

マングローブ林の生態

荻野和彦

はじめに

マングローブ林は熱帯、亜熱帯の沿岸域に生育する大型の森林植生で、十分発達したものでは樹高が 40 m をこえるものもある。沿岸域は生物の生息環境として、陸の生物にとっても、海の生物にとっても特殊な条件のもとにある。そのため種類相は必ずしも豊富とはいえない。しかしここに発達する生態系は陸にも、海にもない独特の生物過程をもっている。

見た目には森林であるから、マングローブ林の取扱いは、陸上の森林のそれから類推して、計画、実行されてきた。しかし沿岸の森林は陸上の森林と同じではないから、独特の扱いをしなければならないことが、最近ようやく明らかになってきた。筆者は 1980 年いらい、南、東南アジアあるいは大洋州のマングローブ林の調査をおこなう機会をえた（例えば OGINO *et al.*, 1988）。小論はこれまでにえられた成果の一部を紹介するものである。

調査は文部省科学研究費海外学術研究、日本学術振興会の拠点大学方式による学術交流計画によっておこなわれた。東京農業大学総合研究所杉二郎名誉教授（現文理情報短期大学長）、タイ国科学技術エネルギー省次官サンガ・サバシ博士らの日・タイ共同研究計画が端緒となった。インドネシア科学院アプリラニ・スギアルト博士の支援も忘れることはできない。現地調査は日本およびアジア・太平洋諸国の研究者の参加のもとにおこなわれた。多くの人々の協力に厚くお礼申しあげる。

マングローブ林研究の必要性

日本のマングローブ林は南西諸島から南九州にかけて、地理的な分布の北限をつくりだしている。分布面積は小さく、資源価値も高くは評価されていない。わずかに海に生える森林の特異な景観が人目をひくにすぎない。

けれども世界的には木材、エネルギー、食料のほか、最近では医薬原料などの生物資源としても注目されている。土地保全、環境保護、水産資源のかん養などにも重要な役割をになっている。

熱帯・亜熱帯の沿岸域には早くから集落が発達し、人々は内陸より海の近くに住んでいた。マングローブ林域の伝統社会は人間の水棲社会ともいうべく、生活は海・陸にまたがった自然に依存していた。それ故かれらの社会生活は海と陸の自然生態系にささえられ社会・自然系を形成していたといつてよい。自然が持続的である限り、社会も安定した基盤にたっていた。自然の用途は多機能的、多目的であった。生産物の流通もおこなわれていたが、その規模は小さく局部的、限定的であった。

近年、この社会に著しい変化が認められるようになった。人口増加と外部社会との交流拡大である。人口増加はこの社会自身の人口の自然増と外部からの流入がある。生活の基本的な技術レベルはなお伝統社会のそれと大差ないにしても、交通手段や道具類の機械化は確実にすすんでいる。経済の貨幣化もあわせて拡大していった。伝統的な社会・自然系に自然を操作する装置が入りこみ、社会・装置・自然系が形成されるにいたった。自然の開発過程が機械化、技術化するにともない生産過程の単純化、生産目的の単一化がはかれるようになった。結果的に生態系への干渉、攪乱の規模が増大した。自然の自己再生力にまかせていたのではまにあわないところまできてしまった。利用目的にあわせた適切な生態管理、生物資源の培養、経営技術の確立がもとめられるのである。

外部社会の開発圧も確実に増大している。マングローブ林域にも都市化、工業化の波が押しよせている。マングローブ林をすっかり別の目的のためにつくりかえることが、適正かどうか、社会生態系の問題として、あるいは人類の将来計画の課題として論じなければならないが、小論の範囲をこえるので、ここでは問題の指摘だけにとどめておく。

マングローブ林の面積、その著しい減少傾向

マングローブ林の面積は表-1 (FAO 1982) にみるとおり、1980年に地球上に現存する天然林の約1.3%を占める。総計1,500万haのうち、熱帯アジアに41%、中・南米に37%、アフリカに22%が分布する。熱帯アジアでは大陸部沿岸にも島嶼部にもみられるが、面積的には後者が重要である。

