none	none
HW-Bf ₇	<i>Fagus</i> spp. (ブナ), Deciduous <i>Quercus</i> spp. (ナラ), <i>Carpinus</i> spp. (シデ)	HW-Bp ₇	4~5 years
HW-Bf ₈	<i>Castanopsis</i> spp. (シイ), Evergreen <i>Quercus</i> spp. (カシ), <i>Pinus</i> spp. (10%) (アカマツ)	HW-Bp ₈	6~10 months
HW-Bf ₉	<i>Fagus</i> spp. (ブナ), Deciduous <i>Quercus</i> spp. (ナラ)	HW-Bp ₉	1~2 years
HW-Bf ₁₀	<i>Fagus</i> spp. (ブナ), Deciduous <i>Quercus</i> spp. (ナラ)	HW-Bp ₁₀	2 years
HW-Bf ₁₁	<i>Castanopsis</i> spp. (シイ), Evergreen <i>Quercus</i> spp. (カシ)	none	none
HW-Bf ₁₂	<i>Fagus</i> spp. (ブナ), Deciduous <i>Quercus</i> spp. (ナラ), <i>Pinus</i> spp. (アカマツ)	HW-Bp ₁₂	1~2 years
HW-Bf ₁₃	Species were unknown		

注) Remarks) HW-Bf……新鮮パーク, Hardwood bark, fresh.

HW-Bp……野外堆積パーク, Harwood bark, piled in the open yard.

3. バーク堆肥の製造工程の概要

各工場のパーク堆肥製造時の副原料の配合比および製造工程の概要は Table 2 に示すとおりである。

これらは各工場から送付された資料によったが、高温醗酵の期間と後熟の期間とを区分せずに全堆積期間として示されている場合が少なかった。

今回は北海道の工場の製品は供試していない。主原料の広葉樹パークは本州の各工場ではブナ、ナラを、四国および九州ではシイ、カシを主として用いている。いずれの地域においても、少量のその他の広葉樹を混えていたが、一部の工場ではアカマツを混えていた。また、主原料として新鮮パークを用いる工場と、野外堆積パークを用いる工場の2種類が見られたが、後者の野外堆積期間は4~6か月から4~5年にわたっていた。

副原料として多くの工場では乾燥鶏糞を用いていたが、一部の工場は多量の生鶏糞を用いていた。化学肥料は尿素ないし硫酸のいずれかを、その他過リン酸石灰、米糠、油粕などの有機物の添加が一部の工場で行われていた。なお、試料入手当時は市販の醗酵菌の添加を行っていた工場が多かったが、最近では添加を中止している場合が少なくない。

Table 2. バーク堆肥製品の主および副原料，高温醗酵および後熟期間，および切返し回数

Main and auxiliary raw materials, periods of thermophilic stage and ripening, and frequency of turning of the selected composts

Name of bark compost	Main raw material*2	Auxiliary raw materials (kg/1 ton of bark)							Period of		Frequency of turning
		Chicken droppings (dried)	Urea	Ammonium sulfate	Ca-Super phosphate	Rice bran	Oil meal	Commercial inoculum*4	thermo-philic stage (month)	ripening (month)	
HW-B-C-C ₁	HW-Bf ₁	40	10	—	—	—	—	Uron C 10	5~7	12	6
HW-B-C-C ₂	HW-Bf ₂	50	5	—	—	—	—	VS34 10	5~7	12	6
HW-B-C-C ₃	HW-Bf ₃	72.5	7.5	—	—	—	—	—	5~7	12	6
HW-B-C-C ₄	HW-Bp ₄	65	3	—	—	3	6	VS34 5	6		6
HW-B-C-C ₅	HW-Bp ₅	30	7	—	7	—	—	—	6		more than 4
HW-B-C-C ₆ *1	HW-Bp ₆ (A)	15	2	—	—	—	—	Koran 1	5~6		4~5
	chip dust(B)	350*3	—	—	—	—	—	—	5~6		
HW-B-C-C ₇	HW-Bp ₇	30	10	—	—	—	—	Uron C 10	4~6	1~2	4~5
HW-B-C-C ₈	HW-Bp ₈	40	—	10	4	4	—	Koran 1	4~6	2	4~5
HW-B-C-C ₉	HW-Bp ₉	50	—	25	—	—	—	—	more than 4		4
HW-B-C-C ₁₀	HW-Bp ₁₀	50	—	10	—	—	—	VS34 15	6	4	5
HW-B-C-C ₁₁	HW-Bf ₁₁	75	—	13	—	—	—	—	more than 7		7
HW-B-C-C ₁₂	HW-Bp ₁₂	50	—	10	—	—	—	VS34 15	3	1	4~5
HW-B-C-C ₁₃	HW-Bp ₁₃	300*3	—	—	—	—	—	VS34 30	12		more than 5

注) *1 A と B を等量混合

*2 Table 1 参照

*3 生鶏糞

*4 市販の醗酵菌 (分解促進剤)

Remark) *1 Equal parts of A and B are well mixed.

*2 See Table 1.

*3 Fresh chicken droppings.

*4 The name of inoculum on the market.

主原料のバークは粉砕後 10~20 mm 以下のものを篩別し、副原料を配合後、水分を 60% 前後に調整し、野外の堆積枠内に堆積する。引続いて高温醗酵の段階で数回の切返しを行い、その後の後熟期間を経て製品化されている。

4. 分 析 方 法

各工場から送付された試料は風乾後一部を粉砕して、1 mm で篩別して供試した。試料の分析方法はすべて第1報¹³⁾の場合と同様である。

5. 新鮮バークおよび野外堆積バークの化学的性質および組成 (結果および論議—1)

供試試料の分析結果は Table 3 に示すとおりである。

今回供試した広葉樹の新鮮バーク 6 点は、ブナ、ナラなどの落葉広葉樹バークを主とするもの (HW-Bf_{1, 2, 5, 7}) 4 点、シイ、カシなどの照葉樹バークを主とするもの (HW-Bf_{8, 11}) 2 点である。なお、照葉樹バークの HW-Bf₈ は 10% 程度のアカマツバークを混えていた。

これらの広葉樹の新鮮バークについては、落葉広葉樹と照葉樹との間にとくに大きな相違は見られなかったが、第1報¹³⁾のヘムロックの新鮮バークと比べると、以下に述べるように、N および無機成分組成、C/N 比などに著しい相違が見られた。

各試料の C 含有率はいずれも 47~50% を示した。N 含有率は 0.50~0.65% を示し、ヘムロックバークより著しく高く、C/N 比は 73~98 で著しく低かった。主な無機成分の含有率は、P₂O₅ (0.07~0.11%), K₂O (0.13~0.48%), CaO (2.1~3.3%) で、いずれもヘムロックバークより著しく高かったが、MgO (0.10~0.20%) は同程度ないし多少大きい程度であった。その他水溶性 C、NH₄- および NO₃-N はヘムロックバークと同様にきわめて低かった。Na₂O (0.001~0.028%) および Cl (34~309 ppm) はきわめて少なかったが、ヘムロックバークの場合は海中貯木されているので比較し難い。2.5% 酢酸可溶 P₂O₅ は水溶性 P₂O₅ 抽出後の逐次抽出ではなく、それぞれ直接抽出を行っているために水溶性 P₂O₅ も含むと考えられるが、全 P₂O₅ に対する比率は約 10~30% に過ぎず、ヘムロックバークの場合と同様に P₂O₅ は大部分が有機態 P₂O₅ と推定された。

pH (4.8~5.0), CEC (42~51 me/100 g) および EC (0.4~0.5 m mho/cm, 25°C) はヘムロックバークととくに著しい相違は見られなかったが、CEC はやや大きいといえる。

バークの化学的性質および組成については今までの資料が少なく、今回の試料数も少ないので十分な論議は難しいが、新鮮バーク段階におけるヘムロックと国産広葉樹の間の上述の各成分の相違は、微生物に対する養分の供給という面で、堆肥の製造工程における有機物の分解および堆肥化作用に大きな影響をおよぼすことが予想された。

また、これらの広葉樹の新鮮バークを第2報¹⁴⁾の広葉樹の新鮮オガ屑 (クヌギ+コナラ) と比べると、K₂O 以外の諸成分の含有率は著しく高く、CEC もきわめて大きい、pH は低く、EC は多少高いといえる。これらの点はバークとオガ屑の化学的性質および組成はかなりの相違があることを示すものといえよう。

これらの広葉樹バークの野外堆積中の変化は、前述 (2) のように、同じ工場の新鮮および野外堆積バ

Table 3. 新鮮パークおよび野外堆積パークの化学的性質および組成
Chemical properties and compositions of the selected fresh and piled barks

(On dry basis)

Sample	Color*1	C (%)	N*2 (%)	C/N	Water soluble C (%)	Inorganic N (ppm)			P ₂ O ₅ (%)			K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Cl (ppm)	CEC (me/100g)	pH (H ₂ O)	EC (m mho/cm (25°C))
						NH ₄ ⁺ N	NO ₃ ⁻ N	Total	Total	Water soluble	2.5% Acetic acid soluble								
HW-Bf ₁	7.5 YR 5/4	46.8	0.56	83.6	1.56 (3.3)*3	29	3	32	0.070	0.020 (28.6)*4	0.020 (28.6)*4	0.35	0.007	3.32	0.10	79	46.5	4.90	0.40
HW-Bf ₂	7.5 YR 4/3	48.7	0.64	76.1	0.98 (2.0)	18	3	21	0.091	0.016 (17.6)	0.020 (22.0)	0.46	0.013	2.13	0.11	34	42.3	5.00	0.38
HW-Bp ₄	7.5 YR 3/3	46.8	0.71	65.9	0.65 (1.4)	18	2	20	0.10	0.020 (20.0)	0.026 (26.0)	0.47	0.022	2.21	0.18	273	53.5	5.45	0.38
HW-Bf ₅	7.5 YR 4/4	47.6	0.65	73.2	0.52 (1.1)	17	2	19	0.11	0.014 (12.7)	0.018 (16.4)	0.24	0.005	2.83	0.13	175	41.8	5.00	0.49
HW-Bp ₅	7.5 YR 3/3	47.4	0.68	69.7	0.22 (0.46)	20	6	26	0.26	0.009 (3.5)	0.056 (21.5)	0.17	0.002	2.83	0.33	181	59.5	7.20	0.15
HW-Bf ₇	10 YR 4/4	49.5	0.61	81.1	0.26 (0.53)	15	1	16	0.080	0.007 (8.8)	0.008 (10.0)	0.13	0.003	2.27	0.10	131	45.7	4.80	0.51
HW-Bp ₇	7.5 YR 2/3	51.8	0.84	61.7	0.24 (0.46)	12	1	13	0.12	0.006 (5.0)	0.027 (22.5)	0.036	0.001	3.26	0.082	132	66.8	6.60	0.15
HW-Bf ₈	7.5 YR 4/4	49.0	0.50	98.0	0.56 (1.1)	15	2	17	0.076	0.006 (7.9)	0.007 (9.2)	0.24	0.005	2.20	0.17	167	42.6	4.75	0.46
HW-Bp ₈	7.5 YR 3/3	47.6	0.69	69.0	0.39 (0.82)	12	4	16	0.073	0.011 (15.1)	0.018 (24.7)	0.36	0.001	2.48	0.22	303	57.5	5.85	0.30
HW-Bp ₁₀	7.5 YR 3/4	50.0	0.69	72.5	0.53 (1.1)	20	3	23	0.077	0.019 (24.7)	0.019 (24.7)	0.28	0.028	2.32	0.12	169	52.6	6.35	0.29
HW-Bf ₁₁	7.5 YR 4/4	47.6	0.54	88.1	1.01 (2.1)	25	1	26	0.079	0.012 (15.2)	0.013 (16.5)	0.48	0.020	2.06	0.20	309	51.0	4.80	0.54
HW-Bp ₁₂	7.5 YR 3/3	50.0	0.67	74.6	0.25 (0.50)	14	2	16	0.23	0.039 (17.0)	0.074 (32.2)	0.19	0.016	3.01	0.15	270	54.9	6.60	0.44

