

土壌中の金属 (Fe, Al) の反応性と植生, 気候との関係

平山良治*

HIRAYAMA, Ryoji*: Relationship between the Forest, Climate and the Reactivity of Fe and Al in Soils

現在進めている研究は、現世の土壌環境下で現在進行している土壌生成作用の一端を調べ、土壌生成作用機構そのものを明らかにすることである。前報(平山 1993)では、土壌生成作用のうち腐植集積作用に焦点を当てて実験土壌学的試みを行った。

腐植集積作用以外に関する土壌生成作用には、三・二酸化物などの金属に関しての移動・集積や変化にたいしてポドゾル化作用、グライ化作用、ラトゾル化作用、フェラリット化作用などが考えられる。これらと同時に湿潤温帯地域では粘土の集積作用が起きるシアリット化作用、粘土、有機物が分解されることなく下層に移動していくレシバージなどがある。これらの作用と植生の関係を調べたものはポドゾル化の関係(例えば平山 1988)をのぞいて皆無に近い。これらの生成作用の機構を明らかにすることが重要となる。

鉄などの三・二酸化物の移動・集積および変化について植生、気候がどのように関与しているかを明らかにするために 'in situ' で実験土壌学的方法で行ったので報告する。

実験方法

前報(平山 1993)と同じ器具に、沖縄県国頭半島の国頭マージといわれる赤色土の B 層など約 2g を前報と同様にガラスろ紙ではさんで入れ、これを森林下の堆積腐植層の直下に埋設した。つまり、鉋質最上部に器具の上部がくるようにした。一実験あたり 4 個埋設した。

埋設期間は前報同様 4 年間行った。

埋設試料は、沖縄県国頭半島の国頭マージといわれる赤色土の B 層(以下赤色土と称す)と長野県東南部の国師岳の乾性ポドゾルの BC 層(以下ポドゾル土と称す)を 2~0.5mm に調整したものをを用いた。

埋設前の試料および実験終了後取り出した試料を 4 個とも混合し、窒素と炭素は N. C. ANALYZER(住友化学工業製)で分析した。鉄・アルミニウムの分析は酸性シュウ酸塩可溶鉄(以下 Tamm 抽出)、ジチオナイト可溶(以下 M・J 抽出)それにフッ化水素-硫酸分解法(以下全鉄、全アルミニウム)によって形態別に分析した(永塚 1975)。

調査地点概要

Fig. 1 に調査地点を、Table 1 に植生、土壌型それに標高の概要を示した。

赤色土を埋設した地点を以下に示す。長野県東南部秩父山塊の国師岳は前報と同じで、標高 2200m、ツガーアオモリトドマツを主体とした林で典型的な乾性ポドゾルの L, F, H, A2,

* 国立科学博物館 筑波研究資料センター 筑波実験植物園. Tsukuba Botanical Garden, National Science Museum, Tsukuba, 305.

