

越後平野周辺丘陵地帯の主要な森林土壌の特性と生成 (第1報)

—一般化学性および遊離酸化鉄—

山家富美子⁽¹⁾・八木久義⁽²⁾

Fumiko YAMBE and Hisayoshi YAGI: Nature and Genesis
of Main Forest Soils in the Hilly Region of around Echigo Plain (I)
—Chemical properties and Free iron oxides—

要 旨: 新潟県の丘陵地に分布する赤色土、赤色系褐色森林土、黄色系褐色森林土および褐色森林土について、遊離酸化鉄含有率や結晶化の程度を調べた。その結果の概要は以下に示すとおりである。

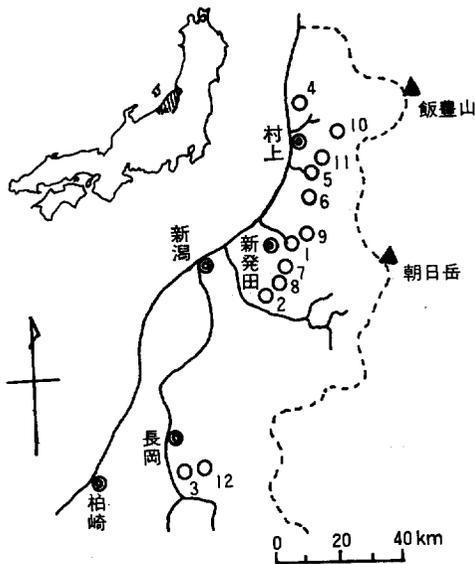
1) 調査した土壌はいずれも塩基の洗脱や土壌の酸性化が進んだものが多く、その程度と遊離酸化鉄含有率との間には関係が認められなかった。2) 苦鉄質鉱物の風化による遊離酸化鉄の生成の程度は、同一土壌亜群内であっても土壌によってまちまちであり、亜群間の差異は認められなかった。3) 非晶質の遊離酸化鉄含有率および遊離酸化鉄の結晶化の程度も同一亜群内で土壌によってかなりの幅があったが、これらと各土壌亜群との間には、ある程度の関係が認められた。しかし活性度の値を土壌亜群の区分基準に使うには無理があった。4) 結晶化指数は活性度と全鉄に対する遊離酸化鉄の比の両者によって支配され、両者の値が各土壌亜群ごとにバラツキがみられるので、結晶化指数もまた同様に各土壌亜群ごとにバラツキがみられた。それ故に結晶化指数を土壌区分の指標として使用するには無理があった。

I はじめに

わが国の北海道から九州にかけての低山地帯の丘陵地や段丘には、赤褐色～褐色～黄褐色の色調をもつ土壌が分布している。林野土壌の分類(1975)¹⁾ではこれらの土壌を、生成過程を反映する土色を主とした断面形態の相違に基づいて、赤色土、黄色土、赤色系褐色森林土、黄色系褐色森林土および褐色森林土などの各土壌亜群に分類している。

一般に土壌の赤褐色、黄褐色および褐色など褐色系統の一連の色調は、主として苦鉄質鉱物の風化に由来する遊離酸化鉄によるものであり、その遊離酸化鉄は、土壌中では結晶質および非晶質の二つの異なった形態で存在しており、土壌中におけるそれら形態を異にする遊離酸化鉄の存在量や、両者の比率およびそれらの断面分布特徴は、土壌の生成過程や生成条件を解明し、また土壌を分類する上で重要であるといわれている²⁾³⁾¹⁸⁾。

特に両者の比率に関して、SCHWERTMANN¹¹⁾は、酸性シュウ酸塩可溶鉄とジチオナイト可溶鉄との量比、いわゆる「活性度」が遊離酸化鉄の結晶化度を表す相対的尺度として有効であるとし、また永塚⁷⁾は、ジチオナイト可溶鉄と酸性シュウ酸塩可溶鉄との差と全鉄との量比は、遊離酸化鉄の結晶化を伴った風化の程度を示す相対的尺度として用いることができるとし、同比を「遊離酸化鉄の結晶化指数」と呼ぶことを提案している。そしてこれらの比が土壌群および亜群ごとに異なる範囲にあって、土壌分類の一つの指標となるといわれている⁷⁾。



(1~12は Profile No.)
 Fig. 1. 試料採取箇所
 Location of selected soils.

しかしわが国の土壤の遊離酸化鉄に関する研究は、主として西南日本の暖温帯地域⁸⁾⁷⁾¹⁸⁾や沖縄⁸⁾の土壤についてであり、東北日本の温帯地域の土壤については、これまで殆んど行われていない。

そこで、東北日本の温帯に属する森林土壤について検討したところ、いくつかの知見を得たので報告する。

II 調査地の概要

調査地は Fig. 1 に示すように、村上、新発田および長岡市近くの海拔 600 m 以下の波状丘陵地およびそれに続く低山地にあり、それらは大政ら⁹⁾によって示された新潟県下の赤色土の分布範囲にある。

それらの丘陵地および低山地は、新第三紀鮮新世および前期洪積世の地層ならびに花崗岩からなる。かなり開析が進み、起伏に富んでいるが、背

面はかなりの定高性を示している。

新潟市の年平均気温は 13.8°C、雨量指数は 117 であるが、調査地の気候は、海拔高や植生などから判断して、いずれも温帯に相当するものと思われる⁹⁾。

III 調査および分析方法

断面調査は、比較的植生や地形の安定した所を選んで、国有林野土壤調査方法書¹⁰⁾に基づいて行い、試料を採取した。

土壤の分析は、pH および置換酸度については従来どおり同方法書¹⁰⁾により、また置換容量については土壤養分分析方法書²⁾によった。置換性カルシウムおよびマグネシウムは原子吸光法により、全炭素と全窒素は C-N コーダーによりそれぞれ定量した。

遊離酸化鉄については、TAMM 法¹²⁾ (酸性シュウ酸塩溶液抽出法) および MEHRA-JACKSON 法⁹⁾ (ジチオナイト還元法) に準じて、細土からの抽出液を混酸で処理した後、原子吸光法により定量した。全鉄は細土を灼熱処理後、硫酸一過塩素酸一沸化水素酸処理で溶解し、原子吸光法により定量した。

