

在すると考えられる。また、腐植化度の低い腐植も易分解性有機物を構成する一要因と考えられているが、アルコール性水酸基は腐植化度の増大とともに減少し、フェノール性水酸基についてはこれと逆の傾向を示すことが報告されている(筒木 1994) ことから同様のことが言える。脂肪族を示す吸収帯(B)の相対面積は土地利用の違いにかかわらず小さくなる傾向が認められた(0.01~0.10)。土壌脂質は通常土壌有機物の2~6%を占めているが、熱水抽出法ではほとんど抽出されなかったと考えられる。カルボキシル基、アミド結合、アミノ基を示す吸収帯(C)の相対面積は比較的大きい傾向を示した(0.08~1.38)。これより、可給態窒素の供給源が主としてタンパク質様物質であると報告されていることから(樋口 1982)、熱水抽出法により抽出された易分解性有機物においてタンパク質様物質の存在割合が大きいと考えられた。硝酸イオンを示す吸収帯(D)の相対面積は各種土壌間でばらつきが認められた(0.03~1.55)。未同定とした吸収帯Eの相対面積は比較的大きくなる傾向が認められた(0.08~1.96)。この吸収帯は土壌の易分解性有機物と考えられる糖、タンパク質様物質、アミノ化合物(アミノ酸、アミノ糖など)や芳香族化合物、または各種リン酸塩など様々な物質が吸収を示す波長であるため相対面積が大きくなったと考えられた。

次に、耕地・未耕地ごとに各種熱水抽出性成分とFT-IRスペクトルの各吸収帯A, B, C, D, Eの間の関係について検討した。この結果、耕地においては吸収帯C(カルボキシル基、アミド結合、アミノ基に由来する吸収帯)と熱水抽出性炭素およびタンパク質様物質との間で5%水準で有意な関係が認められただけだった(アミノ化合物 $r=0.717^*$, タンパク質様物質 $r=0.702^*$) (表 V-6-1)。つまり、耕地ではカルボキシル基、アミド結合、アミノ基をもったタンパク質様物質が熱水抽出性の易分解性有機物に大きく寄与すると考えられた。しかし、耕地でこの他に有意な相関が認められなかった理由の一つとして、熱水で抽出された易分解性有機物の含有率が低く値に大きなばらつきが認められなかったためと考えられた。

未耕地においては(表 V-6-2)、吸収帯A(アルコール性およびフェノール性水酸基、水素結合に由来する吸収帯)と各種熱水抽出性成分との間でそれぞれ相関が認められた(熱水抽出性窒素 $r=0.786^{**}$, 熱水抽出性炭素 $r=0.864^{**}$, アミノ化合物 $r=0.676^*$, タンパク質様物質 $r=0.736^{**}$)。この結果から、未耕地の各種熱水抽出性成分はアルコール性の水酸基を多く持っていると考えられた。樋口(1982)は、1/15M リン酸緩衝液によって抽出された有機態窒素化合物の主体をなすタンパク質は低窒素物質の混在した形態で、あるいは糖タンパク質のような結合形態で存在するものがあることを示唆した。つまり、この結果から未耕地の熱水抽出性窒素には糖タンパク質が寄与している可能性が考えられた。吸収帯B(脂肪族に由来する吸収帯)と熱水抽出性炭素の間に0.1%水準で高い相関が認められた($r=0.887^{***}$)。また、アミノ化合物の間に5%水準で有意な相関が認められた($r=0.632^*$)。吸収帯C(カルボキシル基、アミド結合、アミノ基に由来する吸収帯)と熱水抽出性窒素の間に5%水準で相関が認められ($r=0.713^*$)、熱水抽出性炭素との間に1%水準で相関が認められた($r=0.787^{**}$)。しかし、吸収帯Cとアミノ化合物およびタンパク質様

表 V-6 各種土壌の IR スペクトルピークの相対面積

			A	B	C	D	E
耕地	相川	Ap1	2.44	0.01	0.04	0.15	1.07
		Ap2	1.21	0.02	0.43	0.24	0.08
		Ap3	0.36	0.03	0.47	0.07	0.16
	中伏古	Ap1	2.13	0.03	0.34	0.08	0.41
		Ap2	0.27	0.01	0.08	0.10	0.29
		Ap3	0.06	0.04	0.11	0.12	0.76
	基松	Ap1	3.91	0.10	0.85	0.30	1.98
		Ap2	2.63	0.02	0.68	0.24	1.21
		Ap3	2.17	0.03	0.59	0.07	0.33
	滝川草地	Ap	5.72	0.03	0.77	0.43	0.18
	上富良野草地	Ap	3.90	0.02	0.51	0.07	0.24
	未耕地	相川	A1	3.82	0.02	0.57	0.09
A2			4.11	0.02	0.84	0.03	0.11
中伏古		2A	4.36	0.03	0.59	0.15	0.84
		3AC	2.30	0.02	0.30	0.10	0.21
基松		A	7.99	0.04	1.06	0.18	0.11
		2A	3.73	0.06	0.51	0.02	0.11
		2AC	4.13	0.02	0.82	0.16	0.77
滝川森林		A11	9.90	0.06	1.38	1.55	0.89
		A12	7.23	0.04	0.88	0.48	0.20
上富良野森林		A	2.55	0.02	0.28	0.14	0.08

- A. 3421~3339cm⁻¹: アルコール性およびフェノール性-OH 伸縮、分子間水素結合
 B. 2932~2928cm⁻¹: 脂肪族性 CH 伸縮
 C. 1638~1606cm⁻¹: -COO⁻伸縮、アミド結合の C=O 伸縮、-NH₂伸縮
 D. 1389~1384cm⁻¹: -NO₃⁻伸縮
 E. 1120~1044cm⁻¹: 未同定

表 V-7-1 耕地土壌における各種熱水抽出性成分と FT-IR スペクトルのピーク相対面積の関係

	熱水抽出性窒素量	熱水抽出性炭素量	アミノ化合物	タンパク質様物質
A	0.233NS	0.371NS	0.280NS	0.416NS
B	0.418NS	0.534NS	0.368NS	0.459NS
C	0.594NS	0.717*	0.512NS	0.702*
D	0.282NS	0.538NS	0.514NS	0.580NS
E	0.375NS	0.479NS	0.521NS	0.411NS

表 V-7-2 未耕地土壌における各種熱水抽出性成分と FT-IR スペクトルのピーク相対面積の関係

	熱水抽出性窒素量	熱水抽出性炭素量	アミノ化合物	タンパク質様物質
A	0.786**	0.864**	0.676*	0.736**
B	0.573NS	0.887***	0.632*	0.523NS
C	0.713*	0.787**	0.542NS	0.623NS
D	0.513NS	0.767**	0.458NS	0.377NS
E	0.154NS	0.147NS	0.164NS	0.009NS

*は5%水準で有意, **は1%水準で有意, ***は0.1%水準で有意, NSは相関なし

- A. 3421~3339cm⁻¹: アルコール性およびフェノール性-OH 伸縮、分子間水素結合
 B. 2932~2928cm⁻¹: 脂肪族性 CH 伸縮
 C. 1638~1606cm⁻¹: -COO⁻伸縮、アミド結合の C=O 伸縮、-NH₂伸縮
 D. 1389~1384cm⁻¹: -NO₃⁻伸縮
 E. 1120~1044cm⁻¹: 未同定

