

農業限界地における環境資源利用技術の開発と今後の研究推進

4. 乾燥地における農業気象改良

真 木 太 一*

熱帯農業研究センター 環境資源利用部

Development of Techniques for the Utilization of Environmental Resources and Perspective of Promotion of Research in the Marginal Land Area

4. Agro-meteorological improvement in arid lands

Taichi MAKI

Marginal Land Research Division, Tropical Agriculture Research Center
Ohwashi, Tsukuba, Ibaraki 305, Japan

Arid and semi-arid lands account for one third of all the lands on earth. Desertification is now prevailing and is occasionally linked to the decrease of rainfall due to climatic change. However, it is mainly linked to adverse human activities, i. e., excessive cultivation, over-grazing, deforestation and excessive consumption of water resources.

Wind erosion and agro-meteorological disasters are apt to occur frequently in the marginal agricultural regions of arid lands. There are various prevention methods against desertification. A practical prevention technique is introduced as a case study of environmental control or meteorological improvement Turpan (China).

Meteorological observations related to the improvement of climatic conditions in arid lands were carried out at the Turpan Desert Research Station, Xinjiang Institute of Biology, Pedology and Desert Research located in the northwestern of post China from 1990 to 1992.

Key words: arid land, windbreaks, meteorological improvement, desert, wind erosion
キーワード: 乾燥地, 防風林, 気象改良, 風食, 砂漠

1. はじめに

地球規模の環境問題では現在も砂漠化の問題が大き

く取り上げられている。昨年 1992 年 6 月にはブラジルで「環境と開発に関する国連会議 (地球サミット)」が開催され、砂漠化の問題も論議された。そしてアジェンダ 21 に取りあげられて対策がとられつつあるが、まだ不十分である。

*現在: 農業研究センター耕地利用部

地球上の乾燥地は全陸地の1/3を占めている。この乾燥地では、人口増加に伴う過開墾、過放牧、過伐採などによって砂漠化の危険性が高い。特に中国では、緑化の進む一方では砂漠化が進行している。乾燥地の農業限界地域では常に砂漠化の危険性があり、この砂漠化の脅威によって農業の持続が不安定な状態にある。従って、気象災害防止と気象改良は不可欠であり、特に節水が必要である。乾燥地では水資源に限りがあり、極めて貴重な資源であるが、日本的なイメージとしての「湯水のごとく消費する」程ではないにしても、中国北西部の乾燥地域でさえ、かなり浪費している傾向が見られる。

ここでは砂漠化、植生破壊に関連深い問題を取りあげ、防風施設とその他の対策技術について中国北西部の新疆における事例を中心に記述する。

2. 中国の砂漠と砂漠化の現状

中国における砂漠化は、図1に示すように、1970年末までに相当広範囲に及んでいる。もちろん砂漠化であるから、例えば中国のタリム盆地のタクラマカン大砂漠の内部のように、昔から砂漠である地域は除き、近年砂漠化した地域のみを示してある。その面積は17万km²に達する。また砂漠化進行速度は1500km²/年であり、今後砂漠化の可能性のある地域は16万km²に及ぶと言われており、緊急を要する課題である。

砂漠化の原因には自然的要因（気候変化による降水

減少）と人為的要因がある（図2、朱・劉, 1981; 河野, 1986; 著者改稿）。中国の乾燥地では、人為的要因による砂漠化は主として過放牧、過開墾、過伐採、過消費によるが、この砂漠化の過程は流れ図に示したとおりである。

3. 砂漠のオアシスとトルファンの気候

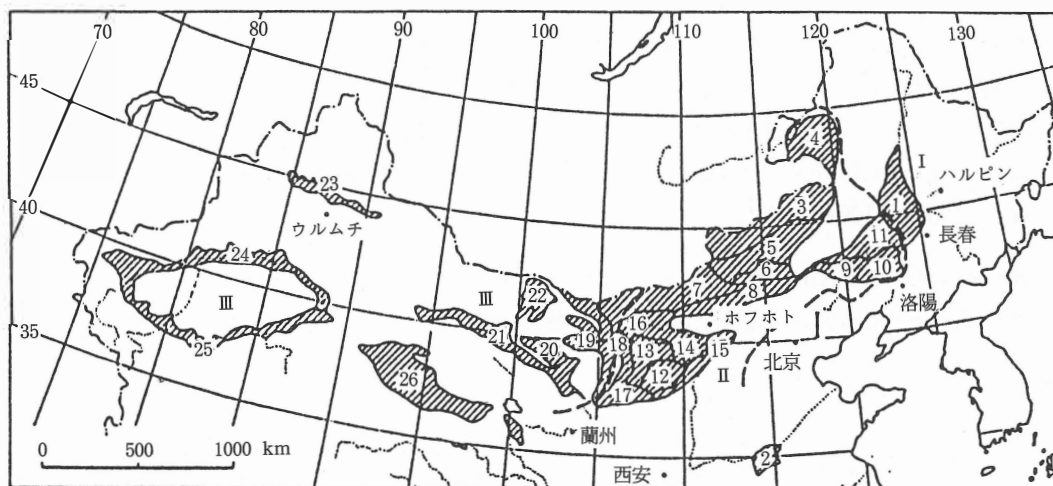
1) 砂漠のオアシス

大陸では春・秋はないとも言われる程であり、冬から夏、夏から冬へと一足飛びに気候が変わる。砂漠のオアシス（緑州）とは非常に好適な精神的にやすらぎを与える桃源郷のイメージがあるが、たとえ広いオアシスといえども、周辺の乾燥地、すなわち砂漠の影響を受ける。その乾燥地域では強風が風食を起こし、上空に砂塵を巻き上げ、太陽を見えなくすることが多いが、その時にはオアシス内でも砂塵は降り、高温時には高温、低温時には低温となる。ただ、それらの程度が小さいということと風食の発生が少ないことである。

オアシスの典型は林に囲まれた土地である。乾燥地域のオアシスは防風林、防砂林がないものはありえないと言っても過言ではない。

2) トルファンの気候

トルファン気象站(42°56'N, 89°12'E, 海拔34.5m)における月平均気温は7月に32.7℃, 1月に-9.5℃, 年平均気温は13.9℃, 最高・最低気温の極値は47.6℃, -28.0℃である。年降水量16.4mm, 年蒸発



