
温帯と熱帯における持続的な土地利用法の
土壌有機成分組成による評価

(課題番号10660057)

平成10年度～平成11年度科学研究費補助金基盤研究(C)(2)研究成果報告書

スマトラ島南部の土壌

平成12年3月

研究代表者 筒木 潔
(帯広畜産大学畜産学部助教授)

平成10年度～平成11年度科学研究費補助金 基盤研究(C)(2)

研究成果報告書

課題番号

10660057

研究課題

温帯と熱帯における持続的な土地利用法の土壌有機成分組成による評価

研究組織

研究代表者：筒木 潔（帯広畜産大学畜産学部助教授）

研究分担者：近藤錬三（帯広畜産大学畜産学部教授）

研究分担者：谷 昌幸（帯広畜産大学畜産学部助手）

研究経費

平成10年度 2,800千円

平成11年度 800千円

研究発表

(1) 学会誌等

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) (平成11年2月)

Tsutsuki, K., Okuyama, M., Watanabe, A., Sarno, Jamalam Lumbanraja: The organic matter composition of the red acid soils under different land uses in the middle terrace area of west Lampung, South Sumatra, Indonesia. 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) (平成11年10月)

(2) 口頭発表

筒木 潔・奥山昌隆・近藤鍊三・Lumbanraja J・Sarno: インドネシアスマトラ島の赤色酸性土壌の無機元素組成と土地利用の関係、日本土壌肥料学会大阪大会(平成 10 年4月)

奥山昌隆・筒木 潔・谷 昌幸・近藤鍊三・Lumbanraja J・Sarno: インドネシアスマトラ島の赤色酸性土壌における土地利用と土壌糖組成の関係(その2)丘陵地帯および中位段丘地帯における土壌糖組成の比較、日本土壌肥料学会大阪大会(平成 10 年4月)

筒木 潔・宗像佳代・金 奈々子・近藤鍊三・谷 昌幸: 黒ボク土の一般理化学性と腐植組成に対する土地利用と微地形の影響、日本土壌肥料学会北海道支部講演会(平成 10 年 12 月)

筒木 潔・奥山昌隆・近藤鍊三・Lumbanraja J・Sarno: インドネシアスマトラ島の赤色酸性土壌における土地利用と土壌有機物組成の関係、日本土壌肥料学会札幌大会(平成 11 年7月)

筒木 潔・奥山昌隆・近藤鍊三・渡辺彰・Sarno・Lumbanraja J.: インドネシアスマトラ島南部赤色酸性土壌の腐植組成、日本腐植物質研究会第 15 回講演会、札幌(平成 11 年 11 月)

筒木 潔・黒川ひとみ・近藤鍊三: 有機物連用輪作圃場におけるリン脂質態 P およびアミノ糖の動態、日本土壌肥料学会北海道支部講演会(平成 11 年 12 月)

目 次

I.	緒言	1
II.	熱帯赤色酸性土壌地帯における土壌の特性と土地利用の関係	
1.	目的	2
2.	試料および方法	3
3.	結果および考察	
3-1.	主要元素組成	6
3-2.	微量元素組成	14
3-3.	一般理化学性	14
3-4.	腐植組成	18
3-5.	糖組成	26
3-6.	CuO-NaOH 酸化によって生成するフェノール性化合物の組成	32
3-7.	各種有機成分の間での炭素の分配	37
3-8.	土壌の有機物組成に対する土地利用の効果	38
III.	インドネシアの丘陵地における圃場管理と土壌有機物組成の関係	
1.	目的	41
2.	供試土壌試料	41
3.	実験方法	43
4.	結果および考察	
4-1.	一般理化学性	44
4-2.	中性糖	49
4-3.	熱水抽出性成分	52
5.	要約	55
IV.	北海道の各種代表的土壌の腐植組成・糖組成と土地利用の関係	
1.	目的	57
2.	供試土壌および実験方法	57
3.	結果および考察	
3-1.	供試土壌の一般理化学性	63
3-2.	供試土壌の腐植組成	67
3-3.	腐植酸の光学的性質	78
3-4.	中性糖	83
4.	要約	100

V.	北海道の各種土壌の熱水抽出成分	
1.	目的	102
2.	試料および方法	102
3.	結果および考察	
3-1.	主な土壌の性質と各種熱水抽出成分の分析結果	106
3-2.	熱水抽出窒素と各種熱水抽出成分の関係	106
3-3.	熱水抽出性炭素とアミノ化合物およびタンパク様物質の関係	110
3-4.	熱水抽出液中のアミノ化合物とタンパク様物質の関係	112
3-5.	UV スペクトルによる熱水抽出成分の分光学的特性	112
3-6.	IR スペクトルによる熱水抽出成分の分光学的特性	117
3-7.	易分解性有機物の分子量の大きさについての検討	122
3-8.	UV 吸収によるタンパク質の定量法	122
4.	要約	127
VI.	熱帯と温帯における有機物組成の比較	
1.	腐植組成	129
2.	糖組成	131
3.	熱水抽出成分	132
4.	まとめ	132
	謝辞	134
	引用文献	135
		～ 140

I. 緒言

現代の農業においては、土壌侵食、酸性化、化学汚染、塩類集積、生物相の単純化等、様々な土壌劣化が進行している。このような土壌劣化はその土壌有機物組成にも著しい影響を及ぼしている。他方、地球温暖化をもたらす大気中二酸化炭素濃度の上昇の原因として、化石燃料の燃焼以外にも、熱帯における農耕地開発のための森林伐採や先進国での集約的な土地利用に伴う土壌有機物の分解が挙げられることは多くの研究者により指摘されている(Jenkinson et al. 1991)。このことに関連してPost et al. (1982), Buringh et al. (1984), Eswaran et al. (1993), Batjes et al. (1996)らは、地球レベルでの土壌有機物資源の現存量に関する推定を行っている。また各種の土地利用形態が土壌有機物組成に及ぼす影響については海外で多数の研究が行われており、リグニン及び多糖類組成への影響(Guggenberger et al. 1994, Sanger et al. 1997)、腐植物質組成への影響(Saviotti et al. 1994)、土壌有機物組成への影響(Saiz-Jimenez et al. 1996)などが明らかにされている。しかし国内では土地利用が土壌有機物の組成や量に及ぼす影響についてはほとんど研究が行われていない。そこで本研究は北海道の主要な土壌である多湿黒ボク土、淡色黒ボク土、褐色森林土、灰色台地土、沖積土を供試し、未耕地(森林)と耕地の土壌の有機物組成を比較した。また、主な検討項目としては、一般理化学性の他に、逐次抽出法による遊離型および結合型腐植、逐次加水分解による微生物由来糖成分と植物体由来糖成分、酸化銅アルカリ分解によるリグニン由来のフェノール性化合物、易分解性窒素成分等の定量を行う。また、森林の急激な伐採燃焼とプランテーションの開発が進行しているインドネシアスマトラ島の赤色酸性土壌地帯(Siam et al. 1997)において、各種の土地利用下にある未耕地および耕地土壌を採取し、森林伐採とプランテーション農業が土壌の有機物組成に及ぼす影響を明らかにする。また、このことによって温帯と熱帯における土壌有機成分の動態の違いを明らかにする。

土壌中にはリグニンや多糖類等の植物体構成成分、これらが腐植化して生成した腐植酸やフルボ酸等の腐植物質、土壌微生物の菌体を構成する有機成分(バイオマス成分)、植物体構成成分が土壌微生物によって分解される途上で生産される代謝生成物等、性質と安定性が異なるさまざまなレベルの有機成分が含まれている。これらの有機物は土壌の分類や諸特性及び土壌中で起こる環境条件の変化を鋭敏に反映する。また、これらの成分は土壌有機物中の異なった構成成分に由来し、安定性も異なるため、土壌環境の変化に対する反応のしかたもそれぞれ異なっている。またその多様性ゆえに、土壌系で起こる様々な環境変化を、様々な時間スケールでその組成に反映する。すなわち、様々なレベルの土壌有機成分は質の異なる環境指標として機能し、異なった時間軸で土壌に起こった環境変化を記録している。従って、各種の土地利用状況や土壌環境の変化が土壌有機成分の動態に及ぼす影響を明らかにすることにより、農耕地土壌の持続的で健全な利用法や土壌環境保全の指針の構築に貢献できるものと考えられる。

II. 熱帯赤色酸性土壌地帯における土壌の特性と土地利用の関係

1. 目的

東南アジアの熱帯雨林の大部分は赤色酸性土壌の上に発達しているが、これらの森林が伐採され耕地化されると、豊かな植生を支えてきた土壌肥沃度が急激に失われていくことが問題となっている。赤色酸性土壌にはFAOの分類による Ferralsols と Acrisol が含まれる。世界における Ferralsols の分布面積は 1069 万 km²、Acrisol は 838 万 km² であり、その 1.4% および 23% が東南アジア地域に分布している。東南アジアにおける Acrisols の分布面積は 197 万 km² であり、この地域の酸性土壌の 64% を占めている。

本研究では、インドネシアスマトラ島南部ランポン県の赤色酸性土壌地帯に相当する丘陵地域および中位段丘地域から様々な土地利用の下にある土壌を採取し、主としてその土壌有機物組成に対する農業開発の影響を検討した。また、土壌の無機元素組成を始めとする基本的な特性についても検討を行なった。

熱帯においては土壌有機物の分解は非常に急速に進行する (Detwiler 1986)。他方、土壌有機物は熱帯土壌の肥沃度の維持にとって不可欠の役割を果たしている。従って、土壌有機物の消耗を極力抑えられるような土地利用体系をつくりだすことが求められている。スマトラ島南部バリサン山脈の東麓には広大で平坦な中位段丘地帯が分布しており、キャッサバ、サトウキビ、ゴム、カカオ、および各種の畑作物の栽培が行なわれている。これらの地域は丘陵地域よりも早く開発が進められ気温も高いため土壌有機物の分解はさらに急速に進行する。そこで、これらの土壌における有機物組成を調べ、土地利用がこれらに及ぼす影響を検討した。

分析を行なった主な項目は以下の通りである。

- 1) 主要元素組成および微量元素
- 2) 基本的理化学性 (pH、炭素、窒素等)
- 3) 0.1M NaOH-0.1M ピロリン酸ナトリウムによる腐植の形態分析
- 4) 非セルロース型およびセルロース型の糖含量および糖組成
- 5) 酸化銅アルカリ分解によるリグニン由来のフェノール性化合物組成

土地利用が腐植組成に及ぼす影響については各種の土壌で幅広く研究されているが (Saviotti et al. 1994, Murata and Goh 1997)、熱帯土壌における研究はまだほとんど行なわれていない。加えて、各種土壌における腐植画分の量的組成に関する情報は基本的かつ重要なものであるがほとんど得られていない。

炭水化物およびリグニン由来のフェノール性化合物は土壌有機物の組成に対する土地利用の影響を解明するための指標として用いられてきた (Guggenberger et al. 1994, Sanger et al. 1997)。また、腐植物質、多糖類、およびリグニンの巨大分子を構成する化合物はそれぞれその起源と安定性が異なっている。そこで、本研究では土地利用がこれらの化合物の量と組成に及ぼす影響を検討した。

2. 試料および方法

2-1-1. 土壌試料

丘陵地の土壌試料は、インドネシア、スマトラ島、ランポン県、Sumberjaya 村内の森林伐採が進行する 5 地域 (Bukit Ringgis, Sekincau, Tri Mulyo, Tri Budi Sukur, Pura Mekar) で 1995 年に採取した。調査地区は Salam et al. (1998) に報告された地域と同じである。それぞれの地域内で 4 種類の土地利用下 (一次林、二次林、コーヒー園、普通畑) にある地点から土壌試料を採取した。Bukit Ringgis においては 1996 年および 1997 年にも同様の地点から試料を採取し、地域名は Bukit Ringgis II とした。USDA の分類による土壌型は一次林および二次林では Dystropepts、コーヒー園および普通畑では Kanhapludults に相当した。これらの調査地点の位置は図 II-1、図 II-2 に示した。また、丘陵地帯土壌試料採取地点の概要は表 II-1 に示した。

中位段丘の土壌試料はランポン県北東部の Gunung Batin 村および Menggala 村内の各地で採取した。両村は隣接し、地形はほぼ平坦、標高は 135m から 145m である。

2-1-2. 分析方法

1) 元素分析

蛍光 X 線分析装置 (リガク 3070 型) を用い、主要元素 (Al, Si, Fe, Mn, Ti, Ca, Mg, K, Na, P, Y) はガラスビード法により、微量～中量元素 (As, Ba, Sr, Rb, Pb, Co, Cu, Ni, Cr, S) はブリケット法により測定した。

2) 一般理化学性 (pH(H₂O), pH(KCl), CEC, 置換性塩基は常法により測定した。

3) 炭素および窒素は CN コーダー法により測定した。

4) 腐植の形態分析は Kumada (1967) の逐次抽出法によって行なった。ただし、腐植酸、フルボ酸溶液中の炭素濃度は重クロム酸カリ硫酸による酸化・比色法 (立川 1966) によって行なった。

5) 非セルロース型およびセルロース型糖組成の分析は Oades et al. (1970) に準拠して行なった。非セルロース型の糖は風乾微細土 2 g に 2.5 M 硫酸 40 mL を添加し、沸騰水浴中で 2 時間環流して加水分解した。セルロース型の糖は非セルロース型糖を抽出した残渣土壌を水で洗浄したのち凍結乾燥し、13 M 硫酸 1 mL に浸して室温で 16 時間放置後、水 25 mL を添加して硫酸濃度を 0.5 M に希釈し、5 時間環流して加水分解した。抽出した糖は Spiteller (1980) の方法に従ってアルジトールアセテート化し、スプリット法キャピラリーガスクロマトグラフィーによって分析した。カラムは Chrompack CP-Sil 43CB 0.25mm x 25 m であり、初期温度 195°C、最終温度 225°C、昇温速度 6°C/min、注入部温度 270°C、検出器温度 300°C とし、検出器は FID を用いた。

