

No. _____

半乾燥地造林計画基準報告書

(現地調査)
(前 論)

1985年2月

国際協力事業団

林 開 発
J R
85 - 32

JICA LIBRARY



1061468[3]

半乾燥地造林計画基準報告書

(現地調査)

(前論)

1985年2月

国際協力事業団

国際協力事業団	
受入 月日 '86. 6. 24	400
	88.3
登録No. 12796	FDI

は し が き

近年、世界的な森林資源の減少と、それに伴う自然環境、生活環境の悪化が全地球的規模の問題として大きな関心と論議を呼んでいる。とりわけ熱帯地域では、焼畑移動耕作、牧場開発、人口の急激な増加等により年間1,100万Haもの森林が消えつつあるといわれており、これら地域に位置する発展途上国においては、流域荒廃、薪炭材不足等により生活の基本的基盤まで脅かされるに至っている。

このような背景の中でわが国はこれまで、東南アジア、中南米地域における熱帯多雨林について、森林造成分野の技術協力を積極的に展開し、その技術開発、技術移転にかなりの成果を収めつつあるといえる。

しかしながら、半乾燥地帯での森林資源の減少の問題については、その解決が急務となっている中で、わが国はいまだ技術協力の実績もなく、技術の蓄積が十分とはえない状態である。

このような中で、これら半乾燥地を有する諸国からわが国への森林造成のための技術協力要請は年々高まっており、わが国としても国際社会の一員としてこれら要請への対応が重要となってきた。

このため当事業団においては、半乾燥地帯における森林造成に関する知識を蓄積しておくことが重要となっていることから、半乾燥地造林計画基準作成調査団を派遣することとなったものである。

本調査団は2次にわたって派遣され、第一次調査団は、前国際協力事業団林業水産開発協力部長渡辺桂を団長とする計2名が昭和59年10月21日から16日間にわたり欧米先進諸国を訪ずれ国際機関、先進国等の半乾燥地造林に関する研究事例、協力体制の実施等について調査を行った。また第二次調査団は、林野庁指導部計画課長補佐藤原敬を団長とする計5名が、ケニア共和国、タンザニア連合共和国、スーダン民主共和国を訪れ、半乾燥地における森林造成の具体例及び国際機関等による林業協力の実体について調査を行った。

本報告書はこれら調査結果を半乾燥地森林造成のための計画基準という形でまとめたものであり、その内容はこれまでの研究事例の評価、技術の応用可能性、わが国技術協力体制整備への助言、森林造成のマニュアル更には関連情報の所在等にわたるもので、今後技術協力に携わる関係者の貴重な参考となることを信ずるものである。

最後に本件調査の実施に際し御協力いただいた各国際機関、各国政府機関、日本大使館、外務省、農林水産省、(社)海外林業コンサルタンツ協会等関係各位に対し深い謝意を表わすものである。

昭和60年8月

国際協力事業団
理事 山極 榮司

目 次

—現地調査—

—前 論—

1. 定 義	21
2. 自然的条件	29
2-1 気 候	29
2-1-1 世界の気候	29
2-1-2 乾燥気候の区分	31
2-1-3 水分収支	34
2-2 植 生	37
2-2-1 世界の植生	37
2-2-2 半乾燥地の植生	41
2-2-2-1 植生型	41
2-2-2-2 サバナ地帯の植生	43
2-2-2-3 乾燥地域の植物の水分経済	46
2-2-2-4 半乾燥地の植生区分	47
2-3 土 壌	49
2-3-1 土壌の生成	49
2-3-2 世界の土壌	59
2-3-2-1 成帯性土壌	59
2-3-2-2 成帯内性土壌	75
2-3-2-3 無帯土壌	79
2-3-3 半乾燥地の土壌	79
3. 乾燥地域の牧畜社会	86
3-1 牧畜の定義と分布	86
3-2 牧畜民の生活	87
3-3 牧畜民の社会構造	88
4. 乾燥地域の森林資源	92
4-1 熱帯林の危機と技術協力	92
4-2 乾燥地域の森林の現状と課題	93

— 現 地 調 査 —

1. 現地調査の概要

我が国の森林造成分野における技術協力は、熱帯多雨林地帯の過度の焼畑移動耕作等による草原状地域での再造林から始まり、その技術開発・移転手法は一応完成しつつあるといえる。しかし、生活エネルギー源たる森林の減少がより深刻な問題となっている半乾燥地における森林造成については、急務であるにもかかわらず、我が国としては未だ十分に対応可能とはいえない状況にある。

したがって、今後予想される、半乾燥地帯を有する各国からの森林造成技術協力の要請に答えるために、それら半乾燥地における造林技術について、技術協力の実施にあたり専門家等の参考になるマニュアルを作成するとし、マニュアル作成のため現地調査を2次にわたり実施した。

調査は次の目的で実施された。

- (1) 半乾燥地造林にかかる下記事項につき調査する。
 - ア 国際機関、先進国等の半乾燥地造林に関する研究事例及び協力体制の事例。
 - イ 半乾燥地における森林造成の事例及び国際機関等の協力実態。
- (2) (1)の調査結果に基づき森林造成のための計画基準を作成する。
 - ア 国際機関等の研究事例の評価、その技術の応用可能性及び我が国の協力体制整備への助言。
 - イ 現地実態に則した森林造成マニュアルの作成、関連情報の所在と参考文献一覧表。

2. 第1次調査団

(1) 調査団の構成

渡辺 桂 総 括 国際協力事業団 林業水産開発協力部長

名村 二郎 造林技術 (社)海外林業コンサルタンツ協会 専務理事

(2) 調査の日程

日 順	月 日	場 所	面 会 者
1	10. 21 (日)	東京 → New York JL006	
2	10. 22 (月)	New York	UN Sahelian Office UNDP Technical Assistance Division
3	10. 23 (火)	N.Y. → Washington	World Bank
4	10. 24 (水)	Washington	IDB World Resources Institute
5	10. 25 (木)	Washington	US.AID/US. Forest Service US.AID/US. Forest Service
6	10. 26 (金)	Washington → Paris TW 890	Centre Technique Forestier Tropical
7	10. 27 (土)	Paris	OECD
8	10. 28 (日)	・	
9	10. 29 (月)	・	UNESCO OECD
10	10. 30 (火)	Paris → Geneva CR723	
11	10. 31 (水)	Geneva → Rome CR612	IUCN
12	11. 1 (木)	Rome	FAO Forestry Department
13	11. 2 (金)	・	FAO Documentation Centre FAO/WB Cooperative Programme
14	11. 3 (土)	・	
15	11. 9 (日)	Rome → Frankfurt AZ422	
16	11. 5 (月)	Frankfurt → Tokyo JL431	

(3) 主な面会者及び機関

22/10 UNSO (国連サヘル事務所)

Mr. Bertin BORNA

Director

Mr. Ruben MENDEZ

Principal Program Officer

Mr. Debbie LANDEY

Program Officer

" UNDP (国連開発計画)

Mr. A.A.JOSEPH

Assistant Administrator

(Asia Bureau)

Ms. Norma GLOBERMAN

Deputy

Mr. Chuck LANKASTER

Principal Technical

Adviser(Forestry)

Mr. Charles-Heuri LA MUNIERE

Deputy A.A.(Africa Bureau)

Mr. Walter W.SIMONS

Executive Director,Industry

Council for Development(ICD)

23/10 World Bank (世界銀行)

Mr. John SPEARS

Forestry Adviser

Mr. Kenji TAKEUCHI

Economic Analyst

Mr. Mikael GRUT

Forestry Economist

Mr. Takeichi ISHIKAWA

Forestry Officer,E.Africa RO

Mr. Kazumi GOTO

Loan Officer,INS.EAP.RO

Mr. Noel BROUARD

Forestry Officer

Ms. Loretta SCHAEFFER

Co-Financing Coordinator,EAP

Mr. Michel BÉGUERY

" ,WAF

Mr. J.P.BLANCHI

Economist,Sahel Area

IUFRO (国際林業研究機関連合)

Mr. O.FUGALLI

Developing Countries Research

Coordinator

US. AID (アメリカ国際開発庁)

Ms. Kathleen MCNAMARA

Forestry Adviser,Aria

Mr. Robert F.ICHORD

Asia Bureau

Mr. Jack VANDERRYN

Agency Director for

Energy and Natural Res.

Mr. Darid L.RHOAD

Deputy

"

	Mr. Carl M.GALLEGOS	Staff	"
	Mr. Dan DEELY	HQS,Staff Forester	
24/10	US. Forest Service (アメリカ森林局)		
	Mr. David A.Harcharik	Director,International Forestry Staff	
	Mr. Mervrin E.Stevens	Acting Program Manager, Forestry Support Program Staff,	"
"	World Resoucrs Instite (世界資源研究所)		
	Mr. F.William Burly	Senior Associate Project Staff	
	Mr. Peter T.Hazelwood		
	I-ADB (米州開発銀行)		
	Mr. Julio LUNA	Chief, Fishery and Forestry Section	
	Mr. Kari Keipi	Forestry Specialist	
26/10	Centre Techniques Foréstier Tropical(C.T.F.T) (熱帯林業技術センター)		
	Mr. Francis Cailliez	Director General	
	Mr. Philippe g, Maslin	Secretary General	
	Mr. Claude Bailly	Director,Forestry Research	
	Mrs. Jacqueluie Doat	Director,Wood Reserch	
	UNESUCO (ユネスコ)		
	Dr. Berud von Droste	Division of Ecological Science	
		"	(MAB)
	Dr. Malcolm Hadley	"	(MAB)
	Dr. Gisbert Glaser		
	OECD/Club Sahel(OECD/サヘルクラブ)	Staff Economist	
	Mr. Games A.Hradsky		
	IUCN (国際自然保護連合)	Director General	
	Dr. Kenton R.Miller	Director,Regional and Project Services	
	Dr. Harturut Jungins		

Mr. Michael J.Cockerell

Director of Operations,
World Conservation
Center

Mr. Mark Halle

Manager, Counsevation
for Development Center

WWF (世界野生生物基金)

Mr. David Mitchell

Director of Public Affairs
and Development

FAO (国际食糧農業機関)

Dr. M.A.Flores Rodas

Assistant Director General,
Head of Forestry Department

Mr. J.P.Lanly

Director, Forest Resources
Division

Mr. S. Ben Salem

Officer, Arid Zone Afforestation

Dr. M.K.Muthoo

Director, Operations Service

Dr. Hans Robbel

Senior Operations Officer

Mr. H.Abdab

Chief, Africa Desk

Mr. M.S.Kim

EX.Chief, Asia Desk

Mr. Y.Nisawa

Ops. Officer, Asia Desk

Mr. R.Heinrich

Chief, Logging Branch

Mr. G.Child

Chief, Wildlife Branch

(4) 調査の成果

ア. 総合所見

- ① 各機関とも我が国、国際協力の新しい力点として、アフリカがあげられたことを歓迎している。
- ② 資料提供、意見交換は極めて率直かつ積極的に行われた。
- ③ 更に協力実施のための助言等も惜しまない態度であり、将来のcoordinationを熱望していた。

イ. 技術的問題点

- ① 自然的条件が他地域と比較して、甚しく困難であることが強調された。
- ② 外来樹種導入の危険性が大きい。
- ③ 砂漠、半砂漠の指標として降水量をとることは当然だが、年変動の激しいことが、近年の特徴であり、失敗の大きな原因となっている。
- ④ 降水量の変動と併せて、土壌条件（特に物理性）に配慮せよ。
- ⑤ 有用樹種の商業的造林は、殆ど全く考えられない。農用林あるいは農地保全林の造林を考えるべきである。
- ⑥ かん漑造林は、他用途（農業等）と共同の事業においてのみ成立する。

ウ. 社会的、経済的条件

- ① 政治的安定と併せて、むしろ社会的経済的条件が決定的な要因であろう。
- ② 牧畜及び農業経営との関連を軽視することは失敗の原因である。
- ③ 部族の混在する場合（遊牧民、農民など）、それぞれのニーズを把握し、調査してうえでの計画作成が不可欠。
- ④ サヘル早ばつ後の、大規模植林計画は殆どが失敗した。少数の成功例は集落レベルに根をおろした小規模・多目的造林である。
- ⑤ アフリカの共同体は浸透が困難であるが、これなしでは成功はおぼつかない。
- ⑥ アグロ・フォレストリーの適用は、積極的に考慮すべきである。
- ⑦ 少数例だが、cash crop（ガム・アラビック・アカシア・セネガル）の植栽で成功している例がる。

2. 第2次調査団

(1) 調査団の構成

藤原 敬	総括	林野庁 指導部 計画課 課長補佐
名村 二郎	造林技術	(社) 海外林業コンサルタンツ協会専務理事
遠藤 健治郎	苗畑・土壌	(社) 海外林業コンサルタンツ協会技術嘱託
結城 史隆	社会経済	(社) 海外林業コンサルタンツ協会技術嘱託
安室 正彦	業務調整	国際協力事業団 林業水産開発協力部林業開発課

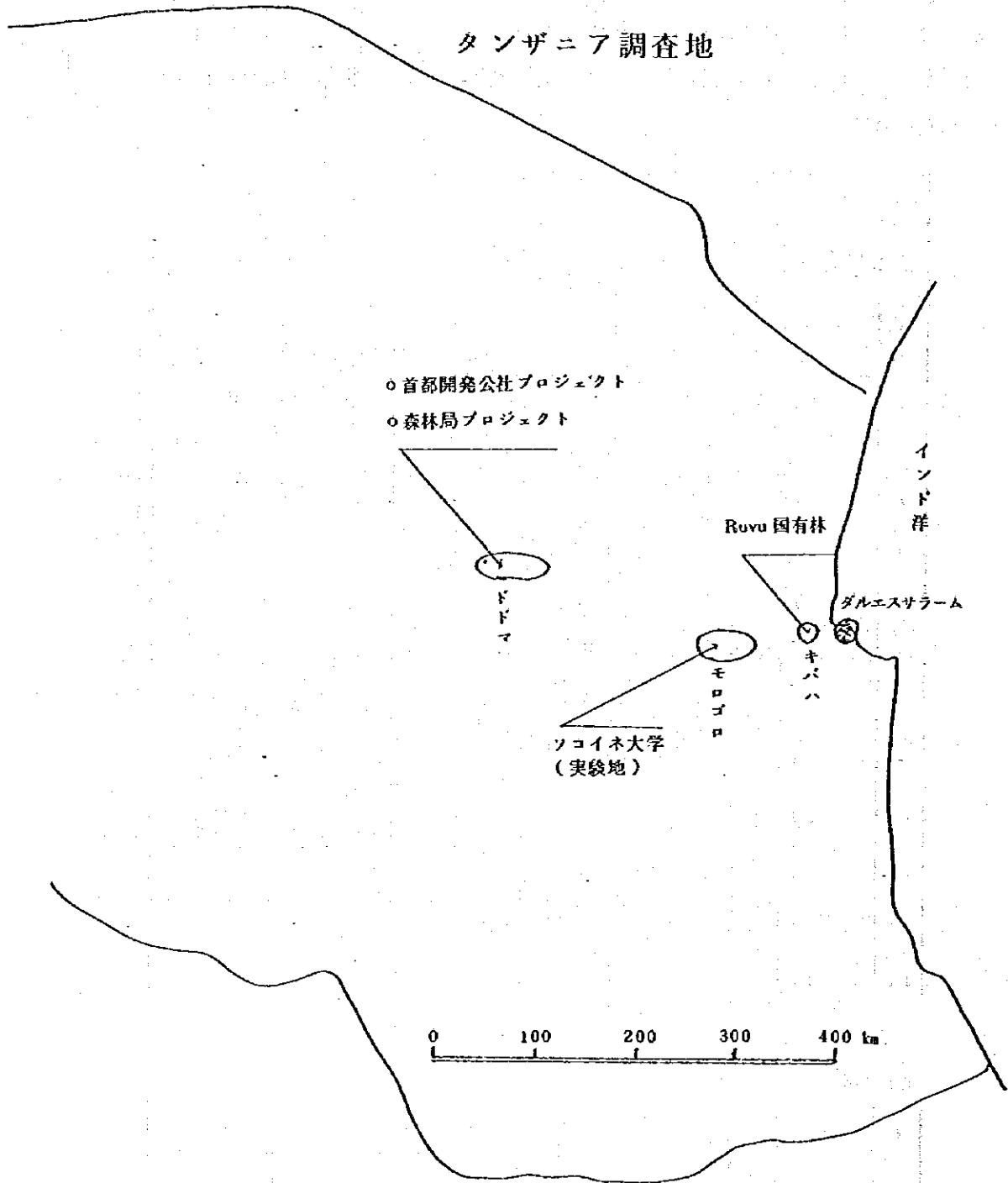
(2) 調査の日程

日順	月日	曜日	調査日程	宿泊地	調査内容
1	12・1	土	東京 → BA 006	(機 中)	
2	2	日	ロンドン → BA 153	(.)	
3	3	月	→ グレサラム	グレサラム	大使館、JICA、天然資源省、FAO
4	4	火		.	現地調査(KIBAHA)
5	5	水	グレサラム → フドマ	フドマ	.
6	6	木		.	(DODOMA)
7	7	金	フドマ → グレサラム	グレサラム	.
8	8	土		.	大使館、JICA報告
9	9	日	グレサラム → ナイロビ KQ 483	ナイロビ	資料整理
10	10	月	ナイロビ → ハルツーム KQ 310	ハルツーム	営林省、FAO事務所等
11	11	火	ハルツーム → エルオバイド	.	現地調査(EL OBEIDO)
12	12	水		.	(ハルツーム)、大使館報告 森林局、ガムアラビック会社
13	13	木	アムステルダム → アムステルダム KL 564	アムステルダム	
14	14	金	アムステルダム → 東京 KL 867	(機 中)	
15	15				

<藤原団長の行動日程>

6	12・6	木	グレサラム → ナイロビ KQ 481	ナイロビ	(本隊より分かれる)
7	7	金		.	JICA、UNEP
8	8	土		.	大使館表敬報告
9	9	日		.	資料整理
10	10	月	ナイロビ → ハルツーム KQ 310	ハルツーム	(本隊に合流)

(3) 調査地の所在
別図のとおり

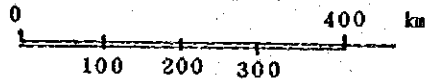


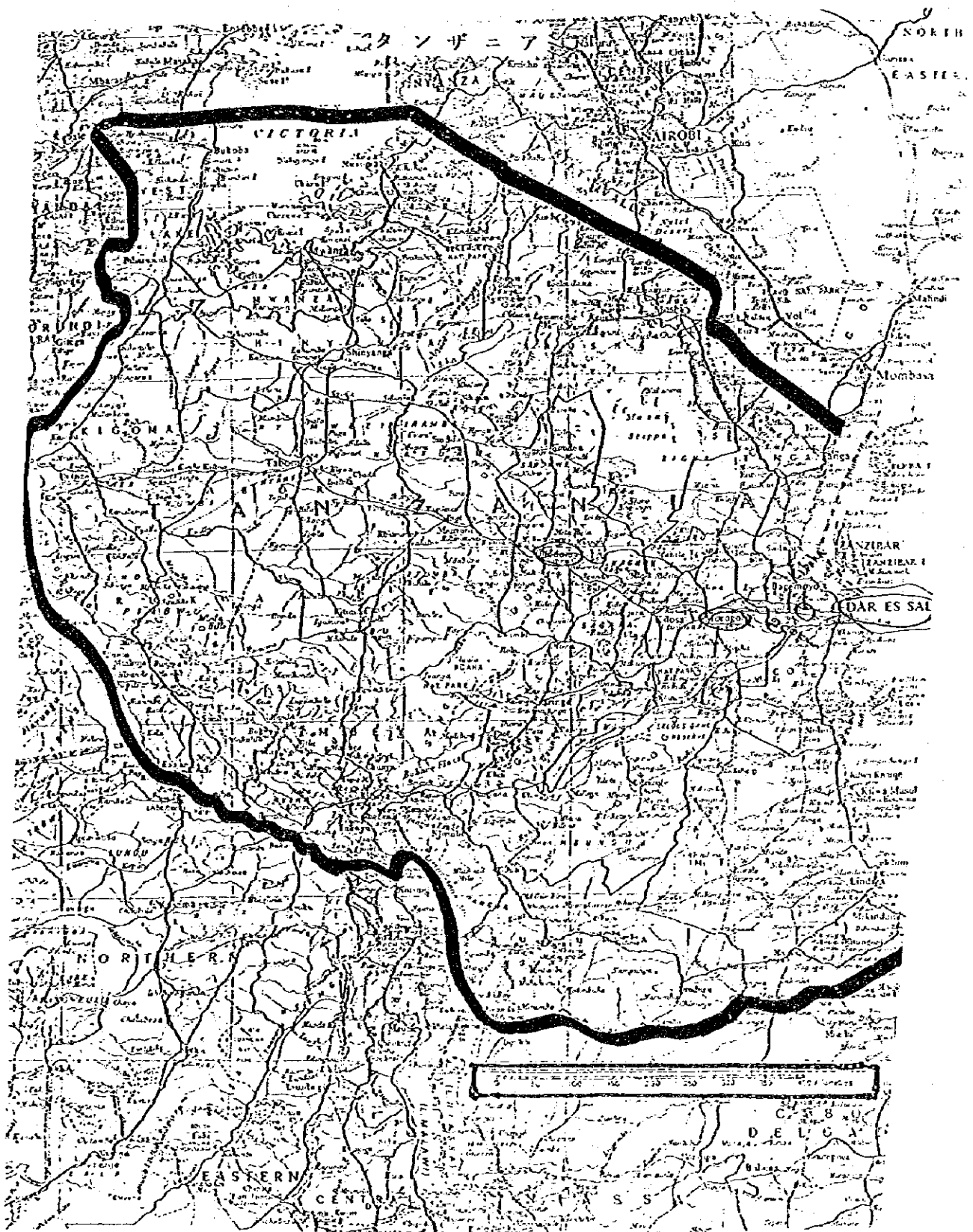
スーダン調査地

紅
海

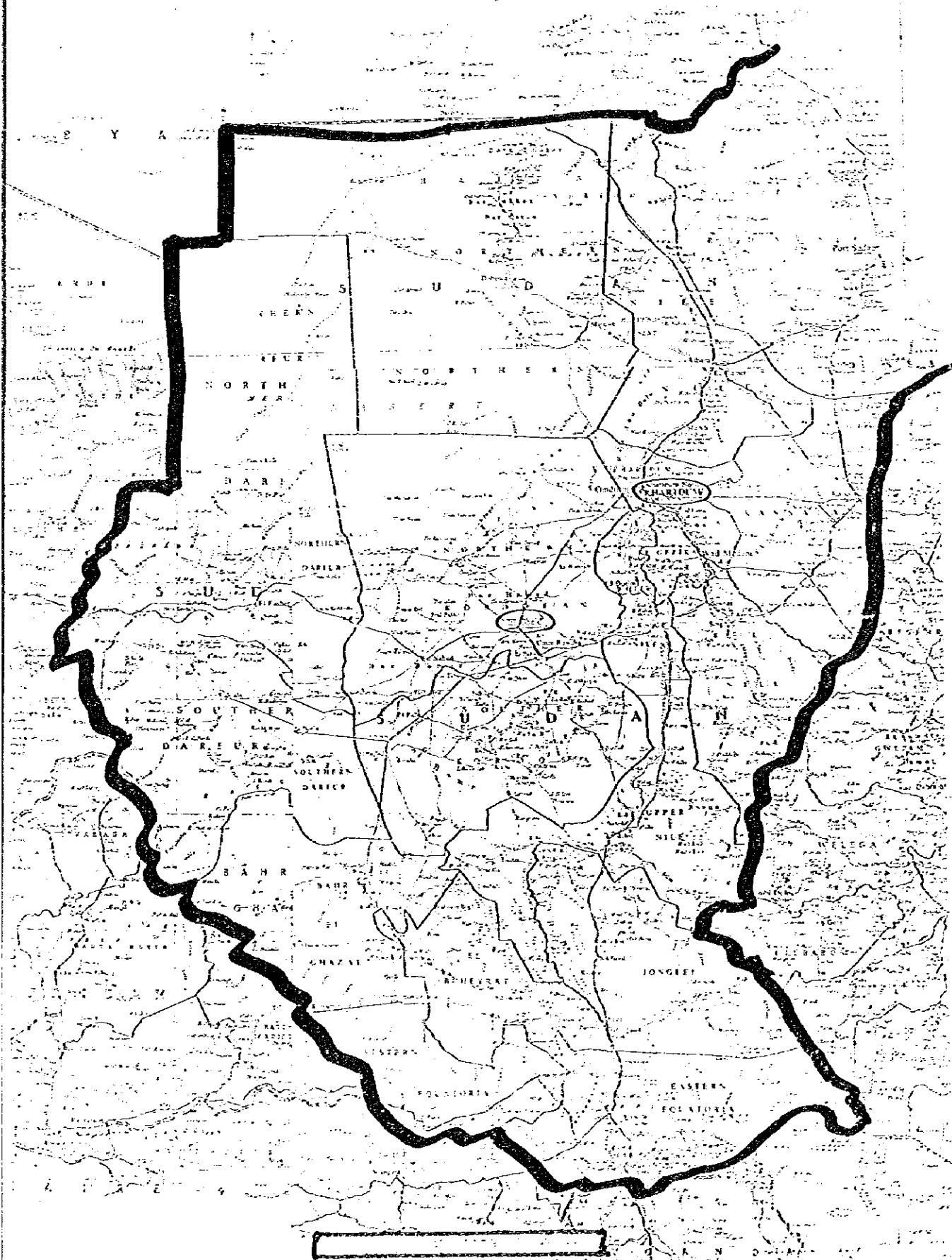
ハルツーム
Green Belt Project

エルオベイド
Gum Arabic Project





スーダン



(4) 主な面会者及び機関

ア. [タンザニア]

