

講 座

農業土木技術者のための森林保全学 (その1)

— 森林生態系の活動とその機能 —

太田 猛彦[†]
(Takehiko OHTA)

I. はじめに

森林は地球の陸地の3分の1を覆い、それが存在する地域や流域の環境ばかりでなく、広く地球全体の環境にも影響を及ぼす重要な生態系である。しかし、かつて陸地の3分の2を占めていた森林は、ほぼ半分に減少し、現在でも非常な勢いで減少し続けている。森林がこれ以上減少することへの危機感は大きく、それは、いわゆる地球環境問題の中で、森林が常に話題の中心になっていることから明らかである。国連はもとより、関係各国もその保全対策に頭を痛めているが、今でも世界の人口の半分がその生活・経済の大部分を森林に依存して暮らしているといわれており、環境問題の観点のみから森林の保全・保護を議論できる状況にないことが、問題の解決を困難なものにしている。

日本は現在、森林大国である。国土全体の面積に占める森林面積の割合は67%程度で、フィンランドについて先進国では第2位である。西日本の花崗岩地域の里山の林相は、過去数百年と比較しても最良の状態である。開発途上国から来日する森林関係者からも、常にうらやましがられている。しかし、都市周辺や中山間地の開発によって、わずかずつではあるが森林は確実に減少し続けており、奥地の森林も、林業の不振による管理上の問題もあって、質の低下が懸念されている。

本講座は、こうした状況をふまえて、国土の開発・管理等を適正に行う場合に必要と思われる、森林の機能についての知識の現状を紹介するとともに、その保全・管理に関する知識もできる限り提供

することを目的としている。また、森林に関わる地球環境問題のトピックスも織込んでいきたい。執筆者は森林科学、とくに森林水文学、砂防工学を専門とする方々であり、全体で10回を予定している。

II. 樹木と森林の基本特性

森林の本質的な構成要素である樹木は、

- ① 光合成を行うこと、
- ② 永年性であること、
- ③ 強靱な木部による巨大な物理構造をもつこと

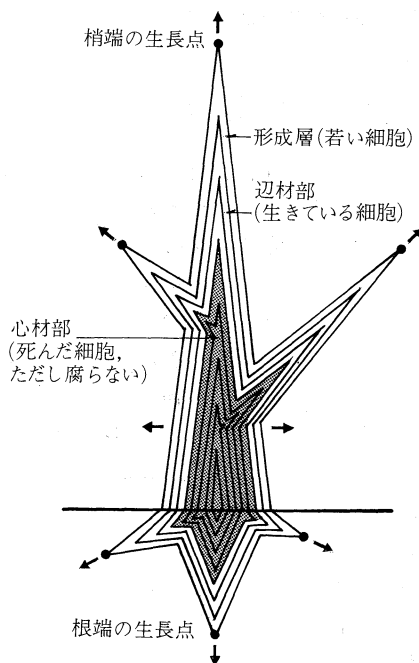


図-1 樹木の構造

Forest Conservation for Agricultural Engineers (1) — Functions of Forest Ecosystem —

[†] 東京大学農学部

キーワード 森林, 森林生態系, 森林と環境, 地球環境, 森林の機能, 森林水文化

の三つの基本的特性を持っている。

これら三つの特性のうち、とくに注目されるのは、物理構造が巨大であるという点である(図-1)。維管束系が発達した幹は、30~100mの樹冠を支えられる強靱な力を持っているので、草本に比べて著しく大きな空間を占有できる。そして、多量の葉をつけて光合成を行うので、非常に効率よく有機物を生産できる。また、樹木は永年性植物で、幹の内部に死んだ細胞(心材)を腐らせずに保存でき、上へ外へと膨張するように成長できるので、有機物(炭素)を大量に蓄積できる。

つまり、樹木は、物理構造と光合成の組合わせで高生産性を発揮し、物理構造と永年性の組合わせで高蓄積性を実現している。

さらにそれらの樹木が集合した森林には、

- ① 最も複雑な自然の生態系である、
- ② 自己施肥機能を持つなど、自立した系である、
- ③ 陸上に巨大な空間を占有し、独特の森林環境を形成している、
- ④ 多様な社会的機能を持っている