6) CuO-NaOH 分解によるフェノール性化合物の分析は Tsutsuki et al. (1994) の方法によって行なった。ただし、キャピラリーカラムは Neutra Bond 1 (0.25 mm x 60 m) に変更した。

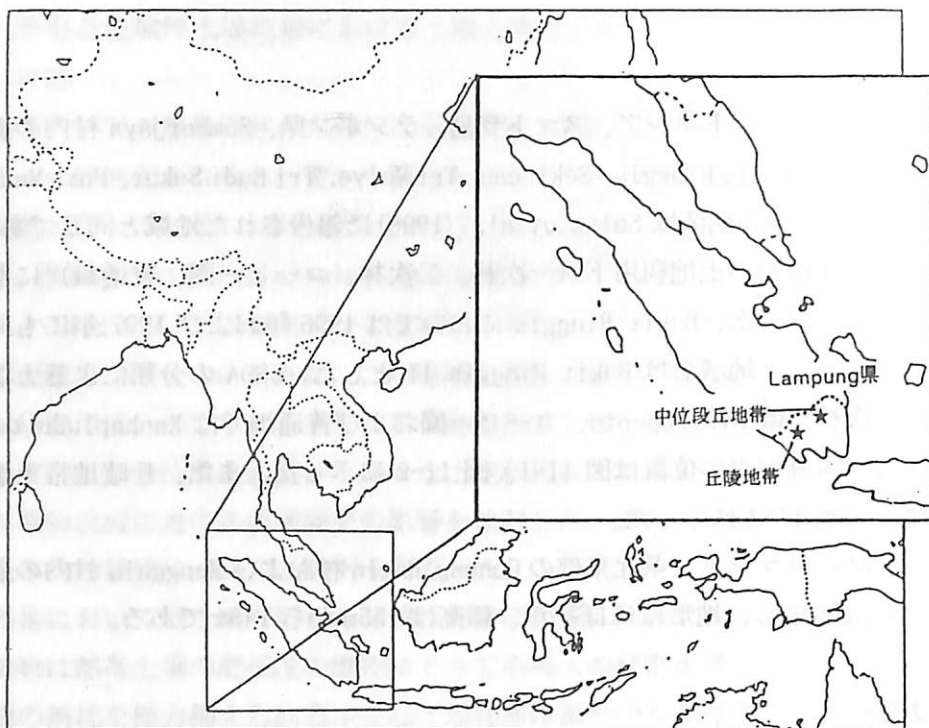


図 II-1 インドネシアスマトラ島ランポン県の図
 adapted from Syam T. et al. (1997)

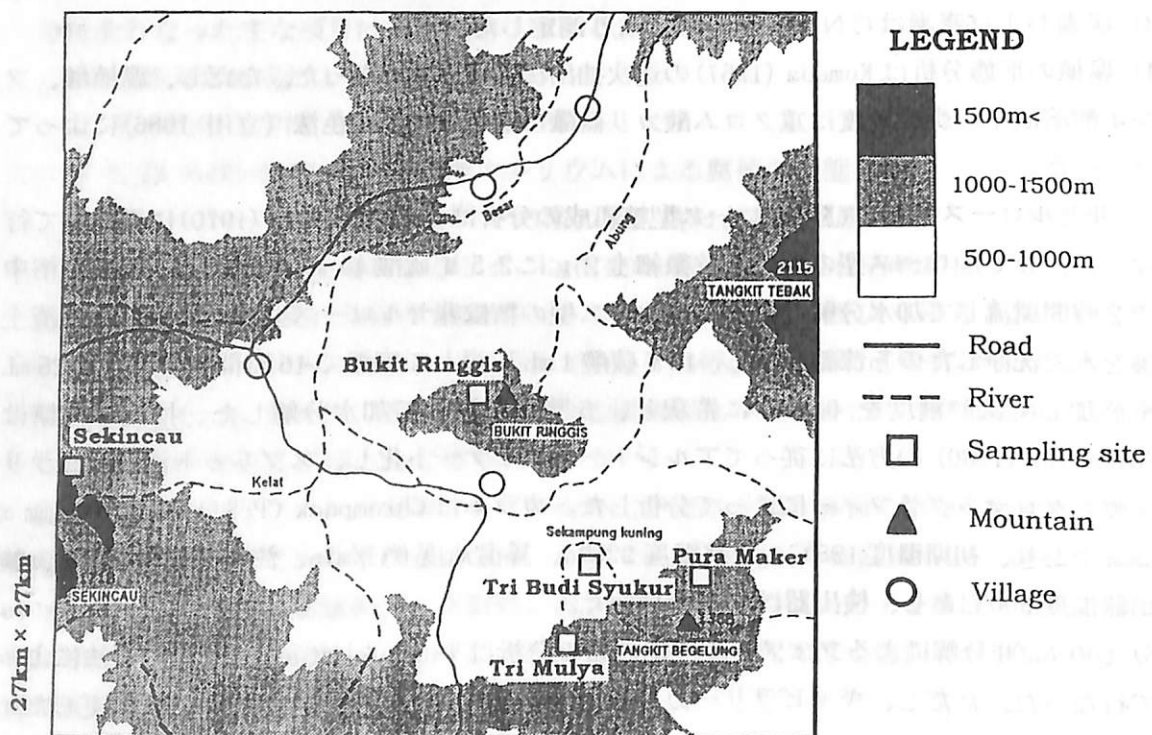


図 II-2 丘陵地帯 (Sumberjaya) 土壌試料採取地点
 adapted from Lumbanraja J. et al. (1998)

表 II-1 丘陵地帯土壌試料採取地点の概要

	標高 (m)	PFからの距離 (m)
Bukit Ringgis(BR)村		
PF	1550	-
SF	1400	628
CP	1120	1600
CLu 畑地(トマト、豆など)	1100	2160
Sekincau(SC)村		
PF	1620	-
SF	1440	530
CP	1240	1550
CLu 畑地(トマト、豆など)	1170	2300
Tri Mulya(TM)村		
PF	890	-
SF	740	335
CP	490	765
CLp 水田	465	1220
Pura Mekar(PM)村		
PF	1240	-
SF	985	354
CP	735	826
CLu 畑地(トマト、豆など)	710	1427
Tri Budi Syukur(TS)村		
SF	790	-
CP	540	559
CLp 水田	522	959

PF: 一次林, SF: 二次林, CP: コーヒー園, CL: 耕地(添字u は畑地, p は水田を示す)
ただし、TS村では一次林が現存しない

3. 結果および考察

3-1. 主要元素組成

1) 丘陵地帯土壌

本研究に供試した土地利用形態の異なる各種土壌は標高や斜度などの地形条件が異なっている。そのため、土壌の母材やその風化程度の同一性を検討するため主要元素組成を分析した。

丘陵地帯土壌の主要元素組成を表 II-2 に示した。分析には土壌を 1000°C で 1 時間灰化後の試料を用いたため、値は酸化物の重量% で表した。

主要元素の中では SiO_2 の割合が最も多く、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 がそれに続き、この 3 元素が丘陵地帯土壌においては全体の 92.3~97.2 % を、中位段丘土壌においては 94.9%~100.9% を占めていた。ただしこの割合が 100% を超えたのは誤差によるものである。

図 II-3 に $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ と SiO_2 の割合の関係を示した。両者の間には非常に高い負の相関が認められた。

Bukit Ringgis 村では一次林、二次林および耕地土壌がほぼ同一の組成を示し、 SiO_2 が約 70%、 Al_2O_3 が約 18 %、 Fe_2O_3 が約 5 % であった。コーヒー園土壌では SiO_2 が 62.5% とやや低く、逆に Al_2O_3 および Fe_2O_3 の割合はやや高かった。Pura Mekar 村の土壌も Bukit Ringgis 村の土壌と同様の傾向を示し、一次林、二次林および耕地土壌の SiO_2 が約 68% とほぼ等しく高い値を示した。Pura Mekar 村のコーヒー園は他の 3 地点と異なり SiO_2 が 59.1% とやや低く、逆に Al_2O_3 は 30%、 Fe_2O_3 の割合は 6.4% であった。

Sekincau 村では SiO_2 の割合が一次林の 62.2% から、二次林、コーヒー園、耕地土壌の順に 54.2% まで小さくなった。 Al_2O_3 の割合はこれとは逆に一次林の 20.2% から耕地土壌の 30.6% まで順に大きくなった。Sekincau 村における Fe_2O_3 の割合は 4 地点ともに約 10% とほぼ類似した値であった。

Tri Mulya 村では 4 地点の SiO_2 の割合は 53~58 %、 Al_2O_3 は 28~23%、 Fe_2O_3 は約 12% と非常に類似していた。

Tri Budi Syukur 村では二次林およびコーヒー園土壌の SiO_2 の割合は約 48 %、 Al_2O_3 は約 30%、 Fe_2O_3 は約 16% と非常に類似していた。 SiO_2 の割合は各丘陵地土壌の中で最も低く、 Al_2O_3 および Fe_2O_3 の割合は最も高かった。Tri Budi Syukur 村の耕地土壌では Al_2O_3 は約 32% と他の地点と同様に高い値であったが、 SiO_2 の割合は 56.1% とやや高く、 Fe_2O_3 の割合は 8.3% と低下していた。これはこの耕地土壌が水田として利用されていることと関連があるものと考えられる。

このように丘陵地土壌の SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 の組成は一つの村の中で類似している場合も異なっている場合もあった。しかし同一村内の土壌の SiO_2 、 Al_2O_3 、 Fe_2O_3 の組成の差は異なる村の土壌を比較した場合よりも小さいことから、同一村内の土壌の母材は類似していると推察された。

CaO 、 MgO 、 K_2O 、および Na_2O の塩基性元素の割合を図 II-4 に示した。各村ともに一次林

表 II-2 丘陵地帯土壌の主要元素組成

	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Total
BR村											
PF	71.1	17.8	5.9	0.08	1.16	1.20	0.64	0.87	1.82	0.14	100.7
SF	70.7	18.6	4.9	0.11	0.92	1.41	0.54	1.30	1.72	0.03	100.2
CP	62.5	27.1	7.3	0.08	1.47	0.45	0.39	0.32	0.67	0.05	100.4
CLu	73.1	18.1	5.6	0.08	1.68	0.27	0.23	0.20	0.42	0.08	99.7
SC村											
PF	62.2	20.2	9.9	0.09	1.45	1.45	0.67	1.31	2.52	0.24	100.0
SF	60.5	23.1	11.1	0.06	1.56	1.18	0.57	0.55	1.54	0.12	100.3
CP	56.6	28.5	10.8	0.06	1.42	0.58	0.52	0.43	0.63	0.20	99.7
CLu	54.8	30.6	9.8	0.42	1.41	0.58	0.48	0.56	0.76	0.21	99.6
TM村											
PF	52.7	28.1	12.4	0.48	1.87	2.21	0.68	0.56	0.88	0.26	100.1
SF	58.0	22.5	12.7	0.77	2.16	1.36	0.65	0.44	0.83	0.17	99.6
CP	58.6	24.0	11.4	0.92	1.92	0.77	0.60	0.44	0.83	0.18	99.7
CLp	54.2	28.4	12.4	0.63	2.11	0.63	0.43	0.31	0.62	0.16	99.9
PM村											
PF	68.6	21.0	3.0	0.14	0.48	1.55	0.34	1.67	3.14	0.03	99.9
SF	67.7	23.3	4.1	0.24	0.64	1.13	0.30	0.89	1.83	0.05	100.2
CP	59.1	30.0	6.4	1.58	1.18	0.70	0.42	0.50	0.96	0.11	100.9
CLu	67.2	23.2	3.9	0.07	1.07	1.22	0.42	0.93	1.94	0.06	100.1
TS村											
SF	48.3	30.0	15.6	0.48	2.15	1.61	0.85	0.25	0.46	0.24	100.0
CP	46.5	32.2	16.4	0.43	2.15	0.54	0.54	0.31	0.56	0.28	99.9
CLp	56.1	32.8	8.3	0.06	2.10	0.20	0.45	0.23	0.31	0.16	100.7

PF: 一次林, SF: 二次林, CP: コーヒー園, CL: 耕地(添字 u は畑地, p は水田を示す)

表 II-3 Bukit Ringgis 2 系列土壌の主要元素組成

層位	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Total
PF											
A	71.6	18.3	5.8	0.07	1.13	0.72	0.51	0.60	1.22	0.13	100.0
B	69.3	20.4	6.7	0.06	1.29	0.34	0.46	0.27	0.62	0.05	99.5
SF											
A/B	69.8	20.6	5.7	0.09	1.00	0.60	0.53	0.44	0.91	0.03	99.7
B	69.2	22.3	6.0	0.07	1.04	0.37	0.50	0.28	0.59	0.02	100.3
CP											
A1	61.4	27.5	7.8	0.08	1.34	0.48	0.37	0.28	0.69	0.08	100.0
A2	62.0	26.6	7.4	0.08	1.26	0.49	0.36	0.32	0.75	0.09	99.3
B	58.0	31.5	8.5	0.05	1.32	0.26	0.36	0.14	0.40	0.02	100.5
CLu											
A1	65.0	25.6	7.0	0.09	1.22	0.38	0.34	0.24	0.53	0.11	100.4
B	62.5	28.2	7.0	0.07	1.18	0.12	0.32	0.09	0.25	0.03	99.7

PF: 一次林, SF: 二次林, CP: コーヒー園, CLu: 耕地(畑地)

土壌で値が高く、二次林、コーヒー園、耕地土壌の順に低くなる傾向があった。各村の4地点の土壌は斜面上部の比較的急峻な地形の一次林地点、やや斜面を下った二次林地点、斜面下部の比較的緩やかな地形のコーヒー園および耕地地点で採取した。塩基性の鉱物は風化を受けやすく溶脱しやすい。急峻な地形はこのような溶脱を促進するはずであるが、実際には一次林で塩基性元素の割合が最も高く、斜面を下るに伴ってその割合が減少した。これは一次林では豊かな森林植生と厚い堆積腐植層によって溶脱や侵食が阻止されていること、他方、斜面下部の他の土地利用下では一次森林植生の伐採により地表面が露出することによって溶脱や侵食が促進されたものと考えられる。