中国北方地区における砂漠化地域の地域区分図

I. 半湿润地带砂漠化土地零細分布区 II. 半乾燥草原地带および砂漠草原地带砂漠化進展区
III. 乾燥砂漠地带流砂侵入および固定・半固定砂丘活性化区

図1 中国北方地域の砂漠化の地域区分 (朱・劉, 1981; 河野, 1988; Maki, 1992)

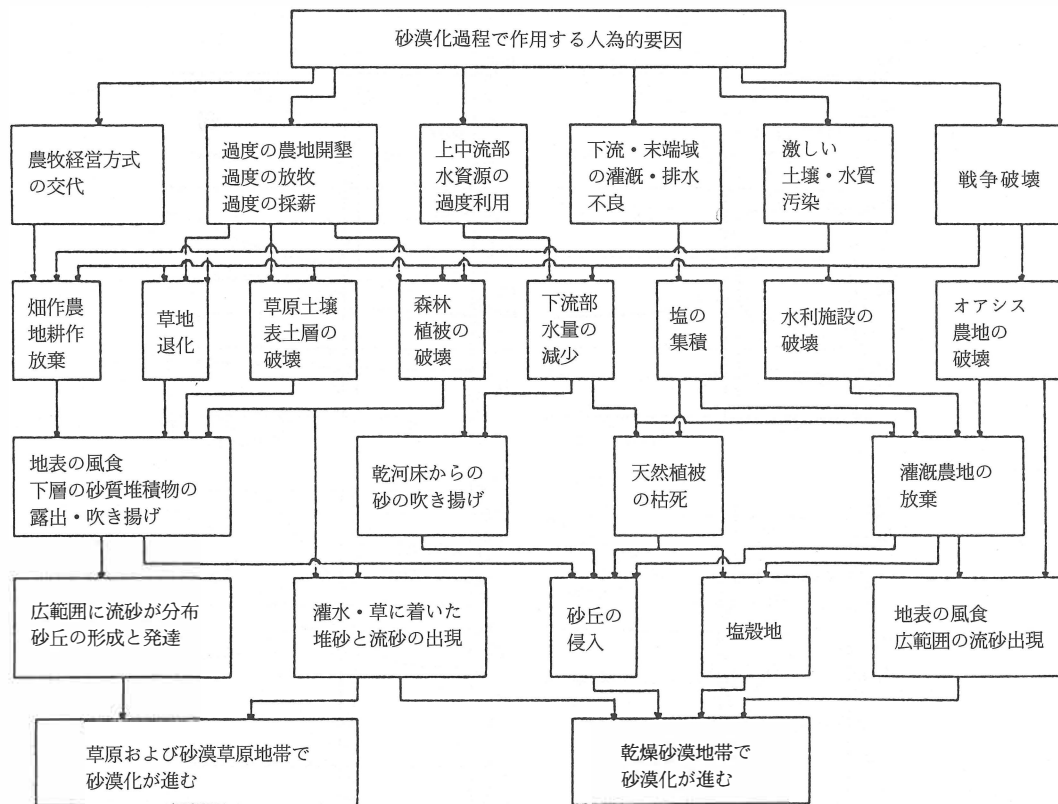


図2 砂漠化過程で作用する人為的要因の流れ図(朱・劉, 1981; 河野, 1988; 真木, 1992)

量 2837.8 mm, 年最小湿度 0 %, 年平均風速 1.7 m/s, 最多風向 E, 強風時の風向 NW と WNW, 8 級 (平均風速 17.2 m/s) 以上の日数は年間 26 日, 強風期は 4 ~ 6 月である。

なお, 砂漠研究駅の気象観測地点 (海拔 - 80 m) では 1990 年に 47.9℃, 1991 年に 47.0℃, 1992 年 6 月に 3 日連続で 47.9, 47.8, 47.7℃ の最高気温, および 1992 年 7 月に地表温 84.7℃ を記録した。

次に, 防風林と防風ネットによる気象改良効果について, 著者が 1990 年 3, 6 ~ 7, 10 ~ 11 月, 1991 年 4 ~ 5, 8 ~ 9, 11 ~ 12 月, 1992 年 4 ~ 5, 7 ~ 8 月に 9 回, 307 日間にわたって中国の乾燥地で実施した代表的な観測結果を報告する。

4. 砂漠化防止のための防風施設による気象改良

1) タマリスク防風林による気象改良効果

(1) 1 列の場合: 中国北西部のトルファンで実施中の防風施設による気象改良効果および広域の気象改良の事例を示す。夏季 (1990 年 7 月 1 ~ 2 日), タマリスク防風林 (高さ 4.6 m, 密閉度 85%) による減風・気象改良効果を図 3 (真木, 1991; 真木ら, 1992) に示す。

最低相対風速は基準風速の 10% 程度になり, 減風範囲は風上 - 10 H ~ 風下 30 H (高倍距離, 防風施設の高さで表した距離, - は風上側, + は風下側), 主として - 5 ~ 20 H である。夜間 0 時には風下側では減風による放射冷却で砂質の地表温は低温である。6 時には防風林の風上直前は日陰のため低温であるが, 風下直後は日射によって高温である。12 時には防風林前後, 特に風下側で 80℃ になり, 防風林内では日陰のため 28℃ も降温させる効果がある。

相対湿度は 18, 0 時に林葉からの蒸散による加湿作用のため風下側で少し高く, 6 時には風速が弱く加湿効果が顕著である。12 時には防風林内から風下直後で湿度が高い。気温は地表温の変化より小さい。また 18, 0 時の変化形態は比較的良好に類似している。6 時には防風林の直前・直後の日当たり・日陰部の変化のみである。12 時には防風林による昇温が顕著に認められる。乾燥地ではこの効果が有効である。

