

乾燥地の緑化システム

Revegetational Plants in Arid Areas

大手桂二*

Keiji Ohte

1. はじめに

中国内蒙古自治区の毛烏素砂漠にたった一度訪れたときの筆者に執筆依頼をいただき、光栄に存じておりますとともに、果してご期待にそえるかどうかは心配ですが、実際に現地での印象をもとに記してみたいと考える。大方のご批判、ご叱責の程をお願いする次第である。

乾燥地と一口にいっても千差万別で、ある程度の定義が必要なのではないかと考える。

図-1は世界の乾燥地域について示されている¹⁾。もともと砂漠という概念でこれまで認められてきた地域の周辺部で砂漠化が進行している地域を示したものであって、その進行の程度が重度なもの、中度のものに区別されて示されている。中国では年間降水量

が250mm以下を砂漠ないしは荒漠地、250mm以上を沙地と区別している。これら乾燥地の砂漠化の原因については種々あげられているが、自然的要因はもちろんであるが、人文・社会要因も見逃すことはできない。

乾燥地周辺での人々の生活に直結する問題は人口の激増とともに、生活用の燃料の採取が砂漠化の一大要因とされている。表1は世界各国のうち、薪炭材生産量の多い順から上位の30ヶ国の状態である²⁾。アフリカ各国の燃料消費量が人口1人当りの値にすると非常に高いことが読みとれよう。この外、アジア大陸から中近東にかけての遊牧民族の行動範囲の地域での過放牧による砂漠化の問題も見逃すことができない。中国西部もかつては豊かな草原であったとされる地域が砂漠化の波に抗しきれずに進行の一途をたどっている現状である。



図-1 乾燥地における砂漠化の状況 (UNEP, 1984)

*京都府立大学農学部教授

〒606 京都市左京区下鴨半木町1

表1 世界の薪炭材生産量に関する上位30ヶ国

国名	総面積 A (千a)	森林面積 B (千ha)	人口 C (千人)	薪炭材生産量 D (千m ³)	B/A	B/C (ha/人)	D/C (m ³ /人)
世界	13,580,700	4,090,621	4,837,000	1,662,971	0.30	0.85	0.34
日本	37,764	25,255	130,000	481	0.70	0.17	0.004
インド	328,759	67,420	750,900	222,437	0.21	0.09	0.30
インドネシア	190,456	121,800	163,390	122,197	0.64	0.75	0.75
タイ	51,400	15,300	51,300	37,053	0.30	0.30	0.72
中国	959,696	134,865	1,059,520	170,721	0.14	0.13	0.16
トルコ	78,057	20,199	49,270	12,488	0.26	0.41	0.25
ネパール	14,079	2,308	16,620	15,216	0.16	0.14	0.91
バングラデシュ	14,399	2,106	98,650	26,298	0.15	0.02	0.27
パキスタン	79,609	3,050	96,180	19,613	0.04	0.03	0.20
ビルマ	67,655	32,148	37,150	15,853	0.48	0.87	0.43
フィリピン	30,000	11,950	54,370	29,172	0.40	0.22	0.54
ベトナム	32,955	13,100	59,710	21,622	0.40	0.22	0.36
アメリカ	937,261	265,188	239,280	101,922	0.28	1.11	0.43
メキシコ	197,254	45,700	78,520	13,844	0.23	0.58	0.18
アルゼンチン	276,688	59,800	30,560	8,462	0.22	1.96	0.28
コロンビア	113,891	49,900	28,620	14,551	0.44	1.74	0.51
ブラジル	851,196	565,280	135,560	168,124	0.66	4.17	1.24
フランス	54,702	14,603	54,620	10,424	0.27	0.27	0.19
アンゴラ	124,670	53,400	8,750	7,663	0.43	6.10	0.88
ウガンダ	23,603	5,860	15,470	10,856	0.25	0.38	0.70
エチオピア	122,190	27,700	43,350	36,083	0.23	0.64	0.83
カメルーン	47,544	25,200	10,100	7,994	0.53	2.50	0.79
スーダン	250,581	47,700	21,550	17,684	0.19	2.21	0.82
コートジボアール	32,246	7,880	9,810	7,972	0.24	0.80	0.81
タンザニア	94,508	42,785	21,730	44,087	0.45	1.97	2.03
ナイジェリア	92,376	15,200	95,190	87,587	0.16	0.16	0.92
ケニア	58,264	3,740	20,330	30,854	0.06	0.18	1.52
ザイール	234,540	176,290	30,360	27,971	0.75	5.81	0.92
シエラレオネ	7,174	2,090	3,600	7,634	0.29	0.58	2.12
モザンビーク	80,159	15,216	13,960	14,270	0.19	1.09	1.02
旧ソ連	2,240,220	932,000	278,610	80,300	0.42	3.35	0.29