MnO は唯一 Pura Mekar コーヒー園土壌で 1.58% と高い値を示した以外は 0.06~0.92% の範囲であった。TiO₂ の割合は 0.64~2.16% の範囲であったが、同一村内での変動は少なかった。これは TiO₂ の風化抵抗性が高いことを反映したものと考えられる。P₂O₅ は Pura Mekar 土壌を除いて同一村内では一次林土壌が最も高かった。

上記の主要元素組成は全て A 層土壌のものであるので、Bukit Ringgis 村で翌年にもう 1 系列採取した土壌を Bukit Ringgis 2 系列として、その各土地利用下の土壌の主要元素組成を表 II-3 に示した。Bukit Ringgis 2 系列における A 層土壌と B 層土壌の主要元素組成の差は、各地点間の組成の差よりも小さかった。すなわち、森林伐採・焼却を伴う土地利用の変化により、コーヒー園および耕地土壌では耕起による A 層と B 層の混和、森林伐採時の表土剥奪や侵食のために A 層が失われ B 層が露出している可能性が推察されるが、仮にそうであっても主要元素組成に与える影響は小さいと考えられる。これらのことから丘陵地帯各村の一連の土壌は、母材、風化程度および土壌生成過程などが類似していると思われる場合もあり、また特に塩基性元素の割合に示されたように、その組成が一次林、二次林、コーヒー園、耕地の間で順次少しずつ変化している場合もあった。

2) 中位段丘地域の主要元素組成

中位段丘地域においては、Gunung Batin 村では二次林土壌以外の各土壌が、Menggala 土壌ではカカオ園以外の各土壌が非常に良く似た元素組成を示した(表 II-4)。また Gunung Batin 村の土壌と Menggala 村の土壌の元素組成も互いによく類似していた。

また上層土 (A 層) と下層土 (B 層) を比較すると、下層土の方が SiO₂ の割合が少なく Al₂O₃ および Fe₂O₃ の割合が大きい傾向があった。また丘陵地土壌と比較すると、中位段丘の土壌の方が SiO₂ の割合が大きく、Al₂O₃ および Fe₂O₃ の割合が小さい傾向があった。Menggala 村のカカオ園土壌は、他の土壌と比べて TiO₂ および Fe₂O₃、Al₂O₃ の割合が著しく大きく、他方 SiO₂ の割合は小さかった。河畔林である Gunung Batin 村の二次林の元素組成の特徴は SiO₂ の割合が 64.9~69.2% と他の中位段丘の土壌よりも低く、他方 Al₂O₃ の割合は 24.1~27.9% と高く、Fe₂O₃ は 2.8~2.9% と低いことであった。これは、この土壌が氾濫原にあるため土砂の堆積により新しい母材が供給されていることと、還元により鉄の溶解度が増大し溶脱されたためと考えられる。

CaO, MgO, K₂O および Na₂O の割合は中位段丘地帯土壌全体で 0.00~0.52% と丘陵地帯土

表 II-4 中位段丘地帯土壌の主要元素組成 (無機物中の重量 %)

	層位	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	P ₂ O ₅	Total
GB村												
SF	A1	64.9	27.9	2.9	0.03	2.11	0.26	0.23	0.31	0.52	0.12	99.3
	A2	68.7	25.3	2.8	0.03	2.30	0.20	0.19	0.25	0.43	0.04	100.2
	B	69.2	24.1	2.9	0.03	2.44	0.10	0.16	0.14	0.25	0.02	99.3
shrub	A1	83.6	10.3	3.6	0.05	2.05	0.13	0.09	0.07	0.25	0.02	100.3
	A2	82.0	11.7	3.7	0.04	2.00	0.12	0.09	0.07	0.25	0.01	100.0
	A3	82.7	11.8	3.7	0.04	1.98	0.12	0.09	0.07	0.25	0.01	100.7
	B	78.8	14.7	4.0	0.04	1.96	0.08	0.10	0.05	0.21	0.00	100.0
RP	A1	84.0	11.4	2.5	0.02	1.50	0.11	0.03	0.10	0.25	0.03	99.8
	A2	84.7	12.0	2.6	0.02	1.49	0.10	0.03	0.09	0.23	0.02	101.3
	B	81.0	14.1	2.9	0.02	1.55	0.08	0.04	0.07	0.22	0.01	100.0
mix	Ap	77.7	13.8	5.0	0.05	2.67	0.18	0.11	0.13	0.33	0.05	100.0
	B	71.1	18.4	6.0	0.04	2.89	0.12	0.11	0.09	0.28	0.02	98.8
cassava	Ap	73.8	18.2	5.4	0.07	1.63	0.27	0.23	0.19	0.41	0.08	100.3
MG村												
shrub	A1	87.1	10.9	2.7	0.01	0.80	0.11	0.00	0.06	0.24	0.02	101.9
	A2	83.2	13.1	3.3	0.02	0.95	0.10	0.02	0.06	0.24	0.02	101.0
RP	A1	84.7	11.7	2.8	0.02	0.88	0.15	0.02	0.07	0.24	0.08	100.7
	A2	85.3	11.4	2.7	0.02	0.89	0.11	0.00	0.06	0.24	0.03	100.7
	B	86.2	11.8	2.9	0.01	0.95	0.07	0.00	0.03	0.20	0.00	102.1
cacap	A1	61.8	23.0	10.1	0.13	4.71	0.21	0.31	0.10	0.30	0.07	100.7
	A2	64.9	20.8	9.5	0.12	4.22	0.28	0.30	0.10	0.28	0.07	100.5
mix	Ap	87.7	9.3	2.2	0.02	0.81	0.20	0.01	0.08	0.25	0.04	100.6
	B	83.8	12.4	2.8	0.01	0.96	0.08	0.00	0.04	0.21	0.01	100.4
cassava	Ap	86.3	10.3	2.1	0.04	1.31	0.14	0.03	0.07	0.26	0.02	100.6
	B	83.9	12.9	2.4	0.02	1.42	0.09	0.04	0.05	0.21	0.01	101.1

SF: 二次林, shrub: 低木林, RP: ゴム園, cacao: カカオ園, mix: 混作畑, cassava: キャッサバ畑

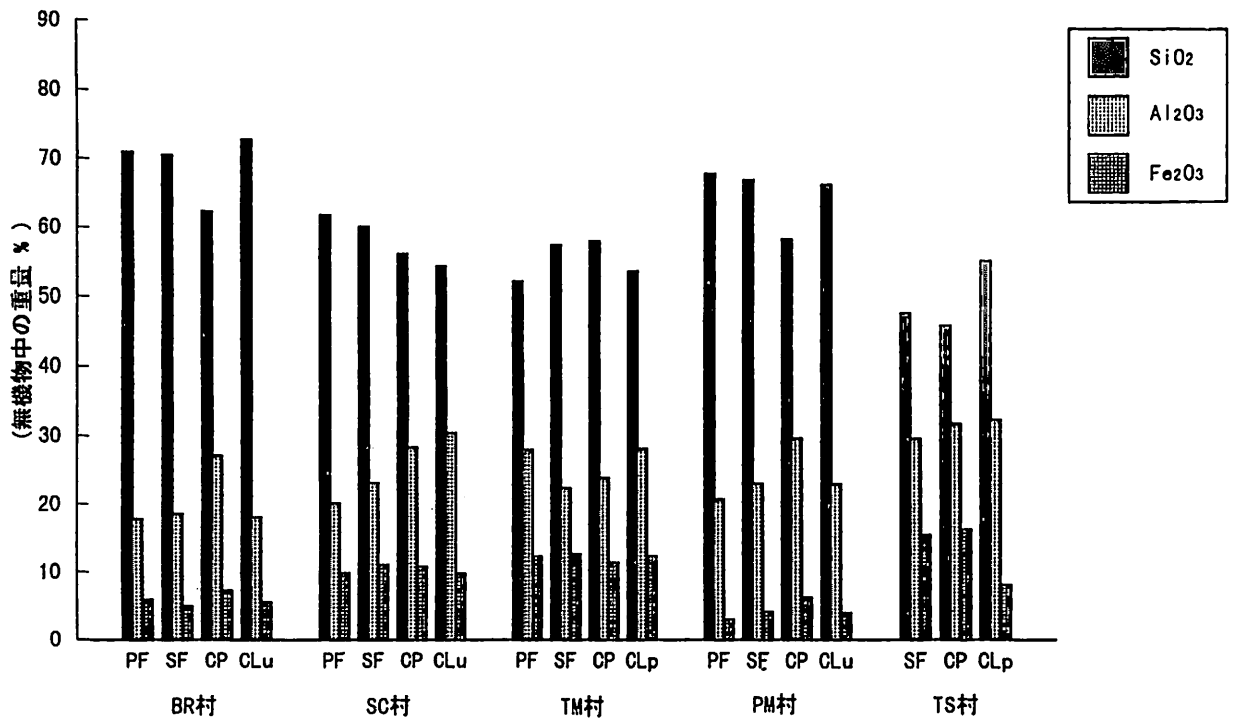


図 II-3-1 丘陵地帯土壌における SiO₂、Al₂O₃ および Fe₂O₃ 含有率
 (PF: 一次林, SF: 二次林, CP: コーヒー園, CL: 耕地-添字 uは畑地, pは水田を示す)

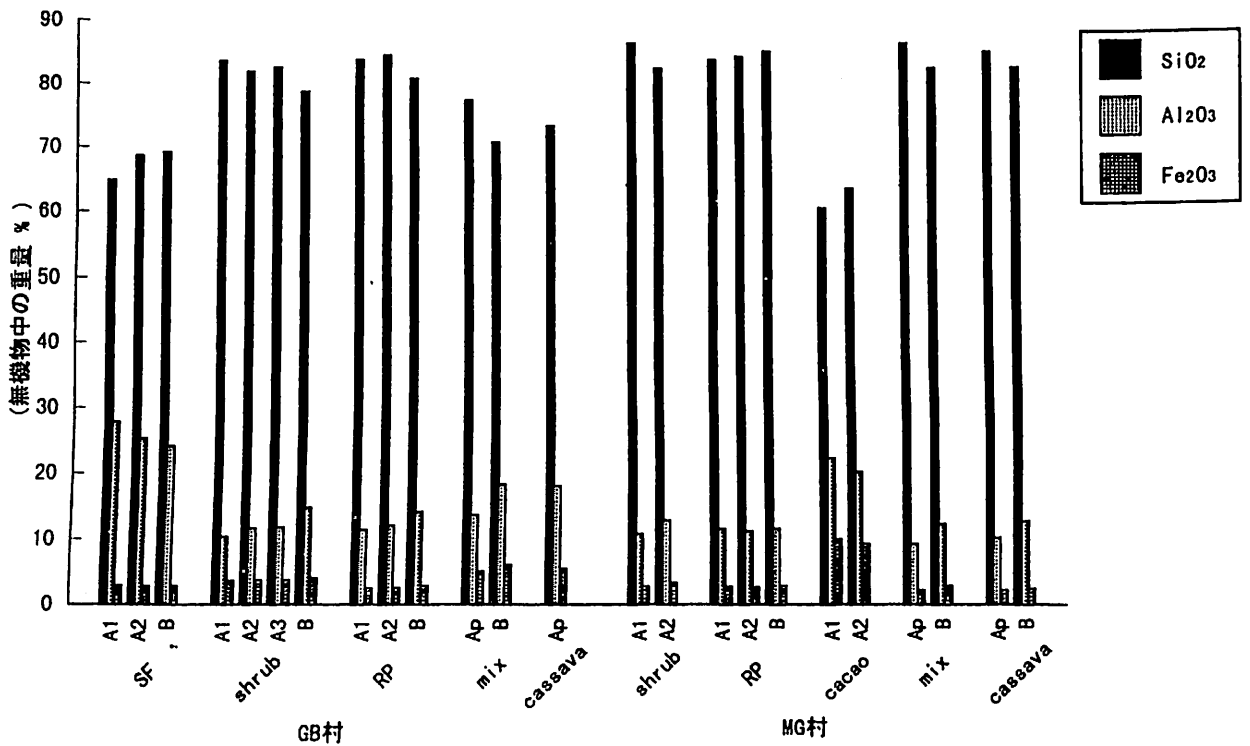


図 II-3-2 中位段丘土壌における SiO₂、Al₂O₃ および Fe₂O₃ 含有率
 (SF: 二次林, Shrub: 低木林, RP: ゴム園, cacao: カカオ園, mix: 混作畑, cassava: キヤッサバ畑)

