中国における乾燥農業限界地の気象改良

真木太一*・鈴木義則**・早川誠而***

(* 農業環境技術研究所気象管理科
 ** 九州大学農学部
 *** 山口大学農学部)

Meteorological Improvement at Marginal Arid Lands for Agriculture in China

Taichi MAKI*, Yoshinori SUZUKI** and Seiji HAYAKAWA***

(* Division of Agrometeorology, National Inst. of Agro-Environmental Sciences,
 Kannondai, Tsukuba, Ibaraki, 305 Japan
 ** Faculty of Agriculture, Kyushu University, Higashiku, Fukuoka, 812 Japan
 *** Faculty of Agriculture, Yamaguchi University, Yoshida, Yamaguchi, 753 Japan)

1. はじめに

「農業限界地の気象改良」には、次の2種類の意味がある。①砂漠、ツンドラ、高山などにおける限界・境界地 (Marginal land), すなわち作物栽培が可能かどうかの農業限界地域という意味での気象改良と、②作物の気象災害が少しでも発生するような限界の農業地域という意味での気象改良である。換言すれば、前者では常襲的な気象災害発生気象条件下での気象改良 (例えば砂漠のオアシス化) であり、後者では経済的・経営的に有利にするための気象改良、すなわち冷害の発生が予測されれば防風ネットで、また霜注意報ができれば防霜ファンで防ぐという立場での気象改良である。

なお、気象改良の気象とは、狭義の気象と気候を含めたものであり、改良とは、気象・気候を人間に役立つように人為的に改良 (改善・改変・改造) することを指す。

さて、1993年は低温・寡照・多雨による大冷害、1994年は高温・多照・少雨の干ばつ、1995年の夏季は前半が低温・多雨、後半が高温・少雨であったように、現在、地球温暖化傾向の中で、かつ異常気象多発状況下にある。しかも、この傾向は今後とも当分の間継続することが考えられる。このような気候的背景の下で、耕地気象改善研究部会では第5～11回の7回にわたって「農業限界地の気象改良」の研究会を開催して一定の成果を上げた。しかし、上述のように取り扱う範囲が非常に広く、

かつ学際的で、しかもその時々課題や地域的課題などを選定したため、分散的になった傾向がある。ここでは、その内の乾燥農業限界地に限定した上で、多くの文献を加えて総合的な解説 (レビュー) を行った。

本報告では、大規模な気象改良、すなわち巨大な土木工事を伴う気象改良は取り扱わないで、砂漠から農耕地付近の局地・微細気象の改良を対象とした。一方、気象改良で最も人工的な環境調節として、温室、ハウスなどの気象環境調節施設やエジプトでのハウスによる緑化法 (遠山, 1989) があるが、広範囲な乾燥地としては対応しきれないため、これらの環境調節は取り扱わなかった。ただし、マルチやべたがけのように比較的自然的 (露地) な気象改良技術については対象とした。

防風施設や気象改良に関する最近のまとまった書物には、朱 (1985)、真木 (1987)、Brandle *et al.* (1988)、向 (1989)、Xiang *et al.* (1990)、真木ら (1991) があり、その内、乾燥地での研究もかなりある。気象改良は、世界の多くの乾燥地で実施されており、地域的に特徴を持った技術も見られるが、特に中国の乾燥地では、多くの共通する技術と既存の進歩的な独特の技術があり、また新たな技術開発も精力的に実施されている中で、著者らが中国を中心に研究を継続しているため、主に中国での気象改良について解説した。

2. 乾燥・高温の農業限界地における気象改良

地球上の陸地の1/3は乾燥地であり、そこでは人口増

加に伴う環境への影響、すなわち環境悪化によって砂漠化の危険性が高くなり、特に限界地域では砂漠化の脅威のため、農業の持続が不安定な状況にある。従って、節水、気象改良、気象災害防止が不可欠である。

特に中国の乾燥地では、砂漠化の進行が緑化の進行よりも速い。近年の砂漠化は、1990年までに19.7万km²に及び、毎年1,560km²の速度で進展し、潜在的砂漠化面積は13.7万km²に達する(Wang, 1994)。この砂漠化の原因は主として人為的な過開墾、過放牧、過伐採および水の過消費に起因する(真木, 1992)。

