

G-2 砂漠化指標による砂漠化の評価とモニタリングに関する総合的研究

(2) 砂漠化の植生指標に関する研究

独立行政法人国立環境研究所

環境研究基盤技術ラボラトリー

国際室

高 永（平成 13・14 年度 EFF）

戸部和夫

虞 毅（平成 15 年度 EFF）

于 云江・清水英幸

平成 13～15 年度合計予算額 7, 0 9 1 千円

（うち、平成 15 年度予算額 2, 5 0 7 千円）

上記の予算額には、間接経費 1, 6 3 6 千円（5 7 9 千円）を含む

〔要旨〕

砂漠化を効果的に防止するためには、砂漠化の進行状況を適格に把握するための実用的で高感度な指標が必要である。植生は、砂漠化の進行とともに敏感にその様相を変えることが知られており、有効な砂漠化指標として用いられると期待される。そこで、本研究では、中国の内蒙古自治区に位置するいくつかの典型的な砂漠化地域を対象として、①文献のレビュー、および、②現地調査を並行して行い、地域ごとに適用可能な砂漠化の植生指標を抽出することを目的とした。文献レビューより砂漠化の植生指標を比較検討した結果、砂漠化評価のために指標に組み込むべき植生パラメータとしては、植被率、地上バイオマスおよび優占植物種の3つが重要であり、砂漠化進行度は、3～6段階程度に分類するのが実用的であることが判った。また、現地の住民にとって最も実用的な砂漠化指標は、指標植物種であると考えられたが、中国国内においても、乾燥度、降雨量などの気象条件、地質などの土壌条件の相違や地理的隔離による分布種の相違等により、地域ごとに異なった指標植物種が予測された。そこで、乾燥度が大きく異なっていると同時に地理的にも隔たった場所に位置する6カ所を現地調査の対象地域として選んだ。これらの地域で、砂漠化の進行に伴い、植被率、植物種構成などがどのように変化するかを調べるとともに、特定の砂漠化の進行段階でどのような植物種が特異的に出現するかを検討した。その結果、これら6地域では、本来の分布植物種に相違が認められるため、指標植物として用いられる植物種も各地域ごとにそれなりに異なることが明らかになった。そこで、6地域のそれぞれにつき、砂漠化の進行度を評価するために適用可能な指標植物種を提示した。本研究により得られた関連情報については、データベース化を行った。本研究の結果、中国北部の乾燥・半乾燥・乾性半湿潤地域に分布する植物種に関し、砂漠化の指標植物という視点からの情報整理や現地調査がなされ、今後の砂漠化モニタリングのために有用な基盤整備を行うことができた。

〔キーワード〕 砂漠化進行度、指標植物種、植生指標、中国内蒙古、データベース

1. はじめに

中国においても砂漠化地域の面積は年々拡大し続けており、今後これらの地域では食糧供給等住民の生活に深刻な影響を及ぼすことが懸念されている。砂漠化の進行を防止するうえでは、砂漠化の進行状況をモニタリング・評価する必要があるが、そのためには利用しやすい的確な砂漠化指標が必要である。植生は、砂漠化の進行に伴って敏感にその様相を変えることが知られており、高感度な砂漠化指標として、砂漠化地域で現実に用いられることが期待される。

中国北部では、過度な人間活動により、風食による土地劣化(砂漠化)が進行している。砂漠化は経済的な損失をもたらし、環境に悪影響を与える。中央行政から地方行政にいたるまで、さまざまな砂漠化防止対策が実施されてきたが、人間による環境の酷使の増大により自然環境の劣化は抑制されず、現状ではむしろ悪化している。砂漠化を効果的に防止するためには、まず、砂漠化の過程をより詳しく解析し、砂漠化を的確に評価する手法を明らかにし、砂漠化を常時モニタリングし評価することが必要である。砂漠化は生態系の劣化ともいえる。植生は生態系にとって最も重要な要素である。植生は、気候、土壌、土砂の移動度や水環境などの環境要因の変化のすべてに敏感に反応する。したがって、植生は環境変化(劣化)を評価するための最も判り易い指標になり得る。

砂漠化指標は、砂漠化の進行や砂漠化対策の効果を判定するうえで重要である。このため、政策の決定、環境の質的な評価、および適切な土地管理を行ううえで、判り易く、実用的な砂漠化指標の必要性が高まっている。国家レベルで見ると、砂漠化指標は土地資源に関する政策変更の影響を監視するための一手段であり、砂漠化対処のための国家行動計画(NAP)、さらには国家環境行動計画(NEAP)に取り入れることが可能である。また、今後実効性のある砂漠化対策を実施していくためには、砂漠化指標、とくに地方レベルで、現地の人々にも利用しやすく、砂漠化の評価にも的確な植生指標に関しての十分な検討が必要不可欠である。

2. 研究目的

本研究では、中国を対象として、既往の砂漠化指標の整理、検討を行うとともに、現地調査に基づいて、砂漠化のさまざまな進行段階における植生の状況を整理し、信頼性の高い砂漠化の植生指標を提示するための基盤的知見の確立を図ることを目的とした。砂漠化の原因は、生物気候学的地域によって異なる。したがって、砂漠化指標もそれぞれの地域に対応して固有であり、砂漠化程度が同様であったとしても、植生指標の内容は異なる場合が多い。このため、砂漠化指標は、生物気候学的な地域ごとに検討する必要がある。そこで本研究では、乾燥度が異なり、また地理的にも隔たった場所に位置する6カ所を対象地域として、①文献のレビュー、および、②現地調査を並行して行うとともに、中国を対象としたサブテーマ3およびサブテーマ4との間でデータ交換を行い、乾燥度の異なる地域ごとに適用可能な砂漠化の植生指標に関する研究を実施した。なお、植生を砂漠化指標として適用する場合の各植物種の環境反応性に関する実験的研究についてもサブテーマ3と協力して実施したが、これらの成果についてはサブテーマ3にまとめた。

