

G-1 砂漠化の評価と防止技術に関する総合的研究

(5) 中国における砂漠化対策技術の評価に関する研究

環境省国立環境研究所

生物圏環境部 環境植物研究室
地球環境研究センター

戸部和夫、邱 国玉（エコフロンティアフェロー）
清水英幸

平成 10～12 年度合計予算額 3,000 千円
(うち、平成 12 年度予算額 1,800 千円)

[要旨] 中国においては比較的早くから砂漠化対策の取り組みがなされており、これまで多くの砂漠化防止プロジェクトが実施され、膨大な研究成果が蓄積されてきている。しかし、これらのプロジェクトの成果に関しての客観的評価はほとんどなされておらず、さらに、これまでに得られた研究成果も相互間の関連づけが十分になされていない。そこで、本研究では、既往の中国における砂漠化防止プロジェクトや砂漠化対策に関連した文献・資料等を収集し、それらのレビューを行い、各砂漠化防止プロジェクトの実効性や各種の砂漠化防止技術の有効性の評価を行うことを目的とする。この研究では、中国における代表的な砂漠化防止プロジェクトの内容や成果を整理し、それらの有効性の評価を行った。さらに、中国における代表的な砂漠化防止技術(草方格技術、飛行機播種など)の特性や実施状況を整理し、有効性や適用可能条件などの検討を行った。また、最近ますます砂漠化防止技術との関連性が高まっているリモートセンシング技術に関して考察し、リモートセンシング技術の砂漠化評価への適用の可能性を検討した。その結果、(1) 植物の被覆率は砂漠化の程度の増加とともに一意的に減少するという関係にはないため、植物の被覆率のみを基準として砂漠化の程度の判定は行えないこと、(2) 植物の被覆率と植生の種類を組み合わせることで、砂漠化の程度の判定を行うことが可能なこと、(3) 最近のリモートセンシング技術では植物の被覆率の判定が可能であり、さらに、近い将来植生の種類の判定が可能となる見込みであることから、今後リモートセンシング技術により砂漠化の程度の推定が可能になると期待されること等が明らかとなった。

[キーワード] 植物被覆率、砂漠化、植物多様性、リモートセンシング、草方格

1. はじめに

中国は、世界で最も深刻な砂漠化に直面する国の一つである。砂漠化の影響を受けている地域の総面積は 262.2km² であり、中国全土の 27.3% を占める。砂漠化の影響を受けている土地のほとんどが中国北部に位置している。1950 年代以来、中国政府は砂漠化防止のために様々な対策を講じてきた。数十年間の努力の結果、大規模なプロジェクトが実施され、莫大な量のデータが蓄積されている。このような成果や経験は、世界中で進行する砂漠化を防止する上で貴重である。このような努力により、広大な砂漠化地域の一部が改善され、また、多くの技術が開発されてきた。しかし、これらのプロジェクトや対策技術の客観的評価はほとんどなされておらず、相互間の関連付けも十分になされていないので、これらの技術の活用は限られたものとなっている。そ

して、中国においても、現状では砂漠化防止対策が局所的にしか実施されておらず、全体としては砂漠化が進行している。

2. 研究目的

本研究では、主に文献調査、現地調査によってデータを収集・整理し、それらをレビューすることにより、砂漠化防止に有効な技術の分析および評価を行うことを目的とする。対象とした技術には、砂丘を固定する草方格技術、砂漠化した環境を再生する植栽技術、飛行機播種や砂漠化モニタリング技術などである。これら技術の適用可能条件や有効性の詳細な分析・評価を実施した。

3. 研究方法

(1) データ収集、文献調査、資料のデータベース化

中国における砂漠化対策技術の評価に関連する研究について、56点の書籍、149点の雑誌および224点の研究論文を収集、整理し、それらの検討およびデータベース化を行った。データベースの様式は表1に示すような形式である。コンピュータのモニター画面上に表示された表題をクリックすると、その研究に関する要旨が表示されるように作成した(表2、3)。