等の特徴がある。

III. 森林生態系の活動

樹木だけでなく草本、動物、微生物等の有機的要素と、水、森林土壌等の無機的要素で構成される森林生態系は複雑で動的な自然の系である。その活動の根源は、樹木その他の緑色植物だけに可能な、光合成反応による太陽エネルギーの固定、すなわち有機物の生産である。生産・蓄積された有機物は植物自身の成長、種の保存のために使われるだけでなく、草食性や雑食性の動物の餌となってそれらの活動の源泉となり、さらにそれらの動物は肉食性や雑食性の動物に食われてかれらの活動のエネルギー源となっている。土壌動物も含めた、このような食う食われるの関係は食物連鎖と呼ばれているが、すべての動物の活動は究極的には緑色植物の光合成生産物に依存しており、動物が森林生態系の中で消費者といわれるゆえんである。かつてその構成員であり、今は森林から離れてしまったヒトも例外ではない。

一方、微生物はおもに森林土壌中に棲み、枯れ葉や枯れ枝、生物の死体を分解して活動し、有機物を

無機化している。しかも、それは養分として再び植物に吸収され、森林生態系が自立した系として存在することを可能にしている。

森林土壌中の微生物の活動や樹木の根の存在が示すように、森林生態系の活動の場は地上部のみではなく、地下部にも広く広がっている。樹冠を支える地下部の役割を正しく理解することが、森林生態系の活動や機能を理解する上で重要である。とくに、森林の環境保全機能を考える場合、森林土壌の働きを中心とした地下部の役割は注目に値する。

林業は、森林による有機物の生産機能を利用した人間の経済活動であり、とくに人工林による木質材料の効率的生産は、第一次産業として、農作物の生産に擬せられる。それは、ともに地表面を生産の場とし、自然に依存する生産様式だからである。しかし、自然への依存度はかなり異なる。確かにコメの作柄はその年の気象の影響を受ける。しかし、コメを含む農作物の生産は、今では水も肥料も人工的にコントロールされた状態で行われており、自然への依存度は小さくなってきている。今年不作でも来年は豊作の可能性がある。一方、林業では、現在でも水や肥料をほとんどコントロールできず、40年に一度の風害や雪害ですべて終わりというように、自然への依存度は非常に大きい。したがって、今では農業生産はむしろ工業生産に近く、生物生産に関わる第一次産業であるからという理由で林業生産を農業生産といっしょに議論することは、それが限りなく自然に依存しているということを忘れがちになり、適当でないと言える。森林生態系は、それがたとえ人工林であっても、自然の系として取扱う必要がある。

IV. 森林を巡る循環

森林生態系の活動は、それを通過するいろいろな循環を伴っている。光合成生産、食物連鎖、呼吸、微生物による有機物の分解、森林土壌の生成、根による養分の吸収等は炭素や窒素に代表される元素の循環、すなわち物質循環をひきおこす。また、森林への降水、樹冠遮断、土壌への浸透、流出、蒸発散の諸過程からなる水循環はよく知られた循環であり、その背後には原動力となるエネルギーの循環が存在する。森林生態系を十分に理解するためには、森

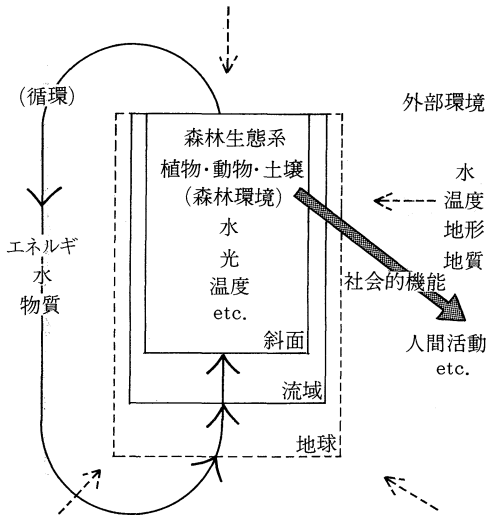


図-2 森林をめぐる循環

林を巡るこのような各種の循環を正確に理解する必要がある。

このような循環は、森林の内部あるいは周辺のみでは完結しない。かつて物質循環といえば森林内で、水循環においてもせいぜい流域を単位として考えることが多かった。しかし、森林に関わる地球環境問題の顕在化は、森林生態系の活動が地球規模の循環を通して地球の環境に影響を及ぼしていることを明かにした。したがって、森林に関わる問題を考えるとき、その問題に関わる循環について、森林地近傍、流域、あるいは地球全体というように、その場の大きさを意識して考える必要がある（図-2）。