乾燥地の夏季の防風林の効果には, 防風林付近での減風, 蒸散作用による加湿, 夜間の降温があるが, 昼間の昇温は不利である。

(2) 2 列の場合: 夏季・極高温・乾燥期 (1992 年 7 月 14 ~ 16 日) の 2 列のタマリスク防風林による気象改

U: 風速, U_r : 相対風速, T_s : 地表温, RH: 相対湿度, T_a : 気温

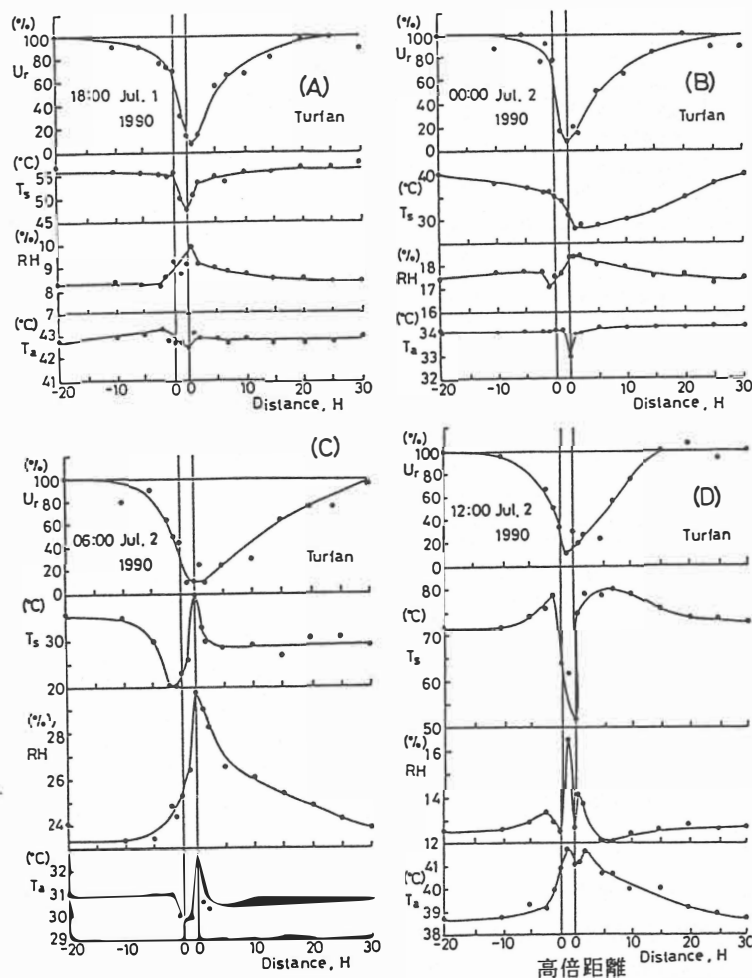


図3 1列のタマリスク防風林による気象変化

良について報告する。

風上側(第2防風林, 2列目)の防風林の密閉度は上層部は50%, 中・下層部は100%, 樹帯の平均の高さは4.0 m, 風下側(第1防風林, 1列目)の密閉度は同じであり, 平均の高さは2.5 mである。防風林内には砂の堆積があり, 風上側は1.5 m, 風下側は7.5 mである。従って, 防風林帯の高さは風上側は5.5 m, 風下側は10.0 mである。2列の防風林を用いて行われた結果, 夏季, 極高温・乾燥期の気象改良の特徴, 特に加湿効果が明らかになった。

①7月14日13時(図4A): 風上側の強い風は防風林内に入ると急減して, 通過後は少し回復するが, 風下側の防風林によって再び減少する。風向は主風向に対して逆である。地表温は防風林内では日陰のために20℃以上低い。防風林内の堆砂の頂上では70℃を越えている。気温は林内で少し低く, 湿度は高い。ただし, 湿度については蒸発気流の風下への流れのため,

やや風下側に移動している。

②7月14日17時(図4B): 風速は風上側では2 m/s前後であるが, 防風林内から風下側では非常に弱くなり, 風下防風林内の直前にはわずかに強いが, 防風林を通過するまでは弱い。地表温は林内で低く, 風下防風林の頂上では高温である。気温は地表温と類似した変化を示す。湿度は風下防風林とその風下側で少し高く, また風下防風林では10%も高く, 蒸散による加湿効果がよく出ている。夏季, 日中の気温の過剰昇温を緩和している。

③7月15日5時(図4C): 風上防風林内で無風状態となり, 2列の防風林帯間でやや強い風が吹いている。地表温は風上防風林内で保温されているため高く, 林間では23℃と低い。また風下防風林内でも25~26℃であり, その風下で再び低下している。気温は逆に風上防風林内で1℃低く, また風下防風林内では2℃も低い。湿度は風上防風林で5%程度, 風下

