

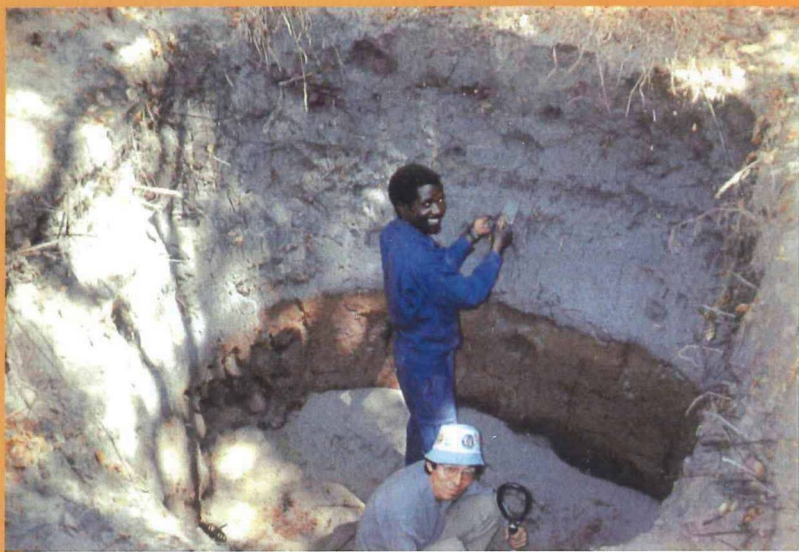
熱帯林造成技術
テキスト No 4

東京大学助教授

八木久義 著

熱帯の土壌

— その保全と再生を目的として —



財団法人

国際緑化推進センター

熱帯林造成技術テキストの発刊にあたって

毎年 1,540 万ヘクタールにも及ぶ熱帯林が消滅し、地球規模での環境問題として早急な対策が必要とされております。

このような中で、今後わが国には多くの国よりこれまで以上に林業協力の要請が増大するものと予想され、これに対処するためには国際林業協力に従事する人材の育成等の国内支援体制の強化が必要とのことから、1991年春、財団法人 国際緑化推進センターが設立されました。

当センターでは事業の一環として、企業やNGO等の民間機関による林業協力に従事する人々やこれからの林業協力を担うであろう青少年を対象にして、熱帯林の造成技術についての研修会を開催いたしております。

この熱帯林造成技術テキストはこれら当センターで行う研修の教材として使用するとともに、林業協力に従事する人達にも活用頂ければと作成致すものであります。

本テキストは熱帯林など海外の森林・林業に関してシリーズでの発刊を考えており、著者につきましても現地での実地経験豊かな方をお願いし、現場での手引き書としても直ちに使えるようなものを作成して参りたいと考えております。

本テキストが今後、わが国の国際林業協力に従事する人々に少しでも役立ち国際林業協力の推進に些かでも貢献出来ればと願いつつ本テキストを発刊致すものであります。

1994年 3 月

(財)国際緑化推進センター

理事長 秋 山 智 英

目 次

I. は じ め に	1
1. 土壌とは？	5
1) 一般的特徴	5
2) 土壌の主な働き	6
II. 土壌生成要因 (Soil forming factor)	7
1. 母材 (Parent material)	8
1) 地殻 (Earth crust) の組成	8
2) 主な一次鉱物 (Primary mineral)	9
3) 岩石の分類	10
(1) 火成岩 (Igneous rock)	10
(2) 水成岩 (Sedimentary rock)	13
(3) 変成岩 (Metamorphic rock)	18
(4) 火成岩、水成岩、変成岩か地殻や地表に占める割合	19
4) 岩石や鉱物の風化 (Weathering)	20
(1) 物理的風化作用 (Physical weathering)	20
(2) 化学的風化作用 (Chemical weathering)	25
(3) 生物的風化作用 (Biological weathering)	28
(4) 二次鉱物 (Secondary mineral) の生成	28
(5) 風化による各種元素の可動率	30
2. 気候 (Climate)	32
1) 基本的な土壌水分環境	32
(1) 洗浄型土壌水分環境	32
(2) 非洗浄型土壌水分環境	32
(3) 滲出型土壌水分環境	33
3. 地形 (Topography)	33
1) 山地 (Mountain)	33