なお、引用文献は各研究会の論文集中にあるので、特別の場合以外は、その論文集の引用にとどめた。

(1) 乾燥農業限界地の現状と微気象改良

真木(1992)は、中国新疆で、砂漠の一部をオアシスに改造する際の気象改良として、次のことを報告した。

①耐暑・耐寒性、耐風・耐砂性、耐干・耐塩性の大きいタマリスク樹や混交広葉樹(胡楊、榆、沙棗)防風林の気象観測の場合には、夏季・日中に作物に不利な過昇温が一部あるが、減風と加湿効果があること、②防風林に代わる防風ネットの場合には加湿がやや小さいが、ほぼ同様の減風効果があり、設定が楽で有効な手法であること、③草方格の場合には防風・防砂や植生回復効果のあることなどを報告した。また、乾燥地での水食・風食防止技術としての灌漑・被覆法およびクリーンでサステナブルな自然エネルギーとしての風力・太陽エネルギーについても報告した。

(2) 砂漠とオアシスの境界地での気象特性

甲斐(1992)は、中国の砂漠・オアシス境界地のゴビ(石漠)砂漠周辺での熱収支解析から、①砂漠では顕熱フラックスが、オアシスでは潜熱フラックスが相対的に大きいこと、②砂漠では潜熱は午前中に上向きで大きく、午後は減少して夕方には下向きになることから、夜間の凝結量分が午前中に蒸発してしまうこと、③顕熱フラックスはオアシスからよりも砂漠からの風向時に大きいことを明らかにした。また、オアシスの正味放射量は砂漠のそれより大きい結果を得たが、これは砂漠のアルベドがオアシスのそれよりも大きいためであるとしている。

(3) 節水灌漑と節水農業における微気象改良

駒村(1992)は、点滴灌漑法で灌漑した湿潤域と乾燥域の土壌水分量と消費水分量を調べた事例から、点滴灌漑量は散水(全面)灌漑量の57%に減少した上、有効雨量は140%に増大する結果を得た。また、中国の毛烏素(ムウス)沙漠で畦間・スプリンクラー・点滴灌漑法を野菜、牧草、果樹、苗木に適用した結果、点滴灌漑量は畦間灌漑量の1/5およびスプリンクラー灌漑の1/2にとどまった。なお、タイの乾燥地での点滴灌漑は、畦間灌

漑に比べて灌漑水量が1/3に、灌漑面積が3倍になる可能性を示した。さらには、点滴灌漑の特徴は、①湿潤域が狭いために蒸発損失量が少ない、②灌漑水を一様に分配することができ水利効率が増大する、③スプリンクラー灌漑と異なり風による飛散損失量が少ない、④高透水性の砂質土でも下方への浸透量を最小限にできる、⑤畑地への節水灌漑として有効であることを指摘した。

原蘭(1992)によると、中国の乾燥地の天水依存型農業地域では、絶対的に不足する降水量による限界があり、一方、地下水や灌漑用水を利用する地域では塩類集積による限界があるとしている。また、微気象改良による農法には、①塩類集積防止を考慮した約2週間毎の湛水灌漑法、②防風林による防風・遮光・節水としての蒸発抑制法、③フィルムマルチの敷設による節水栽培法、④黄土高原での小石マルチによる保温法と種子の飛散・土壌風食の防止法などがあり、また営農的な節水農法には、①表面耕起による毛管水遮断と塩類集積防止、②収穫直後の耕起による雑草防止、③輪作栽培、④耐干性作物(ソバ、ソルガム)栽培などの方法があるとしている。