IV 結果および論議

1. 断面形態および環境条件の特徴

各土壤の採取地点の環境条件および断面形態の特徴の概要は、Table 1 のとおりである。

土壤は、No. 9 と 12 が平衡斜面上に分布する匍行土である以外は、いずれも波状丘陵地の頂部や尾根附近の緩斜面および凸形斜面の上部に位置する残積土である。

植生は、貧弱なアカマツ天然林か、ミズナラやブナなどを主とする落葉広葉樹二次林、あるいはそれら

Table 1. 供試土壌の立地条件および断面形態
Site conditions and profile morphology of sampling plots

断面 No. 土壌型 Profile No. Type of soil	層位 Horizon	層厚 Thickness (cm)	土色 Color	土性 Texture	母材 Parent material	植生 Vegetation	海拔高 地形地 採取地 Altitude (m) Topography Location
赤 色 土 Red soils							
1 Rc	A	2	7.5 YR 3/3	CL	新第三系 泥 岩 Neogene Mudstone	アカマツ林 <i>Pinus densiflora</i> forest リョウブ ヤマツツジ ヤマウルシ	40 尾根附近の凸 形斜面 新発田市五十 公野
	A-B	20	7.5 YR 5/6	"			
	B	19	5~7.5 YR 4.5/6	"			
	B-C	13	5 YR 5/8	"			
2 Rd(d)	A	8	7.5 YR 3.5/3	C	花 崗 岩 Granite	Ibid. ク リ コ ナ ソ ヨ ラ ゴ	50 山腹斜面上部 新発田市中居
	A-B	18	7.5 YR 4/4	"			
	B ₁	20	5~7.5 YR 4/6	"			
	B ₂	22	5~7.5 YR 4/6	"			
	C	14	5 YR 4.5/8	CL			
3 Rb	A	5	7.5 YR 4/3	C	新第三系 泥 岩 Neogene Mudstone	Ibid. ヤマツツジ ヤマウルシ	100 丘陵地 長岡市釜沢町
	B	23	5 YR 4/7	HC			
	B-C	20+	5 YR 4/8	"			
赤 色 系 褐 色 森 林 土 Reddish brown forest soils							
4 rBd(d)	A ₁	10	7.5 YR 2.5/3	S	花 崗 岩 Granite	ミズナラ林 <i>Quercus mongolica</i> forest イタヤカエデ マンサク オオバクロモジ	150 凸形急斜面上 部 村上市山北町 板貝
	A ₂	16	7.5 YR 4/3	"			
	A-B	14	7.5 YR 4/4	"			
	B ₁	8	7.5 YR 4.5/6	"			
	B ₂	18	7.5 YR 5/8	"			
	B-C	20+	7.5 YR 5/7	"			
5 rBc	A	17	7.5 YR 3.5/3	C	新第三系 泥 岩 Neogene Mudstone	アカマツ林 <i>Pinus densiflora</i> forest コシアブラ ブ ナ ヤマボウシ	200 山腹斜面上部 岩船郡関川村 金保
	A-B	12	7.5 YR 4/4	"			
	B ₁	14	5~7.5 YR 4.5/6	"			
	B ₂	27	5~7.5 YR 5/7	"			
	B-C	5	5~7.5 YR 5/7	"			

Table 1. (つづき) (Continued)

断面 No. 土壤型 Profile No. Type of soil	層位 Horizon	層厚 Thickness (cm)	土色 Color	土性 Texture	母材 Parent material	植生 Vegetation	海拔高 地形地 採取地 Altitude (m) Topography Location
6 rB ₀	A	6	10 YR 4.5/4	C	新第三系 泥岩 Neogene Mudstone	アカマツ林 <i>Pinus densiflora</i> forest キブシ ガマズミ ナナカマド	50 尾根附近の凸 形斜面上部 岩船郡荒川町 梨木
	A-B	22	7.5 YR 4/6	"			
	B	32	5~7.5 YR 5/6	"			
	B-C	30+	7.5 YR 4/7	"			
7 rB ₃	A	5	7.5 YR 4/4	C	Ibid.	Ibid. ウワミズザクラ ヤマウルシ	90 丘陵地平坦面 新発田市南俣
	B ₁	50	7.5 YR 5/6	"			
	B ₂	30+	5~7.5 YR 5/6	"			
8 rB ₀ (d)	A	35	10 YR 4/4	C	Ibid.	Ibid. スギ ヤマウルシ	110 尾根附近の凸 形斜面上部 新発田市丹山
	B ₁	30	7.5 YR 4.5/6	"			
	B ₂	30+	7.5 YR 5/8	"			
黄色系褐色森林土 Yellowish brown forest soil							
9 yB ₀ (d)	A	10	10 YR 3/2	C	Ibid.	Ibid. ヒメアオキ ヤマウルシ ク	50 平衡斜面 新発田市上石 川
	B ₁	25	7.5~10 YR 6/6	"			
	B ₂	30+	7.5~10 YR 6/6	"			
褐色森林土 Brown forest soils							
10 B ₀ (d)	A ₁	5	7.5 YR 2/3.5	C	Ibid.	ミズナラ林 <i>Quercus mongolia</i> forest ク オオバクロモジ ハイイヌツゲ	120 山腹斜面上部 村上市上山田
	A ₂	20	7.5 YR 2/3	"			
	A-B	15	7.5~10 YR 3/4	"			
	B ₁	30	7.5~10 YR 4/4	"			
11 B ₀ (d)	B ₂	14	7.5 YR 5/6	"	花崗岩 Granite	アカマツ林 <i>Pinus densiflora</i> forest オオモミジ ウチワカエデ ユキツバキ	200 凸形斜面上部 岩船郡関川村
	A	16	7.5~10 YR 3/3	L			
	A-B	13	10 YR 4/5	SL			
	B	25	7.5~10 YR 4.5/6	"			
12 B ₀	B-C	25	10 YR 5/5	S	新第三系 泥岩 Neogene Mudstone	スギ林 <i>Cryptomeria japonica</i> forest ヤマグワ ヤマウルシ	380 平衡斜面 長岡市村松町 南蛮山
	A ₁	15	7.5 YR 2/2.5	CL			
	A ₂	20	10 YR 3/2	"			
	B ₁	25	10 YR 4/3	"			
B ₂	30	10 YR 6/3	"				

の跡地に植栽されたスギ人工林であり、一般に A 層の発達弱い。

土壌の母材は、No. 2, 4 および 11 が花崗岩に由来しているが、他はすべて新第三系の泥岩を主とし、いずれの土壌も土層が深くかつ全般的に粘土化が進んでおり、赤褐色、黄褐色あるいは褐色を呈する B 層が厚い。

