乾燥地緑化

須 崎 民 雄

乾燥地造林に対する関心が、最近急速に高まってきている。アフリカにおける近年の旱魃とそれに伴う飢饉のニュースが、その背景にあるように思われるが、それのみではなく世界規模で続行する森林の破壊が地球砂漠化への危機感となって、防衛意識からの乾燥地造林への関心となっているものであろう。

一般に、乾燥地における森林の造成は乾燥地造林と呼ばれるが、造林という言葉は 湿潤気候下での経済林のイメージがある。乾燥地では、木材生産を目的とする森林造 成は考え難く、劣悪環境の緩和が乾燥地造林の大きな意義となっており、乾燥地緑化 という方が適切であろう。

乾燥地緑化が、湿潤気候下でのそれと技術的に大きな違いがあるとは思われないが、湿潤と乾燥という環境の違いは森林の造成にあたって当然何らかの特殊な工夫を必要とする。以下、いくつかの特殊性について考えてみたい。

1. 乾燥地とは何か

乾燥というのは相対的な語であり、ある程度は共通の区分で分けておくのが便利である。Koppen、Mayer、Lang、de Mantoune、Thornthweit など多くの人達がそれぞれ乾燥地を降水量、気温などをファクターとして区分してきた。今日比較的用いられるのは P. Meigs (1952) の地図で、彼は乾燥地帯を、半乾燥 semiarid、乾燥arid、極乾燥 extremely arid に、雨量によって分け、月気温を加味して乾燥地域の図を作成した。一般に砂漠あるいは乾燥地帯は気象データが少なく、従って雨量と気温による分類が実際的である。

吉良 (1953) は、乾湿指数と温量指数を考え、乾湿指数の勾配によって砂漠、ステップ、サヴァナ、森林の系列を考え乾湿指数 7.0 以下を乾燥気候帯とし、それをさらに指数によって準乾燥地気候帯(サヴァナ帯)、乾燥気候帯(ステップ帯)、過乾燥気候帯(半砂漠・砂漠帯) に分けた。指数は年降水量と温量指数の比によって決められる。このように乾燥地区分は年降雨量と年・月平均気温で決められ、非常に大ざっばにいって、年雨量 100 mm 以下から無降雨までが極乾燥地、100~300 mm が乾燥地、

Suzaki, Tamio: Afforestation in Arid Land 九州大学農学部 300~500 mm が半または 準乾燥地と考えていいが、降雨が植生に 与える影響は、その時の蒸発や大気飽差に関係する温度で著しく異るから、雨量のみで乾燥地を区分することは出来ない。

雨が一滴も降らないという極乾燥地帯というのは少なく、タクラマカン、アラブのルブ・アル・ハリ、イエメン、紅海沿岸、サハラ砂漠、ナミブなど陸地面積の4%ほどしかないが、多少降雨はあっても、いわゆる砂漠といわれる無植生地または荒原は全陸地面積の三分の一に及ぶ。雨の植生に対する効率が気温で異なるから、荒原もしくは砂漠は低緯度地方に多くなり、砂漠の名が冠される乾燥地は北、南の回帰線に沿って12ほど存在する。また、いわゆる砂漠といわれるものの中では、半乾燥地あるいはステップ地域でかっては森林の存在が認められたものの、人為による荒廃化が進んで不毛の地となったところ(Barren land)がある。

乾燥地 Arid land と Barren land とは、しばしば砂漠 Desert として混同して 扱われるが、その成因が異っておれば環境も違っており、取り扱いについて同一とは ならない。雨量には十分恵まれている我が国 でも、海岸砂丘のように 土地因子から Barren landとなる例でもわかるように、成因に関しては土地要因(Edaphic factor)、気候要因 (Climatic factor)、人為要因 (Human factor) に分けて考える必要がある。特に人為による 不毛化-砂漠化の例は かなり多く、イラク砂漠は過放牧(Overgrazing)と、戦火による植生破壊、灌漑農業による 塩集積(Salt accumulation)、あるいはかっての灌漑路の戦火による破壊が、その成因あるいは成因の一部と考えられて おり、シリア、シナイ半島、アラビア半島の 北部などは Overgrazing、遊牧民による植生の過利用、戦火による植被破壊が砂漠化を進めた。イランでは、プレーンでは 盆地的な形状のところで塩砂漠になるのは、やむを得ないにしても高原部でも不毛化しているのは、薪炭材過伐による荒廃と考えられる。インド砂漠の、たとえばハラッパ遺跡周辺は、都市造成のための煉瓦焼成で森林破壊がおこり、それが土地侵食を進めて不毛化し、ひいては都市の没落につながったといわれる。