筆者が1986年に訪れた中国内蒙古自治区にある毛烏素砂漠における見聞をもとにして、以下に乾燥地の植物について述べていきたい。

2. 砂漠の気象条件

松田³⁾はアジア地域の乾燥地について、図-2および図-3にそれぞれ年降水量の分布および年降水量に対する夏雨率の分布について示している。これらによると東アジア高緯度地域の夏雨率が高いことが注目されイ

ランのケルマンシャーと中国陕西省榆林での降雨量パターンに全く正反対の夏期降雨型と冬期降雨型に分けられると述べている。

神近⁴⁾は鳥取砂丘の砂について、砂層内の含水量と地温の日較差とについて、図-4および図-5を示している。これらによると、砂層表層部の約5～6cmにおいては含水量1%以下、地温の日較差が15～40℃にもおよぶ極めて変化の大きい環境にさらされていることが示されている。

奥村⁵⁾毛烏素沙地における砂丘上の地表風速と流砂量との関係について、次式を示している。

$$Q_s = 3.876 \times 10^{-6} \cdot V^{7.66} \quad (R : 0.961)$$

さらに、これらの流砂は年間の一定時期に移動し、図-6に示すような流砂のパターンを示している。これによると、冬期に凍結した砂丘面が春の3～4月にかけて移動のピークをもち、夏季の降雨期間に多少抑制されて、秋になって再び移動のピークが出現し、12月以降に凍土となり移動が終息するという結果がえられている。

以上のように、厳しい環境条件下にあっても植物は

全く認められないかという必ずしもそうではなくて、毛烏素沙地では、夏季の降雨期間中に砂丘上にごく少数ながら認められる。しかし、初冬および早春の季節風の激しいときに約30～50cmの砂層が移動するという結果のため、砂とともに折角成立した植物は飛ばされて、毎年春になると新しい砂丘面を形成し、その上に新しい群落を作るという変化をくり返している。