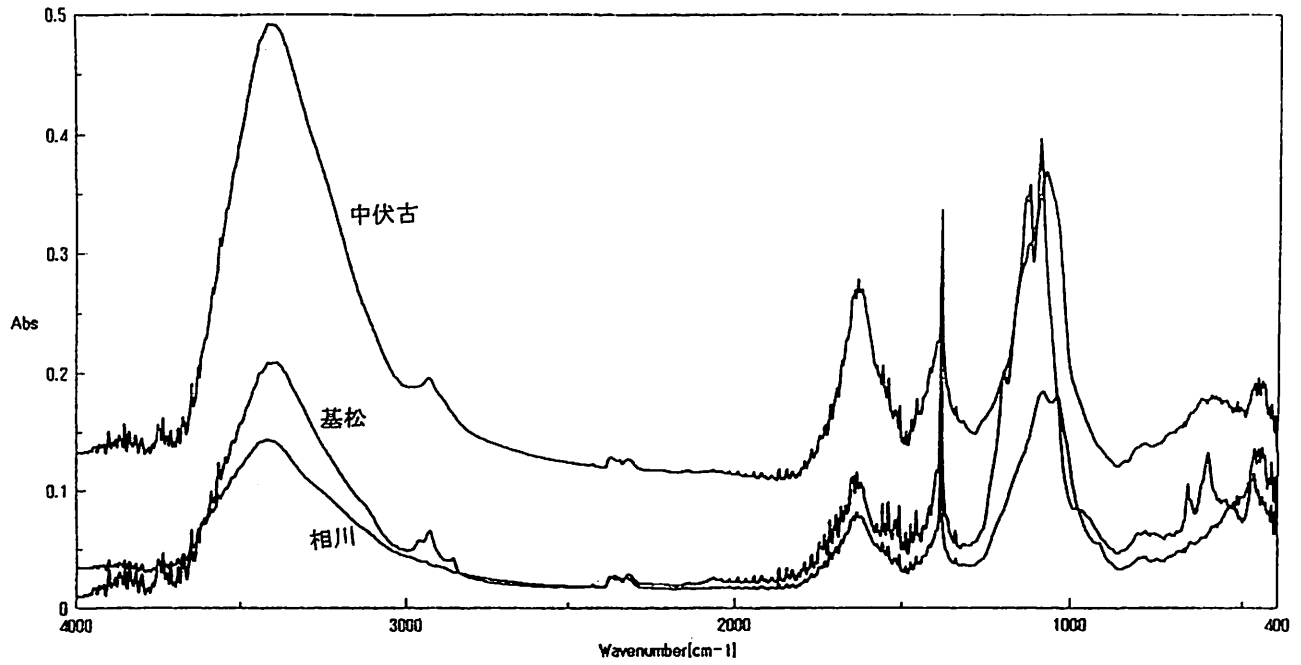


図 V-7-1 耕地表層土壌の FT-IR スペクトル

積算回数 100 スキャンスピード 2mm/sec 分解 4cm⁻¹
 アポダイゼーション Cosine アパーチャー -0.001mm

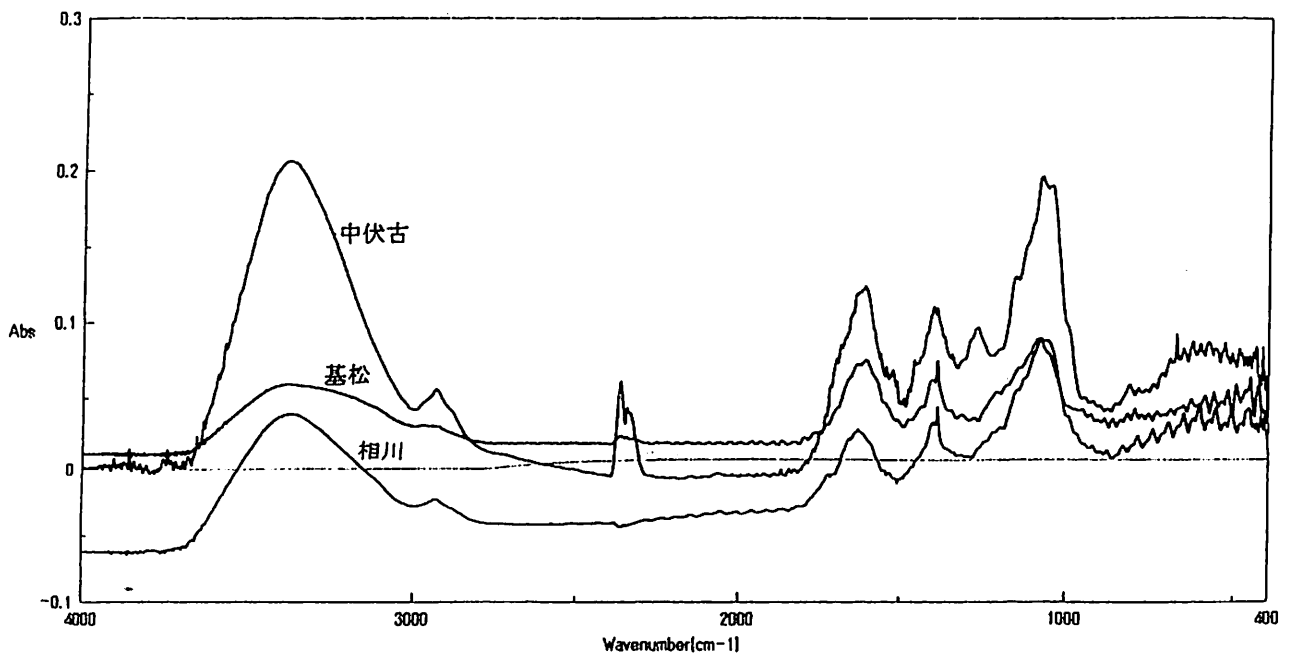


図 V-7-2 未耕地表層土壌の FT-IR スペクトル

積算回数 100 スキャンスピード 2mm/sec 分解 4cm⁻¹
 アポダイゼーション Cosine アパーチャー -0.001mm

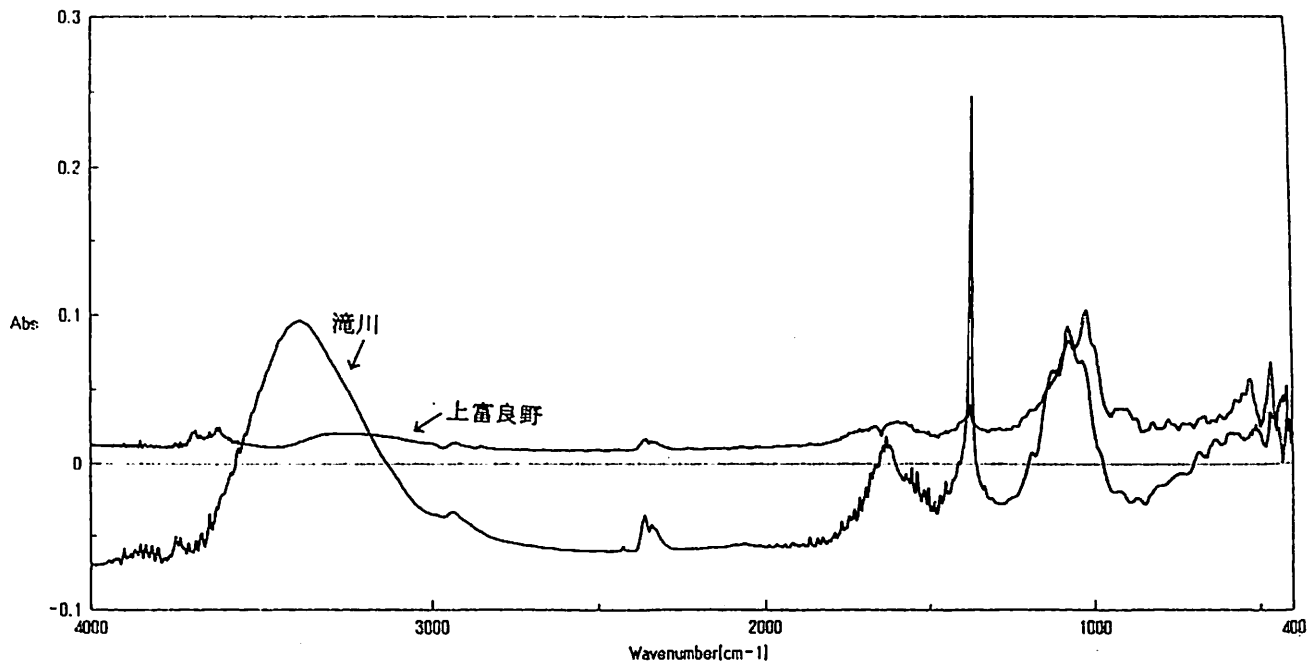


図 V-7-3 草地土壌の FT-IR スペクトル

積算回数 100 スキャンスピード 2mm/sec 分解 4cm⁻¹
 アポダイゼーション Cosine アパーチャー -0.001mm

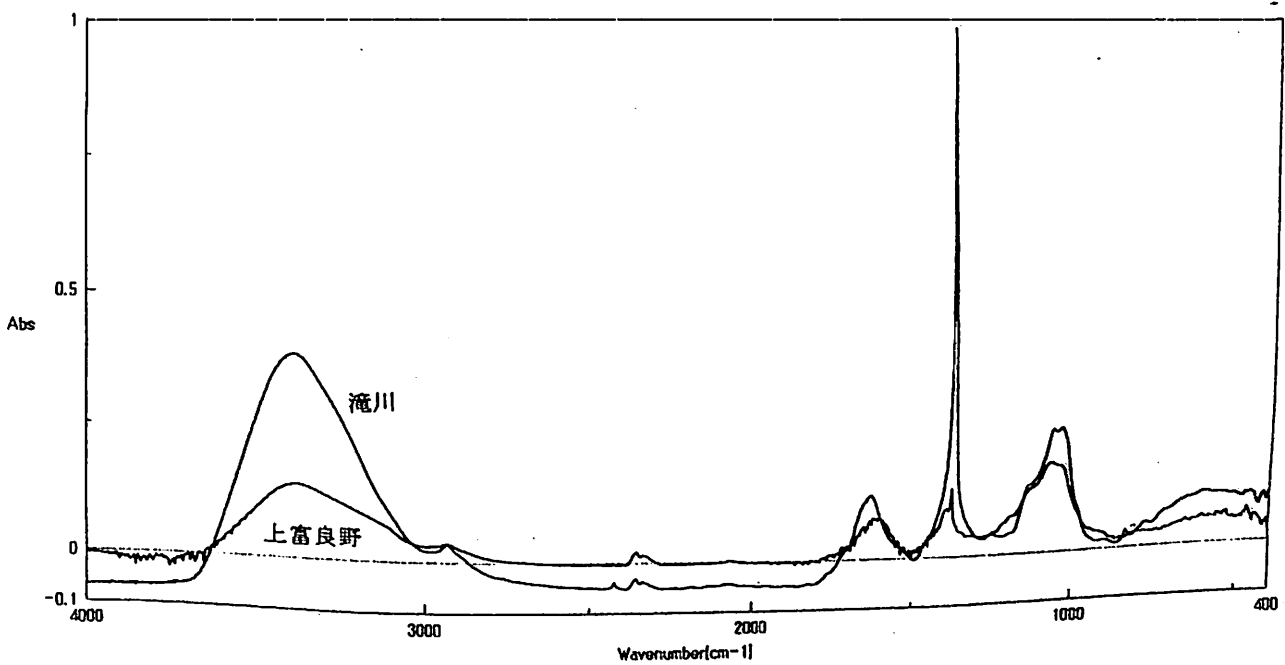


図 V-7-4 森林土壌の FT-IR スペクトル

積算回数 100 スキャンスピード 2mm/sec 分解 4cm⁻¹
 アポダイゼーション Cosine アパーチャー -0.001mm

物質の間には有意な相関が認められなかった(アミノ化合物 $r=0.542^{NS}$, タンパク質様物質 $r=0.623^{NS}$)。つまり、熱水抽出性のタンパク質様物質はタンパク質そのものではないことが確認された。

熱水抽出性のタンパク質様物質およびアミノ化合物のアミノ酸組成は微生物菌体に由来するため土壌の種類によって差が認められない(樋口 1982, 筒木 1994)とすると、樋口(1982)の報告とこの結果より熱水抽出性窒素の供給源と考えられるタンパク質様物質には微生物菌体に由来する糖類, 脂質などの易分解性有機物が混入または結合した状態で存在していると考えられる。

3-7. 易分解性有機物の分子量の大きさについての検討

熱水抽出法により抽出された易分解性有機物の分子量の大きさについて検討するために、各種表層土壌の熱水抽出物についてセファデックス G-50 を充填したゲル浸透クロマトグラフィーを行いその溶出パターンを調べた(図 V-8-1~図 V-8-5)。各種表層土壌において耕地・未耕地ともに $V_e/V_o=3.00$ 付近で最大のピークを示した。標準物質の分子量と溶出位置から算出した検量線より、このピークの分子量は 700~1000 程度と推定された(表 8)。