
野生植物による環境修復の試み

宇都宮大学野生植物科学センター 教授 一前宣正

1. 地球環境破壊の原点

人間の出現が地球環境の破壊に繋がったという考え方もあるが、少なくとも数千年にわたる森林破壊が地球環境劣化の端緒となったことだけは間違いない。そこで人間の出現から現在までの森林破壊の歴史を振り返って、環境修復の方向を考えてみたい。

(1) 20万年前 Homo sapiensが出現。

(2) 7万年前 ウルム氷期に入り、気温は今より10度低い。西アジアではイネ科、アカザ科、キク科ヨモギ属の草原でマンモス狩り。東アジアでは森で狩猟。海面低下のため、日本列島に大陸から動物往来。

(3) 1万3千年前 温暖化と湿潤化で森林拡大。東西のオーク林に照葉樹林文化と硬葉樹林文化が生まれる。

(4) 1万年前 西の草原で農耕と家畜が発明され、所有、貯蔵、権力が発生。日本は縄文時代に入る。世界人口は1千万人。

(5) 5千年前 6千年前に温暖化のピークから寒冷化と乾燥化が始まる。メソポタミア、エジプト、インダスに都市文明が誕生。人口増加、領土拡大、資源争奪に伴って森林伐採、灌漑農業、農地劣化が進む。

(6) 3千5百年前 北緯35度より北の湿潤化と南の乾燥化が進展。西では湿潤化によるギリシャ文明とトルコ文明の興亡、イスラエルとエジ

プトの乾燥化による一神教の誕生。東では黄河文明の誕生、インダスの乾燥化に伴う砂漠化。日本は縄文時代から弥生時代へ。

(7) 2千年前 地中海文明による森林伐採。世界人口1億人。

(8) 1千年前 中部ヨーロッパ文明による森林伐採。世界人口2億人。

(9) 2百年前 アメリカ文明による森林伐採。ヨーロッパで植林運動。世界人口10億人。

(10) 20世紀 20世紀文明による森林伐採。東アジアで植林運動。世界人口60億人。

(11) 21世紀 先進国では巨大都市から小規模の森林都市へ指向。途上国では植林の試みを開始した。しかし熱帯林、半乾燥地の森林、亜寒帯の森林などでは、一度伐採すると容易に回復しないことが判ってきた。

2. 地球の限界

私たちが住む地球は閉鎖系のため、資源や環境において限界のあることを知らなければならない。現状は以下の通りです。

(1) 人口

西暦元年3億人、1900年15億人、2000年60億人となり、2020年には80億人になると推定されているが、地球には生存基盤がない。

(2) 食料

農耕地24億haで穀類18億トンを生産できるの

で、1人当りの必要量を250kg/年とすると、80億人に相当する。しかし50%を家畜の飼料にすると50億人が生存可能。

(3) エネルギー

西暦2000年は石炭に換算して90億トンの消費で環境悪化した。50億トン/年に抑えて、1人当りのエネルギー必要量を1500kg/年とすると33億人が生存可能。

(4) 水、土壌、大気、生態系

①地球上の水の総量は1兆トンの100万倍、その内で人間が利用できる量は7兆トン。水利用量は年々増加し、1900年(15億人)に5000億トン、1985年(50億人)に4兆5000億トンを使用したので、7兆トンでは21世紀に何億人が生存可能か計算されたい。さらに水質汚染が質的低下を持たらしている。

②耕作可能地24億haは毎年140万haが消失、塩類集積、硝酸集積、酸性化、重金属集積などによる土壌劣化が生物生産性の低下に繋がっている。

③大気中の二酸化炭素濃度上昇、オゾン層破壊、酸性雨などの大気汚染が生活基盤に悪影響を与えている。

(5)地球の生態系を形成するピラミッド構造は人間活動で破壊しつつあり、陸域と海洋の砂漠化が進行している。

3. 21世紀、日本は生き残れるか

私たち日本人の生活様式が地球環境に及ぼす影響について考えると、次の問題点がある。

(1)世界の中で国土面積0.02%、人口0.2%、総生産17%は異常でないか。8億トンの資材を輸入し、1.5億トンの製品を輸出する日本は世界一のゴミ産出国である。