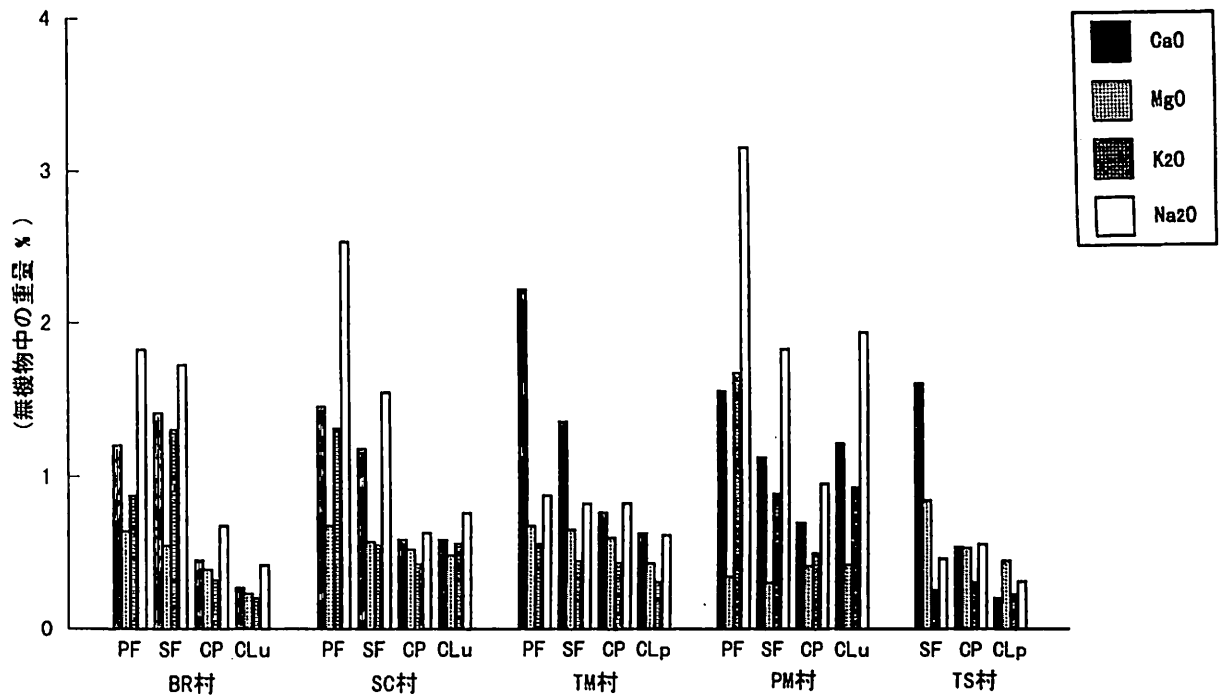


図 II-4-1 丘陵地帯土壌における CaO, MgO, K₂O, および Na₂O 含有率
 (PF: 一次林, SF: 二次林, CP: コーヒー園, CL: 耕地-添字 uは畑地, pは水田を示す)

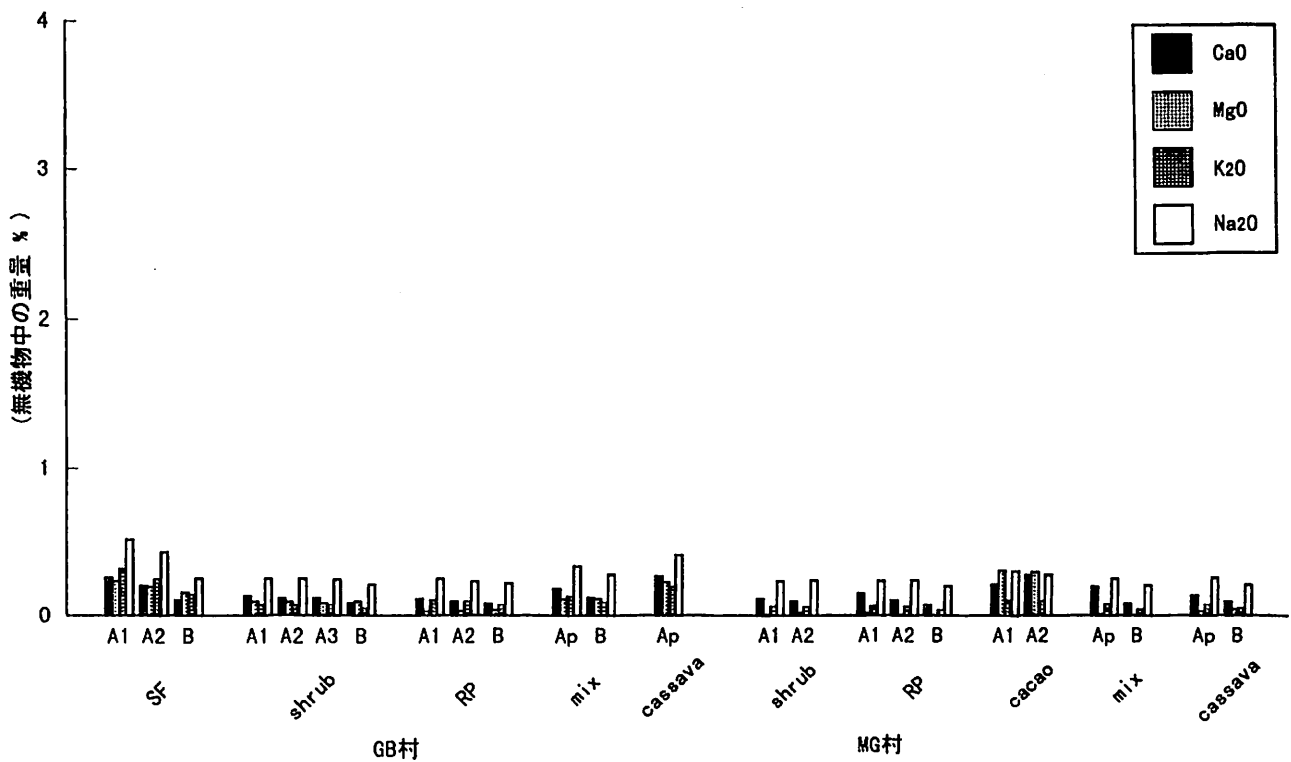


図 II-4-2 中位段丘土壌における CaO, MgO, K₂O, および Na₂O 含有率
 (SF: 二次林, Shrub: 低木林, RP: ゴム園, cacao: カカオ園, mix: 混作畑, cassava: キャッサバ畑)

表 II-5-1 丘陵地帯土壌の微量元素組成 (mg/kg)

	As	Ba	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Rb	Sr	Y	Zn	Zr	S
BR村													
PF	0.0	235.5	15.0	0.0	16.5	22.7	15.9	30.6	114.8	27.9	46.2	300.7	1137
SF	4.8	390.3	8.0	0.0	12.1	38.0	17.3	59.3	171.5	37.5	78.8	316.7	307
CP	14.7	130.2	5.5	0.0	14.6	25.9	25.9	14.8	40.9	15.3	55.1	413.2	373
CLu	7.8	95.0	7.3	0.0	10.0	32.2	22.0	13.2	41.6	24.4	50.5	367.7	312
SC村													
PF	5.8	196.0	13.1	0.0	24.7	28.7	17.1	33.2	103.3	23.6	44.6	229.4	1187
SF	5.6	153.2	21.1	0.0	12.1	69.7	24.1	18.4	93.4	9.9	38.2	256.5	691
CP	16.6	176.9	9.3	0.0	32.4	23.5	30.8	21.0	64.0	7.6	59.8	288.0	852
CLu	14.0	298.4	15.6	0.0	26.6	26.1	31.2	27.0	57.1	11.0	88.8	307.1	553
TM村													
PF	0.6	417.7	29.2	0.0	49.9	19.6	15.0	22.0	157.4	40.1	126.6	199.8	742
SF	5.7	423.3	33.1	0.0	29.1	44.6	21.2	25.5	150.9	23.4	115.4	253.6	477
CP	7.5	442.2	33.1	0.0	26.0	31.5	29.4	22.6	77.0	13.1	126.8	288.4	388
CLp	10.0	443.2	34.7	0.0	22.1	35.7	33.5	14.2	53.9	12.8	82.7	310.5	418
PM村													
PF	7.4	419.8	12.0	0.0	12.7	41.8	28.8	64.2	176.9	22.7	51.4	271.4	324
SF	0.7	397.8	9.5	0.0	9.5	41.6	36.5	37.8	115.9	15.1	86.5	328.0	343
CP	14.9	400.5	14.9	0.0	16.6	32.5	78.0	25.8	62.1	11.7	113.5	398.4	478
CLu	9.5	346.1	13.2	0.0	11.8	26.7	33.3	44.4	123.0	17.9	60.2	444.3	310
TS村													
SF	1.7	406.6	31.0	0.0	34.1	11.0	13.0	10.2	148.4	12.7	100.1	220.1	473
CP	1.8	329.7	29.6	0.0	29.9	15.9	15.6	10.2	57.5	12.0	89.6	224.5	467
CLp	8.5	167.9	11.5	0.0	24.7	81.6	27.8	11.0	33.5	11.3	68.9	369.7	409

PF: 一次林, SF: 二次林, CP: コーヒー園, CL: 耕地(添字 u は畑地, p は水田を示す)

表 II-5-2 丘陵地帯BR村-2土壌の微量元素組成 (mg/kg)

層位	As	Ba	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Rb	Sr	Y	Zn	Zr	S
PF													
A	8.4	275.1	18.1	0.0	11.5	19.7	15.2	26.1	65.0	23.5	42.8	312.6	668
B	4.0	153.6	9.2	0.0	10.7	25.5	14.2	12.8	34.2	20.0	41.7	341.5	307
SF													
A/B	5.9	244.0	12.7	0.0	11.1	80.8	19.0	22.6	65.3	32.9	61.0	329.9	294
B	7.7	180.8	6.9	0.0	9.8	38.7	17.3	17.6	46.1	30.7	59.1	334.6	192
CP													
A1	13.9	168.6	21.1	0.0	53.0	28.6	20.0	13.4	45.8	12.9	96.8	394.8	373
A2	14.5	165.2	34.0	0.0	54.0	30.2	30.0	12.0	47.8	14.4	98.8	386.3	390
B	15.0	189.5	31.7	0.0	57.6	33.9	37.9	9.1	25.6	10.0	109.3	379.8	424
CLu													
A1	9.6	103.1	28.7	0.0	58.7	30.9	13.2	12.7	37.8	23.5	90.1	364.7	306
B	11.1	94.3	29.4	0.0	49.3	34.7	20.6	7.3	20.9	24.1	73.7	374.8	210

PF: 一次林, SF: 二次林, CP: コーヒー園, CLu: 耕地(畑地)

表 II-6 中位段丘地帯土壌の微量元素組成 (mg/kg)

	層位	As	Ba	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Rb	Sr	Y	Zn	Zr	S
GB村														
SF	A1	6.8	157.0	43.6	0.0	64.1	43.7	41.9	12.2	36.7	26.3	75.6	718.8	632
	A2	8.0	120.1	32.0	0.0	63.7	36.9	37.0	11.5	31.8	22.7	71.6	898.2	296
	B	5.8	89.2	27.4	0.0	56.6	41.7	32.1	7.6	23.8	20.8	67.3	1035.4	233
shrub	A1	2.6	50.2	36.8	0.0	18.3	34.5	8.7	6.3	15.6	7.7	14.6	727.0	308
	A2	5.0	38.0	39.3	0.0	16.4	106.3	8.7	5.2	14.4	6.9	12.9	722.6	288
	A3	1.2	49.2	45.2	0.0	15.5	77.8	11.3	4.7	12.9	5.8	16.5	694.6	241
	B	8.0	25.5	36.6	0.0	15.2	33.4	10.3	3.6	9.8	6.1	16.7	673.7	186
RP	A1	0.0	75.6	83.2	0.0	58.4	35.3	44.7	7.1	16.7	9.9	43.4	1059.7	549
	A2	5.3	93.0	42.3	0.0	61.0	32.7	42.0	6.5	14.7	9.7	42.7	984.2	366
	B	0.0	64.9	56.5	0.0	62.7	37.6	51.4	4.7	14.2	14.0	41.8	1020.1	265
mix	Ap	5.0	49.5	44.0	0.0	54.6	38.3	30.3	8.3	21.8	15.2	52.6	1192.6	589
	B	12.7	46.3	38.1	0.0	57.4	31.8	24.9	4.8	15.5	15.3	60.8	1103.1	327
cassava	Ap	2.3	47.6	42.5	0.0	19.8	45.7	8.5	5.3	14.3	7.6	15.0	646.8	261
MG村														
shrub	A1	4.0	40.4	68.5	0.0	65.3	31.4	3.5	5.3	14.7	2.5	39.9	486.3	413
	A2	4.9	30.9	41.0	0.0	62.0	36.8	0.0	3.8	12.9	3.2	42.3	534.7	343
RP	A1	0.0	49.6	78.9	0.0	61.4	36.4	11.7	4.1	18.1	6.7	36.7	546.5	530
	A2	3.9	27.4	45.4	0.0	63.6	31.9	8.2	3.5	14.4	6.0	43.9	532.9	293
	B	2.8	43.0	70.6	0.0	58.2	34.0	8.9	4.6	11.0	3.7	36.6	613.1	167
cacap	A1	4.4	24.7	29.5	0.0	53.7	30.3	10.2	5.3	18.5	5.9	71.4	724.7	378
	A2	2.1	39.2	45.9	0.0	57.7	26.3	15.0	7.1	20.7	5.9	72.9	658.5	548
mix	Ap	1.0	35.7	42.5	0.0	66.5	41.7	5.3	7.5	22.5	4.0	46.4	501.1	396
	B	2.1	30.1	48.9	0.0	60.9	32.1	3.7	2.8	12.2	4.3	39.6	540.7	235
cassava	Ap	0.3	46.4	39.4	0.0	64.2	37.8	16.1	5.9	17.8	13.7	50.8	663.4	293
	B	5.5	33.0	36.3	0.0	61.1	39.8	16.5	4.9	14.0	11.3	46.9	666.9	222

SF: 二次林, shrub: 低木林, RP: ゴム園, cacao: カカオ園, mix: 混作畑, cassava: キャッサバ畑

壤と比較すると著しく低い割合であった。MnO および P₂O₅ の割合は 0.00~0.13%の範囲にあり、これも著しく低かった。TiO₂は Menggala 村カカオ園土壤で著しく高く、その他の土壤では 0.80~2.69%の範囲にあり、丘陵地の土壤における値と類似していた。

3-2. 微量元素組成

1) 丘陵地帯

丘陵地帯土壤の蛍光 X 線ブリケット法による微量元素組成を表 II-5 に示す。As、Pb 含有率は各村において一次林土壤よりもコーヒー園および耕地土壤で高い傾向を示した。As、Pb 含有率は畑地土壤と水田土壤の間では明瞭な違いは認められなかった。土壤中の As、Pb 含有率は人為的な影響で高くなったものと考えられる。Ba、Sr および Rb 含有率は一次林で高く耕地土壤では低い傾向を示した。これら以外の微量元素では異なった土地利用地点の間で一定の傾向は認められなかった。また、Cr は検出されなかった。Bukit Ringgis 村のもう 1 系列の土壤である BR-2 系列土壤の微量元素組成を表 F に示した。多くの微量元素は A 層よりも B 層で低い値を示した。これは A 層の有機物含有率が B 層よりも多いことによるものと考えられる。風化抵抗性の高い Zr は A 層と B 層でほぼ同じ含有率を示した。