松本(2000)らは 1/15M リン酸緩衝液および 0.4M 硫酸抽出液では分子量 8000~9000 程度の易分解性の有機物が抽出されると報告しているが、本研究で行った熱水抽出法ではさらに低分子量の 700~1000 程度の易分解性有機物が多く抽出されると考えられた。ちなみに、 $V_e/V_o=1.00$ 付近のピークは分子量 66000 以上、 $V_e/V_o=4.00$ 付近のピークは分子量 500 以下と推定された。耕地と未耕地について比較すると、耕地よりも未耕地のほうが熱水抽出法により抽出された易分解性有機物の割合が大きいため分子量にばらつきがでると思われる。特に基松の表層土壌については耕地と未耕地の間で違いが認められた。基松未耕地においては $V_e/V_o=4.00$ 付近に強いピークが見られ、分子量 500 以下の低分子の存在が認められた。

また、分子量画分ごとのタンパク質濃度を次式より求めた。

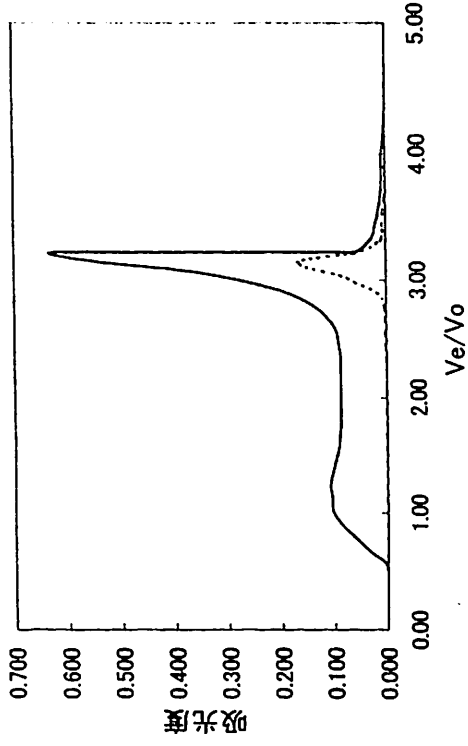
$$\text{タンパク質濃度(mg/ml)} = (A_{235A280}) / 2.51 \quad (\text{Whintaker and Granum 1980})$$

この結果、分子量の溶出量のピーク位置とタンパク質濃度(mg/ml)のピーク位置は全供試土壌において一致した。また、分子量の溶出パターンと分子量画分ごとのタンパク質濃度は類似の変化を示した。しかし、235nm は抽出る液中のタンパク質様物質だけでなくその他にも多くの物質が吸収を示す波長であると考えられるため、分子量のピークと同様の傾向が認められたと思われる。

3-8. UV 吸収によるタンパク質の定量法

土壌中で無機化される窒素の供給源はタンパク質様物質であると考えられていることから、より簡便な方法として抽出液の紫外吸光度(280nm)による土壌の可吸態窒素量の推定が提案されている。斎藤(1988)は熱水抽出法, オートクレーブ法, リン酸緩衝液法によ

分子量分布



タンパク質濃度の分布

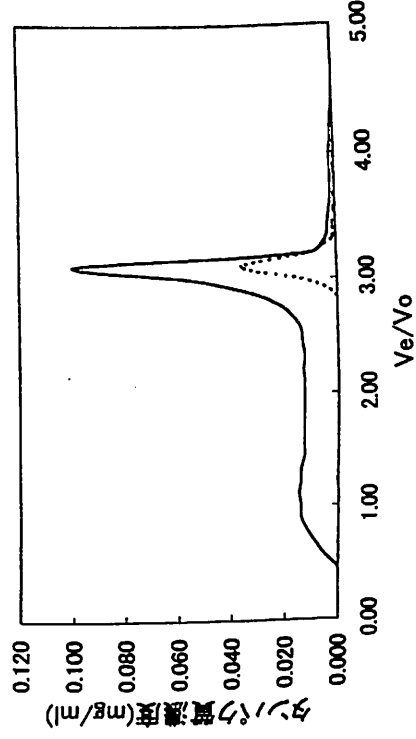
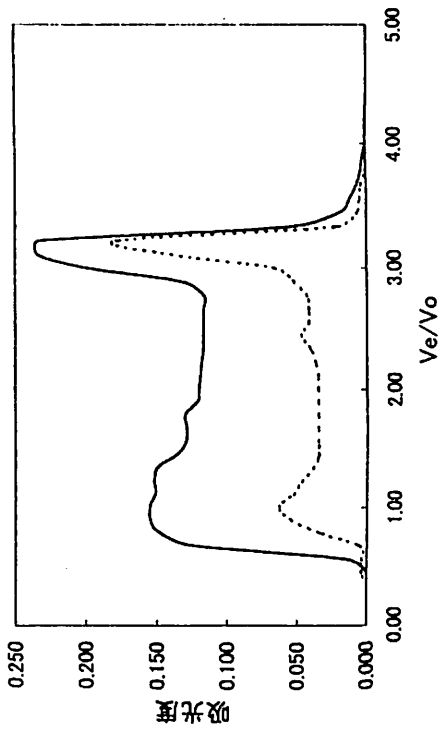


図 V-8-2
芽室町中伏古の表層土壌の分子量分布およびタンパク質濃度分布
— 未耕地土壌 --- 耕地土壌

分子量分布



タンパク質濃度の分布

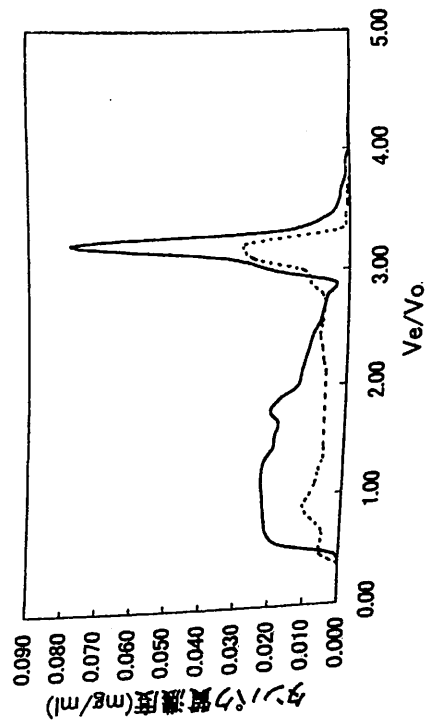
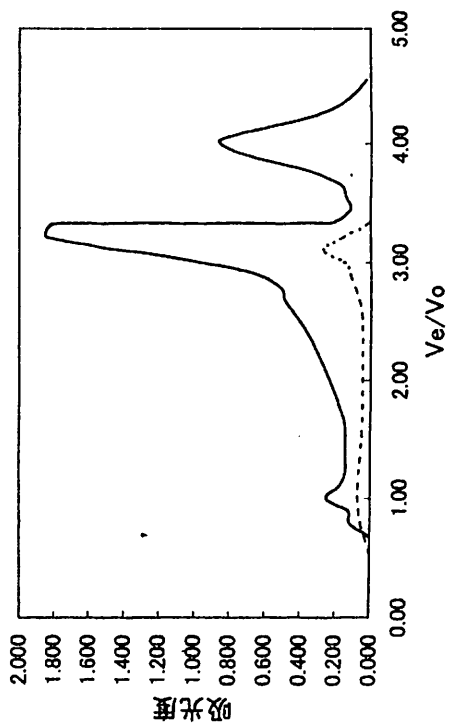