(2) 砂漠化防止技術の分析と評価

砂漠化防止技術を評価するために、これまで中国で実施されてきた、砂漠化・土地荒廃防止技術に関するマトリクスを作成し、これらを基に、様々な砂漠化防止技術に関するの検討・評価を実施した。

4. 結果・考察

(1) 中国政府の国連砂漠化対処条約(UNCCD)に基づいた対策の基本方針

中国政府は、その国情と国連砂漠化対処条約(UNCCD)に適った砂漠化防止活動を実施するために、これまでの活動を見直した。その結果、中国政府は以下の5大基本方針を提案した。

- ①国民の認識向上と教育強化。これらの施策により社会全体を砂漠化防止活動に参加させる。
- ②法整備と法施行の強化。
- ③高度な科学技術の開発と専門家の育成による砂漠化防止効果の強化。
- ④資源の合理的利用による砂漠化防止活動の継続的普及の促進。
- ⑤優遇政策と対策予算の増額による砂漠化の進行の防止。

(2) 中国における草方格技術による砂丘固定の効果とその適用

草方格による砂丘固定技術は、中国の乾燥・半乾燥地域で広く適用され、砂漠化防止や砂漠化地域の植生の回復などに有効性を発揮してきた。このように広く用いられてきた技術であるにも係わらず、草方格技術に関する研究報告は極めて少ない。そのため、草方格の防風・固砂効果や、草方格の環境立地に及ぼす影響などについて、未解明の点は未だ多く残されている。そこで、本研究では、既往の草方格技術に関する文献をレビューするとともに、現地での研究の結果得られた既往のデータを解析し、草方格技術の防風・固砂効果や、草方格の設置が環境に及ぼす影響などについて検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。

表 1 砂漠化防止技術に関連する文献等資料のデータベースの様式

番号	分野	著者	題目 or 書名	書(誌)名	書(誌)名(英文)	出版社 or 巻号
	砂丘 固定	常 兆豊	河西走廊砂区における砂面 安定性指標に関する研究	中国沙漠	JOURNAL OF DESERT RESEARCH	1999 年第 3 期第 19 卷 Vol.19 No.3 1999
	総合 研究	李 玉宝	寧夏における土壌風食に関 する研究	北京林業 大学・博論		2001
	砂丘 固定	程 維明	内蒙古吉蘭泰塩湖における 塩水の変化のシミュレーシ ョン	塩湖研究	JOURNAL OF SALT LAKE RESEARCH	Vol.8 No.2 2000 P.73-76
	砂丘 固定	邱 耀全等	中国鉄路沙害防止			中国環境科学出版社、 1998
	砂丘 固定	丁 峰	甘肅科技治沙 50 年	乾 旱 区 研 究	ARID ZONE RESEARCH	1999 年第 16 卷第 3 期 Vol.16 No.3 1999
	砂丘 固定	郭 柯	毛烏素沙地における油蒿群 落の循環演替	植 物 生 態 学 報	ACTA PHYTOECOLOGICA SINICA	Vol.24 No.2 2000 P.243-247
	砂丘 固定	何 興東	沙丘地における植物固沙灌 溉ユニットとその計算式	中国沙漠	JOURNAL OF DESERT RESEARCH	Vol.20 No.1 2000 P.63-66
	砂丘 固定	蔣 富強	沙障の立柱受力分析及埋 深の計算	中国沙漠	JOURNAL OF DESERT RESEARCH	1999 年第 19 卷第 2 期 Vol.19 No.2 1999
	砂丘 固定	李 浜生	治沙造林学			中国林業出版社 1990
	砂丘 固定	劉 連友	礫石覆盖による土壌風食の 防止効果	中国沙漠	JOURNAL OF DESERT RESEARCH	1999 年第 19 卷第 1 期 Vol.19 No.1 1999
	砂丘 固定	邱 国玉・ 戸部和夫・ 清水英幸・ 大政謙次	草方格による砂丘固定技術 の理論と応用	沙漠研究	Journal of Arid land Studies	11 (1) 2001 55-62