3. 研究方法

(1) データ収集とデータベースの構築

中国を対象として発表された、植生指標による砂漠化の評価に関連する研究論文(中国語で記

載されたものの多数を含む)を収集・整理して、それらの内容を検討し、レビューを行い、得られた結果をもとに、中国の植生指標による砂漠化評価に関連する研究データベースを構築した。これらの中で、下記の現地調査を行った6地域に関する情報も整理した。

(2) 現地調査

乾燥度が異なっていると同時に地理的にも隔たった場所に位置する以下の6カ所を対象地域とした：Tengeri 沙漠、Ulanbuh 沙漠、Mu Us 沙地、Xilinguole 草原、Horqin 沙地、および Hulunbeier 沙地(図1)。研究対象とした地域の現地調査においては、分布植物種、植被面積、植物種ごとの個体数、および植物種ごとの個体の高さを記録した。

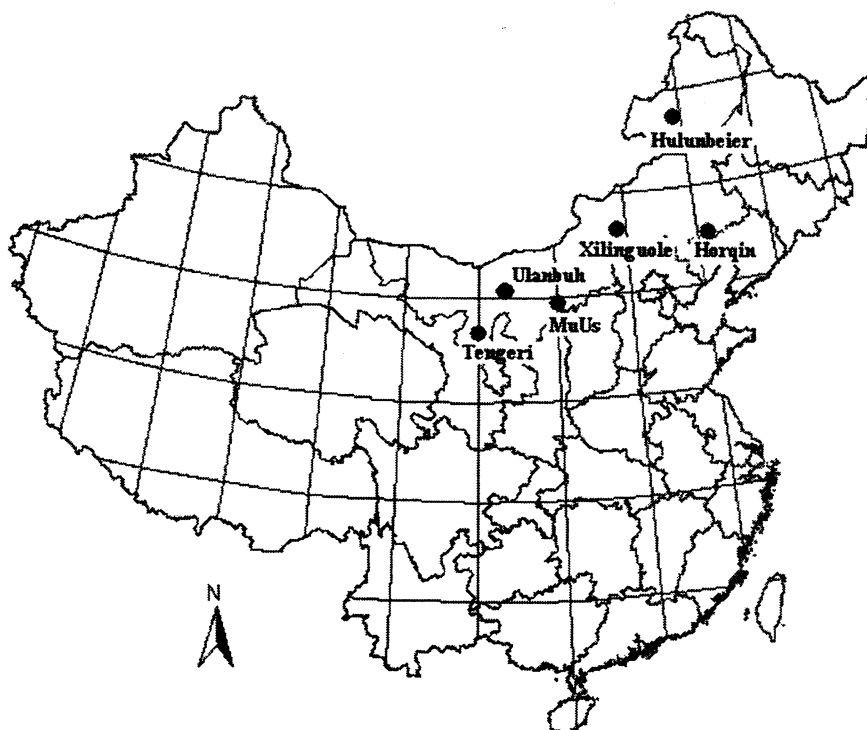


図1 研究対象とした6カ所の砂漠化地域(中国内蒙古自治区)

4. 結果・考察

(1) データ収集とデータベースの構築

収集・整理した計951点の研究論文から、植生指標による砂漠化の評価に関連するもの合計498点を選出した。それらの植物指標に関連する既存情報をデータベース化した。データベースは、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、その研究に関連する著者、出典、題目、年代、キーワード、要旨が表示されるような形式で構築した。さらに、研究内容に関しては、研究手法、植物種、地域名、気候区などに関する情報を抽出して整理した。

以下の解析では、これらの文献から、今回対象とした6地域を中心に特に重要な情報が得られた文献¹⁻³⁸⁾をもとに、レビュー等を行った。

(2) 中国内蒙古砂漠化対象地域の地理的・気候的条件の概要

現地調査を実施した、6地域の地理的・気候的条件等を上記文献等から整理し、以下に記載すると共にその概要を表1にまとめた。

① Tengeri 沙漠の気候と特徴

調査地域は、面積 36,700 km² のテンゲル沙漠の北東端、シャボトウ(東経 105°、北緯 37°32′)周辺である。調査地周辺には標準的な気象測定所が設置されており、気象データが収集されている。30 年余(1956～1991 年)に及ぶ観測によれば、年平均気温は 9.8℃であり、1 月の平均気温は -6.9℃、7 月の平均気温は 24.3℃である。年間降水量は 200 mm 未満であり、その 80 %が 5 月から 9 月に集中している。一方、年間蒸発量は 3000 mm ほどになる。わずかな植物種(2、3 種)しか生育しない流動砂丘がこの地域ではよく見られる。地下水面は 80 m よりも深いところにある^{19,23)}。