もちろんこれらは少雨という気候要因がその背景にあるためであるが,人為干渉がなければ 植生は 支持されたであろう。気候要因 による 乾燥地は,少雨,乾燥空気の流入,高気圧帯がその成因となる。水蒸気の供給源である海から遠ければ,もたらされる水分は少なくなり,内陸は乾燥化しやすい。タクラマカン,ゴビ,トルキスタンなどそうである。風が高温化すれば水分をしぼりとられるので,極地方からの吹きつけ地帯や,寒流をこえる風は乾燥するので寒流が沿岸を流れる地帯は乾燥地となる。北アメリカ,南米のアタカマ,パタゴニア,アフリカのナミブ,サハラの一部などはこれに原因がある。また山脈の常風の風下側は乾燥する。北アメリカ砂漠,イラン,アラビア砂漠などは,それに該当する。成因や緯度によって乾燥地条件はいろいろ異るが,林学における乾燥地とは,現在,自然的には森林が成立し難く,あるいは成立しても低木林であったり,また貧弱で,乾燥がその重要な因子になっている地帯を指すといえる。

2. 乾燥地の立地的特性

(1) 気 候

雨についていえば、乾燥地は極端な少雨であること、降雨が一年の中で偏り、雨季と乾季を持つことが多いこと、降雨量の年変動が大きく、降る年と降らない年の差が 大きく平年値あるいは年平均隆水量という

数値は 造林の参考に ならない。図-1 にクウェイトの雨量の年分布を示したが、75ミリという平均雨量を想定して緑化計画をたてることは危険であることがわかる。

降雨の偏りの型としては、冬季に雨を持つ型、夏季に雨を持つ型、季節のない型があり、中近東や地中海周辺は冬雨型である。緑化シーズンは気温周期とともに降雨周期に合わせる必要がある。

乾燥地は一般に高温になる。日射エネルギーが気化潜熱として使われることが少なく,顕熱部分が多いから湿潤気候下の同緯度の地域と較べると高温に傾くことになる。アラビア半島北部の気温と湿度は表-1,2の通りで、かなり高温かつ乾燥し

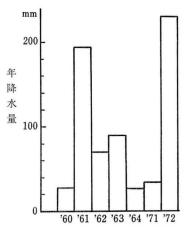


図-1 アラビア半島東岸における 年降水量の変化

ていることがわかる。また気温の日較差はこの表では、海岸に近いためそれほど大きくはなく、約 16° であるが、内陸部の乾燥地ではさらに大きくなる。

風も乾燥地の特性の一つである。乾燥地は概して平坦で海陸風や山谷風のような局地風が少なく,ある方向からの常風が季節によって吹く。たとえばクウェイトでは夏季は北西風(地方風,シャマール)がシリア,イラクの乾燥地より吹きこんで $7{\sim}10$ m/s,時には 15 m/s 以上に達し,これは はげしい 砂嵐と表面の 砂の移動 をもたらす。また地表の高温化が気流をつくり,一般に乾燥地は風が強くなり,より一層の乾燥化と地表面攪乱,飛砂をもたらす。従って不用意な砂漠の表面攪乱あるいは砂漠へ

地	方	エジプト・ シワ	エジプト・ カルガ	クウェイト ・8月	クウェイト • 9 月	クウェイト ・1月
夏季最	高平均	37.6	39. 1	42.8	44.5	
夏季最	低平均	20. 2	32. 2	28. 6	28. 1	
冬季最	高平均	20.8	23. 5			17.4
冬季最低平均		5. 1	7.0			7.0
夏季絶	対最高	47. 9	47.4	45. 0	46. 6	
冬季絶	対最低	4. 5	2. 1			2.9

表-1 乾燥地の気温 (°C)

地 方	エジプト・シワ	エジプト・カルガ	クウェイト
夏季平均湿度	34. 0	33.0	28. 0
冬季平均湿度	52. 0	52. 0	58.0
夏季平均蒸散量	49. 0	20.0	
冬季平均蒸散量	19. 1	7.8	_
夏季飽和土面蒸散量		_	5.8
夏季常緑樹林蒸散量		_	8.5

表-2 相対湿度(%)と蒸散量(mm/日)

イデの耕地化ははげしい砂移動となって砂漠化を拡大し、あるいは耕地、住居を砂で 埋没させることになる。

(2) 砂漠土壌

砂漠土壌の特徴としては、腐植が少ないこと、塩類が豊富で土壌表面に集積することが多いこと、組成として砂分が多いことなどをあげることができよう。砂漠は、一般にサハラ砂漠のように砂丘を連ねる砂沙漠を連想することが多いが、土沙漠、岩沙漠、塩沙漠など砂以外で覆われるところも多い。