U: 風速, U_r : 相対風速, T_s : 地表温, RH: 相対湿度, T_a : 気温

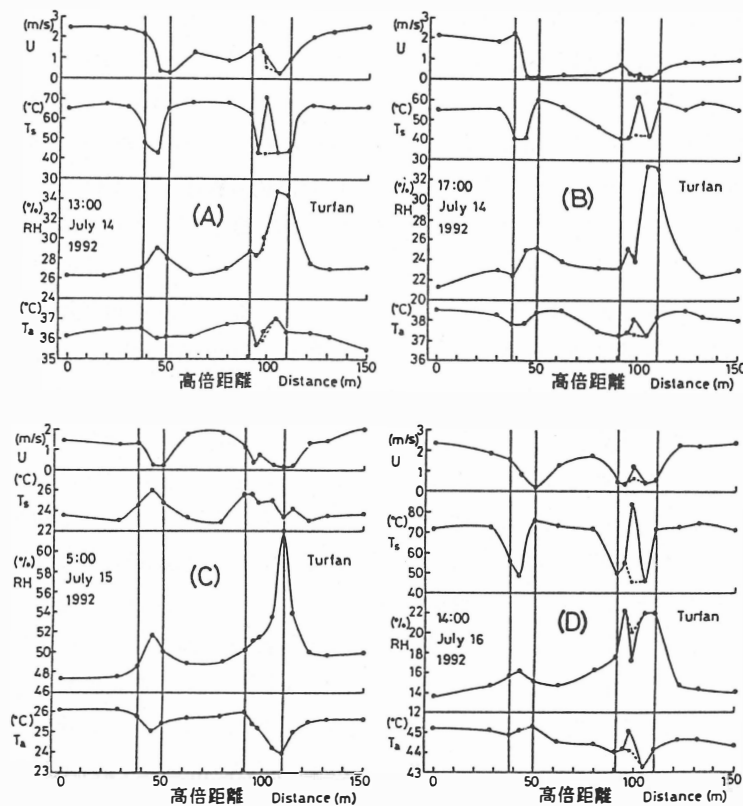


図4 2列のタマリスク防風林による気象変化

防風林では13%も加湿されて62%の値を示している。その前後の値は53~54%を示す。その防風林の風下側(林外)の値は、風によって高湿空気が風下へ流されたものである。特に、朝夕の加湿の効果は大きい。

④7月16日14時(図4D): 2.4 m/sの風速から林内では無風状態となり、林間では70%に回復して、再び風下防風林内で減風して比較的急速に回復している。地表温は2列の防風林内では30℃も低温であるが、風下防風林の頂上では84.7℃になっており、その直後の林内では45.1℃で、40℃の温度差を示す。気温は風上防風林内で少し低下するが、通過後は日射のために少し高い。林間で少し低く、林内ではさらに低い。林内の堆砂の頂上部では少し高い。湿度は風上防風林内で少し、また風下防風林内では7~8%も加湿しており、高温、乾燥時にもかかわらず湿度が上昇している。

2) 防風ネットによる気象改良効果

(1) 1列の場合: 2種の防風ネットによる気象改良効果について報告する。1991年8月24日の防風ネット(高さ1.85 m, 密閉度A: 50%, B: 45%)による効果

例を図5(真木, 1991)に示す。

①8月24日6時: 気温は0~5 H付近まで0.5~1℃昇温している。湿度は気温の変化に対称に0.2~0.5%低下しており、Aネットの方が変化が大きい。風速は弱く、1.2 m/s程度であり、相対風速は-5~15 Hで減少しており、最低風速はAネットでは40%, Bネットでは25%程度となっている。地表温はネット付近でわずかに昇温しているが、風下側のAネットでは2~15 Hで1~1.5℃低く、Bネットでは2~5 Hで1℃程度低下している。

②8月24日9時(図5A): 風下側の0~10 Hでは日射によってAネットでは0.5℃、Bネットでは1℃程度高い。湿度はネット付近で乾燥化している。風速は弱く、1.8 m/sであり、相対風速は-5 Hより減少しはじめ、10 Hまでは半減域であり、Aネットでは7 Hで30%, Bネットでは2 Hで20%である。

③8月24日12時: 気温は風上側と風下側の±2 H~1 H付近でAネットでは1℃、Bネットでは0.5℃程度高いがネット付近では逆に低温化している。ネット付近の±1 Hで気温が低いために、湿度が1%程度高くなっている。風速は5 m/sとかなり強い。ネット

に対して斜風であるため効果範囲は狭く、 $-2 \sim 5$ H である。相対風速は A ネットの 2 H で 50%, B ネットの $0 \sim 2$ H で 50% 程度あり、5 H では 90% 程度まで回復し、10 H ではどちらも原風にもどっており、効果範囲は狭い。地表温は風上側 -2 H では 3°C 程度、風下側 2 H で 5°C 程度昇温しており、B ネットは風下側 2 H で 3°C 程度昇温している。また、ネット付近では A ネットで 4°C 、B ネットで 7°C 低温化している。ただし効果範囲は 5 H 程度であり狭い。

④ 8 月 24 日 15 時 (図 5 B): 気温は A, B ネット共に $-5 \sim 5$ H で昇温しており、 $-2 \sim 2$ H で $0.5 \sim 1^{\circ}\text{C}$ 昇温している。湿度はネット付近のみで $1 \sim 2\%$ 乾燥している。風速は 2 m/s であり、相対風速は $-5 \sim 10$ H で減少している。ネット付近で最小値を取り A ネットで 25%, B ネットで 45% 程度となっている。地表温は A ネットで風上側で 5°C 、風下側で 9°C 、B ネットでそれぞれ 4°C 、 3°C 昇温している

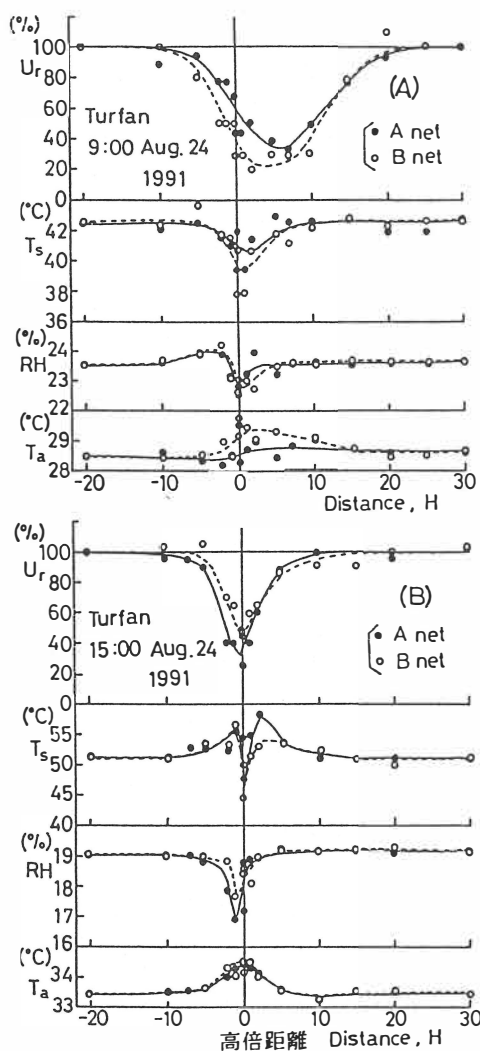


図5 1列のラッセル防風ネットによる気象変化

が、他と同様 $-2 \sim 5$ H 付近の変化が主体である。またネット直下では日陰のために A ネットで 4°C 、B ネットで 7°C 低下している。

B ネットは A ネットより減風効果が大きい。密閉度はそれぞれ 40%, 30% である。なお、ネットにはほこりや植物の種子などが付着しているために、A ネットで 45%, B ネットで 50% で 5% 程度の差があると推定される。そのため、風速差への影響が出ている。なお、この期間には風向が防風ネットに直角でない場合が多く、効果範囲は狭くなっている。