2) 中位段丘地帯

中位段丘地帯の土壤の微量元素組成を表 II-6 に示した。丘陵地帯と同様に多くの微量元素は A 層よりも B 層で低い値を示した。また中位段丘地帯の土壤では丘陵地帯の土壤よりも Ba、Sr、S の含有率が低く、Zr 含有率は著しく高く、Co、Cu、Zn などの含有率は高かった。Cr は中位段丘の土壤でも検出されなかった。丘陵地のコーヒー園や耕地土壤で高い値を示した As は中位段丘では再び低い値を示した。

3-3. 一般理化学性

1) 丘陵地

丘陵地土壤の基本的諸性質は表 II-7 に示した。Bukit Ringgis および Sekincau における全ての試料採取地点は標高 1100 m 以上の地点にあった。他方 Tri Mulya, Pura Mekar および Tri Budi Syukur の 3 地域内における試料採取地点の標高は 1000 m 以下であった。Bukit Ringgis および Sekincau においては、一次林の土壤の pH(H₂O) は 4.0 ないし 3.8 と強い酸性を呈したが、コーヒー園および普通畑の pH(H₂O) および pH(KCl) は一次林よりも高い値を示した。Tri Mulya, Pura Mekar, および Tri Budi Syukur では一次林の土壤の pH(H₂O) は 6.2 から 6.4、pH(KCl) は 5.4 から 5.9 と高く、これとは反対にコーヒー園および普通畑の pH は一次林よりも低かった。

土壤の炭素含有率は全ての地点でほぼ一次林、二次林、コーヒー園、普通畑の順に減少した。この例外は Sekincau のコーヒー園土壤の炭素含有率が二次林土壤よりもわずかに高かったこと、Tri Mulya および Tri Budi Syukur の普通畑の炭素含有率がコーヒー園よりもわずかに高かったことなどである。Bukit Ringgis および Sekincau の一次林では他の土

表 II-7-1 丘陵地土壤の一般理化学性

深さ (cm)	T-C (%)	T-N (%)	C/N	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	Fet (g/kg)	Fed (g/kg)	Feo (g/kg)	活性度 (Feo/Fed)	結晶化指数 (Fed-Feo)/Fet	Alt (g/kg)	Ald (g/kg)	Alo (g/kg)
BR村													
PF 0-20	17.9	0.8	21.6	4.02	3.38	26.3	12.1	7.5	0.62	0.18	59.9	6.0	5.2
SF 0-20	5.0	0.3	19.0	5.34	4.60	29.6	9.0	5.4	0.60	0.12	84.9	2.7	2.5
CP 0-20	3.6	0.2	14.8	4.30	3.98	42.8	25.5	6.7	0.26	0.44	120.3	6.5	4.1
CLu 0-15	3.0	0.2	13.1	4.32	3.86	33.6	24.4	6.4	0.26	0.54	82.2	4.3	2.4
SC村													
PF 0-23	18.9	1.0	19.2	3.78	3.46	43.0	21.3	6.9	0.32	0.34	66.3	7.9	6.3
SF 0-21	8.2	0.5	16.6	4.21	3.19	60.0	38.3	19.0	0.50	0.32	94.5	15.5	13.8
CP 0-16	8.4	0.6	13.4	4.45	4.18	56.6	37.8	11.3	0.30	0.47	112.9	13.5	9.7
CLu 0-29	3.8	0.3	11.1	4.72	4.40	56.4	34.0	6.1	0.18	0.49	133.3	8.9	5.2
TM村													
PF 0-14	7.9	0.7	10.6	6.37	5.94	65.6	22.7	7.2	0.32	0.24	112.5	2.7	3.0
SF 0-19	4.3	0.4	9.8	6.46	5.97	73.8	34.4	5.8	0.17	0.39	98.9	3.9	2.0
CP 0-14	2.9	0.3	10.0	5.78	5.07	68.0	27.1	6.3	0.23	0.31	108.4	4.7	3.2
CLp 0-13	2.9	0.3	10.5	5.54	4.90	73.1	40.7	4.4	0.11	0.50	126.6	8.1	3.1
PM村													
PF 0-20	3.8	0.2	17.1	6.15	5.37	18.4	5.8	4.3	0.74	0.08	97.7	1.7	2.2
SF 0-20	3.7	0.3	12.3	5.80	5.11	24.4	9.5	5.3	0.56	0.17	105.1	1.9	2.7
CP 0-20	3.4	0.3	12.0	5.21	4.65	37.3	21.9	6.0	0.27	0.43	132.4	6.5	5.4
CLu 0-20	3.1	0.2	15.3	5.34	4.41	23.9	7.7	3.8	0.49	0.16	107.4	2.4	2.4
TS村													
SF 0-11	5.2	0.4	11.8	6.42	5.61	86.3	38.2	12.3	0.32	0.30	125.6	4.2	4.1
CP 0-14	3.5	0.3	11.0	5.10	4.38	89.5	49.0	8.9	0.18	0.45	132.9	8.8	6.2
CLp 0-12	2.3	0.2	11.4	4.49	3.98	48.7	23.4	4.4	0.19	0.39	145.6	5.6	4.6

PF: 一次林, SF: 二次林, CP: コーヒー園, CL: 耕地(添字 u は畑地, p は水田を示す)

表 II-7-2 Bukit Ringgis 2 系列土壤の一般理化学性

層位	深さ (cm)	T-C (%)	T-N (%)	C/N	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	Fet (g/kg)	Fed (g/kg)	Feo (g/kg)	活性度 (Feo/Fed)	結晶化指数 (Fed-Feo)/Fet	Alt (g/kg)	Ald (g/kg)	Alc (g/kg)	
PF															
A	0-10	10.9	0.6	17.9	4.35	3.69	30.5	14.3	5.7	0.40	0.28	72.7	4.9	3.9	
B	10-30	3.3	0.2	15.6	4.71	3.96	40.6	22.0	8.9	0.40	0.32	93.5	5.2	3.7	
SF															
A/B	0-10	3.8	0.3	15.0	4.82	4.00	34.4	16.1	6.4	0.40	0.28	94.0	3.5	2.8	
B	10-30	1.9	0.1	13.9	4.87	3.91	37.1	17.0	5.8	0.34	0.30	104.5	3.4	2.5	
CP															
A1	0-4	2.5	0.2	13.7	4.99	3.89	46.7	25.2	5.9	0.23	0.41	124.6	6.2	4.2	
A2	4-20	2.9	0.2	13.6	4.73	3.86	44.0	24.6	6.3	0.26	0.42	119.7	6.4	4.5	
B	20-30	1.1	0.1	13.1	4.78	3.89	51.4	29.4	5.4	0.18	0.47	144.1	7.8	4.1	
CLu															
Ap	0-20	2.3	0.2	12.3	4.41	3.87	42.5	22.3	5.7	0.26	0.39	117.7	4.0	2.8	
B	20-30	1.0	0.1	12.0	4.42	3.80	43.2	23.0	2.8	0.12	0.47	131.6	4.3	2.2	

PF: 一次林, SF: 二次林, CP: コーヒー園, CLu: 耕地(畑地)

CEC cmol(+)/kg	cmol(+)/kg				Ex-Na Ex-K Ex-Mg Ex-Ca	Ex-Na Ex-K Ex-Mg Ex-Ca	塩基飽和度 (%)
	Ex-Ca	Ex-Mg	Ex-K	Ex-Na			
31.6	0.41	1.23	0.57	0.31	0.31	8.0	
17.7	0.15	1.05	0.35	0.19	0.19	9.8	
18.3	1.68	1.21	0.49	0.19	0.19	19.5	
14.2	0.80	0.74	0.28	0.18	0.18	14.1	
16.8	1.02	0.24	0.22	0.20	0.20	10.0	
16.1	0.76	0.19	0.25	0.25	0.25	9.0	
14.2	0.38	0.20	0.22	0.18	0.18	6.9	
14.6	2.61	0.99	0.45	0.14	0.14	28.7	
12.5	0.69	0.40	0.28	0.14	0.14	12.0	

表 II-8 中位段丘土壤の一般理化学性

層位	深さ (cm)	T-C (%)	T-N (%)	C/N	pH(H ₂ O)	pH(KCl)	Fet (g/kg)	Fed (g/kg)	Feo (g/kg)	活性化指数 (Fed-Feo)/Fet	Alt (g/kg)	Ald (g/kg)	Alo (g/kg)
GB村													
SF	A1	0-5	5.3	0.4	12.1	4.60	3.81	1.5	1.1	0.73	118.5	2.8	3.8
	A2	5-12	1.8	0.2	12.2	4.62	3.74	0.9	1.0	1.11	117.7	1.5	1.9
	B	12-15	0.9	0.1	13.0	4.77	3.74	1.4	0.9	0.64	114.5	1.7	1.8
shrub	A1	0-8	2.2	0.1	19.8	4.84	4.23	6.1	1.5	0.25	50.5	2.8	1.7
	A2	8-15	1.9	0.1	19.0	4.72	4.21	6.8	1.3	0.19	57.2	2.9	1.6
	A3	15-24	1.5	0.1	15.3	4.97	4.25	6.9	1.4	0.20	58.1	3.1	3.8
	B	24-40	0.9	0.1	14.2	5.01	4.28	9.3	1.2	0.13	72.3	3.3	1.7
RP	A1	0-5	3.5	0.2	16.0	4.46	3.83	6.0	1.3	0.22	54.1	2.7	1.9
	A2	5-18	1.8	0.1	16.7	4.60	4.01	6.6	1.2	0.18	58.6	2.9	1.9
	B	18-40	0.9	0.1	14.3	4.69	4.06	8.2	0.9	0.11	69.5	2.7	2.1
mix	Ap	0-15	3.8	0.3	14.5	4.58	3.83	12.1	2.5	0.21	64.5	3.9	2.1
	B	15-40	1.3	0.1	16.8	4.65	3.95	16.5	2.0	0.12	88.3	4.5	2.1
cassava	Ap	0-10	1.8	0.1	18.4	4.69	4.33	7.1	1.4	0.20	89.1	3.3	2.2
MG村													
shrub	A1	0-7	2.6	0.2	16.2	5.00	4.15	8.0	1.5	0.19	52.8	3.0	1.6
	A2	7-18	2.1	0.1	16.5	4.75	4.07	9.6	1.4	0.15	63.4	3.6	1.3
RP	A1	0-3	4.3	0.3	16.0	4.77	4.09	6.4	1.4	0.22	54.9	3.9	2.9
	A2	3-19	2.3	0.1	18.8	4.86	4.22	6.4	1.5	0.23	55.5	17.7	2.8
	B	19-30	0.4	0.0	21.0	4.93	4.27	7.9	0.8	0.10	59.3	3.2	1.4
cacao	A1	0-3	2.9	0.2	15.9	4.97	4.08	14.9	1.8	0.12	105.9	4.6	2.4
	A2	3-21	3.8	0.3	15.0	5.16	4.31	15.3	1.7	0.11	95.1	4.6	2.5
mix	Ap	0-20	2.8	0.2	18.9	5.79	4.65	5.5	1.1	0.20	49.1	3.1	2.4
	B	20-40	1.1	0.1	22.0	4.99	4.23	7.9	1.1	0.14	61.3	3.1	2.0
cassava	Ap	0-20	1.8	0.1	18.1	4.91	4.12	13.7	1.3	0.26	50.7	2.2	2.1
	B	20-36	0.6	0.0	15.5	5.02	4.18	6.6	1.1	0.17	64.2	2.4	1.6

SF: 二次林, Shrub: 低木林, RP: コム園, cacao: カカオ園, mix: 混作畑, cassava: キヤッサパ畑

地利用地点よりも著しく炭素含有率が高かった。Tri Mulya, Pura Mekar および Tri Budi Syukur の3地域内では各土地利用間での土壌の炭素含有率の差は小さかった。

全窒素含有率は全炭素含有率とほぼ同じ傾向を示した。Bukit Ringgis、Sekincau および Pura Mekar では、一次林土壌の C/N 比は他の土地利用の地点よりも著しく高かった。C/N 比も同様に Bukit Ringgis および Sekincau において一次林、二次林、コーヒー園、普通畑の順に低下した。森林のリターに由来する C/N 比の高い有機物は、耕地化されると分解され、微生物の代謝産物のような C/N 比の低い有機物の割合が増大することを示している。一方、Tri Mulya および Tri Budi Syukur では、すべての土地利用下で C/N 比は比較的 low 類似していた。これはこれらの地点が Bukit Ringgis および Sekincau よりも低標高であり気温が高いことや土壌の pH もより中性に近いことから土壌有機物の分解が既に一次林の段階から進んでいるためと考えられた。

2) 中位段丘

表 II-8 に中位段丘土壌の基本的性質を示した。土壌の全炭素含有率は土壌断面内では下層ほど急激に減少した。A 層についての値を比較すると、二次林の土壌で最も高く (53 g kg^{-1})、キャッサバ畑の土壌で最も低かった (18 g kg^{-1})。

低木林、ゴム園、カカオ園、混植畑などの土壌は中間的な炭素含有率を示した。二次林土壌の C/N 比 (12.1-13.0) はその他の土壌 (14.3-21.0) よりもわずかに低かった。二次林土壌はその非常に低い pH (KCl) 値 (3.74-3.81) に示されるように強酸性を示した。その他の土壌の pH はこれよりも高かったが、なお低い値 (3.83-4.65) を示した。