注) *1 色調は標準土色帳(農林水産技術会議編, 富士平工業, 1960)による。

*2 全 N は NO₃-N を含む。

*3 全 C に対するパーセント。

*4 全 P₂O₅ に対するパーセント。2.5% 酢酸可溶 P₂O₅ は水溶性 P₂O₅ を含む。

Remarks) *1 Color name is expressed with color chart of Munsell system.

*2 Total-N contains NO₃-N.

*3 Per cent of total carbon.

*4 Per cent of total P₂O₅. 2.5% acetic acid soluble P₂O₅ contains water soluble P₂O₅.

ークを比較し得る試料が少なかったこと、また、いずれも同じ試料を経時的に追跡したものではないので十分な論議は難しい。しかし、一部に多少の例外も認められたが、全般的にヘムロックの野外堆積パークの場合と同様に、野外貯蔵中に N, P_2O_5 , CaO, MgO 含有率および 2.5% 酢酸可溶 P_2O_5 の全 P_2O_5 に対する比率の増大と、C/N 比および水溶性 C の全 C に対する比率の低下および CEC の増大が認められた。

一般に K_2O は植物体から流亡しやすい成分とされている。HW-Bp₇ の K_2O の含有率が新鮮パークより著しい減少を示していたことは、野外堆積期間がとくに長く、4～5年におよんでいたことの影響とも考えられる。しかし、HW-Bp₈ では新鮮パークより増大を示した理由は明らかにし得なかった。

これらの広葉樹の野外堆積パークの各成分濃度はヘムロックの場合（1および3年）¹³⁾ と比べると、HW-Bp₇ の K_2O 以外はいずれもきわめて高く、C/N 比もきわめて低かったが、これらの相違は上述の新鮮パークにおける相違を明りょうに反映しているといえる。

CEC (me/100 g) は 53～67 を示したが、4～5年野外堆積した HW-Bp₇ を除くと、堆積期間2年以下の場合は 53～60 程度であった。これらの価は HW-Bp₇ ではヘムロックパークの3年野外堆積と同程度であったが、その他は1年堆積と同等ないし多少大きい程度であった。

pH はいずれも野外堆積中に上昇して中性に近づいた。この点は野外堆積3年後も pH 5.0 前後のかなり強い酸性を示したヘムロックパークの場合とは明りょうな相違を示しているといえる。この点は広葉樹の新鮮パークの場合には CaO および MgO などの塩基の含有率が高いこと、N, P_2O_5 , K_2O などの微生物の栄養元素の含有率が高いために、有機物の分解が良好で、不完全分解に伴う有機酸類の生成が少ないことなどによるものと思われる。

6. 製品堆肥の化学的性質および組成（結果および論議—2）

供試したパーク堆肥製品の化学的性質および組成は Table 4 に示すとおりである。

これらを相互に比較すると、副原料の配合比および製造工程などの相違に伴ってかなりの相違が認められた。しかし、一部の試料の化学的組成は、原料パークの組成および副原料の配合比（Table 2 参照）からおおまかに推定された価とはかなりの相違を示したが、その理由は十分に解明できなかった。これらの製品の化学的性質および組成の概要および第1報¹³⁾のヘムロックパーク堆肥製品との比較などは次のとおりである。

色調^{*}は一部は 7.5 YR 2/2（黒褐色）を呈したが、多くは 7.5 YR 3/2～2/3（黒褐～極暗褐色）で、一部は 7.5 YR 3/3～3/4（暗褐色）および 10 YR 3/3（暗褐色）におよび、いずれも黒褐～暗褐色の範囲に入るが、明度および彩度の面ではかなりの相違が見られ、2.5 YR～5 YR 2/3（極暗赤褐色）の暗赤色味を帯びたヘムロックパーク堆肥の色調とはかなり異なっていた。

C 含有率は大部分が 45～50% であったが、一部は 40% 前後を示した。後者は N およびその他の無機成分含有率がとくに高くない点から見て、多少の土砂の混入によるものではないかと推定された。

N 含有率は 0.8～2.4% と幅の広い変化を示し、それに伴って C/N 比は 19～63 まで同様にかなり大きな相違が見られた。前述（Table 2）の副原料の配合比から、きわめておおまかに新鮮および野外堆積パークを水分 50%, C 含有率 50%（乾物当、以下同様）、N 含有率を新鮮パーク 0.5%, 野外堆積パーク

*) 粉碎風乾物の色調，標準土色帳：農林水産技術会議編（1960），富士平工業による。

Table 4. 広葉樹パーク堆肥の化学的性質および組成
Chemical properties and compositions of the selected bark composts

(On dry basis)

Sample	Color*1	C (%)	N*2 (%)	C/N	Water soluble C (%)	Inorganic N (ppm)			P ₂ O ₅ (%)			K ₂ O (%)	Na ₂ O (%)	CaO (%)	MgO (%)	Cl (ppm)	CEC (me/100g)	pH (H ₂ O)	EC (m mho/cm) (25°C)
						NH ₄ ⁺ N	NO ₃ ⁻ N	Total	Total	Water soluble	2.5% Acetic acid soluble								
HW-B-C-C ₁	7.5 YR 2/3	45.3	2.38	19.0	0.52 (1.15)*3	33	23	56	1.10	0.043 (3.9)*4	0.83 (75.3)*4	0.69	0.19	5.29	0.53	839	103	7.70	0.82
HW-B-C-C ₂	7.5 YR 3/2	41.7	2.13	19.6	0.37 (0.89)	76	511	587	1.88	0.069 (3.7)	1.49 (79.3)	0.73	0.24	6.97	0.75	1,090	102	7.10	1.48
HW-B-C-C ₃	7.5 YR 2/2	45.4	2.25	20.2	0.58 (1.28)	41	122	163	1.47	0.050 (3.4)	1.16 (78.9)	0.92	0.14	8.00	0.48	1,090	87.5	8.10	1.20
HW-B-C-C ₄	7.5 YR 2/3	45.5	1.69	26.9	0.38 (0.84)	21	4	25	1.10	0.056 (5.1)	0.80 (72.7)	0.84	0.19	5.29	0.53	1,670	94.1	7.40	1.30
HW-B-C-C ₅	7.5 YR 3/3	42.5	1.67	25.4	0.24 (0.56)	18	10	28	1.48	0.048 (3.2)	0.73 (49.3)	0.58	0.12	4.42	0.66	468	78.8	7.85	0.67
HW-B-C-C ₆	7.5 YR 3/2	39.2	1.34	29.3	0.45 (1.15)	55	13	68	0.67	0.026 (3.9)	0.34 (50.7)	0.41	0.10	4.59	0.80	390	73.2	7.55	0.57
HW-B-C-C ₇	7.5 YR 2/2	49.7	1.56	31.9	0.39 (0.78)	41	131	172	0.56	0.011 (2.0)	0.25 (45.6)	0.26	0.048	4.93	0.20	672	80.4	7.20	0.83
HW-B-C-C ₈	7.5 YR 3/2	49.7	1.52	32.7	0.47 (0.95)	115	366	481	0.84	0.085 (10.1)	0.65 (77.4)	0.59	0.070	4.00	0.32	868	75.2	5.90	3.02
HW-B-C-C ₉	7.5 YR 3/3	48.7	1.52	32.0	0.48 (0.99)	24	18	42	0.60	0.057 (9.5)	0.28 (46.7)	0.59	0.082	4.98	0.25	927	84.5	7.25	1.38
HW-B-C-C ₁₀	7.5 YR 2/3	52.7	0.91	57.2	0.29 (0.55)	24	8	32	0.33	0.061 (18.5)	0.20 (60.6)	0.35	0.040	3.54	0.18	256	78.1	6.40	0.34
HW-B-C-C ₁₁	7.5 YR 3/3	47.2	1.06	44.5	0.37 (0.78)	17	8	25	0.15	0.014 (9.3)	0.083 (55.3)	0.32	0.010	3.02	0.20	292	82.4	6.95	0.29
HW-B-C-C ₁₂	7.5 YR 3/4	50.9	0.81	62.8	0.34 (0.67)	11	2	13	0.30	0.087 (29.0)	0.18 (60.0)	0.27	0.024	3.12	0.15	274	59.8	6.55	0.55
HW-B-C-C ₁₃	10 YR 3/3	46.7	1.45	32.2	0.52 (1.11)	20	17	37	1.36	0.044 (3.2)	0.91 (66.9)	0.59	0.075	5.01	0.69	393	69.2	7.70	0.63

注) *1~*4 は Table 3 と同じ。

Remark) *1~*4 are the same as those of Table 3.