② Ulanbuh 沙漠の気候と特徴

本沙漠(10,300 km²)は中国内蒙古の北部・北西部(東経 106°～107°、北緯 39°～41°)に位置する。年間降水量は 100～150 mm である。年間蒸発量は 2300～2400 mm であり、日照時間は年間 3000 時間を超える。年平均気温は 7.8℃であり、最高最低気温の日平均較差は 14.4℃である。年間における 10℃以上の平均積算時間・温度は 3000～3200℃時間であり、植物の生長可能期間は約 168 日間である。砂嵐の年間発生日数は 60 日以上であり、最高風速は秒速 24 m に達する³²⁾。

③ Mu Us 沙地の気候と特徴

本ムウス沙地は中国北部・内蒙古の典型的な砂漠化地域である。ムウス沙地はオルドス高原の南に位置する。地理的には、東経 107°20′～113°30′、北緯 37°30′～39°20′に位置する。総面積は約 40,000 km²であり、標高は 1300～1600 m である。年平均気温は 6～8.5℃、1 月の平均気温は -12～-8℃、年間降水量は 250～490 mm である。降水量は南東から北西へ行くほど少なくなる。降雨は 7 月、8 月および 9 月に集中しており、これら 3 か月間の降水量が年間降水量の約 60～70 % を占める。また、降雨は一時期に集中する傾向が強い。植物の生長可能期間は約 150 日間である。一方、年間蒸発量は最大 2500 mm にもなり、年平均相対湿度は約 30 %である。年平均風速は 3.3 ms⁻¹であり、北西からの風が優勢である。砂嵐の年間発生日数は 40～50 日であり、4 月と 5 月に集中する。土質については、ビームランドの頂上に分布する栗色土、この地域の西端に分布する褐色土および砂丘に分布する低湿砂を除けば、ほとんどが砂質土により占められる。この地域の植生は半乾燥草原型であり、植物はビームランドの頂上にしか分布していない。半灌木である *Artemisia ordosica* の群落は砂地で最も優勢な植生である。低地には牧草地と農地がある^{19,35)}。

④ Xilinguole 草原の気候と特徴

シリングロ草原はシリングロ川の中流域に広がっており(東経 112°～118°、北緯 41°～45°)、面積はおおよそ 19,200 km²である。この地域は地理的に内蒙古の Haixi 造山帯に属しており、石炭紀および二疊紀の石灰岩と砂岩の岩層が地面に露出している。この地域では、新生代の地殻変動で地面が陥没して盆地が形成された。また、ヒマラヤ山脈が形成されたときの火山活動によって玄武岩台地が形成された。東部の標高は海拔 1300～1500 m であり、西部(標高 1000 m 未満)よりも高い。この標高差のため、土壌と植生が東部と西部である程度異なっている。この地域の気候は半乾燥大陸温帯草原性であり、春季は乾燥しており、夏季は湿潤である。年平均気温は -0.4℃で

あり、植物生長日数は150～180日である。年間降水量は320～400 mmであり、降雨量は、東部から西部に向かって徐々に少なくなり、7月、8月および9月に集中する。年間蒸発量は2300 mmほどもあり、高温多湿な夏季は草原性植物の生長にとって好適な時季である。この地域の土質は栗色土である。地形の影響により、植生と水環境・熱環境に多少のばらつきがある^{34,38)}。

⑤ Horqin 沙地の気候と特徴

ホルチン沙地は中国東北部地域にある。地理的には、東経118°35'～123°30'、北緯42°41'～45°15'に位置する。総面積は約42,300 km²であり、標高は180～650 mである。この地域は大陸気候であり、平均気温は5.8～6.4℃であり、1月の平均気温は－12.6～－16.8℃、7月の平均気温は20.3～23.5℃である。最高最低気温の年平均較差は35℃であり、日平均較差は15℃である。年間における10℃以上の平均積算時間・温度は、3000～3200℃時間であり、植物生長日数は140～160日である。降雨は夏季に集中しており、年間降水量(340～460 mm)の約70%を占める。年間蒸発量は2200～2400 mmであり、年間平均相対湿度は約50～55%である。年平均風速は3.4～4.5 m/秒であり、砂嵐の発生日は年間で3月、4月および5月に集中する。秋冬に北西からの風が優勢であり、春夏に南西からの風が優勢である。この地域の土質は風沙土である。地下水面は1～4 mよりも深いところにある¹⁴⁾。

⑥ Hulunbeier 沙地の気候と特徴

本地域は大陸寒温帯と中温帯の気候であり、東経117°～121°、北緯47°～50°、標高700～1000 mに位置する(約6,400 km²)。年平均気温は－5～2℃、1月の平均気温は－18～－30℃、7月の平均気温は16～21℃である。また、日照時間は年間2500～3100時間である。年間降水量は240～520 mmである。降雨は夏季に集中しており、夏季の降水量が年間降水量の約65～70%を占める。降水量は東から西へ行くほど少なくなる。また、年間蒸発量は約1600 mmである。なお、年間の秒速17m以上の風速の年平均日数(≥17m/s)は22.8日である^{7,12,37)}。

表1 調査地域の地理的・気候的特徴の概要

場所	位置	面積(km ²)	降水量(mm)	蒸発量(mm)	気温(°C)
Tengeri	東経 103°～106° 北緯 37°～39°	36,700	< 200	3000	9.8
Ulanbuh	東経 106°09'～106°57' 北緯 39°16'～40°57'	10,300	100～150	2300～2400	7.8
Mu Us	東経 107°20'～113°30' 北緯 37°30'～39°20'	40,000	250～490	1800～2500	6.0～8.5
Xilinguole	東経 112°21'～117°57' 北緯 41°45'～44°52'	19,200	320～400	2000～2700	－0.4
Horqin	東経 118°35'～123°30' 北緯 42°41'～45°15'	42,300	340～460	2200～2400	5.8～6.4
Hulunbeier	東経 117°～121° 北緯 47～50°	6,400	240～520	1600	－5～2