タイのマングローブ林は大陸部の特徴も、島嶼部の特徴もそなえている。表-2にみるとおり、経年的な面積データが発表されている。年度によって面積算出の方法が



写真-1 東インドネシア・ハルマヘラ島のマングローブ林、最大樹高 39 m 胸高直径 51 cm という大型の林分である (1986年9月 藤間剛撮影)。

表-1 世界のマングローブ林、天然林の面積（1980年現在）

	マングローブ林	天然林
中南米	5,781 千 ha	678,655 千 ha
アフリカ	3,402	216,634
アジア	6,279	305,510
合計	15,462	1,200,799

(出典) J. P. LANLY : Tropical forest resources, FAO Forestry Paper 30, 1982, 106pp.

表-2 タイのマングローブ林面積、最近の動向

	1961年	1973年	1978年
半島部西海岸	231,400 ha	191,700 ha	146,734 ha
半島部東海岸	104,500	35,900	7,268
タイ湾沿岸	2,200	42,900	0
東部沿岸	30,000	42,000	21,862
合計	368,100	312,700	175,864

(出典) FAO : Management and utilization of mangroves in Asia and Pacific, FAO Environment Paper 3, 1982, 160pp.

異なるから細かい数値の比較はできないにしても、マングローブ林面積の確実な衰退ぶりを読みとることができる。1961年から1973年の12年間より1973年から1978年の5年間の方が著しい面積減を示す。この勢は1980年代に入っても衰えていない。筆者らは1981年、南タイ西海岸ラノンのマングローブ林の現存量調査をおこない、生長量測定のための永久プロットを設置した。数十本の大径木にデンドロメータを装着して、観測を始めた。付近の天然林で炭焼原木の伐採が始まっていたので、もしやという懸念がないではなかったが、1年後このプロットの一部が切られているのが見つかった。デンドロメータは十数本に減っていた。さらに1年後、プロット内の大径木はすべて姿を消してしまった (JINTANA *et al.*, 1985)。

マラヤ半島沿岸には錫鉱床が発達している。錫鉱の採掘は原石を付近の土砂といっしょに掘りあげ、流水によって比重選鉱をおこなう。鉱床に沿って大規模な「天地がえし」をおこなったようなことになる。植生はくつがえされ、掘りとった土砂は河川に放出される。下流部では大量の土砂が堆積し、たちまち河床が隆起する。マングローブもすっかり埋めつくされてしまう。錫鉱の開発もマングローブ林面積の減少に力をかしている。

インドネシアの中部ジャワ南岸のチラチャップはかつて数万 ha におよぶ広大なマングローブ林が発達していた。燃料、特に蒸気機関車の燃料としてマングローブ林の開発が始まり、1950年代に姿を消しはじめて、いまでは辛うじて伐痕にかつての面



写真-2 中部ジャワ南岸チラチャップに近いカンボン・ラウト(海の村)かつて杭上家屋が沼沢湖セガル・アナカンにたっていたが、陸地化しようとしている(1988年8月撮影)。



写真-3 *Rhizophora apiculata* の人工造林地 12年生で樹高 14-18 m, 胸高直径 12-20 cm に達する好成绩地の例(1988年8月撮影)。

影をとどめるにすぎなくなってしまう。汽水性の沼沢湖セガル・アナカンにはカンボン・ラウト(海の村)とよばれる集落がある。かつて湖の上に杭上家屋をたてて住んでいた。近年沼沢湖の陸化がすすみ水上家屋が陸上家屋化しつつある。海の村という呼び名も別の名におきかえられようとしている。上流域の開発が沿岸域に影響をおよぼした例である。生活は依然としてエビ・カニ・魚を対象とする漁民である。漁具としてマングローブ林の小径木(直径4~5 cm, 長さ4~6 m)を大量に消費する。*Rhizophora* spp., *Bruguiera* spp. が好んで利用される。漁獲量がおちると薪を切って町へ売りにいく。漁獲量が減ったのはマングローブ林が減ったためだというが、薪取りによって、さらにマングローブ林の減少に拍車がかかる。いったんできあがった町との交流ルートは、マングローブの需要を増やすことはあっても減らすことはない。