0.6%, 風乾鶏糞は水分 20%, 生鶏糞は水分 75%, 鶏糞の C 含有率 40%, N 含有率 5%¹⁸⁾ と仮定して、これに尿素ないし硫酸に由来する N 量を加えて C/N 比を概算すると、いずれも副原料を配合した時点で、C/N 比は約 30~40 前後と推定された。HW-B-C-C_{10, 11, 12} の 3 試料の場合も同様であるが、これらの C/N 比が 45~63 を示し、著しく大きい値を示した理由は十分に解明し得なかった。しかし、これらの試料は P₂O₅, K₂O および CaO の含有率も他の試料と比べるとかなり低かったことは、副原料の配合に手落ち（鶏糞の配合が少ない）があったのではないかと推定された。また、HW-B-C-C_{1, 2, 3} の試料の N 含有率は 2% を超え、C/N 比は 19~20 を示し、他の試料と比べると著しく低いことが注目された。これらの試料の副原料の配合比は他の試料と比べてとくに著しい相違は見られなかったが、現地調査の結果では、高温醗酵の期間が長く、切返し回数が多少多いこと、製品の出荷が遅れたために後熟の段階でかなり長期間堆積されていたことなどが共通して認められた。おそらく、このような特殊な条件下におかれていたために、後熟の段階で有機物の分解と炭素化合物の CO₂ としての損失が進んで、相対的に N 含有率の増大と C/N 比の減少がもたらされたのではないかと推定された。これらの試料では P₂O₅, K₂O, CaO などの含有率が他の試料に比べるとかなり高いことも、このような推論を支持する材料になり得ると思われる。

水溶性 C 含有率は低く、全 C の 1% 前後ないし以下で、各試料間にとくに目だった特徴は見られなかった。

無機態 N 含有率は、NH₄-N 含有率はきわめて低く、max. 115 ppm に過ぎなかった。しかし、NO₃-N は一部に 370 および 510 ppm のかなり高い値が見られたが、全般的には NH₄-N と同程度の値を示していた。ヘムロックパーク堆肥の場合と比べると、NH₄-N はほぼ同様といえるが、NO₃-N は著しく少なく、明りょうな相違を示していたが、この点については後述 7 の N の形態の章で論議したい。

P₂O₅ 含有率は各試料間に著しい相違が見られた。とくに含有率の低かった HW-B-C-C_{10, 11, 12} の 3 点については、上述の N 含有率の場合と同じ理由によるものと推定された。HW-B-C-C₁₃ の P₂O₅ 含有率 (1.36%) の高い理由は、生鶏糞を多用しているために鶏糞の配合量が大したこと（上述の水分で換算すると乾燥鶏糞約 95 kg に相当）によるものであろう。HW-B-C-C₅ (1.48%) は野外堆積パークの P₂O₅ 含有率が高いこと（理由は不明）と過リン酸石灰の添加によっておおよその説明は可能であろう。しかし、HW-B-C-C₂ (1.88%) および -C₃ (1.47%) は上述の N 含有率と同様の理由を想定するとしても、かなりの量の有機物の分解と、さらに N および P₂O₅ の量的な比率からはかなり多量の N の損失を想定しなければならないので、十分な理由の解明は難しかった。

2.5% 酢酸可溶 P₂O₅ の全 P₂O₅ に対する比率は約 45~80% に達したが、全般的に P₂O₅ の含有率の高いほどこの比率も高くなる傾向が見られた。

K₂O, Na₂O, CaO および MgO 含有率については、HW-B-C-C_{10, 11, 12} が全般に低かったことは、上述の N と同様の理由によるものであろう。HW-B-C-C₇ の K₂O 含有率 (0.26%) はとくに低い値を示したが、この製品の主原料の HW-Bp₇ の K₂O 含有率がとくに低いことが大きな影響をおよぼしていると思われる。HW-Bp₇ はとくに 4~5 年の長期にわたって野外堆積されたパークであるが、K₂O は植物体から溶脱されやすいために、かなり溶脱が進行していたものと推定された。HW-B-C-C_{1~4} のこれらの各成分の含有率は全般的に他の試料より高いが、HW-B-C-C_{2, 3} の CaO (7.0 および 8.0%) はとくに高いといえる。HW-B-C-C₃ の主原料の HW-Bf₃ が入手できなかったために理由は明らかではないが、他の

主原料のバークの CaO の含有率ないし鶏糞の配合比から見ても、上述の P_2O_5 の場合と同様にこの理由の説明は難しかった。

Cl 含有率は 260~1,670 ppm を示し、変化の幅が大きかった。Cl は主として鶏糞に由来するものと思われる。HW-B-C- $C_{10, 11, 12}$ がとくに低かった理由は、上述のように他の成分も少ない点から見て、副原料の配合のミス—おそらく鶏糞の配合が少なかった—とも考えられるが、その他にも HW-B-C- $C_{8, 6, 13}$ のようにかなり低いものも認められた。Cl は雨水によって溶脱されやすいが、溶脱の程度は堆積層の厚さによっても影響されると思われる¹³⁾ので、これらの原因の詳細な説明は難しかった。

CEC (me/100 g) は 60~103 を示し、各試料間でかなりの相違が認められた。上述のように、特殊な事情で堆積期間の長かった HW-B-C- $C_{1, 2, 3}$ は 88~103 で高い価を示し、堆肥化過程の進行が不十分なことが予想されたものの中の一つである HW-B-C- C_{12} は 60 で異常に低かったが、その他は 70~94 の範囲にあった。また、HW-B-C- C_{12} と同様の条件にあったと推定される HW-B-C- $C_{10, 11}$ は 78, 82 で、かなり高い価を示していたので、HW-B-C- C_{12} がとくに小さい理由は明らかでなかった。前述のように、新鮮バークの 42~51、野外堆積バーク（2 年以下）の 53~60 に比べると、堆肥化過程の進行に伴って CEC の増大が認められるが、C/N 比と CEC の間には全般的にとくに明りょうな関連性は認め難かった。

pH は 5.90~8.10 を示した。全般的な傾向として、N 肥料として尿素を用いた HW-B-C- C_{1-7} は pH 7.10~8.10、硫酸を用いた HW-B-C- C_{9-12} は 6.40~7.25 を示し、全般的に生理的酸性肥料の硫酸を用いた方が pH が低い傾向が見られた。pH 5.90 でもっとも pH が低く、他の硫酸を用いた場合（6.40~7.25）よりかなり低い pH を示した HW-B-C- C_8 は、硫酸の他に同様に生理的酸性肥料の過リン酸石灰の添加が行われ、さらに、主原料に針葉樹のアカマツバークが少量ではあるが混用されていることの影響も付加されているのではないかとと思われる。

EC (m mho/cm) は HW-B-C- C_8 は他の試料より高く 3.0 を示したが、他はいずれも 1.5 以下であった。

上述の広葉樹バーク堆肥の化学的性質および組成は相互にかなりの相違が見られたが、ヘムロックバーク堆肥¹³⁾と比べると、前述（4）の広葉樹およびヘムロックの新鮮および野外堆積バークで見られた著しい相違は、副原料の配合によってかなり減少していたが、全般的な傾向として NO_3-N の含有率がきわめて低いこと、pH が高いこと、CaO 含有率が高いこと、Cl 含有率が低いこと、EC が低いことなどの相違が認められた。 NO_3-N の含有率の低いことは、副原料の尿素ないし硫酸-N の微生物による同化、鶏糞およびバークに含まれる有機態 N の無機化の過程とも密接な関連性を有するが、とくに注目すべき問題であろう。この点については次の有機態 N の形態の章 7 で論議したい。その他は上述の主原料のバークの化学的性質および組成の相違をなお反映しているといえよう。

7. 新鮮および野外堆積バーク、およびバーク堆肥製品の 有機態 N の形態（結果および論議—3）

前述（Table 3 および 4 参照）の試料の一部について有機態 N の形態を検討した結果は Table 5 に示すとおりであるが、ヘムロックバーク堆肥の各段階¹³⁾とそれぞれ比較すると、堆肥化過程の段階では、以下に示すようにかなり明りょうな相違が見られた。

新鮮バークでは加水分解性 N は 81~87% に達し、このうちアミノ酸態 N はもっとも多くて 41~45%

Table 5. 新鮮バーク, 野外堆積バークおよびバーク堆肥製品の有機態 N の形態

Organic nitrogen forms of the selected fresh and piled barks and bark composts

Sample	Organic N (%)	Composition of organic N					
		Acid hydrolyzable N					Unhydro- lyzable-N
		Amide-N	Amino sugar-N	Amino acid-N	Unidenti- fied-N	Total	
Fresh barks							
HW-Bf ₅	0.652	5.9	1.5	43.4	30.2	81.0	19.0
HW-Bf ₇	0.608	5.8	0.5	44.7	35.2	86.2	13.8
HW-Bf ₈	0.503	5.1	2.0	40.6	35.2	82.9	17.1
Barks piled in the open yard							
HW-Bp ₅	0.682	8.9	2.8	44.0	29.2	84.9	15.1
HW-Bp ₇	0.837	6.9	2.6	40.3	33.3	83.1	16.9
HW-Bp ₃	0.688	5.5	2.3	35.3	31.3	74.4	25.6
HW-Bp ₁₂	0.673	6.7	1.0	42.8	29.4	79.9	20.1
Bark composts							
HW-B-C-C ₁	2.38	8.5	3.3	28.4	23.3	63.5	36.5
HW-B-C-C ₂	2.13	9.7	2.9	26.7	28.5	67.8	32.2
HW-B-C-C ₄	1.69	6.0	2.5	31.7	30.7	70.9	29.1
HW-B-C-C ₅	1.67	11.0	2.9	32.6	24.9	71.4	28.6
HW-B-C-C ₇	1.56	8.2	1.5	28.4	25.0	63.1	36.9
HW-B-C-C ₈	1.52	10.4	1.7	28.7	29.9	70.7	29.3
HW-B-C-C ₁₀	0.908	7.2	2.8	37.6	24.8	72.4	27.6
HW-B-C-C ₁₂	0.809	6.1	1.5	38.3	26.3	72.2	27.8

注) N の形態は各 fraction N の全有機態 N に対するパーセントで示した。

Remark) Nitrogen forms are expressed by the N amount of each fraction as per cent of total organic N content.