東欧から中央アジア草原の黒色土 Tchernosem は半乾燥地土壌で、寒冷地であるため腐植分解が遅く黒色となり、塩類は表面はやや溶脱を受けるが下層には多量に存在する。やはり半乾燥地の米国中南部草原土、インド中南部の半乾生黒色土はPrairie Soil, Regum で腐植含量に富み、草原植生の支持力は高い。乾燥が進むと植生が乏しくなるので腐植が少なく、黒色とならない。東欧、中央アジア、東アジア地帯の栗色土 Chestnut Brown Soil で A 層が黄褐色、C 層は淡白色となる。さらに乾燥の度が進むと草原灰白土 Grey Earth で疎草原の土壌であり、トルキスタン、コーカサス、スペイン中部、米国西部で現われる。砂漠周辺では、土壌中の水分のたえざる蒸発で、炭酸石灰や石膏が表面に析出して皮殻を生じる。モロッコ、アルジェリア、テュニス、エジプト、パレスタイン、シリア、メソポタミアなどに分布する皮殻土 Crusting Soil である。

いわゆる砂漠では Desert Soilといわれる土粒の定着性のないもので、岩層砂漠土と砂サバク土がある。風、温度変化(夜間冷却、日中高温)などにより岩石が風化されて、角礫、砂となったものが砂漠土を構成し、塩類に富み、それが皮殻となる。石膏、ナトリウム硫酸塩、塩化物、炭酸塩などが皮殻を形成して砂皮殻土、砂漠固結土となる。砂漠土はアルカリ性が非常に高く、pH は8を越し、土性は砂土であることが多く、保水性が極めて低い。固結土も造林、耕作などで地表が攪乱されれば、土粒は遊離し砂の移動堆積につながる。自然状態での生産性は極めて低い。

(3) 砂漠植牛

砂漠に生じる植物は、乾燥条件に生理的、形態的に適応するように分化した乾生植物 Xerophyte であるが、乾燥地がアルカリに偏するから塩生植物 Halophyte もまた地域的に分布することになる。 生理的に は C-4 あるいは CAM 植物として、また

葉の低い水ポテンシャル保持,菌共生など,形態的には少ない葉量,同化産物の根配分の増加,棘武装,硬葉 Sclerophyte,陥没気孔,樹幹の厚コルク層その他を指摘できる。塩生適応としては塩腺の装備や多肉となることが多い。

植生分布としてみると、多くのところが疎荒原植生で、単調であり、イネ科・カヤツリグサ科の草原疎植生、多肉疎草原植生、疎低木林植生などを形成し、植生帯は土壌の水分分布に従い明瞭に区別される。

3. 乾燥地緑化の意義と目的

気候的な意味の乾燥地における緑化,造林を,経済的な用材林を目的として始めることは間違っている。経済事業としての木材生産が乾燥地で成功することはないであろう。大きな意味からいえば,太陽エネルギーの固定効率を,地球的規模で高める方法として緑色植物を増加させることに意義を求めることができる。しかし緑色植物の増加が木材の生産を高めることにつながるものでないことは当然で,単なるエネルギー固定を行う緑地を得るために,水や機械,人を多量に投入して,より以上のエネルギーを失うことは無意味である。また「砂漠を緑に」というムード的,感傷的な動機も危険である。乾燥地緑化は、劣悪環境下での事業であり,当然かなりの経費を必要としており、明確な緑化意義がなければ始められない。

乾燥地緑化の必要性の第一は環境の改善である。森林の環境改善の一つとして熱平 衡の変化がある。裸地の砂地は熱容量が小さく、大気は著しく暖められる。森林はエネルギーの潜熱部分を大きくし空気、土壌温度の低下につながる。温度緩和がおこれ ば乾燥から半乾燥へと気候が進むことが期待されよう。もちろん大面積にわたっては 不可能で、一都市の規模である。

その二は地表面の固定である。単粒の砂漠土は乾燥によって極めて移動しやすい。砂漠に特有の強い常風は絶え間なく地表を攪乱し、はげしい飛砂をもたらす。砂の移動は、植生、道路、住居、農耕地を埋没し、自然植生での種子と発芽幼植物を固定させない。すなわち植生再生を著しく困難にする。よりはげしい風は砂塵を吹き上げ砂嵐となって都市を襲い、生活を妨げ交通を不能にし、工業の発展を許さない。農地環境、住居環境保持のために砂漠を植被で覆う意義は大きい。