上にいくつかの例をみたように、マングローブ林は内外の要因によって、急速に姿を消している。国家レベルでの対策も真剣に検討され始めた。インドネシア林業公社はチラチャップの広大なマングローブ跡地の再造林プロジェクトに着手した。1970年代の後半に実行され始めたこの計画によって、古いものでは10年生をこえる造林地ができています。1980年代に入ると対象面積が飛躍的に増大した。アグロフォレストリーのマングローブ版ともいって、アクアフォレストリーも試みられている。

いろいろな試みのなかで、造林初期の成果がではじめているといつてよい。あるものはいい成績をおさめ、植栽後12年で胸高直径12~20 cm, 樹高14~18 mに達している。造林地内に竹で組んだプラットフォームを設け、遊歩道をめぐらし、新しく観光開発を試みることも検討されている。

これに対し、植付けたものの生育状況ははかばかしくなく、成林が危ぶまれるもの

も少なくない。マングローブ林は多機能性の故に多目的利用が期待されているが、再造林のために重要と思われるマングローブ林の生態について次に述べる。

階層構造と立木密度

東インドネシアのハルマヘラ島で調査したマングローブ林は蛇行した小さい河口の堆積物の上に発達したもので、海側から *Sonneratia* 帯、海岸に沿って幅のせまい砂丘植生、*Hibiscus* 帯、その奥に *Rhizophora-Bruguiera* 帯さらに *R. stylosa-Nipa* 帯とつづいていた。樹高、胸高径、立木密度の点からみてもっとも発達しているのは *Rhizophora-Bruguiera* 帯である。やや低地、泥質湿地には *Rhizophora* spp. が、砂質のやや凸地には *Bruguiera* spp. があらわれる。

大径・高木の *Rhizophora apiculata* が 35 m 付近に閉鎖した林冠層を形成している。大きいものでは支持根の高さが 2 m をこえる。この層の立木密度は 410~760 本/ha であった。第 2 層は 15~20 m の高さにある。連続した層を形成しているとはいえない。高木層の穴を埋めるように局部的にはかなり高密度になる。下層の 2~4 m、胸高直径 5 cm 以下のものになると飛躍的に立木密度が高くなる。7,200~28,000 本/ha を数えた。ほとんどが *R. apiculata* 又は *B. gymnorhiza* の幼樹である。

胸高直径-樹高の関係を調べたところ、小径木の樹高が高いことが特徴的であった。胸高直径 3~5 cm の胸高係数は 140~145 で、これは木というより竹竿にちかい。漁具に利用されるのはこのサイズのものである。密化する下層木は自立できないので、上層の大径木が切られると、このギャップにむけて下層木は頭を傾けて倒れかかる。

天然林では、2~3層の階層構造を示すことが多いが、人工林のばあい階層分化はなかなかおこらないようである。かなり高密度に仕立てても自然間引きがおこらない。チラチャップで測定した 12 年生の *R. apiculata* 林の植栽間隔は 1×2 m、2×3 m であった。立木本数にすると 5,000 本/ha、又は 1,700 本/ha である。樹高は既に 14~18 m、胸高直径 12~20 cm に達しているから、林冠は完全に閉鎖し、林内はほとんどに暗い。けれども下枝の枯れあがりが見とめられる程度で、立枯れに至っているものはきわめて少ない。

だから平均個体重（又は材積）と立木密度の関係をグラフにあらわすと、最多密度曲線の勾配が $-3/2$ より緩くなる。天然林と人工林の間には $3/2$ 乗則は成立しないこととなる。面積あたり収量は 20 年生の人工林の蓄積が、樹高 40 m、胸高直径 60 cm の大径材を含む天然林の蓄積と匹敵するという測定例もある。

マングローブ林の主要な用途は薪炭材である。南タイ西海岸部では天然林から大径材を切りだしているが、炭焼窯が大型になるうえ、原木の径級が不揃いいため製品の品質がいまひとつという難点がある。原木の径級をそろえるだけでかなりの品質向上が期待されるはずである。小径材を利用すれば窯の小型化が可能になり、品質管理はずっと容易になるにちがいない。