を占め, 未同定 N がこれに次ぎ, アマイド態 N およびとくにアミノ糖態 N は少なかった。これらの有機態 N の組成はヘムロックの新鮮バークとはほぼ同様といえる。

野外堆積バークでは新鮮バークと比べると, ヘムロックの野外堆積バークの場合と同様に加水分解性 N およびアミノ酸態 N の漸減が一部で見られ, その他一部でアマイド態 N およびアミノ糖態 N のわずかな増大が見られたに過ぎず, 全般的にとくに明りょうな変化は見られなかった。

バーク堆肥製品の場合には, N は主原料の新鮮ないし野外堆積バーク自体に由来するものよりも, 副原料の尿素ないし硫酸に由来するものの方が量的に多い。BREMNER⁶⁾によれば, Oat straw に炭酸アンモニウムを添加して堆肥化した場合に, 無機態 N は約 30 日でほとんど有機化され, 大部分はタンパク態として, 少量がアミノ糖態として同化され, 有機態 N の形態は原料の Oat straw のそれと明りょうな相違は見られないという。また, 佐藤¹⁸⁾はヘムロックバークの堆肥化のモデル実験で, 添加した尿素態 N は急速に無機化され, 10~15 日後には消失し, 同時に有機態 N が急激に増加することを明らかにしている。さらに, 熊田ら¹⁷⁾のイネワラに石灰窒素を添加して堆肥化した場合の無機態 N の消長は, 約 4 週間で添加 N はほぼ有機化されたことを示唆しているように思われる。これらの結果は, 広葉樹バーク堆肥

の場合にも、添加された尿素ないし硫酸に由来する N は微生物によって同化されて有機態 N—菌体タンパク質—に変化し、原料バークおよび鶏糞などの有機態 N と同様に一連の変化を受けるものと推定される。

今回の供試試料では、主原料の新鮮ないし野外堆積バークおよび鶏糞¹³⁾と比べると、第 1 報¹³⁾のヘムロックバーク堆肥の場合と同様に、全般的傾向としては全 N に対する比率は加水分解性 N およびアミノ酸態 N の減少とアミド態 N の増加が認められたが、アミノ糖態 N は明らかな変化を示さず、また、未同定 N は減少していた。しかし、いずれの場合も各 fraction の変化の程度はヘムロックバーク堆肥の場合ほど顕著ではなかった。しかしこのような変化は BREMNER⁶⁾が Wheat straw に炭酸アンモニウムを添加して 4 か月間堆肥化した場合の有機態 N の組成の変化と、また、森林土壌の A₀ 層における L→F→H 層の順に分解過程の進行に伴う有機態 N の形態の変化¹²⁾ともよく一致する。さらに、KEENEY ら¹⁵⁾は土壌の有機態 N の無機化は各 fraction の N について認められるが、その中でもアミノ酸態 N がもっとも無機化されやすいことを認めている。

これらの結果を総合すると、有機物の分解ないし堆肥化過程における有機態 N の変化は、全 N に対する比率として、加水分解性 N およびアミノ酸態 N の減少とアミド態 N の増加によって特徴づけられるといえる。

しかし、これらの各 N fraction の変化は、すべてが同時に、また、同じ程度に進行するとは限らないように思われる。今回の供試試料の中で C/N 比が大きく、堆肥化過程の進行が不十分なことが推定された HW-B-C-C_{10, 12} の 2 点は、加水分解性 N はかなりの減少を示したが、アミノ酸態 N の減少は他の試料ほど顕著ではなく、野外堆積バークの一般的なレベルより漸減を示したに過ぎなかった。また、C/N 比がとくに小さかった HW-B-C-C_{1, 2} では、加水分解性 N およびアミノ酸態 N の減少は明らに認められたが、アミド態 N の増大は明らかでなかった。さらに、第 2 報¹⁴⁾の広葉樹オガ屑—豚糞堆肥の場合も、堆肥化過程の進行に伴ってアミノ酸態 N の減少とアミド態 N の増大が認められたが、加水分解性 N の減少は明らかではなかった。

有機物の分解やその際の有機態 N の無機化に C/N 比が大きな影響を及ぼすことはよく知られている。広瀬⁸⁾⁹⁾は有機物を土壌に添加した場合の有機態 N の無機化の状態から、有機物を C/N 比の大きさによって 3 つのパターンに区分したが、C/N 比の大きいほど添加後初期に土壌の無機態 N の微生物の有機化（菌体タンパク質の合成）による減少の期間が長く、その後に行われる有機態 N の無機化も緩慢で、無機化率が低いことを認め、植物遺体の C/N 比と有機態 N の無機化率との間に負の高い相関関係があることを明らかにし、イネワラの堆肥化の場合には C/N 比 17 を境にして、それ以下では有機態 N の無機化が行われるが、それ以上では逆に土壌の無機態 N の有機化が行われるという。しかし、彼は有機態 N の無機化には C/N 比だけではなく、有機成分の組成も影響を及ぼすことを認めている。

バークやオガ屑の場合には草本類と異なり、有機物の組成の影響がとくに大きいように思われる。BOLLEN ら⁵⁾は C/N 比の小さい豆科植物は分解率が高く、無機態 N の添加は分解促進の効果を示さないが、草本類遺体で C/N 比の大きいものは無機態 N の添加による分解促進の効果が著しい。これに対して、C/N 比の著しく大きい Douglas-fir のオガ屑は N 添加の効果がきわめて小さいこと、さらに、土壌に多量に施用しても作物によっては N 欠乏を生ぜず、収量の増大が見られる場合もあることを明らかにした。彼らはこの理由を Douglas-fir のオガ屑は微生物の分解に対して抵抗力の大きいリグニンの含有率

が高く、リグニン-セルロース複合体を形成しているためであろうと推定している。ALLISON ら¹⁾²⁾³⁾⁴⁾ は、多くの樹種のバークや材部の土壤中における分解率を検討し、特異性を示す樹種も一部に見られたが、全般的な傾向としては、針葉樹のバークおよび材の分解率は広葉樹より著しく低く、無機態 N の添加は分解をほとんど促進せず、分解の際の N の要求度は低いが、広葉樹のバークおよび材は分解率が高く、N の添加によって著しく分解が促進され（材部の方がバークより大きい）、分解の際の N の要求度が高いことを明らかにしている。彼らの試料については C/N 比と分解率の関連性は見だし難かった。樋口ら⁷⁾ は、材部の粉末を土壤に添加した場合の分解率は、広葉樹は針葉樹より高いことを認めているが、彼らの資料についても同様に分解率と C/N 比との関係は明らかにし難かった。

これらの今までの諸研究者の結果は、植物遺体の分解が微生物による易分解性の炭素化合物と N 化合物のバランスによって支配されることを示すものといえよう。バークやオガ屑のようにリグニンなど微生物による難分解性の炭素化合物の含有率の高い植物遺体の場合には、有機物全体の C/N 比は有機物分解ないし有機態 N の無機化の指標になり難いように思われる。

Table 6. 新鮮バーク、野外堆積バークおよびバーク堆肥製品の腐植の形態
Humus forms of the selected fresh and piled barks and bark composts

Sample	Composition of humus				Optical property of humic acid		
	Humic acid	Fulvic acid	Ex-tractable humus	C _h /C _f	$\Delta \log K_1$	$\Delta \log K_2$	Rf
Fresh barks							
HW-Bf ₅	3.9	7.4	11.3	0.53	0.976	0.929	0.110
HW-Bf ₇	4.9	7.9	12.8	0.64	0.937	0.939	0.119
HW-Bf ₈	5.8	9.0	14.8	0.62	0.915	0.943	0.158
Barks piled in the open yard							
HW-Bp ₅	3.1	3.8	6.9	0.82	0.981	1.001	0.149
HW-Bp ₇	3.9	4.0	7.9	0.98	0.928	0.993	0.197
HW-Bp ₈	2.9	5.5	8.4	0.53	0.980	0.956	0.110
HW-Bp ₁₂	4.1	5.3	9.4	0.77	0.964	0.987	0.152
Bark composts							
HW-B-C-C ₁	7.1	6.6	13.7	1.08	0.884	1.078	0.250
HW-B-C-C ₂	8.1	7.6	15.7	1.07	0.935	1.030	0.188
HW-B-C-C ₄	4.9	6.0	10.9	0.82	0.926	1.002	0.212
HW-B-C-C ₅	6.8	5.8	12.6	1.17	0.907	0.958	0.197
HW-B-C-C ₇	5.3	4.3	9.6	1.23	0.851	0.921	0.286
HW-B-C-C ₈	4.8	5.0	9.8	0.96	0.867	0.921	0.253
HW-B-C-C ₁₀	5.9	6.3	12.2	0.94	0.951	1.007	0.178
HW-B-C-C ₁₂	4.7	5.4	10.1	0.87	0.916	0.961	0.179

注) 腐植の組成は各フラクションの C の全 C に対するパーセントで示した。

Remarks) Humus compositions are expressed by the carbon amount of each fraction as per cent of total organic carbon.

$\Delta \log K_1 = \log K_{400} - \log K_{600}$

$\Delta \log K_2 = \log K_{650} - \log K_{850}$

Rf : K₆₀₀ of Na- humate solution containing C 100 mg per liter.

今回ヘムロックおよび広葉樹のバークの有機物組成は未検討であるが、今までの針葉樹および広葉樹のバークについての一般的な傾向を適用すると、針葉樹のヘムロックバークよりも広葉樹バークの方が易分解性の炭素化合物の含有率が高く、したがって、副原料を配合後の堆肥化段階では C_{av}/N_{av} ($available\ C/available\ N$) 比はヘムロックバークの方が小さいと推定される。このような見解によれば、ヘムロックバーク堆肥の方が広葉樹バーク堆肥よりも有機態 N の分解と無機化が急速に進行し、上述のようにこの両者間に有機態 N の組成と無機態 N (NO_3-N) の相違をもたらしていることが容易に説明し得ると思われる。

したがって、第 1 報¹³⁾で報告した NO_3-N の含有率および有機態 N の形態の変化が堆肥化の指標になり得るとの見解は、ヘムロックバーク堆肥の場合には適用し得るとしても、広葉樹バーク堆肥の場合には NO_3-N の含有率の適用は難しく、有機態 N の形態の変化はヘムロックバーク堆肥とは別個の基準を用いる必要があるように思われる。

8. 新鮮バーク、野外堆積バークおよびバーク堆肥の腐植の形態 (結果および論議—4)

前述 (Table 3 および 4) の試料の一部について腐植の形態を検討した結果は Table 6 および Fig. 1

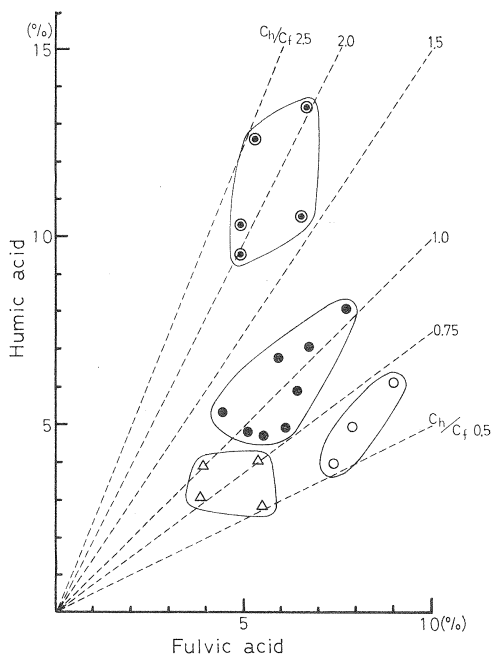


Fig. 1 腐植の組成
Humus composition.