大使館	浅羽大使
	古市書記官
JICA	佐野所長
	吉川次長
	高畑副参事
	野口所員

(Dar. Es Salaam)

- Ministry of Lands, Natural Resources & Tourism
 - Mr. E.MMNZAVA Director of Forestry
 - Mr. P.E.KIMARIYO Assistant Director
 - Mr. B.K.KAALE Forest officer (in charge of Community Forestry)
 - Mr. F.B.KILAHAMA (Assistant to Mr.KAALE)
- FAO Representative o/f
 - Mr. Campbell Macculloch Director
 - Mr. Michel Friesenegger (Economist)
- SIDA Expert
 - Mr. Arnold J.Ahlback Forestry Planning Coordinator

(Kibaha)

- Kibaha Project(Ruvu Fuelwood Pilot Project)
 - Mr. D.C.C.Magawa Forest Project Manager
- TANZANIA Forest Research Institute (TAFORI)
 - Mr. Kitambi Acting Director Gneral

(Dodoma)

- R.D.D's Office
 - Mr. Mapunda Regional Development Director

- CDA (Capital Development Authority)
 - Mr. Constantine Maelesghe Forest officer
 - Mr. John Benju Forest Officer

- RFO
 - Mrs. H.Macha Regional Forest Officer

- DNRO
 - Mr. A.L. Fundi District Natural Resources Officer

- HADA
 - Mr. Mudeme K.C.H. District Project Manager(HADO=Soil and Water Conservation in Dodoma Region)

- Ministry of Works
 - Mr. Nelson Msuya Representative Engineer

- <Morogoro>
 - Sokoine University of Agriculture
 - Mr. A.B. Temu Head, Division of Forestry

イ. [ケニア]

大使館 中野書記官

JICA 長嶋次長

- UNEP

Mr. Hisao Sakimura

ウ、[スーダン]

大使館 山野大使
森山参事官
甘利書記官
越智 "

(ハルツーム)

○ Ministry of Agriculture

Mr. Yousif Ahmed Dash Under Secretary.

Mr. Abu Bakr Abdel Rahman Kamil Director General.

Forest Administration

Mr. Asarin Head, Shelter Belt Afforestation

(fuelwood project)

○ FAO Representative O/F

Dr. Aziz A.Salih FAO Representative

Mr. J.B.Ball Project Manager(Gum Arabic Project)

○ Gum Arabic Co.Ltd

Mr. Al Haj Mekki Awouda General Manager.

(5) 調査団の帰国報告

ア. 総合的な所見

- ① 受け入れ側の姿勢がきわめて好意的であった。

相手国政府、林野庁、多国間、三国間の国際協力機関の全面的な協力の下に調査を行うことができた。

タンザニア 林野庁長官以下 SIDA FAO
スーダン 農業省事務次官以下 FAO
ケニア UNEP

- ② 燃材対策等のvillage plantationに大きなプライオリティをおいている。

タンザニア industrial plantationからU.P.へ予算配分の変更。

スーダン アカンア・セネガルのV. P. プロジェクトの新規発足

- ③ 国際機関により活発な協力が行われている。

タンザニア FAO 技術協力
SIDA キャッシュグラント
スーダン UNSO/NEDA アラビアゴム ELOBEIDO
UNDP " ELFASHER
WFO 食料援助
etc

- ④ 技術的に大きな問題点はない。

国際協力も資金協力が中心。ただし、適用樹種、かんがい造林etc課題がある。
全体的な実態の把握が林野庁においてもできていない。

- ⑤ 行政機関の体制にばらつきがある。

タンザニア 質量ともにきわめて良好。
一応の基本計画にもとづいて行政を進めている。

スーダン 地方中央の間のギャップ。
中央での実態把握等が全くできていない。

(援助の施行は円滑にしている。)

イ. 造林に関する所見

(ア) 調査地の自然条件

- ① タンザニア・キバハ・RUVU国有林

気 候 Tropical Dry Forest Zone, 年降雨量1,000mm

- 植 生 Tropical Woodlands Savannas
 地質土壌 隆起さんご礁、Sandy/Loam Soil
- ② タンザニア・ドドマ 緑化事業地
 気 候 Tropical Semi-arid Zone年降雨量570mm
 植 生 Tropical Wooded Steppe
 地質土壌 花崗岩、Sandy/Clay Soil
- ③ タンザニア・モロゴロ ソコイネ大実験林
 気 候 Tropical semi-arid Zone年降雨量800mm
 植 生 Tropical Woodlands savannas
 地質土壌 片麻岩、Loam Soil
- ④ スダーン・エルオベイト ガムベルト植林地
 気 候 Tropical Semi-arid Zone年降雨量370mm
 植 生 Tropical Wooded Steppe
 地質土壌 花崗岩、Sandy soil
- ⑤ スダーン・ハルツーム グリーンベルト植林地
 気 候 Tropical arid Zone年降雨量130mm
 植 生 Tropical Sub-desert Steppe
 地質土壌 沖積土、Clay Soil

(4) 調査地の造林概況

- ① タンザニア・キバハ、RUVU国有林は、ダルエスサラーム西方45kmに所在し、総面積67,000ha、この中で1964年からカリビアマツをパルプ用材林造成を目的として人工造林(1969~75年の間、年間100~200ha)したが、1973、74年と1979、80年の2回の早ばつによって80%が枯死した。このため、マツによる造林を断念し、ユーカリ(メリオドラ)およびカツア(シアメア)を主体とする薪炭林造成の人工造林に転換した。造林方法は、皆伐跡を全刈り、筋刈り、スポット刈り、頭刈りに分けて地拵試験を行っている。これまでの総経費は約800千シリングで、全額SIDAの援助による。
- ② タンザニア、ドドマ緑化事業地は、市内および周辺地域の緑化を目的として、カツア(シアメア)、ユーカリ(カマルデエンシス)、アザディラクタ(インディカ)等を主体とする人工造林を行っている。カツアの活着は良好であるがユーカリは植栽4~5年後に枯死するものが多い。住民に無償配布する苗木代の平均生産コストは

2. 5 シリング/本である。なお、市内の中央苗畑では上記のほかカヤ（アフリカンマホガニー）カツア（トートリス）、アカシア（アルビダ）、ツジギウム、プロソフィス、ピセコロビウム、アフゼリア、カロフィラム等を市内緑化用に生産している。
- ③ タンザニア、モロゴロ大学実験林は、social forestryのための造林研究の一環として、ユーカリ（カマルデュエンシス）の萌芽更新作業による薪炭林造成およびルシナ（イビル・イビル）と農作物（豆、ダイズ等）の組合せによるアグロフォレストリーの両試験を行っている。
- ④ スダーン、エルオベイト、ガムベルト植林地は、スダーンの外貨収入の4乃至5位を占め、世界の供給量の85%をまかなう。アラビアゴムを生産すアカシア・セネガルを植林し、併せて、これが薪炭材の供給源、家畜の飼料源、土壌の肥沃化および砂漠前線の進行防止等多目的をもったプロジェクトである。過去4年間の第1フェーズで90集落、8,000世帯を対象に、6ヵ所の苗畑で4,000千本の苗木を生産して、住民に配布した。植林の対象面積は約10千ha、種子を採取、育苗等の労働には食料（US AID）を給付する。UNSSO, USAIDの資金援助によって実施された。来年度から第2フェーズが始まる予定で26千haに拡大する。これにはオランダの資金援助が約束されている。アカシアセネガルは、ゴマ、落花生、ソルガム等との組合せのアグロフォレストリー方式で植栽されることが多い。植栽期間は7、8月で短い。間隔は4×4m1世帯当たり2.5ha～5ha植えている。
- ⑤ スダーン、ハルツームグリーンベルト植林地は、ハルツーム南郊の灌がい造林によるユーカリの防風、防砂および薪炭材生産を目的としたものである。1967年に灌がい施設が完成し、(13km×3km)造林された。樹種はユーカリのうち、ミクロセッカ、アンブラタ、カマルデュエンシスの3種、伐期7年で、3回は萌芽更新可能。灌がいは、ハルツーム市の廃水、ブルーナイルの河川水、ゲジラ運河の水をそれぞれ利用する3地区に分れ、本線、分岐線、および林分内の溝（3m間隔）へと水が流れ林床へ浸透する。通水は15日に1日の割で行う。この1日の給水量は900m³/haである。今後も拡大していくが、廃水は増加するが、運河水は農業用等の消費で減少傾向ある。なお、プロソフィス（チリネンシス）、コノパルサス（ランシフォリア）アザディオラクタ等も植栽されている。

ウ. 調査地の土壌についての所見

① タンザニア・キバハ地区の土壌

FAO-UNESCOによる世界土壌図によれば、この地区の土壌は、砂質～壤質な土壌

で、QC即ち砂質で層位の分化が明らかでない Cambic Arenosolsが優占し、これに鉄質アクリソルス(Feric Acrisols)、鉄質アレノソルス(Feric Arenosols)淡色パーティソルス(Pellic Vertisols)、非酸性沖積土、浅層岩石土が混在している。

苗畑でポット用土に使用している土は、付近の森林土壌の表層土、きゅう肥、砂を各5:2:1の混合物で、土壌分析の結果は次のとおりであった。

	PH (H ₂ O)	電気伝導度 (ECKΩcm)
森林土壌表層土	6.4	12.2
ポット用土	7.6	5.8

(注意) 電気伝導度は、Kcl、Nacl、Cacl₂等が多いほど小さくなる。

② タンザニア・モロゴロ地区の土壌

暗赤色土であって、石灰岩母材の亜熱帯林の土壌断面にやや類似しているが、10% Hclによって表層から下層まで発泡する点、および彩度が高いことが異なる点である。FAO-UNESCOの分類では標準的ニトソルス(Orthic Nithosols)に属するものである。分析結果は次のとおりである。

層位	採集深度 cm	PH (H ₂ O)	電気伝導度	土色	土性
AB ₁	0~15	8.0	17.6	2.5 YR 3/4	壤土
B ₂	15~30	8.6	16.1	2.5 YR 3/6	・
B ₃	30~65	8.7	13.0	・	・
B ₄	65~95	8.6	15.0	・	・
B ₅	95~120 ⁺	8.5	7.8	・	・

なお、ソコイネ大学の実験林の土壌は、上記と異なる暗色土で表層土の分析結果は次のとおりである。

PH (H₂O) : 6.6 土色 : 7.5 YR 4/3

電気伝導度 : 21.5 土性 : 砂質

③ タンザニア・ドドマ地区の土壌

FAO-UNESCO土壌図によると、この地区は、プリンサイドのあるアクリソルス(Plinthic Acrisols)に、赤色鉄アルミ質土壌(Rhodic Ferralsols)と淡色パーティソルス(Pellic Vertisols)が混在する。

カツア(ツアメア)の植林地で、地表下50cmにハードパンのある土壌の分析結果は

次のとおりである。

層	採集深度	PH	電気伝導度	土色	土性
A	0～15cm	6.0	24.5	7.5 YR 4/4	埴土
B ₁	15～50cm	6.0	22.0	10 YR 5/4	・ 堅密
B ₂	50～60cm	6.1	27.1	10 YR 6/4	ギ砂質 固結

これは、かなり洗脱され、塩類の乏しいことが伝導度の高いことで判る。この土壌は淡色パーティソルスと判定される。

更にユーカリ（カマルデュエソシス）の植林地で、植栽後3年位は成長するが、その後6年程度で枯死する地区の土壌を調査した。彩度の高い橙赤色の土壌で極めて堅密である。これの分析結果は、（深さ120～130cmの土層）PH：5・2、電気伝導度41、土色2・5 YR 4/8、ギ砂質であって、酸性で塩類欠乏の洗脱土壌である。鉄結核のあることから、Plinthic AcrisolsあるいはFerralic Acrisolsと判定される。

④ スーダン・エルオベイド地区の土壌

FAO-UNESCO土壌図のよると、この地区は、Cambic Arenosolsを主とし、粘土集積アレノスルス(Luvic Arenosols)塩基未洗脱浅層土(Eutric Regosols)、石灰質粘土集積土(Calcalic Luvisols)、石灰質グライ土(Calcalic Gleysols)および標準的ソロネツ(Orthic Solonetz)を混在する。アカシア（セネガル）即ちガム・アカシアの植栽地の土壌分析結果は、次のとおりである。（表層0～10cm）

PH：6・5、電気伝導度：5・5、土色：5 YR 5. 5/7、土性：極めて砂質、Cambic Arenosolsと判定される。

⑤ スーダン・ハルツーム灌がい植林地の土壌

この地区は、青ナイル川と白ナイル川にはさまれた平坦地で、土性は埴質で彩度が低いパーティソルス(Pellic Vertisols)で土色は暗灰色を呈する。乾燥するとかなり堅密になる。灌がい植林の一部（ゲジラ運河水による地区）では、過灌がいによる塩土化の弊害が出始めている。

エ. 社会経済的条件に関する所見

① 各プロジェクトと地域住民との関係について

1. キバハ（タンザニア）

[67,000haのForest Reserve、北域32,000ha、南域35,000ha、但し南域は手が入られていない。]

○ 25人のTraining Staffの他に政府から給料が支払われる110名のForest Workerがいる。但し、労働力の必要な時は地域住民を一日34タンザニア・シリング(約500円弱)で雇い入れる。

○ その他 Staffは村に入って住民に植林の必要性を説き苗木を与え家の周囲に植えさせている。これは個人の木となる。

2. ドドマ (タンザニア)

学校のわきに苗床をつくり、無料で地域住民に苗木を配布している。植林の必要性を人々に理解させることが重要であり学校教育にもそのことをとり入れている。

3. モロゴロ (タンザニア)

ソコヒネ大学農学部で統合的Agroforestryの実験が行われている。次は、住民の間に普及させる段階にきているが、方式としては一つの村落にモデル地域を作ることが考えられている。そこで成功すれば他の住民も積極的に参加するようになるであろうという。但し、農耕民の場合はまだ容易であるが、牧畜民の場合は社会的により困難であることが予想される。

4. エル・オベイド (スーダン)

アラビアゴムの苗木を村人に無料で配布し、そこから与えられる生産物も総て住民に属する。プロジェクト対象外の住民もプロジェクトが拡大されることを望んでいる。

② 所 見

全体的にどの地域においても住民は周囲の木の減少を肌で感じており、植林の必要性を理解してきている。適切な指導が行われ、住民に経済的・社会的負担がなければ人びとは積極的に植林プロジェクトに参加する意向を持っているようである。

1. 定 義

半乾燥地の造林を論ずることに先立って、本書でとり上げる乾燥地域に関する言葉の意味を明らかにしておく必要がある。

まず、本書が対象とする乾燥地域の地理的所在であるが、世界の乾燥地帯は、次章で詳述するように、大小幾つかの地域として分布している。次章の図1-1等に基づいて、これらを列記すと次のとおりである。

- ① アフリカ・サヘル（サハラ以南）
- ② アフリカと近東の地中海岸（モロッコ、アルジェリア、エジプト、トルコ等）
- ③ 南アフリカ（アンゴラ、ナミビア、南ア、モザンビク等）
- ④ 中東（アラビア、イラク、イラン、アフガニスタン、パキスタン、インド西部等）
- ⑤ アジア内陸部（中央アジア、中国西北部、モンゴル等）
- ⑥ 南米太平洋岸（エクアドル、ペルー、チリーの太平洋岸）
- ⑦ 北米西部（USAの西部内陸とメキシコ）
- ⑧ ブラジル東部（東北伯）
- ⑨ 南米南部内陸（アルゼンチン、パラグアイ、ボリビア等）
- ⑩ 南米北端（ヴェネズエラ等のカリブ海岸）
- ⑪ オーストラリア（東海岸及び北部半島を除く）

これらのうち、本書の目的から、主として対象とした地域は、熱帯、亜熱帯の途上国が関係する①、③、④、⑥、⑧、⑨の各地域である。

次に乾燥地の概念であるが、この言葉は多くの研究者、文献あるいは地域によって各種の細分がなされており、かつ、その区分の基準も、年降雨量、関係湿度、蒸発散量と降雨量の対応、等の各種のパラメーターが使われている。このことも次章で詳述するが、多くのモデルにおいて、広義の乾燥地を、区分の境い目の違いはともかく、概ね次の4つの段階の分けている。（表1-1参照）

- ① 極乾燥帯（超乾燥、砂漠、サハラアン）
- ② 乾燥帯（準砂漠、サヘロ・サハラアン）
- ③ 半乾燥帯（サヘロ・スタニアン）
- ④ 亜湿润帯（スタノ・ギニエアン）である。

本書は、その名稱上、③を主体として論ずるが、実際には①から④までを含めて検討することとした。また、区分の基準となる気候学的パターンは、実用の便（数値の入手し易さ）を考慮して年間降雨量を主とし、区分の境いは表1-1の各種区分の平均的数値をもって表1-2のように

表1-1 熱帯乾燥地の降雨量による区分

出典等 平均年量	FAO, Tree planting practices in African savannas Aubreville, 1949	CGFT, Equilibre du milieu naturel en Afrique tropicale sèche	Club du Sahel,	FAO, Conservation in arid and semi-arid zones	Holdridge, 1967	mbH, Ecological Imbalance in the Sudan with reference to desertification in Darfur F.N. Ibrahim
100mm	Desert (砂漠)	Saharien (サハリアン)	Saharian (サハリアン)	Desert (砂漠)	Super-arid (超乾燥)	Hyper arid (超乾燥)
200		Sahelo-saharien (サヘロ・サハリアン)			Per-arid (過乾燥)	
300	Sub-desert (半砂漠)			Arid (乾燥)		Arid (乾燥)
400		Sahelo-soudanien (サヘロ・スダニアン)	Sahelian (サハリアン)		Arid (乾燥)	
500				Semi-arid (半乾燥)		Semi-arid (半乾燥)
600						
700	Dry tropical (乾燥熱帯)	Soudano-sahelien (スダノ・サハリアン)				
800					Semi-arid (半乾燥)	
900		Soudano-guineen (スダノ・ギニアン)	Sudanian (スダニアン)			Semi-arid Sudan Zone (半乾燥/スダニアン帯)
1,000						
1,100						
1,200	Semihumid tropical (亜湿潤熱帯)					
1,300						
1,400						
1,500						

定めた。但し、特定の研究者、文献等の解説においては、それぞれの基準によることとした。

表1-2 本書における乾燥地の区分

目安としての年降水量^{mm}

< 200	極乾燥帯 (super arid zone)
200 ~ 500	乾燥帯 (arid zone)
500 ~ 1,000	半乾燥帯 (semi arid zone)
1,000 ~ 1,500	亜湿润帯 (semi humid zone)

次は、植生群落の名稱であるが、これは気候区分と関連して多数の区分とその名稱が使用されている。これらのうち熱帯・亜熱帯の乾燥地の植生群落に名付けられた名稱（地方名を含む）を例示すると、次のようなものがある。

- ① Desert 植生を欠く砂漠
- ② (Grass)Savanna 草原、主として熱帯、亜熱帯で
- ③ Steppe 草原、主としてアジア地域で
- ④ Prairie 草原、平坦乃至波状地形、土壤肥沃
- ⑤ Pampa 草原、南米南部で
- ⑥ Llano 草原、アマゾン北部で
- ⑦ Veld(t) 草原、南アフリカ（亜熱帯）で
- ⑧ Shrub Savanna 草原かん木を散生する草原
(Wooded Savavanna)
- ⑨ Tree Savanna 低い樹木を散生する草原
- ⑩ Tree Veld(t) 同上、南アフリカで
- ⑪ Savanna Woodland 中庸の樹高を有する樹木を散生する草原
- ⑫ Cerrado 低い樹木の疎林、ブラジルで
- ⑬ Woodland 同上、主としてアフリカ西部で
- ⑭ Cerradon 中庸の樹高を有る樹木による疎林、ブラジルで
- ⑮ Open Forest 疎林
- ⑯ Dry Forest 落葉樹を含む熱帯乾燥地の閉鎖森林

以上において、①は極乾燥地、以下②～⑦⑧～⑩、⑪～⑬、⑭と⑯、の各グループおよび⑯と順次、湿润度が高まると、一般的に考えてよい。

以上のうち、②、⑨、⑪、⑬および⑯について、西アフリカにおける植生を例にとって、植生断面の模式図をHopkinsが1965年に示しているので、これを図1-1に掲げる。

なお、前述の植生群落のうち幾つかについて、若干の解説をつけ加えると。

- Savanna：通常、木本植物を欠く草原であるが、⑧、⑨および⑩のような表現もあり、かん木や樹木を散生する草原の場合もありうる。スペイン語のZavanaが語源である。
- Prairie:本来的に木本植物の無い大草原であるが、深い肥沃な土壌を有し、通常土壌肥沃度の低い③、⑤、⑥および⑦とは、異なる。
- Savanna Woodland：散生する樹木は通常乾期に落葉するが、常緑樹の場合は小型の葉を持つものが多い。

最後に、乾燥地に生育する植生の名称として、しばしば使用されるものに、①Bush(es)、②Scrub、③Shrub(s)、④Brushwood、⑤Herb等がある。これらのうち、①から④までは、一般辞書では、“やぶ”あるいは“かん木”と訳され、⑤は“雑草”と訳されている。これらをSociety of American Forestersの刊行した“Terminology of Forest Science, Technology, Practice and Products”による定義を紹介すると次のようになっている。