(3) 中国における砂漠化指標研究の現状と問題点

中国における砂漠化指標に関する文献のレビューを行い、特に 1990 年代以降に中国において提示された代表的な砂漠化植生指標を整理し、表 2 にまとめた^{3,4,13,16,24,26}。

表 2 に示すように、①研究者ごとの砂漠化の認識の相違を反映して、指標の基礎となる砂漠化の概念と規模が異なること(例えば、Wu の植被率指標と Lin の植被率指標)、②指標系が複雑であり(例えば、Gao の指標)、直接測定できないパラメータを含み、実際に砂漠化を評価する際に入手困難な情報が必要になることが多いこと、③他の指標と重なる部分があるにも係わらず、異なる指標間での評価結果が相互に比較できないこと、などが明らかとなり、これらの複雑で非統一的な指標体系の提示が砂漠化植生指標の実用的価値を低下させる要因になっていることが推測された。

以上のような既往の砂漠化指標の検討結果に基づき、①砂漠化評価のための指標に組み込むべき植生パラメータとしては、植被率、地上バイオマスおよび優占植物種の 3 つが重要であること、②砂漠化進行度は、3～6 段階程度に分類するのが実用的であること、③植生パラメータをもとに砂漠化進行度を評価するうえでは、対象地域の気象、地質、植生帯等の条件を考慮すべきこと、などが重要であることを確認した。

表 2 砂漠化の進行度による植生指標体系

著者 (提案者)	砂漠化植生指標									
GAO Shangwu (1998)	植被率 (%)	範囲 得点	>60 3.6	60-51 5.4	50-41 7.2	40-31 9.0	30-21 10.8	20-10 12.6	<10 14.4	
LIU Yuping (1998)	軽度の砂漠化		土地生産性の喪失は 25%未満である							
	中度の砂漠化		土地生産性の喪失は 25～50%低下							
	高度の砂漠化		土地生産性の喪失は 50～70%低下							
	重度な砂漠化		土地生産性の喪失は 75%以上低下							
WANG Tao (1999)	砂漠化進行度		軽度		中度		高度		重度	
	植被率 (%)		>60		60～30		30～10		<10	
WU Zheng (1987)	ゼロ	安定した植生が優勢であり、その植被率は最大で 40%を上回る								
	軽度	安定した植生は優先的でなくなり、その植被率は 20～40%								
	中度	安定した多年生植物の植被率が 20%を下回る								
	高度	一年生植物が優勢であり、その植被率は 10%未満								
LIN Jing (1999)	砂漠化進行度			軽度		中度		高度		重度
	植被率 (%)			>50		50-31		30-11		<10
DONG Yuxiang (1992)	砂漠化進行度			軽度		中度		高度		重度
	年間生物生産性低下率(%)			<1.5		1.5～3.5		3.5～7.5		>7.5

(4) 砂漠化の進行度の指標植物種に基づく評価

乾燥、半乾燥および乾性半湿潤気候を特徴とする中国北部では、人間活動が砂漠化進行の主要因である。砂漠化進行の原因の内訳は、過放牧(図2参照)が28%、過耕作が25%、薪の過伐採が32%、水資源乱用が8%、工学的要因が1%などである⁵⁾。また、降雨が少ないことと頻繁に強風が吹くことも、特に干ばつ期には砂漠化の進行を大きく促進する。

本研究で対象とした6地域では、過放牧、薪の過伐採、および農地開拓の過多により、砂漠化が広域的に進行し、自然植生が甚だしく破壊されている。砂漠化が進行すると、植生が減少する。したがって、砂漠化は、植物という観点からとらえると、植生の減少過程の進行に他ならない。これらの地域の現地調査および文献調査を併せて実施し、適正な砂漠化指標の検討を行ったが、6つの対象地域のうち、ムウス沙地についてはサブテーマ3と、またホルチン沙地についてはこの地域を対象地域とするサブテーマ4との間でデータ交換を行った。

対象とした6地域の現地調査では、各地域ごとに、砂漠化の進行に伴う群落タイプ、植物個体密度、分布植物種等の変化を調べるとともに土壌条件および気象条件等の環境要因に関してのデータを収集した。その結果、砂漠化の進行とともに、植物群落のタイプ、植物群落の最小面積、植被面積、植物種の多様性、および植生の均一性が大幅に変化したことから、植生は砂漠化指標として利用し得ると考えられた。砂漠化の進行に伴い、バイオマスや植被率が減少するほか、砂漠化の特定の進行段階で、特定の植物種が優占的に出現することが確認された。たとえばシリngo草原においては、草原の過放牧にともなう砂漠化の進行とともに、①分布植物種の個体の高さとサイズが減少すること、②放牧に有用な植物種(*Leymus chinensis* など)の個体数が減少し、家畜の食用として不適な植物種(*Artemisia frigida* など)の個体数が増加すること、③分布植物種の種構成が顕著に変化すること等が明らかとなった。