これらのことから、今回調査した土壌は、いずれも表層の発達は概して不良であるが、風化の程度が相当進んでいると推定され、これは後述の一般化学性の結果ともよく一致している。

2. 各土壌の分類上の位置

調査した12断面の土壌を林野土壌の分類 (1975)¹⁾ に準拠して、土色を主とする断面形態の特徴により分類すると、まず、いずれの土壌も A-B-C 層をもち、溶脱・集積が認められず、斑紋・結核など還元の特徴も認められないこと、そして No. 1~3 は表層が淡色で薄く、下層が 5 YR 4/8~5 YR 5/8 と赤褐~明赤褐色を呈することから赤色土亜群に、No. 4~8 は表層が比較的淡色で、下層が 7.5 YR 5/8~5~7.5 YR 5/6 と明褐~赤褐色を呈することから赤色系褐色森林土亜群に、また No. 9 は表層が比較的淡色で、下層が 7.5~10 YR 6/6 と明黄褐色を呈することから黄色系褐色森林土亜群に、そして No. 10~12 は前述の各土壌より表層がやや発達し、その下層が 7.5 YR 5/6~10 YR 6/3 と明褐~に黄褐色を呈することから褐色森林土亜群にそれぞれ位置づけられる。

3. 一般化学性

各土壌の一般化学性は Table 2 に示すとおりである。

赤色土では、No. 1~3 のいずれも pH (H₂O) が低く、やや強い酸性を呈し、特に表層は強酸性を呈する。そして置換酸度は比較的高く、置換性塩基含量はいずれの土壌においても少なく、したがって (Ca + Mg) 飽和度はいずれの土壌においても低い。また置換性カルシウムよりマグネシウムの方が多い。炭素含量は A 層では 3 土壌ともやや高いが、それ以下の層では急激に減少しており、腐植の集積がそれ程進んでいない。

赤色系褐色森林土では、pH (H₂O) は、No. 4 においては比較的高いが、No. 5~8 では低く、やや強い酸性を呈する。置換酸度は No. 4 が比較的だが、No. 5~8 はいずれも比較的高い値を示し、特に No. 5 は表層から下層まで高い値を示す。置換性塩基含量はいずれの土壌においても概して少なく、(Ca + Mg) 飽和度は、塩基置換容量が小さく、かつ Ca と Mg 含量がいくぶん多い No. 4 が比較的高いほかは、いずれも低い値を示す。また赤色土と同様に置換性カルシウムよりマグネシウムの方が多い。炭素含量は概して低く、いずれの土壌も全体的に腐植の集積が進んでいない。

黄色系褐色森林土は 1 断面しかないが、pH (H₂O) は表層から下層まで非常に低く、強酸性を呈する。置換酸度は比較的高い値を示し、塩基置換含量は概して少なく、(Ca + Mg) 飽和度は低い値を示している。また置換性カルシウムよりマグネシウムが多い。炭素含量は低く、赤色土や赤色系褐色森林土と同様に、腐植の集積が進んでいない。

褐色森林土では、No. 10 では pH (H₂O) が低く、置換酸度が非常に高いが、No. 11 と 12 では pH (H₂O) は比較的高く、置換酸度もかなり低い値を示している。しかし置換性塩基含量はいずれの土壌においても概して少なく、(Ca + Mg) 飽和度はかなり低い。炭素含量は前述の各土壌亜群に比べやや高く、腐植の集積は今回調べた中で最も進んでいる。

以上のように新潟県の丘陵地に分布する赤色土や赤色系ならびに黄色系褐色森林土は、いずれも腐植含

Table 2. 化 学 的 性 质
Chemical properties

(乾土当り : On dry basis)

断面No. Profile No.	土壤型 Type of soil	層位 Horizon	pH		置換酸度 Ex-changeable acidity (y ₁)	置換容量 Cation Ex-changeable capacity CEC (m.e/100g)	置換性 Ca Ex-changeable Ca (m.e/100g)	置換性 Mg Ex-changeable Mg (m.e/100g)	飽和度 Rate of saturation (%)			C (%)	N (%)	C/N
			H ₂ O	KCl					Ca	Mg	Ca + Mg			
赤 色 土 Red soils														
1	Rc	A	4.55	3.60	15.5	25.44	1.17	2.23	4.60	8.77	13.37	7.71	0.30	25.7
		A-B	4.99	3.71	18.2	8.99	0.27	0.44	3.00	4.89	7.89	1.07	0.07	15.3
		B	5.00	3.90	28.5	6.48	0.16	0.43	2.47	6.64	9.11	0.63	0.07	9.0
		B-C	4.87	3.78	25.1	5.14	0.10	0.45	1.95	8.75	10.70	0.30	0.04	7.5
2	R _b (d)	A	4.70	3.50	30.1	20.71	0.57	0.72	2.75	3.48	6.23	5.84	0.27	21.6
		A-B	5.00	3.90	17.7	14.79	0.19	0.16	1.28	1.08	2.36	2.36	0.15	15.7
		B ₁	5.19	3.83	24.9	14.54	0.17	0.21	1.17	1.44	2.61	0.86	0.08	10.8
		B ₂	5.27	3.82	25.9	15.42	0.11	0.30	0.71	1.95	2.66	0.53	0.07	7.6
C	5.00	3.80	28.6	14.26	0.10	0.53	0.70	3.72	4.42	4.42	0.43	0.08	5.4	
3	R _b	A	4.48	3.37	20.0	22.56	0.37	0.44	1.64	1.95	3.59	4.46	0.15	29.7
		B	5.00	3.58	29.6	37.07	0.18	0.67	0.49	1.81	2.30	1.42	0.10	14.2
		B-C	4.97	3.60	28.3	35.98	0.18	0.22	0.50	0.61	1.11	1.07	0.07	15.3
赤 色 系 褐 色 森 林 土 Reddish brown forest soils														
4	rB _b (d)	A ₁	5.10	3.95	3.9	17.25	6.32	4.04	36.64	23.42	60.06	6.50	0.31	21.0
		A ₂	5.24	3.86	14.8	10.13	1.36	1.43	13.43	14.12	27.55	2.72	0.11	24.7
		A-B	5.42	4.15	10.3	10.16	0.79	1.06	7.78	10.43	18.21	2.04	0.10	20.4
		B ₁	5.55	4.25	7.8	7.60	0.34	0.49	4.47	6.45	10.92	1.22	0.06	20.3
		B ₂	5.52	4.20	8.7	8.25	0.28	0.63	3.39	7.64	11.03	0.85	0.04	21.3
		B-C	5.48	4.24	8.3	6.33	0.35	0.62	5.53	9.79	15.32	0.57	0.06	9.5
5	rBc	A	4.70	3.50	65.9	36.59	0.60	1.80	1.64	4.92	6.56	7.05	0.38	18.6
		A-B	5.20	3.89	56.9	27.76	0.33	1.10	1.19	3.96	5.15	3.27	0.19	17.2
		B ₁	5.21	3.90	62.1	29.81	0.24	0.94	0.81	3.15	3.96	1.78	0.10	17.8

