

南部パラグアイの苗畑土壤と堆肥製造

藤田桂治*・大高哲夫**

南部パラグアイ農林業開発技術協力の計画に係る短期専門家として、1984年に林業開発訓練センター（Centro de Desarrollo Forestal, 略称 CEDEFO）へ行く機会を得た。短期専門家としての業務は、CEDEFO 苗畑における土壤診断と堆肥作りである。すでに長期専門家として派遣されているリーダー山垣興三氏（現名古屋営林支局造林課長）によると、現在無肥料無堆肥で *Pinus elliottii* を育苗しているが今後も現状のまま苗木の生産が可能か、堆肥の必要性はないか、苗畑の施肥設計をどのように考えるのが問題であった。育苗問題として、苗畑の保水性を考え、また堆肥施用によっていわゆる裸根苗の養苗の可能性を秘めた育苗技術指針の作成が山垣氏の願望であった。本稿は以上の経緯から、とくに堆肥問題について述べることとする。

パラグアイの立地環境については、1985年に CEDEFO に派遣された落合圭次氏が、森林立地 No XXVI(2) に“パラグアイ南部の森林と土壤に関するメモ”として紹介されている。また、CEDEFO に関しては本誌 No. 9 で堀之内氏が紹介されておりここでは説明を省略する。

1. 苗畑土壤の特性

CEDEFO 周辺の土壤は FAO-UNESCO の分類によると、デストリックニツルの範囲に入るもので台地性の玄武岩を母材としている。非常に農業生産力の高い土壤であり、森林から農地に転換したあと、10年間は無肥料で農業ができると言われている。降雨による侵蝕を受け易いことが唯一の重要な制限因子である。この土壤は乾燥すると凝集力がなくなり、微細な赤い粉塵が舞い上がり、また、雨が降ると粘質になり、石礫を含まないため四輪駆動車も坂道では容易に走れない状態となる。

苗畑では盛夏には連日朝夕2回灌水されているが、透水性が悪く、灌水した水は通路に流出している。ポット用土は附近の林地土壤の表層を利用しているが、使用するときにはかなり乾燥し、粗大な土塊～土壤粒になっている。

苗畑土壤の理学的性質を採土円筒で調査したところ、孔隙量は56～60%を示し、粗孔隙量が30～35%を占める。容積重は130～140 g/100 ccを示し、堅密化しやす

FUJITA, Keiji and OHTAKA, Tetsuo: Composting and Soil Components in the Nursery. in Southern Paraguay.

* 農林水産省林業試験場九州支場

** CEDEFO 駐在長期派遣専門家

い土壌である。

苗畑土壌の化学的性質については簡易検定を行い検討してみた。無機態窒素としてアンモニア態窒素 2.5~3.8 mg/100 g と多く、農業生産性の高い土壌であることが裏付けられた。またカリウム、マグネシウム含有量も多い。pH は 5.0 で酸性土壌であり、林地表層土壌（ポット用土壌）では pH 5.5 を呈し、苗畑土壌が若干酸性が強かった。この他苗畑土壌は林地表層土壌に比べて、カルシウム、カリウム、マグネシウムともになん少く、塩基が流亡しているのではないかと考えられる。

以上のような土壌の理学的性、化学性の分析結果から、容積重を小さくし、保水力を高める土壌の理学的性の改良が必要と考えられた。ポット用土壌では粉碎モミガラとの混合によって、容積重は 70~80 g/100 cc になることが実験的に確かめられた。長期的観点からは苗畑土壌については、粉碎モミガラと堆肥の施用による土壌の膨軟化を計るべきである。土壌の透水性、保水力の改良によって、土壌の養分供給力の増大はニトソル土壌では十分期待できる。

ポット用土壌の改良については、粉碎モミガラ、堆肥などの混合比を変えたポット用土を作り、*Pinus elliottii* を植栽した試験を実施した。試験結果は好成績であった。

以上のように CEDEFO 苗畑土壌は土壌の理学的性を改良することによって、土壌からの養分供給力は増大するものと考えられる。土壌改良資材としては、完熟させた堆肥の施用が適切である。

2. 堆肥の製造

海外で造林事業を進めるに当たって苦労しているのが、ポット用土壌と堆肥の製造のようである。堆肥材料の入手困難が障害となる場合があるが、CEDEFO では堆肥材料としてノコ屑、プレーナ屑（CEDEFO では木材加工部門がありノコ屑は残廃材として未利用状態である）、粉碎モミガラ、サトウキビ桿、油桐実搾油粕、けいふんなどが準備されていた。