- Remarks) ● Hardwood bark chicken droppings compost.
△ Hardwood bark, piled in the open yard.
○ Hardwood bark, fresh.
◐ Hemlock bark chicken droppings compost.

～3 に示すとおりである。

新鮮バークのような植物遺体や野外堆積バークおよび製品堆肥のように未分解の植物遺体と微生物の分解および代謝生成物の混合物を腐植として扱うことについては、第 1 報¹³⁾と同様の立場で行うことにした。

腐植の組成については次のような結果が得られた。新鮮バークから製品堆肥までの腐植酸およびフルボ酸の抽出率 (各 fraction C の全 C に対する per cent) はいずれも小さく、含量で max. 10 数 % に過ぎなかった。これらの各 fraction の抽出率は野外堆積バークでは新鮮バークより減少し、製品堆肥では野外堆積バークより増大を示した。 C_h/C_f 比 (腐植酸 C/フルボ酸 C) は新鮮バーク、野外堆積バーク、製品堆肥の順に増大を示した。これらの各段階における腐植酸およびフルボ酸の抽出率および C_h/C_f 比の変化は、第 1 報¹³⁾のヘムロックバーク堆肥の場合と同様の傾向を示しているといえるが、各段階における各 fraction の抽出率および C_h/C_f 比の変化は、ヘムロックバーク堆肥と比べると著しく小さかった。これらの製品堆肥の腐植酸の抽出率および

C_h/C_f 比は、必ずしも製法 (堆積期間, 切返し回数), C/N 比などとの関連性は明らかではなかった。

腐植酸の吸収スペクトルはいずれの場合も土壌の腐植酸の場合と同様に、近赤外部から紫外部にかけて吸光係数の増大を示した。新鮮パークでは広葉樹パークに少量のアカマツパークを混える HW-Bf₈ の場合は 500, 420, 360, 280 nm 付近に肩状の吸収帯が認められた。280 nm の肩状の吸収帯は HW-Bf₇ でも認められたが、リグニンの吸収帯と思われる。HW-Bf_{5,7} ではその他の吸収帯は認められなかったもので、500, 420 および 360 nm の肩状の吸収帯はアカマツパークに由来するものと思われた。野外堆積パークでは、アカマツパークを混入している HW-Bp_{8,12} は 360 および 280 nm 付近に肩状の吸収帯が認められたが、500 および 420 nm 付近の肩状の吸収帯は認められなかった。製品堆肥の場合はいずれも吸収帯は認められなかった。

これらの諸点はヘムロックパーク堆肥¹³⁾の場合に、新鮮パークでは、560, 500, 420 および 280 nm 付近に肩状の吸収帯が認められ、野外堆積パークおよび大部分の製品堆肥では 500 nm の肩状の吸収帯がな

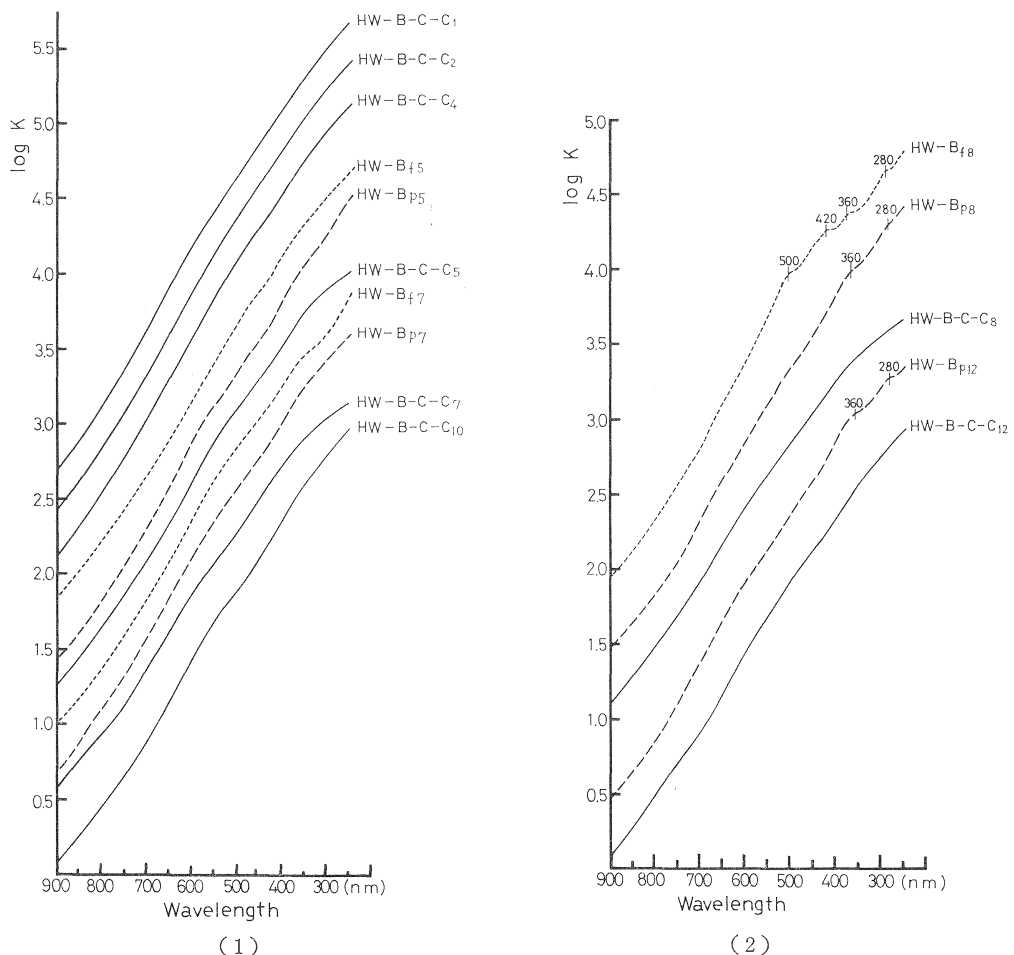


Fig. 2 腐植酸の吸収スペクトル (濃度は適宜, 数字は吸収帯の波長を示す)

Absorption spectra of humic acid (Concentration of humic acid is arbitrarily chosen. Figures express the wavelength).

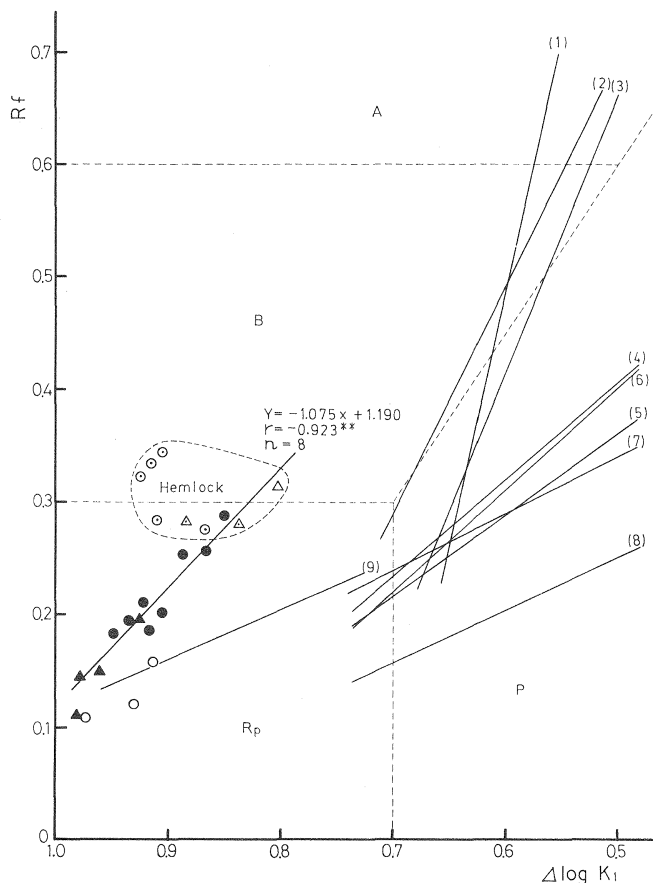


Fig. 3 腐植酸の区分図

Classification diagram of humic acids.

Remarks) Fresh bark ○ Hardwood △ Hemlock
 Piled bark ▲ Ibid. △ Ibid.
 Bark compost ● Ibid. ⊙ Hemlock

The lines express the regression curve between $\Delta \log K_1$ and Rf value of humic acid (h-1) of the representative forest soils¹¹⁾.

(1) Black soils, (2) Light colored black soils, (3) Dark red soils, (4) Wet podzols, (5) Dry podzols, (6) Brown forest soils (moderately moist type of soil), (7) Ibid. (Dry type of soil), (8) Red and yellow soils, (9) A₀ layers.

