

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

河 田 弘⁽¹⁾

Hiroshi KAWADA: Studies on the Humus Form
of Forest Soil Part 2. Humus form of the
brown forest soil

要 旨: 筆者は第1報³⁾の分析方法の提案に引きつづいて、今回は褐色森林土に属する BA, BB, Bd(d) および Bd 型土壌の計 16 断面の腐植の形態についてとりまとめた。

褐色森林土の各土壌型間の腐植の形態の相違は、組成よりもむしろ腐植酸の光学的性質に明りょうに示された。

熊田の分類^{6) 7)}に準じて区分した各土壌の腐植酸の型は、BA 型土壌は主として P₀、一部 R_P 型、BB 型土壌は主として P_±、その他 R_P± とわずかに R_P 型、Bd(d) および Bd 型土壌は主として P_±~P_{III} 型、わずかに P₀ および R_P± 型であった。

同じ土壌型に属する土壌でも、化学的性質や成熟度などの相違によって、結合腐植酸の状態、その他の腐植の組成に、また、腐植酸の $\Delta \log K_1$, $\Delta \log K_2$ および R_f などの光学的性質はかなりの相違が見られる場合もあった。

腐植化過程を示す指標と考えられる $\Delta \log K_1$ と R_f は、BA 型土壌では有意な直線回帰は見られなかったが、BB および、Bd(d) および Bd 型土壌ではそれぞれきわめて有意な負の直線回帰が認められた。この両土壌型における回帰式は明りょうな相違が見られ、腐植化過程の質的な相違を示唆するものと思われた。

1. は じ め に

筆者は第1報³⁾で提案した腐植の形態の分析方法を用いて、新しい見地からわが国の主要な森林土壌の腐植の形態の解析を進めているが、今回はわが国の森林土壌中もっとも分布が広く、主要な地位を占める褐色森林土について、BA, BB, Bd(d) および Bd 型土壌の計 16 断面の結果を報告する。

筆者²⁾は先に山腹斜面における褐色森林土の各土壌型を、その生成に関与する環境因子の面から、Bc 型土壌を除く BA~BF 型土壌と Bc 型土壌（地形的因子によって Bc-I および Bc-II 型に細分）の2つの系列に区分し、それぞれの系列における各土壌型の化学的性質と腐植の形態は、水分環境の相違に対応して、それぞれ規則性のある変化を示し、乾性土壌と適潤~湿性土壌間の相違は後者の各土壌型間の相違よりいちじるしく大きく、また、BA 型土壌の腐植の形態は、同様に乾性土壌に属する BB 型土壌とはかなりの相違を示すことを明らかにした。

今回は以上の結果を考慮に入れて、褐色森林土の生成に関与する環境諸因子中もっとも重要と考えられる土壌の水分環境の影響に着目して、乾性および適潤性土壌の比較と、乾性土壌に属する BA および BB 型土壌の比較に重点を置いて再検討を加えることにした。とくに前者については、土壌の化学的性質、成

熟過程の相違などもあわせて検討することを意図して、試料の選択を行なった。

2. 供 試 試 料

今回供試した試料は次に示すように関西地方の各地で採取した。

川本 P4 および P6……島根県邑智郡邑智町川本営林署管内今山国有林

同 P9 および P14……同上艾（モグサ）山国有林

福山 pn-P2 および pn-P3……広島県新市市福山営林署管内元重山国有林

同 G-P11 および G-P7……同上芦品郡清六山および岳山国有林

西条 P9, P8 および P6……同賀茂郡西条営林署管内仏通寺および用倉国有林

生島 P2……兵庫県赤穂市生島, 市有林

熊野……和歌山県東牟婁郡熊野川町, 浦木林業社有林

日置川……同上西牟婁郡日置川町, 私所有林

三戸山 P1 および P3……三重県北牟婁郡長島町三井物産林業社有林

試料採取個所の立地条件は Table 1 に示すとおりである。

これらの供試土壌中、特異な性格を有する西条 P8 Ba 型土壌の概要は次のとおりであった。

この土壌は山腹斜面下部に出現する Ba 型土壌で、Ba 型土壌の出現地形としてはきわめて特異例に属する。

西条地区はわが国でとくに降水量の少ない瀬戸内海沿岸部に位置し、年平均降水量約 1,000 mm、年平均気温 15°C で、温暖で雨量は少ない。この地区一帯の森林は、主としてアカマツ林によって占められている。この地区では山腹斜面の中腹～上部、および尾根筋には典型的な Ba 型土壌が分布していたが、斜面下部～沢沿いにかけても、菌糸網層 (Am) ないし細粒状構造が発達した、典型的な形態的特徴を有する Ba 型土壌が出現する場合が多い。このほか同様の地形には Bd(d) 型土壌の分布も見られたが、他の地方で同様の地形に一般に出現する Bd ないし Be 型土壌は見られなかった。これらの点は、温暖で降水量の少ない乾性の気候的因子によるもので、同時にアカマツの根系に発達する外生菌根の影響も、Ba 型土壌の生成を助長しているものと思われる。

後述 (4, Table 2 参照) のように、西条 P8 は強酸性を呈し、塩基の飽和度が低く、C/N 比もきわめて大きくて、他の典型的な Ba 型土壌と同様の化学的性質の特徴を示していた。

そのほか、西条 P6 Bd(d) 型土壌、福山 G-P7 Bd 型土壌、福山 pn-P2 Bb 型土壌は、いずれも同様に瀬戸内海沿岸部に位置するが、A および B 層の発達が悪く、後述 (4, Table 2 参照) のように、腐植の含有率も低く、未熟土的な性格を多分に有する土壌であった。

3. 分 析 方 法

腐植の形態は第 1 報³⁾で提案した方法を用いた。

土壌の化学分析法は次のとおりである。

C および N は一部の試料は C-N コーダー MT500 (柳本製作所) による乾式燃焼法、他は $K_2Cr_2O_7$ による酸化滴定法¹⁾ および KJELDAHL 法を用いた。CEC (塩基置換容量) は PEECH 法、置換性 Ca および Mg は EDTA 法、pH はガラス電極 (1:2.5 けん濁液) を用いた。

Table 1. 試料採取個所の立地条件
Site conditions of sampling plot

試料名 Sample name	土壌型 Type of soil	母材 Parent material	標高 Altitude (m)	方位 Direction	傾斜 Inclination	地形 Topography	植生 Vegetation
川本 Kawamoto P ₄	B _B	Granite	500	S 30°W	30°	Upper part of mountain slope	Hinoki (<i>Chamaecyparis obtusa</i>) forest
同上 Ibid. P ₆	B _D		460	N 60°W	12°	Lower part of mountain slope	
同上 Ibid. P ₉	B _B	Quartz porphyry	400	S E	30°	Ridge of mountain	
同上 Ibid. P ₁₄	B _D		200	S 20°E	30°	Lower part of mountain slope	
福山 Fukuyama pn-P ₂	(Im)-B _B	palaeozoic clay slate	440	S 40°E	15°	Gentle slope of mountain top	
同上 Ibid. pn-P ₃	B _D		460	S 20°W	25°	Lower part of mountain slope	
同上 Ibid. G-11	B _A	Granite	500	S 60°W	25°	Ridge of mountain	Akamatsu (<i>Pinus densiflora</i>) forest
同上 Ibid. G-7	(Im)-B _D		450	N 20°E	25°	Lower part of mountain slope	
西条 Saijō P ₉	B _A	Quartz porphyry	480	N 20°W	18°	Ridge of mountain	
同上 Ibid. P ₈	B _A		420	N 40°W	15°	Lower part of mountain slope	
同上 Ibid. P ₆	(Im)-B _D (d)	Granite	340	S 30°W	15°	Lower part of mountain slope	
生島 Ikishima P ₂	B _D	Rhyolite	15	N 30°W	25°	Middle of hill slope	Warm-temperate broad-leaved evergreen forest
熊野 Kumano	B _D	Granite porphyry	220	E	30°	Middle of hill slope	Hinoki (<i>Chamaecyparis obtusa</i>) forest
日置川 Hikigawa	B _D	tertiary sandstone	40	S	25°	Lower part of mountain slope	Kuromatsu (<i>Pinus thunbergii</i>) forest
三戸山 Mitoyama P ₁	B _B	mesozoic shale	300	N 20°E	30°	Ridge of mountain	Sugi (<i>Cryptomeria japonica</i>) forest
同上 Ibid. P ₃	B _D		180	S 20°W	10°	Lower part of mountain slope	

注 Remarks):

BA-soil: Dry brown forest soil (steep slope type)

BB-soil: Ibid. (gentle slope type)

(Im)-BB-soil: Immature BB-soil.

(Im)-B_D(d)-soil: Immature B_D(d)-soil.B_D(d)-soil: Subtype of B_D-soil that has well developed granular or nutty structures in A or A₁ horizons.B_D-soil: Moderately moist brown forest soil.(Im)-B_D-soil: Immature B_D-soil.