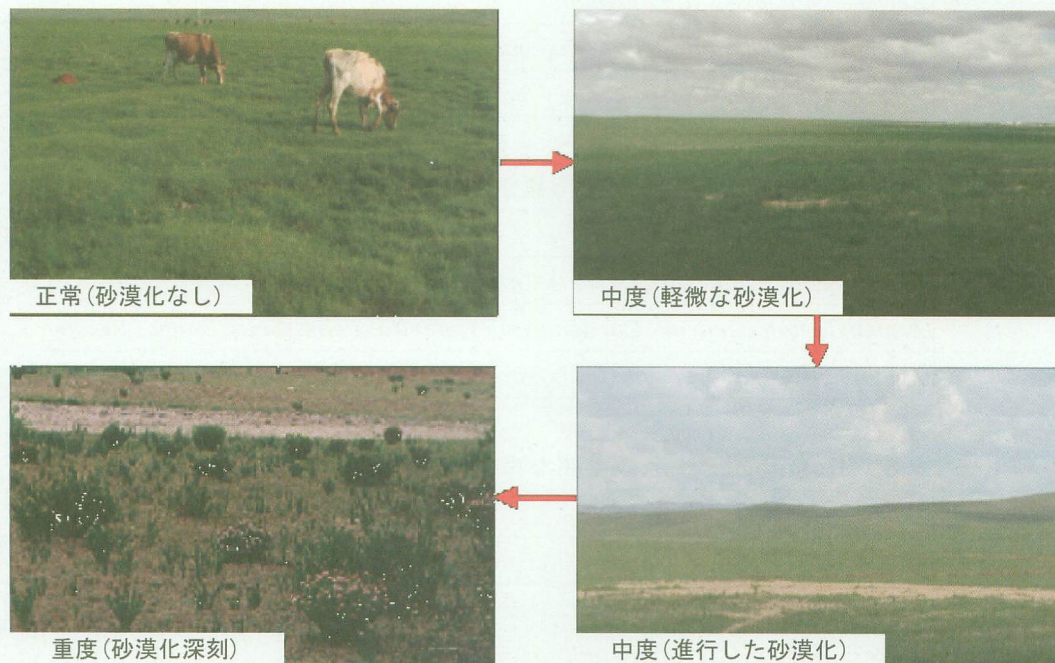


図2 中国内蒙古の典型的な過放牧地の砂漠化の進行段階

表3 Tengeri 沙漠の主要な指標植物種が示す砂漠化の進行度

砂漠化進行度	特定の出現する植物種
正常	<i>Oxytropis aciphylla</i> , <i>Penisetum centrasiaticum</i> , <i>Salsola ruthenica</i>
中度	<i>Hedysarum scoparinm</i> , <i>Artemisia ordosica</i> , <i>Caragana korshinski</i> , <i>Bassia dasyphlla</i>
重度	<i>Agriophyllum squarrosum</i> , <i>Artemisia sphaerocephala</i>

表4 Ulanbuh 砂漠の主要な指標植物種が示す砂漠化の進行度

砂漠化進行度	特定の出現する植物種
正常	<i>Nitraria tangutorum</i> , <i>Reaumuria soongarica</i>
中度	<i>Haloxylon ammodendron</i> , <i>Artemisia arenaria</i> , <i>Sophora alopecuroides</i>
重度	<i>Artemisia sphaerocephala</i> , <i>Psammochloa villosa</i> , <i>Agriophyllum squarrosum</i>

表5 Mu Us 沙地の主要な指標植物種が示す砂漠化の進行度

砂漠化進行度	特定の出現する植物種
正常	<i>Sabina vulgaris</i> , <i>Artemisia ordosica</i> , <i>Caragana korshinskii</i>
中度	<i>Salix psammophila</i> , <i>Hedysarum fruticosum</i> , <i>Artemisia sphaerocephala</i> , <i>Psammochloa villosa</i>
重度	<i>Agriophyllum squarrosum</i> , <i>Inula salsoloides</i> , <i>Cynanchum komarovii</i>

表6 Xilinguole 草原の主要な指標植物種が示す砂漠化の進行度

砂漠化進行度	特定の出現する植物種
正常	<i>Leymus chinensis</i> , <i>Stipa grandis</i>
中度	<i>Artemisia commutata</i> , <i>Serratula centauroides</i> , <i>Agropyron cristatum</i>
重度	<i>Artemisia frigida</i> , <i>Cleistogenes squarrosa</i>

表7 Horqin 沙地の主要な指標植物種が示す砂漠化の進行度

砂漠化進行度	特定の出現する植物種
正常	<i>Cleistogenes squarrosa</i> , <i>Leymus Chinensis</i>
中度	<i>Artemisia halodendron</i> , <i>Caragana microphylla</i> , <i>Pennisetum centrasiaticum</i>
重度	<i>Agriophyllum squarrosum</i> , <i>Salix gordejvii</i> , <i>Hedysarum fruticosum</i> var. <i>ligosum</i>

表8 Hulunbeier 沙地の主要な指標植物種が示す砂漠化の進行度

砂漠化進行度	特定の出現する植物種
正常	<i>Ulmus pumila</i> , <i>Stipa grandis</i> , <i>Cleistogenes squarrosa</i>
中度	<i>Pinus sylvestris</i> var. <i>Mongolia</i> , <i>Artemisia frigida</i>
重度	<i>Salix gordejvii</i> , <i>Agriophyllum squarrosum</i>