3. 乾燥地の植物

以上述べてきたように、砂丘表面付近での苛酷な環境条件下で成育できる植物にとっては、それなりの対

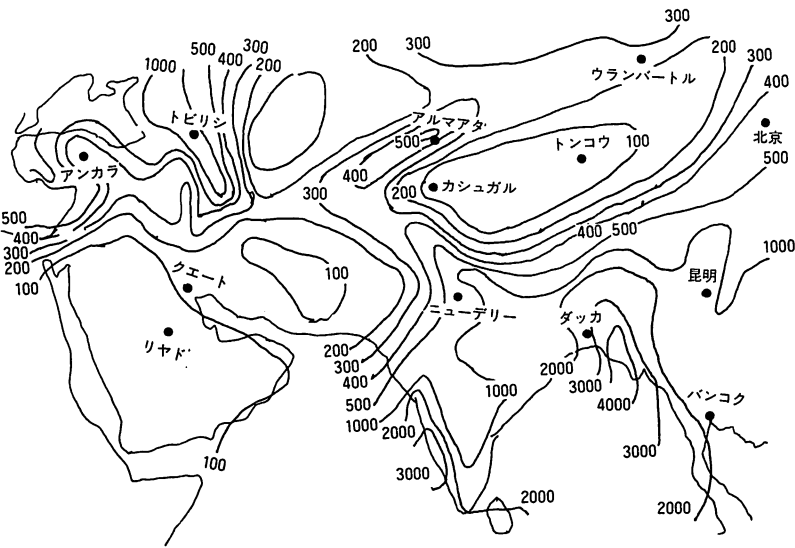


図-2 年降水量の分布 (松田, 1988による) 単位 : mm

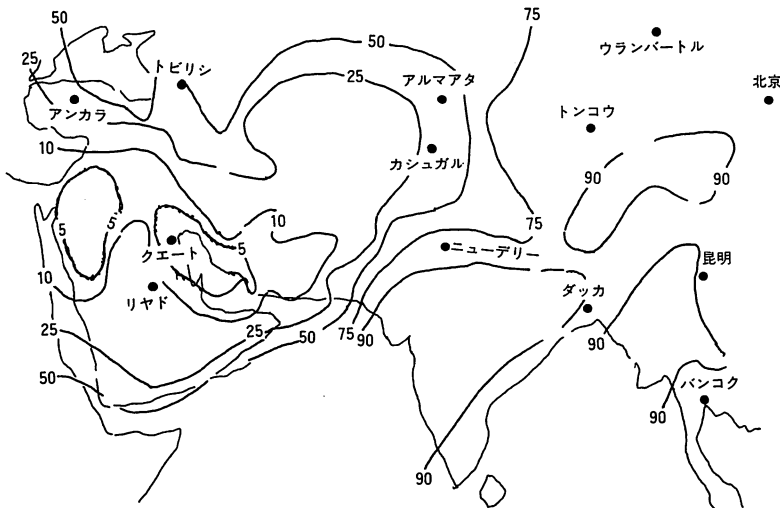


図-3 夏雨率 (年降水量に対する5～10月間の降水量の割合) の分布 単位 : % (松田, 1988による)

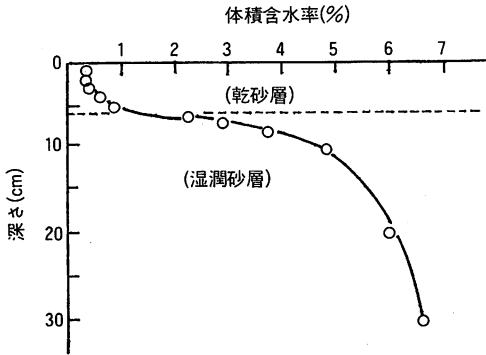


図-4 砂丘地表層の含水率プロフィール (神近, 1988による)

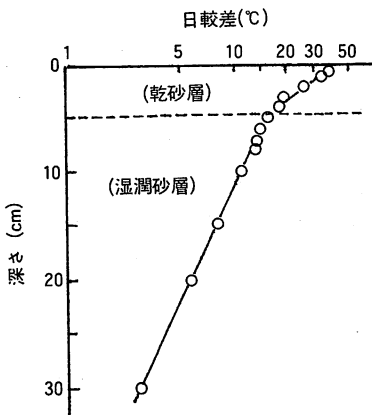


図-5 砂丘地における地温の日較差の垂直分布 (神近, 1988による)

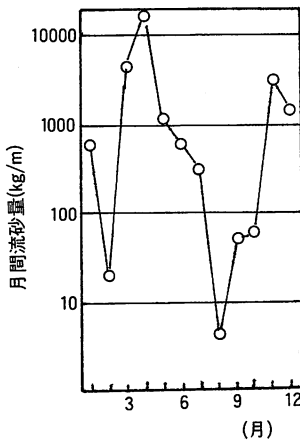


図-6 流砂量の年間変動 (奥村, 1988による)

応策を持たないことには成立できないのである。そのため、これら厳しい環境に対して適応できるように形態的に変化せざるをえない。そこで現存する植物として、毛烏素沙地なり中国西部地域での乾燥地における