(4) ベタがけによる高温・乾燥気象の改良

五十嵐(1995)によると、ベタがけとは通気性を持った資材を直接的、または間接的に対象物に被覆する直がけ、浮きがけの方法であり、資材の特性によって保温、遮光などの環境調節作用が内部の作物の種類や生育段階および外部環境の影響を受け変化するため、場所、季節、作物などによって効果が逆転することもある。また、熱帯・亜熱帯でのベタがけは、強日射、高温、乾燥の緩和に有効であり、遮光による地温上昇の抑制が顕著であって土壌水分は高く保持されて、パクチョイ菜の生育を促進する。さらには、ベタがけによる風速の減少は生育を良好にし、特に強風害の軽減に有効であり、防虫効果も高い。なお、沖縄県では夏季に青色ネットの浮きがけが作物生育に有効であり、かなり広範囲に普及している。

そして、中国新疆の乾燥地でのベタがけ試験から、夜間は気温・地温が低下して加湿条件が整うため作物に好適環境となるが、日中には防風によって気温が上昇し相対湿度を低下させる作用と、日射の遮蔽によって気温・地温が低下し湿度を上昇させる作用が拮抗するため複雑で、メカニズムは未解明であるとしている。

一方、著者らは、日中にはベタがけ被覆による強日射の遮蔽によって対照区の作物体表面の葉温・茎温がより低く制御されるため、乾燥・高温条件下の作物には有効に作用し、さらに夜間の降温と加湿の効果が加算されるため作物の生育は良好となり、高品質の作物が多収穫できると考えている。

(5) 砂漠気候の改良と環境アセスメント

真木(1994)は砂漠気候の改良に関して、①砂漠とオアシスの気象差、②タマリスク防風林、胡楊・榆・沙枣の混交防風林、防風ネットによる気象改良とその加算効果(後述)、③防風施設による風食・飛砂防止、④作物の生育促進と高品質作物の収量増加、⑤被覆・灌漑法による気象改良などを報告した。またオアシスと砂漠の気象特性では、オアシスの気温・地温は砂漠に比べ、夏季に低く冬季に高く、日中に低く夜間に高い。そして年・日変化は小さく、風速は半減する。さらには降雨後の気温・地温の上昇は砂漠では急激であるが、オアシスでは土壌水分と湿度の増加のため緩やかであるなど、オアシスの気候緩和効果が大いとしている。

また次に、乾燥地で作物を栽培するには気象改良を行う必要があり、その手段として防風・防砂林、草生法が有効である。そして乾燥地では、耐干・耐風・耐砂・耐暑・耐寒・耐塩性の強い植物を選定する必要がある、広範囲な農地を造成するには格子状に配置した組織的な防風林帯で気象環境を改善する必要がある。しかし、過剰開発は逆に砂漠化を促進するため、降水量、流出量、蒸発散量、取水量、利用効率、経済性、環境影響などを総合的に考慮して、特に環境アセスメントを実施し、長期的・計画的に対応する必要があるとしている。

(6) 乾燥地の農牧業開発と気象改良・環境保全

神近(1992)によると、内蒙古のムウス沙漠はかつては豊かな草原であったが、過放牧、過伐採、過耕作で砂漠化し、現在、農牧民は砂漠地域の開発の難しさと砂漠化の脅威に直面している。砂漠地域における農牧家所有地の土地利用状況、気象災害、環境保全の調査によると、高緯度乾燥地での農牧業には種々の気象災害が発生し、砂漠化した土地の回復を困難にしている。従って、砂漠化防止と永続的な農牧業開発には、行政的対策だけでなく、現地住民の気象改良に対する主体的行動力が不可欠となる。そして、年間日照率が70%と高いことや夏雨型で年降水量300~500mmのかなり多くある降雨条件を活かせば、砂漠化防止と農業開発が可能であるとしている。また、農牧家の土地利用は、①砂漠化した放棄地、②天然草地での放牧利用可能地、③人工的な管理牧草地、④住居付近での耕作地に区分されるが、将来的には農産物の供給基地となる生産用の集約的農園の開発を行って、各土地利用レベルに即した環境保全と管理対策が必要であるとしている。

3. 防風・防砂法と灌漑法による気象改良

3.1 防風・防砂法による気象改良

乾燥地では飛砂および砂移動は非常に大きい問題であ

り、気象改良に密接に関連するため、ここでは防風による気象改良技術を、主として防砂との関係から述べる。具体的な緑化技術と砂漠化防止法は、新疆生物土壤沙漠研究所(1978)、蘭州沙漠研究所(1979)、朱・劉(1981)、真木(1987; 1993; 1994; 1996)、河野(1988)、朱ら(1994)など多くの文献からまとめた。