6 地域の現地調査により得られた結果から、砂漠化の進行に伴う植生状態の変化のうち、分布植物種が、現地の住民等に判り易く、最も実用的であり、かつ高感度な砂漠化指標であることが推察された。一方、対象とした6地域では、乾燥度の相違や地理的な隔離等のために分布植物種に相違がみられるため、指標植物として用いられる植物種は相当程度異なることが明らかとなった。そこで、研究対象地域とした6地域の各々につき、現地調査データと文献データおよびサブテーマ3およびサブテーマ4から提供を受けたデータをもとに、砂漠化の進行に伴う植生の退行遷移系列を整理し、砂漠化の進行度を評価するために適用可能な典型的な指標植物種を提示した(表3～8)。これまで砂漠化進行度をもっと詳細に分ける場合が多かったが、このような地域レベルで分ける場合、各沙漠・沙地の中の各地点で、微気象や地質等の影響により、砂漠化進行度と指標植物種の出現がずれる場合が多かったので、より単純化した3段階の指標体系にまとめた。

5. 本研究により得られた成果

本サブテーマは、サブテーマ1の指標体系およびサブテーマ3・サブテーマ4の中国地域研究との情報交換・連携のもとに研究を実施した。砂漠化が深刻となっている中国内蒙古の典型的な砂漠化地域に該当する6地域を対象として、文献調査および現地調査に基づいて砂漠化の植生指標の検討を行った。得られた成果は以下のようである。

①文献調査では、中国で報告された砂漠化の植生指標を比較検討し、それらの特徴と問題点を明らかにした。その結果、砂漠化評価のために指標に組み込むべき植生パラメータとしては、植被率、地上バイオマスおよび優占植物種の3つが重要であり、砂漠化進行度は、3～6段階程度に分類するのが実用的であることが判明した。②さらに、植生指標に関連する文献情報の抽出を行い、得られた関連情報のデータベース化を行った。③現地調査では、対象6地域で、砂漠化進行と植被率、植物種構成などを調査した。その結果、砂漠化の進行に伴い、バイオマスや植被率が減少するほか、砂漠化の特定の進行段階で、特定の植物種が優占的に出現することが確認された。④また、対象とした6地域では、乾燥度の相違や地理的な隔離等のために分布植物種に相違がみられ、指標植物として用いられる植物種はそれなりに異なることが明らかとなった。⑤そこで、6地域の各々につき、砂漠化の進行度を評価するために適用可能な指標植物種を提示した。

本研究の結果、中国北部の乾燥・半乾燥・乾性半湿潤地域に分布する植物種に関し、砂漠化の指標植物という視点からの情報整理や現地調査がなされ、今後の砂漠化モニタリングのための有用な基盤整備を行うことができた。

6. 引用文献

- 1) Y. An, Z. Xu, Z.J. Yan, G.D. Han. 1999. The difference between the grass and soil in different stage of grassland deterioration. *Grassland of China*, 4: 35-42.
- 2) G.D. Ding. 1998. Research of monitoring and evaluation indicator system on desertification. *Doctor's degree paper of Beijing Forestry University*.
- 3) Y.X. Dong, Y.H. Liu. 1992. Research of monitoring indicator system on sandy desertification. *Arid Environmental Monitoring*, 6(3): 179-182.
- 4) S.W. Gao, B.F. Wang, L.Y. Zhu, J.H. Wang and Y.G. Zhang. 1998. Monitoring and evaluation indicator system on sandy desertification of China. *Scientia Silvae Sinicae*, 34 (2): 1-12.

- 5) Y. Gao, H. Shimizu, K. Tobe, G.Y. Qiu. 2002. Vegetation indicators of grazingland desertification. *Integration and Regional Researches to Combat Desertification -Present Status and Future Prospect- The 16th Global Environment Tsukuba* (H. Shimizu, ed.), Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, p. 295-301.
- 6) K. Guo. 2000. Cyclic succession of *Artemisia ordosica* krasch community in the Mu Us sandy grassland. *Acta Phytocologica Sinica*, 24(2): 243-247.
- 7) G. Han, G.F. Zhang and W. Yang. 2004. A Quantitative analysis for the provenance of dune sand in the Hulun Buir Sandy Land: Application of stepwise discriminant analysis to the granulometric data, *Acta Geographica Sinica*, 59(2): 189-196.
- 8) T. Imagawa. 1996. Desertification in eastern China viewed from space. *Soil Phys Cond Plant Growth*, Japan, 74: 29-37.
- 9) S. Jiang. 1990. Ten years of the research on grassland ecosystems in Inner Mongolia. *Reports from the Inner Mongolia Grassland Ecosystem Research Station of Academia Sinica*, Science Press, Beijing, p.1-10.
- 10) X.H. Li. 1991. Approach monitoring indicator system on ecology environment of desert. *Arid Environmental Monitoring*, 5(1): 57-59.
- 11) X.F. Li. 1993. *The natural conditions and its improvement and utilization in Mu Us Desert*. Science Press, Beijing.
- 12) G.F. Liao, Y.L. Jia *et al.* 1996. *Rangeland Resources of China*, Science Press, Beijing.
- 13) J. Lin, S.H. Sun, J.H. Wang. 1999. Evaluation methodology of land desertification level caused by wind-erosion in the sand-dust storm frequently-occurring area. *Journal of Desert Research*, 19(4): 375-377.
- 14) X.M. Liu, H.L. Zhao, A.F. Zhao. 1996. *Wind-sandy environment and vegetation in the Horqin sandy land, China*. Science Press, Beijing.
- 15) M.G. Liu. 1998. *Nature map of China*. Map Press of China, pp252.
- 16) Y.P. Liu. 1998. Theoretic framework for desertification assessment. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 12(3): 75-82.
- 17) G.Y. Qiu, Q.H. Shi. 1991. Analysis of community composition in the succession of artificial vegetation in Shapotou area. *Journal of Arid Land Resources and Environment*, 5(1): 22-23.
- 18) G.Y. Qiu, P.J. Shi, H. Shimizu, K. Tobe, Y. Gao, K. Omasa. 2001. Vegetation indicators of desertification in the Mu Us desert and their applicability to remote sensing. *Journal of Arid land Studies*, 11(2): 111-117.
- 19) G.Y. Qiu, Y. Gao, H. Shimizu, K. Tobe, K. Omasa. 2001. Study on the changes of plant diversity in the established communities for rehabilitation of desertified land. *Journal of Arid Land Studies*, 11(1): 63-70.
- 20) G.Y. Qiu, H. Shimizu, K. Tobe, Y. Gao. 2002. Plant as desertification indicators in Mu Us Sandy Land. *Integration and Regional Researches to Combat Desertification -Present Status and Future Prospect- The 16th Global Environment Tsukuba*, (H. Shimizu, ed.) Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, p.69-76.