形態的な特徴をあげるとすると以下の点が考えられる。

3.1 水分吸収に対する形態的特徴

砂地および山麓部での植物は地上部の規模よりはるかに大きい根系を有し、地中の水分を吸収するのに便利な生活形を有している。例えば沙蒿 (*Artemisia ordosica*) の根系は2~3mの深さにまで達する。柰条 (*Caragana korshinskii*) はその根系長が3~4mとなる。狭叶錦鸡儿 (*Caragana stenophila*) および猫犬刺 (*Oxytropis aciphylla* var. *gracilis*) などはその根系の重量が地上部の重量の約10倍に達し、さらに楊柴 (*Hedysarum mongolicum*) および沙米 (*Agriophyllum arenarium*) などのように、その根系の水平的な伸長は地上部の約5~6倍にまで達すると報告されている⁶⁾。

3.2 蒸散抑制に対する形態的特徴

水分の蒸散を減少させるために葉面積を減少させている。例えば、沙蒿、籽蒿などの *Artemisia* 属の葉は線状に切れ込み、沙棘豆 (*Oxytropis sphaerocephala*) や小白蒿 (*Artemisia frigida*) の葉は小さく線形を呈しており、さらに多くの *Stipa* 属、沙芦草 (*Agropyron mongolicum*)、芨芨草 (*Achnatherum splendens*) などの葉は細長く、災天下の乾燥が激しいさいには細長い葉を筒状に巻き込み、その裏側に気孔がまるめられて蒸発散を防止する仕組みになっている。麻黄 (*Ephedra sinica*) や天冬 (*Asparagus gibbus*) などの葉は全く退化して鱗片状を示し、毛烏素沙地に出現する416種の葉形ごとの分類では表2に示すとおりであり、微型葉および細型葉の種数が約75%の出現率を呈することを示している⁶⁾。

3.3 植物体の温度上昇に対する形態的特徴

葉面のクチクラ層および密に生えた細毛の働きで植物体が陽光により温められることを防止し、直接・間接的に水分消費を減少させる。例えば、牛心朴子 (*Pycnostelma lateriflora*)、沙竹 (*Psammochloa villosa*)、杠柳 (*Sepium periploca*) などの葉面にクチクラ層が発達し、白龙穿彩 (*Panazera lanata*) は全株に白茸毛が密生し、小白蒿は全株に

表 2 乾燥地植物の葉型(毛烏素沙地出現種)

葉 級	種 数	割合 (%)
微 型 葉	134	32.2
細 型 葉	173	41.5
小 型 葉	95	23.0
中 型 葉	14	3.3

密な絹毛で被覆され、沙棘豆および巴錫藜 (*Bassia asyphylla*) は莖葉に長軟毛が密生し、剪花火絨草 (*Leontopodium conglobtum*)、蕊芭 (*Cymbaria dahurica*) などは全株白綿毛におおわれ、さらに多くの出現種の中で、柺条、猫头刺、烏柳 (*Salix microstycha*)、大白蒿 (*Artemisia siversiana*) などは茸毛、絹毛、長剛毛、糙状毛および微毛などあらゆる形態の毛で全株が覆われている状態である。

3.4 陽光反射に関する形態的特徴

籽蒿、柺条、鰯藜 (*Olgaea leucophylla*) のような植物体にはよく光る白色の表皮をもち、日光を反射して、植物体の熱に対する害を防止している。

3.5 塩化土壌に対する形態的特徴

塩化の進んだ環境での出現種は各器官がこの環境に対応できるように、葉や枝が肉質化して貯水組織を発達させている。一般にサボテンを想定すれば理解され、碱蓬 (*Suaeda* spp.)、盐爪爪 (*Kalidium* spp.)、白刺 (*Nitraria* spp.)、滨藜 (*Atriplex* spp.) などは葉が肉質化させており、海蓬子 (*Salicornia europaea*) は葉が退化して枝が肉質化して貯水組織を増加させている⁶⁾。