堆肥を製造する第 1 の条件は、有機質資材の C/N 比を 25~30 程度に低下させることであり、これには分解促進剤として窒素源が必要である。これにはけいふんが考えられた。第 2 の条件は発熱発酵促進資材であり、これには油桐実搾油粕が考えられた。油桐実搾油粕は自然発酵しており適切な資材であり、けいふんも発熱発酵資材として利用できる。第 3 の条件は堆肥材料の pH であり、酸性発酵は堆肥化を阻害する。準備された資材はすべて pH 6.0~7.0 程度で、堆肥化は可能なものと判断された。

(1) 堆肥材料の混合割合

堆肥材料の C・N 含有率を推定し、C/N 比 35 を目標に堆肥化を進めた。堆肥化過程では有機物の分解にともない炭素が放出され、重量の減少にともない C/N 比の低下するのが通常であるが、ノコ屑など難分解性の有機物では C/N 比の低下しにくいものもある。堆肥材料の混合割合と C/N 比の推定は表-1 に示すとおりである。

堆肥材料の混合割合は次のような点に配慮した。① ノコ屑、プレーナ屑は非常に分解困難な有機質資材であり、できるだけ混合割合を少なくし、40% 以内にとどめた。② ノコ屑以外にプレーナ屑を利用し堆積物の通気性を保つよう考慮した。③ 本堆肥は、ポット用土と混合して使用するため、けいふんの添加量を少量にとどめた（けいふんは堆肥化過程で分解しているが、未分解性物質が残存し、土壌と混合した後再び分解し CO_2 を発生し、苗木の根系生長を阻害することがある）。④ 水分は 70% 前後を目標とし堆積する。70% とは堆肥材料を手で握りしめたとき水分を十分感ずる程度で、水が滴下する状態は水分 80% 程度である。水分量は 70% より少なければ発熱発酵しやすい。また水分過多の場合には発熱発酵しない（水分過多若しくは、ち密に堆積された場合には下方より送風すると発熱発酵する）。

(2) 発熱発酵経過

発熱発酵経過を図-1 に示した。No. 1 は苗畑まきつけ床用堆肥として、けいふんの混合割合を多くしたもの（ノコ屑 400 kg、粉碎モミガラ 200 kg、油桐搾油粕 300 kg、けいふん 200 kg）。No. 2 は表-1 に示した混合比である。発熱発酵は順調に経過したものと思われる。切り返しは派遣期間を考慮し、1 週間後に実施したが、現実には第 1 回目は 2 週間経過後に、第 2 回目は 3~4 週間後程度と考えてよい。切り返し時には、散水し水分 70% に調整した。切り返し時に堆積物の中央部分は、褐色を呈し、若干臭気を放ち、嫌気の状態であった。また外周部分は黒褐色を呈し、白カビの発生も認められ、酸性発酵が懸念された。

(3) 堆肥材料及び堆肥の化学組成

堆肥材料及び堆肥（No. 2 と同じように再度堆積したもの）を分析した。分析結果は表-2 に示すとおりである。

堆肥の C/N 比は堆積時には約 30 を目標にしたが、堆肥の分析値は 40.9 であった。油桐実搾油粕及びけいふんの窒素含有濃度を 3% と推定したが、分析値は 2% 前後あり、この推定値の誤りが、堆肥の熟度に大きく関与している。また pH は 6.3 を示

表-1 堆肥材料の C/N 比推定値

種 類	重量kg	含有濃度 %		含有量 kg		C/N
		C	N	C	N	
ノ コ 屑 (有機質資材)	40	53	0.2	21.2	0.08	265
プレーナ屑 (有機質資材)	40	53	0.2	21.2	0.08	265
粉碎モミガラ (有機質資材)	40	30	0.1	12.0	0.04	300
サトウキビ桿 (有機質資材)	40	40	2.0	16.0	0.80	20
油桐実搾油粕 (有機質資材) 発酵促進材	40	35	3.0	14.0	1.20	11.7
けいふん (窒素質資材) 発酵促進材	20	30	3.0	6.0	0.60	10.0
合 計	220			90.4	2.80	32.2