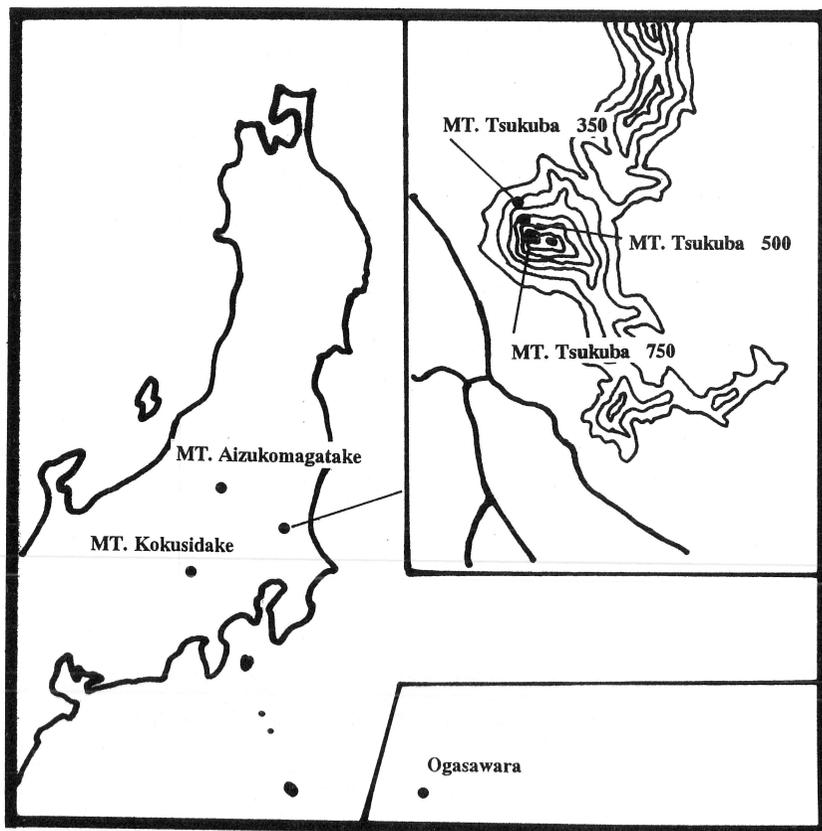


Fig. 1. Map of studied sites.

Table 1. Soil and forest conditions of studied sites

Studied sites		Vegetation	Type of Soils	Elevation (m)
Ogasawara-shoto, Chichi-jima (Tokyo-To)		<i>Schima wallichii</i> subsp. <i>mertensiana</i> , <i>Pandanus boninensis</i>	Red Soils	250
Mt. Tsukuba (Ibaraki-Ken)	350	<i>Quercus serrata</i>	Brown Forest Soils	350
	500	<i>Carpinus laxiflora</i> , <i>Quercus mongolica</i> var. <i>grosseserrata</i>	Brown Forest Soils	500
	750	<i>Fagus crenata</i>	Brown Forest Soils	750
Mt. Aizukomagatake (Fukushima-Ken)		<i>Abies mariesii</i> , <i>Tsuga diversifolia</i>	Wet Humus Podzolic Soils	2,200
Mt. Kokusidake (Nagano-Ken)		<i>Tsuga diversifolia</i> , <i>Abies mariesii</i>	Dry Podzolic Soils	2,200

B1h, B1i, B2各層位（以下国師岳），福島県南部会津駒ヶ岳アオモリトドマツコメツガを主体とした林で，標高2000m 湿性腐植型ポドゾルで，ここではH, A1, A2の層位（以下会津駒ヶ岳），茨城県筑波山の標高350m で前報と同じコナラの林の褐色森林土ではA0, A1, A2の層位に埋設した（以下筑波山350）。ポドゾル土を埋設した地点を以下に示す。小笠原群島父島初寝，前報と同じ地点で，イジュータコノキを主体とする標高250m の林の赤色土のA0層（以

下小笠原), 前報と同じ筑波山のコナラ主体の林で標高350m, シデーミズナラ主体の林で標高500m (以下筑波山500), ブナ主体の林で標高750m (以下筑波山750) の植生の違う地点の褐色森林土3地点とも A0 と A3 層, それに赤色土と同じ長野県国師岳では A0, A2 層に埋設した。

結 果

4年間埋設した後, 取り出したときの状況は多少試料の攪乱はあったが保存状態は良好であったのは前報と同じである。

取り出した試料の炭素, 窒素の分析結果は赤色土は Table 2, ポドゾル土は Table 3 に示した。

炭素含量の変化を見てみると, 赤色土では国師岳は L, F, H で元の量の2.3~2.0倍と増加し, 最大は B1i 層の2.5倍で B2 層で元の量とほぼ同じとなった。会津駒ヶ岳では全層位で増加している。標高の高い両土壌とも有機物質層である A0 層で2倍程度の増加をみた。他の土壌では明瞭な差は認められなかった。ポドゾル土では, 小笠原で0.98とほとんど同じ, 筑波山では350m と500m の表層で多少増加したが, 下層と750m では表層下層ともに減少した。国師岳では多少増加していた。窒素の変化を見てみると, 赤色土では国師岳で若干増加した程度, 会津駒ヶ岳では H 層で14倍程度の増加が認められた。これは大型動物の排泄物の影響ではないかと考えられる。筑波山350m では A0 層で2.5倍増加した。これなども動物の影響が強いようだ。ポドゾル土ではすべての試料で元の量とほとんど同じで変化はなかった。

取り出した試料の鉄含量とアルミニウム含量の分析結果を, 赤色土を Table 4 にポドゾル土を Table 5 に示した。TAMM 抽出では, 国師岳では全層減少していたが, L, F, B2 層がより減少しており特に B2 層の減少が大きい。会津駒ヶ岳も3層とも減少していたが, H 層と A2 層の減少が大きい。筑波山350では A1 層で増加し, 他の層位は減少した。M・J 抽出では国師岳で全層において減少していた。筑波山350の A3 層と会津駒ヶ岳の A1 層では増加していた。全鉄はポドゾル土壌である国師岳では堆積腐植層である, L, F, H 層で減少し, 次に B1h 層で減少, B1i 層で増加していた。しかしながら全体に元の量より減少していた。会津駒ヶ岳では H, A1