- ① Bush(es)：英本国では低いかん木のしげみや、やぶであるが、英本国以外では手入れされない天然のForest、Woodlandと同意語で、インドではJungleと同意語となる。
- ② Scrub：小さい、いじけた樹木やかん木のと、およびこれらから成る低木群生地、通常は経済的価値がない。樹木が多くなるとScrub Forestと言う。
- ③ Shrub(s)：通常の樹木より低く、主幹をもたない木本の多年生植物、すなわち“かん木”で、これの生育地の場合には、Shruberyと言う。
- ④ Brushwood：経済性の低い“かん木”や低木状の植生
- ⑤ Herb：永続的な木質の幹を生ぜず、かつ、種子を実らせる植物すなわち草である。

以上のうち、木本植生である①から⑤までと乾燥度の関係は必ずしも明確ではない。しかし、多くの文献の記述からみて、乾燥から湿潤に向うに従って、Bush、Shrub、Scrub、Brushwoodとなるようである。

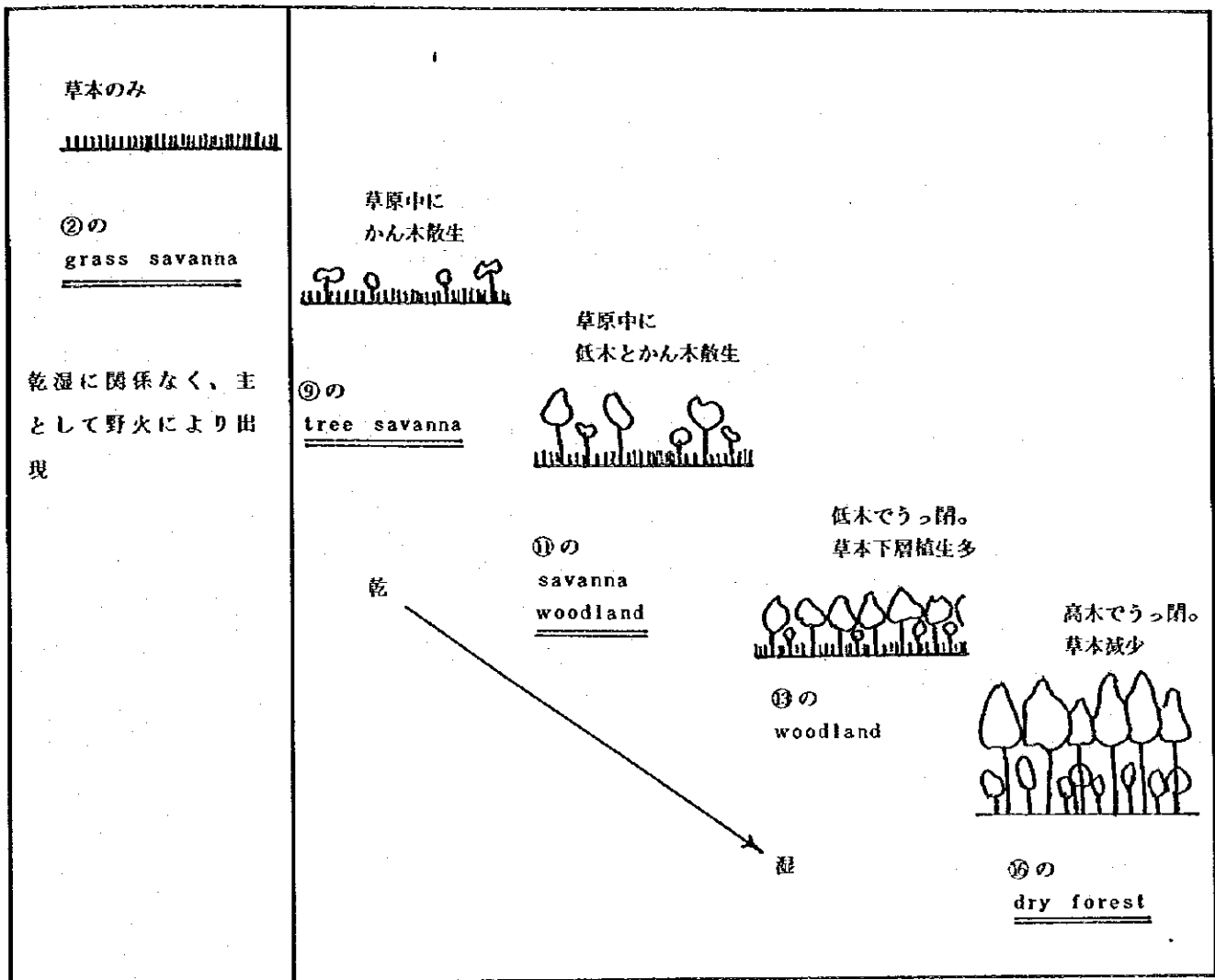
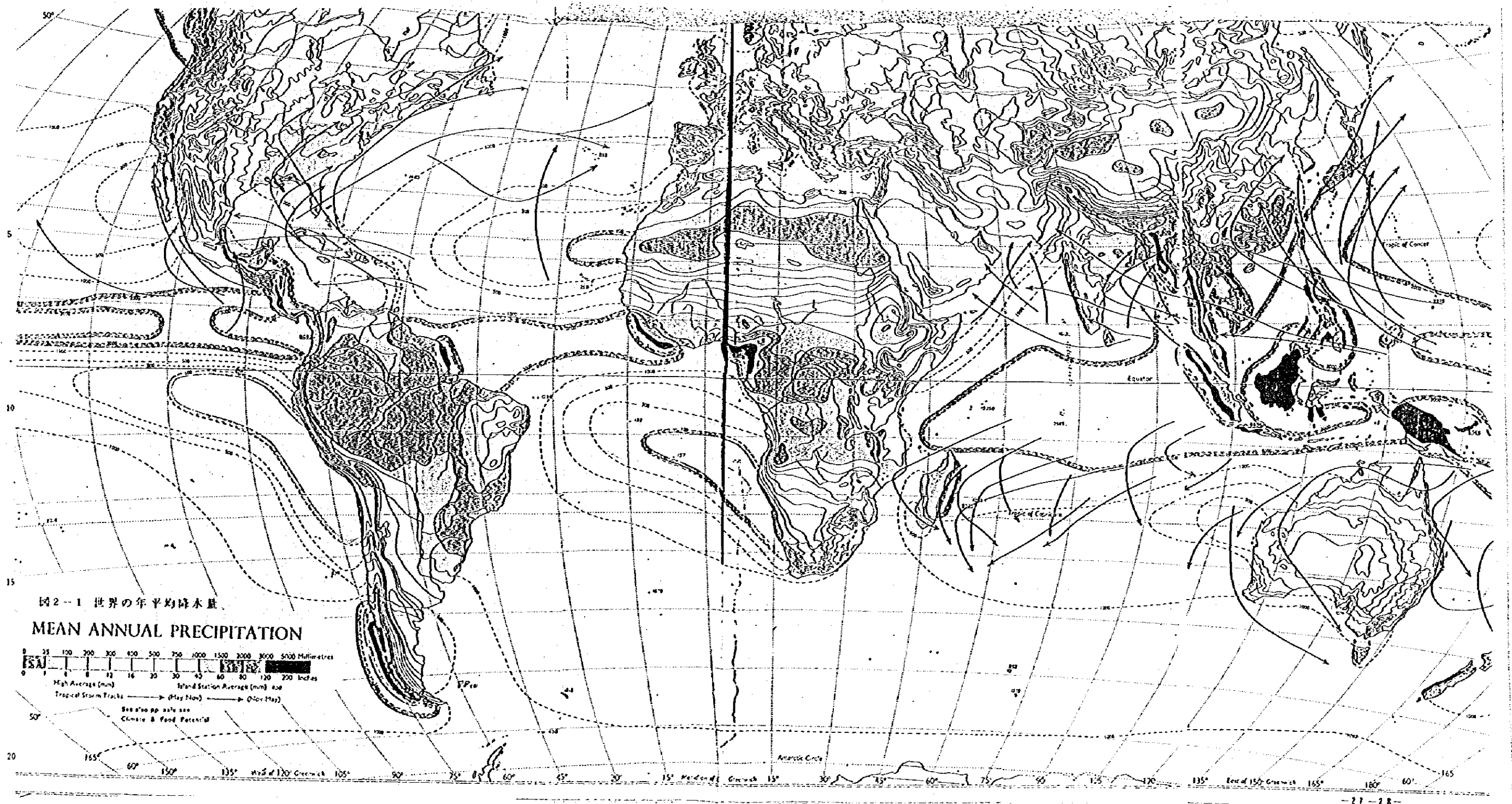


図1-1 西アフリカ乾燥地帯の植生断面模式図



2. 自然条件

2-1 気候

2-1-1 世界の気候

乾燥地帯における造林を理解する場合、この地帯の気象条件や気候条件のみならず、全地球的な気象、気候についての知識が必要である。このような意味から、これでは、世界全体の気象、気候を、降雨、湿度等の要素を主体として、以下に述べる。

世界の降水量の分布は、図2-1に見るとおりである。この図から明らかに読みとれることとして次の諸点がある。

- ① 赤道を中心として南北の緯度 10° 内外の地帯は一般に多雨である。植生区分で云う熱帯湿潤林地帯あるいは熱帯降雨林地帯である。
- ② 上記の多雨地帯を挟んで南北に緯度で 10° 乃至 30° の地帯は一般に寡雨である。いわゆる中緯度高気圧（亜熱帯高気圧）下の寡雨地帯で、本書の主たる対象地が含まれる。
- ③ 大陸の西岸、換言すれば寒流の流路に当たる沿岸地域は一般に寡雨である。
- ④ 以上の一般傾向は、地勢すなわち山脈、内陸地、島しょ地（海洋の存在）等の条件によって攪乱される。

以上のうち、①と②は図2-2に示す大気の大循環に起因するもので、①は熱帯前線（赤道収束線）における上昇気流による降雨地帯であり、②は高気圧帯における下降気流による寡雨地帯である

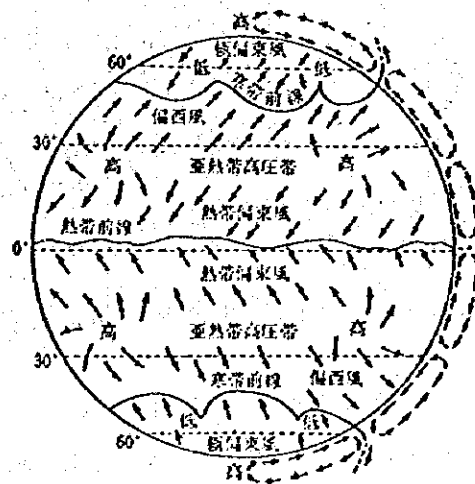


図2-2 大気の大循環の模式図（福井編気候学 1962より）

まず、最寒月平均気温 (T_c) と最暖月平均気温 (T_w) によって次の区分をする。

- A : $T_c < 18^\circ\text{C}$ $T_w > 10^\circ\text{C}$
- C : $T_c = 18 \sim 3^\circ\text{C}$ $T_w > 10^\circ\text{C}$
- D : $T_c < -3^\circ\text{C}$ $T_w > 10^\circ\text{C}$
- E t : $T_c < -3^\circ\text{C}$ $T_w > 0 \sim 10^\circ\text{C}$
- E f : $T_c < -3^\circ\text{C}$ $T_w < 0^\circ\text{C}$

なお、乾燥気候をBとし、うち砂漠気候を、BW、草原気候をBSとする。

さらに、上記A~Dを乾湿度で次のように細分する。

- F : 年中多雨で、明瞭な乾季はない。
- W : 夏雨季、冬乾季、
- S : 冬雨季、夏乾季、

なお、Asは冬期が無いため、Dsは夏期が短いため現実には存在しない。また、Aにはモンスーン林気候として中間型のAmが存在する。

以上の区分、細分で再掲すれば、次の各気候区がある。

- A f : 熱帯多雨林気候 月最小雨量 = $R_{mi} > 60\text{mm}$
- A m : モンスーン林気候 $(100 - 0.04)$ 年降雨量 $< R_{mi} < 60\text{mm}$
- A w : サバナ気候 $(100 - 0.04)$ 年降雨量 $> R_{mi}$
- C f : 温帯多雨気候
- C w : 温帯夏雨気候
- C s : 温帯冬雨気候 (地中海気候)
- D f : 亜熱帯多雨気候
- D w : 亜熱帯夏雨気候

以上がKoppenの気候区分であるが、これは上述のように乾燥地帯の区分が粗く、本書の目的からみて不足な点がある。

したがって本書では、乾燥地 (年間降量 $1,500\text{mm}$ 以下とした) のみについて、前章で述べた4つの区分、すなわち①極乾燥帯、②乾燥帯、③半乾燥帯、④亜湿润帯の分類によることとし、これらを次章において詳述する。

2-1-2 乾燥気候の区分

世界の陸地面積のうち、約 $1/3$ は、いわゆる乾燥乃至半乾燥地帯によって占められ、とくに熱帯・亜熱帯に広くひろがっていることは、前節で明らかであろう。本節では、この熱帯・亜熱帯の乾燥気候をその乾湿の程度によりさらに区分することとする。

半乾燥、乾燥地域の区分は、一部は乾燥指数 (aridity index) で、一部は土壌、地勢、植生等のあらゆるデータの考察に基づいている。

生物気候学的な乾燥度は、降雨により得る水と蒸発散により失われる水の相対的な量によって定まる。すなわち、乾燥度は、降雨量の減少や蒸発量の増大によって大となる。こうして、 P/ETP 比の値（ P は年平均的降水量、 ETP は年平均的蒸発散エネルギー・mean annual potential evapotranspiration）が、ここでは半乾燥、乾燥地域を区分するのに使われる。この P/ETP 比は、 $P-ETP$ という差よりもよく使われる。何故ならば、 $P-ETP$ はどちらかと云うと水の賦存量に関するもので、しかも多くの異った気候に対して同じ値でありうるからである。（例えば、 $P-ETP=400$ の場合、1,000-600でも、800-400でも、600-200等でもありうる）一方、半乾燥、乾燥地帯では、 P/ETP は、乾燥度を表現するのに優れている。何故ならば、水分消失エネルギー（potential water loss）が降水量と正比例の関係にある全ての気候について、 P/ETP 比は同じ値を示すからである。乾燥度はこの P/ETP 比が少なくなれば増す。更に、この比は季節変動の大きい気候において生物学的に適確である。なぜならば、 P/ETP 比は、 ETR/ETM 比（ ETR は土壌植物系の蒸発散量）を良く代表しているからである。なお、この ETR/ETM 比は植生の乾物生産量を大きく左右するものである。これらの地域においては、年降雨量 P は極めて ETR に近く、蒸発散エネルギー ETP は ETM とその上限に至るまで極めて近似している。

ここで、理論的蒸発量 E の計算式について、Holzmanによる式で説明する。すなわち、

$$E = \frac{17.1(e_1 - e_2)(u_2 - u_1)}{t + 459.4}$$

但し、 $E=1$ 日の蒸発量（インチ単位）

$e_1, e_2 = 1, 2$ の各系における蒸気圧（水銀柱でのインチ単位）

$u_1, u_2 = 1, 2$ の各系における風速（マイル標示の時速）

$t = F^\circ$ （摂氏標示）気温

しかしながら、上記の e, u は実測データを得ることが実務的には困難であるので、この計算式の実用性は乏しい。

したがって、実務的には前述の年平均的蒸発散エネルギー ETP をもって乾燥地域の区分がなされる。

すなわち、 P （年平均降雨量）と ETP によって、乾燥地域を以下のように区分している。

① 極乾燥帯（hyper-arid zone）： $P/ETP < 0.03$

この地帯は、季節に関係なく、極めて少くかつ不規則な降雨のある眞の砂漠気候に相当する。この帯では、河岸のブッシュ以外は殆ど永年生植生はない。また、単年生植物は恵れた年には生育する。農業や放牧は、例外を除いて、一般に不可能である。年ごとの降雨量の変動は100%にも達することがある。

② 乾燥帯 (arid zone) : $P/ETP=0.03\sim0.20$

この帯の植生は、散生した、そして地域によってはブッシュや小さい木本性、多汁性、有刺あるいは無葉などの低木を含んでいる。極めて粗放な牧畜利用は可能であるが、降雨を期待する農業は不可能である。この地域は、年降雨量の最低値80~150mm、最高値200~350mmの範囲として特徴づけられ、年ごとの降雨量の変動は50%から100%である。

③ 半乾燥帯 (semi-arid zone) : $P/ETP=0.20\sim0.50$

この帯は、いわゆるステップ帯で、サバンナや熱帯低木林を含む。これは時には、良好な放牧地であり、また、降雨に依存する農業が可能であるが、降雨の変動が極めて大きいので収穫はかなり不規則である。この帯の年降雨量は、地中海から熱帯緯度において、夏雨型で300~400mmから800mmの範囲であり、冬雨型で200~250mmから450~500mmの範囲である。年ごとの降雨量の変動は25~50%である。

④ 亜湿潤帯 (semi-humid zone) : $P/ETP=0.50\sim0.75$

この帯は、主として熱帯サバンナのある種のタイプ、地中海気候におけるマギ (Maguis) やチャパラル (Chaparral)、チェルノーゼム土壌でのステップ等を含む。農業が通常の土地利用となる。年ごとの降雨量の変動は25%以下である。この帯においても、土壌や植生の劣悪化によって砂漠化は起りうる。

前述の4つの乾燥度のクラスのほかに、細分のために気温の基準を考慮する必要がある。気温とその年変化は、降水量とともに植物生産に重要な影響を与える。

気温の基準は、まず第一に、年間の最寒月の平均気温 (°C) にもとづく細分区として表わされ、4つの細分区として次のものがある。

- a. 暑い冬期：最寒月の平均気温が $20^{\circ}\sim30^{\circ}\text{C}$
- b. 温い冬期： " " $10^{\circ}\sim20^{\circ}\text{C}$
- c. 冷い冬期： " " $0^{\circ}\sim10^{\circ}\text{C}$
- d. 寒い冬期： " " 0°C 以下

これら4つの細分区は、さらに、それぞれ、年間の最暖月の平均気温にもとずいて分けられる。その境は 10° 、 20° 、 30°C である。

以上の気温による2種の細分は、年間の気温変化の範囲を表すことを可能とする。そして、これは緯度と大陸性によって異なるものである。

以上の季節ごとの気温と併せて雨季の時期についても考慮すべきである。このことは特に生物学的重要性をもつ。すなわち、乾季の長さや降雨のパターンとして次のような基準が考

えられる。

○乾季の月数：1月以下、1～3月、4～5月、6～7月、8～9月、10～11月、
12月

○降雨パターン：冬雨季型

2回雨季型（秋末と春初に雨 冬の乾季は夏の乾季より小）

夏雨季型

2回雨季型（春末と秋初に雨 夏の乾季は冬の乾季より小）

中間型（冬と夏に2回雨季）

不規則型

2-1-3 水分収支

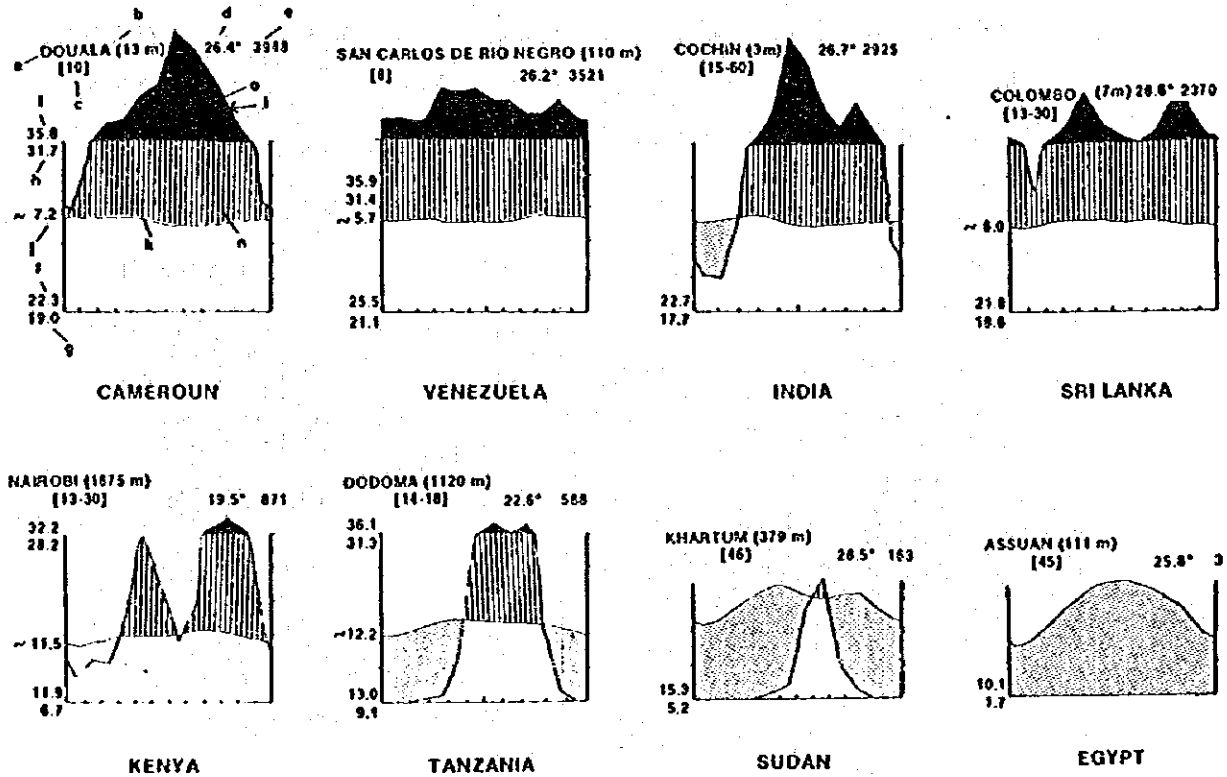
サバナの広い地域における年間を通じて行われる水分収支の変動についての理念は、蒸発散による水分消失推定量と降雨による水分収量とのダイヤグラムによって得られる。この目的のために色々な経験的モデルが使われてきた。これらのうちで、熱帯気温に対しては、Thorntwaite（1948年）、Penman（1984年）及びGausson（1954年）等のモデルが有用であるが、なかでもPenmanの方式が最も優れている。これによると、蒸発散エネルギー（ E_t ）は、土壤中に恒常的に水の補給が十分であれば、一定期間内において起る蒸発散による水分の消失と定義されるものであるが、これは数多くの気象学的パラメーターから定まるものである。そしてこれらパラメーターは、蒸発散を起すのに有効なネットの太陽エネルギーを推定することも出来る。かくして、この E_t は一定期間の大気の蒸発需要を推定するものである。この E_t と降雨量に関連させて使うことは降雨量のみよりもサバナの気候の比較においてより信頼度を高めるものである。しかし一方、サバナ気候において、実蒸発散量（ E_a ）を推定するのに E_t を直接使うことは出来ないことを注意しておくべきである。なぜならば、 E_a は、他の因子、（例えば水分を蓄える土壌特性や植物が蒸発レートを調整することによっての植物の環境への反応など）によって大きく左右されるからである。