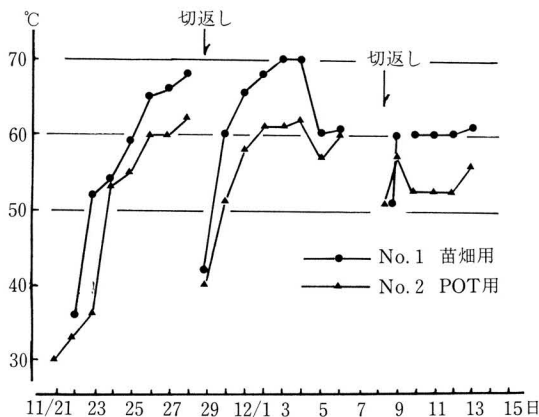


図-1 堆肥の発熱発酵経過

し、けいふん中に含有する石灰の影響で pH 7.0 前後を呈することを期待したが、期待はずれであった。従って一部酸性発酵し、これも堆肥の熟度に影響している。

油桐実搾油粕は発酵促進材として利用したが、有機物量も多く、また C/N 比 23.4 で、堆肥材料としては期待されたとおりであり、りん、カリウム、石灰、苦土ともに他の有機質資材より多く含んでおり、最も堆肥材料に適している。

モミガラは珪酸含量が多く、難分解性有機物とされているが、りんや石灰分を含有しており、捨て難い堆肥資材である。

(4) 堆肥の熟度

CEDEFO で製造した堆肥の良否、熟度について、木質物を含む国内産の数種類の堆肥と比較検討してみるとつぎのとおりである。

① C/N 比：堆肥施用後の有機物分解を考え、40.9 から 30 前後迄下げる必要がある。熱帯性気候であり、有機物分解は早く、分解時に土壤中の窒素を利用するため、窒素必要量を添加し、C/N 比の調整が必要である。

② 有機物量：堆肥施用の目的は分解しやすい有機物を供給し、腐植化を促し、土

表-2 パラグアイにおける堆肥材料及堆肥の化学組成

種 類	pH	有機物 %	全炭素 C %	全窒素 N %	NH ₄ -N ppm	NO ₃ -N ppm	P %	K %	Ca %	Mg %
ノ コ 屑	5.2	94.1	54.6	0.14	21	1	—	0.1	0.2	—
ブ レ ー ナ 屑	6.1	94.6	54.9	0.34	28	3	—	—	0.4	—
粉碎モミガラ	7.1	23.5	13.6	0.05	9	10	0.14	—	0.3	—
油桐実搾油粕	6.0	86.8	50.3	2.15	8	73	0.23	1.0	0.8	0.3
サトウキビ桿	5.0	50.7	29.4	1.49	80	121	0.30	0.3	0.6	0.2
け い ふ ん	8.1	51.1	29.6	1.90	753	25	1.76	1.6	4.7	0.5
堆 肥	6.3	65.6	38.0	0.93	89	49	0.60	0.7	1.8	0.3

壤改良することであるが、CEDEFO の堆肥は 65.6% の有機物を含有しており、堆肥としての有機物は十分な量とみられる。むしろ、国内産パーク堆肥の 80% 以上の有機物は難分解性有機物量が多いと見なすべきであろう。

③ pH: 堆肥としては 6.3 は悪いとは云い難いが、堆肥化過程で酸性発酵している可能性が指摘される。むしろ、pH 7 程度になっているならば、腐植化はさらに進行したものと推定される。

④ 窒素有機化量: 木質物を含む堆肥は C/N 比が大きく、土壤へ施用した後、分解が進行し分解にともなう微生物の繁殖が窒素をとり込み、植物体に窒素飢餓を生ずる恐れがあると云われてきた。このため、木質物の堆肥化には窒素を添加し、C/N 比を 30 前後以下に調整しなければならないとされてきた。このような観点から、木質物を含む各種堆肥の窒素有機化量を実験的に求めて比較検討した。実験方法は土壤に検定用堆肥と硫酸を添加し、30°C 水分 60% (供試土壤の最大容水量の 60%) で 4 週間培養し、次式によって窒素有機化量を求めた。

$$\text{N 有機化量} = (\text{土壤} + \text{硫酸}) - (\text{土壤} + \text{堆肥} + \text{硫酸})$$

(乾土 100 g 当り Nmg 数)