(2)食料自給率、資源自給率が低く、農林水産

物や鉱物輸入による海外の環境破壊が著しい。

(3)一人当りの年降水量は半乾燥地諸国と同じ6,000mm³で、世界平均の1/5である。涵養林の拡大が急務である。

(4)石油の輸送によるアラビア海から日本までの海洋汚染については重大な責任がある。

4. 野生植物による環境修復の研究

地球環境を現状よりも一歩でもよくしようと努力は古くから行われてきた。例えば、19～20世紀に展開された中部ヨーロッパや東アジアの植林運動、中国黄淮海平原の塩類集積地帯において地下水位を下げることによって100年かけて耕土の塩類濃度を低下させたこと、土壌の入れ換えによる重金属集積土壌の改良など多数の報告がある。しかし、これまでの研究や技術ではどうしても修復できない広大な劣悪環境地が現在でも多く見られ、地域によっては拡大傾向にある。

私たちは地球に生育する30～40万種の野生植物に注目して、ストレス耐性植物による環境修復を試みている。この分野に関わる研究者は環境の修復、復元、再生などの他に、環境浄化やファイトレメディエーションなど様々な言い方をするが、研究目的に大差はない。研究のむずかしさは①環境修復と住民の生活向上を併行しなければならない、②修復技術の開発は企業活動に受け入れ難いため、人材と資金の調達がむずかしい、③将来の実用化をめざす技術が多いため、現在脚光を浴びることが少ないなどの理由による。本報告では私たちが関わっている研究を(1)生態系修復の試み、(2)土壌圈修復の試み、(3)水圏修復の試み、(4)大気圏修復の試みに分類して、それらの概要を紹介する。

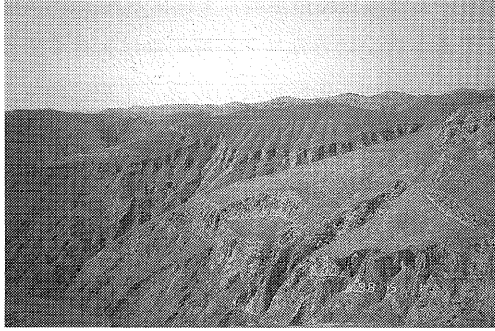


写真-1

5. 生態系修復の試み

(1) 中国黄土高原の砂漠化防止

写真-1は中国西安市から300km西北に位置する黄土高原の中央部で、標高1,000~2,000m、樹木が一本も見られず、草本も少ない丘陵地が延々と連なっている。人々はヤオトンと呼ばれる洞窟の住居で千年も変わらぬ極貧の生活を余儀なくされている。黄土高原は、今から150万年前、強風によって西方の砂漠から上空に吹き上げられた大量の細かい砂、いわゆるシルトがこの高原地帯に運ばれ、50~100mの厚さに堆積したと考えられる。有史以前、この高原は豊かな植生に覆われていたが、2000年前の漢の時代から始まった人口増加のために、森林伐採と段々畑の開発が進められた。その結果、この地域の生態系のバランスは完全に崩れ去って、現在の不毛地帯が出現した。

黄土高原では、年平均気温は4~7℃、降水量は年間300~600mmと少なく、その80%が7月~9月の数日間に集中豪雨的に降るため、黄土の特性とあいまって、年平均の土壌流出量は1万トン/haに達する。一方、冬期には黄土が強風で舞い上り、偏西風に乗って北京の方向に運ばれ、その一部が日本にも飛来し、「黄砂」と呼ばれ、黄土高原に緑を取り戻すことは地球環境の再生に関わる重大事である。