これは生物・物理・化学的防止法およびその他に区分される。生物法には草生法、灌木・草生法、砂丘間(基幹)防風・防砂林帯法、耕地防風林帯法、物理法には高・低の防風・防砂垣、石礫粘土被覆法、化学法には化学物質被覆(混入)法などがあり、その他には灌漑・沈砂法、飛砂捕捉溝法などがある。

(1) 生物・生態的防風・防砂法

植物被覆防風・防砂法および植栽による植生防風・防砂法である。砂丘化防止や固砂法として年数はかかるが、自然回復力を借りて砂漠化を防止する方法、草本・木本植物による砂丘固定法、砂丘周辺の防砂林の造成法、農地内の保護林の造成法などがある。喬木(高木)・中木・灌木(低木)樹や草本植物を播種・植栽して砂面を被覆し、地表の風を弱めて砂の移動を防止する方法である。

①草生法：地表面を被覆する方法に草生法があり、植生回復によって気象改良を行い、厳しい気象環境を緩和する。中国では封砂育草(草で覆って砂を封じる植生被覆)法と呼ばれ、耐乾性の草本を砂砂漠、戈壁砂漠に播種・移植して防風・防砂草地を育成する。草生法には地上での手作業や機械による播種法および航空機による播種法がある。移植する場合には灌木や高木樹の移植が多い。乾燥の激しい地域では灌漑による移植法が主であり、雨の比較的多い地域では播種法が有効である。

被覆法による自然植生回復には防風・植物保護用の草方格(写真、図1)が優れており、ワラの中央部をシャベルで砂中に押し込み埋める方法とワラを逆向きに砂中に埋める方法がある。地上部が20~30cm、地下部が15~

図1 中国で開発され普及している砂丘の緑化法の草方格(トングリ沙漠シャポトウ)

20 cm のものが多く、幅は 0.5～2 m で、多くは 1 m×1 m の基盤の目状に造る防風・防砂施設である。ワラ量は 4.5～6.0 t/ha であり、傾斜地では下方のワラの先端を次の上方のワラの接地面より 5 cm 程度高くして、ワラの高さが重なることで効果を加算させている。この草方格の設置場所として騰格里（トングリ）沙漠南東端の沙坡頭（シャポトウ）が有名である。主風向側に幅 500 m、反対側に 300 m の飛砂・砂丘移動防止帯を作ることによって、環境改良に成功している。

また、新疆では麦ワラ・稲ワラの代わりに葦ワラを使った草方格で、タクラマカン沙漠内の砂漠道路を保護している。さらに、寧夏自治区銀川北西方の阿拉善（アラシャン）では粘土を使った粘土方格、青海省格爾木（ゴルムド）では塩殻地の土塊を用いた塩土方格がある。

②灌木・草生法：砂丘表面の草本・灌木群による固砂法であり、流動砂丘の風上側斜面の麓に耐乾性の樹木（沙柳、旱柳など）や草本性植物（沙米、羽茅、三芒草など）を植栽して防風・防砂によって気象改良を行う。

③砂丘間防風・防砂林帯法：流動砂丘の風下側や砂丘群の窪地の砂丘間低地に集団的に造成する防風・防砂林帯である。ムウス沙漠での砂沙漠の緑化方法は、半乾燥、高地下水位を利用した挿木を用いるなど、強乾燥地域の新疆での方法とは異なっており、また大がかりな土木的方法によらないで、自然の砂丘形態をたくみに利用した方法が取られている。

高さ 8 m 以下、砂丘間隔 50 m 以上の中・小型砂丘の固定には、図 2（小橋・奥村, 1989）のような造林法が実施

図2 ムウス沙漠での砂丘の固定による緑化法
（小橋・奥村, 1989）

されている。まず砂丘の風上側底部に植林し、2年、3年目へと砂丘の風下の高い位置に植林する。砂丘頂部を風食で削らせ風下側に堆積させて砂丘自体を低くし、数年で植生を回復させて全般的に砂丘を固定する方法である。