土壌表面が乾くと或は根系部位の水が不足状態になると、 E_a は E_t より低い値になる。（根系部位の水不足は植物の気孔を閉じさせ、蒸散調節をする。）温帯気候では E_t と E_a の差は熱帯よりも少ないので、 E_t は年間を通じて実際の水分収支のかなり正しい推定値が得られ、植物の成長の観点からのその気候の有効かつ総体的な状況が求められる。この方式が熱帯サバナの条件に採用された場合は、 E_t と E_a の差は非常に大きく、より変動が大きい。さらに、通常その公式は、恒常的に均一な植生に覆われた地表面に対してのみ適用できる。サバナで典型的に見られる不規則な植生状態は理論的には、より多くの太陽エネルギーを吸収し、 E_t は E_a より大きくなる。

Penmanの公式は、 E_t の計算に対して現時点で考えられる最良のモデルであり、年間を

通ずる水分収支の観点からみて、異った気候区の比較像を得るのにも最適である。

気温を含めて水分収支をビジュアルに見る場合生態学的な気候区分の考え方として、Walterは気候ダイアグラム (Klima Diagramm)(climate diagram) を提案した。これは、ある地方の年間を通じての平均気温と降水量に関する特徴的な情報を示すものである。このダイアグラムは、また相対的湿潤なあるいは乾燥した季節の頻度、長さ、強度を示している。熱帯の様々な地域の気候ダイアグラムを図2-4に示す。



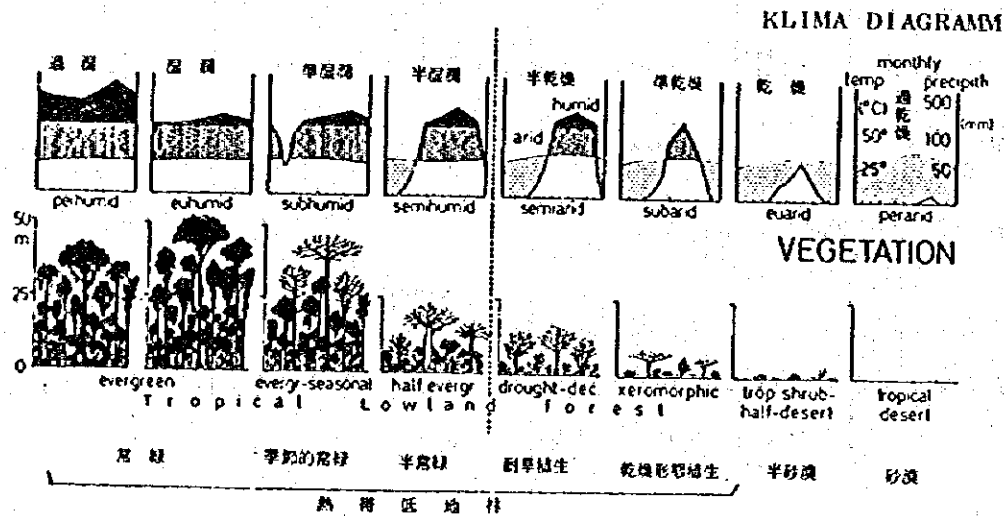
注 a: 測候所 b: 標高 c: 観測年数 d: 年平均気温℃ e: 年間降雨量mm f: 最寒月の日最低気温の平均
 g: 記録上の最低気温 h: 最暖月の日最高気温の平均 i: 録上の最高気温 j: 気温の日変化の平均 k: 月平均気温
 l: 月平均降雨量 m: 乾燥期(点状部分) n: 湿潤期(線状部分) o: 月降雨量が100mm以上(黒塗り部分でスケールは1/10になっている)

出典: Agroforestry Species P.K.R.Nair ICRAF 1980

図2-4 熱帯各地の気候ダイアグラム

気候ダイアグラムの横軸は、北半球については1月から12月、南半球については7月から6月の月割を示している。すなわち、暑い季節は図の中央にいつもあることになる。縦軸は月平均気温と降水量を示し、目盛は、降水量100mmまでは10°Cが20mmに相当し、100mm以上になるとその巾が変わり10°Cが100mmに相当する。なだらかなカーブが気温を示し、平らでないカーブが降水量を示している。目盛りの比が10°C=20mmのところ、降水量カーブが気温カーブの下を通るとき乾期を意味し、このような降水量カーブが気温線の下にある箇所は点の描画で示されている。100を越える月降水量のある湿度の高い季節は黒くぬりつぶしており、縦線の箇所は、相対的に高湿度の季節にあたる。

地域の基本的気象データから簡単に作られる気候ダイアグラムは、その地域の気候の乾燥と高温が続く長さや敷しさを示すのに非常に有用である。この気候ダイアグラムを基礎として、Ellenbergは自然の生態系の湿潤と乾燥の一連の流れを整理し、それらを8つのクラスに分類した。これらは図2-5に示されている。



出典: Ellenberg 1979.

(ペルーエクアドル)

図2-5 気候ダイアグラムと熱帯低地の自然植生

2-2 植 生

2-2-1 世界の植生

世界の植生分布の概要を、ワルターの植生図(図2-6)によって説明する。

① 熱帯降雨林：Tropical rain forest 年平均気温20℃以上、年較差6℃以内、年降水量2,000mm以上、2ヶ月以上の乾燥期がない赤道地域に発達する。熱帯アフリカ、インド・マレー、アマゾンの3地方にわかれる。きわめて多くの樹種から成り階層がはっきりしない。

② 雨緑林：Rain-green forest

明確な乾燥期のある季節風地帯に発達する。代表的なものはチーク林であって雨期には葉が茂るが、乾燥期に落葉する。アフリカ、インド、ビルマ、タイ、南米、オーストラリアなどに見られ、その分布領域は広いが、大部分は開発されて農耕地となっている。

②-a 乾生樹林、自然サバナまたは草地：Xerophilous forest and Savannah or grassland

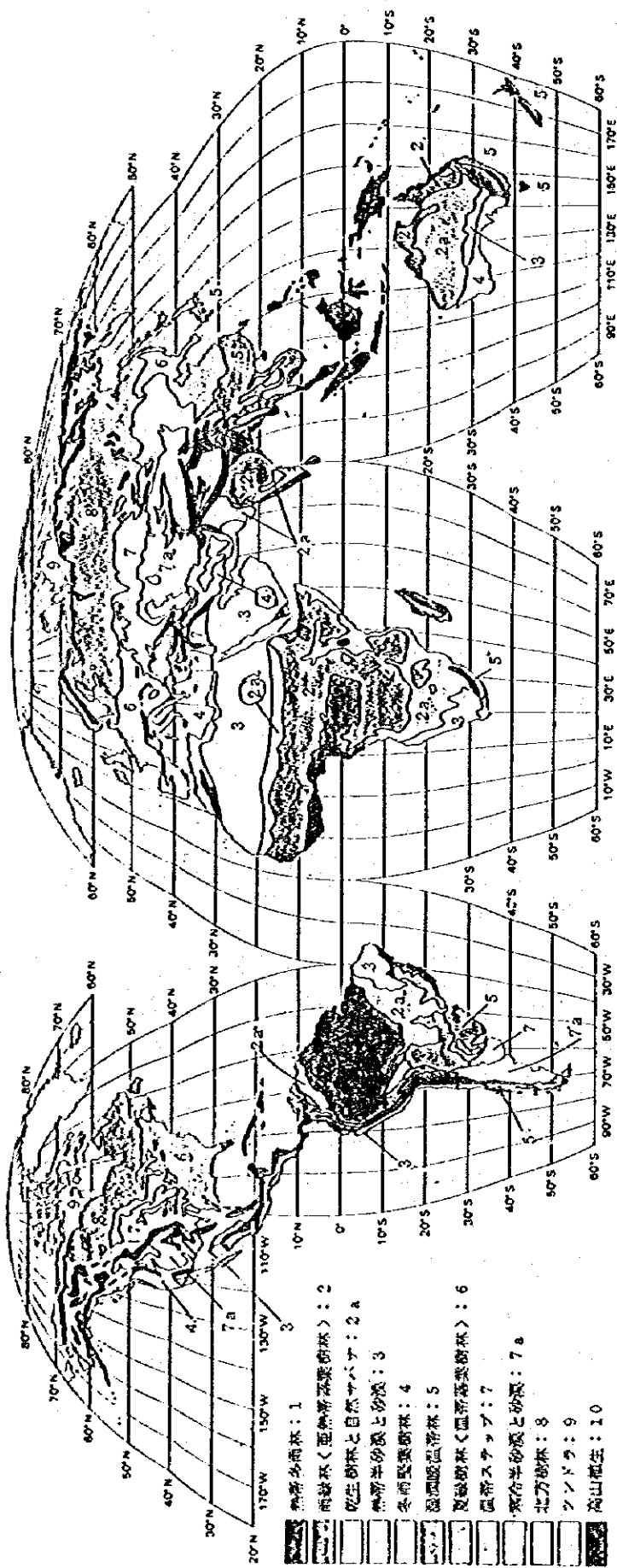
年降水量1,000(2,000)–200mmで、4～6ヶ月の乾燥期をもつ熱帯、亜熱帯に発達し、散生する樹木と草原から成る。中国では散樹草原という。自然破壊によってできることもあるが、自然にできることもある。アフリカでは樹木としてバオバブノキ、ヤシのなかまなどが生える。ケニア、タンザニアなどでは野獣保護区となっているところがある。インド、オーストラリア、南米にもその分布が広い。次章で詳説する。

③ 熱帯半砂漠と砂漠：Hot semi-deserts and deserts

蒸発量が降水量を上まわり、常に水分が不足し、降水が極めて不規則である。年降水量は200mm以下が普通である。35°N以南では炎熱砂漠となる。温度の日較差も大きい。植生はきわめてまばらで、水の不足と、土に蓄積する塩分に適応し、多肉化したり、葉が棘になったりしている。サボテン科、トウダイグサ科(ユーフロビデス)、ウエルウイッチア科などが特徴的である。灌漑して水を補給し、有害な塩類を流し去ると農業生産を上げることもできる。サハラ砂漠、アラビア砂漠が最も広く、南アフリカ、オーストラリア、メキシコ、チリー、ブラジルなどその分布は広い。

④ 冬雨堅葉樹林(硬葉樹林、地中海植生)：Winterrain sclerophyllous forest

大陸の西岸では暖温帯は夏に乾燥し、冬に雨が多い。地中海地方では日本のウバメガシに似た *Quercus ilex*、*Q. coccifera* の林があって、マキまたはガリグとよばれている。アメリカ太平洋岸のチャパラルもこれに似た植生で、カンといっても西南日本の夏雨型多雨気候のところに生育しているアラカシやツラカシとちがって、クスノキ科、ツバキ科の常緑樹と共存することはない。林床にシダは全くない。硬葉樹という名称は広葉樹と音が全く同じでまぎらわしいから避けた方がよい。地中海地方のほか、南アフリカ、オーストラリ



注

- 1 : 熱帯雨林。2 : 雨緑林。2 a : 乾燥樹林。サバナまたはgrassland。3 : 熱帯の半砂漠（緯度35°まで7 a も参照）。
- 4 : 冬前堅葉樹林。5 : 湿潤暖帯林。6 : 温帯落葉広葉樹林。7 : 温帯ステップ。7 a : 寒冷半砂漠と砂漠。
- 8 : 北方樹林。9 : ツンドラ。10 : 高山植生。

図2-6 世界植生図

アの西南部、北米太平洋側、チリーなどに分布している。

⑤ 湿潤暖温帯林（照葉樹林）：Hygro-philous warmtemperate foreset

大陸東岸の夏雨型多雨気候の暖温帯に発達する森林で、ユーラシア大陸では東部ヒマラヤでアラカンの湿潤暖温帯林と *Quercus baloot* が相接している。照葉樹林という名称のもとにはカナリア諸島のローレルの林である。クスノキ科のローレルとブナ科の *Quercus ilex* が共存しないで離れているのがヨーロッパの植生の特徴で、この2つの科の樹木が共存し、さらにツバキ科、ハイノキ科などの従属植物をしたがえているのが、東アジア、東南アジアの照葉樹林の特徴である。葉が水分を多く含み、細胞間隙とクチクラ層がよく発達して、しなやかに曲がるなめし皮質の葉がローレル（照葉）であるが、光沢はあってもピカピカ光るわけではない。水田稲作文化の発達した地帯である。西南日本のほか、中国東南部、オーストラリアの東岸、ニュージーランド、南米東岸、南アフリカ東岸などに分布している。

⑥ 夏緑樹林（温帯落葉樹林）：Summer-green forest

約半年生育に適しない低温の期間があって森林は葉をおとして休眠する。亜熱帯の乾燥期に落葉する森林（雨緑林）に対して夏緑林という。ブナ科とカエデ科が共存し、南半球では *Nothofagus* にかわる。北半球のものは秋にその黄葉が美しい。東北日本、中国東北・中央部、イギリス、フランス、ドイツ、オーストリア、ポーランドなど、北米東部、南米チリー南部などに分布している。多くの先進国がこの地域に位置し、集約的農林業が営まれている。

⑦ 温帯ステップ：Temperate steppe

大陸の内部では雨量が少なくて森林ができず草原となる。ソビエトのステップ、北アメリカのプレーリー、モンゴルの大草原、アルゼンチンのパンパス、アラビア半島の北部など、イネ科植物が多い。人類文化以前には有蹄類が遊牧していた。人類があらわれてから遊牧文化が発生した。球根園芸植物の原産地で、土壌は肥沃で農耕地と化したところが多い。

⑦-a 寒冷半砂漠と砂漠：Semi-deserts and deserts with cold winter

アジア大陸内部、北アメリカの内部、南アメリカの南部にみられる。ヨモギのなかまなどが生育する。

⑧ 北方樹林：Boreal forest

北極をめぐるユーラシア、北アメリカの極地森林限界まで発達する針葉樹林とカンバ、ヤマナラシなどの耐寒性広葉樹林、マツ科とツツジ科との共存が特徴である。コケ植物や地衣が林床に生育する。針葉樹はふつう常緑であるが、永久凍土層のできているところには落葉性のカラマツが優勢である。ソビエトでは針葉樹林をタイガとよぶ。海洋性気候ではカンバ林ができる。低緯度の高山に突出部、飛地をもつ。北海道の東北部はこの地域に

属し、世界的に針葉樹林の大供給地である。

⑨ ツンドラ：Tundra

極地森林限界をこえ植物の生育期間が短く、地下に永久凍土層があって、夏の間地表だけが融解する地域に成立している。常緑の小低木や地表植物が短い白夜の夏に同化生産能率を上げる。地中で休眠する植物は生育期間が短いため不利である。ミズゴケ、ハナゴケのように環境の水分状態の変化にともなって容易に休眠と活動の轉移のきく植物がツンドラの生活に適している。高山と共通する植物が多い。ツツジ科植物、スゲ、ワタスゲなどが多い。トナカイの放牧が行われている。

⑩ 高山植生：Alpine vegetation

高山の森林限界をこえる低温の気候に耐えて生活する小低木、ロゼット植物などから成る。温度的にツンドラに似ているが、日長関係は全く異なる。

以上、世界の類似した生活型をもち、類似した相観を示す植生区をワルターの植生図によって説明したが、いくつかの大陸に分かれて分布している同じ植生区の特徴的な景観を形成している植物の科、属、種にはかなり大きな相違が認められる。これは、地質学的地理学的生物文化の歴史的結果と解釈されている。たとえば、アフリカと南アメリカは古くから分離移動したと考えられているが、アフリカの旧熱帯植物界のサバナには幹が太く樹冠が小さいバオバブの木が散生し、ユーフォルビアと共にサバナの独特な景観を形成しているが、新熱帯植物界に属するアマゾン河流域の熱帯多雨林の周辺に分布しているサバナにはバオバブの木もユーフォルビアもみうけられない。

世界の植物区系は、つぎの6つの区系に大別されている。①全北植物界、②旧熱帯植物界、③新熱帯植物界、④ケープ植物界、⑤オーストラリア植物界、⑥周南極植物界である。図・2-7にその領域を示した。

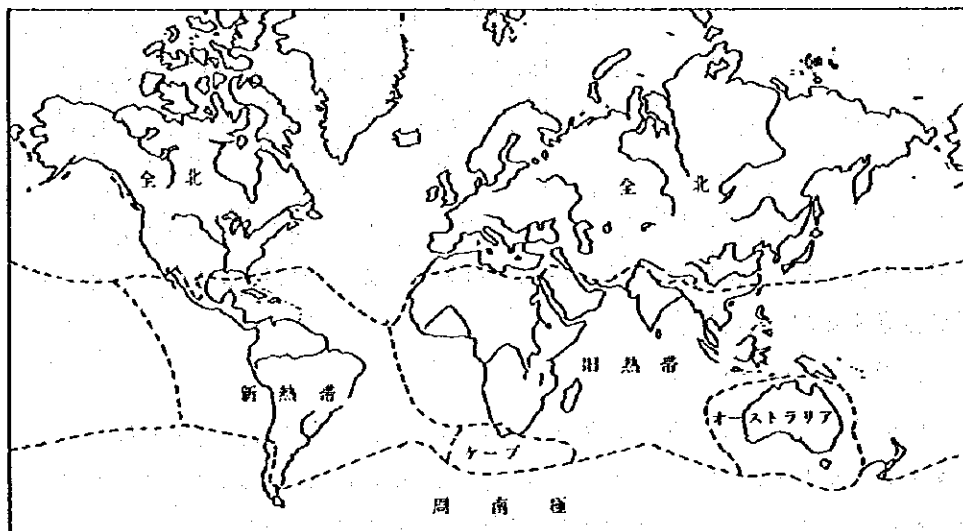


図2-7 世界の植物区系
H. Walter (1970)

2-2-2 半乾燥地の植生

2-2-2-1 植生型

前項で世界の植生について略述したが、本書で取扱う半乾燥地は②-a、すなわち乾生樹林と自然サバナ（あるいはgrassland）を自然植生としている。前節で述べた各植生は普通の地形条件や土壌条件下、また、人為の加わっていない場合の植生である。この項でもこのような自然植生を中心にして述べるが、多少は特殊な土壌条件下の植生や人為による変化についても論及する。

植生類型②-aより、さらに乾燥の度が強い地域には③：熱帯半砂漠と砂漠、やや湿潤な地域には②：雨緑樹林と④：冬雨堅葉樹林が分布している。これらの地理学上の推移は漸变的である。

前項で検討した世界の植生をゾーンスウェイトの乾湿区分と、年間の積算気温（10℃以上）を組合わせて図・2-8に示した。

水		雪		極 帯		0℃	10℃
ツ		ラ		寒 帯			
寒 冷 半 砂 漠 と 砂 漠	温 帯 ス テ ッ プ		北 方 樹 林		亜 寒 帯	1,000℃	10℃ 以 上 の 年 間 積 算 気 温 ℃
			夏 緑 樹 林 (温 帯 落 葉 樹 林)		冷 温 帯	2,000℃ 2,200℃	
			冬 雨 堅 葉 樹 林 (乾 性 暖 温 帯 林)	温 帯 暖 温 帯 林 (闊 葉 樹 林)	暖 温 帯	3,000℃	
						4,000℃	
熱 帯 亜 熱 帯 の 半 砂 漠 と 砂 漠	乾 生 低 木 林 (有 絨 氈 木 林) サ バ ナ	乾 生 樹 林 と 自 然 サ バ ナ と 草 地		亞 熱 帯 雨 緑 林	亞 熱 帯 多 雨 林	亞 熱 帯	8,000℃
				熱 帯 雨 緑 林	熱 帯 多 雨 林	熱 帯	

16 32 64 128
ゾーンスウェイトの乾湿指数(PE)*

図2-8 温帯量と乾湿度と植生型との関係

※ 月別の全降水量 (Precipitation) / 月別全蒸発量 (Evaporation) 比を求めこれを合算して得た年間の (降水量 / 蒸発量) × 10。月別の蒸発量は日蒸発量を合算して求める。

降水量 (Precipitation) / 潜在蒸発量 (Evaporation) 比を求めこれを合算して得た年間の降水量 / 潜在蒸発量の比、

潜在蒸発量は月平均湿度と月平均気温から求める。

図示したように乾燥地域はいずれも蒸発量が年降水量を上回る地域 (PE指数128以下) に位置している。半乾燥地 (2-a) はPE指数32で2分されている。

乾燥月数と植物帯との間には大略表2-1に示したような関係があるが、降水量によっても植生型に差があり、雨期の降水量の少ない地域においては、年降水量の変動が少ない地域と変動が著しい地域ではその植生型がことなっている。

図・2-9に熱帯の植生系列を示した。根系の下限の深さに相違のあることに注目される。乾燥月数が多くなるほど、根系の深さが浅くなっている。

図・2-10にスーダンのサバナ地域におけるAcacia senegal (アラビアゴムノキ) の根系を示した。

100mほどの間隔で散生しているこのアカシアは少量の降水を満度に吸収するために樹冠投影面積の数十倍の広さに地表に沿って吸収根を張りめぐらしている。乾燥地帯においては樹種により、また立地条件によって直根を10mも下の地下水面にまで発達させる場合もあるが、個々の樹木の根の分布面積が非常に広いことが特徴である。ha当り十数本の樹木の根系によって、地表の雨期に湿潤化する20~40cm程度の土層が占有されている。

表2-1 熱帯の植生区分と乾燥期間

植生帯	乾燥月数												
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
熱帯雨林													
雨林													
サバナ													
有刺植物サバナ													
ステップ													
ステップ													

宮脇(1967)

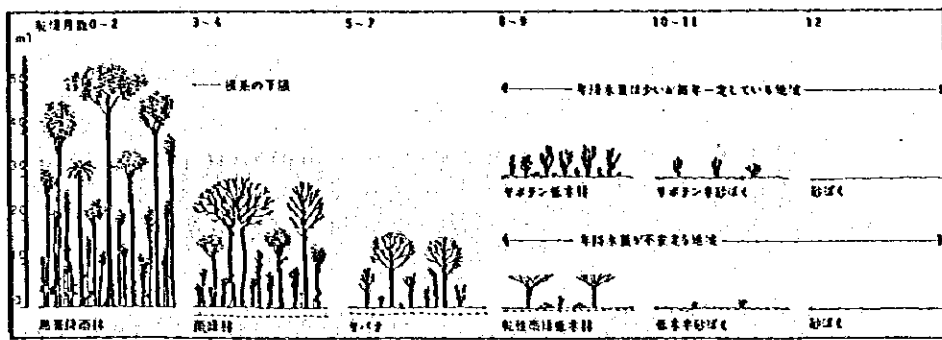
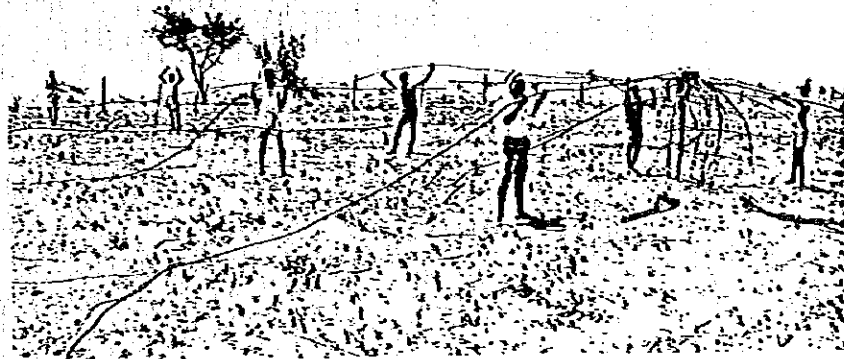


図2-9 熱帯の植生型 宮脇ら(1967)



Wickens(1979)