(2) 2 列の場合: トルファンにおいて 2 列の防風ネットによる気象改良効果を調査した。秋季・低温・乾燥期 (1992 年 10 月 30 日 7 時, 12 時) の 2 列の防風ネットによる気象改良について報告する。防風ネットの高さは 1.9 m 、長さ 30 m 、2 列の間隔 50 m である。なお、ネットの下方 $5 \sim 10\text{ cm}$ は開けてあり、1 列目の風上は砂質土壌、1 列目の風下 5 H (高倍距離) 以降は堅い凝固した粘土質土壌である。その結果、2 列のポリエチレン・ラッセル防風ネットを用いて観測された結果、秋季・弱風・低温・乾燥期の気象改良の変化量が明らかになった。

① 10 月 30 日 7 時 (早朝) (図 6 A): 全般的に気象の変化は小さい。気温の変化は防風ネットの風上 -5 H から風下 15 H まで放射冷却によって低くなっているが、防風ネット直前では風速の回復とも関連して少し高い。湿度は気温とはおおむね逆の変化を示している。地表温が防風ネットの直前で少し高いのは日射の影響と考えられる。また 1 列の通過直前での低温化は減風による放射冷却であると考えられる。風速は防風ネット付近では $10 \sim 20\%$ の値を示すが、1 列目では回復は早い。

② 10 月 30 日 12 時 (日中) (図 6 B): 気温は防風ネット直前で 2°C 昇温し、防風ネット直前・直後でやや低温化した後、再び昇温している。防風ネット間では低温化し、また 2 列目のネットでもほぼ同様の变化形態を示している。一方、湿度は気温とは大体逆の変化傾向を示している。地表温は防風ネット直前で少し昇温し、ネット直下で少し降温する。ネット通過後は約 5°C の昇温が認められる。2 列目のネット付近で低温化するの地面が白色の粘土質土壌で凝固していることによる熱伝導と日射の反射が大きいためと考えられる。ネット通過後は防風ネットによる昇温作用によってかなり昇温している。風速は小さいが、変化傾向は防風ネット通過後 20% 程度の値をとり、防風

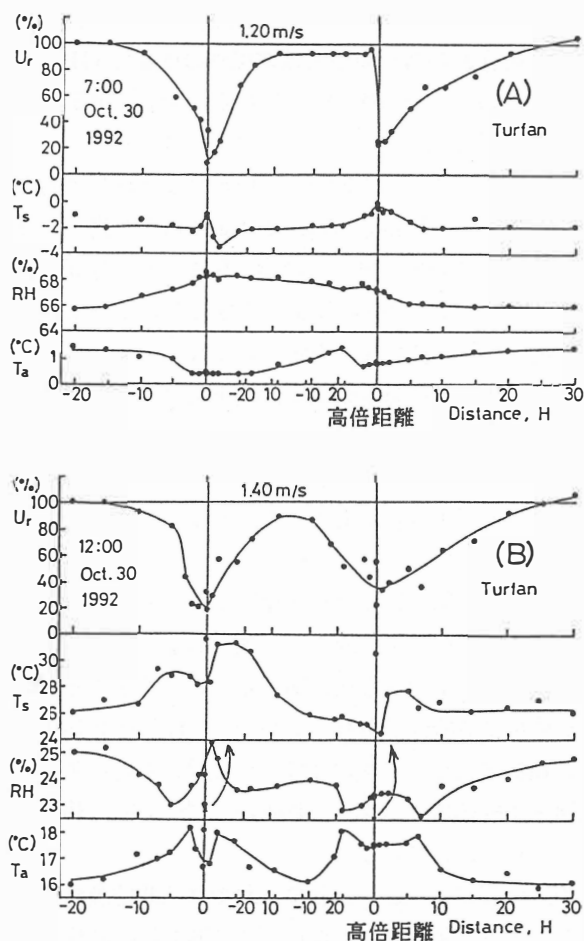


図6 2列のラッセル防風ネットによる気象変化

ネット間では90%まで回復するが、再び20~30%まで減風して、次第に25Hまでに回復している。

要約：日陰による昇温抑制が小さいため夏季、昼間は過昇温となる。防風林のような加湿効果は小さいが、減風に伴う風食防止、飛砂防止効果が期待できる。防風ネットによる減風、春・秋季の昇温や夏季、夜間の降温の各効果は好適である。また防風林の生育は長年月かかるが、防風ネットは短期間に効果を発揮でき、防風林自体の育成保護用に利用できる。

3) 防風施設による飛砂防止効果

タマリスク防風林による堆砂状況を図7Aに示す。堆砂は防風林内の高い所で2.5m、平均的な所で1.5m、低い所でも0.5mある。堆砂は防風林の前後-6~6Hであり、それ以上防風林から離れると風食・堆砂の混合域に変わるが、それは主風向、逆風向時の風食による。