以上のように乾燥地の環境条件に適合できるような組織を発達させて、飛砂現象さえ抑制できれば生育可能な形態を整えていることが指摘されよう。

4. 緑化植物

以上述べてきたように、乾燥地での緑化植物をあげる段階になる訳であるが、率直に云って、乾燥地の環境条件によって決ってくることは云うまでもない。

その砂漠化の原因が判明しているのであれば、その原因を除去することが優先されるであろうし、その後適した植物を導入するのが順序であって、人文・社会的な原因を未解決のままでも緑化しても無意味である。その地域の緑に対する認識の程度がまず問われなければならない。ついで、環境条件の整備が要求されるべきであって、飛砂を伴う砂丘にあっては、飛砂を抑制する物理的手段を講じてから、緑化植物を導入すべきである。さらに、導入方法として、播種によるのか、苗木で行うのか、さし木によるのかという問題に到達するのである。

毛烏素沙地における方法としては、図-7⁷⁾に示すように、早柳 (*Salix malsudana*) の大型さし木によって防風固砂林を造成した後、砂丘の高さを制限し、砂丘を平坦化してから牧草類の播種を行っている。ただし、この方法はさし木防風林が完成するまでに少なくとも3~4年の年月を要することが予想される。それまで気長に待てるかどうかはその成否がかかってくるのである。より早期に緑化の目的を達成するとすれば物理的に流砂を止める工法をとるのが最良であろう。

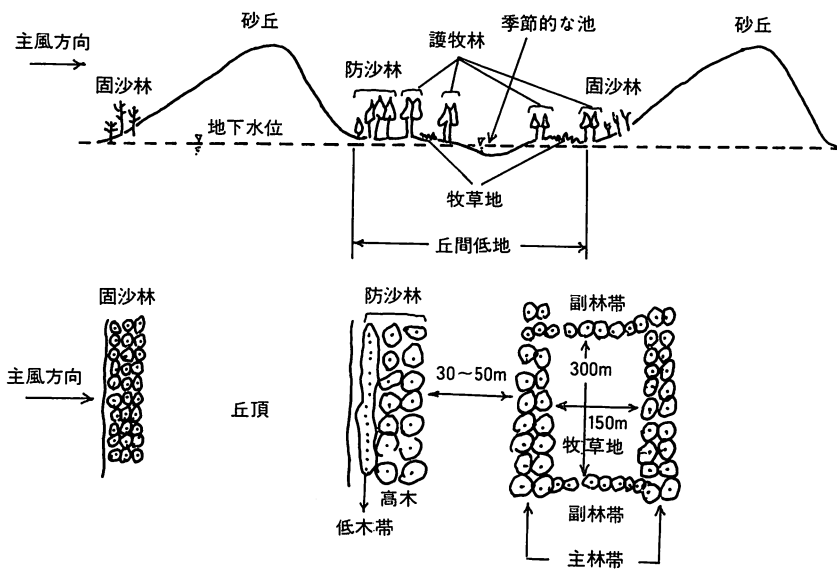


図-7 防護林体系の概念図

この物理的な手段としては、各種工法が採られるが、わが国に従来からある堆砂垣なり、立て工との併用でその内部に苗木を植栽する方法が採用できればより確実であろうが、堆砂垣なり、わら立て工の材料が人手できればの話である。要するに、いかに砂粒の移動を抑止して導入植生の生長を促進するかに的が絞られてくるのである。

以上のように、その地域の社会的・経済的条件が整備され、物理的に流砂を阻止できれば、ほぼ緑化は容易に可能となり、それら環境条件に適合する植物種を選択すれば良いことになる。流砂の少ない地域、例えば、アメリカ西部のように、乾燥に対する障害は主として水分条件のみであるから、かんがい用水の確保と補給のみが整備条件となり、ある程度の作物を生産しうるシステムも可能となろうが、このような個所はまず望みえないものと予想されるのである。