農民は丘陵のいたる所に段々畑をつくり、アワ、キビ、ソバ、エンドウなどの耐乾燥性の強い作物を栽培しているが、雨量が少ないため数年に1回しか収穫できない。そのため耕作の困難な急傾斜地では過放牧の状態では羊と山羊が飼われている。これら農民による営みが、丘陵斜面を裸地にして、風雨による土壌浸食を促進している。そのため、この高原に緑を取り戻すためには丘陵地帯を草原と森林に変える必要がある。

私たちは、まず丘陵斜面において25年間、耕作と放牧を中止した区を設けて、植生の遷移を調査した。その結果、優占種は一年生草木から多年生草本に変化した。湿潤地の耕作放棄地であれば15年以内にみられるような多年生草本から木本への優占種の変化は生じなかった。その原因は長年月にわたって多量の土砂が流出し、丘陵の傾斜が急になり、黄土の有機物含量が低下したこと、降雨を土壌中に貯える役目をしてきた草種が絶滅したことに関与したと考えられた。

そのため私たちは丘陵斜面においてよく生育し、水土流出防止効果の強い植物を見い出す以外に方法はないと考えた。中国内外から15,000種以上の植物を収集し、現地の斜面で生育試験を続けた結果、大部分は冬期の最低気温-30℃の極寒と乾燥、土壌pH8台の環境に耐えられず

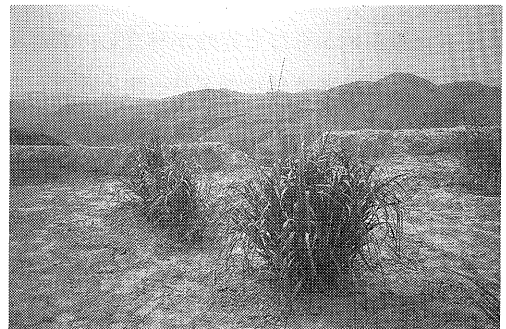


写真-2

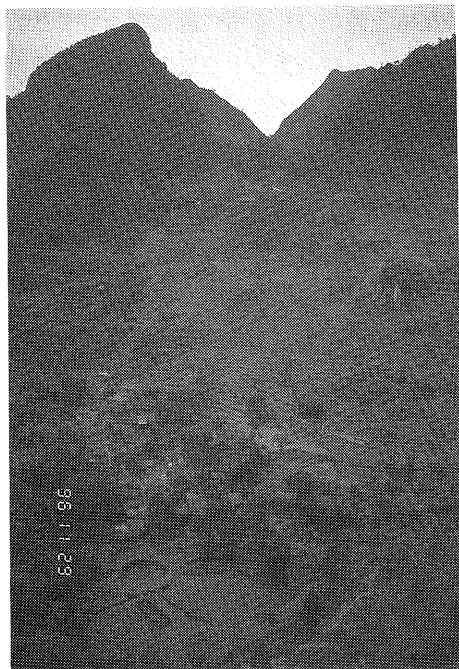


写真-3

に枯死したが、北アメリカから導入したイネ科のスイッチグラスは草高1m以上に生育し、水と土壌の流出を著しく抑えることを見出した(写真-2)。現在、黄土高原の各地でスイッチグラスによる緑化を展開している。同時に有用な木本植物の選抜試験も進行中である。今世紀中に黄土高原に緑が戻ることを期待している。

(2)中国西南部の石漠化防止

写真-3は中国西南部の広西壮族自治区南寧市から北200kmに位置する石灰岩カルスト地帯を示す。現地には高さ数百m以上、傾斜30度を越える急傾斜地からなる岩峰が林立し、岩峰間に石臼のようなすり鉢状のドリーネと呼ばれる半径50~100mの円形の凹型盆地に多数の人々が住んでいる。この盆地は弄(ロン)と呼ばれる。この場所は同自治区大化県七百弄郷で、七百個のドリーネ盆地がある村という意味だが実際には約1,200個存在する。この郷は少数民族瑶族の居住地域で、過去600年間このカルスト地域