3-4. 腐植組成

1) 丘陵地

本研究では Kumada et al. (1967) による腐植の逐次加熱抽出法によって、各土壌の腐植組成を分析した。本法は簡易であるうえに腐植物質の抽出率が高い。加熱抽出による腐植物質の変質が懸念されることもあるが、本法の実験操作の範囲内では、腐植酸の紫外可視部吸光度に対する加熱の影響(退色)はほとんどないことが確かめられている (Kumada 1987)。0.1 M NaOH によって抽出される腐植は土壌中の無機成分と非常に弱く結合しているか、あるいは遊離の状態で存在していると考えられ、他方、0.1 M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ によって抽出される腐植は土壌中の多価の陽イオンと結合して存在していると考えられている。

表 II-9 に丘陵地土壌の腐植の形態分析の結果を示した。二次林とコーヒー園の間で2、3の順序の逆転は見られたものの、全可溶性腐植含有率 (H_p) はおおむね一次林 > 二次林 > コーヒー園 > 普通畑の順に減少した。またフルボ酸よりも腐植酸の方が上記の順序での減少の傾向が著しかった。一次林地点のなかでは、標高の高い Bukit Ringgis および Sekincau (1550~1620 m) は、より標高の低い Tri Mulya, Pura Mekar (890 ~ 940 m) と比べて可溶性腐植の含有率が著しく高かった。これらの高標高地点の一次林土壌では遊離型腐植酸の含有率は遊離型フルボ酸の含有率よりも高かったが、その他の地点では遊離型腐植酸の

表 II-9 丘陵地各土地利用下土壌の腐植の形態分析

	a1 (gC/kg)	b1 (gC/kg)	PQ1 (%)	RF1 $\Delta \log K_1$	Type1	a2 (gC/kg)	b2 (gC/kg)	PQ2 (%)	RF2 $\Delta \log K_2$	Type2	fHa (%)	fFa fHumus (%)	HE (gC/kg)	HT (gC/kg)	HE/HT (%)	
BR村																
PF	52.6	39.5	57	42	0.825	2.6	3.0	46	49	0.687	B	93	94	98	179	55
SF	9.2	9.0	51	53	0.701	1.3	1.2	52	79	0.585	B+	88	88	21	50	41
CP	4.3	10.1	30	50	0.683	0.6	1.3	32	88	0.555	A+	88	88	16	36	45
CLu	3.9	8.4	32	35	0.772	0.5	1.1	31	68	0.610	B++	88	88	14	30	46
SC村																
PF	62.8	45.0	58	52	0.721	2.0	2.8	42	56	0.559	P+	94	96	113	188	60
SF	12.6	26.2	32	48	0.690	1.5	2.7	36	57	0.610	P+	91	90	43	86	50
CP	17.1	26.7	39	38	0.733	2.0	3.2	38	44	0.577	P±	89	89	49	84	58
CLu	4.4	11.8	27	34	0.755	0.9	2.1	30	54	0.602	P±	85	84	19	38	51
TM村																
PF	18.3	18.2	50	29	0.883	4.1	4.0	51	45	0.741	B	82	82	45	79	56
SF	7.4	9.9	43	28	0.843	1.6	1.9	46	52	0.647	B++	84	83	21	43	48
CP	4.1	9.0	31	37	0.748	0.8	1.4	36	58	0.620	B++	84	87	15	29	53
CLp	3.7	8.8	30	36	0.795	0.9	1.4	39	63	0.619	B++	80	86	15	29	51
PM村																
PF	7.9	7.9	50	35	0.744	1.0	0.9	53	56	0.633	B++	90	89	18	38	47
SF	6.5	9.5	41	33	0.719	0.8	0.8	50	53	0.641	B++	92	91	18	37	48
CP	3.8	9.5	29	43	0.772	0.8	1.4	36	64	0.687	B++	83	87	16	34	46
CLu	5.9	7.8	43	52	0.682	0.6	0.6	50	79	0.571	B++	93	92	15	31	48
TS村																
SF	9.3	11.6	44	30	0.859	2.4	2.1	53	49	0.760	B+	85	82	25	52	49
CP	4.6	10.5	30	32	0.807	0.9	2.5	26	60	0.617	B++	81	82	19	35	53
CLp	2.9	7.1	29	30	0.846	0.3	0.5	38	56	0.681	B+	93	93	11	23	47

PF: 一次林, SF: 二次林, CP: コーヒー園, CL: 耕地(添字 u は畑地, p は水田を示す)

添字1はNaOH抽出部(遊離型腐植), 2はNa₄P₂O₇抽出部(結合型腐植)を示す。

a: 腐植C/kg乾土, b: フルホスC/kg乾土。

PQ: 沈殿部割合, 抽出腐植に占める腐植酸の割合, $[a/(a+b)] \times 100\%$

RF: 相対色度, 立川法によって求めた腐植酸C/2mLの値を用いて算出, $[K600/(C \times 33.3)] \times 1000$

$\Delta \log K$: 色度係数, 腐植酸の波長400および600nmの吸光度より算出, $\log K400 - \log K600$

fHa: 遊離型腐植割合, $[a_1/(a_1+a_2)] \times 100\%$

fFa: 遊離型フルホス割合, $[b_1/(b_1+b_2)] \times 100\%$

fHumus: 遊離型腐植割合, $[(a_1+b_1)/HE] \times 100\%$

HE: 抽出腐植C量, a+b

HT: 全腐植量(全炭素量), CNコーダーによるT-C量を用いた。

HE/HT: 腐植抽出割合, HE/HT $\times 100\%$

表 II-10 Bukit Ringgis 2 系列土壌の腐植の形態分析

層位	a1 (gC/kg)	b1 (gC/kg)	PQ1 (%)	RF1 $\Delta \log K1$	Type1	a2 (gC/kg)	b2 (gC/kg)	PQ2 (%)	RF2 $\Delta \log K2$	Type2	f1a (%)	f1a f1umus (%)	HE (gC/kg)	HT (gC/kg)	HE/HT (%)	
PF																
A	27.9	27.6	50	34	0.708	0.8	0.3	73	46	0.589	P	97	98	57	109	52
B	3.7	9.8	27	28	0.614	0.2	0.7	22	68	0.520	P+	95	94	14	33	44
SF																
A/B	6.0	11.1	35	34	0.704	0.4	0.5	44	58	0.599	P+	94	95	18	38	47
B	1.4	6.3	18	33	0.724	0.4	0.6	40	52	0.521	P+	78	91	9	19	46
CP																
A1	3.3	7.3	31	40	0.739	0.5	0.8	38	60	0.617	B++	87	90	12	25	48
A2	3.5	9.0	28	46	0.728	0.4	0.8	33	73	0.605	B++	90	92	14	29	48
B	0.2	4.2	5	38	0.840	0.1	0.8	11	51	0.596	P±	67	84	5	11	50
CLu																
Ap	3.1	7.4	30	31	0.779	0.4	0.7	36	69	0.588	B++	89	91	12	23	50
B	0.3	4.1	7	44	0.710	0.1	0.5	17	69	0.556	B++	75	88	5	10	52

PF: 一次林, SF: 二次林, CP: コーヒー園, CL: 耕地(畑地)

添字1はNaOH抽出部(遊離型腐植), 2はNa₄P₂O₇抽出部(結合型腐植)を示す。

a: 腐植酸C/kg乾土, b: フルボ酸C/kg乾土。

PQ: 沈殿部割合, 抽出腐植に占める腐植酸の割合: $[a/(a+b)] \times 100\%$

RF: 相対色度, 立川法によって求めた腐植酸C/2mLの値を用いて算出。 $[K600/(C \times 33.3)] \times 1000$

$\Delta \log K$: 色調係数, 腐植酸の波長400および600nmの吸光度より算出。 $\log K400 - \log K600$

f1a: 遊離型腐植酸割合, $[a1/(a1+a2)] \times 100\%$

f1umus: 遊離型フルボ酸割合, $[b1/(b1+b2)] \times 100\%$

f1umus: 遊離型腐植割合, $[(a1+b1)/HE] \times 100\%$

HE: 抽出腐植C量, a+b

HT: 全腐植量(全炭素量), CNコーダーによるT-C量を用いた。

HE/HT: 腐植抽出割合, $HE/HT \times 100\%$

含有率は遊離型フルボ酸の含有率とほぼ等しいかあるいはこれよりも少なかった。遊離型腐植中の腐植酸の割合 PQ_1 および腐植酸・フルボ酸比 (Ch_1/Cf_1) は一次林 > 二次林 > コーヒー園 > 普通畑の順に減少した。高標高地点の一次林土壤に含有された多量の腐植は、濃密な一次林植生、多量の森林リターの供給、十分な土壤水分、太陽光の遮蔽などきわめて限られた条件下で形成されたものと考えられる。樹木の伐採、焼却、耕耘などの行為によって土壤中の腐植の分解は加速され、腐植中の腐植酸の割合も減少したものと考えられる。

高標高地点の一次林および二次林土壤における遊離型腐植酸の相対色度 (RF_1) もまた、その他の地点よりもやや高い値を示した。腐植酸の色調係数 ($\Delta \log K_1$) は丘陵地の各土地利用の下でほとんど違いを示さなかった。これら2つの指標によって定義される遊離型腐植酸の型は、いずれも R_p 型との境界に近い B 型あるいは R_p 型に属し、丘陵地帯の土壤の腐植酸は腐植化が進んでいないことを示した。これらの腐植酸の大部分には Pg 色素による特徴的な吸収も認められた。

fHumus で示した遊離型腐植の割合も丘陵地の全ての土壤で高く (82~96%)、また一次林および二次林土壤はコーヒー園および普通畑土壤よりも高い値を示した。

結合型腐植の含有率も一次林 > 二次林 > コーヒー園 > 普通畑の順に減少したが、この傾向は遊離型腐植の場合ほど顕著ではなかった。結合型腐植中の腐植酸の割合は一次林および二次林で相対的に高い値をしめした。しかし、低い PQ_2 の値や Ch_2/Cf_2 の値に示されるように、大部分の土壤で結合型腐植の中でもフルボ酸が主要な成分であった。

丘陵地土壤の結合型腐植酸の相対色度 RF_2 は RF_1 よりもわずかに高かった。結合型腐植酸の色調係数 ($\Delta \log K_2$) はほとんどの土壤で遊離型腐植酸の色調係数よりも低く、腐植化が進んでいることを示した。結合型腐植酸の型は Sekinkau のすべての土地利用下で P 型であったことと、Bukit Ringgis のコーヒー園土壤で A 型であった他は、全ての土壤で B 型に属した。腐植酸の紫外可視部吸収への Pg 色素の貢献は遊離型腐植酸よりも結合型腐植酸でより著しかった。

高腐植化度の腐植酸は全ての地点で一次林が繁茂していた時代に、塩基性の金属イオン介在のもとに長い時間をかけて形成されたものと考えられるが、その獲得した安定性ゆえに、有機物分解の進行したコーヒー園や普通畑の土壤中にも残存したものと考えられる。

表 II-10 には Bukit Ringgis 村において、上記の試料を採取した時期よりも1年後 (1996年) に、ほぼ同一の一次林、二次林、コーヒー園、普通畑地点から層位毎に採取した土壤の腐植の形態分析の結果をあわせて示した。腐植酸およびフルボ酸の抽出量における傾向は両年の試料の間でほぼ同一の傾向を示した。しかし一次林および二次林土壤の腐植酸の型は1年後に採取したものでは遊離型では R_p 型、結合型では P 型を示した。これは丘陵地森林内は地形が複雑であるので、蓄積した腐植の性質も地点ごとにかなり多様であることによるものと考えられる。B 層中の腐植の含有率は A 層と比較して著しく低く、またフルボ酸が抽出腐植成分中の主要部分を占めた。

図 II-5 は Bukit Ringgis 村 1996 年試料の各土地利用下での腐植酸の紫外可視吸収スペ

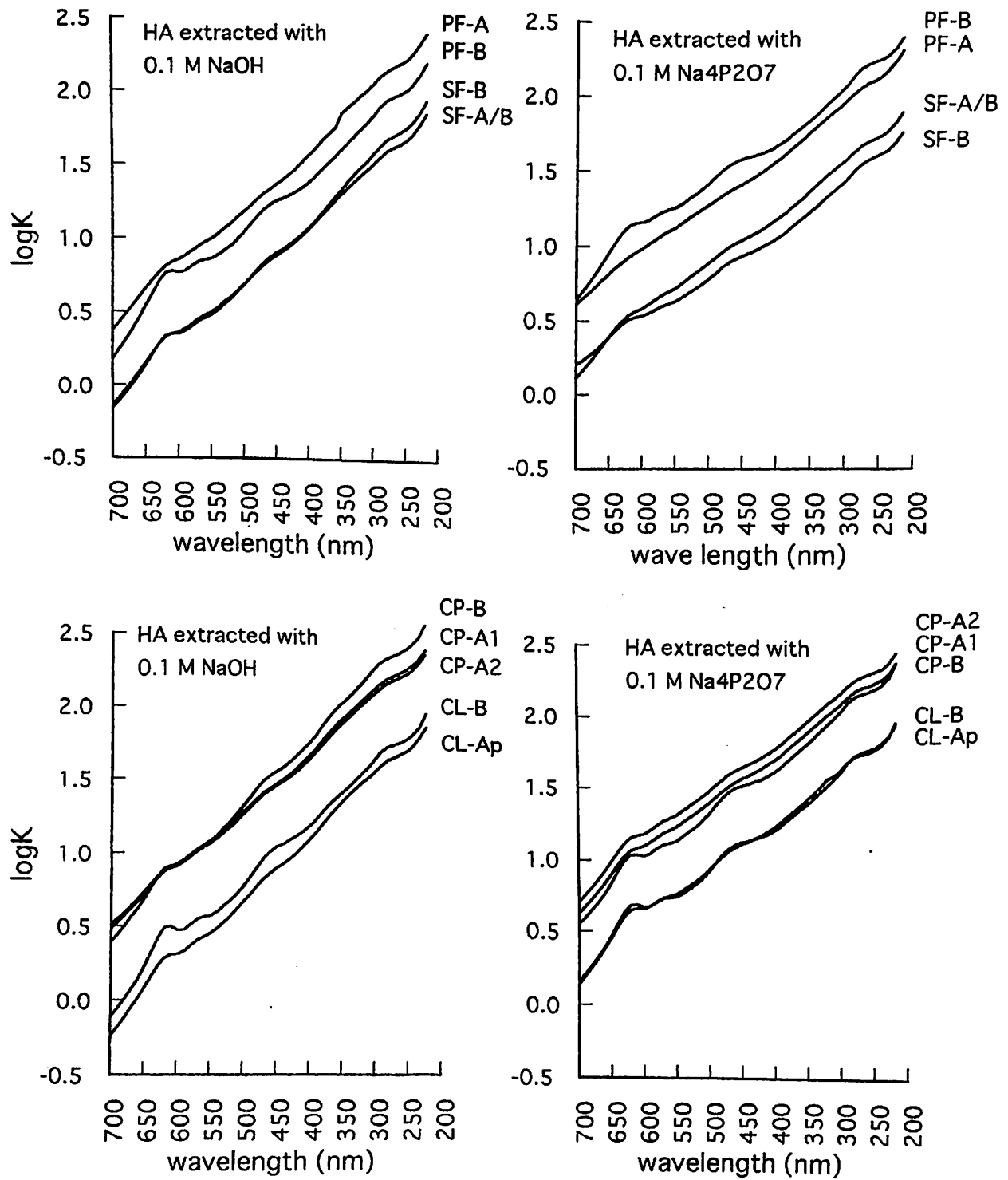


図 II-5 Bukit Ringgis 2 系列土壤の腐植酸の紫外可視吸収スペクトル
 PF: 一次林、SF: 二次林、CP: コーヒー園、CL: 普通畑

クトルを示したものである。Pg 色素の特徴的な吸収がほとんど全ての吸収曲線に認められた。その吸収は一次林および二次林よりもコーヒー園や普通畑の腐植酸で著しく、また A 層よりも B 層の腐植酸で著しく、さらには遊離型腐植酸よりも結合型腐植酸で著しい傾向を示した。