(1) 地殻運動によるもの	33
(2) 火山活動によるもの	34
(3) 地形輪廻 (Geomorphic cycle)	34
2) 丘陵地 (Hill)	35
3) 高原 (Plateau)	36
4) 段丘 (Terrace)	36
5) 平地 (Plain)	37
4. 生物 (Biology)	38
1) 窒素固定 (Nitrogen fixation)	38
(1) 窒素固定菌 (Nitrogen-fixing bacteria)	38
(2) 窒素集積の意義	40
2) 有機物層 (Organic matter layer, Ao-horizon) の発達	41
(1) Ao層の区分	41
(2) Ao層の分類	42
3) 有機物の分解・無機化	43
(1) 土壤動物 (Soil fauna) の働き	43
(2) 微生物 (Microorganism) の働き	45
4) 腐植 (Humus) の生成	47
(1) 腐植生成作用 (Humification)	47
(2) 腐植の働き	47
(3) 腐植の分類	48
5) 生態的循環による炭素及び窒素の蓄積	49
5. 時間 (Time)	50
III. 土壌の性質	54
1. 理学的性質 (Physical property)	54
1) 土壌水	54
(1) 土壌水の存在状態	54
(2) 土壌水の分類	56

2) 土性 (Texture)	57
(1) 粒径区分 (Particle size distribution)	57
(2) 碎片化による粒子の表面積変化	57
(3) 土性区分	58
3) 土壌構造 (Structure)	59
(1) 形態による構造の分類	60
(2) 構造の成因	61
(3) 土壌構造の働きと維持増進	62
4) 三相組成と孔隙組成	62
(1) 三相組成 (Three phase composition)	62
(2) 孔隙組成 (Porosity composition)	64
2. 化学的性質 (Chemical property)	64
1) イオン交換と塩基交換容量	64
(1) イオン交換 (Ion exchange) の原理	65
(2) イオン交換に関与する土壌中のイオンの種類	65
(3) イオン交換能をもつ主な物質	65
(4) コロイド (Colloid) の特徴	65
(5) マイナス荷電 (交換基) の発現機構	65
(6) 塩基交換容量 (CEC Cation exchange capacity)	67
2) 交換性塩基および塩基飽和度	67
(1) 交換性塩基 (Exchangeable base)	67
(2) 塩基飽和度 (Base saturation)	68
3) 土壌反応 (Soil reaction)	68
(1) 表示法	68
(2) 測定法	69
(3) 活酸性 (Active acidity) と 置換酸性 (Exchange acidity)	69
(4) pH (H ₂ O) と pH (KCl)	69

(5) 置換酸度と加水酸度 (Hydrolytic acidity)	70
4) C/N比 (C/N ratio)	70
(1) 各種有機物のC/N比	70
(2) C/N比の低下	71
(3) C/N比の意義	71
(4) 堆肥製造とC/N比	72
5) 燐酸 (Phosphate)	72
(1) 土壌中の燐酸の存在形態	72
(2) 可給態燐酸 (Available phosphate)	73
3. 生物学的性質 (Biological property)	74
1) 菌根 (Mycorrhiza)	74
(1) 一般的特徴	74
(2) 菌根の根への侵入形態による区分	74
IV. 土壌の調べ方	76
1. 土壌調査	76
1) 土壌調査のために準備するもの	76
2) 試孔点の選定と土壌断面の作り方	76
(1) 試孔点の選定	76
(2) 試孔の掘り方	77
(3) 土壌断面の整え方	78
3) 土壌の断面の調べ方	78
(1) Ao層 (有機物層) の区分	78
(2) 鉱質土壌の区分	79
(3) 層界 (Horizon boundary)	79
(4) 土色 (Soil color)	80
(5) 腐植含有量 (Humus content)	82
(6) 土壌構造 (Structure)	82
(7) 堅密度 (Hardness)	84

(8) 孔隙 (Porosity)	84
(9) 土性 (Texture)	85
(10) 石礫 (Gravel)	86
(11) 溶脱・集積 (Eluviation, Illuviation)	87
(12) 水湿状態 (Moisture)	89
(13) 根系 (Root system)	89
(14) 菌根菌糸 (Mycorrhiza, Mycelium)	91
(15) 母材の堆積様式	91
(16) 浸蝕 (Erosion)	92
2. 環境要因調査	94
1) 調査地点の概況	94
2) 気候	94
3) 地形	94
4) 植生 (Vegetation)	94
V. 土壌生成作用及び分類	96
1. 基本的な土壌生成作用 (Soil forming process)	96
1) 塩類集積作用 (Salinization)	96
2) シアライト化作用 (Siallitic weathering)	97
3) 粘土の移動集積作用 (レシベ化作用, Lessivage, Illuvialization)	97
4) アリット化作用 (Altitic or Ferrallitic weathering)	99
5) クライ化作用 (Gleization)	100
6) ポトゾル化作用 (Podzolization)	101
7) 泥炭集積作用 (Peat accumulation)	102
2. 土壌分類の歴史	102
3. 包括的土壌分類体系 (Soil Taxonomy, 1975)	104