今回供試した各土壌の化学的性質は Table 2 に示すとおりであった。

福山 pn-P3 Bb 型土壤は、下層まで置換性 Ca および Mg の飽和度がすこぶる高いことが注目された。各土層の Ca 飽和度は 59~65%, Ca+Mg 飽和度は 75~80% に達し、pH も 6.40~6.80 を示した。これらの値はわが国の森林土壤としては、数少ない、むしろ例外的に塩基に富む土壤と見なしてよいであろう。

その他の供試した B_d 型土壌の中には、かなり酸性が強く、塩基飽和度が異常に低いものが含まれていた。生島、熊野、日置川などの各土壌がこれに該当し、川本 P6 もこれに近いといえる。また、これらの B_d 型土壌では、熊野以外は表層土の C/N 比は 20~22 を示し、B_d 型土壌としてはかなり高い値を示した。また、福山 G-P7 および西条 P6 の未熟土的な B_d および B_d(d) 型土壌も、表層土の C/N 比は同様の傾向を示した。これらの原因の究明は今後にゆずることにしたい。

試料名 Sample name	土壌型 Type of soil	層位 Horizon	厚さ Thickness (cm)	C %	N %	C/N	CEC	Exch.		飽和度 Rate of saturation		pH (H ₂ O)
								CaO	MgO	CaO	MgO	
川本 Kawamoto P ₄	B _B	(H)-A B ₁ B ₂	4 26 20+	11.2 3.17 2.27	0.36 0.10 0.09	31.1 31.7 25.2	28.7 10.3 5.08	0.76 0.24 0.13	1.01 0.29 0.31	2.6 2.3 2.6	3.5 2.8 6.1	4.20 4.75 4.90
同上 Ibid. P ₆	B _D	A ₁ A ₂ A-B B	6 12 20 20+	9.14 6.98 5.02 1.79	0.42 0.34 0.26 0.12	21.8 20.5 19.3 14.9	25.1 21.9 17.4 8.80	2.82 1.65 1.76 0.70	1.08 0.60 0.59 0.46	11.2 7.5 10.1 8.0	4.3 2.7 3.4 5.2	5.00 5.05 5.55 5.70
同上 Ibid. P ₉	B _B	A B ₁ B ₂	12 17 40	6.60 3.83 1.94	0.26 0.16 0.08	25.4 23.9 24.3	20.6 13.8 8.40	1.44 0.70 0.65	0.58 0.16 0.16	7.0 5.1 7.7	2.8 1.2 1.9	4.35 4.80 5.05
同上 Ibid. P ₁₄	B _D	A ₁ A ₂ A-B B	18 20 22 20+	3.58 1.88 1.49 0.98	0.30 0.18 0.14 0.07	11.9 10.4 10.6 14.0	16.5 12.1 10.9 9.04	5.27 4.87 3.15 2.22	1.53 1.51 1.08 0.79	31.9 40.2 28.9 24.6	9.3 12.5 9.9 8.7	5.30 5.65 5.60 5.60
福山 Fukuyama pn-P ₂	(Im) -B _B	A B C	6 24 10+	2.80 0.88 —	0.10 0.05 —	28.0 17.6 —	20.0 16.2 —	0.31 0.38 —	0.44 0.44 —	1.6 2.3 —	2.2 2.7 —	4.25 4.80 —
同上 Ibid. pn-P ₃	B _D	A ₁ A ₂ B ₁ B ₂	18 12 20 20+	5.71 2.63 1.42 1.24	0.39 0.22 0.13 0.12	14.6 12.0 10.9 10.3	37.2 31.1 29.5 29.8	24.5 19.4 17.5 18.2	5.08 4.13 4.62 5.57	65.3 62.4 59.3 61.1	13.7 13.3 15.7 18.7	6.40 6.50 6.65 6.80
同上 Ibid. G-P ₁₁	B _A	Am B ₁ B ₂	6 14 30	4.25 1.55 1.12	0.08 0.04 0.04	53.1 38.7 28.0	16.3 11.3 9.89	1.00 1.42 1.61	0.04 0.04 0.10	6.1 12.6 16.3	0.2 0.4 1.0	4.40 4.90 5.00
同上 Ibid. G-P ₇	(Im) -B _D	A B ₁ B ₂ C	8 20 25+	3.50 0.86 0.29	0.17 0.06 0.02	20.5 14.3 14.5	13.9 8.32 7.12	4.62 1.45 1.31	1.12 0.23 0.29	33.2 17.4 18.4	8.1 2.8 4.1	5.40 5.15 5.40

試料名 Sample name	土壌型 Type of soil	層位 Horizon	厚さ Thickness (cm)	C %	N %	C/N	CEC (m. e./100 g)	Exch.		飽和度 Rate of saturation %		pH (H ₂ O)
								CaO	MgO			
								(m. e./100 g)		CaO	MgO	
西条 Saijō P9	BA	Am	3	6.09	0.18	33.8	17.0	1.15	0.53	6.8	3.1	3.85
		B ₁	16	1.62	0.06	27.0	7.22	0.20	0.20	2.8	2.8	3.90
		B ₂	30+	0.76	0.03	25.3	5.98	0.17	0.14	2.8	2.3	4.25
同上 Ibid. P8	BA	Am	5	5.69	0.15	37.9	18.3	0.46	0.26	2.5	1.4	3.90
		B ₁	16	2.02	0.07	28.9	8.71	0.20	0.11	2.3	1.3	4.30
		B ₂	30+	1.75	0.06	29.2	8.27	0.21	0.19	2.5	2.3	4.40
同上 Ibid. P6	(Im)-B _d (d)	A	3	2.24	0.10	24.4	5.58	1.12	0.29	20.1	5.2	4.70
		B ₁	17	1.07	0.05	21.4	4.24	0.90	0.15	21.2	3.5	5.05
		B ₂ -C	20+	0.57	0.02	28.5	3.88	0.57	0.22	14.7	5.7	5.05
生島 Ikishima P2	B _d	A ₁	18	5.79	0.29	20.0	17.2	0.37	0.24	2.2	1.4	3.95
		A ₂	20	2.41	0.12	20.1	15.4	0.20	0.08	1.3	0.5	4.10
		B ₁	22	0.86	0.04	21.5	9.02	0.12	0.15	1.3	1.7	4.10
		B ₂	20+	0.46	0.03	15.3	7.97	0.13	0.17	1.6	2.1	4.15
熊野 Kumano	B _d	A ₁	12	5.78	0.40	14.5	24.8	2.08	0.51	8.4	2.1	4.10
		A ₂	30	3.58	0.27	13.3	19.8	1.79	0.45	9.0	2.3	4.70
		B	30+	2.79	0.21	13.3	17.7	2.16	0.17	12.0	1.0	4.95
日置川 Hikigawa	B _d	A	20	4.27	0.20	21.4	15.4	1.26	0.66	8.2	4.3	4.30
		B	30	1.56	0.08	19.5	14.3	0.38	0.17	2.7	1.2	4.30
三戸山 Mitoyama P1	B _b	H	3	32.0	1.11	28.8	—	—	—	—	—	4.00
		H-A	7	22.1	0.80	27.6	63.2	1.85	0.97	2.9	1.5	4.20
		B ₁	27	3.87	0.22	17.6	28.1	0.31	0.33	1.1	1.2	4.45
		B ₂	19	1.78	0.06	29.7	18.5	0.24	0.29	1.3	1.6	4.65
同上 Ibid. P3	B _d	A ₁	5	6.86	0.53	12.9	30.7	11.8	2.19	38.4	7.1	5.80
		A ₂	15	4.89	0.44	11.1	22.6	1.19	0.56	5.3	2.5	5.25
		B ₁	28	3.02	0.23	13.1	17.5	0.30	0.32	1.7	1.8	4.70
		B ₂	20+	1.23	0.13	9.5	12.8	0.45	0.42	3.5	3.3	5.15

5. 腐植酸の分類

腐植酸の分類については、すでに熊田の分類方法⁶⁾⁷⁾が提案されている。

筆者の分析方法は抽出条件、各フラクションの定量方法、およびこれに関連して Rf の表示方法が熊田法と異なる。さらに、筆者の 30°C 抽出と熊田法の加熱抽出を比べると、腐植酸の吸収スペクトルの形状は近似しているが、615, 570 および 450 mμ 付近に吸収帯が出現する場合は、30°C 抽出の方がさらに明りように示された。 $\Delta \log K_1$ ($\log K_{400} - \log K_{600}$) および Rf は近似的な値を示す場合も多いが、かなりの相違が見られる場合も少なくないことなどは、すでに第1報³⁾で明らかにしたとおりである。

したがって、今回の筆者の腐植酸の分類に熊田法を適用することは、なお問題が残されていると思われるが、すでに報告されている熊田法を用いた従来の研究成績との対比を考慮に入れて、同法に準じて区分することにした。

Rf については、大羽⁸⁾にしたがって、熊田法の 0.1 N KMnO₄ 消費量 1 ml が carbon 0.4 mg に相当するものとして換算し、熊田法の Rf 40 が筆者の Rf 0.300 に相当するものとして扱った。

分類方法は次のとおりであるが、上述の Rf の読みかえ以外は熊田の方法⁶⁾⁷⁾を引用したものである。

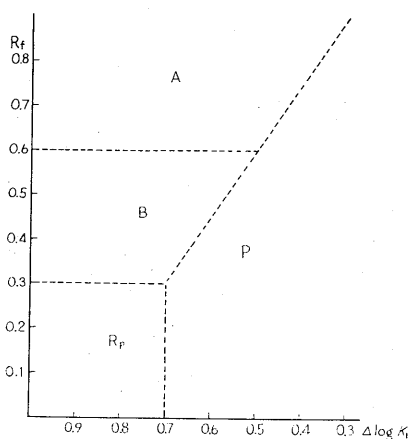


Fig. 1 腐植酸の区分 (熊田ら⁶⁷⁾による)
Classification diagram of humic acid (after KUMADA *et al.*⁶⁷⁾)

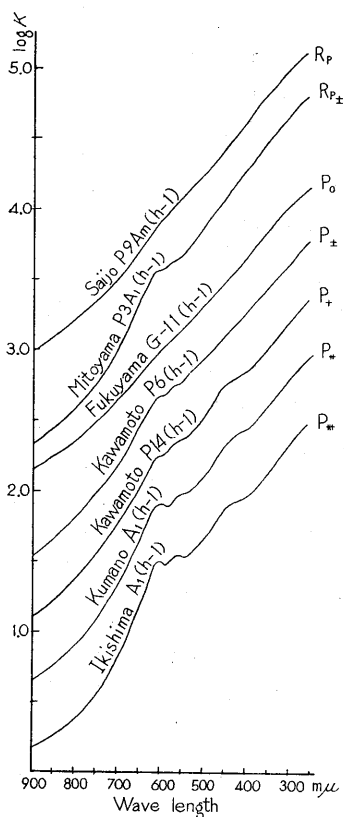


Fig. 2 供試土壌における各型の腐植酸の
吸収スペクトル (濃度は適宜)
Absorption spectra of representative
humic acid of examined soils.
(Concentrations of humic acid are
arbitrarily chosen.)