以上の条件整備を充たしたうでの導入する植物種としては、中国西部の乾燥地という設定であれば以下に示すとおりである。

4.1 木本種

(1) 樟子松 (モウコアカマツ) *Pinus sylvestris*

var. *mongolica*

ユーラシア大陸に広く分布するアカマツの一種であるヨーロッパアカマツの変種である。耐乾性および耐寒性が強く、以上のべてきた乾燥地によく適用できる種である。流動砂丘が固定できれば導入可能な種である。

(2) 又子円柏 (臭柏) *Sabina vulgaris*

ヒノキ科ビャクシン属に分類される種である。毛烏素沙地に天然分布している。現在その増殖方法が検討されており、その目安がつけば導入可能な種となる。毛烏素沙地に現存する唯一の針葉樹であり、このような乾燥地での極盛相とみなされる群落を形成している。

わが国のホンドミヤマネズ (*Juniperus communis*) に近い種で、砂丘面を1.5~2.0m前後の樹高で水平方向に枝をほふくさせて育成し、わが国高山におけるハイマツ帯のような景観を呈する。

(3) 早柳 *Salix matsudana*

樹高が15mにも達する高木であり、中国西部では有用樹種としては最もポピュラーである。すなわち、砂丘固定用に使用される以外に、大径木は住居の屋根組材として、枝条は編んで敷物あるいは間仕切に、さらに、生葉は家畜の飼料として供される。さし木増殖が容易であるため、長さ3mの枝条が採取できれば、早

春に地表に凍土がとけ出して、その厚さが1mになった時点でさし木を行ない、地上部に2mの高さの個体を約4m間隔にさしつけていき、図-7に示したような防風固砂林を形成していくのである。

その根系の発達はすばらしく、十数mの長さまで伸長することが認められている。

(4) 西北沙柳 (沙柳) *Salix psammophila*

中国沙漠地方に現存する柳属は21種であると報告されている⁸⁾が、そのうち、早柳のような高木種と本種のように樹高が3m程度にしか生長しない低木種とに分類される。本種は飛砂の最も激しい砂丘面でも育成できる強靱な種である。早柳と本種とを組み合わせ、防風固砂林を造成している。本種は長さ1mの枝条を0.4m埋幹し、地上部に0.6mの高さでさし付けられる。したがって、砂丘前面(風上側)の地表部分の風速緩和の目的で使用され、前述の早柳は地上4~5mの高い位置での風速減少のために導入されるものである。

(5) 柁条錦鶏儿 (柁条) *Caragana korshinskii*

マメ科植物中でこれら乾燥地での最適種である。前述のように植物体が根系なり、地上部に形態的な特徴を持っていることで導入されている。これらCaragana属は非常に多種が報告されており、これら乾燥地では34種が現存すると記述されている⁸⁾。

(6) 沙棘 (酸刺) *Hippophae rhamnoides*

グミ科の低木あるいは小高木(1~4m)である。前述の形態的な特徴の中で植物体全体に銀白色の鱗片を有し、植物体からの蒸散作用を抑制し、植物体温の上昇を抑えることから、かかる乾燥地で適用可能な種として用いられている。青海省では盛んに育苗を行ない、緑化がはかられている。

(7) 蒙古岩黄耆 (楊柴) *Hedysarum mongolicum*

マメ科イワオウギ属に分類される種であり、わが国では草本種のみが出現するのであるが、中国では低木種と草本種とが出現する。本種は前者の低木種であり、航空機による実播工に使用されている。本種の枝葉は家畜の飼料としても有効とされ、緑化のみならず他方面での利用にも供される有用種である。

(8) 黒沙蒿 (油蒿) *Artemisia ordosica* および 白沙蒿

(籽蒿) *A. sphaerocephala*

両種ともキク科ヨモギ属に分類される半低木種である。冬期から早春にかけて家畜の飼料や燃料として利用されるが、前述の沙柳と同様に流動する砂丘に育成可能な種であり、主として種子による増殖可能な点がよく、楊柴と同様に航空機からの実播工に使用される。