お弱度に認められた点とは著しい相違を示すもので、これらの相違はそれぞれの樹種に特有なものといえよう。

広葉樹の新鮮バーク、野外堆積バークおよび製品堆肥の腐植酸はいずれも R_P 型に属し、土壤の腐植酸を基準にすると未熟な段階にあるといえる。

野外堆積バークを新鮮バークと比べると、HW-Bp₅, γ は $\Delta \log K_1$ ($\log K_{400} - \log K_{600}$) は明りょうな変化を示さなかったが、 $\Delta \log K_2$ ($\log K_{650} - \log K_{850}$) および Rf は増大を示した。また製品堆肥と野外堆積バークを比べると、いずれも $\Delta \log K_1$ および $\Delta \log K_2$ の減少と Rf の増大が顕著に認められた。土壤有機物の腐植化過程の進行は $\Delta \log K_1$ の減少と Rf の増大¹⁰⁾¹⁶⁾—とくに後者¹⁰⁾—によって示されると考えられているが、新鮮バークから野外堆積バークに至る段階ではあまり明りょうではなかったが、野外堆積バークから製品堆肥に至る段階では、このような腐植化過程に伴う特徴が明りょうに示されているといえる。しかし、アカマツバークを混

える HW-Bf₈ は新鮮バークから野外堆積バークに至る段階では、反対に $\Delta \log K_1$ の増大と Rf の減少が見られたことは予想外の事実であった。この点は腐植酸の吸収スペクトルに見られるように、アカマツバークに由来する腐植酸と同様の化学的反応を示す特有の成分の存在によるものと推定されるが、詳細は今後の検討にゆずりたい。

供試した製品堆肥8点の腐植酸の $\Delta \log K_1$ と Rf との間にはきわめて有意な負の直線相関が認められた。しかし、この直線相関式は Fig. 3 に示した A₀ 層を含めたわが国の主要な森林土壤の腐植酸¹¹⁾ の場合とは著しい相違を示し、Rf は比較的高いにもかかわらず $\Delta \log K_1$ は大きいことが注目された。この点は高温醗酵を伴った堆肥化過程における腐植の形態の変化の特徴を示しているのではないと思われる。

さらに、ヘムロックバーク堆肥¹³⁾では新鮮バークの R_f が著しく大きく、製品堆肥でもほとんど増大を示さず、 $\Delta \log K_1$ が増大を示していることなど、樹種に固有な成分の影響によると思われる特異性を示している点と比べると、広葉樹バークの場合は著しい相違を示しているといえる。しかし、広葉樹バーク堆肥の場合は、各試料間の $\Delta \log K_1$ および R_f の相違は、堆積期間や切返し回数などの製造工程や C/N 比などから予想される熟成の程度などの相違とは、必ずしも明りょうな関連性を示しているとはいえない難かった。

9. お わ り に

この報告は国産広葉樹バーク—鶏糞堆肥について、主原料の新鮮バーク、野外堆積バークおよび製品堆肥の化学的性質および組成、有機態 N および腐植の形態を検討し、第1報のヘムロックバーク堆肥と比較した結果をとりまとめたものである。

広葉樹の新鮮バークはヘムロックの新鮮バークと比べると、N, P_2O_5 , K_2O , CaO および MgO 含有率がかなり高く、野外堆積後は K_2O を除く各成分の含有率は増大を示し、pH も上昇して中性に近づいた点で著しい相違が見られた。

製品堆肥 13 点の化学的性質および組成はかなりの相違を示したが、副原料の配合比、堆積期間、切返し回数などの製造工程の相違などとの関連性について論議を行った。

有機態 N の形態については、新鮮バーク、野外貯蔵バーク、製品堆肥の順に、加水分解性 N およびアミノ酸態 N の減少が明りょうに認められ、アמיד態 N の増大も認められた。このような変化は有機物の分解に伴う有機態 N の変化の一般的な傾向とよく一致したが、その進行の程度はヘムロックバーク堆肥の場合ほど顕著ではなかった。

腐植の形態については、腐植酸およびフルボ酸の抽出率および C_h/C_f 比は新鮮および野外堆積バーク、製品堆肥のいずれの場合もヘムロックバークの場合より小さく、明りょうな相違が認められた。腐植酸の吸収スペクトルは少量のアカマツバークを混入している場合の新鮮および野外堆積バーク以外は、いずれも特別な吸収帯は認められなかった。製品堆肥の腐植酸の $\Delta \log K_1$ と R_f はきわめて有意な負の直線相関を示し、腐植化過程における一般的な傾向とよく一致したが、相関式は主要な森林土壌の腐植酸の場合とは著しい相違が見られ、 R_f の高い割には $\Delta \log K_1$ が高く特異性が見られた。また、これらの新鮮バークから製品堆肥に至る各段階の腐植酸の $\Delta \log K_1$ と R_f の関係、とくに R_f の価はヘムロックバーク堆肥の各段階における価とは著しい相違が見られたことは、それぞれ樹種の特性を反映しているものといえる。

引 用 文 献

- 1) ALLISON, F. E. and KLEIN, C. J. : Comparative rates of decomposition in soil of wood and bark particles of several soft wood species. Soil Sci. Soc. Amer. Proc., 25, 193~196, (1961)
- 2) ALLISON, F. E. and MURPHY, R. M. : Comparative rates of decomposition in soil of wood and bark particles of several hard wood species. Ibid. 26, 463~466, (1962)
- 3) ALLISON, F. E. and MURPHY, R. M. : Comparative decomposition in soil of wood and particles of several pines. Ibid., 27, 309~312, (1963)
- 4) ALLISON, F. E., MURPHY, R. M. and KLEIN, C. J. : Nitrogen requirements for the decomposi-

- tion of various kinds of finely ground wood in soil. *Soil Sci.*, 96, 187~190, (1963)
- 5) BOLLEN, W. B. and LU, K. C. : Effect of Douglas fir sawdust mulches and incorporations on soil microbial activities and plant growth. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 21, 35~41, (1957)
- 6) BREMNER, J. M. : Nitrogen transformation during the microbial decomposition of straw composted with inorganic nitrogen. *J. Agr. Sci.*, 45, 469~475, (1955)
- 7) 樋口太重・栗原 淳 : 有機物の形態と施肥窒素の行動に関する研究 (第 4 報) 木質資材の分解性と硫酸窒素の有機化, *日土肥誌*, 49, 482~490, (1978)
- 8) 広瀬春朗 : 各種植物遺体の有機態窒素の畑状態土壌における無機化について, *日土肥誌*, 44, 157~163, (1973)
- 9) 同 上 : 稲わらおよび稲わら堆肥の分解とアンモニア態窒素の有機化過程, 同 上, 44, 211~216, (1973)
- 10) 河田 弘 (KAWADA, H.) : 森林土壌の腐植に関する研究 (第 2 報) 褐色森林土の腐植の形態, *林試研報*, 270, 89~110, (1975) (*Studies on the humus forms of forest soil Part 2 Humus form of the brown forest soil*, *Bull. Gov. For. Exp. Stat.* 270, 89~110, 1975)
- 11) 同 上 (Ibid.) : 同 上 (第 4 報) 乾性および湿性ポドゾル, 暗赤色土, 泥炭土および泥炭の腐植の形態, 同 上, 284, 57~80, (1976) (Ibid. Part 4 Humus forms of the dry and wet podzols, dark red soil, peaty soil and peat. Ibid. 284, 57~80, 1976)
- 12) 同 上 (Ibid.) : 森林土壌の窒素の形態について, 同 上, 297, 105~131, (1977) (Nitrogen forms of representative Japanese forest soils. Ibid., 297, 105~131, 1977)
- 13) 同 上 (Ibid.) : 木質廃材堆肥に関する研究 (第 1 報) ヘムロックバーク堆肥について, 同 上, 301, 47~78, (1978) (*Studies on woody waste composts Part 1 On the hemlock bark composts*. *Bull. Forestry and For. Prod. Res. Inst.* 301, 47~78, 1978)
- 14) 同 上 (Ibid.) : 同 上 (第 2 報) 広葉樹オガクズ豚糞堆肥, 同 上, 305, 65~76, (1979) (Ibid. Part 2 Hardwood sawdust-hog excretion compost. Ibid. 305, 65~76, 1979)
- 15) KEENEY, D. R. and BREMNER, J. M. : Characterization of mineralizable nitrogen in soil. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 30, 714~719, (1966)
- 16) KUMADA, K. : Studies on the color of humic acid. Part 1 On the concepts of humic substances and humification. *Soil Sci. and Plant Nutr.*, 11, 151~156, (1965)
- 17) 熊田恭一・広瀬春朗・中野綱次郎・北洞信也 : 数種の有機質および無機質資材を混合した稲わらの腐植化過程, 植物遺体の腐植化過程に関する化学的研究 (第 1 報), *日土肥誌*, 43, 13~20, (1972)
- 18) 佐藤 俊 : 木質廃材の醗酵堆肥化に関する研究 (IV) 堆肥化に伴う窒素形態の変化, *日林講集*, 80 回, 154~155, (1969)

Studies on Woody Waste Composts Part 3

On the hardwood bark composts

Hiroshi KAWADA⁽¹⁾, Kyoji SHIRAI⁽²⁾, Akio AKAMA⁽³⁾ and Hisao SATO⁽⁴⁾

1. Introduction

At present, almost all of the woody waste composts on the market are the bark composts made of the barks of imported hemlock and domestic hardwoods. The information on the hemlock bark composts was reported in Part 1⁽³⁾. The authors wish to make clear the basic properties of domestic hardwood bark composts in this work.

In contrast to the limited numbers and distribution of hemlock bark compost factories at the importing ports, the production of hardwood bark compost is undertaken at many paper factories, pulp and chip factories as well as sawmills over the country. The dominant bark species, the ratios of auxiliary raw materials and the manufacturing processes were not similar in every factory. It is very important and the main object of this work to throw light on the effects of these factors which influence the quality of bark composts. The standardization of the properties and composition of the bark composts and the manufacturing process are very important.

The hardwood bark composts on the market and their corresponding fresh and piled barks were collected from factories. It was beneficial to get the composts of a wide range of manufacturing processes but on the other side, detailed information of the selected samples was unsatisfactory and the collection of the corresponding fresh and piled barks was incomplete.

2. The selected samples

The abbreviations of the selected samples were as follows: HW-Bf means fresh hardwood bark, HW-Bp piled hardwood bark in an open yard and HW-B-C-C hardwood bark-chicken droppings compost. The same figures were attached to the corresponding samples.

The main species of fresh barks and their piling periods are shown in Table 1.

Part of the selected factories used fresh bark and the rest used piled bark for the main raw material of the bark compost. The fresh bark was not fresh in the strict sense of the word. Though it was just debarked, the logs had been piled in a timber yard for a certain period. Each fresh bark listed in Table 1 was also mixed with a small quantity of a miscellaneous species of hardwood bark. Furthermore, HW-Bf₈ and ₁₂ were mixed with a small quantity of pine bark.

3. Brief description of the manufacturing process

The ratios of auxiliary raw materials and the manufacturing process, i. e. the periods of the thermophilic stage and the ripening and the frequency of turning, are shown in Table 2.

The barks of deciduous hardwood, such as *Fagus* spp. (beech), *Quercus* spp. (white oak), *Betula* spp. (birch) and *Carpinus* spp., were used in the northeast district and those of ever-

Received June 16, 1980

(1) (2) (3) (4) Forest Soil Division

green hardwood, such as *Quercus* spp. (live oak) and *Castanopsis* spp., in the southwest district of this country for the main raw materials. About half of the selected factories used fresh bark and the rest used piled bark for the main raw materials. The bark was blended with the air-dried chicken droppings and urea or ammonium sulfate in almost all of the selected factories, but it was blended with only a large quantity of fresh chicken droppings in the rest. The addition of the commercial inoculants prevailed at that time of sampling but nowadays it is out of use in the greater part of the factories.