防風ネットによる堆砂状況について報告する。防風ネット（密閉度45%）による堆砂は図7Bのとおりである。Bネットではネットに堆砂する場合、高い所で

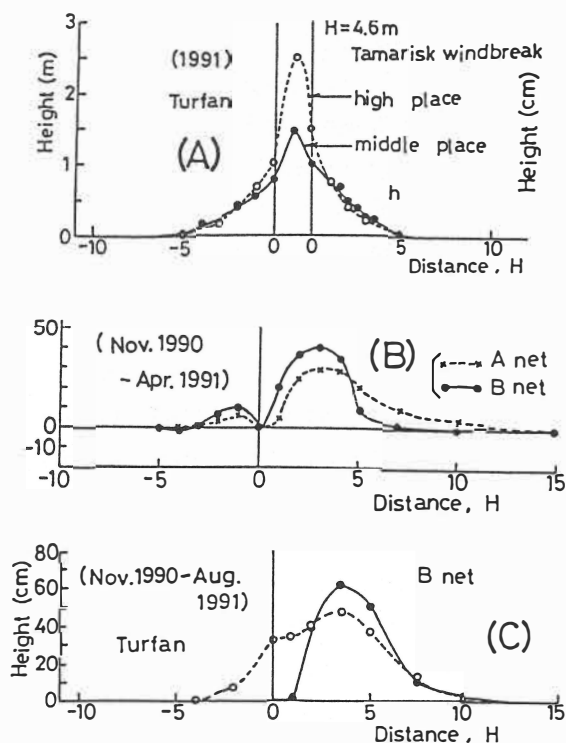


図7 (A) タマリスク防風林による堆砂状況
(B) 防風ネットによる堆砂状況
(堆砂期間短い)
(C) 防風ネットによる堆砂状況
(堆砂期間長い)

は3Hで45cmであり、ネットの風上、風下側に砂が着いている。またネットの下方を砂が通過する場合には1H付近から砂が着き3~4Hで最高であり、高い所で60cmである。

図7Cに示すとおり、防風ネットの下方に砂が着く場合と着かない場合で少し異なるが、50~60cmの堆砂が認められる。ただし、これらの防風ネットは減風が主目的であり、堆砂は副次的な現象である。

4) 防風林による作物への効果と種類

乾燥地において数種の防風林による作物の草丈への影響を調査した。乾燥地のトルファンで、オアシスを作る種々の防風林による作物への効果を明らかにするために、秋季に作物の生長が止まった最高の草丈を防風林からの距離の変化を測定することによって防風林の効果を評価する。作物にはワタ、コウリヤン、トウモロコシを、防風林にはスナナツメ、コヨウ、ポプラを用いた。沙枣、榆、タマリスク、ポプラ防風林によるワタ、コウリヤン、トウモロコシの生育状況を示す。

①ワタ(図8A): スナナツメ(砂棗)防風林(高さ

6 m, 幅 11.5 m, 密閉度 70%, 防風林間 100 m) による作物の生育状況を草丈を指標に調査した結果, 図のように 1 列目の防風林によって, 風下 4 ~ 6 H (高倍距離) で高く, 9 ~ 13 H では低い。また 15 ~ 16 H, すなわち 2 列目の防風林の風上 - 1 ~ - 2 H で高い。この傾向は昨年の場合と類似している。

②ワタ: 別の場所でのスナナツメ防風林 (高さ 5 m, 幅 5 m, 密閉度 70%) によるワタへの影響を調査した。その効果についても同様 2 H 付近で高くなっている。

防風林がなければワタの草丈は 50 ~ 80 cm である。乾燥条件下での作物栽培は環境が厳しいため効果範囲は狭くなる。防風林によるワタ収量への影響程度は草丈の場合より顕著である。

③コウリャン (図 8 B): タマリスク防風林 (高さ 4 m, 幅 1 m, 密閉度 50%) では風下 6 ~ 8 H で高い。この例では防風林から 4 H までは裸地となっているため, 4 ~ 6 H では草丈が低い。また風下 10 ~ 15 H ではほぼ同じ値を示している。

④トウモロコシ (図 9 A): トルファンではトウモロコシが春播の場合は夏季の極端な高温 (45°C 以上) によって受精できないため, 夏~秋季の栽培が行われて

いる。スナナツメ・タマリスク防風林 (高さ 6 m, 幅 4 m, 密閉度 70%) の効果は防風林の風化 1.5 H 付近で非常に高く, その後 220 cm から減少して 6.5 H で 170 cm に低下している。

⑤トウモロコシ (図 9 B): 低いポプラ防風林 (高さ 4 m, 幅 1 m, 密閉度 50%) では 2 H 付近で高く, 6 H 付近まで減少するが, その後 10 H まではほぼ一定である。トウモロコシの草丈は 2 H 以降については上述の例とほぼ同様の变化を示す。これはトウモロコシ自体が防風および気象改良の役割を果たし, 乾燥地における群落としての効果を与えているためである。

乾燥地のトルファンにおいて, 数種の防風林による作物への効果が顕著であること, およびその範囲を定量的に明らかにした。

5) 防風林の種類とオアシス化

タマリスクは耐風, 耐干, 耐熱, 耐寒, 耐塩性が大きく, 乾燥農業限界地域に適する。砂に埋まると植物体が伸長する特性があり, トルファン砂漠研究 station 付近には植林当初からの樹高が 10 m に近いものもある。防風・防砂林にはポプラ (数種), 沙枣, 胡楊, 柳, 榆が多く利用されている。

中国の東北, 華北, 西北の三北では三北防護林事業として南北 400 ~ 1700 km, 東西 7000 km に及ぶ緑の長城 (万里長城 6700 km にちなんだ名称) として農地, 道路, 水路の保護林を造成しつつある。東北部では成長が早く, 材木として利用できるポプラを主に植林しているが, 新疆では環境が厳しいために上述の数樹種を植林している。乾燥農業限界地域では防風林は不可欠である。オアシス (緑州) 化は防風林の造成が初めて可能となる。