④基幹防風・防砂林帯法：図3A、B（新疆生物土壤沙漠研究所, 1978）に新疆での例を示すように、砂漠と農地の境界線に配置する。これは防砂・固砂と防風・防砂の基幹林帯に2区分される。図Aは砂の供給の多いタクラマカン沙漠などの砂丘の前線に幅 100～200 m の林帯を設定する。樹種は沙枣、榆、タマリスク（紅柳）、沙拐棗、梭梭などであり、株列間 1×1 m で、耐乾性の灌木・草地を前面に造成する。図Bは一般の防砂林として砂の供給の比較的小さい前線に設定する。砂漠の前面に 200 m 程度の草地と 1～2 列の灌木林を造成する。基幹林帯幅は 200 m である。

樹種はポプラ（新疆楊、白銀楊）、榆、桑、紅柳で、株列間は 1×2 m である。灌漑用に 2～3 m の溝を造ることもあり、トルファンの流動砂地に造成された五道林の防風・防砂林はその典型である。また、風食の激しい所や強風地域では多列に配置すると一層効果的である。

ここで、基幹防風・防砂林帯としてのタマリスク防風林（樹高 4.6 m、密閉度 85%、林帯幅 12 m）による 1.5 m 高の風速、1.0 m 高の気温・湿度の気象改良事例を図4A、B（真木, 1992）に示す。図Aでは風向が防風林に直角であるため、図Bの入射角 30 度の場合より減風範囲が広い。早朝で日光の当たる防風林の風下側直下以外は地表面温度と高さ 1.0 m の気温が低く、防風林による加湿効果が大い。図Bでは、地表面温度と気温は防風林付近で高く、夏季の日中にはマイナスの効果が出ている。加湿は防風林内とその前後わずかである。

⑤耕地防風林帯：中国では耕地防護林帯網と

図3 砂丘地をオアシスにする草生・防風垣・防風林帯の配置状況（新疆生物土壤沙漠研究所, 1978）
（A）砂量が多い場合、（B）砂量が少ない場合

図4 (A) 早朝と(B) 日中における1列のタマリスク防風林による気象改良(真木, 1992)

図5 (A) 日中と(B) 夜間における胡楊・榆・沙棗(落葉広葉樹)の3列の混交防風林による気象改良(真木ら, 1995)(記号は図4と同じ)

呼び、農耕地、オアシス内に防風林を碁盤の目状に配置し、幹線用水路や道路沿いにも造成する。防風林樹種はポプラ、胡楊、沙棗、榆、桑などである。防風林を多層の混交林にすると一層効果的である。

ここで、耕地防風林帯の最前線での落葉広葉樹(胡楊・榆・沙棗)の混交防風林(樹高7m、密閉度70%、林帯幅11.5m)による1.5m高の風速、1.0m高の気温・湿度の気象改良効果例を図5A, B(真木ら, 1995)に示す。図Aでは斜風のため風速の回復が速いが、減風効果はかなりある。地表面温度は風下では少し昇温しているが、林内では日陰のため低い。防風林とワタ圃場からの蒸発散によって加湿効果がある。その加湿が蒸発潜熱を使うために、地表面温度の上昇に対して気温の上昇を小さくし、一部では風上側の基準温度より低くしている。図Bでは、減風効果は顕著であり、地表面温度は放射冷却によって少し低下し、また加湿が顕著であるため気温も少し低下している。このように気象改良効果があるため、作物(ワタ)の生育が良好で収量を多くしている(真木, 1994)。

なお、乾燥地の気象改良用の防風網(ネット)は防風林とほぼ同様の効果があり、次の区分に入れられる。

(2) 物理的防風・防砂法

工学的被覆防風・防砂法とも呼び、防砂垣(網・壁)、草(粘土)方格、低い防風・防砂物(砂障)を用いる防風・防砂法および粘土、礫などによる被覆法である。

①高防風・防砂垣(壁)：中国では高立式防風・防砂垣(壁)、高立式砂障と呼び、1～5m程度の高い防風資材による防風(砂)垣、防風(砂)ネット、土壁、石垣、板塀、フェンスなどを列(帯)状、格子状に配置して防風・防砂を行う方法である。人工の防風施設を用いるため、短期間に造成が可能である。それらの資材には麦・稲・葦ワラ、トウモロコシ茎、そだ(綿、柴、雑木の枝葉)、ネット、粘土、礫石などを用いる。