The fresh or piled hardwood bark was hammer-milled, passed through a 10~20 mm sieve, blended with the auxiliary raw materials and the moisture content of the mixture was adjusted to about 60%. Then it was piled in a long windrow in a open yard or piled in a concrete pit and kept for several months, including the ripening period. Frequent turnings were undertaken during the thermophilic stage.

4. Analytical methods

The analytical methods were the same as those of Part 1¹³⁾.

5. Chemical properties and compositions of the selected fresh and piled hardwood barks (Result and discussion-1)

The chemical properties and compositions of the selected fresh and piled hardwood barks were expressed in Table 3.

Among the fresh barks, HW-Bf_{1, 2, 5 and 7} were deciduous hardwood bark and HW-Bf_{8 and 11} were the evergreen hardwood bark. HW-Bf₈ was mixed with pine bark which amounted to about 10%.

No distinguished difference was recognized among the fresh hardwood barks, but they were noticeably different from the fresh hemlock barks stated in Part 1¹³⁾.

The following facts on the fresh hardwood barks were worthy of note. Their high N contents of 0.50 to 0.65% decreased their C/N ratios to the lower levels from 73 to 98, more so than those of the hemlock bark¹³⁾. Their mineral contents, i. e. P₂O₅ (0.07~0.11%), K₂O (0.13~0.48%), CaO (2.1~3.3%), were also remarkably abundant compared with those of the hemlock bark. However, their MgO contents (0.10~0.20%) were similar to or a little higher than those of the latter. Their water soluble C, NH₄-N and NO₃-N contents and the ratios of water and 2.5% acetic acid soluble P₂O₅ to total P₂O₅ were low and they were similar to those of the latter. Their lower ratios of 2.5% acetic acid soluble P₂O₅ to total P₂O₅ suggested that the greater part of P₂O₅ was of the organic form. No clear difference was recognized on the pH values (4.8~5.0), CEC (42~51 me/100 g) and EC (0.4~0.5 m mho/cm, 25°C).

The abundant nutrient contents and low C/N ratio of the hardwood barks would be of benefit for the decomposition of organic matter and the composting process.

Comparing with the hardwood sawdust stated in Part 2¹⁴⁾, the barks were remarkably abundant in nitrogen and minerals except K₂O, low in pH value and remarkably large in CEC. Those facts indicated the general trend in the differences of chemical properties and composition between bark and sawdust.

The piling of hardwood bark in open yards induced the following transformations of their chemical properties and compositions: N, P₂O₅, CaO and MgO contents, the rates of 2.5% acetic acid soluble P₂O₅ to total P₂O₅ and CEC were noticeably increased but on the other side C/N

ratios and the ratios of water soluble C to total C clearly decreased. It is commonly recognized that K_2O is easily leachable from plant residues. The distinguished decrease of K_2O of HW-Bp₇ would be due to its very long piling period of 4~5 years. However, the increase of the K_2O content of HW-Bp₈ compared with its fresh bark was not ratiocinated. Their nitrogen and mineral contents except K_2O of HW-Bp₇ were remarkably higher and their C/N ratios were much lower than those of the piled hemlock bark¹³⁾. The remarkable differences between piled hardwood and hemlock barks reflect the above-mentioned differences of their fresh barks.

Their CEC (me/100 g) reached to 53~67, except for HW-Bp₇ which was piled for an extraordinarily long period, and those of the piled barks of less than 2 years were 53~60.

Their pH values were nearer to neutral but they were quite different from those of the piled hemlock bark which was still acidic at pH 5.0 after three years. It would be due to their abundant base contents and the better microbial decomposing process of organic matter under more abundant nutrients, such as N, P_2O_5 , K_2O , etc.

6. Chemical properties and compositions of the selected hardwood bark composts (Result and discussion-2)

The chemical properties and compositions of the selected hardwood bark composts were expressed in Table 4.

The distinguished differences among the selected bark composts due to their ratios of auxiliary raw materials and the manufacturing process were recognized. However, the chemical compositions of some of the composts were quite in disagreement with those estimated from the main raw materials, fresh or piled bark and the ratios of auxiliary raw materials, but the authors could not clarify the causes.

Comparing with the chemical properties and compositions of the hemlock bark composts stated in Part 1¹³⁾, the differences described hereunder were recognized.

The hue of the hardwood composts was brownish-black~dark brown and the greater part of them was 7.5 YR 3/2~2/3 and the rest were 7.5 YR 2/2, 3/3 and 3/4 and 10 YR 3/3 of the Munsell color chart. On the contrary that of the hemlock bark composts was dark reddish brown, 2.5~5 YR 2/3.

The carbon contents for the most part of the selected hardwood bark composts were 45~50% but a few of them were about 40%. The low C content of the compost suggested the admixture of soil particles because of its low N and mineral contents.

Nitrogen contents were in a wide range from 0.8~2.4% and the C/N ratios were widely different from 19 to 63. On the rough assumption that the moisture contents of fresh and piled bark was 50%, their N contents 0.5 and 0.6%, respectively, the C content of chicken droppings 40%, their N content 5%, the moisture content of the air-dried ones 20% and that of the fresh ones 75% and an added amount of N from urea or ammonium sulfate, the roughly estimated C/N ratios of the barks blended with auxiliary raw materials stated in Table 2 at the very beginning of composting process would be about 30~40. If these estimations were true of HW-B-C-C_{10, 11 and 12}, the causes of their C/N ratios being very high in the range from 45 to 63 could not be elucidated. In the authors' opinion, their low P_2O_5 , K_2O and CaO contents suggested that there were some errors in blending with the auxiliary raw materials. The N contents of HW-B-C-C_{1, 2 and 3} were over 2% and their C/N ratios were about 20. Their extraordinarily low C/N ratios were worthy of note. The longer period of the thermophilic stage

and the much longer one of ripening in relation to the rest were something in common. In the authors' opinion their more advanced decomposing process of the organic matter in longer ripening period as compared to those of the rest brought their low C/N ratios and high contents of P_2O_5 , K_2O and CaO described hereunder would support these ratiocinations.

The water soluble C contents were very low in every selected bark compost.

In the inorganic N, NH_4-N were very low and their maximum value reached only 115 ppm, and NO_3-N were similar to the NH_4-N level except for the high levels of HW-B-C- C_2 and C_8 which were 511 and 366 ppm, respectively. The very low NO_3-N level of the greater part of the selected bark composts was distinguished from that of the hemlock bark composts¹³⁾ and it will be discussed hereunder in (6) in detail. The differences of P_2O_5 among the selected composts were noticeable. Extraordinarily low P_2O_5 contents of HW-B-C- $C_{10, 11}$ and C_{12} were due to the same causes as their low N contents as above-mentioned. The high P_2O_5 content of HW-B-C- C_{13} (1.36%) was explained by the blend of abundant fresh chicken droppings, about the equivalent of 95 kg in dry chicken droppings per 1 ton of bark. That of HW-B-C- C_5 (1.48%) would be due to its high P_2O_5 content of HW-Bp $_5$ and the additional blend of calcium superphosphate. However, high P_2O_5 contents of HW-B-C- C_2 and C_8 (1.88 and 1.47%, respectively) were difficult to ratiocinate because of the same causes as their high N contents, i. e. the loss of large quantities of organic matter during their long ripening periods as above-mentioned, was assumed, but the abundant losses of N were also necessary to explain their narrow N : P_2O_5 ratios.

As the water soluble and 2.5% acetic acid soluble P_2O_5 were separately determined, the latter includes the water soluble one. The ratios of the 2.5% acetic acid soluble P_2O_5 to the total were 45~80% in the selected composts and they increased according to the increment of total P_2O_5 contents.

The lower K_2O , Na_2O , CaO and MgO contents of HW-B-C- $C_{10, 11}$ and C_{12} as compared to those of the rest were due to the same causes as above-mentioned on their low N contents. The low K_2O content of HW-B-C- C_7 (0.26%) seemed to be affected by the low K_2O content of HW-Bp $_7$. As K_2O is easily leached out of the plant residues, so the leaching of K_2O would be accelerated by its extraordinarily long piling period. The higher contents of these elements of HW-B-C- C_{1-4} as compared with those of the rest, especially the extraordinarily high CaO contents of HW-B-C- C_2 and C_8 (7 and 8%, respectively), were difficult to ratiocinate as well as their above-mentioned P_2O_5 contents.

The range of Cl contents were from 260 to 1,670 ppm. The Cl content of the bark compost is mainly due to that of the chicken droppings. The low Cl contents of HW-B-C- $C_{10, 11}$ and C_{12} would be explained by the blend of less chicken droppings than the other composts and likewise the lower contents of the other elements. However, on the other side, the low Cl contents of some of the rest were also recognized, i. e. HW-B-C- C_5 , C_6 and C_{12} . Though Cl is one of the easily leachable elements, its rate of leaching is affected by the thickness of the compost pile¹³⁾. So it is difficult to elucidate the exact causes of the above-mentioned differences among the selected composts.

The CEC (me/100 g) of the selected bark composts ranged from 60 to 103. Compared with the above-mentioned compost of fresh and piled barks, the increase of CEC according to the composting process was recognized as a general trend. Among the selected composts, CEC of HW-B-C- C_{1-3} which were piled for longer periods and lower in C/N ratio than the rest reached 88~103. On the other side HW-B-C- C_{12} seemed to be immature and was only 60.

Those of the rest ranged from 69 to 94. Though HW-B-C-C₁₀ and ₁₂ seemed to be immature as HW-B-C-C₁₂, their CEC reached 78 and 82, respectively. So the exact cause of less CEC for HW-B-C-C₁₂ was not elucidated. Moreover, the correlations between C/N ratio and CEC of the selected bark composts were not recognized as a general trend.

The pH values of HW-B-C-C₁₋₇ blended with urea as an N source were from 7.10 to 8.10 and on the contrary those of HW-B-C-C₉₋₁₂ blended with ammonium sulfate which were from 6.40 to 7.25. The blend of physiologically acidic fertilizer, ammonium sulfate, showed a trend to lower the pH value of the bark composts. The lowest pH value of HW-B-C-C₈, i. e. 5.90, would be induced by the additional blend of physically acidic calcium superphosphate and an admixture of a small quantity of pine bark.

The EC values of the selected bark composts were less than 1.5 m mho/cm (25°C) except HW-B-C-C₈ which was 3.0.

The chemical properties and compositions of the hardwood bark composts were widely different as above-mentioned. Comparing with those of the hemlock bark composts, the above-mentioned distinguished differences between the fresh and piled bark of hardwood and hemlock were lessened by the blend of auxiliary raw materials, but the remarkably low contents of NO₃-N, high pH values, high Ca contents, low Cl contents and low EC values of the hardwood bark composts were noticeable. Among them the remarkably low content of NO₃-N attracted the authors' attention and they were closely related to the assimilation of urea- or ammonium sulfate-N by microorganisms and the mineralization of organic N during the composting process. The authors wish to discuss this problem in detail in the following chapter (7).