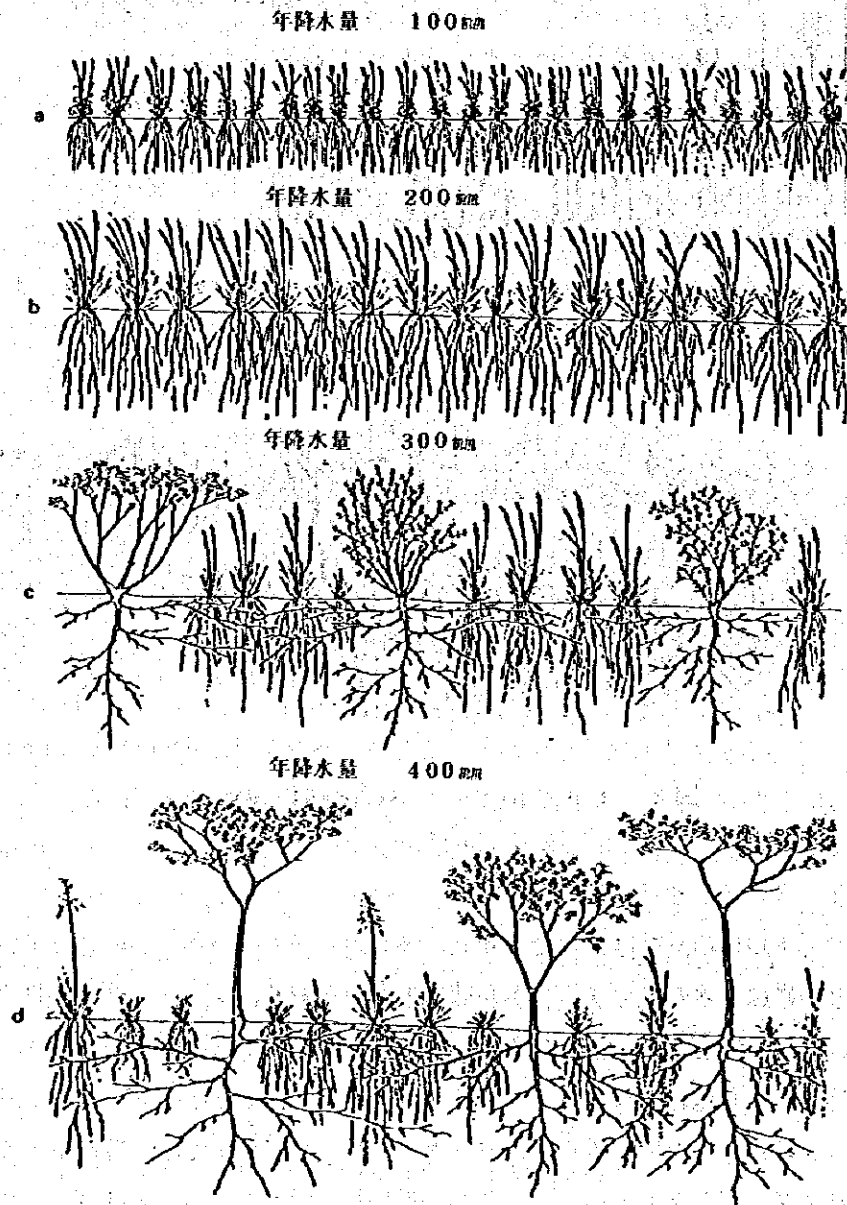
図2-10 Acacia Senegal の根系

2-2-2-2 サバナ地帯の植生

サバナ地帯の景観は島状岩石丘 (Inselberg) がところどころにあって、その間の平坦な地形面には樹木が散生する禾本科植物の草原が続く。ワルターの定義によると、サバナとは、均質な草地に多少とも均等に木本植物が散生している植生型であり、(亜) 熱帯の木本植物を欠く草地はグラスランドと呼ぶ(ステップとはいわない)。また、林地と草地がモザイク状に分布している立地はパークランド(ソビエトでは冷科温帯のこのような立地を森林ステップとよんでいる)と称し、植物社会学上のサバナとは区別している。

図・2-11は降水量がグラスランドからサバナ→ドライ・ウッドランド(乾生樹林)へと増加するにつれて、植生の地上部、地下部がどのように変化するかを図示したものとみることができる。なお、図中のdはドライ・ウッドランドとして示されているが、真正サバナとdry woodland(乾生樹林)とは真正サバナでは草本階が優占し、ドライ・ウッドランドでは樹木階が優占するものとして区分される。降水量がさらに多くなって樹冠が完全に閉鎖したものは雨緑林(rain-green forest)である。

この図・2-11は南アフリカの地形、土壌は類似しているが、雨期(夏)の降水量だけが異なる立地条件、すなわち年降水量が①→②→③→④の順に100mm→200mm→300mm→400mmと増大する立地における植生のちがいを示した説明図である。



注 aとb: grassland, c: savanna,
d: drywoodland, Walter(1972)による。

図2-11 降水量の差による植生の差

④ 降水は地表下20cmほどにしか達しない。群生した短茎草本の根はこの地表に近い湿っている土層中に蓄えられた水を雨期の終わりまでに使い切ってしまう。草本植物は、短い雨期の間には開花結実し、乾期には地上部や地下部が枯れるが、つぎの年の雨期になると再び種が水をすって発芽し、短い雨期の間には再び開花、結実し生活のサイクルが繰返される。しかし、普通の樹木（バオバブのような特殊な耐乾性を持っていないもの）は落葉後も枝や幹からの若干の蒸散があるので、乾期に利用する土壌の中の水分が全くない場合は生存することができない。

⑤ 水分状態は④と大差がない。しかし、土壌は④よりも深く湿り、草本のたけは高くなり、根も深くなる。土壌層中の水が雨期の終わりまでに使い切ってしまうことは④と同じである。

⑥ 土壌層中に雨期の終わりに若干の水分が残されている。しかし、この程度の水では乾期になると草本の地上部は枯れてしまう。しかし、木本植物が生存するために必要な水分（その量は少ない）が残されているので、木本が散生するshrub-savanna（サブーサバナ）が成立する。

⑦ 乾期になってもかなりの量の水分が残されているので木本植物が優占するdry-woodlandとなる。

水分状態がさらに良くなって樹冠が閉鎖すると、草本と木本の競合関係は④、⑤、⑥の状態とは逆になって、ついには雨緑林（rain-green forest）が成立するようになる。

このようにして成立したサバナの平衡状態は草食動物によって崩されているのが普通である。すなわち、草食動物によって草本植物の地上部が食べられると、蒸散による土壌水分の消費が少なくなり、木本植物（主としてアカシア属）の生育に都合のよい状態となる。そして木本植物が茂って、その種子や果実が沢山できる。草食動物はこの種子や果実を好んで食べるので、そのふんに混じって、広範囲にばらまかれ、このふんの中の種子は草本の根との競合が少ないのでトゲのあるヤブ（thorny thicket）が一面に成立する。

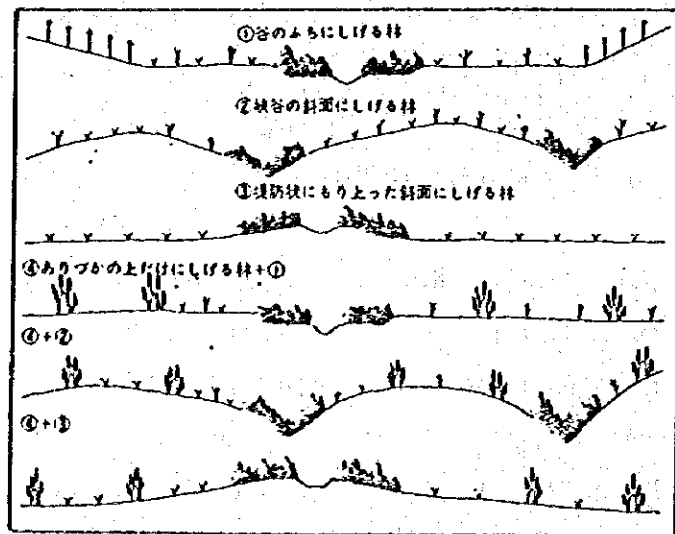
サバナはこのような理由によって、もともとヤブが広がる危険性をもっているので放牧地として利用すると独特な二次的サバナが成立する。今日、見られるサバナは過放牧による二次的サバナ（人為サバナ）であって、本来のサバナ（climatic savannah）は極めて少ない。

雨緑林が人為によってサバナになったと考えられる場合も多い。このサバナと気候的サバナをみわけることは困難であるが、土壌を調べることによって可能であるとされている。

サバナに人間が住みつき、木材を燃料としたり、家畜を囲う柵にすると人造砂漠（man-made desert）ができる。このようになると家畜は乾期には乾し草しか食べられない。

2-2-2-3 乾燥地域の植物の水分経済

植生区分の上で前掲の図・2-6に示されている半乾燥地域：2aに成育している植物がすべて乾性植物（独特な乾燥に耐える生物学的な性質をもっている）ではない。次章で述べる土壌と同様にサバナ地域として小縮尺の植生図に示されている地域には、地形的要因によってその地域の降水量の数倍～数十倍の水分が供給されている凹地（雨期には冠水することもある）があって、このようなところには雨緑林や熱帯降雨林を構成する植物が十分な水分条件下で成育している。図・2-12はサバナ地域の植生と地形の関係を図示したもので、雲状の植生は常緑ガレリー林、（サバナや草原の川岸に沿って帯状に分布する樹林）



図・2-12 サバナ地域の地形と植生、宮脇（1967）

乾燥地域に成育する樹木は一般的には乾期に落葉するが、乾期に気孔をとじて蒸散を少なくし落葉しないものもある。一年生草本の多くは乾期には地上部、地下部とも枯れ、雨期になると種子が水を吸収して発芽し、雨期が終わるまでに種子を再生産する。多年生草本の多くは乾燥期になると地上部が枯死し、地下部だけが残る。

乾性植物として類別されているものは、後述するような乾燥条件に耐えて生活を維持するために必要な独特な機能をもっている。

耐乾性植物はつぎの4つに類型化される。

- ① 巻葉耐乾性植物 (Malakophyllous Xerophytes)。半乾燥地域に特徴的な植物で、葉は軟かく乾期になると葉がしおれ、細胞液濃度が高まる。乾期が続くとついには落葉し、蕾の中につつまれた若い葉だけが残る。多くの Labiatae, Compositae, Cistus spp.がこの

ような性質を持っている。

② 堅葉耐乾性植物 (Sclerophyllous Xerophytes) 葉が小さく硬い植物である。この型の植物は夏に乾燥する地域に特徴的な植物で、土壤水分が少ないときは葉からの蒸発散を極めて少なくすることができるので、細胞液濃度が高まるのは極端に乾燥した場合に限られている。地中海地域に成育しているコルクガンやオリーブがこれに属する。

③ 狭水性耐乾性植物 (Stenohydric Xerophytes) 乾燥するとすぐに気孔をとじて細胞液濃度の上昇を防ぐことのできる植物であって、この型に属する植物の葉は乾期になるとすぐに枯れるということはないが、ついには黄変して落ちる。砂漠に疎生しているので、地上部の競合はなく、乾期に生き残りさえすればよい。同化作用は極めて悪く、いじけた形をしている。Eurotia serotoidesなどがこれに属する。

以上の①、②、③はいずれもごく少量ではあるが乾燥期に生存するための土壤水が必要であるが、つぎの④に属するものは独特で土壤水を必要としない。

④ 多肉 (多汁) 乾性植物 (Succulents Xerophytes) 貯水器官を持っている植物で、乾燥時にはその水を使って生きる。その小さな吸収根は乾燥時には枯死し、乾燥時には土壤中から水を吸収することはできない。雨期に貯水する器官によって多肉乾性植物は3種類に細分される。

○ 多肉性の葉をもっている植物 : リュウゼツラン (Agave)、アロエ (Aloe)、チトセラノ (Sansviera)。

○ 多肉性の茎をもっている植物 : サボテン類、Euphorbia属に属する多くの植物、Stapelia、バオバブ (Adansonia)。

○ 多肉性の根をもっている植物 : クサスギカヅラ (Asparagus Species)、Pachypodium succulentamなど。

以上の様な特殊な形態をもった耐乾性植物もサバナの独特な景観の構成因子であり、地上は乾燥土壤の指標植物である。なお、耐乾性植物中のいくつかは半砂漠にも生育している。

2-2-2-4 半乾燥地の植生区分

シュミットヒューゼンは熱帯・亜熱帯の植生帯を植生地理学的見地から、(1)熱帯降雨林帯、(2)周期的に乾燥する熱帯植生帯 (季節風林、乾生林、有棘林、サバナ)、これの細分として、

Ⓐ モンスーン林と湿生サバナの植生帯

Ⓑ 熱帯乾生林および熱帯サバナ植生帯

Ⓒ 熱帯、亜熱帯性有棘木本 (多肉群系と有棘サバナ) の植生帯。(3)熱帯亜熱帯半砂漠帯および砂漠帯。(4)亜熱帯湿生林と硬葉樹群系に分けている。

以上のうち(2)の周期的に乾燥する熱帯植生帯が本書で取扱う中心的な植生であって、乾

期の長さの他に、降水量および各大陸の個々の気候特性を考慮して、湿度によって上記したように⑧、⑨、⑩に3区分されている。

⑧は3区分帯のなかで最多湿な地域帯で、アジアの熱帯に分布が最も広い、熱帯季節風地域の植生帯である。カンボスーセラドス (Campos serrados) と常緑のガレリー林 (gallery forest)、湿生サバナをともなった高茎草本—サバナによって特徴づけられている。

⑨は中間帯で落葉乾生林、多肉植物の少ない有棘植物林および亜高茎草本から低茎草本によって形成されたサバナで、常緑ガレリー林は存在しない。

⑩はワイベル (Waibel) の云う有棘低木ステップで、有棘木本と多肉低木群系とその低木林 (カチンガ: Caatinga) および乾性の有棘低木の多い草原 (有棘植物サバナ) がこれに属する。

比較的単純な⑩の熱帯乾生林および熱帯サバナ亜帯の植生について、大陸別にその分布をみるとつぎのとおりである。

旧熱帯植物区系に属するアフリカの南半球側にその分布が最も広いミオンボ林 (Mionbo forest) はこの森林に属している。この林にはいろいろの大きさの広い羽状葉を有する雨期緑色マメ科の木本植物と、小葉をつけ樹冠の大きい傘状木本植物から構成されている。同じく旧亜熱帯植物界に属するアフリカの北半球側のスーダンにおいては、この森林の分布はやや少なく、一般に散生した木本植物を混じえた中高茎草本による乾生サバナが優占的である。

新熱帯植物区系に属する南アメリカでは、これらに対応した乾生林やサバナの分布域は少ない。

アジアでは、現在ほとんど耕地となっている東部デカンならびにビルマやメナム盆地の乾生林がこの植物帯に入る。

オーストラリア植物区系においては、北部地方の内陸部、クイーンズランドの西部および中部のユーカリ乾生林がこれに属する。

2-3 土 壤

2-3-1 土壤の生成

土壤の生成作用は、以下述べる3つの生成過程が、同時に、かつ連系的に行われる総和として考えることができる。すなわち、

- ① 造岩鉱物の崩壊（風化）とさまざまな新しい無機化合物ができる過程、とくに簡単な化合物（たとえば、斜長石、黒雲母）から組成が複雑な二次鉱物（たとえば、モンモリロナイト）が合成される過程。
- ② 動植物の遺体が分解し、その一部が生化学的に変化し腐植となって蓄積する過程。
- ③ ①、②の過程において生成された、さまざまな無機、有機、およびそれらの複合体が土壤断面内を移動する過程。

以上の三つの過程が一定した生物気候条件下で同時に進行し、レゴリス（疎しょうな堆積物）上部に独特な断面形態を示す各種の土壤が形成される。

土壤生成は高等植物以外の種々の根のない生物（たとえば、苔、地衣など）によっても、おこなれている。このような生物による土壤生成作用を高等植物が関与する土壤生成過程（二次的土壤生成過程ともいう）と区別して、初成土壤生成過程と呼ぶ。このような区別は便宜的なもので、初成土壤生成過程は二次的土壤生成過程にかならず随伴して行われている。

風化作用（Weathering）を地表に近い岩石、鉱物などのさまざまな破砕と変質、ならびに、新しい生物気候条件（物理・化学的条件）によりよく平衡する生成物を作り出す作用と定義すると、前述した①は風化過程と解することができる。

地表で行われる風化過程には生物の関与が大きい、これを物理的作用と化学的作用に大別することができる。このさい、破砕と変質は地質学的長期間継続的に行われていることを考慮すべきである。たとえば、斜長石は地質学的長期の石灰富化作用下において方解石に変質する。

風化作用は地表の気候条件に対応して、多様であるが、Peltierは種々の気温と降水量の地域における風化様式を図・2-13のように図示している。

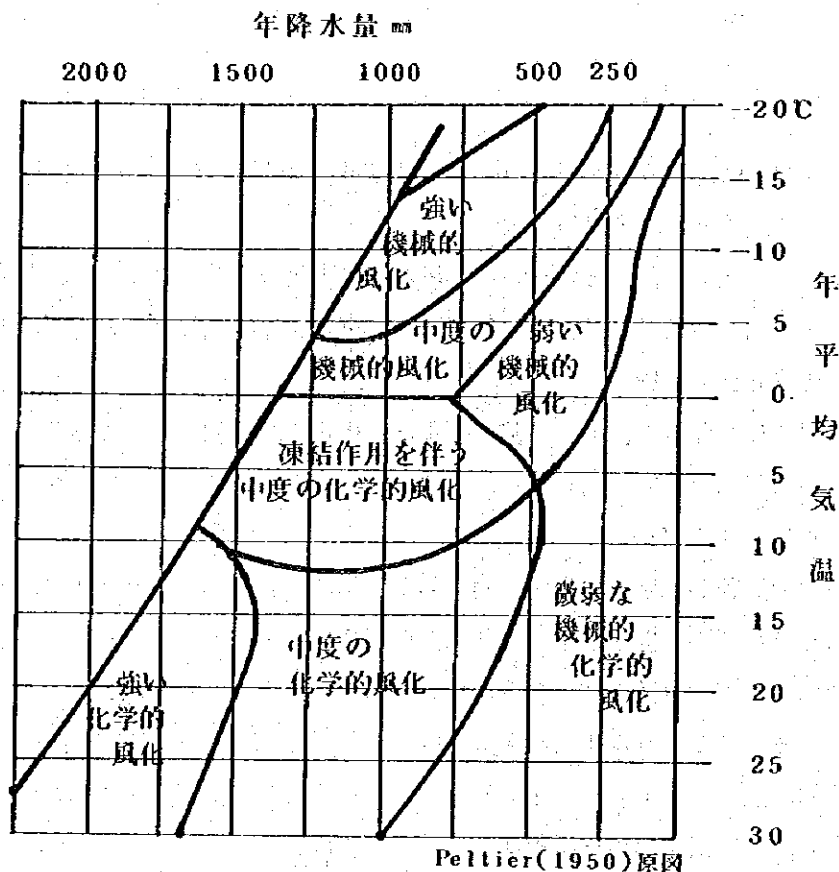


図2-13 気温と降水量による風化様式

高温多湿な熱帯地域では化学的風化が優先し、低温気候条件下では機械的風化が優先し、乾燥気候条件下では熱帯においても温帯においても機械的風化、化学的風化とも微弱なことなどが示されている。

① 風化過程は、以下の㉑と㉒の2つに大別される。

㉑ 土壌物質の粘土化作用 (Ferrallitic weathering)

湿潤温帯気候条件下の成帯性土壌 (褐色森林土など) で専ら進行する。

一次鉱物の組成は著しく変化するが、化学的組成の変化は顕著ではない。

粘土化作用によって生成された二次的アルミニウム硅酸塩や鉄硅酸塩の多くは、 SiO_2/Al_2O_3 (モル比)、 SiO_2/Fe_2O_3 (モル比) がそれぞれ3, 4である。

化学的組成に関しては、 SiO_2 (主として長石類に由来する)、Ca、Naがある程度減少し、二次的粘土鉱物中にMg、Kおよび結晶水が増大する。

機械的組成に関しては、この作用を強く受けた層位ほど微砂と粘土の量が増加している。

㉒ 土壌物質のラテライト化作用 (Ferallitic weathering)

湿潤熱帯気候条件の成帯性土壌 (ラテライト性土壌など) で専ら進行する。

鉱物学的組成も化学的組成も著しく変化する。

一次鉱物は著しく変化し、二次的アルミニウム硅酸塩や鉄硅酸塩の $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ (モル比、以下同様)、 $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ は著しく小さくなる。 $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ が2以下の土壌物質をラテライト (Allite)、2~3のものをラテライト性またはラテライト類似物という。

化学的組成に関しては、 SiO_2 、Ca、Naのほか、Mg、Kも減少する。結晶水は粘土化作用の場合と同様に増加するが、その多くはFe、Alの酸化物、加水酸化物の結晶水となっている。ラテライト化作用においては二次的粘土鉱物も分解するので、アルミニウム硅酸塩や鉄硅酸塩はあまり集積しない。一次、二次硅酸塩鉱物の分解は激しく行われ、土層の深くまで達する (数m~10m以上)。

機械的組成に関しては、粘土化作用と異なって、二次的硅酸塩の富化が少なく、多量に生成される二次鉱物、すなわち加水三二酸化物 ($\text{R}_2\text{O}_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$, $\text{R}=\text{Fe}, \text{Al}$) は比較的大粒なため、機械的組成上はしばしば偽砂土と類別される。

高温で周期的な乾燥期をもつ熱帯・亜熱帯の半乾燥地域に分布する土壌には、水分含有量の少ない三二酸化物、とくにゲータイト (goethite、針鉄鉱、 $\text{FeO} \cdot \text{OH}$)、ヘマタイト (hematite、赤鉄鉱 Fe_2O_3)、ギブサイト [gibbsite $\text{Al}(\text{OH})_3$]、ペーマイト (boemit、 $\text{AlO} \cdot \text{OH}$) の生成が助長され、水分の少ない鉄の酸化物はレンガ様の赤色を示し、土壌に赤味を与える。一方、ラテライト化作用を受けた土壌には加水作用が高度にすすんだ黄色の加水酸化物もある。それゆえ、土色は赤色とともに黄色も帯び、しばしば、雑色を呈している。

ラテライト性土壌にはアルミニウムや鉄の硅酸塩鉱物が少ないので陽イオン置換容量が小さく、その値は粘土100gに対し1~2mg当量に低下している。反対に陽荷電コロイド (アルミニウム、鉄の加水酸化物) による陰イオン吸着能が大きく、三価のリン酸イオンがコロイドと結合し、コロイドの表面に不溶性のリン酸アルミニウムやリン酸鉄を形成する。この二つの土壌的性質によって、熱帯・亜熱帯の栽培植物はしばしば磷やカリウムなどの養分欠乏を起こす。

② 腐植集積過程

一般的な環境条件下では植物遺体の75%以上は土壌生物によって消費され、残りの25%以下が腐植物質の構造源となる。腐植は土壌微生物の酵素 (体内、体外) によって、この腐植原物質が縮合してできたものと考えられている。