表 2 砂漠化防止技術に関連する資料のデータベースの様式(要旨)その 1

草方格による砂丘固定技術の理論と応用(邱 国玉・戸部和夫・清水英幸・大政謙次):本研究では、既往の草方格技術に関する文献をレビューするとともに、現地での研究の結果得られた既往のデータを解析し、草方格技術の防風・固砂効果や、草方格の設置が環境におよぼす影響などについて検討した。その結果、以下のことが明らかとなった。(1)流砂の効果的な防止とコストの節減の 2 点を考慮すれば、草方格の地表部高さは 10 ~ 30 cm 程度が望ましい。(2)防風・固砂効果や施工の容易さを考慮すれば、草方格の格子のサイズは、1 m × 1 m (面積: 1.0 m²) 程度のもので実用である。(3)草方格の設置により、地表面粗度を 330 倍程度増大させることができる。(4)草方格の設置により、平均輸砂量を 220 分の 1 に減じることができる。(5)草方格を設置して固砂がすすむと、土壌形成過程が進行する。この過程で、地表面に微細な土壌物質が蓄積し微環境の変化などが生ずるとともに、地表面が安定化し土壌硬度が増加する。(6)草方格の設置により、近地表層における土壌有機物の含量は著しく増加する。

表3 砂漠化防止技術に関連する資料のデータベースの様式(要旨)その2

Estimation of Wind Erosion in Ningxia (Yubao LI) The paper firstly gives a brief introduction to the basic theory of wind erosion, focusing on the studies on agricultural soils and research achievements attained by the scientists from America. On these ground, the following issues for the region of Ningxia are analyzed and discussed. (1) Inventory of types and intensity of Ningxia soil erosion is done. (2) The soil erodibilities are compared and appraised for the majority of the soil types in Ningxia. (3) The third task is evaluation of effects of human activities for farming on soil erodibility. (4) Prediction and control of wind erosion are the end of research. Two famous prediction models WEQ and WEPS were briefly introduced. On the basis of summarizing general theory and methodology for wind erosion control, some key measures are suggested for the region of Ningxia.

- ①流砂の効果的な防止とコストの節減の2点を考慮すれば、草方格の地表部高さは10～30cm程度が望ましい。
- ②防風・固砂効果や施工の容易さを考慮すれば、草方格の格子のサイズは、1m × 1m(面積: 1m²)程度のものが実用的である。
- ③草方格の設置により、地表面粗度を330倍程度増大させることができる。
- ④草方格の設置により、平均輸砂量を220分の1に減じることができる。
- ⑤草方格を設置して固砂が進むと、土壌形成過程が進行する。この過程で、地表面に微細な土壌物質が蓄積し、微環境などが変化するとともに、地表面が安定化し、土壌硬度が増加する。
- ⑥草方格の設置により、近地表面層における土壌有機物の含量は著しく増加する。

草方格の利点として、①防風・固砂効果が大きい、②容易に設置できる、③設置後速やかな効果を期待できる、④環境に悪影響を及ぼさない、などがあげられる。また、欠点としては、①設置のために、多くの資材(わら)と労働力を必要、②資材のわらの寿命が3～5年程度であるため、防砂効果を維持するためには更新が必要、などがある。これらの欠点を克服するため、今後、草方格の設置作業の機械化や草方格の寿命を高めるための工夫などが必要である。

草方格技術は、防風・固砂のために極めて有用な技術であり、今後も中国において広く用いられていくものと予想される。さらに、この技術が世界に紹介され、世界各地で砂漠化対策のために広く活用されることが期待される。

(3) 砂漠化した土地の回復を目的とした人工群落における植物多様性の変化

乾燥地域と半乾燥地域における最良で安価な砂漠化防止手法は、植物の植栽により、灌漑をせずに自生できる植物群落の確立を促すことである。植栽による群落の形成に成功すれば、その後は、群落はそれ自体の力で維持もしくは遷移する。この遷移の課程は、砂漠化と正反対のプロセスと言える。そこで、中国で4番目に大きいトングリ砂漠での、1956年以来継続的に植栽が行われてきた地域を対象として、植栽後の植物多様性の変化を検討し、環境条件パラメータとの関係を分析した。その結果は以下のとおり要約される。