高防風・防砂垣を設置して結果的にできた堆砂を防砂堤防(人工砂丘)の別項にする場合もあるが、基本は防風・防砂垣である。これは風上からの飛砂を止め、小砂丘の移動を防止するものである。砂丘、砂地、石礫ゴビでは、まず主風向に直角に防砂垣を設定し、それが砂に埋まると、次にその風下の最高部に別の防砂垣を造る。砂丘が高くなれば移動速度が遅くなるので、結果的には飛砂害を防止でき、気象改良になる。さらに被害の激し

い所では多列にする。ゴビ砂漠では最初に高さ2mの人工砂礫堤防を築き、その上に防砂垣を造成したり、南新疆の且末(チェモー)の南東40km地点では道路の風上側400mに長さ12kmの人工堤防・砂丘を造成したりしている。これは日本の海岸砂丘地帯で自然的・人工的に砂移動防止用の高い砂丘を造る工法と同じである(真木, 1987)。

②低防風・防砂垣(壁): 中国では半隠蔽式(隠蔽式)防風・防砂垣(壁), 隠蔽式砂障とも呼ぶ。この低防風・防砂垣は, 植物を植栽しないで麦・稻藁(ワラ)や粘土の1m以下の低い障壁(防砂壁)を用いる場合で, 列状・格子状に配置して防風・防砂を行う方法である。

また, (2)-①, ②は新疆生物土壤沙漠研究所(1978)によれば, 防風・防砂垣の埋め込み部分より地上部分が長い場合が高立式, 短い場合が半隠蔽式であり, 砂丘の風上側の斜面に格子状に埋め込んで砂の移動を防止する場合が隠蔽式である。なお, 隠蔽式は生物的防風・防砂法の草方格にも区分される。

③石礫粘土被覆法: 石, 礫, 砂, 粘土, 塩塊, 鈹滓(スラグ), アスファルト((3)-①, ②とも関連), ネット, フィルムなどで砂丘を包むマルチ被覆法である。石, 礫, 砂では2~5cm, 土類では10~15cmにすると効果的である。また, 風食に強い粘土などを客土する方法((3)-①と関連)もある。

(3) 化学的防砂法

化学物質被覆防砂法とも呼び, 2区分される。

①化学的固化剤(乳剤)の呼びつけ: 地表面凝固法であり, 化学物質のアスファルト・高分子・ゴム乳剤などで砂面を被覆し, 砂を固める固砂法である。速効性があるが, 広範囲の実施には経済的に無理であることが多く, また昼間の気温・地温が裸地の場合よりも上昇し, 逆に夜間は低下するため, 気象緩和にはあまり向かない。

②流砂改良化学薬剤の混用: 化学物質を混入する地表面改良法であり, 客土の場合もある。

(4) その他の防砂法

①灌漑・沈砂法: 洪水灌漑とも呼ぶ。(1)河川水を灌漑して地表面を湿らせて飛砂を防止する方法, (2)河川水で小砂丘を崩し均平化する方法, (3)黄河などの泥水を引いて灌漑し, 泥を沈澱させて土壌を改良する方法などがある。これは以前, エジプトのナイル川デルタ地域での毎年の自然洪水を利用した土地改良法と同じ意味がある。

②飛砂捕捉水路・溝防砂法: 大小の溝を掘って砂を溜める方法であり, 砂漠内の幹線水路から農地内の灌漑水路までがこの役割を果たすが, 無灌漑でも飛砂防止にはなる。トルファンの五道林の防風・防砂林に事例がある。