本種らは、砂中の水分と遭遇すると種子表面から粘液を発生し、砂粒と膠着して発芽成育するという強靱な生活型を有している。

(9) その他の木本種

以上中国西部での木本種としての主要なものをあげたのであるが、中国国内では、各地方において、マメ科ハギ属 (*Lespedeza*)、ギョリュウ科ギョリュウ属 (*Tamarix*)、タデ科 *Atraphaxis* 属、*Calligonum* 属およびアカザ科 *Halxylon* 属などの低木ないしは小高木種が砂地固定に効果があるとの記述が認められるが、世界的にも通用する木本種としてはマメ科のニセアカシア (*Robinia pseudo-acacia*) およびアカシア類 (*Acacia*) があげられ、南半球および赤道直下の地域ではフトモモ科のユーカリ属 (*Encalyptus*) などの高木種が導入されている。いずれも、苗木の生産が容易となればよりよい結果が得られるのであるが、現地での社会的経済的条件が整備されないまま行われているため、非能率的な緑化事業となっているのは残念である。

4.2 草本種

(1) 沙蓬 (沙米) *Agriophyllum squarrosum*

アカザ科の植物であり、夏期の間砂丘面に成育する一年生草本である。秋に結実を済ませると地上部が風によってもぎとられ、砂丘面をボール愛の形で転がっていき、その間に砂丘上に種子を散布していくという生活をする。西部劇で荒野の上を転がっている乾れ草を想像していただければ幸いである。現地では前述の油蒿、楊柴とともに航空機からの実播工に使用されている。

(2) その他の草本種

沙米以外の草本種はあまり積極的に導入されているという事例は少ないが、イネ科の種子、とくに綿毛をもつ種子を形成する種が自然に増殖するのが当然であり、沙鞭 (沙竹) *Psammochloa villosa*, なり沙施

覆花 *Inula salsoloides* などは種子が飛散し易い形態をなすことから、流砂が何らかの原因で落ち着いた場所では必ず見られる植物である。すなわち、あえて導入せずとも自然の力によって侵入する種であることが認められる。

5. おわりに

乾燥地の緑化と一口にいて、すべてが同じタイプで実施できることはまず不可能であろう。したがって乾燥地それぞれの自然的条件を把握すること、現地での出現植物をよく調査すること、それらの種がいかに関与し増殖できるかどうかの可能性の検討などが最低限の制約条件となろう。単に植樹さえすればすべて解決するという発想では容易に進まないと考えられる。中国内蒙古自治区の毛烏素沙地での短期間の体験からのべてきた事実がいくらかでも乾燥地の緑化に対しての一助になれば幸いである。

参考文献

- 1) 環境庁総務課；地球環境キーワード事典 (1990), 中央法規出版
- 2) 林野庁；林業統計要覧 (1988), 林野弘済会
- 3) 松田昭美；乾燥地の分布と気候の概括一主として東アジアを中心として一, 1988日中共同研究講演論文集 (1988) 内モンゴ砂漠開発研究会, 85~88
- 4) 神近牧男；毛烏素砂漠開発上の気象的諸問題, 1988日中共同研究講演論文集 (1988) 内モンゴ砂漠開発研究会, 69~72
- 5) 奥村武信；毛烏素沙地砂丘における風速分布・流沙観測, 1988日中共同研究講演論文集 (1988) 内モンゴ砂漠開発研究会, 55~58
- 6) 高尚武編；治砂造林学 (1984), 中国林業出版社, 74~79
- 7) 大手桂二；内蒙古自治区毛烏素地の緑化事業の現状, 新砂防, 39巻, 6号 (1987), 24~31
- 8) 中国科学院蘭州沙漠研究所編；中国沙漠植物誌, 第1巻 (1985) 267pp, 科学出版社