5	rBc	B ₂	5.29	3.77	77.3	29.36	0.30	0.94	1.02	3.20	4.22	0.94	0.09	10.4
		B-C	5.29	3.67	107.6	36.78	0.37	2.36	1.01	6.42	7.43	0.82	0.08	10.3
6	rB ₀	A	4.40	3.54	15.6	15.80	0.13	0.22	0.82	1.39	2.21	3.01	0.14	21.5
		A-B	4.52	3.60	15.5	15.76	0.13	0.21	0.82	1.33	2.15	1.34	0.09	14.9
		B	4.87	3.60	18.5	19.71	0.23	0.73	1.17	3.70	4.87	0.84	0.05	16.8
		B-C	4.80	3.60	19.4	17.52	0.11	0.36	0.63	2.05	2.68	0.45	0.05	9.0
7	rB _a	A	4.73	3.61	13.8	16.92	1.29	0.31	7.62	1.83	9.45	1.80	0.12	15.0
		B ₁	5.00	3.61	15.3	14.21	0.33	0.39	2.32	2.94	5.06	0.44	0.07	6.3
		B ₂	4.97	3.58	17.3	19.10	0.11	0.31	0.58	1.62	2.20	0.47	0.07	6.7
8	rB ₀ (d)	A	4.55	3.50	14.7	16.69	0.17	0.18	1.02	1.08	2.10	3.08	0.15	20.5
		B ₁	5.00	3.58	15.6	18.87	0.17	0.60	0.90	3.18	4.08	0.91	0.09	10.1
		B ₂	4.98	3.60	33.2	17.69	0.11	0.55	0.62	3.11	3.73	0.54	0.07	7.7
黄色系褐色森林土 Yellowish brown forest soil														
9	yB ₀ (d)	A	4.20	3.11	53.8	42.00	0.93	1.97	2.21	4.09	6.90	5.30	0.37	14.3
		B ₁	4.25	3.20	68.4	42.74	0.48	1.59	1.12	3.72	4.84	1.16	0.11	10.5
		B ₂	4.30	3.20	66.3	39.21	0.16	1.52	0.41	3.88	4.29	0.65	0.07	9.3
褐色森林土 Brown forest soils														
10	B ₀ (d)	A ₁	4.50	3.51	69.2	37.46	0.96	2.33	2.56	6.22	8.78	8.57	0.54	15.8
		A ₂	4.95	3.86	62.7	36.40	0.38	1.42	1.04	3.90	4.94	6.17	0.41	15.0
		A-B	5.11	3.97	68.5	34.15	0.30	1.77	0.88	5.18	6.06	2.99	0.23	13.0
		B ₁	4.90	3.83	125.7	44.20	0.27	3.83	0.61	8.67	9.28	1.39	0.15	9.3
		B ₂	4.90	3.79	131.2	45.95	0.45	4.37	0.98	9.50	10.48	1.00	0.10	10.0
11	B ₀ (d)	A	5.13	4.04	14.2	24.34	0.35	0.48	1.44	1.97	3.41	5.29	0.25	21.2
		A-B	5.16	4.09	9.5	18.86	0.21	0.19	1.11	1.01	2.12	3.28	0.19	17.3
		B	5.40	3.96	10.0	14.12	0.25	0.75	1.77	5.31	7.08	0.89	0.07	12.7
		B-C	5.72	4.01	7.1	12.83	0.24	0.80	1.87	6.24	8.11	0.57	0.06	9.5
12	B ₀	A ₁	5.10	4.00	4.3	24.28	1.63	0.44	6.71	1.81	8.52	5.96	0.46	13.0
		A ₂	5.20	4.00	4.4	20.56	0.37	0.14	1.80	0.68	2.48	4.91	0.35	14.0
		B ₁	5.61	4.00	4.3	28.23	0.47	0.11	1.66	0.39	2.05	0.62	0.05	12.4
		B ₂	5.81	4.02	3.8	13.02	0.30	0.20	2.30	1.54	3.84	0.48	0.05	9.6