薪炭林に要求されるのは、面積あたりの炭素量をできるだけ多くすることである。

Rhizophora 林の示す特徴を考えると、思いきった超高密度植栽によって、短期間に高収量を与えることができるように思える。将来用材利用あるいは化学成分の抽出などの必要にそなえ、大径材生産をプログラムのなかに盛込んでおくことは必要であるとしても、人工林を超高密度から出発することは至極妥当なことにちがいない (KONGSANGCHAI, 1988)。

地上部現存量

地上部現存量は刈取法や相対生長法によって推定されてきた。筆者らが南タイ、東インドネシアで調査した結果、現存量推定の基礎となる相対生長式は地域差より、樹種差が大きいことが認められた。例えば *R. apiculata* と *B. gymnorhiza* では葉量、枝量のつきかたが対照的である。前者では葉は樹冠の上部にかたまり、その量は少ないのに、後者では深い樹冠をつくり、その量も多い。樹種による生産構造のちがいは、生産過程のちがいを示すもので、人工林技術を考えるうえで重要である。

有機物の蓄積量として、南タイでは地上部現存量が 698 ton/ha、東インドネシアでは 357~436 ton/ha と算出された。成熟した熱帯林では 250~350 ton/ha、ときに 650 ton/ha、暖温帯林で 150-250 ton/ha、ときに 380 ton/ha という報告例がある。十分発達したマングローブ林は陸上森林と資源的にも十分比較できるだけの現存量をもっていることがわかる (KOMIYAMA *et al.*, 1988)。

地下部現存量

地下部現存量の推定は相対生長法やソイルブロック法によっておこなわれてきた。相対生長法は根株をひきぬき、単木ごとの根量を測定し、サイズ-根量関係式を相対生長式として用いる。この方法の問題点は根をひきぬくとき細根がちぎれ、土壤中に残ることである。細根量が無視できる程度に小さければいいとしても、マングローブ林のように細根が総根量の数十パーセントを占めるような場合 (TABUCHI *et al.*, 1983)、この方法は真の根量を与えない。

ソイルブロック法は一定量の土壤を掘りとり、含まれる根を洗いだし、土壤容積あたりの根量-根密度をもとめ、面積的に積算して根量を計算する。小見山ら (KOMIYAMA *et al.*, 1987) はこの方法を改良し、根密度分布モデルを考案した。この方法によると土壤中の根量を細大もらさず測定することができる。

南タイの測定例は根総量が 509 ton/ha、地上根 82 ton/ha、地下根 427 ton/ha のうち 2 mm 以下の細根が 46.4% を占めていた。細根が量的に無視できないことを示すと同時に、根量の測定値としては驚くべき数値であった。

地上部と地下部の比 (T/R 比) をみると、陸上の森林のばあい温帯林で 3~5、熱帯林で 5~6、ときに 10 をこえる例がある。マングローブ林では 0.4~0.8 という例が多い。東インドネシアで 1.4~4.4 という値をえたが、これらは例外的とさえいえるものであった (KOMIYAMA *et al.*, 1988)。

マングローブ林は地下部にも大量の有機物を集積していることを物語っている。細

根は地下部のかなり深くまで分布するが、もっとも多いのは表面に近いところ、せいぜい 40~50 cm までのところにみられることが多い。細根が互いにかみあい、ぎっしりとおつまったマットを形成する。軟弱な泥、湿地で物理的な支持力をえるため、根はしっかりとほらねばならないのであろう。

土壌と土壌水

マングローブ林の土壌は多かれ少なかれ海水の影響をうける。東インドネシアのハルマヘラで微地形と潮汐の関係を詳しくみたところ、微地形による冠水区分ができることがわかった。小潮の満潮時に冠水するところ、通常の大潮の満潮時に冠水するところ、通常の大潮の満潮時には冠水しないが春秋分付近の満潮時には冠水するなどの区分がそれである。WATSON (1928) は満潮位を 5 区分して、冠水区分による種分布の帯状構造を説明しようと試みた。