実験結果は表-3 に示すとおりであり、稲ワラ堆肥でも窒素の有機化現象が認められた。パーク堆肥では有機化量の多いものと少ないものとがあった。また、豚ふんノコ屑堆肥では、むしろ培養によって窒素の無機化作用が促進された (マイナス値は窒素の無機化量を表す)。このように窒素の有機化量は C/N 比に関係なく現れており、パーク堆肥 B では 7.53 mg/100 g と有機化が最も多く、キュウリによる培土資材検定ではクロロシス症状 (窒素飢餓症状) を起こしており、堆肥としては未熟状態であることが確められている。実験的には添加した硫酸の 23.5% が有機化されている。また同様に 16.5% を有機化したパーク堆肥では、キュウリによる培土資材検定ではクロロシス症状は認められなかった。CEDEFO の堆肥は添加した硫酸の 19.5% が有機化され、すでに植栽している *Pinus elliottii* は、堆肥の施用によって生長が増加している。

CEDEFO で製造した堆肥は、堆積期間は短かく、品質的には熟度指標からは完熟したとは云い難いが、どうにか利用できる堆肥である。すでにポット育苗に利用し、好成績をあげており、ポット土壤の保水力、窒素供給力が向上した結果とみられる。

堆肥作りにはいろいろ考えさせられる面も多く、私なりに考え方を以下のように述べさせていただくこととする。

4. 堆肥の製法と今後の問題点

(1) CEDEFO 苗畑の堆肥の製法と反省点

前述のように堆肥材料及び堆肥の化学分析結果から、C/N 比が予想に反し大きい結果を示し、また、堆肥の熟度指標として窒素の有機化量も大きい値を示した。堆肥は C/N 比を 30 前後に調整し堆積することによって、熟成されるものと考えられる。C/N 比の調整は以下のとおりである。

表-3 堆肥の熟度指標

種 類	C/N	pH	有機物%	窒素有機化量 Nmg/100g 土壌	電気伝導度 EC ms
パラグアイ堆肥	40.9	6.3	65.6	5.36	1.87
稲ワラ堆肥	19.9	9.1	53.8	1.89	2.29
豚ふんノコ屑堆肥	20.3	7.0	76.8	-3.20	4.13
バーク堆肥 A	29.5	7.2	85.4	0.90	0.48
バーク堆肥 B	35.4	6.5	87.7	7.53	0.69

全炭素 (C) 38.0%, 全窒素 (N) 0.93 C/N 30=38.0÷x x=1.26 N≒1.3%
であれば C/N 比は 30 となる。現在 N 0.93% であり、1.30-0.93=0.4% となり、
堆肥材料の窒素を 0.4% 上昇させる。0.4% 上昇させるに要する窒素量は、

$$\text{堆肥材料 } 1000 \text{ kg} \times \frac{0.4}{100} = 4 \text{ kg}$$

$$(\text{実際は } 220 \text{ kg} \times \frac{0.4}{100} = 0.88 \text{ kg 表-1 の場合})$$

$$\text{硫酸を使用する場合は } 4 \text{ kg} \times \frac{100}{21} = 19 \text{ kg 硫酸}$$

$$\text{尿素を使用する場合は } 4 \text{ kg} \times \frac{100}{46} = 9 \text{ kg 尿素}$$

$$\text{けいふんを使用する場合には } 4 \text{ kg} \times \frac{100}{2} = 200 \text{ kg けいふん}$$

以上のように算出される。けいふんは土壌中で二次発酵する場合もあり、多量施用は十分注意しなければならない。

C/N 比の調整：前述のように堆肥化の際の C/N 比の推定は重要な机上作業であり、有機質資材の C/N 比は表-4 によって推定される。C, N に限り国内外ともそれほど大きな差はないが、けいふんや家畜ふん尿に含有される N 濃度は飼料によってかなり異なっている。堆肥の C/N は大まかに推定してさしつかえないが、堆肥化にともなって炭素は放出され、重量の減少にともなって C/N 比の低下するのが一般的である。

窒素有機化量：CEDEFO の堆肥は窒素有機化量も多く、決して完熟した堆肥とは云い難い。堆積期間を長期化し後熟させる必要がある。ノコ屑等の木質物は中温～低温 (30℃) で有機物分解は進行するので後熟させなければならない。前述の C/N 比が熟成に大きく関連している。

pH の調整：堆肥材料の pH からみて弱い酸性発酵をしたことは、否めない事実であろう。堆肥材料として難分解性のノコ屑等木質物の pH 調整と組織の柔軟化が重要であり、石灰乳の散布を考えるべきである。この点については後述することとする。