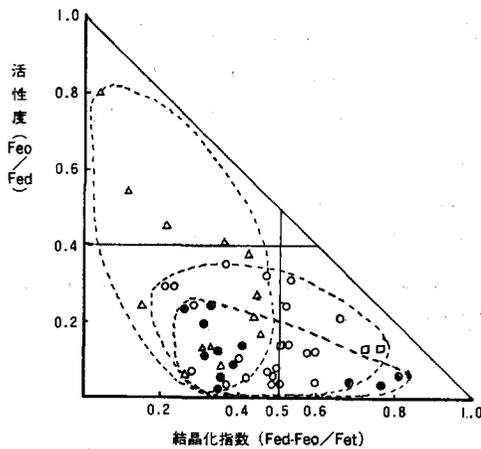
Table 3. 遊離酸化鉄
Free iron oxides

断面 No. 土壤型 Profile No. Type of soil	層位 Horizon	Fe ₂ O ₃ (乾物%)			Feo Fed	Fed Fer	Fed - Feo Fer
		T	d	o			
赤 色 土 Red soils							
1 Rc	A	4.35	1.49	0.35	0.23	0.34	0.26
	A-B	4.03	1.90	0.26	0.14	0.47	0.41
	B	5.53	1.95	0.22	0.11	0.35	0.31
	B-C	5.63	2.26	0.27	0.12	0.40	0.35
2 Rb(d)	A	3.12	1.34	0.32	0.24	0.43	0.33
	A-B	3.62	1.40	0.27	0.19	0.39	0.31
	B ₁	4.92	4.24	0.24	0.06	0.86	0.81
	B ₂	6.25	4.49	0.16	0.04	0.72	0.69
	C	7.18	5.70	0.19	0.03	0.79	0.77
3 Rb	A	7.18	3.11	0.28	0.09	0.43	0.39
	B	8.50	3.21	0.16	0.05	0.38	0.36
	B-C	8.65	3.12	0.05	0.02	0.36	0.35
赤色系褐色森林土 Reddish brown forest soils							
4 rBb(d)	A ₁	1.18	0.91	0.28	0.31	0.77	0.53
	A ₂	1.56	0.89	0.31	0.35	0.57	0.37
	A-B	1.93	1.34	0.43	0.32	0.69	0.47
	B ₁	1.79	1.49	0.31	0.21	0.83	0.66
	B ₂	2.03	1.39	0.34	0.24	0.68	0.52
	B-C	2.45	1.69	0.21	0.12	0.69	0.60
5 rBc	A	4.36	2.87	0.35	0.12	0.66	0.58
	A-B	4.84	2.98	0.42	0.14	0.62	0.53
	B ₁	5.55	2.08	0.49	0.24	0.37	0.29
	B ₂	5.97	2.03	0.59	0.29	0.34	0.24
	C	6.77	2.07	0.60	0.29	0.31	0.22
6 rBb	A	5.37	2.91	0.22	0.08	0.54	0.50
	A-B	5.62	2.96	0.18	0.06	0.53	0.49
	B	6.90	3.07	0.16	0.05	0.44	0.42
	B-C	5.49	2.95	0.13	0.04	0.54	0.51
7 rBb	A	4.73	2.96	0.13	0.04	0.63	0.60
	B ₁	6.15	3.15	0.13	0.04	0.51	0.49
	B ₂	10.30	3.10	0.23	0.07	0.30	0.28
8 rBb(d)	A	5.67	2.91	0.21	0.07	0.51	0.48
	B ₁	6.81	3.05	0.32	0.10	0.45	0.40
	B ₂	8.18	3.11	0.10	0.03	0.38	0.37

Table 3. (つづき) (Continued)

断面 No. 土壤型 Profile No. Type of soil	層位 Horizon	Fe ₂ O ₃ (乾物%)			Feo Fed	Fed Fer	Fed - Feo Fer
		T	d	o			
黄色系褐色森林土 Yellowish brown forest soil							
9 yB ₀ (d)	A	3.34	2.83	0.38	0.13	0.87	0.73
	B ₁	4.93	2.92	0.41	0.14	0.59	0.51
	B ₂	3.13	2.82	0.40	0.14	0.90	0.77
褐色森林土 Brown forest soils							
10 B ₀ (d)	A ₁	4.13	2.84	1.09	0.38	0.69	0.42
	A ₂	4.78	2.91	1.18	0.41	0.61	0.36
	A-B	4.86	3.00	0.81	0.27	0.62	0.45
	B ₁	5.53	3.08	0.64	0.21	0.56	0.44
	B ₂	5.39	2.94	0.51	0.17	0.55	0.45
11 B ₀ (d)	A	6.78	2.58	1.16	0.45	0.38	0.21
	A-B	7.11	1.22	0.97	0.80	0.17	0.04
	B	6.67	1.53	0.82	0.54	0.23	0.11
	B-C	7.45	1.45	0.35	0.24	0.19	0.15
12 B ₀	A ₁	6.48	2.37	0.28	0.12	0.37	0.32
	A ₂	6.78	2.36	0.27	0.11	0.35	0.31
	B ₁	5.47	2.14	0.18	0.08	0.39	0.36
	B ₂	7.33	1.99	0.11	0.06	0.27	0.26

T (全鉄): Total iron.
 d (ジチオナイト可溶鉄): Dithionite soluble iron.
 o (酸性シュウ酸塩可溶鉄): Acid oxalate soluble iron.
 $\frac{Feo}{Fed}$ (活性度): Activity ratio.
 $\frac{Fed}{Fer}$ (全鉄に対する遊離酸化鉄の比): Ratio of free iron of total iron.
 $\frac{Fed - Feo}{Fer}$ (結晶化指数): Crystallinity ratio.



◎ 赤色土 Red soil
 ○ 赤色系褐色森林土 Reddish brown forest soil
 □ 黄色系褐色森林土 Yellowish brown forest soil
 △ 褐色森林土 Brown forest soil

Fig. 2. 各土壤亜群の活性度と結晶化指数の分布領域

Distribution domains of activity ratio and crystallinity ratio for soil subgroups.

永塚²⁾は赤色土は活性度0.4以下、結晶化指数0.5以上に、黄褐色森林土は活性度0.4以下、結晶化指数0.5以下および褐色森林土は活性度0.4以上、結晶化指数0.5以下としている。

量が少なく、置換性塩基含量特に石灰分に乏しく酸性で、塩基洗脱の相当進んだ土壤であり、四国地方¹⁸⁾および東海地方⁷⁾などの西南日本の丘陵地や段丘に分布するそれらの土壤と非常によく似た特徴を備えている。また褐色森林土も腐植含量や置換性塩基含量が比較的少なく酸性であるなど、丘陵地にみられる一般的な特徴を備えており、山地に分布する褐色森林土よりは、腐植の集積が不良である。

このように今回調査した土壤はいずれも塩基の洗脱と酸性化が進んでおり、各土壤亜群ごとに特定の値の範囲を認めることはできなかった。

4. 遊離酸化鉄

各土壤の全鉄と遊離酸化鉄の分析結果は Table 3 のとおりである。

4-1 赤色土

土壤中の遊離酸化鉄全体を表わすおよその尺度とされるジチオナイト可溶鉄含有率は、No. 1の全層およびNo. 2の表層では1.34~2.26%と小さいが、No. 3では3.11~3.21%とやや多く、No. 2の下層では4.24~5.70%とかなり大きいなど、各層のジチオナイト可溶鉄含有率にはかなりのバラツキがみられる。そこでこれらの値をそれぞれの全鉄含有率と比較すると、Table 3のようにNo. 1の全層、No. 2の表層およびNo. 3では、全鉄に対するジチオナイト可溶鉄の割合 (Fed/Fer) がいずれも0.47以下と低い値を示すのに対して、No. 2の下層では0.72以上の高い値を示している。これはジチオナイト可溶鉄が、仮に遊離酸化鉄の全部に相当するとすれば、No. 2の下層では土壤に含まれている鉄の72%以上が遊離態の鉄として存在しているのに対して、No. 1の全層、No. 2の表層およびNo. 3ではその割合が47%以下であり、残りの53%以上の鉄は遊離態でない鉄、すなわち苦鉄質鉱物などに含まれている鉄として土壤中に存在していることになる。河田ら⁹⁾は、結晶化の進んだ赤鉄鉱などはジチオナイトによって一部しか溶出しなしていないので、これらのFed/Ferの小さい土壤でも結晶化のいちじるしく進んだ遊離酸化鉄が多量に存在する可能性も否定できないが、今回調べた土壤のうちでFed/Ferの小さいものでは、細砂フラクション中の苦鉄質鉱物の含量が、Fed/Ferの大きいものに比べて比較的高いこと(八木・未発表)から、これらの土壤では遊離酸化鉄の生成はあまり進んでいないと推定される。