Fig. 1 に示したように、 $\Delta \log K_1$ を横軸、 R_f を縦軸にした図式上の供試腐植酸の $\Delta \log K_1$ および R_f の位置によって、A, B, R_p および P 型に区分する。

P 型腐植酸については、615, 570 および 450 $m\mu$ 付近の吸収帯の形状によって、次の亜型に区分する (Fig. 2 参照)。

$P_{\pm}$ ……615 および 570 $m\mu$ 付近に弱い肩状の吸収帯が認められるもの。

P_+ ……615, 570 および 450 $m\mu$ 付近に肩状の吸収帯が明らかに認められるもの。

$P_{\#}$ ……615 $m\mu$ 付近に吸収帯のピークが認められ、570 および 450 $m\mu$ 付近に肩状の吸収帯が認められるもの。

$P_{\#}$ ……615 および 570 $m\mu$ 付近に吸収帯のピークが認められ、450 $m\mu$ 付近に肩状の吸収帯が認められるもの。

P 型の領域に属する腐植酸で、上述の特有な吸収帯がいずれも認められないものを P_0 型とし、A, B および R_p 型の領域に属する腐植酸で、 $P_{\pm} \sim P_{\#}$ 型と同様の吸収帯を示すものは、P 型亜型と同様の記号をつけて、たとえば、 $R_p_{\pm}$, R_p_+ , … などとする。

今回出現した各腐植酸の吸収スペクトルの形状は Fig. 2 に示すとおりである。

6. 供試土壌の腐植の組成

供試した各土壌の腐植の組成は Table 3 に示すとおりであった。

B_b 型土壌の一部に見られた H-A および H 層の腐植の組成は、鉍質土層とはいちじるしい相違が見られたので、それぞれ別個に論ずることにした。

6-1. 鉍質土層の腐植の組成

6-1-1. 腐植の抽出率

各土壌の腐植の抽出率*は多くの場合 40~50% であったが、 B_d 型土壌の一部では 50~60% に達し、 B_A 型土壌、未熟な B_b および $B_d(d)$ 型土壌の B 層では多くは 30~40%、ごく一部は 30% 以下に過ぎない場合も見られた。

6-1-2. 腐植酸

全腐植酸の抽出率は、いずれも表層土がもっとも高く、福山 pn-P3 (B_d 型土壌) 以外はいずれも下層ほど減少を示した。その減少の程度は、 B_A 、未熟な B_b および $B_d(d)$ 型土壌がもっとも大きく、ついで B_b , B_d 型土壌の順にゆるやかであった。

* 抽出率は各フラクションの carbon 量の土壌全有機 carbon 量に対する % で示した。

Table 3. 腐 植 の 組 成*

Humus composition*

試料名 Sample name	土壌型 Type of soil	層位 Horizon	抽出腐植 Extractable humus	腐植酸 Humic acid			フルボ酸 Fulvic acid					C _h /C _f
				h-1	h-(2+3)	Total	f-1a	f-1	f-(2+3)	Na ₂ SO ₄ soluble C	Total	
福 山 Fukuyama G-P11	BA	Am	43.7	19.6	0.1	19.7	9.8	14.2	tr.	—	24.0	0.82
		B ₁	33.1	11.9	tr.	11.9	12.1	9.1	tr.	—	21.2	0.56
		B ₂	38.4	11.9	tr.	11.9	14.7	10.0	1.8	—	26.5	0.45
西 条 Saijō P9	BA	Am	44.7	21.3	0.6	21.9	8.6	13.9	0.3	—	22.8	0.96
		B ₁	37.0	14.2	tr.	14.2	12.3	9.6	0.9	—	22.8	0.62
		B ₂	29.8	5.6	0.4	6.0	15.7	7.1	1.0	—	23.8	0.25
同 上 Ibid. P8	BA	Am	40.1	19.4	tr.	19.4	8.9	11.8	tr.	—	20.7	0.94
		B ₁	26.1	9.4	0.8	10.2	8.3	6.0	1.6	—	15.9	0.64
		B ₂	27.6	7.6	0.6	8.2	9.7	7.3	2.4	—	19.4	0.42
川 本 Kawamoto P4	BB	(H)-A	41.5	23.8	1.1	24.9	4.4	10.0	2.2	—	16.6	1.50
		B ₁	42.6	16.2	1.6	17.8	12.8	8.3	3.7	—	24.8	0.72
		B ₂	43.0	16.2	tr.	16.2	14.0	8.9	3.9	—	26.8	0.60
同 上 Ibid. P9	BB	A	42.9	20.8	0.8	21.6	8.7	12.1	0.5	—	21.3	1.01
		B ₁	41.2	14.9	1.7	16.6	12.6	10.9	1.1	—	24.6	0.67
		B ₂	39.7	12.0	1.2	13.2	16.1	6.5	3.9	—	26.5	0.50
福 山 Fukuyama pn-P2	(Im)-B _B	A	43.1	21.4	tr.	21.4	9.9	10.4	1.4	—	21.7	0.99
		B	35.3	6.9	tr.	6.9	16.3	9.7	2.4	—	28.4	0.24
三 戸 山 Mitoyama P1	BB	H	43.2	27.0	—	27.0	16.2	—	—	—	16.2	1.67
		H-A	46.0	23.0	0.6	23.6	5.7	16.0	0.7	—	22.4	1.05
		B ₁	43.7	11.9	2.9	14.8	14.2	13.2	1.5	—	28.9	0.51
		B ₂	41.6	7.6	1.3	8.9	17.4	12.3	3.0	—	32.7	0.27
川 本 Kawamoto P6	B _D	A ₁	41.8	16.3	2.2	18.5	6.7	15.5	1.1	—	23.3	0.79
		A ₂	44.5	16.4	1.8	18.2	11.8	11.1	3.4	—	26.3	0.69
		A-B	42.5	16.4	1.1	17.5	13.9	9.5	1.6	—	25.0	0.70
		B	43.6	11.7	1.8	13.5	15.7	8.9	5.5	—	30.1	0.49
同 上 Ibid. P14	B _D	A ₁	47.9	22.6	0.2+1.0	23.8	7.2	13.7	0.5+2.7	(1.2)	24.1	0.99
		A ₂	47.3	16.0	3.5	19.5	10.2	11.1	6.5	—	27.8	0.70
		A-B	48.1	14.1	4.7	18.8	11.9	11.8	5.6	—	29.3	0.64
		B	41.6	11.8	2.9	14.7	12.3	7.4	7.2	—	26.9	0.55
福 山 Fukuyama pn-P3	B _D	A ₁	41.6	17.3	3.2+1.3	21.8	4.0	10.4	4.3+1.1	(1.7)	19.8	1.10
		A ₂	41.2	11.7	6.6+2.8	21.1	6.2	12.7	4.5+2.7	(1.3)	25.1	0.84
		B ₁	44.2	6.2	9.1+4.0	19.3	8.2	8.5	4.3+3.9	(0.5)	24.9	0.78
		B ₂	49.6	4.6	10.1+6.8	21.5	9.3	8.9	6.2+3.7	(0.8)	28.1	0.77
同 上 Ibid. G-P7	(Im)-B _D	A	40.6	16.5	0.4+2.0	18.9	6.6	11.3	1.3+2.5	(1.3)	21.7	0.87
		B ₁	45.3	12.6	3.8	16.4	13.3	10.9	4.7	—	28.9	0.57
日 置 川 Hikigawa	B _D	A	42.0	16.7	2.1	18.8	9.3	11.5	2.4	—	23.2	0.81
		B	40.9	12.2	1.3	13.5	13.8	11.4	2.2	—	27.4	0.49
西 条 Saijō P6	(Im)-B _D (d)	A	40.4	17.0	0.2	17.2	9.4	11.9	1.7	—	23.0	0.75
		B ₁	33.4	6.4	tr.	6.4	13.8	11.9	1.3	—	27.0	0.24
		B ₂ -C	33.1	5.7	1.9	7.6	15.3	8.8	1.4	—	25.5	0.30
生 島 Ikishima P2	B _D	A ₁	43.6	21.7	0.7	22.4	8.5	11.5	1.2	—	21.2	1.06
		A ₂	49.4	18.4	tr.	18.4	15.4	14.2	1.4	—	31.0	0.59
		B ₁	47.7	13.1	tr.	13.1	20.3	11.4	2.9	—	34.6	0.38
熊 野 Kumano	B _D	A ₁	52.3	19.0	3.1	22.1	12.1	13.4	4.7	—	30.2	0.73
		A ₂	55.6	15.3	2.2	17.5	19.2	12.0	6.9	—	38.1	0.46
		B	61.4	12.1	2.2	14.3	22.1	14.7	10.3	—	47.1	0.30
三 戸 山 Mitoyama P3	B _D	A ₁	47.8	19.8	0.3+1.1	21.2	10.0	13.0	3.6	(1.2)	26.6	0.80
		A ₂	54.8	12.5	3.4	15.9	21.1	16.4	1.4	—	38.9	0.41
		B ₁	55.7	8.6	4.1	12.7	22.3	11.3	6.4	—	40.0	0.32
		B ₂	53.5	8.5	3.9	12.4	21.7	11.9	7.5	—	41.1	0.30

注) * 腐植の組成は各フラクションの carbon の土壌全有機 carbon に対する % で示した。

Remark) * Humus composition is expressed by the carbon amount of humus fraction as % of total soil organic carbon.

f-1a: acid soluble humus, h-1 and f-1: humic acid and fulvic acid in Fraction 1 (free humus), h-2 and f-2: humic acid and fulvic acid in Fraction 2 (humus combined with Ca), h-3 and f-3: humic acid and fulvic acid in Fraction 3 (humus combined with R₂O₃)

環境諸因子の影響をもっとも強く受ける各土壌の表層土における全腐植酸の抽出率は、BA 型土壌は 19～22%，Bb 型土壌は 21%，Bd(d) および Bd 型土壌は 17～24% を示し、各土壌型間にとくに明りょうな相違は認められなかった。また、変化の幅が比較的大きかった Bd(d) および Bd 型土壌においても、土壌の化学的性質や成熟度などとの関連性は明らかでなかった。

各土壌の腐植酸の組成は、福山 pn-P3 (Bd 型土壌) 以外はいずれも遊離腐植酸 (h-1) が主体を占めていた。結合腐植酸 [h-(2+3)] の全腐植酸に対する比率は、BA 型土壌では trace～10% 以下、Bb 型土壌では trace～20% 前後、Bd(d) および Bd 型土壌では trace～約 35% に達し、同じ土壌型に属する土壌間、ないし同じ断面の各層位間でもかなりの変化が見られたが、全般的に乾性土壌より適潤性土壌の方が高いように思われた。また、Bd(d) および Bd 型土壌では、結合腐植酸の比率が増大している場合が多かった。