- ①植栽後、植生が 40 年間維持されると、定着した低木は低木+草本+コケ植物の群落に変化した。植物種は 3 種類から 6 種類に増えた。このような変化を可能にしたのは土壤の水分状態の変化であった。
- ②植栽後、植物の被覆率は徐々に向上して、植栽後 7 年で最大値(約 30%)となった。その後、被覆率は次第に低下した。被覆率は最終的に 15 ~ 20%程度で安定化した。
- ③多様性指数(Shannon-Wiener index)は、0.3 から 0.7 に上昇した後、0.5 に下落したが、この値は同じ地域の自然植生の多様性指数と同程度の値である。一方、優先指数(dominant index)は、0.6 から 0.4 に低下した後、0.7 に上昇した。

これらの結果は、砂漠化地域における植物定着群落の遷移機構の解明だけでなく、砂漠化された土地の回復に有効な情報を提供するものである。

(4) 砂漠化の植生指数とそのリモートセンシングへの適用

リモートセンシング技術の進歩とともに、リモートセンシング技術に適用される可能性のある砂漠化の進行度を評価するための高感度・単純・直接的な指標が必要となってきた。植生は、土壤環境や水環境およびその他の局地的環境要因に鋭敏に反応するため、上記の条件に適合する要素である。砂漠化の様々な段階における植生の特性を分析して、これらの特性をリモートセンシング技術での砂漠化指標として利用する可能性を検討したところ、砂漠化が進行するにつれて、植生状態は大幅に変化した。植生の観点から見ると、植物種構成、最小面積、植物被覆率、多様性、均一性が大幅に変化したので、これらは砂漠化の指標として適用できるものと思われる。これら 5 つのパラメータの内、最小面積、多様性および均一性はリモートセンシングで得られるデータのなかには含まれない。植物被覆率と植物種構成はリモートセンシング技術で検出できる可能性がある。しかし、植物被覆率と砂漠化の進行度との間には直線関係ではない場合があるので、植物被覆率のみで砂漠化の進行度を判定するのは不十分であると思われる。植物被覆率と植物種構成の両方の情報が得られれば、砂漠化の進行度を判定するに十分なデータになるものと思われる。最近の成果により、さらなる改良や試験的適用の余地があるものの、リモートセンシング技術による植物被覆率の推定は可能であることが示されつつある。しかし、リモートセンシング技術による植物種構成の推定は現在も未解決の問題である。今後、センサの解像度の向上とデータ分析技術の改善などにより、種構成の推定に関するリモートセンシング手法の開発について研究を推進することが望まれる。

(5) 砂漠化防止技術の分析と評価

砂漠化防止技術を評価するために、砂漠化・土地荒廃防止技術のマトリクスを作成して、様々な技術に対する評価を行った。マトリクスの一例として、表 4 に、内蒙古の吉蘭泰塩湖において行われた風食砂害防止プロジェクトのマトリクスを示す。

吉蘭泰塩湖は、湖水に塩分を含む内陸湖であり、この地域は塩の生産地として知られている。1950 年代には塩湖の周辺に大規模な植生があり、これらの植生により砂丘が固定されていた。その後、人口の増加に伴い、生活用燃料のために灌木類が過剰伐採され、塩湖周辺の植生が減少し、砂の流動化が進行した。そこで、砂害の防止と対策のためのプロジェクトが実施された(1982

～1987年)。この例にみられるように、各プロジェクトの内容を文献や資料に基づいて検討し、マトリクスの形に整理することにより、各プロジェクトの特質が明確化された。

表4 砂漠化・土地荒廃防止技術のマトリクスの一例(吉蘭泰塩湖でのプロジェクト)