したがって、新潟県の丘陵地に分布する赤色土のように、岩石の風化が著しく進んでいると考えられている⁹⁾土壤の分布地域においても、苦鉄質鉱物の風化による遊離酸化鉄の生成がそれ程進んでいないものと、その風化が進み、土壤中の鉄の殆んどが遊離態となっているものが存在することが推定される。

次に、土壤中の非晶質の遊離酸化鉄の尺度とされる酸性シュウ酸塩可溶鉄含有率についてみると、No. 1~3のいずれの土壤においても0.05~0.35%とかなり小さい。そのためジチオナイト可溶鉄含有率に対する酸性シュウ酸塩可溶鉄含有率の割合で表わされる指数、いわゆる活性度 (SCHWERTMANN)¹⁴⁾は、全土壤において0.24以下と小さい値を示しており、特に下層土はいずれも0.12以下と小さい。このように非晶質の遊離酸化鉄の割合が小さいことは、No. 1~3の赤色土においては、遊離酸化鉄の殆んどが結晶質のもので占められていることを意味しており、これらの赤色土中の遊離酸化鉄の結晶化が相当進んでいることが推定される。これらの値は、山家ら¹⁹⁾、河田ら⁹⁾、西田ら⁸⁾や永塚⁷⁾が報告している四国地方、紀伊半島、沖縄や東海地方の赤色土の活性度と比較しても遜色がなく、遊離酸化鉄の結晶化の程度が、この丘陵地の赤色土においても充分高いことがわかる。

次に遊離酸化鉄の結晶化を伴った風化の程度を示す相対的尺度として用いることができるとされている全鉄含有率に対するジチオナイト可溶鉄含有率と酸性シュウ酸塩可溶鉄含有率との差の比、いわゆる遊離

酸化鉄の結晶化指数 (永塚⁷⁾) についてみると, No. 1の全層, No. 2の表層および No. 3においては, いずれも 0.26~0.41 と山家ら¹⁸⁾, 西田ら⁸⁾および永塚⁷⁾ によって報告されている四国地方, 沖縄および東海地方の赤色土の値に比し, 非常に小さい値を示し, わずかに No. 2の下層が 0.69~0.81 と永塚⁷⁾ の赤色土の $(\text{Fed}-\text{Feo})/\text{Fer}$ の分布範囲の最低値 0.5 を超えている。これは前述のように, いずれの土壌も活性度が小さいにもかかわらず, No. 1の全層, No. 2の表層および No. 3においては, Fed/Fer が小さいため, 結晶化指数が小さくなったものであり, No. 2の下層のように Fed/Fer が大きいものでは, 西日本赤色土と同様に結晶化指数も大きい値を呈する。

このように, この丘陵地の赤色土亜群においては, 遊離酸化鉄の結晶化はかなり進んでいるが, 苦鉄質鉱物の風化による遊離酸化鉄の生成の程度は土壌断面ごとに差がある。

4-2 赤色系褐色森林土と黄色系褐色森林土

ジチオナイト可溶性含有率は, 赤色系褐色森林土の中で No. 4では 0.89~1.69% と小さい値を示すが, それ以外の No. 5~8ではいずれも 2.03~3.15% とかなり一定した値を示している。No. 9の黄色系褐色森林土もこの範囲に入る。それらのジチオナイト可溶性含有率のそれぞれの全鉄含有率に対する割合は, 赤色系褐色森林土の No. 4では 0.57~0.83 とかなり大きい値を示すが, No. 6では 0.44~0.54 とやや小さい値を示し, また No. 5, 7および8では, 表層で 0.51~0.66 とやや大きいが, 下層に向かって急激に小さくなり, B層やB-C層では 0.31~0.38 の値を示す。No. 9の黄色系褐色森林土は 0.59~0.90 の値を示し, 赤色系褐色森林土の No. 4と同じ傾向を示す。したがって赤色系褐色森林土の No. 4と黄色系褐色森林土では, 全鉄の 57% 以上が遊離態の鉄となっており, 苦鉄質鉱物の風化が相当進んでいると考えられるのに対して, 赤色系褐色森林土の No. 6では全鉄のおよそ半分が遊離態となっているにすぎず, 残りの半分は苦鉄質鉱物に含まれているものと推定される。また No. 5, 7および8においては, 暗褐色の表層では苦鉄質鉱物の風化による遊離酸化鉄の生成がかなり進んでいるのに対して, 赤褐色を呈する下層ではそのような作用がそれ程進んでいないことが推定される。

次に酸性シュウ酸塩可溶性含有率は, 赤色系褐色森林土のうちで, No. 4のA-B層とNo. 5が 0.35~0.60% と比較的多いが, 他はすべて 0.10~0.34% 以下と前述の赤色土並みに少ない。黄色系褐色森林土は 0.38~0.41% と比較的一定した値を示す。活性度は, 赤色系褐色森林土の No. 4のA₁~A-B層およびNo. 5のB₂層とB-C層では 0.29~0.35 とやや大きく, したがってそれらの遊離酸化鉄の結晶化の程度は, 前述の赤色土よりもやや低い, 赤色系褐色森林土の No. 4の下層, No. 5の表層, No. 6~8および黄色系褐色森林土ではいずれも 0.03~0.24 と小さい値を示すので, それらの遊離酸化鉄の結晶化の程度は, 赤色土の場合と同じくらい高いものと考えられる。これらの値を山家ら¹⁸⁾ や河田ら⁹⁾ が報告している四国地方の赤色系褐色森林土ならびに黄色系褐色森林土や紀伊半島の赤色系褐色森林土の活性度とそれぞれ比較すると, 赤色系褐色森林土および黄色系褐色森林土いずれも四国地方や紀伊半島のものより小さく, 結晶化の程度がそれらの地域のものより進んでいることが推定される。