においてほぼ自給自足的な生活を営んできた。

この半世紀にカルスト地域の森は大きく変わった。人口増加、貨幣経済の浸透、工業化の波、他の郷・都市との交通網の発達により、斜面における森林伐採と農耕地の造成で、土壌流亡に伴う石灰岩の露出、いわゆる石漠化が進行した。その結果、水も食料も確保できないまでの貧困に追いやられた。住民は急な傾斜地にトウモロコシを栽培し、その一部で山羊を放牧している。豊かな森林は斜面上部の極わずかな面積に薪炭林として残されているにすぎない。また、多くのカルスト地形の特徴にあるように、岩盤中に水の通路があり、年間1,500mmほどの降水があるにもかかわらず渇水が多く、生物生産は困難を極めている。

石漠化は広西壮族自治区、貴州省、雲南省、西藏自治区に広がっている。私たちの研究仲間が砂漠化の原因、植生と人間活動の関係を調べて、植生回復と住民の生活向上をめざした研究

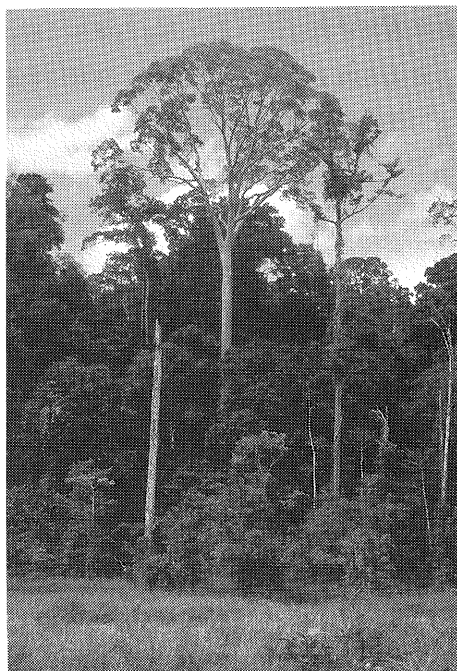


写真-4

を展開している。

(3) 熱帯林の生態系修復

写真-4はマレーシア、サラワク州における熱帯林の伐採地である。今、伐採されようとしているのはフタバガキ科の高木で、樹高50m以上に達し、材は柔らかく加工しやすく、ラワン材の名で大半が日本へ輸出される。伐採後は苗を植えて育林すれば数10年後にフタバガキ科などから成る森が再生できると日本人は考える。なぜなら日本ではスギやヒノキの苗を植えると数10年後に必ず伐採できるからです。しかし、現在の技術では熱帯林の再生は不可能です。その理由として、①伐採前後で植栽地の環境条件が激変する、②フタバガキ科などの熱帯林を構成する樹木は生育時期によって至適生育環境が異なることが考えられる。早期の技術開発が望まれる。

熱帯林が減少すると地球環境に次のような悪影響を持たらす。

- ①気象の緩和機能が失われて、広い範囲で早魃その他の異常気象が起りやすくなる。
- ②大量の野生生物が絶滅の危機に追いやられ、遺伝子の喪失に繋がる。
- ③熱帯林の土壌は肥沃度が低いので、農耕地としても生産性が低く、荒廃地になる。
- ④丘陵地では、豪雨の度に土壌の侵食が激しく、砂漠化に向かう。

日本は熱帯アジアにおいて、1960年～1970年にフィリピンの熱帯林を破壊した。1971年～75年にインドネシアの森林を切り尽くし、その後はマレーシアのサバ、サラワク両州から大量輸入している。私たちは伐採の歴史をふまえて研究を進める必要がある。