V. 森林と環境

森林はその内部に森林環境と呼ばれる独特の環境を形成することで、その内部ばかりでなく外部の環境にも影響を及ぼす。しかし、同時に森林は外部の環境の影響を受ける。

外部の環境としては、まず当該地域の降水量と気温があり、これらによって森林の存在そのものが制限されるとともに森林のタイプが決まる。生態学では通常、植生のタイプを、降水量と気温を用いて分類したり、乾湿度指数や温量指数を用いて分類することが多いが、ここではブディコの放射乾燥度と純放射量を用いた分類を示す（図-3）。

縦軸に純放射量、横軸に放射乾燥度、すなわち純

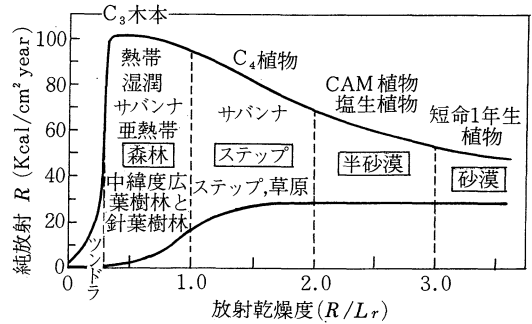


図-3 放射乾燥度と生物群系の対応 (1)
(及川 1989, Budyko (1971) に加筆)

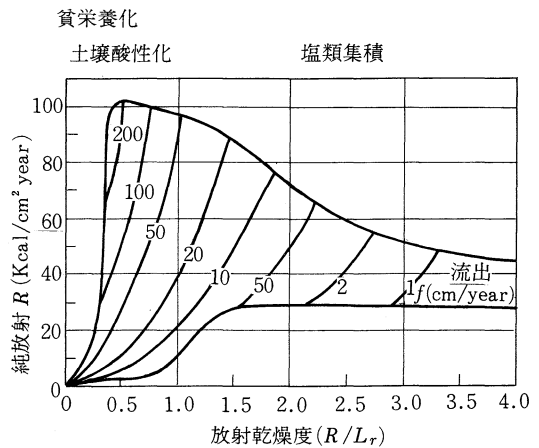


図-4 放射乾燥度と生物群系の対応 (2)
(及川 1989, Budyko (1971) に加筆)

放射量と“当該地域での降雨をすべて気化するのに要するエネルギー量”との比をとる。放射乾燥度 1.0 は、降った雨をちょうど気化するだけの純放射量があることを意味する。放射乾燥度が 1.0 以下の場合には湿潤な気候を意味し、そこに森林が成立する。もちろん、純放射量が大きいたころは熱帯林である。また、降雨の季節的な偏りにより、2.0 前後まではステップやサバンナの成立が可能である。放射乾燥度を用いたこの分類図には、その地域に成育する植物の光合成様式やその地域からの流出量、さらには土壌の貧栄養化のタイプも重ねて表現できるとされている¹⁾（図-4）。

森林生態系はまた、地形や地質条件の違いにも影響を受ける。とくに、斜面の地形は土壤水分条件や風系の作用を通して森林生態系に影響を及ぼす。そ

のほか、外部から人為の影響を受けることももちろんである。

一方、森林がその内外の環境に及ぼす影響のうち、人間にとって都合の良いものは森林の環境保全機能と呼ばれて評価されている。危険な動物の住みかだったり、恐ろしい病原菌の発生源だったり、周囲に悪影響も及ぼしているが、最近では忘れられがちである。