3.2 灌漑法による気象改良

気象改良にとって灌漑法は非常に効果的である。灌漑法を区分すると, ①散水灌漑法にスプリンクラー法, 多孔管法, 点滴(ドリップ)法が, また②地表灌漑法には畝間法, ボーダー法, 水盤法が, さらに③地下灌漑法がある。灌漑法による気象改良効果は確かに高いが, 乾燥地では特に水量に制限があり, 広範囲の灌漑には限度がある。従って, 植生(緑化)と組み合わせた灌漑法がより有効であり, これには防風林の造成が最適である。

以上のように, 緑化, 砂漠化防止, 風食・風害など気象災害防止, 防風・防砂施設など相, 関連する種々の技術がある。この中で, 長期的・永続的な砂漠化防止対策としては, 時間はかかるが植物の播種・植栽による植生の造成法が最適である。これで農業, 林業, 牧畜業と結びつけた多角的・総合的な農林牧畜業が可能となる。

4. 中国の砂漠化地域の環境保全と気象改良

乾燥地の気象改良として半湿潤・半乾燥・乾燥地を地域別に区分した対策法を朱・劉(1981), 河野(1988), 朱ら(1994), 真木(1993; 1994)などからまとめた。

(1) 半湿潤地域での環境改良

半湿潤地では砂漠化は顕著でないが, 冬季・春季の強風期の飛砂・風食は激しく, ホルチン沙漠, 黄河中流・黄淮海平原・三河平原の砂地では対策が急がれる。緑化には400~500mmの比較的多い降水量を最大限に活用して環境保全・改良を行う。

(2) 半乾燥地域での環境改良

半乾燥地では, 本来の天然植被の回復を基本としながら, 農地防風林, 森林・灌木林, 人工牧草地を造成し, 林業・牧畜業の比重を高めて砂漠化を防止する。農・林・牧畜業を有機的に複合した土地利用体系を作り, 水利のよい肥沃砂地と河谷の平坦農地を拡大し, 農牧混在の砂漠化地域の人工生態系を守り, 徐々に環境保全・改良を行う。半乾燥地の草原牧野では, 適正な放牧頭数による負荷量の決定と井戸・放牧地の配置, 合理的な輪換放牧, 人工草地・飼料基地の設定, 固定道路の建設などが重要な砂漠化制御・気候緩和法である。

(3) 乾燥地域での環境改良

①防風林帯の造成: 砂砂漠やゴビ砂漠の前線に, まず乾燥草地を造成し, 次にオアシスの周辺部に高木・低木の防砂・防風林を, さらにオアシス内部には農地防風林帯(格子状農地防護林帯網)と結び合わせた防風・保護システムを確立する。この場合, 図3A, Bに示したように草地は200~300mの幅として飛砂を防止する。複数列の混交防風林を造成し, その間に草地を設ける。オアシス内では灌漑が不可欠であり, オアシス周辺の防砂草

地には秋季～冬季の残留水を灌漑する。農地防風林の林帯幅は10m程度とし、幹線防風林間は200～300mとする。その間に100～200m毎に幅の狭い防風林を造成すると一層効果的である。トルファン、ホータンに事例がある。

②灌漑施設と防風林帯の造成：乾燥砂漠化地域では、過放牧禁止や植生回復など適正な方法で砂漠化拡大を防止するほか、内陸河川沿岸で水が得られる砂漠(荒地)周辺では、水利施設の整備に農地防風林と土壌改良を結び付けた対策を行い、新しいオアシスを造成する。グルバントングト沙漠南西端の石河子(シーホーズ)やタクラマカン沙漠北部のタリム河中流域に代表例がある。

(4) 砂漠化地域の環境保全と農業政策の方向性

乾燥地の土地利用、国土保全法として、過去において主穀中心農業政策が引き起こした過開墾、過放牧、過伐採、水の過消費が急激な砂漠化を招いた反省から、環境保全と林業・牧畜業に重点を置いた農業対策に政策転換した。これが三北防護林建設事業(東北、華北、西北域の緑化)と最近の三西農業移民計画(黄土高原の農民移住)である。

5. おわりに

本報告は、耕地気象改善研究部会の4年間、7回にわたる「農業限界地における気象改良」の研究会の内、乾燥地に関する講演内容と文献による乾燥地での気象改良法について、主として中国を例にしてまとめたものである。