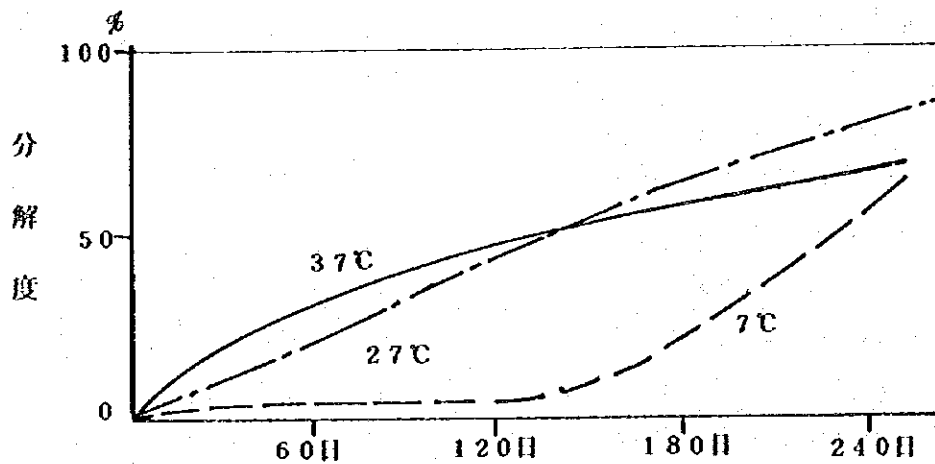
植物遺体 (落葉落枝類と死根) の分解は好氣的分解 (酸化的分解) と嫌氣的分解 (還元的分解) に分けて考えることができる。

植物遺体はその形態 (葉、枝、根など) や構成物質 (セルロース、リグニン、ヘミセルロース、タンニンなど) の種類によって、分解の難易を異にするが、好氣的分解条件の場合は、各種生物の共合的分解作用によって大部分は終局的には CO_2 、 NH_3 、 H_2O などと

なって、腐植の形成源とはならない。

分解速度に関与する外的因子としては、温度、湿度、洗滌（降水）条件をあげることができる。

まず、温度に関しては、他の条件が同じ場合は図・2-14に示したように、7°～37℃の範囲内では、初期の30日までは温度が高いほど分解が速く、中期（60日～90日）においては27℃の場合がもっとも分解が進み、90日以降も27℃の場合がもっとも分解度が高いが、温度の差による分解度の差は小さくなっている。



注：変わらで湿度66%

Waksman他(1938)から

図2-14 植物遺体の分解速度と温度の関係

次に湿度に関しては、他の条件が同じ場合は、風乾状態では全く分解しない。水分量が最大容水量の60%までは分解度は高まり、最大容水量の80%以上になると分解度は低下する。

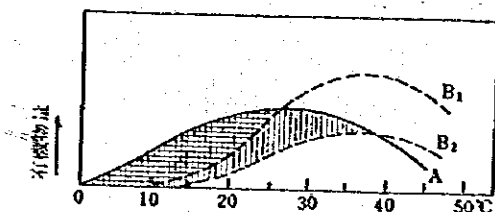
さらに、洗滌（降水）条件に関しては、落葉落枝類が地表で分解されるさいには、分解中に雨水によって分解生産物が除去されるという過程が加わっている。落葉落枝類は樹体に着いているさいにも降水によって若干の無機成分を失っているが、地表に落ちると地上に棲息している多種多数の生物によって食餌として利用されて分解し、その分解中間生成物（無機、有機、それらの複合体）が雨水によって、その反応圏から流出除去される。

実験結果によると、このような地表に堆積した植物遺体の分解は、植物遺体の分解速度（前述したように温度と湿度の影響が強い）と、植物遺体からの塩類（Ca、Mg、Kなどの塩類）が洗脱される速度（ことに初期）に支配されている。分解中の植物遺体から雨水によって塩基が洗脱される度合いが多いと（ことに初期）、植物遺体の分解中間生成物は酸性化し、その後の微生物による分解がおくれ、地表に独特なモル型（Mor）腐植層が形成され、酸性腐植が生成される。

気温が高く、湿度も高い熱帯降雨林下に腐植がMor型な熱帯ポドゾルが見られる理由はこのような機構によるものと考えられる。

腐植の集積は土壌に加わる有機物の量とその有機物の分解量との差としてあらわされる。一般的に植物の生育が盛んなほど、土壌に加わる有機物の量は多い。

図・2-15は、以上の関係を図示したものである。



- 注：
- ▨ 通気良好な土壌における腐植の集積
 - ▤ 湛水下の土壌における腐植の集積
 - A 植物によって添加される有機物の量
 - B₁ 好氣的条件下の有機物の分解
 - B₂ 湛水下の有機物の嫌氣的分解

図2-15 腐植の集積と温度、水分の関係
モーア(1932)原図

植物の有機物生産量は水分供給が十分な場合は25℃~35℃が最大であって、それ以外の温度になると低下する。また、土壌生物の有機物分解量は好氣的条件下でも嫌氣的条件下でも35℃~40℃が最も大きい。図をみるに、横線または縦線の部分が植物によって添加される有機物の量と分解量の差、すなわち腐植の集積量である。通気が良好な場合は、有機物分解量が多く、25℃付近で集積が0となり、それ以上の温度では腐植の集積は起こらない。一方、湛水下のような嫌氣的条件下では、有機物分解量が少ないために、腐植の集積は前者に比べて多く、25℃以上でも腐植が集積する。

このような機構によって、植物の生育が良好で土壌に供給される植物遺体の量が多く、土壌生物の活動にとってはやや低い温度条件下の土壌(たとえば褐色森林土)においては、腐植の集積が多い。他方、熱帯降雨林などにおいては植物の生育は旺盛であって、土壌に供給される植物遺体の量は多いが、それにも増して、土壌生物の分解速度が大きいために、一般的に腐植の集積が少なく、熱帯降雨林下の成帯性土壌であるラテライト性土壌には腐植の集積は少ない。なお、熱帯・亜熱帯の半乾燥地帯にその分布が広い黒色土壌(FAO-Unescoの分類ではVertisol、一般的には黒綿土、Black cotton soilsと呼ばれている)はA層が厚く、その土色が黒いが、この黒色は黒色鉱物(含チンタン鉄鉱物)の色によるもので、その腐植含有量は2~4%で、熱帯・亜熱帯の一般的土壌のA層における値の範囲内にある。

③ 移動過程

これは前述のように風化と腐植集積過程において生成された無機、有機、とそれらの複合体が土壌中を移動する過程である。

①、②の過程において生成された物質が土壌中の水とともに断面内（側方の場合もある）を移動することによって、はじめて、土壌に特有な層位が形成される。この過程は種々の生物気候的条件下で水分レジーム（年間、日間にくり返される周期的気象変化に伴う土壌層内の周期的な水分状態）の特性に応じて進行するものであって、極めて複雑である。

一般的に化学反応は反応生成物が系外に除去されない限り進行しない、それゆえ、反応生成物の移動媒体である土壌水の動態、すなわち、土壌の水分レジームについての知識が必要となる。

土壌の水分レジームはつぎの主要要因によって決定される。

- 1) 降水が土壌中へはいり浸潤化すること。
- 2) 土壌空気中に含有されている水蒸気の一部が一定の温度条件下で凝結する。
- 3) 地下水からの水分が土壌中へはいること（地下水面が地表から浅い場合）。
- 4) 土壌水分の直接的な蒸発（地表からのものと地中からのもの）。
- 5) 植物の根、地中に生活している生物による土壌水分の吸収（後にこの吸収された水の大部分は蒸発する）。

土壌の水分レジームは土壌の熱レジーム（温度状況）と密接に関連している。土壌の熱レジームは水分の蒸発にたいして決定的な意味をもっている。蒸発には多量の熱の支出が必要である。それゆえ、土壌中に貯えられた熱エネルギーの量が水分の蒸発可能量を決定する。土壌の温度が低い場合は水分の蒸発は少なく、土壌空気は水蒸気ですぐ飽和される。反対に、土壌の温度が高いと、水分の蒸発が多く、土壌空気の水蒸気飽和限界が高くなる。それゆえ、土壌の強い乾燥は冷たい土壌より暖かい土壌ではるかに早い。

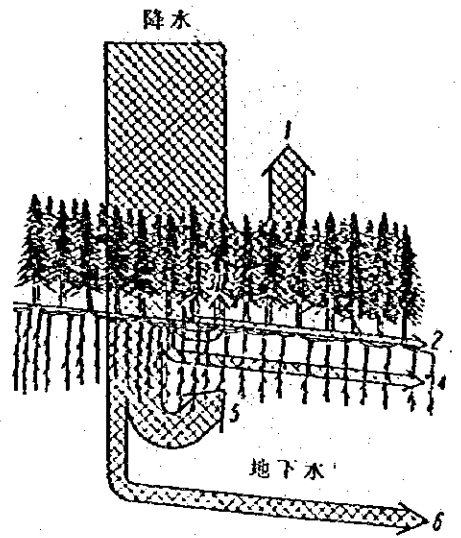
このように、土壌の水分レジームは多くの外的（降水量のちがい、補助的給水源、蒸発量のちがいなど）、内的（土壌の水分的性質、熱状態など）因子に影響されていろいろな性格をもっている。

ヴィソッキーは、土壌の水分レジームをつぎの4つの主要型に要約した。

- ① 洗滌型、② 非洗滌型、③ 滲出型または分泌型、④ 停滞型である。

① 洗滌型

この型は土壌への給水が主として降水でまかなわれ、降水量が蒸発量よりはるかに多い場合の水分レジームである。図. 2-16にその模式図を示した。



ローデ(1955)

- 注 全降水量：100%
- | | |
|-----------------------|----------------|
| 1：樹冠貯留量 30% | 4：中間流出量 10% |
| 2：地表流出量 5% | 5：樹木による蒸散量 30% |
| 3：地表面蒸発と草木による蒸発散量 10% | 6：地下水流出量 15% |

図2-16 洗滌型の水分バランス

降水量が蒸発量を上まわる原因の一つは、土壤の熱状況、とくに蒸発に使われる熱の不足である。

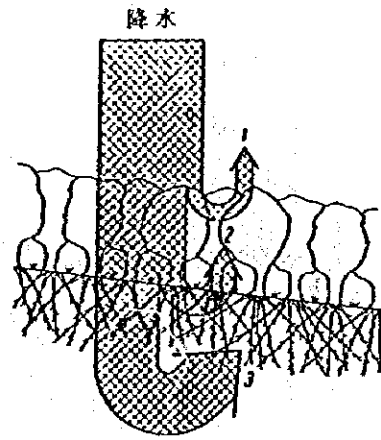
洗滌型土壤の特徴は、土壤の表層から地下水面まで、重力水によって貫通的洗滌が行われ(一年の内のある期間)、降水によって地下水の涵養と水溶性物質の除去が行われることにある。

ポドゾル性土壤、褐色森林土、灰色森林土、黒ぼく土、赤黄色土などがこれに属する。

② 非洗滌型

この型も土壤への給水は降水で行われるが、降水量が潜在的な蒸発可能量より少ない場合にできる。降水は土壤中にしみこむが、地下水面へ達する途中で蒸発散し、ある深さではなくなるので、地下水面には達しない。そのためこの型の水分レジームにおいては、土壤の深部に完全に乾いてたいわゆる「死んだ」層位ができる。そしてこの層位の位置は降水によって定期的に洗脱される土壤の上層部と地下水で給水される層位との中間にある。

非洗滌型を図2-17に示すが、樹木による蒸散量が降水量の半分以上になっていることが注目される。



中間流出および地下水流出はない。

注 降水量：100%

1：樹冠貯留量	15%
2：地表面蒸発量と草本による蒸散量	25%
3：樹木による蒸散量	60%

図2-17 非洗滌型の水分バランス

この型の水分レジームに属する土壤における洗脱は洗滌型土壤に比べてずっと弱く、この型の土壤にはかならず水溶性物質（やや難溶性な石コウ、炭酸塩など）の集積した独特の層位が降水で湿らされる平均的深さ以下にある。

この型の土壤に属する土壤としては、チェルノーゼム、肉桂色土、及び本書で取扱う熱帯・亜熱帯の多くの成帯性土壤がある。

③ 滲出または分泌型

これは臨界深度（土壤水が毛細管をとおって地表まで達することのできる深さ）より浅いところにある地下水から給水される土壤にみられる。蒸発可能量が降水量を上まわる、比較的乾いた暖かい気候条件下で、地下水面が高い場所の水分レジームである。図. 2-18に模式図を示した。

土壤層中に土壤水分の上昇流ができて、地下水は最も強く暖められている地表に達する。この土壤水は地表（または地表下）で蒸発し、いろいろの易水溶性物質からなるいわゆる「悪性分泌物」を残す。水溶性物質のうちで多いものは食塩、ポウ硝、塩化カルシウムなどで、しばしば土壤の激しい塩類化を招く。これらの塩類は地下水に由来し、土壤溶液が上層に移動して蒸発する際に集積したものである。

成帯内性土壤に属するソロンチャックがこの型に属し、本書で取り扱う半乾燥地域にしばしば出現する。

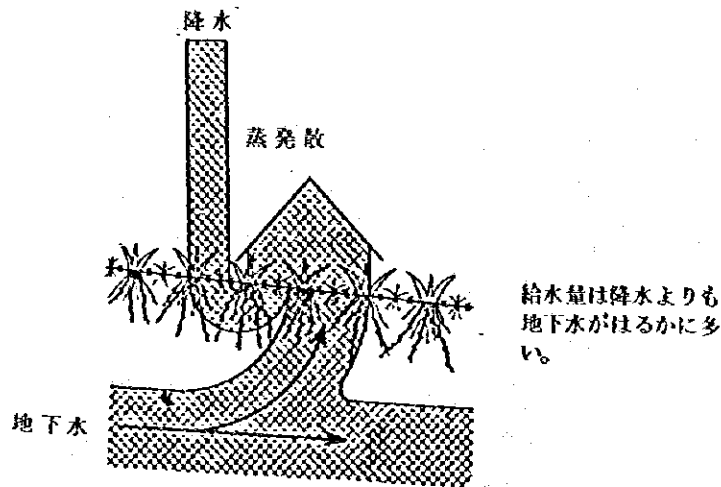


図 2-18 滲出型の水分バランス

④ 停滞型

気候が湿潤で排水が悪い場合に固有な形式である。この条件下では、土壌は長期間つねに過湿で、土壌は地表から地下水面に至るまで海綿のように水浸しになっている。土壌中の水の可動性は少なく、洗滌型、非洗滌型、分泌型のようなはっきりした移動はない。その結果として沼沢化を招く。

この型には、成帯内性土壌のグライ土壌が属する。本書で取り扱う地域にも出現する。

以上、地球上の水分レジームの型について略述したが、降水量は年ごとの変動、季節内における変動が大きく、ことに本書で取り扱う半乾燥地域においては甚だしい。それゆえ、ある年には降水量が例外的に多いため、通常は非洗滌型水分レジームの土壌が、洗滌型水分レジームになったり、この逆に降水量が例外的に少なく、この逆の現象を示す年もある。また、移行地域においては、ある年は洗滌型水分レジームとなっている。さらに、気候変動によって数千年前は洗滌型水分レジームの地域が、現在は非洗滌型水分レジームの地域に変化し、現在の土壌断面の形態に過去の水分レジームの歴史が刻まれていることも少なくない。

風化と腐植集積過程において生成された、無機、有機、およびこれらの複合体が土壌中を移動する過程は、類型化された各土壌型の断面形成に関して、優勢な移動様式によっていくつかに類別されている。

このさい留意すべきことは、すべての土壌断面の形成には高等植物による元素の移動と集積が強く関与していることである。この生物による土壌生成作用は以下に述べる各土壌生成作用に程度の差はあるが、必ずともなっている。植物による水の蒸散が土壌の水分レジームの型を決定する大きな要因となっていることは、前出の図・2-(16)、(17)に示されているとおりである。

土壤断面における物質の移動様式としてあげられているものには、次のようなものがある。

- a) ボドゾル化作用
- b) レンパージ化作用
- c) 塩類集積作用
- d) 脱塩化作用
- e) 石灰集積作用
- f) グライ化作用
- g) 斑紋形成作用

このほか、土壤形成に関与する基本的な作用としては、風化作用にともなう、脱塩基、脱硅酸、酸化作用などがある。

水とともに各土壤型の生成とその地理学的分布に強く関与しているものは温度である。土壤の周期的加温と冷却、湿潤化と乾燥は一体となって土壤の熱レジームと水分レジームを構成し、土壤中でおこるすべての物理的、化学的、生物学的現象に対してきわめて大きな影響をおよぼしている。

土壤の熱レジームと水分レジームは、土壤内でおこるすべての現象の変化過程を決定しているため、すべての土壤生成作用の基礎である。極度に冷却されたり、完全に乾燥した土壤は物理・化学的に不活性で生物学的には“死んでいる”のと同然である。

土壤の熱レジームを規定する直接的な因子は日光（輻射エネルギー）の吸収と熱の放射である。

土壤の表面は日光（直射光と分散光）を強く吸収する性質があつて、日光の影響であたたまり、余分な熱を下にある土層に伝える。日光の吸収と同時に土壤内には逆の放熱現象もあり、これによって土壤は冷却する。

土壤の熱レジームは第一にこの日光からの熱の収入とその熱の支出のバランスで決定される。つぎに、重要なものはいろいろな物理的、物理・化学的、生物学的な過程でおきる熱エネルギーの放出や吸収である。たとえば、溶液が蒸発するさいには熱の吸収があり、凍結するさいには若干の熱が放出される。また、物理、化学的、生物化学的な吸熱反応、発熱反応がある。その他、あまり多くはないが、ある量の熱がたえず地殻の深部から土壤内は入ってくる。これらすべての過程は土壤の熱レジームを複雑化するが、土壤の熱レジームは主として一般的な気候条件によって規定されている。

一般的に、一昼夜間の土壤の熱レジームは、日の出から昼までは土壤の熱収支はプラスで、吸熱量が多く、土壤は暖まる。昼すこし過ぎから日没後日が昇るまでは熱収支はマイナスであり、放熱が強まり、土壤は熱をうしなって冷える。

また、概括的に中緯度地方では、熱の収支は夏と秋にプラスであり、冬と春にマイナス

である。しかし、このような温度の日変化、季節的变化は土壤によって、非常にまちまちである。全体としては、熱の変動幅は土壤の地理学的分布と関係し、季節変動は、赤道から極へと高まり(その結果として、季節のちがいがしだいにはっきりしてくる)、日間の変動幅はこの逆である。緯度が同じ地域では、一般的に年間、日間の温度変動は海洋沿いの地域で少なく、内陸では大きい。

ヴォエイコフは土壤の年間の熱レジームを地理学的位置によってつぎの三つに大別している。

- ① 太陽性あるいは加熱型：この型の特徴は地表の年平均気温が土層内の年平均気温および接地大気層の年平均温度より高いことである。ヴォエイコフの考えによると、この型は、概ね乾燥した温帯・亜熱帯・熱帯、つまり乾いた晴れた天気が優勢な地域に固有である。本書で取り扱う土壤の熱レジームはこの型に属している。
- ② 放熱性、あるいは冷却(多雪型)：地表の年平均温度が下層の部分の平均温度よりも低い、つまり下層にゆくにつれて平均温度が次第に高まるのがこの型の特徴である。ヴォエイコフは、このような型の土壤の熱レジームは冬が長い地域に固有なものとしている。
- ③ 均等熱型：ヴォエイコフによると、この型は中緯度の雨量の多い湿潤地域に固有なものである。

熱レジームに関する上記三のつ区分は、重要な季節的な差を平均化した年間の指標にもとづいている。しかし、季節的な熱レジームの特性はきわめて多様であって、これも土壤の生成に関与している度合いが大きい。土壤の熱レジームにおいて、日間、季節の変動、異なった温度をもった期間の長短が重要な役割をしている。

土壤の熱レジームはいろいろな内的、外的諸因子の影響を受けているので土壤によってそれぞれ異なっている。しかし、その性質は一般的な気候条件とはっきりした関連性をもっている。この関連性によって、土壤地理学の重要が普遍的な法則として、“水平的成帯性の法則”が存在し、成帯性土壤型の地理的分布がみられるわけである。

2-3-2 世界の土壤

世界の土壤をドクチャーエフ土壤研究所編集：世界土壤図、1956、図、2-19によって説明する。なお、各土壤についてFAO/Unesco編集：世界土壤図(縮尺500万分の1)で用いられている土壤名との対比を行った。

2-3-2-1 成帯性土壤(Zonal soils)

成帯性土壤は次の5つの土壤帯(Soil-bioclimate belt)に分けられている。

すなわち、① 寒帯(極帯)




② 亜寒帯：北方タイガ・グライボドソル、中部タイガ・ポドソル





南方タイガ・ジョールンポドソル、疎林タイガ・ジョールンポ








世界土壤図






凡例





成帯性土壤

-  多角形構造極地土壤 (極地ツンドラ沿グライ性土壤)
-  典型的ツンドラグライ性土壤
-  亜極地の草原と林のチュールン土壤











-  北方タイガのグライ-ポドゾル性土壤
-  中部タイガの典型的ポドゾル性土壤 (ポドゾルを含む)
-  南方タイガと広葉樹林帯のチュールン-ポドゾル性土壤
-  林帯タイガのチュールン森林土壤 (淡黄色非ポドゾル化土壤を含む)

-  広葉樹林の黒色森林土
-  広葉樹林の灰色森林土
-  プレーリーのチュールン-ジョーム土壤
-  ステップのチュールン-ジョーム
-  乾性ステップの黒色土
-  砂漠ステップの褐色土
-  漢高ゴースの砂漠の灰褐色土















-  亞熱帯熱帯林の赤色土と黄色土
-  亞熱帯プレーリーの赤褐色土壤
-  乾燥熱帯の森林および灌木の赤褐色土
-  熱帯のステップおよび半砂漠の灰内性土と灰色土
-  亞熱帯および熱帯砂漠の原始的土壤

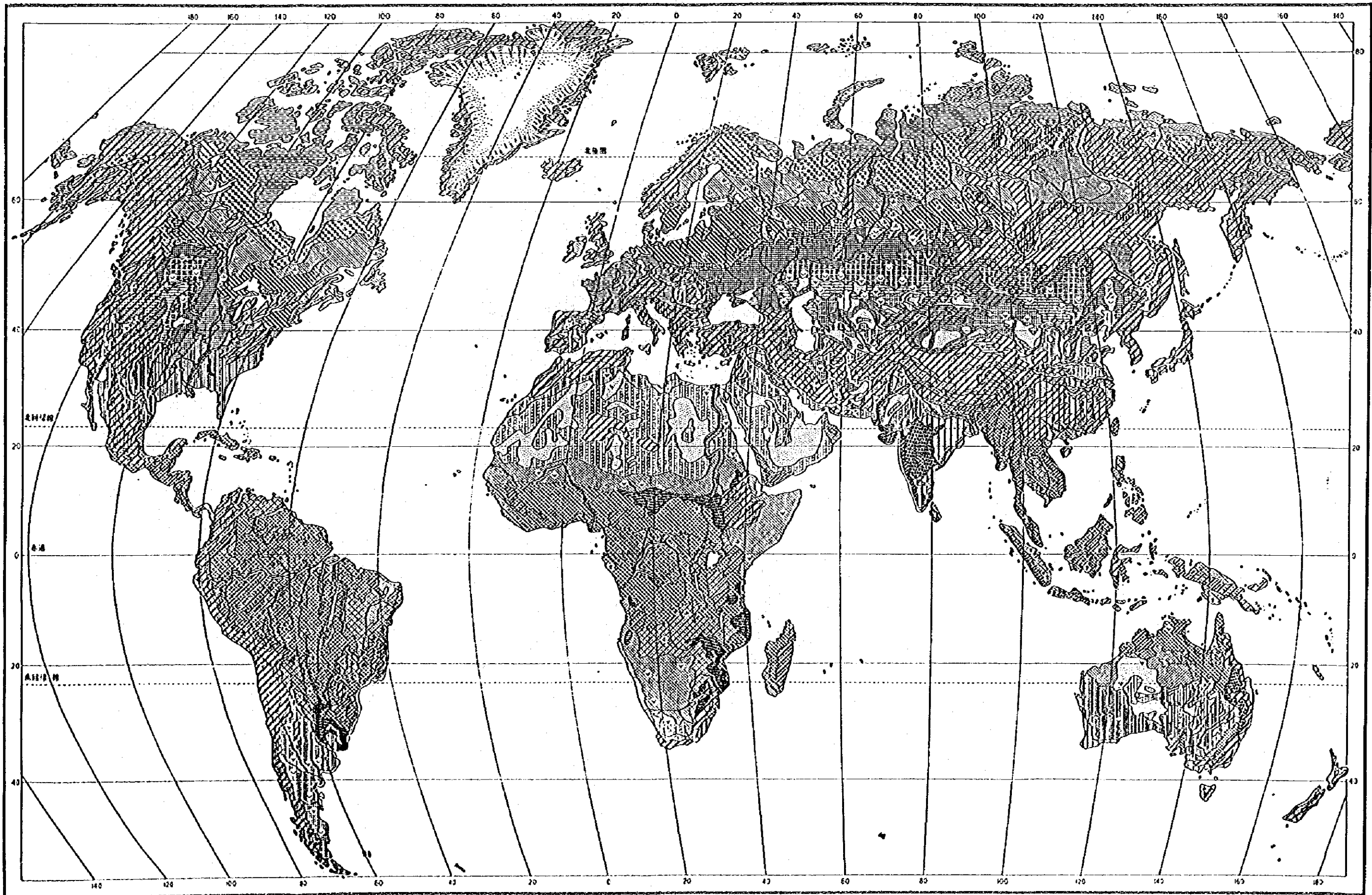
-  赤道雨林のポドゾル化ラチライト性土壤
-  熱帯雨林サバンナの赤色土とラチライト皮殻
-  熱帯の乾性林と灌木の赤褐色土
-  熱帯の乾性サバンナおよび砂漠化サバンナの赤褐色土