Table 2. Contents of C and N of 'Red soil'

Studied sites	Contents of C %	Ratio of original	Contents of N %	Ratio of original
Original (Red soil)	0.49	1	0.03	1
Mt. Tsukuba 350				
A0 Hor.	0.18	0.4	0.10	2.5
A1 Hor.	0.18	0.4	0.04	1.0
A3 Hor.	0.54	1.1	0.04	1.0
Mt. Aizukomagatake				
H Hor.	1.14	2.3	0.59	14.8
A1 Hor.	1.01	2.1	0.05	1.3
A2 Hor.	0.89	1.8	0.05	1.3
Mt. Kokusidake				
L Hor.	1.11	2.3	0.05	1.3
F Hor.	1.12	2.3	0.06	1.5
H Hor.	0.98	2.0	0.05	1.3
A2 Hor.	1.06	2.1	0.05	1.3
B1h Hor.	1.03	2.1	0.05	1.3
B1i Hor.	1.23	2.5	0.05	1.3
B2 Hor.	0.53	1.1	0.04	1.0

on dry weight basis

Table 3. Contents of C and N of 'sub soil of Podzol'

Studied sites			Contents of C %	Ratio of original	Contents of N %	Ratio of original
Original (sub soil of Podzol)			4.29	1	0.16	1
Ogasawara	A0	Hor.	4.21	0.98	0.17	1.06
Mt. Tsukuba 350	A0	Hor.	4.68	1.09	0.18	1.12
	A3	Hor.	4.09	0.95	0.17	1.06
Mt. Tsukuba 500	A1	Hor.	4.47	1.04	0.18	1.12
	A3	Hor.	3.83	0.89	0.14	0.88
Mt. Tsukuba 750	A0	Hor.	3.78	0.88	0.14	0.88
	A3	Hor.	3.91	0.91	0.15	0.94
Mt. Kokusidake	A0	Hor.	4.38	1.02	0.16	1.00
	A2	Hor.	4.87	1.13	0.17	1.06

on dry weight basis

Table 4. Free iron and aluminium oxide of 'Red soil'

Studied sites			extracted with TAMM		extracted with M•J		extracted with Total	
			Fe	Al	Fe	Al	Fe	Al %
Original (Red soil)			0.132	0.21	7.38	0.70	8.32	3.96
Mt. Tsukuba 350	A0	Hor.	0.124	0.33	6.95	0.80	8.30	4.78
	A1	Hor.	0.147	0.28	7.90	0.83	8.34	2.67
	A3	Hor.	0.094	0.27	8.05	0.81	9.34	5.33
Mt. Aizukomagatake	H	Hor.	0.119	0.28	7.60	0.67	8.30	3.08
	A1	Hor.	0.126	0.21	8.25	0.66	8.40	3.10
	A2	Hor.	0.111	0.25	7.95	0.80	8.88	2.78
Mt. Kokusidake	l	Hor.	0.107	0.20	6.56	0.65	7.72	4.56
	F	Hor.	0.115	0.20	6.48	0.64	7.50	4.36
	H	Hor.	0.128	0.18	6.42	0.60	7.54	3.80
	A2	Hor.	0.131	0.23	6.78	0.66	7.90	3.80
	B1h	Hor.	0.129	0.25	6.68	0.66	7.50	3.72
	B1i	Hor.	0.121	0.26	6.60	0.61	8.10	3.47
	B2	Hor.	0.089	0.18	6.64	0.56	7.84	3.06

on dry weight basis

層でほとんど変化していないが A2 層では増加している。筑波山350でも会津駒ヶ岳と同様な結果になったが、A3 層での増加量が大きい。ポドゾル土では、TAMM 抽出で小笠原では減少した。筑波500の A1 層でやや増加していたが、他の筑波350、筑波500、筑波750各層位ではわずかに減少していた。国師岳でもわずかに減少していた。M•J 抽出では、小笠原で増加していた。筑波山350、筑波山500、筑波山750すべて増加しており、特に筑波山500の A1 層、筑波山750の A3 層での増加が大きい値を示した。国師岳では A0 層で増加したが、A2 層で減少した。全鉄は、小笠原で減少していた。筑波山350では A0 層で増加、A3 層で減少、筑波山500では A1、A3 ともに増加、筑波山750では A0 層で減少、A3 層で増加していた。国師岳では A0 層で減少、A2 層で増加していた。