図 V-8-1
幕別町相川の表層土壌の分子量分布およびタンパク質濃度分布
— 未耕地土壌 --- 耕地土壌

分子量分布



タンパク質濃度の分布

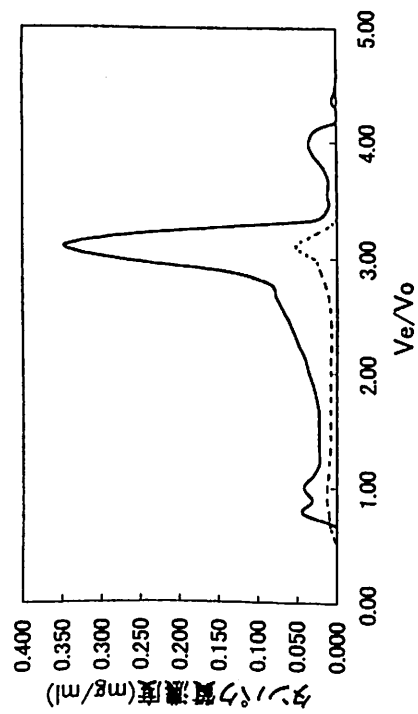
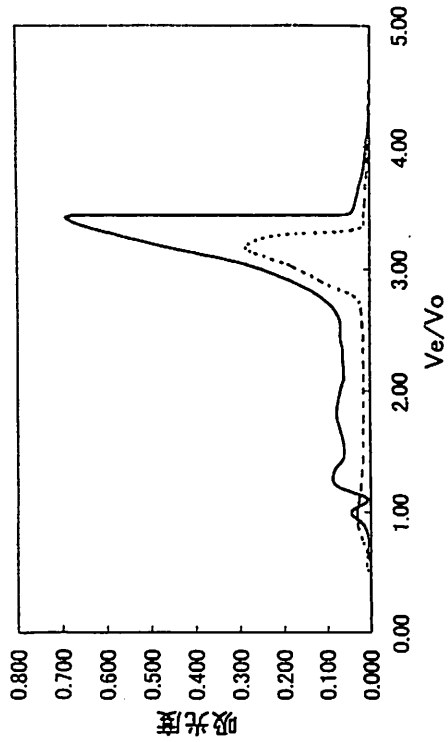


図 V-8-3

帯広市基松の表層土壌の分子量分布およびタンパク質濃度分布
— 未耕り土壌 --- 耕り土壌

分子量分布



タンパク質濃度の分布

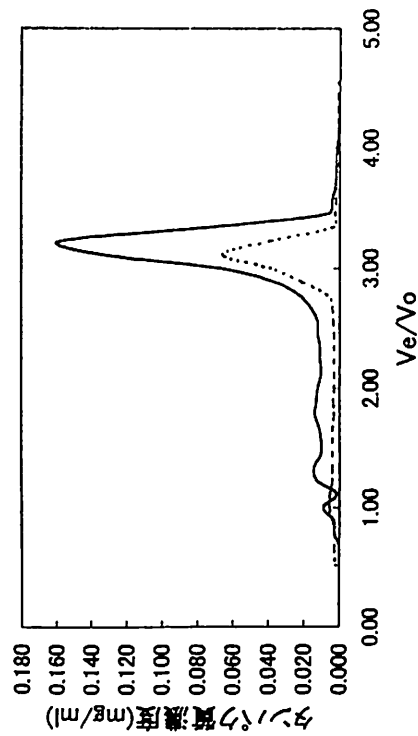


図 V-8-4

滝川の表層土壌の分子量分布およびタンパク質濃度分布
— 未耕り土壌 --- 耕り土壌

表 V-7 熱水抽出成分および抽出成分中のタンパク質の主な分子量

		分子量のピーク			蛋白質濃度のピーク		
		Ve(ml)	Ve/Vo	分子量	Ve(ml)	Ve/Vo	分子量
相川	未耕地	85.7	3.17	736	87.0	3.22	667
	耕地	86.1	3.19	714	87.0	3.22	667
中伏古	未耕地	83.5	3.09	868	83.2	3.08	888
	耕地	84.0	3.11	836	84.0	3.11	836
基松	未耕地	84.0	3.11	836	84.0	3.11	836
	耕地	84.0	3.11	836	83.5	3.09	868
滝川	森林	87.0	3.22	667	86.1	3.19	714
	草地	84.0	3.11	836	84.0	3.11	836
上富良野	森林	82.0	3.04	971	81.8	3.03	986
	草地	78.1	2.89	1302	78.0	2.89	1312

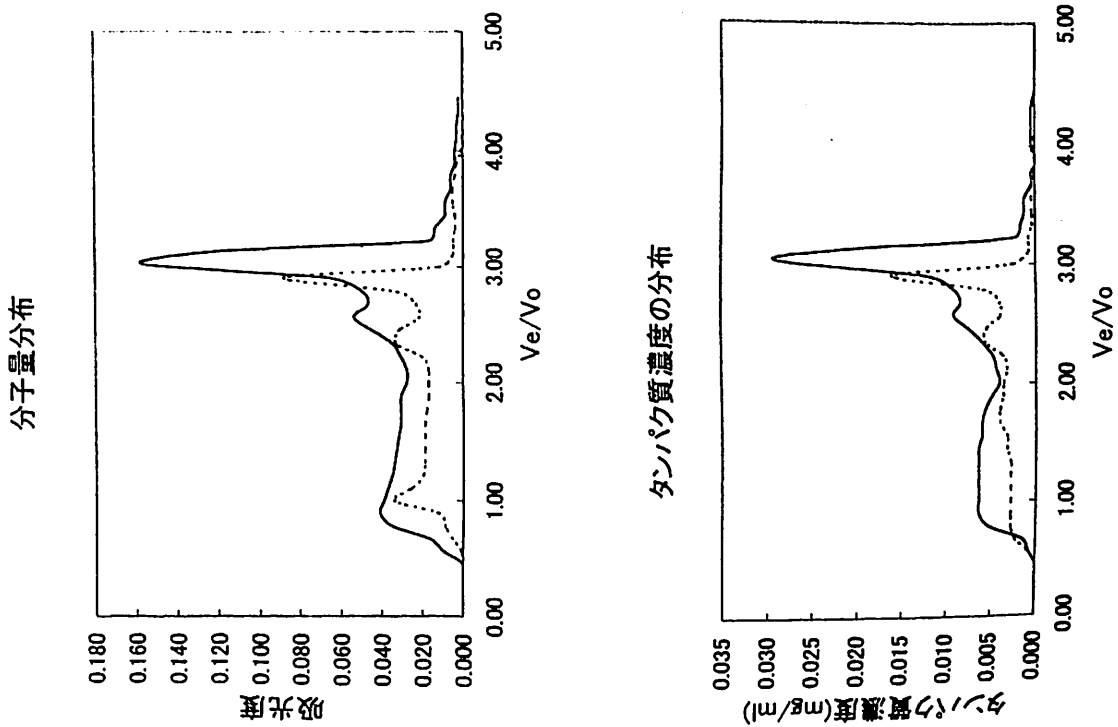


図 V-8-5 上富良野の表層土壤の分子量分布およびタンパク質濃度分布
— 未耕地土壤 --- 耕地土壤

表 V-8 BCA 法および UV 吸収法により定量したタンパク質様物質の定量値

耕地	熱水抽出窒素(g/kg)	タンパク質様物質(g/kg)		
		BCA法	UV	
耕地	相川	0.017	0.352	2.094
	Ap1	0.027	0.360	1.856
	Ap2	0.015	0.376	1.492
	Ap3	0.011	0.247	0.787
	中伏古	0.006	0.220	0.763
	Ap2	0.021	0.319	0.762
	Ap3	0.042	0.614	2.428
	基松	0.041	0.625	1.835
	Ap2	0.060	0.662	1.941
	Ap3	0.025	0.599	1.691
未耕地	Ap	0.009	0.153	1.003
	滝川草地	0.038	0.694	1.102
	上富良野森林	0.043	0.517	2.457
	相川	0.067	1.083	0.907
	中伏古	0.021	0.388	0.983
	3AC	0.198	3.881	1.080
	基松	0.044	0.870	1.290
	A	0.013	0.408	1.057
	滝川森林	0.159	2.276	5.345
	A11	0.026	0.820	1.966
上富良野森林	0.020	0.738	1.335	
A12				
A				