土壌の海水による影響は地盤高だけでなく、透水性や地下水脈の発達のみにもかたにもよる。大潮の時にのみ冠水するところも、地下水位の変動しやすいところと変動しないところでは土壌水の性質がすっかり異なる。土壌水が停滞するところでは土壌中の有機物が分解過程で消費する酸素をまかなえないため還元的、酸欠状態をつくりだす。冠水区分と土壌水の可動性をあわせて、土壌水の酸化還元電位 (Eh) を測定した例を図-1 に示す。S は小潮の満潮時に冠水する海側の低地で、*Sonneratia* spp. の優占するところ、Ra は大潮の満潮時にのみ冠水するが土壌水が停滞的であるところで、*R. apiculata* が優占する。Rs は *R. stylosa* が優占し、土壌水は可動性に富み、冠水しないときには地下水位が低くなる。土壌の表面付近は冠水頻度にかかわらず、いずれもかなり高い値を示し、酸化的であることを示す。土壌水の停滞する Ra 帯は、例外なく土壌の深さが 20 cm をこえると還元的であった。S 帯ではときに還元

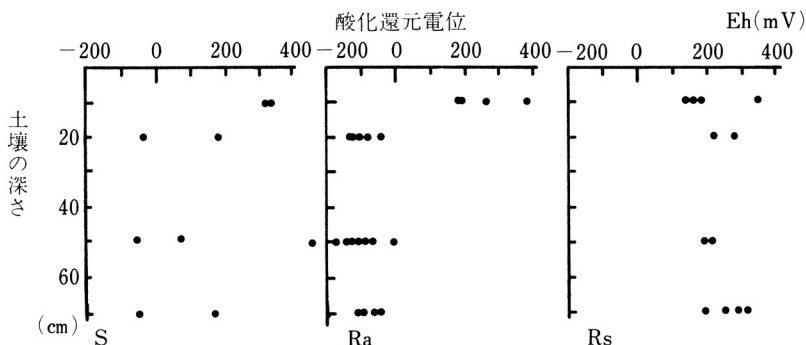


図-1 土壌の深さ (タテ軸) と酸化還元電位 (Eh)

S: *Sonneratia* 帯 冠水頻度が高い

Ra: *Rhizophora apiculata* 帯 土壌水が停滞する

Rs: *Rhizophora stylosa* 帯 土壌水が流動的である

(藤間剛原図)

的、ときに酸化的、Rs 帯では 70 cm の深さでもかなり高い酸化還元電位を示した。海水は 300 mV 以上の電位をもっているから、新鮮な海水が冠水するところは、酸素の供給があると考えてよい。地下水位の低下するところでも土壤中に空気がひきこまれるとみられるであろう。

還元状態は生物にとって、酸素欠乏という好ましくない環境条件をつくりだすだけではない。土壤の化学過程にもつよく関与する。還元状態下では海水又は汽水中の硫酸根が有機物の存在下で還元され、硫化水素が発生したり、いろいろな栄養塩類を硫化物として沈殿させる。硫酸還元によるパイライト (FeS_2) の生成・蓄積である。蓄積したパイライトは酸素の存在下で、容易に酸化され、特に微生物によりこの過程は促進され硫酸が生成する。

マングローブ土壤で十分水が与えられていると、表層から下層まで採取時の pH はほぼ 7 付近にある。土壤水が停滞して還元状態にあったところの土壤を乾燥させると、pH は急速に低下して激しい酸性を示す (図-2)。土壤水が流動的で酸化的であったところではこのような酸性化はそれほど顕著にはおこらない。その現象は酸性硫酸塩土壤の生成として、海水の影響をうける沿岸土壤の農業開発に際して大きな問題と考えられてきた。

根量、とくに細根の土壤中での分布に注目すると、土壤水が停滞的で還元状態にある Ra 帯では、根は深いところへはのびず、地表付近にルートマットを形成する。S 帯や Rs 帯はより深い層まで細根が侵入しているのがみられる。