VI. 森林の社会的機能

森林には環境保全機能以外にも多くの機能がある。それらは総称して“森林の社会的機能”と呼ば

れる。その全体像を多少詳しく表-1に掲げた。

それらは通常

- ① 物質生産機能、
- ② 環境保全機能、
- ③ 保健・文化機能（存在機能）、
- ④ 生態系維持機能（保存機能）

に大別されている。このうち、日本のような高度経済社会では、とくに都市化の進展により、森の中での保養やレクリエーション活動など、保健文化機能に対する人々の関心が高まっている。また、世界の森林の急激な減少に直面して、野生生物の保護ばかりでなく、種の保存、遺伝子源の保存等を含む生物

表-1 森林の社会的機能

<p>1. 物質生産機能</p> <p>燃料材 薪、そだ、木炭 建築材 柱材、板材、合版 木製品原料 家具材、楽器、音響製品 パルプ原料 チップ 食料 きのこと、果実、木ノ実、香辛料、嗜好料（ガム） 山菜、根菜、澱粉、油脂、肉、魚</p> <p>飼料 落葉、腐葉土、緑肥、肥料木 肥料 精油、天敵微生物 薬品 樹脂、染料、香料、乳液、分解菌類 その他の工業原料 侵食防止用、環境林造成地 緑化材料 庭園樹、街路樹、花木、野草 鑑賞用植物 竹材、籐、樹皮 工芸材料 皮革</p> <p>2. 環境保全機能</p> <p>2.1 地球環境保全機能（広域） 地球温暖化の緩和 地球気候システムの安定化</p> <p>2.2 地域環境保全機能（局所・流域） 水資源保全（水源涵養） 水資源貯留 水量調節 水質浄化</p> <p>沿岸海域保全 水質保全 海洋生態系保全 魚付</p> <p>自然災害防止（国土保全） 表面侵食防止 水食防止 風食防止 雪食防止 土壌保全（土壌流亡防止） 表層崩壊防止 その他の土砂災害防止 落石防止 土石流発生防止・停止促進 溪岸侵食防止 飛砂防止・捕捉 濁水ろ過 洪水氾濫防止 雪崩防止 防風 防雪 防霧 防潮 塩害防止 延焼防止 災害時避難地</p>	<p>快速環境形成</p> <p>気象緩和 夏の気温上昇緩和 冬の気温低下緩和 降霜防止 風速緩和 大気浄化 塵埃吸着 汚染物質吸収 快適生活環境形成 騒音防止・軽減 日射防止（木陰） 遮蔽（目隠し・プライバシー保護） アメニティー</p> <p>環境指標（環境モニタリング）</p> <p>3. 保健・文化機能（存在機能）</p> <p>3.1 保健機能 保養 健康の回復 療養・養生 健康の維持・増進 休息・リフレッシュ 精神安定（やすらぎ） 森林浴（フィトンチット効果）</p> <p>レクリエーション 散策 行楽 ピクニック・ハイキング・キャンピング スポーツ 釣り 狩猟</p> <p>3.2 文化機能 風致・景観 学習・教育 芸術 宗教 風土形成 行楽の対象・芸術の対象 自然探求・情操教育・マナー教育・環境教育 絵画制作・彫刻制作・写真撮影 神域・社 民族性・生活様式・慣習</p> <p>4. 生態系維持機能（保存機能）</p> <p>野生動植物保存（鳥獣保護） 生物多様性の維持 自然生態系保存 生物種保存 遺伝子保存</p> <p>外来生物侵入阻止</p>
<p>5. 地球史的機能（過去の森林の機能）</p> <p>好適大気環境の形成 CO₂濃度の低下・O₂濃度の上昇 化石燃料の生成 石炭・石油・天然ガス 地球気候システムの安定化（活発な蒸発散域の拡大） 肥沃な農地の提供（森林土壌の副産物） 生物多様性の獲得</p>	<p>（第7章参照）</p>

(注)——は最近注目されている機能

多様性の維持機能が、人類にとって不可欠な森林の機能として認識されるようになった。

環境保全機能についても、従来からの水源涵養機能や自然災害防止機能、快適環境形成機能に加え、森林そのものを、それをとり巻く環境を評価する指標として取扱う機能や、森林と漁獲量との関係から推測される沿岸海域の保全機能などが注目されている。