1) Soil Taxonomyの特徴	104
2) 分類基準の定義	104
(1) 特徴表層 (Diagnostic horizon)	105
(2) 診断特徴 (Diagnostic soil characteristics)	110
3) 土壌目 (Soil order)	115
4) 土壌亜目 (Soil suborder)	
及び土壌大群 (Great group)	117
(1) Histosols	118
(2) Spodosols	119
(3) Andisols	121
(4) Oxisols	123
(5) Vertisols	126
(6) Aridisols	129
(7) Ultisols	131
(8) Mollisols	136
(9) Alfisols	139
(10) Inceptisols	143
(11) Entisols	146
4. FAO/UNESCOの世界土壌図	149
1) 主要土壌を細分するための識別特性	150
2) 主要土壌の主な特徴と細分	151
(1) Ferralsols (鉄礫土化土壌)	151
(2) Acrisols (粘土集積低飽和赤色土壌)	152
(3) Nitosols (厚層赤色土壌)	153
(4) Luvisols (粘土集積高飽和赤褐色土壌)	153
(5) Vertisols (反転土壌)	154
(6) Cambisols (淡黄色変成土壌)	155
(7) Regosols (非固結浅層土壌)	155

(8) Rankers (岩盤上浅層土壤)	・ ・ ・	156
(9) Lithosols (岩上浅層土壤)	・ ・ ・	156
(10) Fluvisols (流積土壤)	・ ・ ・	156
(11) Gleysols (地下水成土壤)	・ ・ ・	157
(13) Histsols (有機質土壤)	・ ・ ・	157
(14) Xerosols (乾燥土壤)	・ ・ ・	158
(15) Yermosols (沙漠土壤)	・ ・	158
3) 主要土壌群の分布特徴	・ ・ ・	159

熱帯の土壌

－基本的性質と調査および分類方法－

I. はじめに

熱帯とは、一般に赤道を中心にして、南北両回帰線に挟まれた両半球にまたがる地帯のことである。気候的には、年平均気温が 20°C 以上、または最寒月の月平均気温が 18°C 以上であるなど、年間を通して高温で気温差も少ない。しかし、降水量は、赤道直下では概して多いのに対して、亜熱帯寄りの地方で少なくなるなど、量的な変化が大きい。そのため、降雨林、雨緑林、サバンナ、及び沙漠など変化に富んだ植生タイプが存在する。

また、地質的には、過去の火山活動や地殻変動及び長期にわたる大規模な浸蝕・運搬・堆積作用などの影響により、いろいろな種類の堆積物や岩石類が複雑に入り組んで分布しており、しかもそれらの風化・変質の程度がそれぞれいろいろと異なる。そのため、土壌の母材としての地質が非常に複雑である。また、地形も一般にそれ程急峻ではないが、微地形的には変化に富んでいる場合が多い。

そのように複雑な土壌生成環境を反映して、熱帯地域には、極めて多種多様な土壌が生成・分布している。それらの土壌は、一般に森林伐採や山火事及び放牧などの外部からのインパクトに対して比較的脆弱であり、特に裸地化すると容易に理化学的および生物的性質が劣化し、土壌浸蝕などを誘発して荒廃する。

FAOの発表(1993)によると、近年森林破壊、不適切な土壌の管理や利用、及び過放牧などが原因で、世界全体で年々700万haもの土地が荒廃している。これは、20年間でアラスカに匹敵する面積の土地が不毛化していることを意味しており、しかもそのほとんどが、アフリカ、アジア、中南米などの熱帯地域で進行しているといわれている。

土壌は、地球上の各種陸上生態系の成立基盤として重要な働きをしていると同時に、非常に数少ない貴重な再利用可能資源でもある。従って、一旦土壌の理化学性が退化し浸蝕荒廃すると、周囲の環境、ひいては地球環境に及ぼす影響は計り知れない程大きいのみならず、人類の存亡にも関わる重大事でもある。しかも、それを再生するには、1 cmの土層の再形成に100～400年を要すると推定される程、大変な時間とエネルギーを必要とする。