植物・土壤・水文相互作用系としてのマングローブ林生態系

以上述べてきたところから、筆者のマングローブ林生態系に対する見方はほぼわかりいただいたものと思う。

マングローブ林は陸上の森林では考えられないほど微地形、とくに地盤高の影響をうける。冠水頻度、土壤の透水性、地下水脈の発達など水文環境がマングローブ林生

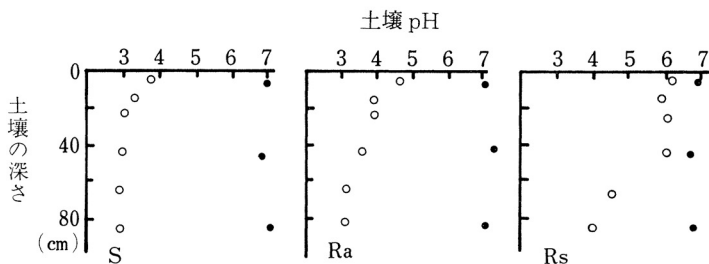


図-2 土壤の深さ(タテ軸)と pH
S, Ra, Rs などの植生帯区分は図-1 と同じ 黒丸：採取時
白丸：乾燥土壤試料 いずれも脱イオン水懸濁 (藤間剛原図)

態系の生物生存条件をきめている。土・水の物理過程が土・水の化学過程をきめ、それが土・植物の生物過程をきめている。ここには触れなかったが動物の活動が土・水の物理過程を左右することもある。つまり植物・土壌・水文の三者は相互依存的に働きあっている。マングローブ林生態系はこの三者の相互作用系として理解する必要がある。

人為的な干渉が働くと、たとえそれが林業的には、つまり陸上の森林を扱う感覚では軽微な干渉であって、森林の自己再生力の範囲のなかと思えるものであっても、マングローブ林のばあいは生態系の存続、持続的な再生のための条件をも変えてしまいかねない。根系の発達、落葉落枝の堆積など有機物の集積した土壌に水が停滞すると、還元状態を現出し、硫化物の生成・蓄積がすすむ。冠水頻度が高ければ、塩分濃度は水の塩分濃度に保たれる。冠水頻度が低ければ土壌表面で塩分の濃縮がおり、冠水時に洗脱される。根系の発達は土壌中の酸化還元状態と密接に関係する。

マングローブ林生態系は土壌あるいは土壌水の酸化-還元状態、高濃度塩分-低濃度塩分、酸性-中性反応、植生の発達-退行という変化を自己再生が可能なかぎり可逆的な過程として、相互作用系をつくりあげている。相互作用による可逆性、生態系のバランスがどこでくずれるかについてのフィールドデータはまだないといつてよい。

マングローブ林は人工林による超高密栽培によって、早期高収穫を実現する可能性のあることを示唆したが、このような人工林生態系が自己再生的相互作用系でありうるかどうか、明確な解答はまだないけれど、問題のありかははっきりしてきたと思えるのである。

- 〔参考文献〕 1) FAO (1982): Management and utilization of mangroves in Asia and Pacific, FAO Environment Paper 3, 160 pp. 2) JINTANA, V. *et al.* (1985): Forest ecological studies of mangrove ecosystem in Ranong, southern Thailand (4) Diameter growth measurement by dendrometry, in SUGI, J. ed. Studies on the mangrove ecosystem, Nodai Research Institute Part 2. Mangrove ecosystem seminar in Hiroshima, 1983, 227-233 p. 3) KOMIYAMA, A. *et al.* (1987) Root biomass of a mangrove forest in southern Thailand. 1. Estimation by the trench method and the zonal structure of root biomass, J. Trop. Ecol. 3 (2) 97-108 p. 4) KOMIYAMA, A. *et al.* (1988): Forest primary productivity, in OGINO, K. and M. CHIHARA, ed.: Biological system of mangroves, Ehime Univ. 97-117 p. 5) KONGSANGCHAI, J. (1988): Forest ecological study of mangrove silviculture, Doctorate dissertation submitted to Kyoto Univ. 112 pp. 6) LANLY, J. P. (1982): Tropical forest resources, FAO Forestry Paper 30, 106 pp. 7) OGINO, K. *et al.* (1988): Biological process and regulatory mechanism of mangrove ecosystem in Thailand, 1988. A Progress Report 77 pp. 8) SUGI, J. ed. (1985): Studies on the mangrove ecosystem, Nodai Research Institute, 297 pp. 9) TABUCHI, R. *et al.* (1983): Fine root amount of mangrove forest—a preliminary survey. Indian J. Pl. Sci. 1, 31-41 p. 10) WATSON, J. G. (1928): Mangrove forests of the Malayan Peninsula. Malay. For. Rec. 6, 275 p.