る抽出で得られた全窒素量と抽出液の 280nm における吸光度は有意な相関を示すことを報告した。また、斎藤(1988)はオートクレーブ抽出液では 260~280nm に明確な吸収の肩を確認し、これがタンパク質様物質が抽出されている根拠とした。紫外外部吸収によるタンパク質の定量法としては他にも 2 波長以上の吸光度を利用して精度を高めた方法が提案されている (Groves et al. 1968, Whintaker and Granum 1980)。本研究では抽出液の 280nm と 235nm における吸光度を測定し、

タンパク質濃度 (mg/ml) = (A₂₃₅ - A₂₈₀) / 2.51 (Whintaker and Granum 1980)

により抽出液のタンパク質濃度 (mg/ml) を定量し、BCA 法による定量値との関係について検討を加えた。

BCA 法および UV 吸収法により定量したタンパク質の含有率を表 V-8 に示した。その結果、BCA 法では 0.220~3.881 (g kg⁻¹)、UV では 0.763~5.345 (g kg⁻¹) となり、UV 吸収から算出したタンパク質の含有率は非常に高い値を示した。この原因としては、235nm の紫外外部で吸収を示す物質は多くあるため、試料抽出液中のタンパク質以外の成分によりタンパク質濃度が実際よりも過大に評価されたと考えられる。また、BCA 法と UV 吸収法で得られたそれぞれのタンパク質含有率について検討したところ有意な相関が認められなかった (r = 0.307^{NS})。よって、本研究で検討した 2 波長法は土壌のタンパク質様物質および可給態窒素の絶対量を測定する手段としては有効ではないと考えられた。

4. 要約

北海道の各種土壌(褐色低地土、淡色黒ボク土、厚層多腐植質多湿黒ボク土、細粒灰色台地土、細粒褐色森林土)における耕地・未耕地の主要な層位から熱水抽出法により得られた抽出液について、熱水抽出性炭素・窒素、アミノ化合物、タンパク質様物質の比色定量、UV、IR などの分光学的特性、分子量サイズの検討を行い抽出成分の化学的特性を調べ、以下のことが明らかとなった。

1) 全供試土壌の各種熱水抽出性成分の関係を検討したところ、熱水抽出性窒素と抽出成分中のアミノ化合物およびタンパク質様物質との間に非常に高い相関が認められた。熱水抽出性窒素と熱水抽出性炭素との間にも 0.1%水準で有意な相関が認められたが、窒素成分どうしの間の相関係数よりも低かった。また、耕地・未耕地ごとについても検討したところ、耕地においては熱水抽出性窒素と熱水抽出性炭素およびタンパク質様物質の間で、未耕地においては熱水抽出性窒素とアミノ化合物およびタンパク質様物質の間で非常に高い相関が認められた。

2) 各種供試土壌の抽出液のイオン化示差スペクトルにより、熱水抽出液にはフェノール性化合物が含まれていることが認められた。

3) 各種供試土壌の抽出液の FT-IR スペクトルの吸収帯は土壌の種類、土地利用方法、土壌断面層位の違いにかかわらず共通し、5つの吸収帯からなっていた。

また、内部標準物質 KSCN の吸収帯の面積を 1 とした場合の各吸収帯の相対面積は、全供

試土壌において吸収帯(A)が最大となる傾向を示した。これは土壌中の易分解性有機物である糖、タンパク質様物質、アミノ化合物(アミノ酸、アミノ糖など)に由来するためと考えられる。吸収帯(C)においても相対面積は比較的大きくなった。これは土壌中のタンパク質様物質またはアミノ化合物に由来するためと考えられる。また、未耕地土壌において吸収帯Aおよび吸収帯Cの相対面積と熱水抽出性炭素の間でそれぞれ高い相関が認められた。

4) 熱水抽出性の易分解性有機物の分子量分布は土壌の種類および土地利用の間で大きな差が認められなかった。その大部分は700~1000程度の低分子量の物質であった。

以上の結果から熱水抽出性窒素は主に低分子のアミノ化合物とタンパク質様物質から構成されると考えられた。そして、熱水抽出法で抽出された易分解性有機物は分子量1000程度で化学的にも均一であると考えられた。つまり、熱水抽出性成分中のタンパク質は微生物に由来し、糖類、脂質、フェノール性化合物などの易分解性有機物が混入または結合した状態で存在していると考えられる。

また、2波長の紫外外部吸収により抽出る液のタンパク質濃度を定量することを試みたが、抽出る液中の不純物の存在により過大な値が得られた。よって、この手法は熱水抽出性窒素の絶対量の定量には適当ではなかった。

VI. 熱帯と温帯における有機物組成の比較

1. 腐植組成

表 VI-1 熱帯と温帯における土壤腐植組成の比較

遊離型腐植

		a ₁	b ₁	PQ ₁	RF ₁	Δ logK ₁	Type ₁
熱帯丘陵地帯		2.9-62.8	7.1・45	27-58	29-52	0.682-0.883	Rp
熱帯中位段丘		2.2-17.7	4.1-13.7	33-63	25-75	0.615-0.789	B
黒ボク土未耕地	多湿	101.7	31	75	183	0.479	A
	淡色	22	13.9	61.4	161	0.439	A
黒ボク土耕地	多湿	50	24	76	182	0.430	A
	淡色	5.5	7.2	43	73	0.587	B
非黒ボク土未耕地	褐色低地	5.9	5.7	51.0	46	0.690	B
	灰色台地	22.4	20.9	52.0	63	0.505	P
	褐色森林	4.0	3.69	52.0	89	0.519	A
非黒ボク土耕地	褐色低地	2.41	3.44	41.2	54	0.623	B
	灰色台地	7.70	6.6	54.1	30	0.734	Rp
	褐色森林	1.12	1.02	52.2	40	0.698	P0

結合型腐植

		a ₂	b ₂	PQ ₂	RF ₂	Δ logK ₂	Type ₂
熱帯丘陵地帯		0.3-4.1	0.5-4.0	26-53	45-88	0.555-0.760	B, P, A
熱帯中位段丘		0.1-0.8	0.1-0.6	33-67	40-115	0.527-0.638	A, B
黒ボク土未耕地	多湿	13	6	70	196	0.444	A
	淡色	4.2	6.4	68	140	0.436	A
黒ボク土耕地	多湿	4.2	6.4	68	196	0.428	A
	淡色	1.88	1.1	75	92	0.543	A
非黒ボク土未耕地	褐色低地	1.08	0.64	63	92	0.499	A
	灰色台地	1.60	0.83	66	58	0.429	P0
	褐色森林	0.40	0.30	58	97	0.466	A
非黒ボク土耕地	褐色低地	1.55	0.57	73	83	0.547	A
	灰色台地	0.81	0.61	56.8	60	0.569	P
	褐色森林	0.59	0.42	58.9	49	0.551	P0

温帯の土壤については最表層 A 層土壤のデータを示した。

本研究で用いた土壤はすべて非石灰質土壤であるので、遊離型腐植が抽出腐植の 90%以上を占めた。遊離型腐植割合は耕地化によっては変化しなかった。熱帯においても温帯においても耕地化によって遊離型腐植酸抽出量と遊離型フルボ酸抽出量が著しく減少した。また、腐植酸抽出量の減少とともに腐植酸割合 (RF) も減少した。しかし遊離型腐植酸の腐植化度に関係した指標 RF や Δ logK は耕地化に伴う変化は少なかった。

熱帯丘陵地帯における腐植組成の特徴は、一次林においては温帯と遜色のない腐植含有率を示すが、耕地化とともに急激に腐植含有率が減少したことである。これは腐植を含有する層位が温帯の土壤と比べて薄いことにもよっている。腐植含有率の低下に伴って腐植酸割合 PQ も減少した。また腐植酸の腐植化度 RF および Δ logK は熱帯の同一地域内の土壤間ではあまり変化せず土地利用との関連も認められなかった。熱帯丘陵地帯土壤の遊離型腐植酸は腐植化度の低い Rp 型腐植酸に分類されるものが多かった。熱帯中位段丘では B

型に分類されるものが多く、温帯の土壤でも A 型、B 型、P 型に分類される場合が多く、Rp 型腐植酸は少なかった。この理由は熱帯の丘陵地土壤では土壤への有機物の供給が多いこととその有機物の代謝回転が速いことによるものと推察される。結合型腐植酸に関しては熱帯丘陵地のある 1 地域 (Sekincau) の 4 地点全てで P 型であった他は、その他の地域の結合型腐植酸は B 型 (1 点のみ A 型) に属した。