Other above-mentioned differences seemed to be reflected from those of the fresh and piled barks of hardwood and hemlock.

7. Organic N forms of the selected fresh and piled hardwood barks and hardwood bark composts (Result and discussion-3)

The organic N forms of the selected fresh and piled hardwood barks and hardwood bark composts were stated in Table 6.

Comparing with those of the hemlock barks and their composts, the distinguished differences described hereunder were recognized.

The hydrolyzable-N of the fresh hardwood barks ranged from 81 to 87% of the total N. Among the fractions of the hydrolyzable-N, amino acid-N was most abundant and 41~45% of the total N, unidentified-N ranked next, amide-N followed and amino sugar-N was scarce. The organic N forms of the fresh hardwood barks were similar to those of the fresh hemlock bark.

Though the gradual decrease of hydrolyzable-N and amino acid-N and slight increase of amide-N and amino sugar-N were recognized on a part of the piled hardwood barks in the open yard in comparison with those of the fresh hardwood barks, those transformations of N forms were not so distinguished as a whole.

The reports of BREMNER⁶⁾ and some Japanese researcher suggested the assimilation and conversion of the added inorganic N into organic N by microorganisms during the early stage of the composting process. The authors presumed that the similar transformation of the added urea- or ammonium sulfate-N would be done at the early stage of the composting process of the bark. The synthesized organic N, N of the fresh or piled bark and chicken droppings

were successively transformed during the composting process. The decrease of hydrolyzable-N and amino acid-N and increase of amide-N of the composted barks compared with those of the fresh or piled barks and chicken droppings were recognized. Furthermore, unidentified-N also decreased and the changes of amino sugar-N were vague. Those trends were similar to those of the hemlock bark composts described in Part 1¹³⁾, but the degree of transformation of each fraction was less than that of the hemlock bark composts. They well agreed with the transformation of the N form in the composting process of wheat straw after BREMNER⁶⁾ and with the decomposing process of the A₀ layers of the forest soils, after one of the authors¹²⁾. KEENEY et al.¹⁶⁾ also pointed out that the mineralization of soil organic N was done in the each fraction of organic N, but amino acid-N was most rapidly mineralized.

Summarizing the above-mentioned results, the decrease of hydrolyzable-N and amino acid-N and increase of amide-N characterize the transformation of organic N forms in the decomposing or composting process of the organic matter as a general trend. However, the transformation of each fraction of organic N did not seem to proceed at the same tempo in all cases. For examples, HW-B-C-C₁₀ and ₁₂ which were immature as expressed in their large C/N ratios gave a fair decrease of hydrolyzable-N but only a gradual decrease of amino acid-N. On the other side HW-B-C-C₁ and ₂ which were especially low in C/N ratios and seemed to be at the advanced stage of the composting process showed the remarkable decrease of hydrolyzable-N and amino acid-N but their changes of amide-N were vague in comparison with those of the rest. Furthermore, the decrease of amino acid-N and the increase of amide-N were distinguished but the changes of hydrolyzable-N were vague in the composting process of hardwood sawdust-hog excretion compost described in Part 2¹⁴⁾.

It is well known that the C/N ratio of the plant residue strongly affects its mineralization of organic N at its decomposing process. The mineralization of the organic N of plant residues incorporated in soil negatively correlates to their C/N ratios. As a general trend, the period of uptaking the mineral N of the soil by soil microorganisms is more prolonged at the early stage of the decomposing process of organic matter and the mineralization of organic N proceeds more slowly at the successive stages according to the increase of their C/N ratio and vice versa.

However, it is also true that the mineralization of organic N is affected by not only the C/N ratio but also the composition of the organic matter. The effect of the composition of the organic matter on its decomposing process is a very important factor for woody wastes, such as bark and sawdust. For examples, BOLLEN et al.⁵⁾ pointed out the following facts: The decomposition of pea residues, low in C/N ratio, were not accelerated by the addition of inorganic N but it remarkably hastened the decomposition of herbaceous residues, high in C/N ratio such as straws, etc. On the contrary, the addition of N was not effective on the decomposition of Douglas-fir sawdust incorporated into soil with an extraordinarily high C/N ratio. Its abundant incorporation into soil brought no N deficiency and brought an increase of yield for a certain crop. They explained these results by the high contents of lignin and lignin-cellulose complex of Douglas-fir sawdust which is very resistant to microbial attack. ALLISON et al.¹⁷⁻¹⁹⁾ also examined the decomposing process of woods and barks of softwoods, including pines, and hardwoods and they summarized the following result as a general trend: The much lower decomposition rates and requirements of N for decomposition of woods and barks of softwoods than those of the hardwoods were recognized. The addition of inorganic N did not accelerate the decomposition rates of the wood and bark of softwoods but it increased the decomposition

rates of the wood and bark of hardwoods, especially the wood. The authors could not get the correlation between the C/N ratio and the decomposition rate or the N requirement on their data. Some Japanese researchers also found a similar trend in the decomposition of the wood of soft- and hardwoods.

Summarizing the above-mentioned previous results, the authors drew the following opinion :

The decomposition rates of plant residue are affected by their ratios of C to N which are easily available for microorganisms, but not by the ratios of C to N of whole organic matter. On the plant residues, such as barks and woods abundant in uneasily decomposable carbonaceous compounds by microorganisms, the C/N ratios of whole organic matter are not able to be the index of the decomposition rate and the mineralization of their organic N.

The authors did not examine the organic matter composition but the higher contents of easily decomposable carbohydrates, such as hemicellulose, cellulose, etc., are to be found in the hardwood barks rather than in the softwood barks as assumed from the general trend of wood chemical composition. So the assumption that the C/N ratios of the easily available organic matter of softwood barks are less than those of hardwood barks would be possible. The more rapid and advanced mineralization of the organic N of hemlock bark composts as compared to those of hardwood bark composts and the above-mentioned remarkably more abundant $\text{NO}_3\text{-N}$ content of the former than that of the latter would be easily realizable.

From the above-mentioned results, though the opinion that the $\text{NO}_3\text{-N}$ content of the bark composts would be an index of the proceeding of the composting process is adaptable to the hemlock bark composts, it is difficult to apply it to that of hardwood bark composts.

8. The humus forms of the selected fresh and piled hardwood barks and hardwood bark composts (Result and discussion-4)

The humus forms of some of the selected fresh and piled hardwood barks and hardwood bark composts were expressed in Table 6 and Fig. 1~3.

On the humus compositions the following results were obtained :

The extraction rates of humic and fulvic acids were low and they were only 10 and several per cent in total. The extraction rate of each fraction of the piled barks decreased in comparison with that of the corresponding fresh barks but they increased in the corresponding bark composts. The C_h/C_f ratio increased in the order of fresh barks→piled barks→bark compost. The above-mentioned changes of the extraction rates of humic and fulvic acids and the C_h/C_f ratios of the hardwood barks expressed a similar trend to those of the hemlock barks but the degrees of change of the former were remarkably less than those of the latter. Furthermore, the extraction rates of humic and fulvic acids and the C_h/C_f ratios of the hardwood bark composts seemed to be unaffected by their C/N ratios and the manufacturing process, composting period, frequency of turning, etc.

On the absorption spectra of humic acid the following results were obtained :

The absorption spectrum of HW-Bf₈ expressed the shoulders at 500, 420, 360 and 280 nm. The other fresh hardwood barks expressed no absorption band except the shoulder at 280 nm that would be due to lignin in HW-Bf₇. The other shoulders at 500, 420 and 360 nm were due to the components of pine barks mixed in HW-Bf₈ in a small quantity.

On the piled barks, HW-Bp₈ still expressed weak shoulders at 360 and 280 nm but those at 500 and 420 nm disappeared.

No absorption band was recognized on all of the bark composts.

The shoulders of the absorption spectrum of humic acid of the hemlock bark, i. e. 560, 500, 420 and 280 nm, as stated in Part 1¹³⁾ and their changes in piled barks and bark composts were quite different with those of the hardwood barks. Those differences expressed the characteristics inherent to bark spp.

All of the humic acids of fresh and piled barks and bark composts of hardwood were classified to the R_p type of humic acid and they were judged to be immature compared with the humic acids of the representative forest soils¹¹⁾.

Comparing the humic acids of piled barks with those of the fresh barks, the differences of $\Delta \log K_1$ ($\log K_{400} - \log K_{600}$) were vague in HW-Bp₅ nad 7 but $\Delta \log K_2$ ($\log K_{650} - \log K_{850}$) and the Rf increased in all of the piled barks. The decrease of $\Delta \log K_1$ and $\Delta \log K_2$ and the increase of the Rf of the bark composts were distinguished in comparison with those of the piled barks. It is generally accepted that the advance of the humifying process is expressed by the decrease of $\Delta \log K_1$ and the increase of the Rf of humic acid¹⁰⁾¹⁶⁾, especially by the latter¹⁰⁾. Those transformations were not so clearly recognized in the stages from fresh to piled barks but they were distinguished in those from piled barks to bark composts. However, the opposite trend, i. e. the increase of $\Delta \log K_1$ and the decrease of the Rf of humic acid from fresh to piled barks in HW-Bp₈, mixed with a small quantity of pine bark, were an unexpected result. It would be due to the existence of peculiar components in pine bark which chemically react similar to humic acids. However, this detail was left for a future study.

The very significant negative linear correlation was recognized between $\Delta \log K_1$ and the Rf of humic acids of the examined hardwood bark composts. It is very interesting that the regression curve is quite different from that of the representative forest soils including A₀ layers¹¹⁾. The relatively high Rf but high $\Delta \log K_1$ of the humic acids of hardwood bark composts were quite unique. Perhaps it may characterize the humifying process accompanying the thermophilic fermentation.

Considering the characteristics of the optical properties of the humic acids of hemlock barks and their composts stated in Part 1¹³⁾, i. e. the high Rf of their fresh barks and no clear change of the Rf and the increase of $\Delta \log K_1$ in their composting process which suggested the existence of peculiar components, the optical properties of the humic acids of the hardwood barks and their composts are quite different from those of the hemlock bark and their composts. However, the difference of $\Delta \log K_1$ and the Rf among the examined hardwood bark composts seemed to express no clear correlation with their maturity estimated with their manufacturing process, i. e. composting period, frequency of turning, etc., and the C/N ratios.