成帯内性土壤と無帯性土壤

-  沼沢土壤
-  チュールン-炭酸塩質土壤と硫酸-炭酸塩質土壤
-  草原-ステップ土壤
-  タキル性土壤とタキール
-  ソロンチャータ
-  ソロニューフとソーロチ
-  熱帯の乾性サバンナとプレーリーの黒色土壤
-  マーシュとマンブローグ沼沢の土壤
-  沖積土
-  砂砂漠

山地の土壤

-  山岳ツンドラ土壤と山岳森林チュールン土壤
-  山岳草原土壤と山岳草原-ステップ土壤
-  山岳タイガ-ポドゾル性土壤と山岳タイガ非ポドゾル化土壤
-  山岳森林チュールン-炭酸塩質土壤
-  山岳灰色森林土
-  山岳褐色森林土
-  山岳赤褐色土
-  山岳チュールン-ジョームと山岳赤褐色土
-  山岳区内性土と山岳灰色土
-  山岳砂漠土
-  山岳赤褐色土と山岳灰色土
-  山岳サバンナの赤色土壤
-  山岳ポドゾル化ラチライト性土壤
-  万年雪と氷河



ドソル

- ③ 温帯：夏緑林・褐色森林土、夏緑林・灰色森林土、プレーリ・チュルノーゼム、ステップ・チュルノーゼム、乾生ステップ・栗色土、砂漠ステップ・褐色土、温帯砂漠・灰褐色土

④ 亜熱帯

⑤ 熱帯

以上のうち、④および⑤について、以下に詳述する。

④ 亜熱帯

この帯域の土壤は亜熱帯高気圧下の気候条件下にあるため、砂漠的な特徴を持った土壤が多い。土壤分布は緯度的成帯性ははっきりしないで、経度的成帯性が顕著である。特に大陸の東縁では、沿岸から大陸の内部へと、土壤は亜熱帯林の赤色土・黄色土から砂漠へと順次交代している。この交代は温度の違いは大きくないので主として降水条件に起因している。アリット化風化過程を特徴とし、土壤は多少とも赤味がかかった色をしていて、土層の深さが厚く、多雨条件下では生物による循環作用が大きく、植物遺体は速やかに分解し腐植の集積量は少ない。

① 湿潤亜熱帯林の赤色土と黄色土

この土壤が最も広く分布している地域は季節風（モンスーン）気候条件下の降水量の多い大陸東縁部である。すなわち、ユーラシア大陸では中国の東南部ならびに日本列島、また北米ではフロリダ半島およびその北と西に隣接する諸州である。南半球ではオーストラリアの東縁部とタスマニア島、アフリカ東南部のドラケンスベルク山地の北部である（土壤図にはインド亜大陸の東部、オーストラリア西南部にも、この土壤が分布しているが、現在は前者は赤色ラテライト性土壤、後者は肉桂色土として位置づけられている）。このほか、季節風気候条件下ではないが、比較的均等な降水分布を示す局所的多雨地域、たとえば黒海東岸やカスピ海南岸にも分布している。

中国の東南部、西南日本、台湾における自然植生は湿潤暖温帯林（照葉樹林）であり、北米東南部はフロリダ半島（照葉樹林）を除き、夏緑樹林、オーストラリア東南部、メキシコ、チリー、ブラジルなどはいずれも湿潤暖温帯林である。

赤色土と黄色土は年降水量1,000~2,500mmの湿潤亜熱帯気候条件下の成帯性土壤である。大部分の地域において降水量の山は夏であって、降水量の山が冬の乾燥亜熱帯地域に特有な夏の乾燥はみられない。冬の気温が比較的低下した際に降水量が幾分へるが、激しい土層の乾燥は起こらない。水分レジームは洗濯型に属している。

土壤生成作用が年間温暖湿潤な気候条件下で進行するために、アリット風化過程を特徴とし、一次鉱物および二次粘土鉱物の分解物中の易溶性産物—炭酸塩およびケイ酸の一部を含む—は土層から洗脱され、より難溶性の風化生産物—遊離の加水酸化

アルミニウムや加水酸化鉄—が相対的に集積する。この加水酸化物の一部はコロイド状態で存在するが一部は結晶化し、ハイドロゲータイト、ゲータイト、キブサイト、ペーサイトなどの二次鉱物となり、その加水度に応じて、土壤に黄色あるいは赤色の色調を与える。

アリット風化を特徴づけるこれらの化合物と共にカオリナイト、イライトなどの難分解性粘土鉱物が生成される。すなわち、赤色土および黄色土においてはアリット化は究極まで行われぬ。その結果として、土壤や風化殻はアリット質でなく、シアリット—アリット質であり、大部分の土壤の粘土部分の SiO_2/Al_2O_3 (モル) 比は2~4である (アリット風化物は2以下)。

植物遺体の供給量が多いが、湿潤温暖期にその分解が速やかに進行するので腐植の集積は少なく、腐植層 (A層) は厚くならない。

植物遺体の分解は洗滌型水分レジーム下で行われ、その分解生産物である有機酸によって土壤層の酸性化が進んでいる。そのため、土壤の吸着複合体には置換性アルミニウムが多い。

赤色土と黄色土はしばしば同一の地域に相接してみられるので赤黄色土と称せられている。この土色の相違は酸化鉄の加水度との関係によるものと考えられている。土壤の性質そのものは大きな相違はない。

冷温帯に分布するものは間氷期の温暖期の多雨条件下に生成された古土壤であると考えられ (西南日本の南西諸島以北の赤色土も古赤色土と考えられている)、新しい世界土壤図 (ドクチャーエフ研究所: アジア土壤図、1964) には西南日本の成帯性土壤は黄褐色森林土として、その分布が示されている。

FAO/Unesco分類の Acrisols (orthic) に相当する。

⑩ 亜熱帯プレーリーの帯赤黒色土壤

湿潤暖温帯林と乾生樹林帯の間に亜熱帯プレーリーが局地的に分布している。年降水量は約800~1,000mmで夏に山がある (年降水量の約80%)、冬は乾燥しているが、気温は氷点下になることは殆どない。

このような生物気候条件下に亜熱帯プレーリーの帯赤黒色土壤が生成される。すなわち、湿潤亜熱帯地域の土壤に特有なアリット化過程と同時に腐植集積過程が強く行われ、粒状構造を示す厚い (50~60cm) 腐植層 (上部の腐植含有量は10%) が発達している。アリット過程が行われるために、土壤断面全体が赤みがかった色調をしている、とくに土層の下部が赤みが強い。粘土化作用が強く行われ、夏に行われる洗脱の結果、土壤断面の酸性化が進んでいる (PH4.2~4.8)。腐植の集積は密生した長茎禾本科植物によって秋に供給される多量の植物遺体の分解が (秋から冬に土壤水分が欠乏して微生物活動が極端に低下する) 進まないことに由来すると考えられる。

北アメリカにおいてはプレーリー地帯の南部に分布し、南アメリカではラプラタ川の下流沿海地方に分布している。また、アフリカでは東南端、ドラケンスベルク山地にみられる。

FAO/Unesco分類のPhaeozems (haplic, luvic) に対応する。

⑩ 乾生林および低木林の肉桂色土

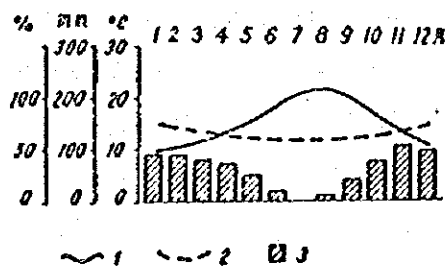
乾燥した暑い夏と湿潤温暖な冬によって特徴づけられる地中海性気候条件下、冬雨堅葉樹林を自然植生とする地域の成帯性土壌である。

年降水量は700～800mm、冬期は降水量が多く、洗濯型水分レジームが卓越し、夏期は降水が稀で湿度が低く、非洗濯型水分レジームが卓越する。

この土壌は南欧およびアフリカの地中海沿岸地域、北アメリカでは太平洋沿岸ではコースト山脈の南部、シェラネヴァダ山脈およびロッキー山脈の南部、シェラマドリ山脈では熱帯のメキシコにまで入り込んでいる。大陸内部の平地ではカンサス、オクラホマ、テキサスのプレーリー台地の南部を占めている。南アメリカではチリーの亜熱帯部分、山地斜面や沿岸平地にみられる。オーストラリアでは南西部や南東部の亜熱帯に分布し、植生は乾生ユーカリ林である。また、中国東部の比較的乾燥した亜熱帯地域にも分布している。

肉桂色土は図・2-20に示したような気候条件下に起因して、その水分レジームは年間の変動が極めて大きい。

湿潤で温暖な冬期には一次鉱物の強い風化と次成粘土鉱物の生成が行われる。可動性の風化生成物は降水量に応じて土層の上部から下層のいろいろな深さへと洗脱される。通常易溶性塩類（塩化物、硫酸塩）は土壌から完全に除去される。一方、難溶性の炭酸塩は50cmあるいはそれ以上の深さで析出して炭酸塩集積層を形成する。植物遺体の無機化と腐植化はこの冬期に主として行われ、中性ないし弱アルカリ性で進行する。



注 1: 気温°C 2: 相対湿度 3: 降水量mm
 標高103m 年平均気温: 16.6°C
 年降水量: 710mm
 年平均湿度70%

グラスビエラ(1960)

図2-20 肉桂色土の分布地域(大陸西岸の亜熱帯気候条件)、リスボンにおける温度、湿度および降水量の年間経過

暑くて、降雨のない夏は風化過程は上部の最も乾いた層位では遅滞するが、ある深さの湿っている層位では続行する。そのため最も粘土化しているのは土壌の最上層ではなく、15~30cmの深さの層位である。夏は土壌表層が気温が高いために乾燥し、水分や水溶性物質を下層から引き上げる。この上方への水の移動は薄膜水として行われる。引き上げられるにつれて水は蒸発し、その中に溶解していた物質、とくに炭酸カルシウムは土壌の中部や下部で沈殿し析出する。このときに析出された炭酸カルシウムは細い白色のカビの菌糸に似た、偽菌糸状の形態を示す。雨の多い冬期には、炭酸でかなり飽和された（植物遺体の分解によって生産された重炭酸による）水で土壌が洗脱されるさいにこの偽菌糸状の炭酸石灰はふたたび溶解して断面のより深い部分におしやられる。しかし、土壌溶液は、周期的に夏に引き上げられるので、土壌層は常に中性反応を示し、吸収複合体は塩基（とくにカルシウム）で飽和され、腐植と土壌吸収複合体は安定している。

植物遺体の分解は夏の間は遅滞し、冬期に主として行われるために、ある程度の腐植が表層部に集積する（腐植層の腐植含有量は4~7%）。その組成内ではヒューミン酸群が多い。肉桂色土は典型的肉桂色土亜型、溶脱肉桂色亜型、炭酸塩質肉桂色亜型に分けられている。

FAO/Unesco分類のKastanozems(haplic, luvic, calcic)に対応する。

④ 亜熱帯ステップの灰肉桂色土

前述した乾生林および低木林の肉桂色と同様に、明瞭な乾期のある半乾燥地域に分布するが、肉桂色土の分布地域にくらべ降水量がより少なく、その植生型は乾性低木林と乾性ステップである。

灰肉桂色土はユーラシア大陸では南ヨーロッパに点在し、スペイン、メゼットの乾燥地帯にみられる。小アジアの山岳地方やパキスタンの半砂漠、中国のレス台地の南西部にも認められる。アフリカではサハラ砂漠の北部に帯状に分布し、東アフリカのカラハリ砂漠の南方にもみられる。北アメリカでは、ロッキー山脈から東へコロラド、ニューメキシコ、テキサスなどの諸州の高い平地を覆い、カルフォルニアの南部でメキシコ湾沿岸に突出している。南米では北部アルゼンチンの乾燥亜熱帯ステップに、オーストラリアでは南西部、南東部の乾性ステップや低木性ユーカリ林下に分布している。

灰肉桂色土の分布地域の降水量の山は早春と冬にあるが、全年降水量は肉桂色土の分布地域にくらべてはるかに少ない。冬から早春にかけて降水は土壌層中深く滲入し、風化作用によって生じた易溶性生産物を洗脱させる。しかし、暑い乾燥した夏に肉桂色土と同様に深いところに洗脱した易溶性生産物は薄膜水と共に表層へと上昇し、肉桂色土と同様に比較的難溶性な炭酸塩の集積層が地表からあまり深くないとこ

ろ(30~40cm)にできる。溶解度の高い、Na塩は土壌層から洗脱されるので、灰肉桂色土にはふつうソロネツ化は見られない。

灰肉桂色土の粘土化は肉桂色土より弱度である。その理由は湿潤な冬から早春にかけての粘土化作用が肉桂色土より土壌が乾いているために弱度なためと解せられる。肉桂色土と同様に粘土の最も多い層は最表層ではなく、地表下20~30cmのところのみられる。土壌に供給される植物遺体の量が肉桂色土よりも少ないため、腐植層の腐植含有量が少なく(3~4%)、その厚さも薄い(3.5~4.5cm)。

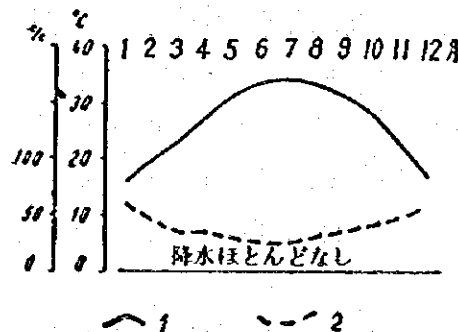
FAO/Unesco分類のXerosols(haplic,calcic)に対応する。

⑦ 亜熱帯及び熱帯砂漠の原始的土壌

亜熱帯ステップの灰肉桂色土よりもさらに湿度が低く、年降水量約200mm以下の地域には亜熱帯および熱帯砂漠の原始的土壌が各大陸に広く分布している。

高温と大気の極端な乾燥が土壌を乾燥させ、その表面を日中には80℃にまで加熱する。夜になると土壌表面からの強い輻射によって地表温度は10℃~5℃に下る。

亜熱帯高気圧下の乾燥気候を示す実例としてアスワンにおける気温と湿度の年間の経過を図・2-21に示した。なお、アスワンの年降水量は平均2mmで全く降水のない年が多い。



注 1: 気温℃ 2: 相対湿度%

エジプト、標高194m、年平均気温26.5℃、
年平均湿度30%

グラスホフら(1960)

図2-21 アスワンにおける温度と湿度の年間の経過

大気と土壌の乾燥、温度の日変化が激しいこと、強風によって土砂が吹きとばされることなどは、高等植物のみならず下等植物の生育にも適していないので、植生はきわめてまばらで、水の不足と、土に蓄積された塩分に適応した、耐乾性植物や耐塩性植物が多い。降水はきわめて不規則で、スコール性である。降水によって土壌が湿潤化し、再び乾燥するまでの短い間に、発芽、開花、結実を終える短命植物も特徴的である。

ここに述べるものはいわゆる亜砂漠土壌であって、年降水量約50mm以下の地域には真正砂漠が亜砂漠土壌にとりかこまれて分布している。

サハラでは砂漠土壌をエルグ (erg)、レグ (reg)、ハマダ (hamada) などとよんでいる。

エルグは砂漠で砂丘の景観を示し、砂は風で絶えず移動しているので植物は生育していない。

レグは礫砂漠で砂漠のなかで植物が最も生育している場所である。景観上は広大な平坦地形で、地表は大小の石礫や粗砂によっておおわれている。成因的には砂漠地形の終末形と考えられ、砂が風食および水食によって運ばれ粗粒な風化物が残ったものと考えられている。

ハマダは岩盤砂漠で岩盤の上に薄く砂がおおっている砂漠でFAO/UNESCOの土壌分類ではLithosolsに属する土壌である。

砂漠では植物の生育が弱度で、またその生育期間が短いので、生物が土壌生成過程に参加する度合いが少なく、したがって砂漠土壌は未発達土壌であるといえよう。実際、土壌の表層に供給される植物遺体の量が少なく、その分解が好气的条件下で行われるため、明瞭な腐植集積層 (A層) は形成されない (A層の腐植含有量はふつう0.5%以下である)。

物理的な岩石の風化作用は昼と夜の温度差が大きいことと細粒化したものが風によって除去されるために強く行われる。化学的風化作用も弱度であるが、気候条件が亜熱帯気候であるためアリット化風化が行われる。風化物の $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ および $\text{SiO}_2/\text{Fe}_2\text{O}_3$ 比は未風化岩石にくらべて低く、風化生産物である酸化鉄によって土壌は赤味を帯びている。砂漠の砂質土壌に見られる鉄富化作用は150~200cmの深さに達し、いくらか砂の層に粘度化がみられる。

このほか、亜熱帯および熱帯砂漠でみられる過程は、地下水中や下層土、さらには土壌表層にまでみられる塩類集積作用である。激しく長期にわたる集積作用の結果として、地表にいろいろな塩類皮殻が形成される。北アフリカのナイルデルタにある最も水にめぐまれた砂漠では、石灰質皮殻の厚さが1.0mに達している。

亜熱帯および熱帯の砂漠土壌にみられるラテライト化や塩類集積は、過去の今より

ずっと湿潤な時代の遺跡的な性格によるものとも考えられている。

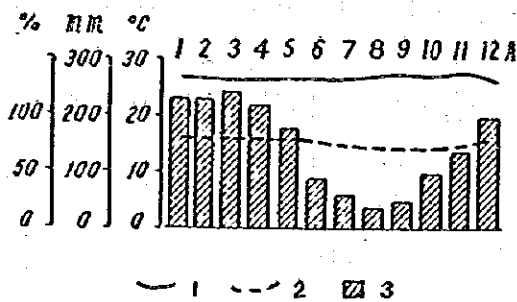
FAO/Unesoco分類のArenosols(ferralitic), Yermosols(luvisc)に対応する。

⑤ 熱 帯

この帯の土壌は年間の熱的条件に大差がないので、土壌の配置は雨期の長さによって決定されている。そのため、この帯では再び緯度成帯的な土壌の分布がみられ、アフリカ、オーストラリア、南米の一部でことによく現われている。赤道雨林のラテライト性土壌は強度に発達したアリット化過程を特徴としている。高茎草本サバナの赤色土壌もまたアリット化作用を受けている。乾性林および落葉性の木本植生を伴うサバナの赤肉桂色土はアリット化の程度が低い。

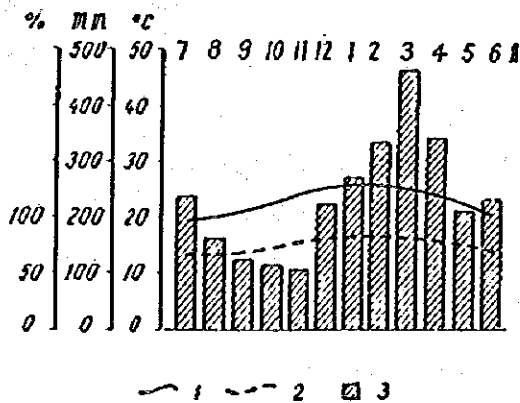
① 熱帯雨林のポドゾル化ラテライト性土壌

常に湿潤で暑い赤道気候条件の熱帯雨林下には、土層が厚いラテライト性土壌が生成される。その気候条件は図・2-22、2-23に示した。



注 1: 気温°C 2: 湿度% 3: 降水量
 ブラジルのアマゾン川中流の都市 標高83m
 年平均気温26.7°C 年平均湿度83% 年降水量2100mm
 グラーションモフら(1960)

図2-22 赤道気候：マナウスにおける
 温度、湿度、降水量の年間経過



注 1: 気温 2: 湿度% 3: 降水量
 マダガスカル島東岸の都市 標高3m
 年平均気温23.9°C 年降水量3470mm
 グラーションモフら(1960)

図2-23 海洋性赤道気候：タマタブにおける
 温度、湿度、降水量の年間経過

ラテライト性土壌が最も広く分布している地域は南米のアマゾン川流域の低地である。アフリカではコンゴ盆地とギニア湾沿岸を占めている。また、山岳ラレライト性土壌がマダガスカル島の東部に広く分布している。アジアではスマトラ、ジャワ、ボルネオ、ニューギニア、フィリピンなどの山地と低地、セイロン、インド南部、マレー半島、インドシナ、中国の広東省・海南島などの熱帯圏に広く分布している。オーストラリアでは最北部、キンバリー台地とカーペンタリア湾沿岸などに限られている。

常時湿潤高温な熱帯降雨林下の成帯性土壌であるラテライト性土壌は主として次の二つの土壌生成過程の同時的な進行の結果として生成される。すなわち、岩石の深層まで進行するアリット化作用と、比較的土壌層の上部に限られるポドゾル化作用である。この点ではラテライト性土壌は亜熱帯湿潤暖温帯林下の赤色土及び黄色土と似ていて、違うところは赤道地帯のラテライト性土壌ではアリット化作用がよりいちじるしく完全に発達し、はるかに深くまで岩石をおかしていることである。亜熱帯の赤黄色土とラテライト性土壌が異なる第二の点は、落葉落枝類の分解条件である。多量に地表に供給される植物遺体は高温（約26℃）多湿条件下で急速に分解され、無機化される反面、つねに洗滌的水分レジーム下にあるために、前章で述べたような理由によって難分解性植物遺体の分解が遅滞し、M o r型腐植が形成され、M o r型腐植の形成に際して生成される酸性腐植が土壌中の三산화物に作用し、これを水溶性の有機・無機化合物にかえ、これが洗浄型水分レジームにとりなり、重力水によって土壌層中を移動し、土壌断面の上部において、アリット化過程がポドゾル過程によっておきかえられることにある。