これに対して、福山 pn-P3 (Bd 型土壌) の場合は、次のようになんかなり特異性がみられた。すなわち、各層位いずれも全腐植酸の抽出率が高く、19～22% に達し、結合腐植酸の全腐植酸に対する比率も同様に高く、約 20～80% に達し、下層ほど増大を示した。さらに、結合腐植酸中 Ca 型腐植酸 (h-2) の占める率が高く、全結合腐植酸の約 60～70% に達していたことが注目された。これらの諸点は他の土壌では見られなかった現象であるが、この土壌が前述 (4) のように、とくに塩基の飽和度および pH がいちじるしく高いことと関連性を有するものと思われる。

その他の供試土壌中塩基飽和度が比較的高かった川本 P14、福山 G-P7、三戸山 P3 の各 Bd 型土壌の表層土では、いずれも Ca 型腐植酸の抽出率は低くて、約 20% 前後にすぎなかった。したがって、その他の各土壌の場合には、結合腐植酸は R_2O_3 型 (h-3) が主体をなすものと思われる。

Ca 型腐植酸が全結合腐植酸中大きな比率を占め、また、全腐植酸中かなりの比率を占めるのは、福山 pn-P3 と同程度ないしそれ以上の塩基飽和度および pH に達している土壌の場合であろうと思われる。

6-1-3. フルボ酸

全フルボ酸の抽出率は、多くの場合表層土と比べると下層土ほど増大を示した。

酸可溶腐植 (f-1a) の抽出率は各土壌いずれも同様に下層土ほど増大を示したが、表層土では 4～12%，下層土では 8～22% に達した。供試土壌中福山 pn-P3 (Bd 型土壌) の各層位は 4～9% で、他の土壌より全般的に低かったが、この点は上述 (4) の化学的性質と関連性を有するものと思われた。しかし、その他の場合には、土壌型ないし土壌の化学的性質と酸可溶腐植の抽出率との関連性は明らかでなかった。

6-1-4. C_h/C_f 比

C_h/C_f 比 (全腐植酸 carbon/全フルボ酸 carbon) は、いずれの土壌においても表層土と比べると下層土ほど減少を示した。

各土壌の表層土における C_h/C_f 比は、BA 型土壌では 0.82～0.96、Bb 型土壌では 0.99～1.01、Bd(d) および Bd 型土壌では 0.73～1.10 を示した。Bd(d) および Bd 型土壌の場合にはかなり幅の広い変化を示したが、土壌の化学的性質ないし成熟度との関連性は明らかでなかった。また、全般に各土壌型間の C_h/C_f 比の相違はとくに明りょうではなかった。

6-2. H および H-A 層

一部の Bb 型土壌で見られた H および H-A 層は、次のように鉍質土層とは異なる特異性が見られた。

すなわち、全腐植酸の抽出率は H-A 層では 23~24%, H 層では 27% を示し、 C_h/C_f 比はそれぞれ 1.05~1.50 および 1.67 に達し、いずれも 鈹質土層の場合より高かった。また、酸可溶腐植の抽出率は 4~6% にすぎず、全般に鈹質土層より低かった。これらの諸点は後報で述べるポドゾルの場合も同様の傾向が認められるので、これらの土層に共通した特徴であろうと思われた。

7. 腐植酸の光学的性質

供試した各土壌の腐植酸の吸収スペクトルは、いずれも測定波長領域において短波長側に向かって吸光度の増大を示したが、615, 570 および 450 m μ 付近の吸収帯の有無およびその形状、 $\Delta \log K_1$ および $\Delta \log K_2$ に示されるスペクトルの傾き、Rf に示される carbon 一定量あたりの色の濃度などの面で、各土壌型ごとに明りょうな特徴が認められた。

供試した各土壌の腐植酸の光学的性質は、Table 4 に示すとおりであった。

7-1. 腐植酸の型

供試土壌の腐植酸の型は、次のように各土壌型ごとにそれぞれ特徴のある相違が見られた。Ba 型土壌は遊離腐植酸の一部は R_P 型、これの大部分と全腐植酸は P₀ 型、B_b 型土壌の遊離腐植酸は主として R_{P±} および P_± 型、全腐植酸は P_± 型で、その他いずれにも R_P 型がわずかに認められ、B_d(d) および B_d 型土壌は R_{P±} および P₀ 型がわずかに認められた以外は、いずれも P_±~P_≡ 型の P 型各亜型に属していた。

熊田ら⁶⁷⁾は中部地方の山地の森林土壌について、褐色森林土の腐植酸の型は標高、土壌型によって異なり、標高 400 m 付近では B_b 型土壌は R_P, B または P₀ 型、B_c 型土壌は B 型と少量の A 型、B_d 型土壌では A 層は B 型と少量の A 型、B および C 層は P 型であったという。

筆者および熊田の試料採取箇所はいずれも植生帯としては照葉樹林帯に属するが、腐植酸の型にかなりの相違が見られたことは、地域性によるものか、腐植の抽出条件によるものかは明らかでない。

熊田ら⁶⁷⁾は P 型腐植酸は高山帯のポドゾルおよび草原土壌、亜高山帯および低山帯の褐色森林土、丘陵地帯の赤黄色土などに広く普遍的に出現するが、標高の高いほど出現頻度が高いことを指摘している。さらに、P 型各亜型の区分は、その中に含まれる Pg (green humic acid) の多少によるもので、P_±~P_≡ 型の順に相対的な Pg の含有率は増大するが⁶⁾、湿潤な土壌ないし層位の方が乾性のものよりも Pg に富む腐植酸が見られることが多いことから、これらの条件は Pg の生成に好適と考えられるという⁶⁷⁾。

上述の筆者らの各土壌型における P 型亜型の相違は、ほぼ熊田らと同様の傾向を示しているといえる。

7-2. $\Delta \log K_1$, $\Delta \log K_2$ および Rf

環境諸因子の影響をもっともけんちんに反映している表層土について比較すると、各土壌の遊離および全腐植酸の $\Delta \log K_1$ はそれぞれ、Ba 型土壌では 0.66~0.72 および 0.62~0.69, B_b 型土壌では 0.65~0.74 および 0.60~0.69, B_d(d) および B_d 型土壌では 0.50~0.71 および 0.49~0.64 を示した。これらの値はある程度交錯しているためにとくに明りょうとはいえないが、全般的に Ba および B_b 型土壌は同程度の値を示し、B_d(d) および B_d 型土壌ではさらに低下を示しているといえる。

表層土の遊離および全腐植酸の $\Delta \log K_2$ はそれぞれ、Ba 型土壌では 0.58~0.70 および 0.52~0.63, B_b 型土壌では 0.86~0.99 および 0.76~0.99, B_d(d) および B_d 型土壌では 0.79~0.94 および 0.70~0.86 を示した。Ba 型土壌の場合に、 $\Delta \log K_2$ がとくに低い値を示したことは、この土壌の P₀ および

Table 4. 腐植酸の光学的性質
Optical properties of humic acid

試料名 Sample name	土壌型 Type of soil	層位 Horizon	h-1				h-(1+2+3)				h-(1+2)			
			$\Delta \log K_1$	$\Delta \log K_2$	Rf	Type of humic acid	$\Delta \log K_1$	$\Delta \log K_2$	Rf	Type of humic acid	$\Delta \log K_1$	$\Delta \log K_2$	Rf	Type of humic acid
福山 Fukuyama G-P11	BA	Am	0.668	0.577	0.249	P ₀	0.654	0.519	0.238	P ₀				
		B ₁	0.682	0.675	0.228	P ₀	0.643	0.654	0.215	P ₀				
		B ₂	0.758	0.715	0.230	R _P	0.650	0.662	0.238	P ₀				
西条 Saijō P9	BA	Am	0.723	0.696	0.151	R _P	0.691	0.586	0.165	P ₀				
		B ₁	0.704	0.679	0.175	R _P	0.643	0.685	0.172	P ₀				
		B ₂	0.576	0.642	0.216	P ₀	0.534	0.631	0.223	P ₀				
同上 Ibid. P8	BA	Am	0.657	0.679	0.201	P ₀	0.622	0.626	0.198	P ₀				
		B ₁	0.519	0.464	0.384	P ₀	0.505	0.504	0.369	P ₀				
		B ₂	0.490	0.463	0.483	P ₀	0.509	0.533	0.454	P ₀				
川本 Kawamoto P4	BB	(H)-A	0.701	0.893	0.212	R _{P±}	0.669	0.785	0.216	P±				
		B ₁	0.584	0.710	0.300	P±	0.567	0.665	0.306	P±				
		B ₂	0.609	0.804	0.296	P±	0.598	0.812	0.279	P±				
同上 Ibid. P9	BB	A	0.649	0.856	0.259	P±	0.598	0.756	0.271	P±				
		B ₁	0.588	0.721	0.291	P±	0.556	0.662	0.273	P±				
		B ₂	0.570	0.675	0.312	P±	0.560	0.644	0.296	P±				
福山 Fukuyama P2	(Im) ~BB	A	0.736	0.920	0.216	R _{P±}	0.626	0.987	0.210	P±				
		B	0.818	0.803	0.154	R _P	0.856	0.813	0.167	R _P				
三戸山 Mitoyama P1	BB	H	0.730	0.913	0.220	R _{P±}	—	—	—	—				
		H-A	0.711	0.994	0.280	R _{P±}	0.688	0.874	0.270	P±				
		B ₁	0.645	0.953	0.250	P±	0.638	0.867	0.253	P±				
		B ₂	0.635	0.841	0.217	P±	0.594	0.836	0.248	P±				
川本 Kawamoto P6	BD	A ₁	0.586	0.785	0.343	P±	0.565	0.695	0.333	P±				
		A ₂	0.528	0.733	0.400	P±	0.505	0.657	0.398	P±				
		A-B	0.510	0.674	0.418	P±	0.494	0.632	0.438	P±				
		B	0.494	0.739	0.460	P+	0.444	0.694	0.439	P+				
同上 Ibid. P14	BD	A ₁	0.603	0.833	0.300	P+	0.562	0.803	0.317	P#	0.570	0.794	0.327	P#
		A ₂	0.545	0.755	0.333	P+	0.477	0.743	0.409	P#				
		A-B	0.507	0.737	0.450	P+	0.442	0.731	0.521	P#				
		B	0.497	0.748	0.496	P+	0.443	0.743	0.520	P#				
福山 Fukuyama pn-P3	BD	A ₁	0.669	0.862	0.275	P±	0.579	0.785	0.409	P±	0.588	0.773	0.406	P±
		A ₂	0.654	0.784	0.355	P±	0.493	0.633	0.525	P±	0.519	0.667	0.532	P±
		B ₁	0.671	0.740	0.251	P±	0.525	0.661	0.553	P±	0.527	0.667	0.535	P±
		B ₂	0.644	0.650	0.172	P ₀	0.531	0.649	0.500	P±	0.538	0.737	0.477	P±
同上 Ibid. G-7	(Im) ~BD	A	0.679	0.842	0.189	P±	0.636	0.755	0.239	P±	0.623	0.722	0.245	P±
		B ₁	0.600	0.886	0.227	P±	0.588	0.658	0.253	P±				
日置川 Hikigawa	BD	A	0.602	0.790	0.300	P±	0.586	0.709	0.344	P±				
		B	0.618	0.691	0.303	P±	0.561	0.672	0.296	P±				
西条 Saijō P6	(Im) ~Bb(d)	A	0.680	0.854	0.176	P+	0.611	0.713	0.198	P+				
		B ₁	0.591	0.844	0.207	P+	0.532	0.733	0.203	P#				
		B ₂	0.580	0.811	0.227	P+	0.556	0.718	0.236	P#				
生島 Ikishima P2	BD	A ₁	0.499	0.942	0.334	P#	0.488	0.855	0.352	P#				
		A ₂	0.455	1.038	0.466	P#	0.417	0.928	0.430	P#				
		B	0.445	0.959	0.405	P#	0.418	0.931	0.413	P#				
熊野 Kumano	BD	A ₁	0.571	0.906	0.334	P#	0.554	0.811	0.338	P#				
		A ₂	0.505	0.861	0.390	P#	0.433	0.768	0.402	P#				
		B	0.490	0.811	0.394	P#	0.446	0.733	0.429	P#				
三戸山 Mitoyama P3	BD	A ₁	0.713	0.910	0.273	R _{P±}	0.638	0.845	0.300	P+	0.646	0.836	0.312	P+
		A ₂	0.479	0.957	0.361	P±	0.464	0.845	0.351	P#				
		B ₁	0.442	1.104	0.432	P#	0.392	0.779	0.434	P#				
		B ₂	0.584	0.974	0.335	P+	0.519	0.887	0.376	P#				