また地表固定は飛砂防備のみならず、雨季における裸地のはげしい侵食の防備として、多くのところでその必要性が高い。

その三は植生による風速の減少である。砂漠特有の強風,季節風は物理的,生理的に動植物の生活に影響する。

その四はレクリエーションの場の提供である。乾燥地では疎荒原かまたは裸地であって風景は荒涼としており、都市生活者のためのレクリエーション林の必要性は非常に大きい。

その五は修景である。都市、住宅、都市周辺、空港、道路までを含めた都市林、都 市後背林は都市に風格と潤いを与え、心理的なアメニティの意義は大きい。

六として 砂漠生物の 環境提供の 意義が考えられる。疎荒原を 場とする動物生態系

は,人間活動の急速な発展によって,多くの場所でその生活圏を失いつつある。新し い植生の造成は野生動物の生活圏の保証につながる。

その七は有機物の生産として意義がある。用材としての木材生産は考え難いが、薪炭、農用としての木質,飼料としての有機質の提供は、半乾燥地、乾燥地低木林がしばしば人為の掠奪的伐採を受けることから、そのようなところでは高い必要性がある。

以上の意義から考えて、乾燥地緑化で目指すのは都市・集落の環境保全体(防風林, 飛砂防備林, 土砂かん止林, Environmental Conservation in city and suburbs), 水路, 河川, オアシス, 湖の保護林, 工業施設の保護林, 交通(道路, 空港, 港湾, 通信施設)の保護林 (Shelter Belt), 休養林 (Recreation Forest), 都市修景林 (Ornamental Forest), 飼料・農用林 (Fodder and Farm Forest), 燃材林 (Fuel and Energy Forest), 野生生物保護林 (Wild-life Preserve) などである。乾燥地緑化に当ってはこのような必要性, 意義を定め, 造成しようとする緑地のタイプを,経費とのバランスの上で決定することになる。

4. 乾燥地における森林造成

(1) 土壌水分の確保

自然状態では森林は年 500ミリの降雨がなければ成立しないと 一般にいわれている。乾燥地において高木林を造成しようとする場合、水の補給なしに、造林技術のみで成功することは、地下水の高い限られた土地を除けば、まずあり得ない。造林の初期のみに限定した潅水、蒸散量を抑制し、抑制された蒸発散量に見合う灌水量にするなど、灌水量を最小に抑えることは造林技術であるが、ある程度の水分の補給は必須であり、土木技術は造林技術に常に併用される。

乾燥地における水資源としては次のようなものがある。

降雨 極乾燥地ではほとんど期待できないが、通常の乾燥地では年変動、地域差は大きいけれども雨季を持ち、ある程度の水分供給があり、しばらくの期間は土中に貯留されて自然植生を支えている。時に不規則に多量の雨がもたらされるが、貯留能の小さいことから植生にとって効果的ではないことが多い。一般に雨季の雨は、一たん土中に貯えられ、徐々に蒸散と蒸発によって消費されて乾季の終わりにはほとんど消失してしまう。図-2 に例示したような過程をたどり、降雨量によって地下貯留量は異ってもパターンとしては変らない。この貯留量に釣り合う形で自然植生が決っているが、地下流亡もおこっているから土面蒸発と共に損失分もかなりあると思われる。損失を抑えること、あるいはダム貯留が造林技術の一つとなるが、降雨のみでは自然植生以上の植生増加は期待できないし、また変動が大きく、水分供給を降雨のみに依存することはできない。

地下水 無降雨地帯でも地下深くに大きな水脈のあることは古くから知られている。地下の石灰岩・砂岩層が滞水層となって古い時代の降雨を蓄えたもの、あるいは 化石水による水脈であり、断層などはオアシスとして地表近くに現れることがある。 乾燥地ではオアシスあるいは人工地下水路(カナート)などによって農業の営なまれて

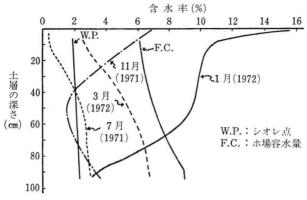


図-2 乾燥地における土壌水分の年変化(寺沢) ークウェイト・スレビア実験農場--

きた地域が点在する。造林では最も多くこの資源に依存することになり、供給可能水量の調査は事前に必要である。ただ地下は有限といってもよいものであり、しかもかなり塩濃度の高いところが多い。現在、砂漠での農林業開発とは、オアシスなり地下水資源を汲み上げて広く水路で灌水することである。ただし灌漑水は地下に排水されず蒸発によってのみ失われるので塩集積のおそれがある。たとえばクウェイトでは約30の深井戸(深100~200 m)があり、飲料水、公園、街路樹灌水に用いられているが、pH 8.0. 溶解塩濃度 4,350 ppm と、かなり brackish な水質である。