	荒廃地の回復技術				現状把握・予測技術	
	A.砂漠化・土地荒廃要因への働きかけ		B.土地劣化の防止		C.砂漠化現象への適応	D.現象の把握・予測、モニタリング
	人間活動の制限/改善	要因となる活動の代替	脆弱な土地の保全	荒廃地の回復		
技術的対策	困地、燃料用植物の伐採禁止、放牧禁止。	放牧地を塩湖から遠く離す。飼料基地の建設、畜舎での家畜飼育。	Micro-irrigation等の灌漑方法により、植生の回復を加速。流動砂丘上に粘土方格を設置し、砂丘を固定すると同時に土壌改良を行う。	補欠性植林と草本植物の種子の播種により荒廃地の再生をはかる。	左記の技術を組み合わせて用いることにより、砂害防止が可能になり、流動砂丘が減少。植生の被覆率は15%から57%まで増加。	風砂活動・風食や温度湿度の観測データと植生調査データに基づいて定期的に予測する。
組織・制度的対策	法令により種々の罰則を設定する。	燃料会社の設立と燃料の販売。農場の藁類を飼料として牧民に供給する。	製塩会社は砂漠化防止のための専門機構を設立。内蒙古農業大学の研究者が塩湖保護のための研究を行う。	毎年約3km ² の植林を実施する。植生に関する専門的知識をもつ管理者を配置する。	毎年定期的に専門家が植生面積と植生被覆率を調査。	毎年定期的に専門家による砂丘活動の調査を行う。
人材育成	住民に対する環境教育の実施と、専門家養成および住民の環境保護意識の育成。		砂漠化防止のための専門機構の職員は砂漠化防止技術の企画・実施を行う能力がある。	製塩会社の職員と周辺地域の住民のほとんどが植林および植生造営技術を有している。	周辺地域では多くの大学の学生の砂漠化防止技術の実習現場となっている。	学生の実習の一環として現地調査およびデータ解析を行う。

5. 本研究により得られた成果

中国における砂漠化対策に関する歴史は比較的長く、これまでに多くの砂漠化防止プロジェクトなどが実施され、研究成果を報告した膨大な文献や資料が蓄積されてきている。本研究では、既往の中国における砂漠化防止プロジェクトや砂漠化対策に関連した文献等資料のレビューを行い、砂漠化防止プロジェクトや砂漠化防止技術の特質、内容、実効性などを明らかにした。また、砂漠化防止技術に関連する資料のデータベースを構築し、中国における砂漠化防止技術に関連す

る情報の有効な活用が可能になった。さらに、これらのレビューから、(1)中国政府の国連砂漠化対処条約(UNCCD)に基づいた対策の基本方針、(2)中国における草方格技術による砂丘固定の効果とその適用、(3)砂漠化した土地の回復を目的とした人工群落における植物多様性の変化、(4)砂漠化の植生指数とそのリモートセンシングへの適用、(5)砂漠化防止技術の分析と評価、などに関する検討・考察を実施した。

6. 引用文献

本研究は、前述のように、56点の書籍、149点の雑誌および224点の研究論文の収集と検討に基づいて実施した。引用文献の一例は表1に示してある。

[国際共同研究等の状況]

本研究は地球環境研究総合推進費の国際交流研究制度(Eco-Frontier Fellowship Program)により実施されたものである。また、本研究は内蒙古農業大学および中国林業科学院との共同研究であり、これらの機関から本研究を実施するうえで必要な情報や資料の提供を受けた。

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表

- ① K. Tobe and K. Omasa : Journal of Agricultural Meteorology, 55 (2), 155-163 (1999)
"Leaf age dependence of chlorophyll fluorescence parameters in water-stressed leaves of *Phaseolus vulgaris* L."
- ② K. Tobe, L. Zhang and K. Omasa : Seed Science and Technology, 27 (3), 851-863 (1999)
"Effects of NaCl on seed germination of five nonhalophytic species from a Chinese desert environment."
- ③ G.Y. Qiu, K. Tobe, H. Shimizu and K. Omasa : Journal of Arid Land Studies, 10(4), 269-273 (2000)
"The fundamental strategies of Chinese government for the implementation of the United Nations Convention to combat desertification."
- ④ K. Tobe, X. Li and K. Omasa : Annals of Botany, 85 (3), 391-396 (2000)
"Seed germination and radicle growth of a halophyte, *Kalidium caspicum* (Chenopodiaceae)."
- ⑤ K. Tobe, X. Li and K. Omasa : Australian Journal of Botany, 48 (4), 455-460 (2000)
"Effects of sodium chloride on seed germination and growth of two Chinese desert shrubs, *Haloxylon ammodendron* and *H. persicum* (Chenopodiaceae)."
- ⑥ G.Y. Qiu, K. Tobe, H. Shimizu and K. Omasa : Journal of Arid Land Studies, 11(1), 45-52 (2001)
"The effect of straw checkerboard on the sand dune fixation and its application in China."
- ⑦ G.Y. Qiu, Y. Gao, H. Shimizu, K. Tobe and K. Omasa : Journal of Arid Land Studies, 11(1), 63-70 (2001)
"Study on the changes of plant diversity in the established communities for rehabilitation of desertified land."