熱帯中位段丘では遊離型腐植の抽出量が丘陵地帯や温帯の土壤と比較して最も少なかった。腐植酸割合も遊離型腐植の抽出量の減少とともに低下する傾向を示した。すなわち、熱帯中位段丘では腐植の分解が進んでいた。しかし、遊離型腐植酸の型は二次林土壤の腐植酸が P 型であった他は、耕地土壤の腐植酸は全て B 型に属した。また、中位段丘の結合型腐植酸は A 型、B 型、P 型のいずれかに属し、A 型が最も多かった。このように、熱帯の中位段丘では腐植の含有率は著しく低かったが、これに含まれる腐植酸の腐植化度は高かった。熱帯における高腐植化度の腐植酸の生成機構については不明な点が多いが、高腐植化度の腐植酸は構造的安定性も兼ね備えているので、有機物分解が著しく進行する熱帯土壤においては A 型腐植酸を始めとする高腐植化度の腐植酸が選択的に残されたものと考えられる。

帯広市基松の多湿黒ボク土においては高腐植化度の腐植が最も多量に蓄積されていた。その耕地土壤の Ap 層では未耕地土壤と比べて遊離型腐植の抽出量が著しく減少していたが、腐植酸の腐植化度や型にはほとんど変化が認められなかった。

芽室町中伏古の淡色黒ボク土においては、未耕地土においても腐植の含有率が多湿黒ボク土よりも著しく低かったが、耕地土壤の Ap 層においてはさらに減少し、a1 が 2.0~5.5 mg g⁻¹、b1 が 3.6~7.2 mg g⁻¹ となった。また Ap 層内でも表層ほど腐植の抽出量が低くなるという結果が得られた。遊離型腐植酸の腐植化度は未耕地の A 層では A 型に属したが、耕地の Ap 層では B 型となった。このように淡色黒ボク土においては、耕地土壤の腐植が著しく減少しているばかりでなく、その腐植化度も低下していた。これは淡色黒ボク土が乾燥しやすいため有機物の分解が促進されること、風食によって有機物に富んだ軽い土壤粒子が失われ、また波状地形の頂部付近から風で運ばれてきた有機物の少ない無機質の土壤粒子と混合されることなどの理由によるものと考えられる。

滝川の灰色台地土および上富良野の褐色森林土においても、耕地土壤の遊離型腐植抽出量は未耕地よりも著しく少なくなっており、遊離型腐植酸の腐植化度にも著しい低下が認められた (滝川腐植酸 RF₁: 63 から 30 へ、上富良野腐植酸 RF₁: 89 から 40 へ)。

幕別町相川の褐色低地土においては、耕地土壤における遊離型腐植抽出量の減少は認められたが、腐植酸の腐植化度はほとんど変化せず、腐植酸の型も B 型のままであった。

耕地化に伴う遊離型腐植抽出量の減少は温帯においても熱帯においても共通して認められたが、特に熱帯中位段丘では腐植の減少の程度が著しかった。熱帯土壤のように腐植の分解が著しく進行した場合には遊離型腐植酸の腐植化度がさらに増大する可能性があることが示唆された。温帯土壤においては遊離型腐植酸の腐植化度は、腐植が分解してもほとん

ど変化しない場合（多湿黒ボク土、褐色低地土）と、低下する場合（淡色黒ボク土、灰色台地土、褐色森林土）が認められた。

2. 糖組成

表 VI-2 熱帯と温帯における土壤糖組成の比較

	Non-Cel	Cel	total	Cel/tot	Man/Xyl	SacC/tC
熱帯丘陵地帯	5.1-27.1	0.5-6.7	6.2-32.2	7-44	0.5-2.0	5.4-16.2
熱帯中位段丘	1.2-13.4	0.2-2.3	1.4-15.7	10-26	1.1-2.89	7.5-27.4
黒ボク土未耕地						
多湿	12.8	1.15	14.0	8	1.1	7.0
淡色	4.79	0.703	5.49	13	2.7	4.0
黒ボク土耕地						
多湿	4.47	2.30	6.76	34	2.9	2.4
淡色	1.38	0.455	1.83	25	1.3	3.3
非黒ボク土未耕地						
褐色低地	2.02	0.451	2.47	18	2.24	4.2
灰色台地	8.53	1.413	9.94	14	2.10	5.3
褐色森林	2.25	0.319	2.57	12	2.21	6.3
非黒ボク土耕地						
褐色低地	1.02	1.321	2.34	56	5.17	6.5
灰色台地	3.04	1.037	4.08	25	1.89	6.1
褐色森林	0.531	0.254	0.785	32	1.95	5.2

脚注：Non-Cel 非セルロース型糖 mg g⁻¹、Cel セルロース型糖 mg g⁻¹、total 全糖 mg g⁻¹、

Cel/tot セルロース型糖/全糖 %、SacC/tC 糖態炭素/全炭素 %

温帯の土壤については最表層 A 層土壤のデータを示した。

熱帯丘陵地帯の土壤の糖含量は非常に高かった。特に高いのは Bukit Ringgis および Sekincau の一次林の土壤であったが、それ以外の土壤の糖含量も温帯の黒ボク土未耕地中の糖含量に匹敵するか、あるいはそれ以上であった。腐植組成の結果において、熱帯丘陵地の遊離型腐植酸がほとんど全て Rp 型に属したことを、熱帯の土壤有機物の代謝回転が速いことと関連付けたが、高い糖含有率もこのことを支持している。すなわち熱帯の丘陵地の土壤には分解の進行していない若い有機物が多く含まれるものと考えられる。熱帯丘陵地土壤ではマンノース/キシロースの比も 0.5-2.0 と比較的 low、このことは植物由来の多糖類の割合が多いことを示している。

熱帯中位段丘の土壤の糖含有率は、二次林土壤を除く耕地土壤では熱帯丘陵地の土壤よりも著しく低く、約 10 g kg⁻¹ 前後であったが、この値も温帯土壤の糖含有率と比較して高かった。また全糖に占めるセルロース型糖の割合は 10~26%、全炭素に占める糖態炭素の割合も 7.5~27.4% と高い割合を示し、熱帯丘陵地の土壤と同レベルであった。マンノース/キシロース比は 1.1~2.89 と熱帯丘陵地土壤よりもやや高く、微生物由来の多糖類の割合が増えたことを示した。

多湿黒ボク土未耕地の糖含有率は温帯土壤の中では最も高かった。多湿黒ボク土および淡色黒ボク土の耕地土壤では糖含有率が未耕地よりも著しく減少し、他方、全糖中のセルロース型糖の割合は 25~34% と著しく増大した。このことは耕地土壤では非セルロース型糖の分解が進行したことを意味した。

褐色低地土の糖含有率は約 2 g kg^{-1} と低く、未耕地土と耕地土の間で含有率の違いはほとんど認められなかったが、耕地土壌におけるセルロース型糖の割合の増大とマンノース/キシロース比の増大は黒ボク土と同様に認められた。

灰色台地土および褐色森林土においては、耕地における糖含有率の減少およびセルロース型糖の割合の増大は明らかに認められたが、マンノース/キシロース比はほとんど変化していなかった。

熱帯土壌においても温帯土壌においても耕地化は糖含有率の減少をもたらし、特に非セルロース型糖画分の優先的な分解が進行すると推察された。熱帯土壌は有機物中に占める糖の割合が高く、土壌有機物全体の分解程度も低いことが示唆された。

3. 熱水抽出成分

表 VI-2 熱帯と温帯における土壌熱水抽出成分の比較

		熱水抽出炭素 mg kg^{-1}	熱水抽出窒素 mg kg^{-1}
熱帯丘陵地帯コーヒー園	実験圃場	420-600	32-45
	農家圃場	480-625	38-42
黒ボク土未耕地	多湿黒ボク土	1078	198
	淡色黒ボク土	337	67
黒ボク土耕地	多湿黒ボク土	846	42
	淡色黒ボク土	160	11
非黒ボク土未耕地	褐色低地土	248	38
	灰色台地土	1583	159
	褐色森林土	413	20
非黒ボク土耕地	褐色低地土	354	17
	灰色台地土	627	25
	褐色森林土	164	9

温帯の土壌については最表層 A 層土壌のデータを示した。

熱水抽出炭素および熱水抽出窒素の含有率は熱帯土壌と温帯土壌の間で著しい差異は認められなかった。従って、熱帯土壌においても熱水抽出成分が養分循環において重要な役割を果たしていることが示唆された。

熱水抽出物のセファデックス 50 による浸透クロマトグラフィーの結果は、熱帯土壌においても温帯土壌においても分子量分布のピークは約 1000 付近に認められたが、温帯土壌においては分子量 1000 付近のピーク以前に高分子画分が幅広く溶出したのに対して、熱帯土壌では高分子量画分がほとんど溶出しなかった。このことから温帯の熱水抽出成分にはかなりの量の高分子量画分も含まれるが、熱帯土壌では熱水抽出成分がかなり低分子まで分解されていることを示した。