結晶化指数は, 赤色系褐色森林土のうち, No. 4の表層, No. 5と7の下層, No. 6のB層およびNo. 8では 0.22~0.49 の 0.50 以下の小さい値を示す。これらの値の小さいものは, いずれも Fed/Fer の値が小さく, 結晶化指数と Fed/Fer の値がよく対応しており, Fed/Fer が小さく, したがって苦鉄質鉱物の風化による遊離酸化鉄の生成がそれ程進んでいないと思われる土層で結晶化指数が小さい値を示すことを示唆している。黄色系褐色森林土は全層 0.51~0.77 の大きい値を示し, Fed/Fer の値とよく対応し

ている。

このように黄色系褐色森林土は 1 断面のみであるが、全層において苦鉄質鉱物の風化による遊離酸化鉄の生成が進み、しかもその遊離酸化鉄の結晶化の程度が高いため、その結晶化指数は全層共大きい値を示している。これに対し、赤色系褐色森林土では、前述のように土壌によって遊離酸化鉄の生成やその結晶化の程度が異なるため、結晶化指数もきわめて大きいものから相当小さいものまでいろいろと異なった値を示す。

4-3 褐色森林土

ジチオナイト可溶鉄含有率は、No. 11 の A-B 層以下で 1.22~1.53% と小さい値を示すが、それ以外はいずれも 1.99~3.08% と前述の赤色系褐色森林土とほぼ同じ範囲にある。これらのジチオナイト可溶鉄含有率のそれぞれ全鉄含有率に対する割合 (Fed/Fer) は、No. 10 では 0.55~0.69 とやや大きいが、No. 11 および 12 では 0.39 以下と小さく、特にジチオナイト可溶鉄含有率が小さい No. 11 の A-B 層以下では、0.17~0.23 と非常に小さい値を示している。したがって No. 10 では苦鉄質鉱物の風化による遊離酸化鉄の生成が比較的進んでいるが、No. 11 および 12 ではその風化の程度がかなり低いものと推定される。

次に酸性シュウ酸塩可溶鉄含有率についてみると、No. 10~12 のいずれにおいても表層で大きく、下層に向かって減少していく傾向が明瞭に認められるが、その含有率は土壌によって大きく異なり、No. 10 および 11 では表層で 0.97~1.18% と大きく、また下層でも 0.35% 以上の値を示すのに対して、No. 12 では表層で 0.28% 程度、そして下層では 0.11~0.18% と小さい値を示す。そのため活性度も No. 10 の表層および No. 11 の A~B 層で 0.38~0.80 と大きいが、No. 10 の A-B 層以下および No. 12 では 0.06~0.27 と小さい値を示し、No. 10 の表層および No. 11 の A~B 層では、遊離酸化鉄の中で非晶質のものが占める割合が比較的高く、遊離酸化鉄の結晶化の程度が低いのに対して、No. 10 の A-B 層以下および No. 12 では、遊離酸化鉄の大部分が結晶質のものであり、結晶化の程度が赤色土とほぼ同程度に高いものと推定される。

しかし、褐色森林土であるにもかかわらず例外的に活性度が赤色土並みに小さいものがあるのは、これは結晶化の進んだ遊離酸化鉄が、マンガン、礬土あるいは非晶質の遊離酸化鉄などに被覆され、鮮やかな赤褐色あるいは黄褐色の発現が阻害されているからではないかと考えられ、したがって、鮮やかな赤褐色~黄褐色~褐色の発現にとって、遊離酸化鉄の結晶化が進んでいることは必要条件であるが、十分条件ではないものと思われる。

結晶化指数については、Fed/Fer の大きい No. 10 では 0.36~0.45 とやや大きいが、No. 11 および 12 では小さく、特に活性度が小さい No. 11 の A-B~B-C 層では 0.04~0.15 と非常に小さい値を示す。

このように、褐色森林土においても、断面によって前述のように遊離酸化鉄の生成や結晶化の程度に相違があるため、結晶化指数がいろいろな値を示す。

4-4 遊離酸化鉄の存在状態の土壤亜群間の比較

各土壤亜群ごとの全鉄含有率、ジチオナイト可溶鉄含有率、酸性シュウ酸塩可溶鉄含有率、活性度、Fed/Fer および結晶化指数の値の分布範囲と平均値は Table 4 のとおりである。

永塚⁷⁾はその報告の中で、赤褐色、黄褐色および褐色などの色調を呈する土壌を、活性度と結晶化指数を用いて比較する際に、C 層の場合には各土壌のそれらの値の範囲に重複する部分があるとして、A 層

Table 4. 遊離酸化鉄の存在状態の土壌亜群間の比較
Range of the free iron oxide of soil subgroups

	赤色土 (3断面) Red soil (3 profiles)	赤色系褐色森林土 (5断面) Reddish brown forest soil (5 profiles)	黄色系褐色森林土 (1断面) Yellowish brown forest soil (1 profile)	褐色森林土 (3断面) Brown forest soil (3 profiles)
Fer (%)	3.12~8.65 (5.74)	1.18~10.30 (4.74)	3.34~4.93 (3.80)	4.13~7.45 (6.05)
Fed (%)	1.34~5.70 (2.85)	2.03~3.15 (2.37)	2.82~2.92 (2.85)	1.22~3.08 (2.34)
Feo (%)	0.05~0.35 (0.23)	0.10~0.60 (0.29)	0.38~0.41 (0.40)	0.11~1.18 (0.64)
$\frac{Feo}{Fed}$	0.02~0.24 (0.11)	0.03~0.32 (0.15)	0.13~0.14 (0.14)	0.06~0.80 (0.30)
$\frac{Fed}{Fer}$	0.34~0.86 (0.49)	0.31~0.63 (0.54)	0.59~0.90 (0.79)	0.17~0.69 (0.41)
$\frac{Fed - Feo}{Fer}$	0.26~0.81 (0.45)	0.22~0.60 (0.45)	0.51~0.77 (0.67)	0.04~0.45 (0.30)

() は平均値

と B 層の値のみを用いてそれらの土壌を定量的に識別しているが、今回は、各土壌のそれらの値の範囲に重複する部分があるのは、C 層のみに限らないので、Table 4 および Fig. 2 には、A, B および C 層のすべての値を含めた。