河川・湖 湿潤な山岳地方に源を発する大きな河川が乾燥地を貫通し、あるいは導水可能なところでは河川の利用がある。エジプトのナイル、イラクのチグリス・ユーフラテス、北米のコロラド川などはその例である。

海水脱塩 海水を蒸溜して淡水を得る方法は現在,技術の発達でそれほどのコスト 高にならず,可能である。また逆浸透膜法も実用化されている。しかし飲料に適する 純水に近い淡水を灌漑用とすることには問題もある。石油基地や大都市の都市林に適 用されるにとどまる。

その他,下水利用,海水灌漑,自然の水蒸気凝縮なども水資源となる。いずれにしても森林造成計画をたてる場合,供給可能な水資源とその量を知り,森林の要水量を計算して植林規模が決定される。

今, 地中の有効土壌水分をWとすると,

W=R+C1+C2-ET-Fh-Qd

(R:降水量,C1:水蒸気凝縮,C2:地下供給,ET:蒸発散,Fh:表面流出,Qd:地下流亡)

となるが、乾燥地では C1, C2, Fh, Qd はほとんど無視できるし、R もまた期待できないから、造林地の土壌水分は

W=I-(ET+Qdi)

(I: 灌水量, Qdi: 灌水の地下損失)

で決まることになる。Wを一定に保つとすると,ある期間の灌水は I=ET+Qdi でなければならない。有効な土壌含水量($pF=3.0\sim3.5$ とする)のときの ET および 灌水 protect prote

(2) 材料の選択と育苗

乾燥地の環境条件を考慮して強い耐乾性、耐塩性があること、耐風性があり、しかも切損からの再生萌芽力が強いことが要求される。また堆砂性はその頻度が高いので、かなり重要となる。繁殖、育苗が容易でなければならず、さし木の容易なものが選択される。耐環境圧のみならず、一方では果実、葉の飼料利用性も考慮して選択する。現在、中近東の乾燥地では Eucalyptus, Tamarix, Acacia, Casuarina 各属のいくつかの種、Prosopis juliflora、Phoenix dactilifera、Nerium oleander など、

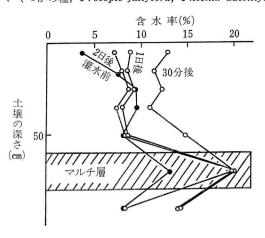


図-3 砂質土壌の潅水後の含水率の変化 - 99 mm 潅水 -

イスラエル・ネゲブ砂漠では Aleppo pine といくつかの Eucalyptus の種が用いられている。また,先行あるいは 混用樹種 として, 草本 では Bermuda grass,低木では Atriplex,Haloxylon 属などが用いられる。育苗はポット苗が妥当で,農作物栽培の強制吸気のグリーンハウスが有効である。

(4) 植 栽

植栽では、雨季に合わせる 必要がある。また植栽法とし

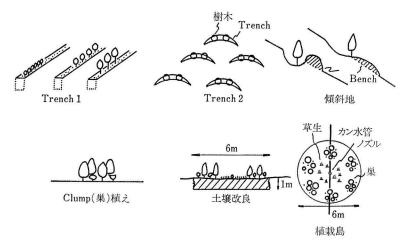


図-4 乾燥地における各種の植付け

ては、土壌改良とマルチ、灌水方法、島植栽などを考慮しなければならない。図-4 に 主な植栽法を掲げた。

「参考文献」 1)FAO 1963: Tree planting practice for arid zones2)海外技術協力事業団 1963: UAR 砂漠開発技術援助総合報告書 3) 小掘巌 1967:沙漠, NHK ブックッス 4)K. Walton 1969: The arid zones.Hutchinson & Co. 5)農業土木学会 1977: 乾燥地農業開発に関する基礎調査報告書(分担・須崎: 防風林の造成) 6)寺沢四郎 1981: 乾燥地における土壌の物理と水収支,土壌の物理性 43 7)須崎民雄 1982: 砂地植林地における養水分の性変動予測と制御に関する研究(科研)

●お知らせ

「熱帯林業」旧シリーズのバックナンバーは林業科学技術振興所筑波支所 (305 茨城県稲敷郡茎崎町, 林業試験場内, 電話 0298-73-3211 内線 325) で保管しています。 ご入用の方は同所に ご連絡下さい。残部 のあるものは, Nos. 14, 22, 27, 29, 30, 33, 34, 37, 38, 40~72 で, 一部 600 円に郵送料を加算した金額でお預けします。