今後の研究課題として次のようなものが考えられる。

- 乾燥農業限界地への微気象改良技術の応用と普及
- 砂漠オアシス境界域の熱・水収支的評価法の確立
- 乾燥地での節水栽培による微気象改良技術の評価
- 乾燥地農業限界地域での節水灌漑法の応用と普及
- 高温・乾燥地におけるべたがけの効果評価と普及
- 乾燥・半乾燥草地の植生評価による放牧法の改善
- 乾燥地域の農牧業開発と環境保全のバランス評価
- 砂漠開発と農地砂漠化に関する環境アセスメント

引用文献

- Brandle, J. R., Hintz, D. L. and Sturrock, J. W., 1988: Windbreak Technology, Elsevier, p. 598.
 原蘭芳信, 1992: 中国の乾燥地の節水農業に見る微気象改良技術, 耕地気象改善研究部会論文集, **5**, 1～12.
 五十嵐大造, 1995: ベタがけによる気象改良の問題点,

- 耕地気象改善研究部会論文集, **11**, 23～33.
 甲斐憲次, 1992: 中国乾燥地域の熱収支について, 耕地気象改善研究部会論文集, **6**, 1～5.
 神近牧男, 1992: 乾燥地の牧農業開発と保全対策, 耕地気象改善研究部会論文集, **5**, 26～30.
 小橋澄治・奥村武信, 1989: 乾燥地における砂漠化と農業開発(その5), 農土誌, **57** (2), 143～147.
 駒村正治, 1992: 乾燥条件下における点滴灌漑による節水方式と土壌中の水分量分布, 耕地気象改善研究部会論文集, **6**, 6～14.
 河野道博, 1988: 中国における砂漠化とその防治についての覚書, 地理学評論, **61** (2), 186～197.
 蘭州沙漠研究所, 1979: 「中国沙漠及沙漠化防治的研究」, 中国科学院蘭州沙漠研究所, p. 59.
 真木太一, 1987: 「風害と防風施設」, 文永堂出版, p. 301.
 真木太一, 1992: 中国北西部の乾燥農業限界地域の気象改良事例, 耕地気象改善研究部会論文集, **5**, 13～25.
 真木太一, 1993: 中国の砂漠化と緑化, 「砂漠緑化の最前線」, 新日本出版社, 49～82.
 真木太一, 1994: 砂漠気候の改良, 耕地気象改善研究部会論文集, **10**, 14～27.
 真木太一, 1996: 中国の砂漠化・緑化と食料危機, 信山社, p. 191.
 真木太一・鐘 思強・李 師融・江 愛良, 1991: 「風害和防風措施」, 気象出版社, p. 214.
 真木太一・潘 伯榮・鮫島良次・杜 明遠, 1995: 中国新疆の乾燥地トルファンにおける防風林による農作物生育環境の微気象改良, 沙漠研究, **5** (1), 21～32.
 新疆生物土壤沙漠研究所, 1978: 「新疆沙漠和改造利用」, 新疆人民出版社, p. 104.
 遠山枢雄, 1989: 「砂漠緑化への挑戦」, 読売新聞社, p. 228.
 Wang, T., 1994: Preliminary assessment on development of desertification in North China. Proc. of Japan-China Inter. Symp. on the Study of the Mechanism of Desertification, S.T.A., 364～371.
 向 開馥, 1989: 「東北西部内蒙古東部防護林研究」, 東北林業大学出版社, p. 519.
 Xiang, K., Shi, J., Baer, N. W. and Sturrock, J. W., 1990: Protective Plantation Technology, Pub. House of Northeast Forestry Univ., p. 470.
 朱 俊風, 1985: 三北防護林地区自然資源与綜合農業区劃, 中国林業出版社, p. 1174.
 朱 震達・陳 広庭・等, 1994: 「中国土地沙質荒漠化」, 科学出版社, p. 250.
 朱 震達・劉 恕, 1981: 「中国北方地区の沙漠化過程及其治砂区劃」, 林業出版社, p. 83.