- ⑧ K. Tobe, L. Zhang, G.Y. Qiu, H. Shimizu and K. Omasa : *Journal of Arid Environments*, 47 (2), 191-201 (2001)

"Characteristics of seed germination of five non-halophytic Chinese desert shrub species."

- ⑨ G.Y. Qiu, H. Shimizu, K. Tobe, Y. Gao and K. Omasa : *Journal of Arid Land Studies* (in press)

"Use of vegetation as an indicator of desertification and its applicability in remote sensing."

(2) 口頭発表

- ① 戸部和夫、李 小明、大政謙次：第46回日本生態学会大会（1999）

「中国の砂漠地域に生育する2植物種の種子発芽および生育におよぼすNaClの影響」

- ② G.Y. Qiu, K. Tobe and H. Shimizu : International Workshop on Biodiversity Research and Information in Asia and Oceania. March, 2000. Tsukuba, Japan (2000)

"Variation of plant diversity in the established community for combating desertification."

- ③ G.Y. Qiu, H. Shimizu, K. Tobe and Y. Gao : The Workshop of the Asian Regional Thematic Programme Network on Desertification Monitoring and Assessment (TPN1), June, 2000, Tokyo (2000)

"Use of vegetation as an indicator of desertification and its applicability in remote sensing."

- ④ G.Y. Qiu, K. Tobe and H. Shimizu : The 43rd Symposium of the International Association for Vegetation Science. July, 2000. Nagano, Japan, (2000)

"The succession of planted communities in Tengeri desert in relation to root distribution and soil water status."

- ⑤ K. Tobe, X. Li, G. Qiu, H. Shimizu and K. Omasa : The 43rd Symposium of the International Association for Vegetation Science, July, 2000. Nagano, Japan, (2000)

"Effects of NaCl on seed germination and early seedling growth of three species from a Chinese desert region."

- ⑥ G.Y. Qiu, L. Okushima, S. Sase, K. Tobe and H. Shimizu : Annual Meeting of the Society of Agricultural Meteorology of Japan (2000)

"A study on acoustic emission and water stress of tomato plant."

- ⑦ G.Y. Qiu, H. Shimizu, K. Tobe, and Y. Gao : International Symposium: Integration and Regional Researches to Combat Desertification — Present State and Future Prospect — The 16th "Global Environment Tsukuba", December, 2000. Tsukuba, Japan (2000)

"Plant as desertification indicators in Mu Us sandy land."

- ⑧ Y. Gao, H. Shimizu, K. Tobe, and G.Y. Qiu : International Symposium: Integration and Regional Researches to Combat Desertification — Present State and Future Prospect — The 16th "Global Environment Tsukuba", December, 2000. Tsukuba, Japan (2000)

"Vegetation indicators of grazingland desertification."

- ⑨ K. Tobe, L. Zhang, X. Li, H. Shimizu and K. Omasa : International Symposium: Integration and Regional Researches to Combat Desertification — Present State and Future Prospect — The 16th "Global Environment Tsukuba", December, 2000. Tsukuba, Japan (2000)

"Seed germination of Chinese desert plants distributed at locations differing in the degree of desertification. "

(3) 出願特許

なし

(4) 受賞等

なし

(5) 一般への公表・報道等

なし