表-4 各種有機質資材の C, N 濃度 (風乾物)

種 類	有機物 %	全炭素 C %	全窒素 N %	C/N
陸 稲 稈	77.6	61.1	0.97	62.9
水 稲 稈	78.6	61.9	0.62	99.8
コ ム ギ 稈	81.1	63.8	0.48	132.9
トウモロコシ稈	80.5	63.3	0.48	131.8
粟 稈	76.6	60.3	0.91	66.2
大 豆 茎	82.8	65.1	1.31	49.6
野 草	80.5	63.3	1.20	52.7
サトウキビ稈	50.7	29.4	1.49	19.7
モ ミ ガ ラ	45.0	13.6	0.05	272.0
ノ コ 屑	67.3	53.0	0.20	265.0
落葉 (広葉樹)	81.0	63.7	0.85	67.0
落葉 (マツ類)	78.0	61.4	0.80	76.7

(2) 木質物を含む資材の堆肥化

イ. 従来のノコ屑堆肥 ノコ屑堆肥は昭和 30 年代の後半から、ノコ屑にけいふんを混合し、発熱発酵し堆肥化したものが利用されてきた。発熱発酵法による堆肥化は古くから行われており、好熱性細菌による有機物の分解作用を利用した方法である。植村博士はノコ屑分解菌としてワイルド氏の発表したヒトヨタケ属のキノコ、ナガネノヒトヨタケ、コキララタケなどを接種し、堆肥化を試みたが接種した菌の生育が期待されないため、発熱発酵法による堆肥化を進めた。しかし、ノコ屑堆肥が利用され始めてから数年経過し、施用苗畑土壌でノコ屑が残存し、土壌が乾燥したときには菌糸が繁殖し水をはねつける現象が起こり、あるいは、根切虫の被害が発生することなどから、ノコ屑堆肥の使用は激減した。今考えると堆肥の熟度に問題があったものと思われる。

ロ. 現在のノコ屑堆肥 昭和 40 年代の後半から、ノコ屑は畜舎の敷料として利用され、発酵牛ふん堆肥、けいふん堆肥として広く販売されている。ノコ屑や粉碎パークは吸水性が強く、敷料として古くから利用されてきた稲ワラよりも吸水性は大きい。家畜ふん尿中とくに尿の中には多量の窒素成分が含まれ、ノコ屑の中に十分窒素を吸収しており、容易に堆肥化させている。すでに 10 数年農作物の栽培に施用されているが、窒素の有機化現象などについての問題は提起されていない。

いわゆるノコ屑堆肥は 100% のノコ屑を堆肥化したものであるが、敷料として利用したノコ屑は 40~50% で、残りが家畜ふん尿である。この差が堆肥としての熟度に大きく影響している。品質としてはノコ屑に窒素を含浸させた化学的処理方法に近い利用方法である。

ハ. これからの木質物を含む資材の堆肥化 堆肥材料としてのノコ屑や粉碎パーク

は有機物含量も高く、好適な有機質資材である。しかし、リグニン含量が多く難分解性の有機質資材として堆肥材料としては利用されなかった。

一方、樹皮も難分解性の木質資材であるが、10 数年間堆積放置された樹皮を粉碎し、けいふんや尿素を添加し、発熱発酵したものがパーク堆肥として利用されている。

さて、堆肥を作ることは古来からすでに進められてきた農業技術であって、厩肥を人為的に作ったものを堆肥と呼んでいる。昭和年代初期には農林省農事試験場から、標準硫酸堆肥の製造方法がつぎのように提案されている。

仮積：稿稈類の組織を柔軟にし、酸性発酵を防止するため、石灰乳を漏水しない程度に灌ぎ、本積迄放置する。消石灰は消石灰 5 貫に水 150 貫（3 石）を加えて作る。堆積後 7～10 日位で消石灰は炭酸石灰に変化し、反応は中性となる。

本積：仮積によって予備発酵の終了したものを切り崩し、十分灌水し、微生物の栄養分たる窒素を添加し再堆積する。

以上のように速成堆肥の作り方が提案されているが、何故か石灰乳の散布を省略し、けいふん混合による堆肥化が進んでいる。けいふん中には 8～10% の石灰を含有しており、酸性物質は堆積中に次第に中和されており、石灰乳の散布を省略したものと思われる。しかし、石灰乳の効果は組織を柔軟にし吸水性を向上させ、酸性発酵を防止することであり、事前処理することの有効性を認識すべきである。