Table 5. Free iron and aluminium oxide of 'sub soil of Podzol'

Studied sites	extracted with TAMM		extracted with M•J		extracted with Total			
	Fe	Al	Fe	Al	Fe	Al	%	
Original (sub soil of Podzol)	1.54	0.98	1.96	1.09	3.60	4.11		
Ogasawara	A0	Hor.	1.11	0.82	2.13	0.85	3.35	3.66
Mt. Tsukuba 350	A0	Hor.	1.49	1.75	2.22	1.04	3.73	3.40
	A3	Hor.	1.47	1.66	2.33	1.23	3.44	3.31
Mt. Tsukuba 500	A1	Hor.	1.58	1.72	2.57	1.35	4.08	3.81
	A3	Hor.	1.34	1.76	2.32	1.23	3.69	3.19
Mt. Tsukuba 750	A0	Hor.	1.16	1.65	2.07	1.20	3.46	3.25
	A3	Hor.	1.41	1.72	2.63	1.17	3.73	3.53
Mt. Kokusidake	A0	Hor.	1.20	1.44	2.33	1.08	3.39	2.79
	A2	Hor.	1.35	2.06	1.83	1.14	3.73	3.28

on dry weight basis

アルミニウムの分析結果は、国師岳の赤色土は TAMM 抽出で堆積腐植層の L, F, H 層でわずかに減少し、A2 層, B1h 層, B1i 層で増加し、B2 層で減少していた。会津駒ヶ岳では H 層で増加し、A1 層で変化がなく、A2 層で若干増加していた。筑波山350では A0 層で5割以上増加し、A1 層, A3 層でわずかに増加していた。M•J 抽出では、国師岳の全層位で減少しているが、H 層と B1i 層, B2 層で特に減少していた。会津駒ヶ岳では、H 層, A1 層で減少しているが、A2 層では増加していた。筑波山350では他の調査地点と異なり全層とも増加していた。全アルミニウムでは、国師岳で堆積腐植層の L, F 層で増加したが、他の層位では減少していた。特に B1i 層, B2 層の下層で減少値が大きい値を示した。会津駒ヶ岳では全層減少していたが特に A2 層の減少が大きい値を示した。筑波山350の A0 層は増加傾向にあるが A1 層で減少していた。ポドゾル土では、TAMM 抽出では小笠原で減少していた。筑波山では3地点で増加しており、増加値は大きい値を示した。国師岳では増加しており、特に A2 層では2倍の増加量を見た。M•J 抽出では小笠原で減少した。筑波山350の A0 層で減少した。他の筑波山350, 筑波山500, 筑波山750の各層位では増加傾向にあった。国師岳は A0 層でほとんど同じで、A2 層で増加した。全アルミニウムは全試料の全層位で2割ないし3割の減少であった。

考 察

前報(平山 1988)で述べたように土壌生成作用に関する要因を分析的に抽出して実験することは非常に困難を伴うことが多い。よって実験土壌学的手法を用いて土壌生成作用の生成機構について現地で直接実験を行ったわけである。植生が土壌に及ぼしていることは前報で炭素の循環でとらえられることを明らかにしたが、土壌の断面でもう一つ重要なのは鉄・アルミニウムなど金属の移動集積がある。それが端的に出る断面がポドゾル土壌や、水田土壌の断面である。これらの動きを直接調べた実験は、カラム実験が主体でそれも少ない(Crawford 1965; 八木ら1972)。直接 'in situ' で実験したの著者だけである(平山 1988, 1993)。

土壌中の鉄化合物の形態は抽出剤の溶解性により分類されている。酸性シュウ酸塩可溶鉄(TAMM 抽出)は主に非晶質の鉄を、ジチオナイト可溶鉄(M•J 抽出)では結晶質の鉄、フッ化水素—硫硝酸抽出では全量が抽出される。埋設する試料は、非晶質が多い試料と結晶質が主体の試料を準備した。永塚(1975)が提唱した遊離酸化鉄の活性度と結晶化指数で、活性度が低く

(0.02) 結晶化の高い (0.87), つまり結晶質が主体の赤色土と活性度が高く (0.78) 結晶化度の低い (0.11), つまり非晶質が主体のポドゾルの下層土を埋設する試料として使用した。