まずジチオナイト可溶鉄含有率についてみると、赤色土、赤色系褐色森林土、黄色系褐色森林土および褐色森林土がそれぞれ示す値の範囲が互いに殆んど重複するため、それらの間に全く有意の差が認められないし、また Fed/Fer においても、黄色系褐色森林土以外の 3 土壌亜群の示す範囲が互いに殆んど重複するため、それらの間に有意の差を認めることができない。これは前述のように、それらは同一土壌亜群内においても、それぞれ苦鉄質鉱物の風化による遊離酸化鉄の生成の程度に違いのある土壌が存在し、亜群内の差異がほとんどない。永塚⁷⁾と西田ら⁸⁾の Fed/Fer を見ると、赤色土では約 0.7 前後でバラツキが少なく、また永塚⁷⁾の黄褐色森林土と褐色森林土では 0.4 前後となっている。今回ののは、赤色土では約 0.4 で、また褐色森林土では非常にバラツキがみられるが、0.4 附近で多少のバラツキが少ない傾向を示し、永塚⁷⁾や西田ら⁸⁾のように赤色土と褐色森林土との明瞭な差はつけ難い。

次に酸性シュウ酸塩可溶鉄含有率では、各土壌亜群の値の範囲に重複する部分はあるが、赤色土 < 赤色系褐色森林土 < 黄色系褐色森林土 < 褐色森林土の傾向が認められ、また活性度でも各土壌亜群の値の範囲に重複する部分はあるが、同様に、赤色土 < 赤色系褐色森林土 < 黄色系褐色森林土 < 褐色森林土の傾向が認められる。したがって、非晶質の遊離酸化鉄の多少および非晶質の遊離酸化鉄の全遊離酸化鉄に対する割合すなわち遊離酸化鉄の結晶化の程度は、土壌亜群ごとに違いの存在することが認められた。

しかし今回対象としたこの地域の土壌については、各土壌亜群における酸性シュウ酸塩可溶鉄含有率や活性度の値には互いに重複する部分が大いいため、それらの値により各土壌亜群を区分するには無理がある。

また結晶化指数では、褐色森林土の値が他の 3 土壌亜群と比較して小さい傾向はあるが、各土壌亜群の

値の範囲が大きく、互いにかかなりの部分が重複するので、それらの間に有意の差を認めることができない。

このように各土壌亜群の示す結晶化指数の値の範囲がいずれも大きいのは、前述のように、活性度が各土壌亜群内において異なるとともに、Fed/Fer すなわち苦鉄質鉱物の風化による遊離酸化鉄の生成の程度が、各土壌亜群内で異なっているためである。したがってこの丘陵地に分布する赤色土、赤色系褐色森林土および褐色森林土では、山家ら¹³⁾、西田ら⁸⁾や永塚⁷⁾が報告している四国地方、沖縄および東海地方の場合とは異なり、各土壌亜群区分の根拠として結晶化指数を使用するには困難がある。

このように遊離酸化鉄に関して既往の西南日本の森林土壌とかなり異なる結果となったが、これはこの地域の土壌の特異性にもとづくものか、あるいは東北日本における一般的傾向を示唆するものかは、今後の調査にまたなければならぬ。いずれにしても、この結果はこの地域の森林土壌の生成過程が単純でないことを示唆しており、これについてはⅡ報において更に検討したい。

おわりに、この研究を進めるに当たり、現地調査においてお世話になった新潟県林業試験場 渡辺哲夫課長初め県林試の方々、林業試験場土じょう部土じょう調査科長 久保哲茂氏、土じょう第一研究室長大角泰夫氏、同室員 森田佳行氏および土じょう第三研究室員 加藤正樹氏に、またこの報告をとりまとめるに当たり、暖かく励ましご指導いただいた土じょう部長 吉本 衛氏、土じょう調査科長 久保哲茂氏および地質研究室長 丸山明雄氏に心から感謝の意を表わす。

引用文献

- 1) 土じょう部：林野土壌の分類 (1975), 林試研報, 280, (1976)
- 2) 土壤養分測定法委員会編：土壤養分分析法, 38~41, 養賢堂, (1970)
- 3) 河田 弘ら：林試研報, 275, (1975)
- 4) 木立正嗣ら：林野土調報, 14, 26~56, (1963)
- 5) 吉良竜夫：日本の森林帯, 林業解説シリーズ 17, 日本林業技術協会, (1949)
- 6) MEHRA, O. P. and JACKSON, M. L. : Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with bicarbonate, 7th Natl. Conf. on clays and clays minerals, 317~327, (1960)
- 7) 永塚鎮男：農技研報, B 26, 180~189, (1975)
- 8) 西田豊昭ら：林試研報, 285, (1976)
- 9) 大政正隆ら：林野土調報, 8, 1~23, (1957)
- 10) 林野庁林業試験場：国有林林野土壌調査方法書, 1~42, (1955)
- 11) SCHWERTMANN, U. : Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammonium oxalate-Lösung, Pflanzernähr. Dung Bodenkd., 105, 194~202, (1964)
- 12) TAMM, O. : Eine Methode zur Bestimmung der anorganischen Komponenten des Gelkomplexes in Boden, Meddel. Stat. Skogstörstökgust, 19, 385~404, (1922)
- 13) 山家富美子ら：86 回日林講, 118~120, (1975)

**Nature and Genesis of Main Forest Soils in the Hilly
Region of Niigata Prefecture (I)**

—Chemical properties and free iron oxides—

Fumiko YAMBE⁽¹⁾ and Hisayoshi YAGI⁽²⁾

Summary

Red soils, Reddish brown forest soils, Yellowish brown forest soils and Brown forest soils that are morphologically classified according to the Classification of Forest Soils in Japan (1975) are found in the hilly region of Niigata Prefecture, which belongs to the deciduous broad-leaved forest zone according to Kira's classification.

It is generally said that those soil colors such as reddish and yellowish brown, and brown are mainly derived from free iron oxides which usually exist in amorphous and crystalline states in the soil.

As the first step of the study to clarify the nature and genesis of those soil subgroups, they were investigated in regard to chemical properties and free iron oxides.

The results obtained are as follows :

1) The soils surveyed have been mostly subjected to strong leaching of bases and strong acidification, and there was no correlation between the degree of leaching or acidification and the kind of those soil subgroups.

2) The degree of formation of free iron oxides through weathering of mafic minerals was widely different in each soil subgroup in this region and it had no connection with the kind of those soil subgroups.

3) There was a correlation to some extent between the content of amorphous free iron oxides or the degree of crystallization of free iron oxides and the kind of those soil subgroups, but it was difficult to distinguish those soil subgroups clearly by the use of the content of acid ammonium oxalate soluble iron or the activity ratio (Fe_o/Fe_d).

4) In case that the degree of formation of free iron oxides through the weathering of mafic minerals is widely different in each soil subgroup, it is difficult to distinguish those soil subgroups clearly by the use of the crystallinity ratio ($(Fe_d-Fe_o)/Fe_r$).