4. まとめ

以上の実験結果から、農耕地としての土地利用は温帯においても熱帯においても土壌中の腐植物質や糖成分の著しい消耗をもたらすことが明らかとなった。しかし、熱水抽出性

成分によって代表されるような易分解性有機物の量は熱帯土壌と温帯土壌の間であまり変わらなかった。熱帯土壌では易分解性有機物は落葉落枝などのような植物残渣から直接供給される部分が多いものと考えられるが、土壌中の有機物の蓄積量が少ないため、植生が人為的に失われると、易分解性有機物は早急に枯渇するものと考えられる。土壌侵食防止のためのコーヒー樹間への雑草の植栽は土壌侵食の防止ばかりでなく、土壌中の有機物の維持効果が著しく大きかった。また、コーヒーと銀ネムの混植のようなアグロフォレストリー栽培法は土壌への易分解性有機物を増大させた。温帯においても、耕地における土壌有機物消耗の実態は、淡色黒ボク土や多湿黒ボク土の例にも見られたように深刻である。このような土壌有機物の消耗は、安定で持続的な農業生産を維持するための重大な障壁となるので、耕地での有機物レベルを維持するような農法の開発と実践が求められる。

謝辞

平成8年度、9年度、10年度には、文部省科学研究費補助金（創成的基礎研究）「東アジアにおける地域の環境に調和した持続的生物生産技術開発のための基盤研究」赤色酸性土壌チーム（木村真人チームリーダー）の研究協力者・分担者として、インドネシアスマトラ島南部の赤色酸性土壌地帯の土地利用を調査し、土壌を採取する機会を得た。本研究で使用した熱帯土壌はこのプロジェクトにより採取させて頂いたものである。

名古屋大学木村真人教授にはこの研究グループに入れて頂き多大なご援助とご指導を頂いた。また、同大学渡辺 彰助教授には同分野の共同研究者として多大なご協力を頂いた。

ランポン大学のスタッフの皆様、特に Prof. J. Lumbanraja, Mr. Sarno, Mr. Syam には、現地でサンプリングに同行して頂き、大変お世話になった。

また、岡山大学の足立忠司教授、沖陽子教授、岐阜大学の千家正照教授には、ランポン県 Sumber jaya の貴重な土壌侵食試験圃場の土壌の採取を許可して頂いた。

土壌の分析は帯広畜産大学の下記の学生に協力して頂いた。

奥山昌隆（平成9～10年度大学院生）：

ランポン丘陵地帯および中位段丘地帯の土壌分析全般

黒川ひとみ（平成11年度大学院生）：北海道土壌試料の一般理化学性

黒田真一郎（平成11年度学部生）：ランポンコーヒー園土壌侵食試験圃場の分析

渡辺奈津子（平成11年度学部生）：北海道土壌試料の腐植組成

佐藤直子（平成11年度学部生）：北海道土壌試料の糖組成

水戸天絵（平成11年度学部生）：北海道土壌試料の熱水抽出性窒素成分

さらに、北海道内の土壌試料の採取にあたっては、帯広畜産大学菊地晃二教授、北海道立中央農業試験場橋本均氏、北海道立花・野菜技術センター横井義雄氏にご指導とご助力を賜った。また、各農家の皆様には快く土壌採取を許可頂いた。

その他、帯広畜産大学環境土壌学研究室の構成員には研究を進めるにあたって多大なご協力を頂いた。

以上の皆様に厚く御礼申し上げます。

引用文献

第 I 章

- 1) Batjes, N.H.: The total carbon in the soils of the world. *European J. Soil Sci.*, **47**, 151-163 (1996)
- 2) Buringh, P.: Organic carbon in soils of the world. In: *The role of terrestrial vegetation in the global carbon cycle: Measurement by remote sensing* (ed. Woodwell G.M.), pp.91-110. Wiley, Chichester (1984)
- 3) Eswaran, H., Berg, E.V.D., and Reich, P.: Organic carbon in soils of the world. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, **57**, 192-194 (1993)
- 4) Guggenberger G., Christensen B.T., and Zech W.: Land use effects on the composition of organic matter in particle-size separates of soil: I. Lignin and carbohydrate signature. *European J. Soil Sci.*, **45**, 449-458 (1994)
- 5) Jenkinson D.S., Adams, D.E. and Wild, E.: Model estimates of CO₂ emission from soil in response to global warming. *Nature*, **351**, 304-306 (1991)
- 6) Post, W. M., Emanuel, W. R., Zinkel, P. J. and Stanberger, A. G.: Soil carbon pools and world life zones. *Nature*, **298**, 156-159 (1982)
- 7) Saiz-Jimenez, C., Hermosin, B., Guggenberger, G. and Zech, W.: Land use effects on the composition of organic matter in soil particle size separates. III. Analytical pyrolysis. *European J. Soil Sci.*, **47**, 61-69 (1996)
- 8) Sanger L.J., Anderson, J.M., Little D., and Bolger T.: Phenolic and carbohydrate signatures of organic matter in soils developed under grass and forest plantations following changes in land use. *European J. Soil Sci.*, **48**, 311-317 (1997)
- 9) Saviotti A., Levi-Minzi R., and Riffaldi R.: The effect of forty years of continuous corn cropping on soil organic matter characteristics. *Plant and Soil*, **160**, 139-145 (1994)

第 II 章

- 1) Detwiler, R.P.: Land use change and the global carbon cycle. *Biogeochemistry*, **2**, 67-93 (1986)
- 2) Guggenberger G., Christensen B.T., and Zech W.: Land use effects on the composition of organic matter in particle-size separates of soil: I. Lignin and carbohydrate signature. *European J. Soil Sci.*, **45**, 449-458 (1994)
- 3) Guggenberger G., Zech W., Haumaier L., and Christensen B.T.: Land use effects on the composition of organic matter in particle-size separates of soil: II. CPMAS and solution ¹³C NMR analysis. *European J. Soil Sci.*, **46**, 147-158 (1995)

- 4) Kumada K., Sato O., Ohsumi Y., and Ohta, S.: Humus composition of mountain soils in central Japan with special reference to the distribution of P type humic acid. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **13**, 151-158 (1967)
- 5) Kumada K.: *Chemistry of Soil Organic Matter*, 241pp., Elsevier, Tokyo, Amsterdam (1987)
- 6) Lumbanraja, J., Syam, T., Nishide, H., Mahi, A.K., Utomo, M., Sarno and Kimura, M.: Deterioration of soil fertility by land use change in South Sumatra, Indonesia: from 1970 to 1990., *Hydrological Processes*, **12**, 2003-2013 (1998)
- 7) Murata T. and Goh K.M.: Effects of cropping systems on soil organic matter in a pair of conventional and biodynamic mixed cropping farms in Canterbury, New Zealand. *Biol. Fertil. Soils*, **25**, 372-381 (1997)
- 8) Noordwijk M.von., Cerri C., Woomer P.L., Nugroho K. and Bernoux M.: Soil carbon dynamics in the humid tropical forest zone. *Geoderma*, **79**, 187-225 (1997)
- 9) Oades J.M., Kirkman, M.A., and Wagner G.H.: The use of gas-liquid chromatography for the determination of sugars extracted from soils by sulfuric acid. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **34**, 230-235 (1970)
- 10) Salam A. K., Katayama, A., and Kimura M.: Activities of some soil enzymes in different land use systems after deforestation in hilly areas of West Lampung, South Sumatra, Indonesia. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **44**, 93-104 (1998)
- 11) Sanger L.J., Anderson, J.M., Little D., and Bolger T.: Phenolic and carbohydrate signatures of organic matter in soils developed under grass and forest plantations following changes in land use. *European J. Soil Sci.*, **48**, 311-317 (1997)
- 12) Saviotti A., Levi-Minzi R., and Riffaldi R.: The effect of forty years of continuous corn cropping on soil organic matter characteristics. *Plant and Soil*, **160**, 139-145 (1994)
- 13) Syam T., Nishide H., Salam A.K., Utomo, M. Mahi, A.K., Lumbanraja, J., Nugroho, S.G., and Kimura M.: Land use and cover changes in a hilly area of south Sumatra, Indonesia (from 1970 to 1990). *Soil Sci. Plant Nutr.*, **43**, 587-599 (1997)
- 14) Spiteller M.: Kapillargaschromatographische Bestimmung von Zuckern unterschiedlicher Boden. *Z. Pflanzenernahr. Bodenkd.*, **143**, 720-729 (1980)
- 15) Tatsukawa R.: Rapid determination of soil organic matter with special reference to sugars, uronic acids and amino sugars, . *J. Sci. Soil Manure Jpn.*, **37**, 28-33 (in Japanese) (1966)
- 16) Tsutsuki K., Esaki I., and Kuwatsuka S.: CuO-oxidation products of peat as a key to the analysis of the paleo-environmental changes in a wetland. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **40**, 107-116 (1994)

17) Tsutsuki, K., Okuyama, M., Sarno, Jamalam Lumbanraja, Watanabe, A. and Kimura, M. : The organic matter composition of the red acid soils under different land uses in the deforested hilly area of West Lampung, South Sumatra, Indonesia. In: Kimura, M. (ed.) *Progress Report of Red Acid Soil Team. Basic Researches on Developing the Techniques for Sustainable Biological Production in the Region of Red Acid Soils.* 51-68 (1999)