難分解性の有機物はそのまま土壤に未分解のまま残存する恐れがあり注意すべきである。筆者は農作物残査 60%、ノコ屑 40% 程度の堆肥を作ることを提案したい。またノコ屑は事前に石灰処理を施し、約 1 か月間程度の仮積をし、農作物残査の切断したものと混合し、窒素源を添加し本堆積する堆肥化方法が適切と考えられる。

前述のように石灰乳の散布は材料 100 貫（375 kg）に対し、消石灰 5 貫（18.75 kg）を水 3 石（540 l）に混入し散布する。粉碎パークにこの所定量を散布したか、1 か月後にアルカリ反応を呈し、組織に含浸した消石灰は炭酸石灰に変化していなかった。恐らく通気性の不良によるものと思われる。その後、ノコ屑や粉碎パーク 1 ton に対し 20～30 kg の石灰乳を散布した結果は良く、アルカリ反応から中和状態を呈し、組織の柔軟化も確められた。通気性を保てるならば 30～40 kg 石灰乳の散布も可能なものと思われる。

(3) 熱帯地方の堆肥の製法と利用法

イ. 苗畑の堆肥の必要性 高温多湿地帯での土壤中の有機物の消耗は大きい。堆肥の施用は、土壤微生物の繁殖を促し、植物体の養分吸収に深く関与している。また、堆肥の施用は土壤中の腐植含量を増加させ、この腐植が土壤を膨軟にし、容積重を低くするとともに凝集力、粘着力を減じ団粒構造を形成する。団粒構造の発達とともに土壤の保水力は増大する。苗畑土壤として、堆肥はとくにまきつけ床では細根の発達した苗木生産に欠くことのできない有効資材である。

堆肥材料としての農作物残査の入手困難な場合は、難分解性のノコ屑の堆肥化は至難なものと考えてよい。ノコ屑の割合を少量にし、野草類を収集し、干草として利用することも可能である。木質物は単独では堆肥化しにくい、センイ質の野草類の分

解過程で分解菌が増殖し、ノコ屑も同時に分解されるプライミング効果 (Priming effect) を期待すべきである。

ロ、ポット育苗と堆肥 熱帯地方では多くの場合ポット育苗されている。ポット用土壌は人工培土であり、① 保水性の大きい土壌を調製し、② 肥料成分は事前に施し、土壌と肥料を十分なじませることが必要である。保水性を高めるには、完熟した堆肥と土壌の混合が望ましい。また、ポット用土の肥料濃度が高ければ“肥料やけ”を起こす恐れもある。このためにも堆肥が必要である。

マツ類のポット育苗にはポット用土としてマツ類の菌糸束の発達した土壌の混合は効果的である。この場合には、土壌、菌根菌土壌、堆肥を混合し、低温条件下での培養が有効である。菌根菌の肥料的效果は大きい。また培養土に木炭粉末の混合も可能である。木炭粉末はすでに土壌改良資材として認定されており、また、菌根菌の発達に適した資材である。

以上 CEDEFO 苗畑での堆肥作りの経験から主として木質物を含む有機質資材の堆肥化について述べさせていただいた。堆肥の作り方はすでに確立されているが、リグニン含量の多い難分解性木質物は堆肥資材として取除かれていた。とくに熱帯性樹種は水溶性物質も多く、石灰処理によって生長阻害物質を取り除くことも重要である。堆肥作りやポット用土壌について海外派遣専門家の参考になれば幸いである。

新刊紹介

◎マングローブの植物学 (P.B. Tomlinson: The Botany of Mangroves, 413 pp., 1986. Cambridge Univ. Press, London. \$ 69. 50) マングローブに関する研究はひじょうに多いが、全体を知ることができるものは少ない。世界的に有名なマレー半島のマングローブについては J. G. Watson: Mangrove Forests of the Malay Peninsula (1928) があるが、これは今日では入手しにくいし、内容的にも古くなっている。本書は2編に分けられ、はじめの170ページまでは生態、植物地理、樹木の形態および生理、用途などについて概観される。ついで171ページ以下の後半ではマングローブを形成する種子植物35科58属106種、シダ植物1属3種が科別にとりあげられ、豊富な写真、図を用いて種の特徴などが記載されている。多数の文献が引用され、最近の研究を知る手がかりになるのもありがたい。(緒方 健)