ここでの実験は植生, 気候などのすべての環境が異なることによる埋設した無機物質の変化がいかようになるかという事である。つまり, 現世の土壤環境要因に異なる要因を入れてやることにより, その要因がいかに変化するかを調べ, 土壤生成作用がいか因子として働いているかを推測することである。現在言われている土壤生成作用, 例えばフェラリット化, ラトソル化など概念としては存在するが, 現世の作用として存在するのかそれとも時間的に非常に長期のものであるならば本来の土壤生成概念と言うより地質生成的概念としてとらえた方がよいか考えねばならない。植生環境からの腐植の集積に対する貢献は植生帯により異なることが明らかである。今回の実験の結果は, 炭素では粘土分の多い赤色土が標高の高い寒冷なポドゾル地帯でやや増加を見た, カオリン鉱物を主体とする土壤でも腐植をトラップできている。しかし詳細な腐植の形態分析が必要であろう。炭素などの有機物をトラップする目的のため挿入した試料ではないため, 明瞭な差は認めにくい。実験の目的のために挿入する試料を厳選する必要があることがこのことから明らかになった。鉄に関して言えば, 非晶質を多く含んだポドゾルの下層土の実験で明らかにしたように, 亜熱帯の小笠原と標高の高い筑波山の750それに国師岳の表層で非晶質の部分が大きく減少していた。非晶質を多く含まない赤色土でもポドゾル地帯である会津駒ヶ岳や国師岳では表層で減少傾向にあった。アルミニウムに関しては, 永塚 (1975), 本名・大羽 (1976) の指摘のように明瞭な形態別の分別が困難であるし, 土壤中の動きも本名・大羽はアルミニウムが動きやすいとしているが, 足立 (1970) によると鉄より動きが少ないことが示されている。この実験では明瞭な結果は得られなかった。

実験土壌学的試みとして土壤生成作用の解析を試みたが, 植生から供給される腐植の集積に関しては, 植生の違いが土壤に直接関与していることは明らかである。その時間は4年と割合短い時間で認められるように, 自然界でもおそらく数百年以内で土壤にはっきりと記録されるだろう。しかしながら, 金属などの無機物質に対する生成作用の動きは, 鉄の多少の溶出はあったものの明瞭な反応を示さない。時間的な長さが4年という長さでは短すぎるのか, 反応物質として入れた試料があまり適切でなかったか, 今後さらに検討を重ねなければならない。この実験方法は時間が今までの実験より多少かかるが新しい実験方法として有効な研究方法である。

Summary

An experimental pedogenetic study was carried out for clarifying the mechanism of reactivity of iron (Fe) and Aluminium (Al) in soils under the various forest and climate conditions. I set up the materials which were resources of Fe & Al in soils. They were "Red soils (Red soils of Okinawa)" and "sub soils of podzol (PdI of Mt. Kokusidake)". The investigated forest is shown in Table 1.

The result was as follows:

Free iron oxide of "Red soils" were mainly crystalline forms, that of "sub soils of Podzol" were mainly amorphous forms. Amorphous form contents of iron oxide of "sub soils of Podzol" reduced at surface soils under subtropical (Ogasawara) and cool tempered condition (Mt. Kokusidake and Mt. Tsukuba 750). But other form contents of iron oxide and Al didn't remarkably change.

文 献

- 足立嗣雄, 1970. ソ連におけるポドゾール, チェルノジョーム, 赤色土の腐植組成の一例. ペドロジスト 14: 85-94.
- Crawford, D.V., 1965. Some processes of podzolization. 267-281. In Hallsworth, E.D. & D.V. Crawford (eds.), *Experimental Pedology*. Butterworths, London.
- 平山良治, 1988. ポドゾル性土壌に関する実験土壌学的試み (II) スコリアの理化学的的特性の解析について. 筑波実験植物園研報 7: 136-147.
- , 1993. 植生と土壌中に供給される有機物の量の関係. 筑波実験植物園研報 12: 69-74.
- 本名俊正・大羽 裕, 1976. 山岳ポドゾルの理化学的性質と遊離酸化物, 腐植の形態について. ペドロジスト 20: 3-13.
- 永塚鎮男, 1975. 西南日本の黄褐色森林土および赤色土の生成と分類に関する研究. 農技研報, B 26: 133-257.
- 八木久義・大角泰夫・松井光瑤, 1972. Pw 型土壌の生成要因に関するモデル実験 (I). 日林議 83: 138-141.