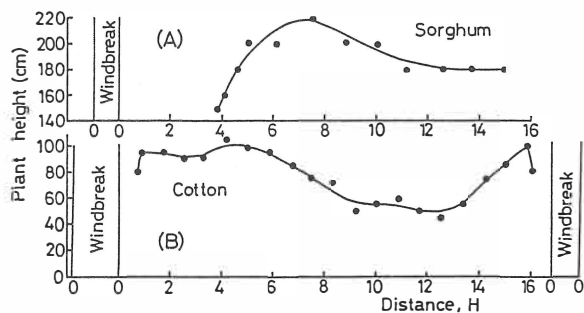


図 8 防風林によるワタ, コウリャンの草丈の変化

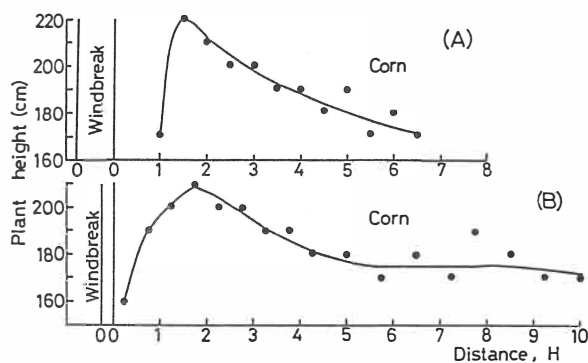


図 9 防風林によるトウモロコシの草丈の変化

5. 防風施設以外の気象改良技術と砂漠化防止

1) 灌漑法による気象改良

乾燥地の天水依存型の作物栽培 (ドライファーマーミング) では一般的に年降水量が 800 mm 以下, または栽培期間の降水量が 500 mm 以下の地域では干害発生の危険性が高く, 何らかの灌漑を行う必要がある。農地内では地表面が湿ることによって蒸発散量が増加し, 湿度が上昇し, 高温の場合には気温, 地温は低下する。乾燥地で灌漑を行うこと, それ自体, 気象改良となる。

新疆のトルファンでは天山山脈からの融雪水をカレーズ (カンジン, カナート, フォガラ, ファラージ)

と呼ばれる地下導水路，または明渠で引いて来て作物に灌漑したり，生活用水に利用している。水を有効利用するにはスプリンクラー，ドリップ（点滴）灌漑が好適であるが，施設費や技術の問題でほとんど導入されていない。

2) 被覆法などによる気象改良

地表面を被覆する方法に草生法がある。この植生によって気象改良を行い，厳しい気象環境を緩和することができる。草生法には地上での播種や航空機播種があり，移植する場合には灌木や高木性の樹木の移植が多い。また雨の比較的多い地域では播種法が有効であるが，乾燥の激しい地域では灌漑による移植法が多い。

植生回復としては防風と植物保護になる草方格が効果的である。草方格はムギワラの中央部を砂中に押し込んで 1×1 m の碁盤の目状に作る防風・防砂施設である。代表的な設置場所は巴丹吉林砂漠の東端の包頭—蘭州鉄道沿にあり，幅 1 km の飛砂・砂丘防止帯で鉄道・道路を保護し，成功している。

ジュンガル盆地の石油と同様に，最近タリム盆地で石油が発見された。ただ，そこはタクラマカン砂漠の中央部であるため，砂漠横断道路を作り，道路を保護する必要がある。砂丘による道路の埋没防止技術開発を行うため，現在 2 km の試験道路を輪台（庫車—庫爾勒間）のタリム川南方に造り，防風林，防風ネット（著者のネット），防風垣，前述の草方格，アスファルト，塩散布，植生区などによる保護実験をしている。実用に際しては，いくつかの手法を組み合わせることが望ましく，今後の実用化を期待したい。

6. 農業気象改良としての水食・風食防止

1) 水食防止

乾燥地では平均的に雨が少ないが，一たび降ればかなりの量になる。例えばトルファンの年降水量は 16.4 mm であるが，1 日に 36.0 mm も降ったこともあり，一方，年間で 2.9 mm の場合もある。このように砂漠では年変化，場所による変化が大きい。乾燥地では植生がほとんどないため 1 日に数 mm も降れば砂漠で洪水ということになり，土漠，砂（砂丘）砂漠，ゴビ（礫）砂漠を蛇行しながら流れ，植物が定着しないことになる。

水食を防止するには山地に植生を回復させることである。従って，天山山脈の 1500 ～ 2500 m にある森林の伐採は控える必要がある。また，土漠や砂・礫砂漠では川，水路を土木的に整備して，決まった場所を水が流れるようにするとともに，防風林や土砂かん止林を造成する必要がある。

圃場では地表面の被覆率を高め，密植，牧草導入，混作，冬春季の裸地化防止，マルチ（ワラ，フィルム）を行い，等高線栽培を実施する。また，堆肥の施用，塩集積地では石こうなどの施用や客土などの土壌改良を行う。

地表面の固定としてアスファルト乳剤，ラテックス乳剤で被覆する。さらに水路では素掘りでなく，草生，敷石，コンクリート，管（土・コンクリート・鉄管）などで整備する。

2) 風食防止

風食防止は上述の素移植防止とほぼ同じ方法で対応

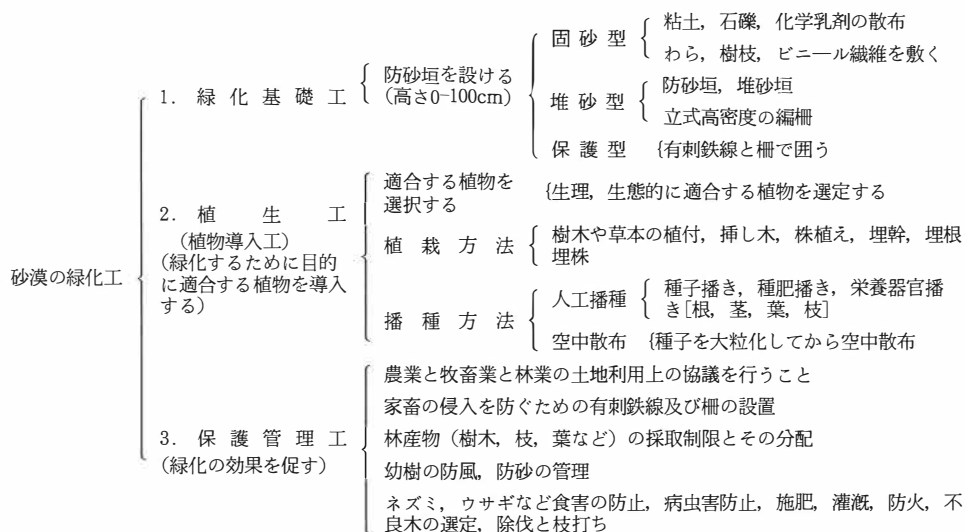


図10 砂漠の緑化法の流れ図（姚，1986；Maki，1992）

できるが、その他に、風食防止には防風林、防風ネットや井げた状のわら立て（草方格）、粘土格、スプリンクラー、溝、うね間灌漑などを行うとよい。

砂漠（砂丘）の緑化（固定化）には風の力を弱めるか、砂丘表面を保護するかである。従って飛砂を防止し、砂丘の緑化工を行う必要がある。これは緑化工法の流れ図（図 10）（姚，1986；Maki，1992）にまとめられている。砂漠化の対策技術と緑化技術および具体的作業の状況がよく示されている。