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

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

Rf : K_{600} of Na-humate solution containing carbon 100 mg per liter

R_P 型腐植酸の吸収スペクトルは、全測定波長領域においてほぼ直線的に推移し、 $\Delta \log K_2$ は $\Delta \log K_1$ より多少低いか、あるいは同程度の値を示したのに対して、B_B, B_D(d) および B_D 型土壌の R_P± および P±~P_{II} 型腐植酸では、615 mμ 付近を境にして、長波長側は短波長側より傾斜が急となり、 $\Delta \log K_2$ は $\Delta \log K_1$ より明りような増大を示すことによるものである (Fig. 2 参照)。B_B 型土壌と B_D(d) および B_D 型土壌を比較すると、 $\Delta \log K_2$ の場合も $\Delta \log K_1$ と同様の傾向が認められた。

表層土の遊離および全腐植酸の R_f はそれぞれ、B_A 型土壌では 0.15~0.25 および 0.17~0.27, B_B 型土壌では 0.21~0.28 および 0.22~0.27, B_D(d) および B_D 型土壌では 0.18~0.34 および 0.20~0.41 を示した。B_D(d) および B_D 型土壌では、未熟な西条 P6 および福山 G-P7 は B_A 型土壌とほぼ同程度の値を示したが、その他の B_D 型土壌ではそれぞれ 0.27~0.34 および 0.30~0.41 を示し、B_A および B_B 型土壌より明りような増大を示していた。

同じ断面における各層位間の遊離および全腐植酸の $\Delta \log K_1$, $\Delta \log K_2$ および R_f の変化は次のとおりであった。B_A 型土壌ではこれらの変化は一定の傾向を見出し難かった。しかし、山腹斜面下部に出現する西条 P8 では、下層土の $\Delta \log K_1$ および $\Delta \log K_2$ の低下と R_f の増大はきわめてけんちよであった。この土壌の下層土における $\Delta \log K_1$ および R_f は B_D 型土壌と同程度の値を示したが、この点はこの土壌の表層土は、典型的な尾根型の B_A 型土壌と同様の乾性の水分環境におかれているとしても、下層土は地形的因子の影響によって、かなり湿潤な水分環境の影響を受けることを示唆するものといえる。B_B 型土壌では $\Delta \log K_1$ および $\Delta \log K_2$ は、下層土が R_P 型であった福山 pn-P2 を除けば、全般的に下層土では減少を示したが、R_f は一定の傾向が見られなかった。B_D(d) および B_D 型土壌では、多くの場合下層土では $\Delta \log K_1$ および $\Delta \log K_2$ の減少と R_f の増大が認められた。

同じ試料における遊離および全腐植酸の $\Delta \log K_1$, $\Delta \log K_2$ および R_f の変化は次のとおりであった。多少の例外が認められたが全般的に全腐植酸は遊離腐植酸より $\Delta \log K_1$ および $\Delta \log K_2$ は小さく、吸収スペクトルの傾きはゆるやかであった。また、P型亜型においては P_g の影響による特有の吸収帯は、全腐植酸の方が遊離腐植酸より明りように認められる場合が多かった。これらの点は第1報³⁾の結果と同様であった。

R_f は福山 pn-P3 (B_D 型土壌) 以外はとくに大きな相違は見られなかった。全腐植酸中 Ca 型腐植酸 (h-2) の占める割合がとくに大きかった福山 pn-P3, とくにその下層土においては、遊離+Ca 型腐植酸 [h-(1+2)] と全腐植酸はほぼ同程度の値を示し、遊離腐植酸に比べるといちじるしい増大が見られた。また、この土壌の全腐植酸の R_f が他の B_D 型土壌に比べるととくに大きいことが注目されたが、この点は Ca 型腐植酸の R_f が大きいことによるものであろう。さらに、この土壌におけるとくに豊富な Ca の存在と中性に近い反応が腐植化の進行を促進し、同時に腐植化の進行したフラクションの、Ca との結合による Ca 型腐植の形成が行なわれたことを示すものと思われる。

8. 褐色森林土における腐植化過程について

熊田⁴⁾は腐植化過程の進行は腐植酸における黒色の色調の増大を意味するとし、腐植酸の $\Delta \log K$ ($\log K_{400} - \log K_{600}$) の低下と R_f の増大によって示されるとしている。同氏は各種の腐植酸 (A, B, R_P型) の $\Delta \log K$ と R_f が明りような負の相関関係を示すとともに、これらの元素組成、理化学的性質などが、このような腐植化過程の進行にともなって、規則的な変化を示すことを明らかにしている。

筆者は以前の報告²⁾において、各土壌の腐植化過程の進行は、環境諸因子の影響をもっともけんちょに反映する表層土の腐植の形態の相違に示され、腐植酸の光学的性質の面では、 R_f の増大と色度比 (K_{470}/K_{610} , SIMON⁹⁾ の T. F. と同じ) の減少に、腐植の組成の面では全腐植酸の抽出率および C_h/C_f * 比の増大と酸可溶腐植の減少に示されるとし、褐色森林土においては、適潤～湿性型の土壌は乾性型の土壌より腐植化の進行が見られることを明らかにした。

今回の結果は、各土壌の表層土を比較すると、腐植の組成の面では前述のように全腐植酸および酸可溶腐植の抽出率、および C_h/C_f 比については、各土壌型間に明りょうな相違が見られず、前報と同様の結論は得られなかった。この点は前報と今回の腐植の抽出条件の相違——前報は可熱抽出、今回は 30°C 抽出——によるのではないと思われる。腐植酸の光学的性質の面では、B_d(d) および B_d 型土壌は未熟土の場合を除くと、B_b 型土壌に比べて $\Delta \log K_1$ の低下と R_f の増大を示したことは、前報と同様に、適潤性土壌では乾性土壌より腐植化過程が進行していることを示しているといえる。また、腐植化過程の指標としては、 $\Delta \log K_1$ および R_f のいずれも用いるが、 $\Delta \log K_1$ より R_f の方が各土壌の腐植化過程の相違を、さらに明りょうに示しうるものといえる。

筆者は前報²⁾において、褐色森林土の各土壌型間に見られる腐植化過程の相違は、各土壌型の水分環境および化学的性質の相違によって生ずる土壤微生物の落葉および土壤有機物の分解活動の相違と、明りょうな関連性を有することを認めている。一般に山腹斜面中腹～下部に出現する B_d(d) および B_d 型土壌では、地形的因子の影響によってもたらされる適潤性の水分環境と塩基の集積のために、山腹斜面上部から尾根に出現し、乾性の水分環境と塩基の溶脱を受ける B_A および B_b 型土壌と比べると、土壤有機物の分解、腐植物質の生成、腐植化過程の進行などに大きな役割を果たしている土壤微生物は、数量も多く、その活動力もいちじるしく旺盛であると考えられる。したがって、上述の各土壌型における腐植化過程の相違も、これらの諸点と関連性を有すると考えられる。

筆者は今回の供試土壌における腐植化過程の相違をさらに明りょうにするために、各土壌型ごとの腐植酸について、 $\Delta \log K_1$ ないし $\Delta \log K_2$ と R_f の相関性の検討を試みたが、次のような興味ある結果が得られた。この場合 B_A 型土壌については、山腹斜面下部に出現する西条 P8 は、前述(3)のように B_A 型土壌の出現地形としてはきわめて特異例に属すると考えられるので除外し、その他の典型的な B_A 型土壌について検討を行なった。