- 21) H. Shimizu, G.Y. Qiu, Y. Gao. 2001. Vegetation indicators of desertification. *Task Group Meeting on Benchmarks and Indicators*. Asian Regional TPN on Desertification Monitoring and Assessment, Beijing, 2001.
- 22) K. Tobe, L. Zhang, K. Omasa. 1999. Effects of NaCl on seed germination of five non-halophytic species from a Chinese desert environment. *Seed Science and Technology*, 27(3): 851-863.
- 23) K.F. Wang. 1988. *Studies on Sand Dunes Stabilization in Shapotou Area*, From "The Research of Desert Controlling" by Institute of Desert Research, Academia Sinica, Lanzhou, People's Press House, Ningxia.
- 24) T. Wang, T. Imagawa, W. Wu. 1999. Methods for monitoring and assessing sandy desertification in the north China. *Journal of Desert Research*, 19 (1): 6-11.
- 25) W. Wu. 1997. Method and practice of remote sensing monitoring on desertification development. *Remote Sensing Technology and Application*, 12(4):14-20.
- 26) Z. Wu. 1987. *Wind-Sandy Geomorphology*. Science Press, Beijing.
- 27) J.A. Young, R.A. Evans. 1973. Mucilaginous seed coats. *Weed Science*, 21: 52-54.
- 28) J.A. Young, R.A. Evans. 1975. Germinability of seed reserves in a big sagebrush community. *Weed Science*, 23: 358-364.
- 29) Y. Zha, J. Gao. 1997. Characteristics of desertification and its rehabilitation in China. *Journal of Arid Environments*, 37: 419-432.
- 30) J. Zhang, M.A. Maun. 1990. Effects of sand burial on seed germination, seedling emergence, survival, and growth of *Agropyron psammophilum*. *Canadian Journal of Botany*, 68: 304-310.
- 31) J. Zhang, M.A. Maun. 1998. Sand burial effects on seed germination, seedling emergence and establishment of *Panicum virgatum*. *Holarctic Ecology*, 13: 56-61.
- 32) H. Zhao. 1998. *The Controlling of Desertification*. Cultural Press, Inner Mongolia.
- 33) S. Zhao, H. Liu. 1989. Shrublands of China. *The Biology and Utilization of Shrubs* (C.M. McKell, ed.), Academic Press, San Diego, p. 225-245.
- 34) Z.D. Zhu, G.T. Chen *et al.* 1994. *Sandy Desertification in China*, Science Press, Beijing.
- 35) Z.D. Zhu, S. Liu. 1984. The definition of desertification and the determination of desertification degree. *Journal of Desert Research*, 4(3): 2-8.
- 36) Z.D. Zhu, S. Liu, Z. Wu, X. Di. 1986. *Deserts in China*. Institute of Desert Research, Academia Sinica, Lanzhou.
- 37) Z.D. Zhu, S. Liu, X. Di. 1989. *The Desertification and Desertification-controlling in Chian*, Science Press, Beijing.
- 38) Z.D. Zhu, T. Wang. 1990. An analysis on the trend of land desertification in northern China during the last decade based on examples from some typical areas. *Acta Geogr. Sin.*, 45: 430-440.