第 III 章

- 1) Affandi, Bustomi. R., Rita.M., Oki. Y., Senge. M., and Adachi. T., : Design of field experiment. p125~130 In M. Kimura (ed.), *Progress Report of Red Acid Soil Team. Basic Researches on Developing the Techniques for Sustainable Biological Production in the Region of Red Soils.* pp. 183. Nagoya (1999)
- 2) Affandi, Rosadi, B., Manik, T.K., Senge, M., Oki, Y., and Adachi, T.: Soil conservation in coffee plantation with coffee management. In: *Can Biological Production Harminize with Environment ? - Reports from Research Sites in Asia -* Proceedings of the International Symposium held on October 19-20, 1999 at the United Nations University., p.251-254, Tokyo (1999)
- 3) Chandler. K., Goyal. S., Mundra. M. C., Kapoor. K. K., : Organic matter, microbial biomass and enzyme activity of soil under different crop rotation in the tropics, *Biol Fertil Soil*, **24**, 306-310 (1997)
- 4) Funakawa, S., Tanaka, S., Shinjo, H., Kaewkhongkha, T., Hattori, T., and Yonebayashi, K.: Ecological study on the dynamics of soil organic matter and its related properties in shifting cultivation systems of northern Thailand., *Soil Sci. Plant Nutr.*, **43**, 681-693 (1997)
- 5) Hu. S., Coleman. D. C, Carrol. C.R, Hendrix. P. F., Beare. M. H., : Labile soil carbon pools in subtropical forest and agricultural ecosystem as influenced by management practices and vegetation types, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, **65**, 69-78 (1997)
- 6) 石井米雄 : インドネシアの辞典、同朋舎 (1991)
- 7) 太田誠一 : 東南アジア熱帯雨林の土壌 - そのよりよき理解を目指して -, 森林立地, **36**
(1) 1-12、1994
- 8) 奥山昌隆 : 熱帯赤色酸性土壌の有機物組成に関する研究、帯広畜産大学修士論文 (1999)
- 9) 菅原潔・副島正美 : タンパク質の定量法 (第3版) , p. 87-91, p. 131-144, 学会出版センター (1990)
- 10) 福井作蔵 : 還元糖の定量法 (第2版) , p. 49-94, 学会出版センター (1990)

第IV章

- 1) Benzing-Purdie, L: Organic matter and carbohydrates distribution in Ando soils. *J. Soil Sci.* **31**: 481 - 490 (1980).
- 2) Cheshire, M.V.: Nature and origin of carbohydrates in soils. Academic Press, London (1979)
- 3) Cheshire, M.V.: Carbohydrates in relation to soil fertility; in Development in Plant and Soil Science, ed. Vaughan, D. and Malcolm, R. E., 16: 263-288, Martinus Nijhoff/Dr. W. J., Dordrecht (1985)
- 4) Cheshire, M.V., Mundie, C.M. and Shepherd, H.: Transformation of ¹⁴C glucose and starch in soil. *Soil Biol. Biochem.* **1**: 117-130 (1969)
- 5) 土壤保全調査事業全国協議会編、日本の耕地土壌の実態と対策 新訂版、農林水産省農蚕園芸局監修、博友社 (1991)
- 6) Henkinson, D.S., Adams, D.E. and Wild, W.: Model estimation of CO₂ emission from soil in response to global warning. *Nature*, **351**: 304-306 (1991)
- 7) 北海道火山灰命名委員会、北海道火山灰分布図
- 8) 菊地晃二：十勝管内における農業立地環境の特徴 (1998)
- 9) 熊田恭一：土壤有機物の化学 第2版(学会出版センター) (1981)
- 9) 久馬一剛 他編：土壤の事典(朝倉書店)
- 10) Lehrman, J.: Chemie der Kohlenhydrate. P.1. Geog Thime Verlag, Stuttgart (1976)
- 11) 町田洋、新井房夫：火山灰アトラス(東京大学出版会)
- 12) Martin, J.P.: Microorganisms and soil aggregation. 1. Origin and nature of some of the aggregating substances. *Soil Sci.* **59**: 29-47 (1945)
- 13) Martin, J.P.: Decomposition and binding action of polysaccharides in soil. *Soil Biol. Biochem.* **3**: 33-41 (1971)
- 14) Martin, J.P. and Waksman, S.A.: Influence of microorganisms on soil aggregation and erosion. *Soil Sci.* **59**: 163-174 (1940)
- 15) Murayama, S.: Saccharides in some Japanese Paddy soils, *Soil Sci. Plant Nutr.*, **23**: 479-489 (1977)
- 16) Murayama, S.: The monosaccharide composition of polysaccharides in Ando soils. *J. Soil Sci.* **31**: 481-490 (1980)
- 17) Murayama, S.: Persistency and mono-saccharide composition of polysaccharides of soil Which received on plant materials fro a certain period under field conditions. *Soil Sci. Plant Nutr.* **27**: 463-475 (1981)
- 18) Murayama, S.: Decomposition kinetics of straw saccharides and synthesis of microbial saccharides under field conditions. *J. Soil Sci.* **35**: 231-381 (1984)
- 19) Murayama, S.: Changes in the monosaccharide composition during the

- decomposition of straws under field conditions. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* **30**: 367-381 (1984)
- 20) 村山重俊: 土壌の糖質 - その起源と中性単糖組成の意味するもの -, 化学と生物, **17**: 571-573 (1979)
- 21) 村山重俊: 土壌糖の起源, 分解性, 糖組成と土壌微生物, 土壌のバイオマス(日本土壌肥料学会編), p. 65-114, 博友社, 東京 (1984)
- 22) 小川 恵: 牛糞パーク堆肥の有機物組成に関する研究, 帯広畜産大学修士論文(1999)
- 23) 奥山昌隆: 熱帯赤色土壌の有機物組成に関する研究, 帯広畜産大学修士論文 (1999)
- 24) Shorey, E.C. and Lathlot, E.C.: Pentosans in Soils. *J. Amer. Chem. Soc.* **32**: 1680-1683 (1910)
- 25) 菅家文左衛門: 水田土壌の炭水化物の組成と挙動, 福島県農業試験場特別研究報告 第4号, 福島県農業試験場 (1988)
- 26) 筒木潔: フミン物質(腐植物質)の生成機構とその性質. 水環境学会誌第18巻 第4号 p. 252-256) (1995)

第V章

- 1) Cross, A.D., Jones, R.A.: 現代化学シリーズ5 赤外線吸収スペクトル, 第3版, 東京化学同人(1971)
- 2) Michael Byler D., Gerasimowicz, W., Susi, H. and Schnizer, M.: FT-IR spectra of soil constituents: Fulvic acid complex with ferric ions. *Applied Spectroscopy*, **41**, 1428-1430(1987)
- 3) 樋口太重: 緩衝液で抽出される有機窒素化合物の性質について, 土壌肥料学雑誌 **53**, 1-5 (1982)
- 4) 泉 美治: 機器分析の手引き(データ集), 増補改訂版, 化学同人(1986)
- 5) Ceil, L., Schnizer, M. and Negre, M.: Analysis of carboxyl groups in soil humic acids by a wet chemical method, Fourier-Transform infrared spectrometry and solution-state carbon-13 nuclear magnetic resonance. A comparative study. *Soil Science*, **162**, 189-197 (1997)
- 6) Korschein, M., Schulz, E., Behm, R.: Heisswasserloeslicher C und N im Boden als Kriterium fuer das N-Nachlieferungs vermoegen. *Zentralblatt Mikrobiologie*, **145**, 305-311 (1990)
- 7) 松本 真吾, 阿江 教治, 山縣 真人: 中性リン酸緩衝液および希硫酸抽出による土壌の可給態窒素の推定と抽出される有機態窒素の特性, 土壌肥料学雑誌 **71**, 86-89 (2000)
- 8) Ellerbrock, R. H., Hohn, A., Gerke, H. H.: Land use effects on soil organic matter composition. A Method of functional analysis. *Proceedings of the 9th Conference of the International Humic Substances Society*, 20-25 September, Adelaide, Australia

(1998)

- 9) 斎藤 雅典 : 土壤可給態窒素量の紫外部吸光度法による評価, 土壤肥料雑誌 59, 493 - 495 (1988)
- 10) 斎藤 雅典 : 東北地方における畑土壌の可給態窒素無機化特性値 各種可給態窒素指標との関係について, 土壤肥料雑誌 61, 265 - 271 (1990)
- 13) Tsutski, K. and Kuwatsuka, S.: pH dependent nature of the ultraviolet and visible absorption spectra of humic acid. Chemical studies on soil humic acids. VII. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 25, 373-384 (1979)
- 14) 筒木 潔: 土壤有機物の特性と生成過程, 土壤生化学 (仁王以 智夫, 木村 真人 編), 73 - 96 (1994)
- 15) 筒木 潔: フミン物質(腐植物質)の生成機構とその性質, 水環境学会誌 18, 252 - 256 (1995)
- 15) 筒木 潔: 有機物と土壤肥沃度, 近堂祐弘教授退官記念論文集, 125 - 133 (1995)
- 16) Watanabe, A. and Kumatsuka, S. : Fractionation of soil fulvic acids using polyvinylpyrrolidone and their ionization difference spectra. *Soil Sci. Plant Nutr.*, 37, 611-617 (1991)