Pg 色素は未同定の側鎖によって置換された 4, 9-ジヒドロキシペリレン-3, 10-キノンを構造単位として含む高分子電解質である。また、各種の樹木と内生および外生菌根を形成する *Cenococcum graniforme* などの糸状菌が休眠期間に形成する菌核中に含まれている。従って森林下の土壌中では Pg 色素は多量に形成されているものと推察されるが、一次林 A 層の腐植酸に Pg 色素の特徴があまり認められなかったのは、他の腐植物質の吸収によって Pg 色素の吸収がマスクされたためと考えられる。しかし Pg 色素は他の腐植物質よりも構造的に安定なため、有機物分解の進行したコーヒー園や普通畑の土壌の腐植酸中でその構成割合が高くなったものと考えられる。また、Pg 色素は、そのヒドロキシキノン構造によって金属イオンと錯体を形成して安定化されるため、結合型腐植酸中で Pg 色素の吸収が著しかったものと考えられる。

2) 中位段丘

中位段丘の腐植組成を表 II-11 に示した。逐次抽出の結果、可溶性腐植の 91-98% は 0.1M NaOH によって抽出された。0.1M NaOH 抽出後 0.1M $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ によって抽出される腐植の割合は非常に低かった。全可溶性腐植は炭素換算で土壌の全炭素の 50~70% を占めた。二次林土壌の腐植酸の 600nm 吸光度は (RF_1) はその他の土壌における値よりも低かった。二次林土壌の遊離型腐植酸は RF と $\Delta \log K$ から P 型に分類され、特に A₂ 層では著しい Pg 吸収が認められた。他方、低木林、ゴム園、カカオ園、混植畑、キャッサバ畑などの遊離型腐植酸の RF はこれよりもわずかに高く全て B 型に分類された。これらの B 型腐植酸には Pg の吸収はほとんど認められなかった。二次林の土壌においては結合型腐植酸も P 型に属し、強い Pg 吸収を示した。その他の土壌においては結合型腐植酸の RF は遊離型腐植酸の RF よりも常に高く、A 型がその大部分をしめた。熱帯土壌においては土壌有機物の分解と無機化が著しく速く進行することを考慮すると、中位段丘の耕地土壌の遊離型腐植酸の大部分が B 型に、結合型腐植酸の大部分が A 型に属したという結果は非常に興味深い。

遊離型腐植中の腐植酸の割合 (PQ_1) は遊離型腐植酸の抽出量 (Ch_1) との間に興味ある関連を示した (図 II-6)。 PQ_1 は Ch_1 が 5 g kg^{-1} 以上の土壌ではほとんど変わらず 60 付近の値を示した。他方、 Ch_1 が 5 g kg^{-1} 以下の土壌では PQ_1 は Ch_1 と比例的に減少した。これは土壌有機物が極度に分解された段階では腐植酸の分解が優先的に進行することを示している。

遊離型腐植酸の RF (単位濃度当りの 600nm 吸光度) もまた Ch との間に関連を示した (図 II-6)。 Ch_1 が 10 g kg^{-1} 以上の土壌では RF_1 は約 40-50 であったが、 Ch_1 が 10 から 5 g kg^{-1} へと減少すると RF は 70-75 まで増大した。その後 Ch_1 がさらに減少すると RF は約 25 まで減少した。 Ch_1 が 5 g kg^{-1} 付近での RF の増大は、高腐植化度の腐植酸が土壌有機物の分解の過程で選択的に残されたことを示唆している。しかし分解がさらに進行すると高腐植化

表 II-11 中位段丘土壌の腐植組成

GB村	層位	a1 (gC/kg)		b1 (gC/kg)		PQ1 (%)		RF1 ΔlogK1		Type1		a2 (gC/kg)		b2 (gC/kg)		PQ2 (%)		RF2 ΔlogK2		Type2		fHa (%)		fFa fHumus (%)		HE (gC/kg)		HT HE/HT (%)	
SF	A1	17.7	13.7	56	48	0.633	P±	0.8	0.6	57	55	0.579	P	96	96	33	53	62											
	A2	2.2	6.1	27	25	0.653	P++	0.2	0.6	25	44	0.567	P++	92	91	9	18	50											
shrub	A1	7.5	4.8	61	57	0.666	B±	0.2	0.1	67	89	0.552	A±	97	98	13	22	57											
	A2	7.5	4.8	61	56	0.658	B±	0.1	0.1	50	113	0.536	A+	99	98	13	19	66											
	A3	4.6	4.6	50	54	0.654	B+	0.1	0.1	50	106	0.527	A+	98	98	9	15	63											
RP	A1	7.3	9.0	45	42	0.725	B+	0.4	0.2	67	61	0.638	B	95	98	17	35	48											
	A2	2.9	5.8	33	49	0.672	B+	0.2	0.4	33	85	0.582	A+	94	94	9	18	52											
mix	Ap	8.5	9.4	47	49	0.745	B±	0.4	0.5	44	59	0.640	B	96	95	19	38	49											
cassava	Ap	3.6	5.0	42	75	0.643	B±	0.2	0.2	50	96	0.547	A+	95	96	9	18	50											
MG村	shrub	A1	11.3	6.6	63	46	0.789	B±	0.2	0.1	67	86	0.564	A±	98	99	18	26	70										
	A2	8.0	5.9	58	47	0.740	B±	0.1	0.2	33	91	0.555	A+	99	97	14	21	68											
RP	A1	13.5	8.3	62	55	0.714	B±	0.7	0.3	70	40	0.628	P	95	97	23	43	53											
	A2	6.0	4.7	56	76	0.653	B±	0.3	0.2	60	75	0.552	B±	95	96	11	23	49											
cacao	A1	10.4	7.8	57	49	0.692	B±	0.2	0.4	33	115	0.545	A+	98	95	19	29	65											
	A2	11.9	8.4	59	47	0.734	B±	0.5	0.3	63	80	0.599	A+	96	97	21	38	56											
mix	Ap	8.1	5.5	60	61	0.718	B	0.5	0.3	63	76	0.601	B±	94	95	14	28	51											
cassava	Ap	5.2	4.1	56	68	0.615	B+	0.2	0.2	50	110	0.538	A+	96	95	10	18	54											

SF: 二次林, Shrub: 低木林, RP: コム図, cacao: カカオ図, mix: 混作畑, cassava: キヤッサパ畑

添字1はNaOH抽出部(遊離型腐植), 2はNa₂P₂O₇抽出部(結合型腐植)を示す.

a: 腐植C/kg乾土, b: フルホ酸C/kg乾土.

PQ: 沈殿部割合, 抽出腐植に占める腐植Cの割合. $[a/(a+b)] \times 100\%$

RF: 相対色度, 立川法によって求めた腐植C/2mLの値を用いて算出. $[K600/(C \times 33.3)] \times 1000$

ΔlogK: 色調係数, 腐植Cの波長400および600nmの吸光度より算出. $\log K(400 - \log K600)$

fHa: 遊離型腐植C割合. $[a_1/(a_1+a_2)] \times 100\%$

fFa: 遊離型フルボ酸割合. $[b_1/(b_1+b_2)] \times 100\%$

fHumus: 遊離型腐植割合. $[(a_1+b_1)/HE] \times 100\%$

HE: 抽出腐植C量. a+b

HT: 全腐植量(全炭素量), CNコーダーによるT-C量を用いた.

HE/HT: 腐植抽出割合. HE/HT × 100%

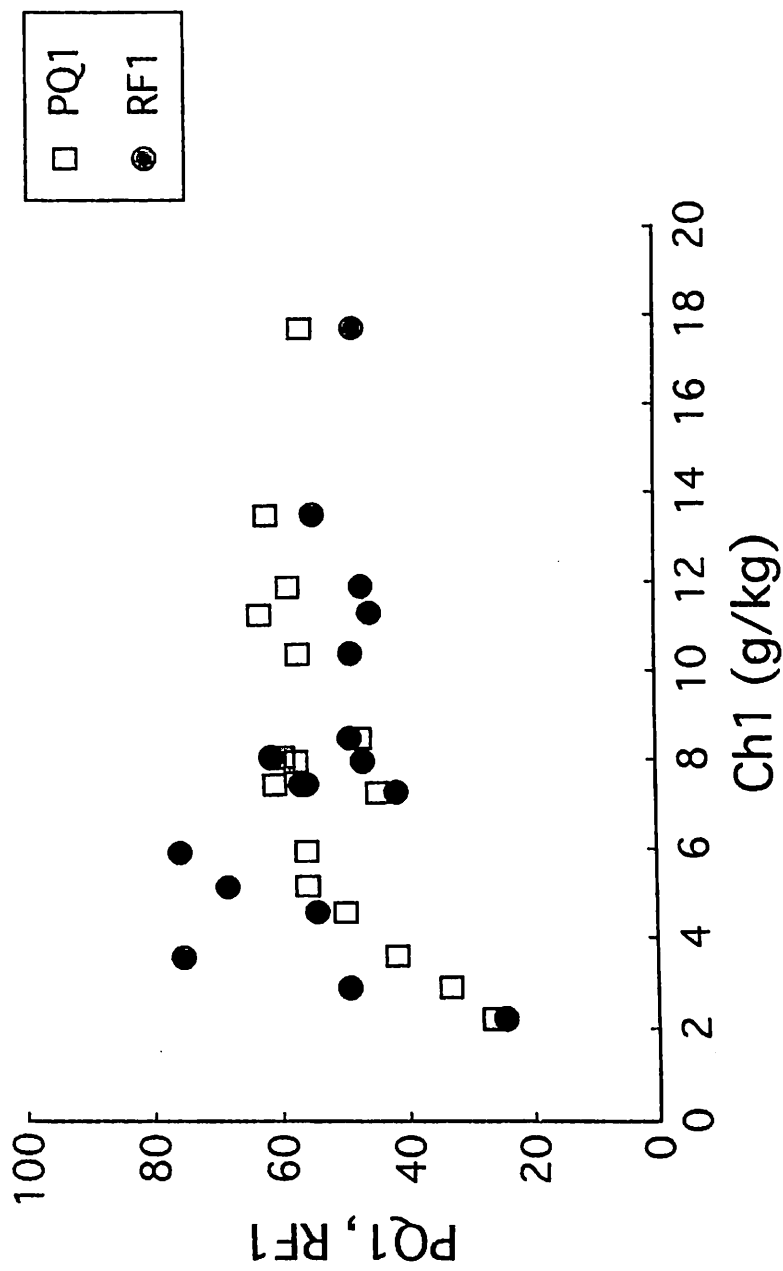


図 II-6 中位段丘土壌における遊離型腐植酸割合(PQ1)と遊離型腐植酸抽出量(Ch1)および腐植化度(RF1)の関係

度の腐植酸の構造も分解されることにより吸光度の低下をもたらしたものと考えられる。

3-5. 糖組成

1) 丘陵地

土壌中の糖成分には植物体に含まれる多糖類に由来し土壌中で分解過程にあるもの、微生物菌体成分に由来し土壌中で合成されるもの、およびこれらが腐植物質と結合したものが存在する。糖成分は土壌有機物中では主として非腐植物質に区分されるが、その一部は非常に安定であり (Cheshire 1979, Murayama 1981)、土壌有機物の重要な構成成分である。

図 II-7-1 と図 II-7-2 は Sumberjaya 丘陵地内の各地域における一次林、二次林、コーヒー園、耕地土壌の非セルロース型およびセルロース型糖の含有率を示したものである。土壌糖の全含有率は全土壌炭素含有率とほぼ同様の傾向を示した。

鉱質層位における土壌中の糖含有率は Sekincau 一次林の A 層における約 33 g kg^{-1} 、Bukit Ringgis 一次林の A 層における約 25 g kg^{-1} を最高とし、その他の地点および土地利用下では、森林土壌でも $10\text{-}15 \text{ g kg}^{-1}$ 、コーヒー園および耕地土壌では 10 g kg^{-1} 以下であった。非セルロース型の糖は全糖の 60~90% を占め、残りはセルロース型の糖であった。セルロース型糖の割合は一次林の土壌で高かった。これは一次林では木質の物質が土壌中に多量に供給されるためと考えられた。