6. 土壌圈修復の試み

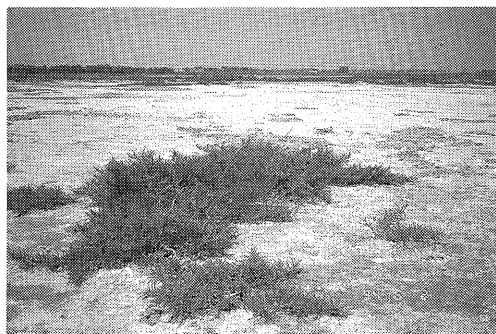


写真-5

(1) 塩類土壌

写真-5は北京から東南150kmに位置する塩類土地帯で、塩生植物以外は何も生育できない。このような風景は日本で見られないため、理解しにくいですが、歴史を繙くと、メソポタミア、エジプト、インダス、黄河の文明はいずれも雨の少ない草原に生まれ、漑水農業を行い、土壌の塩類集積で滅びた。その後も世界人口の増加に伴って、塩類土壌の面積も拡大している。現在、米国のネバダ州、カリフォルニア州、西オーストラリア、西アジア地域には拡大した塩類集積土壌が放棄されている。

塩類土壌とは①土壌と植物体から蒸発する蒸発散量が土壌に加えられる水量よりも上回る、②土壌中には水可溶性の塩類が集積し、植物の生育に影響を及ぼす量までに達することをいう。実際には塩類といってもNaが植物毒性を示すと考えてよい。そのため塩類土壌修復の対策は①Na耐性を持ちNa吸収量の大きい有用植物を選抜して除塩することが最終目標であるが、②Na吸収量は小さいがNa耐性を持つ有用植物を選抜して生物生産性を向上することも次善の策と考えられる。

私たちは写真-5に示した中国河北省南皮県の塩類土壌に7,000種以上の植物を導入して耐塩性植物の選抜試験を実施した。その結果、

①現地に生育する雑草のマツナはNa耐性が強く、Na吸収量は乾物重当り10%にも達するが、有効な利用方法が見い出せない。

②アーティチョーク、ピート、ジャーマンアイリスはNa耐性が強く、Na吸収量は乾物重当り3～5%の範囲にある。

③アスパラガス、エンバク、オオムギの中にはNa耐性の強い品種もあるが、Na吸収量は小さい。今後、検定植物をさらに増加すれば、必ずや有用植物が選抜できると考えている。