7. 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-Fronteer Fellowship Program)により実施されたものである。なお、本研究は、内モンゴ農業大学および中国林業科学研究院と連携のもと研究を実施し、これらの研究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。また、現地調査に当たっては、上記2機関以外に、中国科学院植物研究所、中国科学院寒区旱区環境与行程研究所、北京師範大学等の研究者の協力を得て実施した。

8. 研究成果の発表状況

(1) 誌上発表 (学術誌・書籍)

<学術誌 (査読あり)>

- ① G.Y. Qiu, Y. Gao, H. Shimizu, K. Tobe and K. Omasa: Journal of Arid Land Studies, 11, 63-70 (2001) “Study on the Changes of Plant Diversity in the Established Communities for Rehabilitation of Desertified Land.”
- ② G.Y. Qiu, P. Shi, H. Shimizu, K. Tobe, Y. Gao and K. Omasa: Journal of Arid Land Studies, 11, 111-117 (2001) “Vegetation Indicators of Desertification in the Mu Us Desert and Their Applicability to Remote Sensing.”
- ③ Y. Gao, G.Y. Qiu, H. Shimizu, K. Tobe, B. Sun and J. Wang: Journal of Arid Environments, 52, 483-497 (2002) “A 10-year Study on Techniques for Vegetation Restoration in a Desertified Salt Lake Area.”
- ④ X. Shi, S. Xu, Z. Yu, Y. Gao and M. Ukita: Grassland of China, 24: 7-12 (2002) “The Nitrogen and Phosphorus Environment and Its Effluent Characteristics in Artificial Tame Pastures,”
- ⑤ Y.P. Liu and Y. Gao: Journal of Soil and Water Conservation, 17, 162-165 (2003) “Tunnel Experiment on Mechanism of Shelterbelt Reducing Sand and Dust Near Ground Surface.”
- ⑥ G.Y. Qiu, I.B. Lee, H. Shimizu, Y. Gao and G. Ding: Journal of Arid Environments, 56, 449-464 (2004) “Principles of Sand Dune Fixation with Straw Checkerboard Technology and its Effects on the Environment.”
- ⑦ Y. Gao, G.Y. Qiu, G.D. Ding, H. Shimizu, Y. Yu, C.Y. Hu, Y.P. Liu, K. Tobe, Y. Wang and J. Wang: Journal of Desert Research, 24, 365-370 (2004) “Effects of *Salix psammophila* Checkerboard on Reducing Wind and Stabilizing Sand.”

<学術誌 (査読なし)>

- ① G.Y. Qiu, H. Shimizu, K. Tobe and Y. Gao: Integration and Regional Researches to Combat Desertification -Present Status and Future Prospect- The 16th Global Environment Tsukuba, (H. Shimizu, ed.) Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, p. 69-76 (2002) “Plant as Vegetation Indicators in Mu Us Sandy Land.”
- ② Y. Gao, H. Shimizu, K. Tobe and G.Y. Qiu: Integration and Regional Researches to Combat Desertification -Present Status and Future Prospect- The 16th Global Environment Tsukuba, (H. Shimizu, ed.) Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, p. 295-301 (2002) “Vegetation Indicators of Grazingland Desertification.”
- ③ J. Wang, X. Zhou, G. Ding, Y. Gao, X. Shi and Y. Li: *Study Sandy Land Rehabilitation and Sand-industry of China*. 160-165 (2003) “Evaluation of Indicators for Grazingland Desertification.”

<書籍>

なし

<報告書類等>

なし

(2) 口頭発表

- ① G.Y. Qiu, H. Shimizu, Y. Gao, K. Omasa and K. Tobe: 農業環境工学関連 4 学会2001年合同大会. つくば (2001年6月) 「Estimation of Aerodynamic and Soil Resistances using Temperature Related Approach.」
- ② G.Y. Qiu, H. Shimizu, Y. Gao, K. Tobe and I. Lee: Desert Technology VI International Conference. Urumqi, China (September, 2001) “Principle of Sand Dune Fixation with Straw Checkerboard Technology.”
- ③ Y. Liu, G. Li and Y. Gao: The International Conference on The Ecological Environment Construction and The Sustainable Development in Arid Zone, Hohhot, Inner Mongolia, China (September, 2002) “Study on the Mechanism of Shelterbelt on the Reduction Dust fall,”
- ④ Y. Yu, Y. Gao, K. Tobe, Y. Zheng, P. An, Y. Yu and H. Shimizu: 67th Annual Meeting of the Botanical Society of Japan, Sapporo, Japan (September, 2003) “Development of a Plant Indicator System for Desertification Evaluation in Arid, Semi-arid and Dry Sub-Humid Areas, China”.
- ⑤ G.Y. Qiu, P. Shi, L. Wang, Q. Zhang, Y. Gao, Q. Zheng and H. Shimizu: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan (February, 2004) “Tendency of desertification in China during last 50 years.”
- ⑥ Y. Gao, H. Shimizu, K. Tobe, G.Y. Qiu, Y. Zheng and Y. Yu: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan (February, 2004) “Wind-sand stream activity characteristics of sand dune differ in vegetation.”
- ⑦ Y. Yu, Y. Gao, H. Shimizu, Y. Zheng, G.Y. Qiu, K. Tobe, Y. Yu and P. An: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan (February, 2004) “Study on indicating plants for desertification evaluation in northern china”
- ⑧ Y. Yu, H. Shimizu, Y. Zheng, Y. Gao, P. An and Y. Yu: International symposium: Evaluation and monitoring of desertification – Synthetic activities for the contribution to UNCCD. Tsukuba, Japan (February, 2004) “Influence of light, temperature on seed germination of some plant species in Horqin sandy-land”

(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

9. 成果の政策的な寄与・貢献について

今後も本研究の成果である植生指標を提示し、国連砂漠化対処条約(UNCCD)の科学技術委員会(CST)および砂漠化対処条約アジア地域テーマ別プログラムネットワーク 1 (TPN1)の活動に貢献する。また、中国砂漠化対処条約実施委員会(CCICCD)の活動や中国の砂漠化問題に関連する日本の活動、特に砂漠化モニタリング・アセスメント分野に貢献する。