各土壌型ごとの直線相関係数および回帰式は、Table 5 および Fig. 3 に示すとおりであった。

$\Delta \log K_1$ と R_f は B_b 型土壌と B_d(d) および B_d 型土壌の遊離および全腐植酸については、いずれもきわめて有意な負の直線回帰が認められたが、B_A 型土壌の場合はいずれも有意性は認められなかった。

B_A 型土壌の場合は、落枝葉および草本遺体などの分解による腐植物質の生成、さらに腐植化の進行という森林土壌における一般的な腐植の生成過程のほかに、Am 層を形成している菌糸網ないし細粒状構造の形成に関与している菌糸体、およびその遺体が多量に付加される。前述のように、この土壌型の腐植酸の型が B_b, B_d(d) および B_d 型土壌とは明りょうに異なる特異性を有することとも関連して、 $\Delta \log K_1$

* この場合の C_h/C_f 比は、フルボ酸として酸可溶腐植を除いた部分、すなわち、今回の $\{f-(1+2+3)\}$ を用いている。

Table 5. 腐植酸の $\Delta \log K_1$ および $\Delta \log K_2$ と R_f との直線相関係数
Linear correlation between $\log K_1$ and $\log K_2$
and R_f of humic acid

腐植酸 Humic acid	土 壌 型 Type of soil	試 料 数 No. of sample	直線相関係数 Linear correlation coefficient
Δ log K ₁ および R _f 間 Between Δ log K ₁ and R _f			
h-1	B _A	6	-0.243
h-(1+2+3)		6	-0.366
h-1	B _B	11	-0.854**
h-(1+2+3)		11	-0.814**
h-1	B _D (d) and B _D	29	-0.794**
h-(1+2+3)		29	-0.629**
Δ log K ₂ および R _f 間 Between Δ log K ₂ and R _f			
h-1	B _A	6	-0.516
h-(1+2+3)		6	-0.229
h-1	B _B	11	-0.386
h-(1+2+3)		11	-0.555
h-1	B _D (d) and B _D	29	+0.112
h-(1+2+3)		29	-0.061

注) 1% および 5% 有意水準における r

Remark: 自由度: Freedom	5	10	28
Significant r at 1% level	0.874	0.708	0.463
at 5% level	0.754	0.576	0.361

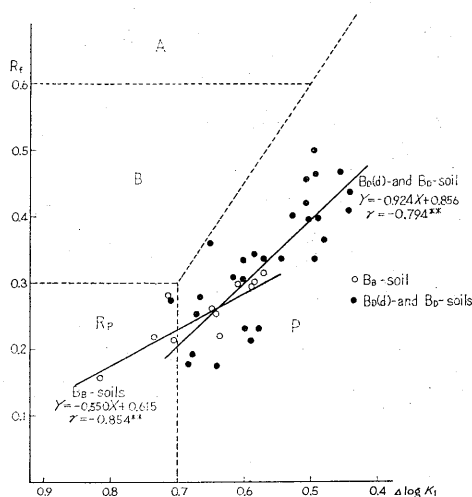


Fig. 3-1 B_B 型土壌および B_D(d) および B_D 型土壌の腐植酸の $\Delta \log K_1$ および R_f の相関—(1) 遊離腐植酸 (h-1)
Correlation between $\Delta \log K_1$ and R_f of humic acid from B_B-soil and B_D(d)- and B_D-soil.—(1) Free humic acid (h-1)

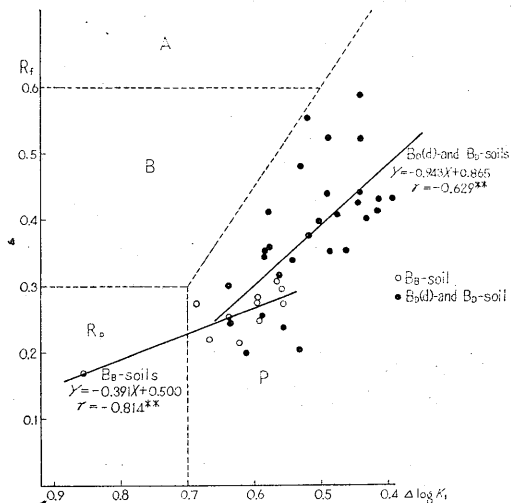


Fig. 3-2 同上 (2) 全腐植酸 [h-(1+2+3)]
Ibid. (2) Total humic acid [h-(1+2+3)]

と R_f との間に有意な直線回帰が見られなかったことは、このような原因によるものではないかと思われる。

Fig. 3 に示すように、 B_b 型土壤と $B_d(d)$ および B_d 型土壤では、いずれの場合も遊離および全腐植酸の $\Delta \log K_1$ および R_f の回帰式は近似していたが、両土壤型間では次のようにそれぞれいじりしい相違が見られた。すなわち、 $B_d(d)$ および B_d 型土壤では $\Delta \log K_1$ の低下に対応する R_f の増大は、 B_b 型土壤に比べるといじりしく大きく、遊離腐植酸では約 1.7 倍、全腐植酸では約 2.5 倍に達した。これらの点は上述の土壤微生物相ないしその活動力の相違とも関連して、両土壤型における腐植化過程の質的な相違を示唆するものと思われた。

$\Delta \log K_2$ と R_f は各土壤型いずれも有意な直線回帰は見られなかった。この点は $\Delta \log K_2$ は可視部赤色～近赤外部の吸光係数を対象としているために、腐植酸の色調とはとくに明りょうな関連性を示し難いためではないかと思われた。

9. お わ り に

1) この報告は、わが国の主要な森林土壤の、腐植の形態を明らかにするための一連の研究の一部として、もっとも主要な地位を占める褐色森林土について、とりまとめたものである。

2) 供試土壤は関西地方で採取した B_A , B_b , $B_d(d)$ および B_d 型土壤合計 16 断面である。

3) 腐植の組成については、表層土の全腐植酸、全フルボ酸および酸可溶腐植の抽出率、 C_h/C_f などは、各土壤型間に明りょうな相違は見られなかった。

4) 塩基飽和度および pH がとくに高い値を示した一部の B_d 型土壤では、全腐植酸中結合腐植酸の占める比率が高く、結合腐植酸中 Ca 型腐植酸が優占していた。その他の土壤では遊離腐植酸が優占し、また、結合腐植酸は R_2O_3 型腐植酸が主体を占めていた。

5) 熊田の分類法に準じた腐植酸の区分では、 B_A 型土壤は R_p および P_0 型、 B_b 型土壤は主として $R_{p\pm}$ および $P_{\pm}$ 型、 $B_d(d)$ および B_d 型土壤では主として $P_{\pm} \sim P_{\equiv}$ 型腐植酸であった。

6) 表層土について比較すると、 $B_d(d)$ および B_d 型土壤では、未熟土の場合を除くと B_A および B_b 型土壤より $\Delta \log K_1$ の減少および R_f の増大を示し、腐植化過程の進行が認められた。

7) B_b 型土壤と $B_d(d)$ および B_d 型土壤では、 $\Delta \log K_1$ および R_f の間にきわめて有意な負の直線回帰が認められ、腐植化過程の進行は $\Delta \log K_1$ の減少と R_f の増大に示された。しかし、この両土壤型における回帰式がいじりしい相違を示したことは、腐植化過程の質的な相違を示唆するものと思われた。

最後に、この研究の遂行に多大のご援助をいただいた関西支場長黒鳥 忠博士に心からの感謝をささげる。

文 献

- 1) 河田 弘：TURIN 法による土壌有機炭素の定量の検討およびその改良法について，林野土調報，8，67～80，(1957)
- 2) 同上 (KAWADA, H.)：森林土壌の化学的性質および腐植の形態に関する研究 (A study on chemical properties and humus forms of forest soil)，同上 (Forest Soils of Japan)，10，1～108，(1959)
- 3) 同上 (Ibid.)：森林土壌の腐植に関する研究（第1報）腐植の形態の分析方法の検討および新しい分析方法の提案 (Studies on humus forms of forest soil. Part 1 On the examination of analytical method for the determination of humus form and a proposed improved method)，林試研報 (Bull. Gov. For. Exp. Sta.)，248，15～68，(1972)
- 4) 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)
- 5) KUMADA, K. and SATO, O.：Chromatographic separation of green humic acid from podzol humus. Ibid., 8, 2, 31～33, (1962)
- 6) 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. Ibid., 13, 151～168, (1967)
- 7) 熊田恭一・大田信婦：中部地方の土壌腐植の形態，日土肥誌，38，267～274，(1967)
- 8) 大羽 裕：腐植の組成（形態）分析法，弘法・大羽法，ペドロジスト，10，2，104～108，(1964)
- 9) SIMON, K. und SPEICHERMANN, H.：Beiträge zur Humusuntersuchungsmethodik. Bodenk. u. Pflanzenernähr., 8, 129～152, (1938)

Studies on the Humus Form of Forest Soil Part 2

Humus form of the brown forest soil

Hiroshi KAWADA⁽¹⁾

1. Introduction

The writer wished to get information on the humus form of representative Japanese forest soils by his newly proposed method in Part 1³⁾. He dealt with the brown forest soil as a first step.

He had reported the following facts on the chemical properties and humus of the types of soil that belonged to the brown forest soil in his previous paper²⁾. When they were arranged according to their moisture regime of soil from dry to wet types, their transitions were in the regular way and the difference of humus form between dry and moderately moist～wet types of soil was more distinguished than that between the latter types of soil. The humus form of Ba-soil (dry brown forest soil, steep slope type) was unique and different from that of B₁-soil (Ibid., gentle slope type) due to the mycelial materials in Am horizon

Received May 31, 1974

(1) Kansai Branch Station

(mycelial layer) or those in loose granular structure well developed in its upper horizons.

In the writer's opinion, his previous analytical method was rather insufficient for the humus composition and the optical properties of humic acid in detail; hence his wish to re-examine the effect of moisture regime of soil on the humus form by comparing that of B_b- and B_d-soils (moderately moist brown forest soil) and the specificity of that of B_a-soil from a fresh point of view.

2. Examined soils

The site conditions of sixteen soils examined are briefly stated in Table 1.