遺伝子組み換えで耐塩性植物を作り出そうとする試みに多数の研究者が関わっているが、現在までのところ、有用な品種は見い出されていない。

(2) 酸性硫酸塩土壌

写真-6はタイ国でマレーシアとの国境に近いナラナワ県に広がる酸性硫酸塩土壌地帯である。土壌pHは2～3の範囲にあり、生育する植物は数種に限られている。

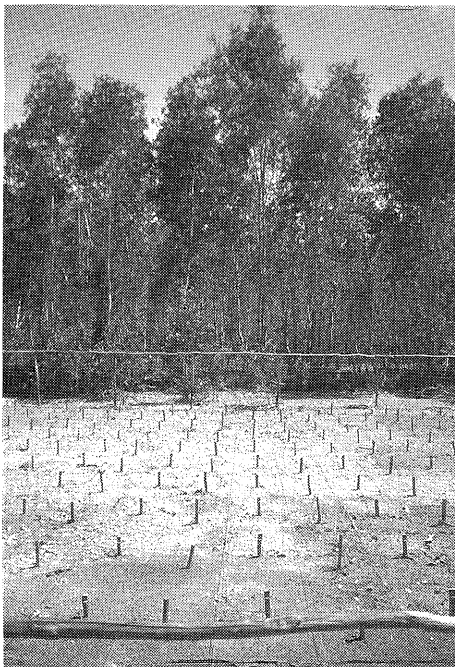


写真-6

酸性硫酸塩土壌の生成過程は次の通りです。

①6,000年前、地球温暖化で現在の海水準よりも3～3.5m高まり、海岸線に沿って移動したマングローブ樹林が内陸側に封じ込まれ、泥炭湿地が形成された。

②数10cm～3mの泥炭層の下には海成粘土層があり、この粘土層にパイライト (pyrite FeS_2) を多量に含む。

③泥炭湿地を農耕地にするため排水すると、海成粘土中のイオウが酸化され、泥炭層は強酸性の酸性硫酸塩土壌に移行する。

酸性硫酸塩土壌は東南アジアの海岸近くに広く分布し、畑地ではAl過剰、水田ではFeと H_2S 過剰による植物毒性が強い。現地には木本のメラルーカ属植物と草本のハイキピ、カヤツリグサ科植物が生育するにすぎない。

私たちは現地に約2,000種の植物を導入して酸性土壌耐性植物を選抜したが、pH3の世界で生育できるものは、ネピアグラスなど数種に限られていた。本来、この土地は湿地林に再生すべきと考えられた。しかし、カンボジアやベトナムでは水田から畑地への転換による強酸性土壌の生成が重大事であり、酸性耐性作物の選抜試験を継続したい。

(3) 硝酸集積土壌

中部ヨーロッパを中心にして、飲用とする地下水の硝酸濃度が問題になっている。それは硝酸を含む地下水を飲用すると、メタヘモグロビンの増加によるブルーベビー症状(幼児が体内酸素の欠乏で窒息状態に陥るもの)を発生するためである。EUでは硝酸イオンのガイドレベルは25mg/ℓ以下、最大許容濃度は50mg/ℓ以下としているが、農地の85%でガイドレベルを超え、20%で最大許容濃度を超えている。

EUの研究者は硝酸吸収植物の選抜を通して、

アサを有用植物として選抜しているが、なお実用化の段階には至っていない。

日本における飲料水の水質基準は硝酸態窒素が10mg/ℓ以下と定められており、EUの最大許容濃度にほぼ等しい。日本とEUの農業環境を比較すると、①国土に占める農地面積の割合は日本が15%以下に対してEUが50~70%と高い、②EUの年降水量は日本の70%以下で、地下水を飲料水にする割合がEUで高いという理由から、日本では地下水汚染が環境問題として深刻化していない。しかし①家畜排泄物や施肥による地下水汚染は20~30年後に生じる、②地下水を飲用としなくても、地下水汚染は海洋汚染に繋がることを考えると、日本においても環境修復に関わる重要な研究課題である。

(4) 重金属集積土壌

植物による重金属集積土壌の修復は開始間もなく、今後の展開が期待される。

7. 水圏修復の試み

河川湖沼における水質汚染を植物で浄化しようとする試みは過去数10年間にわたって多くの研究者が関わってきた。しかし、未だ有効な方法は開発されていない。その理由は①植物による水質浄化能力に限界がある、②浄化植物を循環的に有効利用できない等である。今後の研究に期待したい。

海洋の汚染浄化については全く手がつけられていない。日本では海浜の再生から始める段階

である。

8. 大気圏修復の試み

この分野で研究を展開している研究者は少ない。二酸化窒素を窒素源として生育する植物を遺伝子組み換えで作って、大気汚染を浄化しようとする試みがある。

9. 美しい森林都市をめざして

野生植物による環境修復の試みについては紹介したが、これからは治療法である。予防法は本来あるべき「美しい森林都市」を取り戻すことであり、そのために以下の提案をしたい。

(1) 利益共同社会から環境共同社会へ

経済成長率ゼロの定常型社会へ移行し、人の心と自然の中に富を貯える社会制度を創成することが、美しい町づくりに繋がる。

(2) 地域住民の連携

歩いて生活が完結できる範囲のコミュニティを単位として、豊かな生き方を連携して追求する。

(3) 自然との連携

地球生態系は閉鎖系であり、偉大な力を持つ自然との連携方法を考案することなしに、人間は生存できない。

以上述べたことはすぐに実現できないが、日本のような自然環境に恵まれた国では、植生管理の分野に一層の人材と資金を投入することが急務である。