さらに最近では、従来の環境保全機能に加えて、いわゆる地球環境保全機能が重視されるようになった。森林の地球環境保全機能の中身はだいたい二つに分かれる。一つは地球温暖化の緩和に森林が役立つかどうかということ、もう一つは地球気候システムの安定に森林が貢献しているかどうかということである。

そうすると、今まで私たちが考えてきた環境保全機能は、“地域”環境保全機能と言わざるをえず、森林の環境保全機能は、“地球”環境保全機能と“地域”環境保全機能の二つに整理できることになった。“地球”環境保全機能は、少なくとも1,000 km以上の広域での機能であり、“地域”環境保全機能は、ある場所、あるいはある流域での機能ということになる。

ところで、表-1に示した森林の機能は現存する森林の機能を整理しただけにすぎず、森林の本質的な重要性を十分表現したものとはなっていない。すなわち、地質時代を通して地球上に繁栄した過去の森林が、現在の地球環境の形成に果たした役割を正しく評価する仕事が残っている。

VII. 地球環境史の中の森林

地球という惑星の表面は四つの特徴を有していると言われる。すなわち、海の存在、大陸の存在、プレート運動および生命の存在である。この地球と性質が似かよっている惑星は金星と火星であり、三者は、宇宙の尺度でみて、質量や気温などには大差はないが、大気組成、とくに二酸化炭素濃度は地球のみがきわめて希薄である。しかし、地球上にある全ての炭素に酸素をくっつけて二酸化炭素にして大気中に戻すと、その濃度は97%となり、他の二惑星とほぼ同一の値になる。このことは、地球では、その46億年の地球史の中で大気の組成が変化し、二酸化炭素濃度が0.03%まで減少したことを意味する。

そこで、その間の地球大気の組成の変化を示した

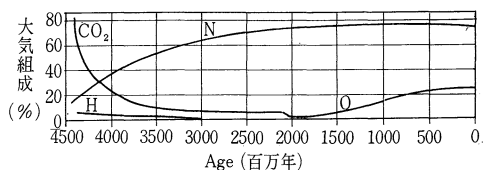


図-5 過去46億年の地球大気組成の変化 (Cattermole and Moore, 1985)

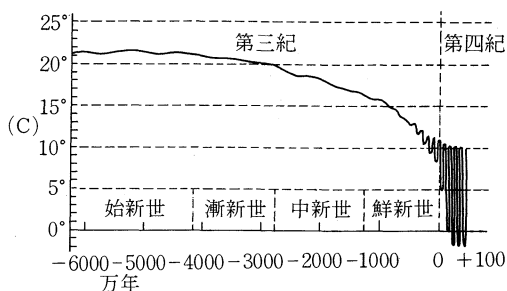


図-6 ヨーロッパ中央部における平均気温の変化 (模式図) (Woldstedt, 1961)

ものが図-5である²⁾。二酸化炭素は前述のように90%から減少し、現在ではわずか0.03%となった。一方酸素は、最初全くゼロであった。生命は大気中に酸素の存在しない38億年前に海中に生まれた。そして、大気中に酸素が出てきたのは約20億年前である。

その他にも、地球の気温は46億年を通じて、変動はあるものの大局的には低下傾向にあり、新世代においても同様である(図-6)。したがって、第四紀の初めにおとずれた4回の氷河期は、陸上の生物が経験した最も厳しい寒冷期であった。つまり、この氷河期以前には実質的に地上に寒帯はなく、したがって陸上には熱帯林と温帯林しか存在しなかった。北方林ができたのはごく最近のことと言える。

このように、地球はどんどん寒冷化してきたが、一方で太陽は1億年に1%ずつ明るくなってきた。生まれたばかりの太陽は今より30%ほど暗かったと言われている。太陽が暗く、気温が0℃以下であれば、生物は生きられない。では、太陽が暗かったのに地球が暖かかったのはなぜかと言えば、それは二酸化炭素の温室効果のおかげであったと考えられている。

さて、先に述べたように、地球上に生命が生まれたのは38億年前である。そのころ大気中に酸素は