Those of Saijo P8 (B_a-soil) were unique. This soil locates on the lower part of mountain slope where could be commonly expected the occurrence of B_d-soil, whereas its morphological features in profile and chemical properties were quite similar to those of normal B_a-soil commonly occurring on the ridge of steep mountain slope (see Table 2).

Such unusual distribution of B_a-soil was noticeably common in Saijo district. In the writer's opinion, it locates in the coastal area of the Inland Sea. There the climate is comparatively warm and is one of the most arid climates in this country, i. e. 15°C in ann. aver. temp. and only about 1,000 mm in ann. aver. precipitation all of which may have an effect on the unusual distribution of B_a-soil.

Saijo P6, Fukuyama G-P7 and Fukuyama pn-P2 were somewhat immature as expressed by their poor development of A and B horizons and poor humus contents (see Table 2).

3. Analytical method

The humus form was determined by the writer's method proposed in Part 1³.

Carbon and nitrogen were determined by dry combustion method with C-N Corder (Yanagimoto Co.) or by the chromic acid titration method and KJELDAHL's method. Cation exchange capacity was by PEECH's method and exchangeable Ca and Mg were by EDTA method; the pH value was by glass electrode with 1 : 2.5 suspension

4. Chemical property of soil

The chemical properties of examined soils are expressed in Table 2.

Among the examined soils, those of B_a- and B_b-soils, i. e. low pH values, poor exch. base saturations and wide C-N ratios, well agreed with those confirmed by many researchers, whereas those of B_d-soils were rather variable.

The writer noted in particular the extraordinary high rates of Ca and Mg saturations, i. e. 59~65% and 13~19%, respectively, and high pH values, i. e. 6.40~6.80, in every horizon of Fukuyama pn-P3 (B_d-soil). In his opinion, such extraordinary base rich forest soil seemed to be one of the exceptional cases in this country. On the other hand, some B_d-soils, i. e. Kawamoto P6, Hikigawa, Ikishima and Kumano, were very low in the rate of exch. base saturation, i. e. less than 10% in Ca, and their surface horizons except Kawamoto P6 were very acidic, i. e. 4.0~4.3 in pH value. Those except Kumano showed unusually wide C-N ratios, i. e. 20~22, as those of the usual B_d-soils. Similar trend was found on the surface horizons of rather immature soils, i. e. Fukuyama G-P7 and Saijo P6.

These facts pose problems awaiting solution in future study.

5. Classification of humic acid

The humic acids of examined soils were classified according to the method proposed by KUMADA *et al.*⁶⁾⁷⁾ Their method was as described hereunder.

In this case Rf value is re-calculated on the assumption that 1 ml of consumed 0.1 N KMnO_4 for the determination of amount of humic acid is equivalent to 0.4 mg of carbon. Their Rf 40 is converted to the writer's Rf 0.300.

Humic acid is grouped into four types, i. e. A, B, R_P and P, according to their position on the diagram expressed in Fig. 1. P type humic acid is subdivided into the following subtypes according to the shape of absorption bands near 615, 570 and 450 $\text{m}\mu$ as expressed in Fig. 2. $\text{P}_\pm$ is that having weak shoulder bands near 615 and 570 $\text{m}\mu$; P_+ having fairly distinct shoulder bands near 615, 570 and 450 $\text{m}\mu$; $\text{P}_\#$ having an absorption maximum near 615 $\text{m}\mu$ and distinct shoulder bands near 570 and 450 $\text{m}\mu$; $\text{P}_\#$ having absorption maxima near 615 and 570 $\text{m}\mu$ and distinct shoulder band near 450 $\text{m}\mu$.

P type humic acid expressing no absorption band over the whole wavelength region is designated as P_0 . Some humic acids belonging to A, B and R_P types and expressing the same absorption bands as $\text{P}_\pm \sim \text{P}_\#$ types are designated as in the case of P type, i. e. $\text{R}_\text{P}\pm$, B_+ , etc.

The representative absorption spectra of humic acid in examined soils are expressed in Fig. 2.

6. Humus composition

The humus composition of examined soils are given in Table 3.

It is expressed with carbon amount of humus fraction as a percentage of total soil organic carbon.

That of H-A and H layers are separately described due to their differences from that of mineral horizons.

6-1. Humus composition of mineral horizon

6-1-1. Extractable humus

The extractable humus usually ranged about 40~50%. It increased to 50~60% in some B_D -soils and it decreased to 30~40% or less than 30% in B_A - and immature B_B - and $\text{B}_\text{D}(\text{d})$ -soils.

6-1-2. Humic acid

The total humic acid [$\text{h}-(1+2+3)$] decreased from surface horizon downwards in every soil except Fukuyama pn-P3 (B_D -soil). The rate of decrease downward was more distinguished in the order as B_A - and immature B_B - and $\text{B}_\text{D}(\text{d})$ -soils $>$ B_B -soils $>$ B_D -soils. The total humic acid in surface horizon of every soil where the effect of environmental factors on soil formation is reflected most distinctly ranged 19~22% in B_A -soils, 21% in B_B -soils and 17~24% in $\text{B}_\text{D}(\text{d})$ - and B_D -soils and no remarkable difference was found among the types of soil.

On the humic acid composition, the free humic acid ($\text{h}-1$) was most dominant in every horizon of examined soils except that of Fukuyama pn-P3. The rate of combined humic acid [$\text{h}-(2+3)$] to the total humic acid was variable among the corresponding horizons of examined soils belonging to the same type of soil and every horizon of same soil. It ranged trace~less

than 10% in B_A-soils, trace~about 20% in B_B-soils and trace~about 35% in B_D(d)- and B_D-soils. It seemed to be higher in moderately moist soil, i. e. B_D(d)- and B_D-soils, than in dry soil, i. e. B_A- and B_B-soils, as a general trend. It increased from surface horizon downwards in the majority of moderately moist soils.

The humic acid composition of every horizon of Fukuyama pn-P3 was unique. Its total humic acid ranged 19~22%. Its rate of combined humic acid to total one ranged about 20~80%, increasing from surface horizon downwards, and it was very much higher than that of corresponding horizon of other B_D-soils. Besides, the rate of Ca type humic acid (h-2) to the combined humic acid was very significant, and it ranged about 60~70% in its every horizon. In the writer's opinion, its outstanding high rate of exchangeable base saturation and high pH value seemed to have an influence on its peculiar humic acid composition. Similar trend was not found in the surface horizons of Kawamoto P14, Fukuyama G-P7 and Mitoyama P3 which were fairly high in the rate of base saturation and pH value among the examined soils. These results suggested that Ca type humic acid would be dominant in the combined humic acid and rather abundant in total humic acid only in the soils as basic and sufficient in Ca as Fukuyama pn-P3.

6-1-3. Fulvic acid

The total fulvic acid ($f-(1a+1+2+3)$) increased from surface horizon downwards in every soil. Acid soluble humus ($f-1a$) expressed a similar trend and it ranged 4~12% in surface horizons and 8~22% in lower horizons. Among the examined soils with the only exception of Fukuyama pn-P3, no clear correlation was found between the acid soluble humus and chemical properties and types of soil as a general trend. The less acid soluble humus ranging 4~9% in every horizon of Fukuyama pn-P3 than that of other soils seemed to be due to the effect of its above-mentioned outstanding chemical properties.

6-1-4. C_h/C_f ratio

The C_h/C_f ratio (total humic acid carbon/total fulvic acid carbon) decreased from surface horizon downwards in every soil. That of surface horizon ranged 0.82~0.96 in B_A-soils, 0.99~1.01 in B_B-soils and 0.73~1.10 in B_D(d)- and B_D-soils. No clear correlation was found between C_h/C_f ratios and chemical properties and types of soil.

6-2. Humus composition of H and H-A layers

The humus composition of H and H-A layers in some B_B-soils was fairly different from that of mineral horizon of every soil. Their total humic acid ranged 23~24% in H-A layers and 27% in H layer, and their C_h/C_f ratios 1.05~1.50 and 1.67, respectively. Their acid soluble humus ranged only 4~6%. These higher total humic acid and C_h/C_f ratio and lower acid soluble humus than those of mineral horizons seemed to be the common characteristic of these layers.

7. Optical properties of humic acid

The distinct characteristics of optical property of humic acid of examined soils were expressed by the existence and shapes of absorption bands near 615, 570 and 450 m μ , the inclination of spectrum expressed as $\Delta \log K_1$ and $\Delta \log K_2$ and K_{600} of a certain concentration of humic acid expressed as Rf.

The optical properties of humic acid of examined soils are set forth in Table 4.

7-1. The type of humic acid

The variation of humic acid type among the types of soil was very characteristic. In BA-soils, free humic acid was R_p and P_0 types, whereas total humic acid was P_0 type. In BB-soils, the free humic acid belonged to $R_{p\pm}$ and $P_{\pm}$ with few R_p types, whereas total humic acid to $P_{\pm}$ with few R_p types. In Bd(d)- and Bd-soils, free humic acid was subtypes of P type, $P_{\pm}\sim P_{\#}$, with few P_0 and R_p types, whereas total humic acid was $P_{\pm}\sim P_{\#}$ types.

KUMADA *et al.*⁶⁾⁷⁾ reported the following facts on the humic acid types of some forest soils in central Japan: Those in brown forest soil seemed to vary with altitude and type of soil. At low altitude, about 400 m, those of BB-soil were R_p , B and P_0 types; those of Bc-soil were B with a small amount of A types; those of Bd-soil were B type in A horizon and P type in B and C horizons. At high altitude, about 900 m or higher than that, humic acids were all of P type irrespective of the kind of soil. The sampling forest of the writer and those of KUMADA *et al.* at low altitude belonged to the same vegetational zone, i. e. warm-temperate broad-leaved evergreen forest zone, yet the type of humic acid expressed significant difference. Here is a problem awaiting solution in future study.

KUMADA *et al.* also pointed out the following facts on P type humic acid: Its widespread common occurrence was found in any soil from alpine to hilly lowland area, i. e. alpine grass land and meadow soils, podzol, brown forest soil and red-yellow soil; The frequency of its occurrence increased according to the increase of altitude and that of moisture regime of soil in the order as BB-, Bc- and Bd-soils in a certain district. The subdivision of P type humic acid corresponds to the relative amount of P_g (green humic acid)⁵⁾ and it increases from $P_{\pm}$ to $P_{\#}$; The occurrence of P type humic acid abundant in P_g content was found more frequently in moist soil or horizon.