熱帯雨林下の気候条件では、微生物や白蟻などの小動物の働きが活発でM o r型腐植の形成は酸性母材や凸形地形などの立地条件に限られている。しかし、地表に供給される植物遺体の量が頗る多く、これを活発に分解する微生物の代謝物として多量の炭酸が生産され、重力水に溶けたこの炭酸イオンによって塩基類が洗滌型水分レジーム下で洗脱されるために、熱帯雨林下の土壌は一般的に酸性化している。

ポドゾル化ラテライト性土壌は次のような特徴をもっている。

- 1) 土層の上部における強酸性反応（ポドゾル化の結果として）と深部における中性（ときにアルカリ性）反応（ここではアリット化が進む）。
- 2) 植物遺体の供給が多いためかなりの量の腐植の集積。
- 3) 塩基置換容量が非常に小さいこと（アリット化作用の結果）。
- 4) 土壌断面において SiO_2/Al_2O_3 および SiO_2/Fe_2O_3 比に変化が見られること。A₂層はポドゾル化の結果として比が大きくなり、集積B層において、 Al_2O_3 と Fe_2O_3 の含有量が最大に達し、集積層より下では SiO_2/Al_2O_3

比が2.0以下を示す層位が厚く発達する（断面のこの部分はアリット質である）。もっと深い層ではアリット化の程度が減じ、4～5mの深さで SiO_2/Al_2O_3 の比は3～4に増大する。塩基の量は深さとともに増加し、下層ではしばしばケイ酸の富化がみられる。

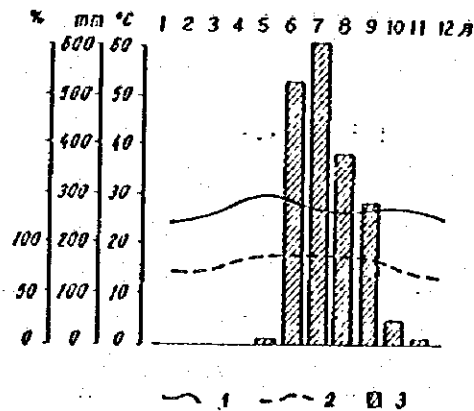
FAO/Unesco分類のFerralsols(orthoc), Podzols(orthic)に対応する。

⑩ 雨緑林とサバナの赤色土壌とラテライト皮殻

熱帯・亜熱帯の赤道季節風地帯の雨緑林およびサバナには特殊な土壌、サバナの赤色土壌が成帯的に分布している。すなわち、この土壌は前記熱帯多雨林下の成帯性土壌であるラテライト性土壌に隣接し、その南北に帯状に分布している。

この土壌はアフリカと南米のアマゾン川流域に最もその分布が広く、中米、ビルマ、オーストラリアにもかなり広く分布している。

サバナの赤色土壌は半乾燥性気候条件下で生成される。サバナ地域では赤道季節風が卓越し、夏は湿度が上昇し、昼夜の温度較差が少なくなり、スコール性の降雨による多量の降水がある。冬は暑くて乾燥した熱帯高気圧に支配され、昼夜の温度較差が大きくなり、降水量は激減する。図・2-24にこの気候条件下にあるボンベイの気温、湿度、降水量の年間経過を示した。



注 1: 気温°C 2: 湿度% 3: 降水量mm
 標高11m 年平均気温27.3°C 年平均湿度74%
 年降水量2080mm

グラスンモフら(1960)

図2-24 ボンベイ(亜赤道季節風気候)における
 気温、湿度、降水量の年間経過

赤道季節風帯においては、赤道から南北に遠ざかるにつれて、湿潤な期間が減少し、乾燥している期間が増大する。赤道に最も近い雨緑林では、湿潤期が10ヶ月続くが、典型的サバナでは5~6ヶ月となり、乾燥・砂漠化サバナでは2~3ヶ月しか続かない。これと共に全年降水量も、たとえば典型的サバナの1,000~1,500mmから、乾燥サバナの500~600mmに減少する。

典型的な赤色土壌が発達しているサバナでは、草本被覆は湿潤期は非常に高く（しばしば1.5m以上）なり、密生する。散生する木本植物は乾期には落葉し、草本植物は枯れる。植物遺体の総量はフェージュラーのデータによると、年約30t/haに達している。

多量の植物遺体の大部分は無機化し、腐植として集積される量は少ない（腐植層の腐植含有量は約3~4%、熱帯多雨林下の土壌における量と大差なく、温帯ステップのチェルノーゼムに比べ著しく少ない）。

サバナの赤色土壌の生成にはアリット化過程が卓越している。

湿潤で暑い夏に、一次鉱物の分解と易溶性塩類、炭酸塩、可動性ケイ酸（土壌水が高温なため溶解度が温帯におけるより著しく高い）の洗脱が行われる。その結果として、土壌層中に動きにくい化合物が相対的に集積する。すなわち、アルミニウム、鉄、マンガンの加水酸化物が集積する。表層には多量の植物遺体が供給されるが、この植物遺体が分解されるさいに遊離したリンは、鉄化合物と結合して不溶性のリン酸塩として表層に集積する。このさい、若干の塩基（カルシウムなど）もリン酸塩として残る。

乾期には草本は枯れ、木本植物は葉を落とし地表は裸になり、焼きつくような熱帯の太陽に照されて70~80℃まで加熱され、土壌は激しく乾燥する。これによって加水酸化物の酸化と脱水が起こり、多数の固い鉄、マンガンの結核が形成される。土層上部の径1~2mmの多数の小さな結核は、多くのサバナの赤色土壌に偽砂質の性格を与える。乾期に土壌溶液がいくらか上昇することと、植物遺体から多量の塩基が供給されるために、土壌は中性あるいは弱アルカリ性反応を示し、湿潤期になると、中性~弱アルカリ性反応条件下で鉱物が分解し、ケイ酸の洗脱が著しく進行する。

このように土壌が交互に湿潤と乾燥をうけ、可動性の土壌生成物が除去され、アルミニウムや鉄が移動しにくい酸化物となって集積する結果として、独特な土壌が形成される。この土壌は塩基やケイ酸の大部分を失い、アルミニウムや鉄、ある場合にはマンガンの加水酸化物に富んでいる。

上述した赤色土壌と共に、地表あるいは土壌断面のある深さに固い鉄質あるいは鉄・マンガン質の皮殻をもった土壌が広く分布している。これらの皮殻は個々の魚卵状結核からなり、一面のち密な石のかたまりに団結されている。この皮殻の厚さは数cm

から1mm以上のものまである。

鉄質あるいは鉄・マンガニ質皮殻の厚さが1m以上のものは、西アフリカおよびスーダンのサバナで広大な地域を占め、またザンビアの北東部、マラウイ湖から東のタンザニア領域、南米ブラジルの高地、北オーストラリアのサバナにも広く分布している。

このような皮殻の成因は完全には明らかになっていないが、次のように説明されている。

鉄質皮殻は地下水が地表近くに位置している場合にだけ形成される。この場合は還元条件で二価鉄化合物が可動性となって、乾期に毛管上昇水と共に上昇し、地表で水が蒸発される際に酸化されて表面にたまる。地下水がより深い場合は断面内の毛管湿润化層の上縁にたまる。後者の場合が多い。

地下水位は半乾燥気候条件下では季節的な変動が大きいので、結核のたまる層の厚さは非常に厚いものとなりうる。土壌が侵食されると、この結核の集積した層位は地表に露出し、鉄質の甲殻すなわち皮殻をつくる。この甲殻は遺跡的な形成物であって、現在の地下水位とは無関係である。

鉄質皮殻の分布地域は、本質的に肥沃でない地域となっている。

FAO/Unesco分類の Acrisols(orthic, plinthic), Ferralsols (orthic, rhodic), Luvisols (ferric)に対応する。

⑩ 熱帯乾性林および灌木林の赤肉桂色土

乾燥熱帯の疎林や有棘灌木林は、いろいろな大陸の半乾燥帯・亜熱帯に広範囲に分布している。

アフリカ南部では、カラハリ砂漠の東縁に沿って南ア連邦に延びており、アンゴラ、ザンビアおよびタンザニアに大きな面積を占めている。アフリカ北部では乾燥サバナに点々と散在し、太平洋沿岸からエチオピアにいたるまで見られる。

オーストラリアで赤肉桂色土は広い分布を示し、スクrub (scrub) と呼ばれている灌木林の分布する地域を占めている。このスクrubは種々のアカシアからなる灌木林で、構成樹種によって種々の呼び名、たとえばブリガロウ (brigalou)、ムルガ (mulga)、ミアル (myall) などの呼び名をもっている。ところによってはアカシアに混じってユーカリやトックリノキ (*Brachychiton populneum*) がある。

南アメリカでは、赤肉桂色土はカテインガ (低木性のトゲ林) の生えているところにある。

赤肉桂色土は乾燥熱帯・亜熱帯に分布することに関しては亜熱帯乾性林および灌木林下の肉桂色土と同一であるが、降水の配分に相違がある。

赤肉桂色土は腐植が少なく、シアリットーアリット質で、よく発達した炭酸塩集積

層がある。また、しばしばソロネツ化の兆候が認められる。

FAO/Unesco分類のKastanozems(haplic,luvic)に対応する。

⑤ 熱帯の乾性サバナおよび砂漠化サバナの赤褐色土

熱帯の乾燥および砂漠化サバナの赤褐色土壌は非常に広く分布し、アフリカとオーストラリアでその分布が最も広い。

アフリカではサハラ以南にほとんど全大陸を横断する東西方向の土壌帯を形成し、乾生のトゲのある有棘低木サバナの分布と一致している。南アフリカではカラハリ砂漠の北部を占めている。オーストラリアではこの赤褐色土壌は中央オーストラリアの砂漠地帯の北縁および東縁を囲み、乾燥サバナおよび半砂漠の灌木林の分布地域と一致している。

赤褐色土壌は乾期と雨期がはっきりとわかれている熱帯気候条件下に発達している。すなわち、夏は比較的短く湿潤で、冬は長く乾燥している。年降水量は350～650mm(短い湿潤期にその約75%が降る)である。草本の被覆もまばらで、疎生している灌木は乾燥期には落葉している。しかし、短い湿潤で暑い時期には植生は旺盛に成育し、土壌生成過程は強く進行する。

この湿潤で暑い時期に、部分的に土層のアリット化が起る。すなわち、一次鉱物が破壊され、アルカリ反応下でケイ酸その他の可動性土壌生成物が土壌層断面上部から下部へと洗脱される。この湿潤期に植物遺体は強い腐植化と無機化を受け、結果として腐植層にはわずかな腐植しか集積していない(約2%)。その後には始まる乾燥した暑い期間には、土壌表層は昼間は70～80℃に加熱され、土壌生成作用で形成された鉄、アルミニウム、マンガンの加水酸化物の脱水が起り、これが土壌の赤い色調の原因となっている。同時に土壌水は薄膜水として土壌の深い部位から表層へと上昇する。おそらく、炭酸塩や易溶性のナトリウム塩は一年間に上下の移動をするのであろう。

土壌水中に存在するナトリウム塩は赤褐色土壌のコロイド部分に置換性ナトリウムがあることによって証明される。このナトリウム塩の一部は植物遺体の無機化に際して土壌に供給されたものであろう。

このようにナトリウム塩が周期的に土壌水中に存在するために、コロイドの解膠と、湿潤時におけるコロイドの表層から20～30cmの深さへの移動が起る。その結果として、この20～30cmの深さに、集積によって生じた密な、コロイドと三酸化物に富むB層(hard pan)が形成される。それゆえ、ここでは他の半砂漠地帯(温帯ステップと砂漠の境界)に形成される砂漠-ステップの褐色土地帯と同様に、ソロネツ化作用がアリット化作用とともに進行している。

しかし、砂漠-ステップの褐色土と異なって、赤褐色土壌には表層にしばしば少量

の置換性水素、あるいは置換性アルミニウムが存在する。これは吸収複合体に有機酸および無機酸の水素イオンが作用した結果らしい。これらの酸は溶解した塩基の大部分が土壌層断面の上部から下部へ洗脱される湿潤な時期に、植物遺体が分解し、その際に生成されたものである。

形態的また化学的に赤褐色土壌の断面は非常に独特である。A層は赤褐色、不安定な団塊状構造、しばしば二つの亜層に分かれる。A₁層は暗色味がやや強い。A₂層は明色を呈し、機械的組成がやや砂質である。両層あわせての厚さは約2.5cmである。下方のB層はA層とはなはだしく異なっている。すなわち、A層よりも明るくて赤い。また、機械的組成はずっと埴質で、塊状構造が発達し、しばしば明瞭な角柱状構造が発達する。

約50cmの深さからBca層があり、上層と同じような土色と機械的組成をもっている。また、軟らかい結核や固い結核としての多量の炭酸カルシウムの風化新生成物を含んでいる。この層の構造は堅果状である。

約100cmの深さから、石灰の風化新生成物の量が減じ、褐色がかった赤色、あるいは褐色がかったバラ色の母岩(C)となる。この層には普通はわずかの石灰の析出物が散在している。

最も乾燥した地域では土壌層断面の深い部位(約1.5~2.0mの深さ)に石こうの風化新生成物がみられる。

乾燥サバナの赤褐色土は熱帯乾性林および灌木林の赤肉桂色土と共に放牧地として利用されていることが多い。

FAO/Unesco分類のXerosols(haplic, calcic, gypsic)に対応する。

2-3-2-2 成帯内性土壌 (Intra Zonal Soils)

成帯内性土壌として図示されている土壌は、①沼沢土壌、②チョールン・炭酸塩質土壌と腐植・炭酸塩質土壌、③湿原・ステップ土壌、④タキール性土壌とタキール、⑤ソロンチャック、⑥ソロネツとソロチ⑦熱帯の乾性サバナとプレーリーの黒色土壌、⑧マーシュとマングローヴ沼沢の土壌である。

①、⑤、⑥、⑧は分布様式が局地的なため記号によって、成帯性土壌び他の成帯内性土壌の中に位置づけられている。

以上の成帯内性土壌のうち、熱帯に関係ある⑦、⑧および⑨アンドソルについて、次に記述することとする。

① 熱帯の乾性サバナとプレーリーの黒色土壌

熱帯・亜熱帯の乾性サバナやプレーリーの分布する気候条件下、すなわちはっきりした、乾期と雨期をもった地域に生成される独特な断面形態と性質をもった成帯内性土壌であって、その生成には母材(塩基性岩やその風化物)が支配的な影響を及ぼしてい

る。

この地帯の土壌はいずれも赤色味を帯びているに反し、この土壌の厚いA層の色は黒色であるために古くから、各地域によっていろいろな名称があたえられている。たとえば、インドではレグール、モロッコではチルス、スーダンではバードープ、ケニアではフィルキおよびフライ、インドネシアでは黒色マルガライト土壌など、また、この土壌は綿の栽培に適しているので、Black Cotton Soilsとも呼ばれている。

土色は黒いが、その腐植含有量は一般の亜熱帯・熱帯の成帯内性土壌のA層における値の範囲内（1～3%）にある。土色の由来は含チタン鉄化合物によるものとされている。

この土壌の分布は広く、アフリカでは、スーダン南東部、白ナルの中流地域、チャド南部、ケニア・タンザニアの東部、モザンビーク、南ア連邦など。東南アジアではインドのデカン高原の大部分、インドネシア諸島とくにジャワ島の中央および西部を占めている。オーストラリアでは、東部オーストラリアの山岳部に接した石灰岩台地上にみられる。また、南米ではウルグアイに分布が広い。

この黒色土壌の分布地域の年降水量は約750～1,250mm、降水の配分はきわめて不均一で、その最大値は夏で、冬は通常は乾燥している（冬といっても、熱帯・亜熱帯の冬の気温は高い）。

この黒色土壌のA層（ふつうの腐植集積層とは後述のように成因上かなり異っている）はそれほど黒くない場合も多く、この土壌の特殊性は粘土含量が多く（一般に30%以上）、その粘土の大部分が膨潤性粘土鉱物（モンモリロナイト群）であることに由来している。

半乾燥気候条件下で、塩基に富む岩石が風化するときは、主としてモンモリロナイト群の粘土鉱物ができる。それゆえ、この土壌の風化生産物は熱帯土壌に典型的なアリット質でなく、シアリットーアリット質あるいはアリットーシアリット質であり、粘土の $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$ モル比は、2.5～5.0の範囲内にある。

機械的組成が埴質で、粘土鉱物が膨潤性粘土鉱物を主としているため、雨期には湿って膨潤し、乾期には土壌はひび割れして細かい堅果状構造ができる。また、土壌層上部に一面に網目状に、深く（1.5～2.0m以上）、広い（3～5cm、ときには10～20cm）キレットができる。このキレットの中に風や水、生物によって土壌表面の堅果状をした土粒が落ちこむ。このキレットが毎回新しい場所にできる。雨期になって土壌層が湿るとキレット部分が逆にふさがって、キレットに落ち込んだ構造体は横圧によって押しつぶされ、地表にはこの激しい横圧の分圧の結果として小さな凸凹ができる。（ギルガイ地形）。図・2-25はこの説明図である。

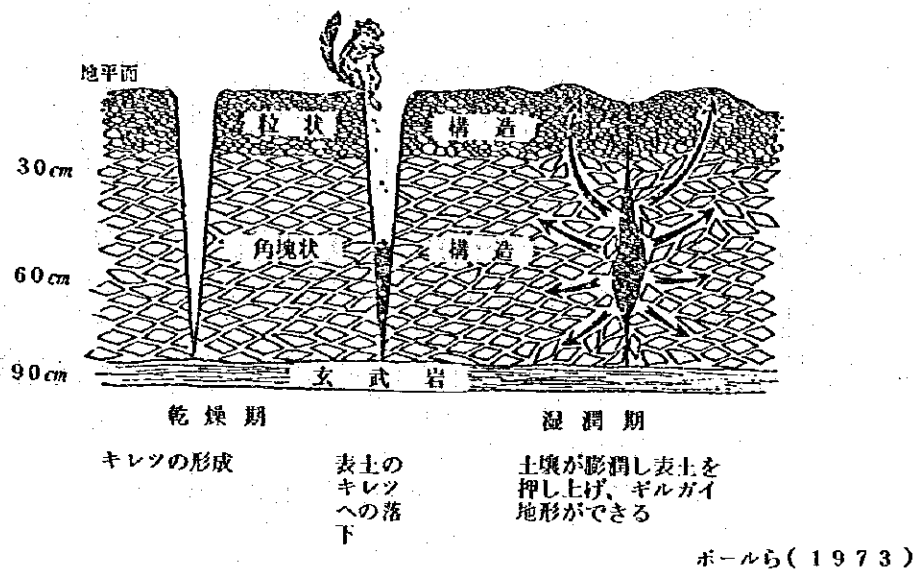


図2-25 パーティゾルの乾湿サイクルによる土壌の移動

このような土壌層内における毎年繰り返される土壌の混合によって、厚さ50cm~2mの特殊な土壌断面が形成される。断面形態としては層位のはっきりした分化がなく、土壌構造の表面が光滑があり（構造体が強くもみ合うことによって生ずると考えられている）、石灰の結核が腐植層より下にあることなどがその特徴である。

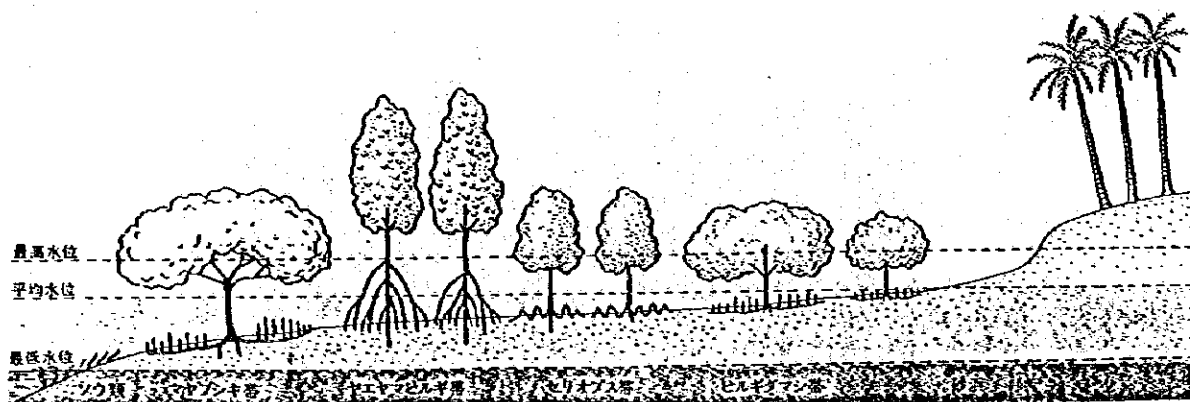
この土壌は全層にわたってアルカリ性反応を示し、土壌吸収複合体はカルシウム、マグネシウムで飽和している。

この土壌の自然植生は乾生植物であって、主として季節性のイネ科、キク科植物である。根が毎年特殊な力学的運動によってたちきられるので木本植物はほとんどみられない。

FAO/Unesco分類のVertisolsに対応する。

⑧ マーチュとマングローブ沼沢の土壌

いずれも、海水と関係のある成帯内性土壌であって、層位の分化のない未熟土である。潮の満ちひきが大きな波の静かな場所に両者とも成立し、メコン川、アマゾン川などでは川沿いのいわゆるゼロm地域に奥深く入りこんでいる。マーチは亜寒帯、温帯地域の沼塩地であり、土壌図には北海沿岸のエルベ河口付近などに分布が示されている。マングローブ林は熱帯・亜熱帯の河口ぞいの木本塩生地植生の総称であって、マレー半島、スンダ列島、ボルネオ島、スマトラ島などに分布が示されている。図・2-26に東アフリカ海岸のマングローブの生育の様式を示した。



宮脇ら(1967)

図2-26 東アフリカのマングローブ林の生育様式

FAO/Unesco分類のGleyic Solonchksに対応する。

⑨ アンドソル

大戦後アメリカの土壌学者が来日して、日本の土壌を巡検したさいに、わが国でクロボク、オンジ、火山灰土などと呼ばれている成帯内性土壌に対して与えた名称である。アントは日本語の暗土を意味するとされている。筆者はソープなどのアメリカの土壌学者がこの独特な黒色の厚いA層を持った土壌をチュルノーゼムや黒棉土と区別するために日本では使われていない暗土(Dark Soils)という名称を意識的に用いたものと考えられる。

ドクチャーエフ研究所の土壌図(1956)には図示されていないが、この土壌はFAO/Unesco 500万分の1縮尺土壌図の編集のさいに取り上げられOchric Andosols Mollic Andosols、Humic Andosols、Vitric Andosolsに4区分されて図示されている。

亜寒帯、亜熱帯、熱帯の湿潤気候条件下で後氷期の火山噴出物(多くは火山灰)を母材として生成されたものが多い。

厚く黒い腐植層(1m近いものもある)から褐色の厚いB層へと明変しているのが形態的な特徴であって、厚い腐植層の上部、下部における腐植含有量の差は少なく(ふつうは上部が下部よりも多少は多い)その量はパーティゾルにおけると対比的に頗る多く10%以上のものも少なくない。

腐植の集積は火山灰が風化するさいに多量に生成されるアルミニウムおよび鉄の加水酸化物が腐植と結合するためと解されている。

洗滌的水分レジーム下にあるためカルシウムなどの塩基は洗脱され、全層酸性(PH 4~6)を呈する土壌が多い。

腐植の給源は禾本科植物にるものと考えられている。すなわち、森林下に生成されたものではなく、火山灰推積後の遷移植生である草原下に生成されたものとされている。