図 II-8 は各土壌の非セルロース型糖組成を示したものである。グルコースおよびガラクトースの相対的割合は各地域および各種土地利用の間であまり異ならなかったが、マンノースの割合は大きく変動し、一次林では低く、二次林およびコーヒー園では高くなる傾向を示した。土壌中における糖の由来は複雑であるが、Murayama (1988) は土壌中で新たに合成された微生物由来の糖は主としてグルコース、ガラクトース、マンノースからなると報告している。ラムノースおよびフコースもまた微生物由来の糖に含まれる。アラビノースおよびキシロースは微生物由来の糖にはほとんど含まれていない。従って、二次林およびコーヒー園におけるマンノースの割合の増大は、これらの土壌において有機物の分解が進行し、微生物由来の有機物が増大したことを示唆している。反対に一次林でキシロースおよびアラビノースの相対割合と絶対的な含有率が高かったのは、一次林で土壌中への植物残渣の供給が多いことを反映している。

図 II-9 には Bukit Ringgis で 1996 年に採取した一連の土壌試料の糖組成も示した。この年に採取した一次林の土壌は 1995 年に採取した一次林の土壌よりも多量のキシロースを含んでいた。他の土地利用の下ではキシロースの割合が低下し、ラムノース、フコース、リボース、アラビノース、マンノースおよびガラクトースの割合は増大した。二次林、コーヒー園、普通畑の鉱質層位土壌の糖組成は互いに類似していた。このことは一次林の伐採後に土壌糖組成は急激に変化し、いったん人間の手の入った土壌では類似した糖組成となることを示唆している。

非セルロース型糖組成の変化は加水分解液中の単糖の比率によっても表すことができる。

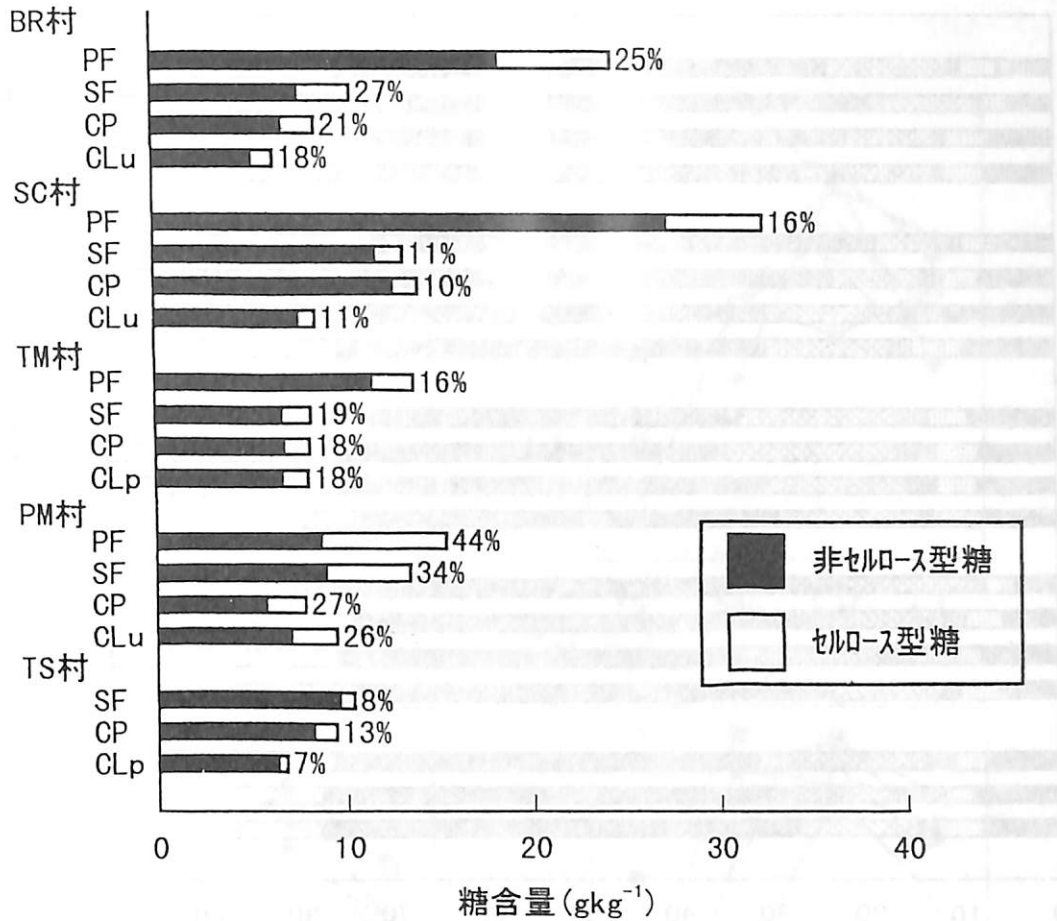


図 II-7-1 丘陵地一次林、二次林、コーヒー園、耕地土壌の非セルロース型およびセルロース型糖含有率

(PF: 一次林, SF: 二次林, CP: コーヒー園,

CL: 耕地-添字 uは畑地, pは水田を示す)

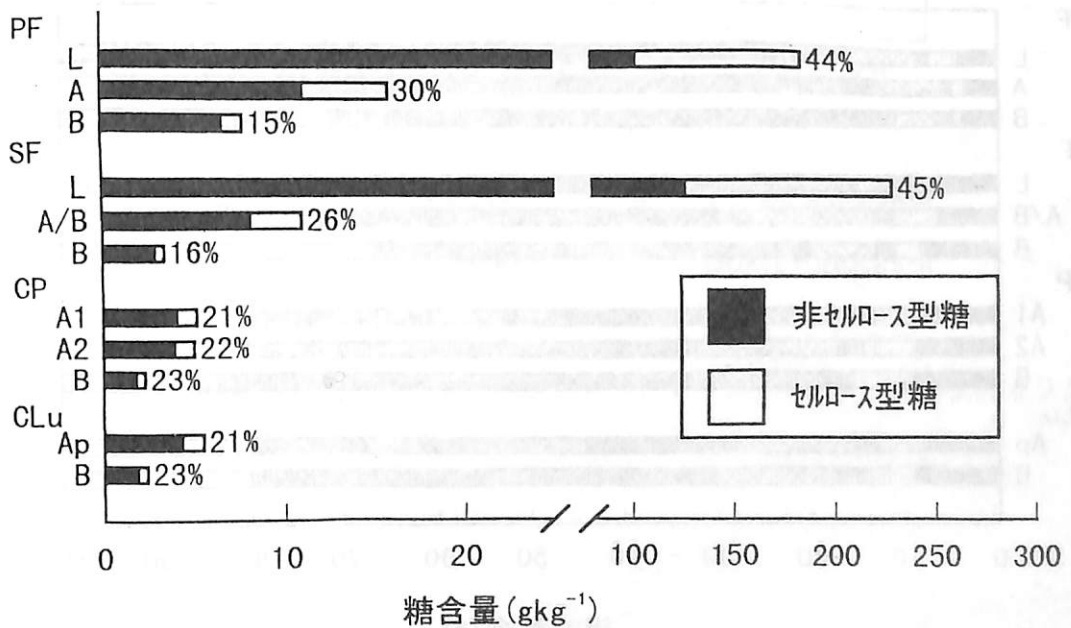


図 II-7-2 Bukit Ringgis 2 系列土壌の非セルロース型およびセルロース型糖含有率

(PF: 一次林, SF: 二次林, CP: コーヒー園, CLu: 耕地(畑地))

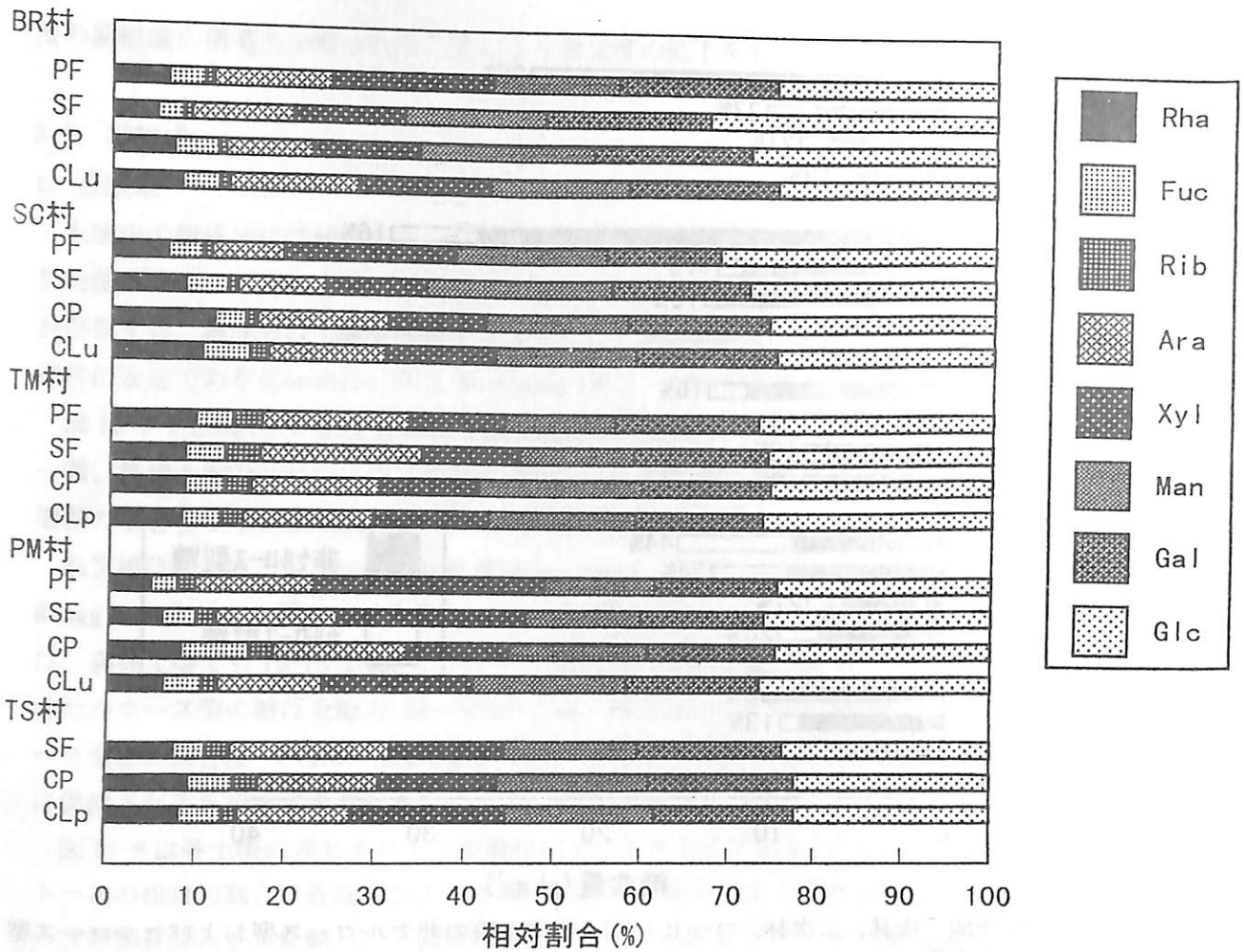


図 II-8 丘陵地帯各土壌の非セルロース型糖組成
 (PF: 一次林, SF: 二次林, CP: コーヒー園,
 CL: 耕地-添字 uは畑地, pは水田を示す)

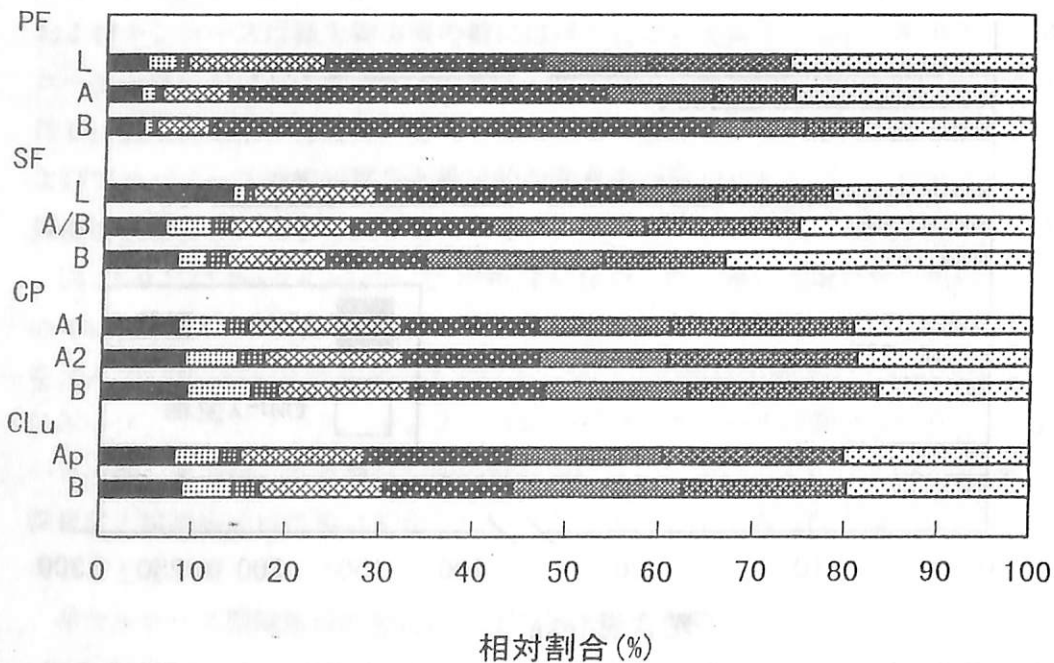


図 II-9 Bukit Ringgis 2 系列土壌の非セルロース型糖組成
 (PF: 一次林, SF: 二次林, CP: コーヒー園, CLu: 耕地(畑地))