The writer's result suggested the favourable effect of moistened regime of soil on the occurrence of P_g , and it agreed with that of KUMADA *et al.*, whereas he found no clear correlation between the subdivision of P type humic acid in Bd(d)- and Bd-soils and their chemical properties, site conditions, and localities of sampling forests.

The significant difference of humic acid type in BA-soils from that in other types of soil was characteristic and noteworthy. In the writer's opinion, the peculiarity of humic acid type in BA-soils is closely related to their mycelial materials and their residues forming their Am layer (mycelial layer) or well developed loose granular structures in their upper horizons.

7-2. $\Delta \log K_1$, $\Delta \log K_2$ and Rf

Comparing with the surface horizon of every soil, the following variations were found on the optical properties of humic acid: $\Delta \log K_1$ of free and total humic acid ranged 0.66~0.72 and 0.62~0.69 in BA-soils, 0.65~0.74 and 0.60~0.69 in BB-soils and 0.50~0.71 and 0.49~0.64 in Bd(d)- and Bd-soils, respectively. Though their ranges were divergent to some extent, as a general trend they seemed to be quite equal in BA- and BB-soils and to be decreased in Bd(d)- and Bd-soils. Their ranges of $\Delta \log K_2$ were 0.58~0.70 and 0.52~0.63 in BA-soils, 0.86~0.99 and 0.76~0.99 in BB-soils and 0.79~0.94 and 0.70~0.86 in Bd(d)- and Bd-soils, respectively. Their remarkable decrease in BA-soils was due to the difference of humic acid type. The absorption spectra of P_0 and R_p type humic acids in BA-soils are almost linear over whole wavelength, whereas those of $R_{p\pm}$ and $P_{\pm}\sim P_{\#}$ type humic acids in other types of soil are more steep in the long wavelength region from the shoulder band near $615 m\mu$ than in the short wavelength region. The similar trends as the case of $\Delta \log K_1$ was found on $\Delta \log K_2$ in BB- and Bd(d)- and Bd-soils.

The Rf values of free and total humic acids ranged 0.15~0.25 and 0.17~0.27 in BA-soils, 0.21~0.28 and 0.22~0.27 in B_B-soils and 0.18~0.34 and 0.20~0.41 in B_D(d)- and B_D-soils, respectively. Those of immature B_D(d)- and B_D-soils, i. e. Saijo P 6 and Fukuyama G-P 7, were quite equal to those of BA-soils, whereas those of other mature B_D-soils ranged 0.27~0.34 and 0.30~0.41 and were distinctly higher than those of BA- and B_B-soils.

The variations of $\Delta \log K_1$, $\Delta \log K_2$ and Rf value of free and total humic acids in every horizon of examined soils were as follows: In BA-soils, they showed no certain trend, whereas in Saijo P 8 (BA-soil, on the lower part of mountain slope), its B₁ and B₂ horizons showed distinctly lower $\Delta \log K_1$ and $\Delta \log K_2$ and higher Rf value than those of its A horizon. Those values of its B horizons were quite equal to those of mature B_D-soils. The writer holds the view that these facts seemed to suggest that its surface horizon was affected by the arid regime similar to the normal BA-soils on the ridge of steep mountain slope, whereas its lower horizons were affected by the fairly moist regime due to the effect of the topographical factor. In B_B-soils, $\Delta \log K_1$ and $\Delta \log K_2$ decreased from surface horizon downwards except those of Fukuyama P 2 which had R_p type humic acid in its lower horizon. The variation of Rf showed no certain trend. In B_D(d)- and B_D-soils, $\Delta \log K_1$ and $\Delta \log K_2$ were lower and Rf were higher in their lower horizons than those of their surface horizons.

Comparing with the free and total humic acids in every horizon of examined soils, the decrease of $\Delta \log K_1$ and $\Delta \log K_2$ and in the case of R_{p±} and subtypes of P type the more distinct absorption bands near 615, 570 and 450 mμ were found in total humic acid than those in free humic acid with few exceptions. These trends well agreed with the result described in Part 1³⁾. However, the difference of Rf was indistinct in every horizon of examined soils except that of Fukuyama pn-P 3. In the latter soil, Rf value of its total humic acid was quite equal to that of free plus Ca type humic acid ($h-(1+2)$), and it was remarkably larger than that of free humic acid. Besides, the extraordinary large Rf value of total humic acid in every horizon of that soil than that in corresponding horizon of other B_D-soils was noteworthy, and it would be due to the significantly large Rf value of Ca type humic acid. In the writer's opinion, the remarkably rich exch. Ca and high pH value of this soil affected the progress of humification and the significantly humified fractions formed the humus tightly combined with Ca.

8. The humification in the brown forest soil

KUMADA⁴⁾ concluded that the degree of humification meant the increase of blackish hue of humic acid and it was expressed by the decrease of $\Delta \log K$ ($\log K_{400} - \log K_{600}$) and the increase of Rf value of humic acid. He also pointed out the regular transition of some chemical and physical properties of humic acid according to the degree of humification.

The writer stated in his previous paper²⁾ that the progress of humification of every type of soil was most distinctly expressed in its humus form of surface horizon. It was there that the effect of environmental factors on soil formation and the increase of Rf value and the decrease of color quotient (K_{470}/K_{610} , SIMON'S T. F.⁵⁾) on the optical property of humic acid was remarkably reflected. So, also, were the increase of total humic acid and C_h/C_f and the decrease of acid soluble humus on the humus composition favorable indexes of humification. He also commented on the more advanced progress of humification in moderately moist~wet types of soil than in dry type of soil of the brown forest soil.

The similar trend was not found on the humus composition of examined soils in this study as mentioned above. It would be due to the difference of temperature of humus extraction, i. e. 30°C in this study and in boiling water bath in his previous work. The decrease of $\Delta \log K_1$ and the increase of Rf value in B_d(d)- and B_b-soils except their immature types being more pronounced than in B_a- and B_b-soils expressed the advanced progress of humification in the former soils than in the latter soils. These facts well agreed with the writer's previous result. In his opinion, the Rf value would be more favorable than $\Delta \log K_1$ as an index of progress of humification due to its more distinct expression of differences among the soils than that of the latter.

The writer concluded in his previous paper²⁾ that the significant difference of moisture regime and chemical properties of soil among the types of the brown forest soil induced the decomposing activity of soil microorganisms on litter and soil organic matter, and that the latter related to the difference of the progress of humification.

Generally speaking, the topographical factor on the mountain slope induces the accumulation of soil base and moist moisture regime of soil in B_d(d)- and B_b-soils on the middle and lower part of mountain slope, and vice versa in B_a- and B_b-soils on the ridge and upper part of mountain slope. The soil microorganisms have a great influence on the decomposition of soil organic matter, the production of humic substances, and the progress of humification. They were more numerous and their activities were more vigorous in the former soils than in the latter soils, and these facts related to the remarkable difference of humus form among the types of soil.

The writer examined the correlation between $\Delta \log K_1$ and $\Delta \log K_2$ and Rf value of free and total humic acids of every type of soil to get the more detailed information on the progress of humification of examined soils. In this case, on B_a-soils he examined only the normal one on the ridge of steep mountain slope, except Saijo P8, due to its abnormal topographical factor.

The linear correlation coefficient and the regression curve of every type of soil are given in Table 5 and Fig. 3.

Free and total humic acids in B_b- and B_d(d)- and B_b-soils, respectively, expressed a very significant negative linear correlation between $\Delta \log K_1$ and Rf value, whereas no significant correlation between them was found in B_a-soils.

The writer's contention is that the latter is due to the addition of abundant mycelial materials and their residue in their Am layer (mycelial layer) or well developed loose granular structure in their upper horizons to the usual humus formation from litter and herbaceous residues. The significant difference of humic acid type in B_a-soil from that in other types of soil as above mentioned would support such interpretation.

Though the regression curves of free and total humic acids, respectively, were similar in the same type of soil, they showed a significant difference between both types of soil as can be seen in Fig. 3.

The increase of Rf value corresponds to the decrease of $\Delta \log K_1$ and was remarkably larger in B_d(d)- and B_b-soils than in B_b-soils. It was about 1.7-fold in free humic acid and about 2.5-fold in total humic acid. In the writer's opinion, these significant differences of regression curve between both types of soil suggest the qualitative difference of progress of humification between them.

No significant correlation was found between $\Delta \log K_2$ and Rf value in every type of soil.

The writer attributes this to the wavelength region of $\Delta \log K_2$ being from red to far red (650 ~ 850 m μ) and expressing no close relation to the hue of humic acid.

9. Summary

The humus form of types of soil belonging to the brown forest soil was examined and the results obtained were as follows :

1) On the humus composition, the rates of extraction of total humic acid, fulvic acid and acid soluble humus and C_h/C_f ratios of surface horizons of examined soils expressed no significant difference.

2) On the humic acid composition, the greater part of total humic acid was free humic acid and that of combined humic acid was R_2O_3 type in most of the examined soils. The combined humic acid was rather dominant in total humic acid, and Ca type humic acid was sufficient in combined humic acid in only extraordinary Ca rich and basic soil.

3) The humic acid types in B_A -soils were R_p and P_o ; those in B_B -soils were $R_{p\pm}$ and $P_{\pm}$ with few R_p ; those in $B_{D(d)}$ - and B_D -soils $P_{\pm} \sim P_{\#}$ with few R_p and P_o .

4) As a general trend, lower $\Delta \log K_1$ and higher Rf value of humic acid in $B_{D(d)}$ - and B_D -soils than in B_A - and B_B -soils were found.

5) A very significant negative linear correlation was found between $\Delta \log K_1$ and Rf value of humic acid in B_B - and $B_{D(d)}$ - and B_D -soils, respectively. The remarkable difference of their regression curves of free and total humic acids between both types of soil suggested the qualitative difference of progress of humification.

6) The decrease of $\Delta \log K_1$ and increase of Rf value, especially the latter, would be the index of progress of humification.

The writer wishes to express his gratitude to Dr. KUROTORI, T., director of Kansai Branch of this Experiment Station, for his encouragement in carrying out this work.