7. おわりに

乾燥地の作物は厳しい環境下にあり、耐干、耐風、耐熱、耐寒、耐塩性を持つ必要がある。このような農業限界地で農業を行うには、防風林帯、防風垣帯、草生帯（図 11，新疆生土研，1978；Maki，1992）などが必要であり、組織的な環境改善を行うことが望ましい。

一方、水関係ではダムによる過剰取水の制限とともに農業や生活レベルでは砂地への表面灌漑の効率化、導水路中の周辺への漏水、地中への浸透の減少、水路での蒸発の減少、塩水化防止また水道パイプのパッキングなどの改善によって節水に務め、水資源を有効利用する必要がある。

防風林を造成しないと作物栽培は難しい。しかし、過剰に開発したのでは「沙進人退」になりかねない。人口増加の条件下でも「人進沙退」であって欲しいと思う。これには利用可能水量の評価と使用水量および利用可能（開発）土地の評価を行う必要がある。すなわち環境アセスメントである。

これらについては、次年度より始まる日中共同研究で経済的效果も含めて具体的事例・成果が出ることを期待する。

引用文献

- 1) 環境庁水質保全局 (1990). 砂漠化の現状と対策 P. 132.
- 2) 河野通博 (1988). 中国における砂漠化とその防止についての覚書. 地理学評論 61 (2): 186 ~ 197.
- 3) 真木太一 (1991). 中国乾燥地域の気象・蒸発散特性の解明と防風施設による風食防止. 国際農林業協会情報 14 (3): 31 ~ 40.
- 4) 真木太一 (1992). 中国北西部の乾燥農業地域の気象改良事例. 日本農業気象学会耕地気象改善研究会講論集 5: 13 ~ 25.
- 5) 真木太一・潘 伯榮・黄 丕振・閻 国榮 (1992). 中国トルファン乾燥地におけるタマリス

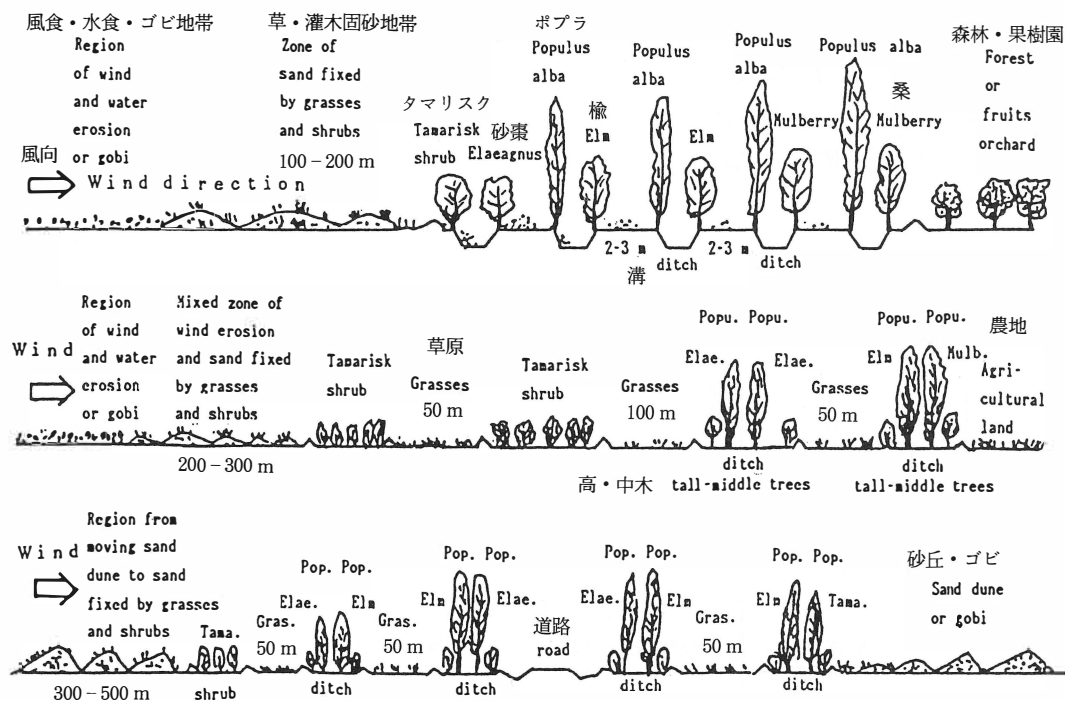


図 11 砂丘地からオアシスまでの防風林帯、防風垣帯、草生帯などの配置状況（新疆生土研，1978；Maki，1992）

- ク防風林による微気象改良. 農業気象 48(2): 157 ~ 164.
- 6) Maki, T. (1993). Present research status on methods to prevent desertification. Agric. Met. 48(5): 523 ~ 530.
- 7) 中井 信 (1991). 中国の砂漠問題—タクラマカン砂漠—地球環境と農林業. 養賢堂 P. 171 ~ 192.
- 8) 熱帯農研 (1988). 乾燥地 特集号, 熱帯農研集報: 85.
- 9) 西村 格 (1986). 内蒙古草原の砂漠について. 農林業協会専門家通信 7(2): 1 ~ 15.
- 10) 新疆生土研 (1978). 新疆沙漠和改造利用. 新疆人民出版社 P. 104.
- 11) 姚 洪林 (1986). 砂漠の緑化技術について. 緑化工技術 12(1): 29 ~ 43.
- 12) 朱 震達・劉 恕 (1981). 中国北方地区的沙漠化過程及其治理区劃. 林業出版社 P. 83.