従って、限りある土壌資源を保全しつつ効率良く利用し、できるだけ良好な状態で次の世代に引き継ぐためには、その肥沃度や立地環境に応じて、自然の地力を損なわないような、自然と調和した適切な維持管理を進めることが大切である。また、既に世界各地、特に熱帯地域に広大に存在する荒廃地に森林を造成して、その生態的な力をうまく利用して物理的、化学的、生物的に生き返らせることも極めて大切である。



写真1 森林破壊により禿山となった地帯を搬送されるラワンの大木
(フィリピン、ルソン島)



写真2 焼畑のための山焼き（インドネシア、東カリマンタン）



写真3 焼畑で栽培される胡椒（向うの杭だけの所は放棄された焼畑）
（インドネシア、東カリマンタン）



写真4 地力を使い果たし放棄された荒廃地
(フィリピン、パンタバンガン)

熱帯地域における健全な土壌の維持増進が、円滑な生物生産や陸上生態系の保全、ひいては地球環境の保全にもつながる。

そこで本冊子では、そのような熱帯の土壌を理解するために基本的に必要な事柄、即ち、土壌はどのように生成され、いかなる性質を持っているか、及びそれらの調べ方や分類方法などについて、熱帯の土壌を中心に述べてみたい。

1. 土壌とは？

1) 一般的特徴

土壌とは、地殻の表面を構成する各種岩石の碎屑物や、その風化変質物などの無機鉱質物からなる骨格に、植物や動物などの生物の遺体によって、地球の最表層に生成されたものであり、そこには多種多様の生物が無数に生息している。

しかも、それら無機物、有機物及び生物は互いに影響を及ぼしあっており、それら相互のバランスの上に有機的に統合された土壌の世界が形成されている。そのため、土壌は大気や水などと同様に自然史的生成物の一つとされている。

そのようにして生成された土壌は、下図のような地表に平行な幾つかの層位 (Horizon) からなるのが普通である。

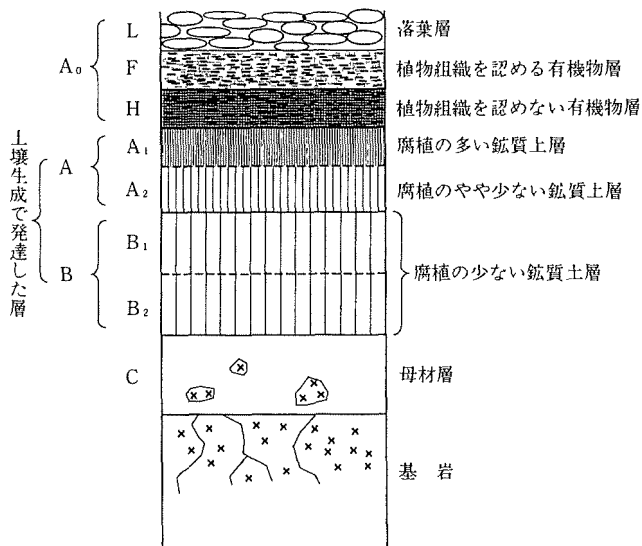


図1 土壌断面模式図

2) 土壌の主な働き

土壌は、植物に利用可能な各種養分、水分、及び空気を貯蔵しており、必要に応じてそれらを植物の根に供給する。一般に、このような能力は地力（Fertility）と呼ばれ、土壌の最も重要な性質の一つとされている。植物はそれら養分や水分を吸収し、太陽エネルギーを利用して光合成を行い、炭水化物などの有機物を生産する。このようにして生産された有機物か、直接あるいは間接的に、陸上のほとんど全ての生物のエネルギー源として利用され、それらの生存を支えている。

また土壌は、多数の土壌動物や無数の微生物の快適な住家であると同時に、活動の場でもあり、それらの共同作業により、土壌表面に還元された植物や動物に由来する有機質遺体の分解・無機化が絶えることなく行われている。その結果生成される各種の有機ならびに無機化合物が土壌中に蓄積され、それらは再び養分として植物に利用される。

このように、植物や動物の遺体、即ち、有機性廃棄物の分解処理、いわゆる天然のネグントロピー作用が土壌で絶えず行われているおかげで、陸上生態系の崩壊が防かれ、緑の地球が保たれているのである。

以上のように、土壌は陸上生態系における物質やエネルギーの流れの場であるとともに、地下の岩石圏と地上の生物圏とをつなぐパイプの役割りも担っているなど、各種陸上生物の生存ならびに地球環境の保全のために基本的に重要な働きを果たしている。