

G-1 砂漠化の評価と防止技術に関する総合的研究

(2) 中国における砂漠化防止技術の適用に基づく土地利用計画手法に関する研究

農林水産省農業環境技術研究所

環境管理部 環境立地研究室

今川俊明・藤原英司

環境資源部 土壌保全研究室

谷山一郎・白戸康人

環境生物部 保全植生研究室

大黒俊哉

東京大学 大学院農学生命科学研究科

太田猛彦・武内和彦・生源寺真一

筑波大学 農林学系

石 敏俊

千葉大学 工学部

安田嘉純

平成 10～12 年度合計予算額 67,251 千円

(うち、平成 12 年度予算額 20,133 千円)

〔要旨〕本課題では、過放牧による風食及び過耕作、伐採に伴う水食による砂漠化が進行している中国半乾燥～半湿潤地域を対象に、植生、土壌などの自然的土地条件を指標として、砂漠化進行程度や砂漠化防止技術の効果及び在来の修復技術の効果の評価するとともに、地域の自然的土地条件と社会経済に基づいた持続可能な土地利用計画手法の開発を目的とし、以下の結果を得た。

半乾燥地のホルチン草地における各種在来砂漠化対策技術の適用が、土壌特性や植生に及ぼす影響を明らかにした。また、砂漠化進行程度をもとに、この地域は大地形スケールで5つの地域に区分でき、このうち草地が退行し、砂漠化が問題となっているところは大興安嶺の山地前面までであることが確認された。分光放射測定で得られた植生指数と乾物重との間に回帰式が得られ、衛星データ利用による植生の定量的把握を可能にするとともに、この地域に分布する土壌の特性を把握し、砂漠化指標の一つである土壌生産力評価をマップ化する手法を開発した。さらに、この地域では、放牧畜産から舍飼畜産への転換によって放牧圧を軽減してことが、農家経営および環境保全上必要であることを示した。

半湿潤地帯の雲南省・元謀試験地における流域の年間流出土砂量は、44.9t/ha/yr であり、四川省塩亭県の小流域の土壌侵食量は、森林が乏しかった 1965 年頃と比べて、植林がすすめられた 1995 年頃には約 30%に低下したと推定された。また、雲南省原簿宇検の家畜の放牧と樹木の採取の量と態様は、農家の生産・消費の水準に規定され、特に草食家畜の飼養頭数、飼料の調理に燃料を使用する豚の飼養頭数および家計としての燃料の使用量の3つの要素が重要であることが示された。さらに、四川省塩亭県と雲南省元謀県における村落レベルの生物資源の生産・利用プロセスを解析し、森林の豊富な塩亭県では木材が燃料として利用されていたのに対し、森林がほとんどない元謀県では燃料と家畜飼料の供給を草地に依存し、それが草地の過剰利用を引き起こしていることを明らかにした。

〔キーワード〕中国、砂漠化、対策技術、農家経営、土地利用計画

1. はじめに

中国は砂漠化の進行が大きな問題となっている国の一つであり、主として人間の生産活動によって、風食、水食、塩類集積が引き起こされている。中国では西部のタクラマカン砂漠、ゴビ砂漠の周辺ばかりではなく、食料の 90%以上が生産されている東部や南部地域でも広範囲に砂漠化が進行している。したがって、今後さらに増加すると予測されている人口に対する食料の供給を考えると、砂漠化に直面している農耕地を保全するとともに、砂漠化した農耕地を修復し、持続的な土地利用を実現する必要がある。

2. 研究目的

過放牧による風食及び過耕作、伐採に伴う水食による砂漠化が進行している中国半乾燥～半湿润地域を対象とした。この地域で、植生や土壌などの自然的土地条件を指標として、砂漠化進行程度や砂漠化防止技術の効果及び現地での実証試験に基づいた砂漠化域の禁牧あるいは在来の修復技術の効果の評価するとともに、地域の自然的土地条件と社会経済に基づいた持続可能な土地利用計画手法の開発を目的として研究を実施した。

すなわち、風食による砂漠化が問題となる中国東部半乾燥地域のホルチン草地を対象に、在来の砂漠化防止対策・修復技術が植生や土壌特性に及ぼす影響を評価する。また、植生や土壌特性を指標として衛星データを利用した砂漠化程度や土壌生産力の広域的な評価手法を開発する。さらに、ホルチン草地において、砂漠化の防止と地域農業経済の改善の両立の視点から、砂漠化防止対策技術を適用した地域農業の経済的効果および砂漠化防止効果をシミュレーションを行い、適正技術の導入に基づく環境保全型農業経営計画モデルを構築し、適正技術の導入のために必要とされる外部支援政策を検討することを目的とした。

また、中国南部の水食地域を対象として、1950 年代以降の土地利用・被覆の変化の解明、土壌侵食特性の把握および土壌侵食量のモデル化、土地荒廃の社会経済的要因の解明および村落レベルの生物資源の生産・利用プロセスの解明を目的とした。

3. 研究方法

(1) 中国東部ホルチン草地の概要

ホルチン草地は内モンゴル自治区東部南北約 700km、東西約 800km、総面積 27.7 万 km² の中国有数の草原である（図 1）。年平均気温は -3.2 ～ 7 °C、年平均降水量は 330 ～ 400mm である。ホルチン草地中央部の西拉木倫河南方の沖積低地等で砂漠化が進行し、活動砂丘が広く発達している。

(2) ホルチン草地における研究方法

①砂丘域における砂漠化防止・修復及び改善等の対策技術の導入効果を評価するために、1992～96年まで実施した放牧試験区での禁牧による植生の回復、活動砂丘上での草方格、茎柵の設置及び砂丘固定植物の植栽による植生回復と地形変化に関する現地試験を行った。

②阿魯科尔沁旗の典型的な放牧地域(136km²)を対象に 1985 年、92 年、98 年のランドサットデータを用いて正規化植生指数を求め、放牧域と禁牧域の現存量の変動から過去約 15 年間の禁牧による効果を解析した。

③植林が土壌特性に与える影響を検討するために、年数が異なるポプラや灌木の植林地において土壌調査を行い、土壌の理化学性を分析した。

④対象地域全域の砂漠化指標となる植生種及び土壌特性を抽出するために、現地調査と既存資料解析から地形断面に沿う土壌、植生の変化及び砂漠化進行程度に着目して地域区分を行った。

⑤ホルチン草地の主要な地域区分が含まれる阿魯科尔泌旗を対象に2000年のラ

ンドサットTMデータで草地と砂地を抽出し、植生指数を用いて1994年～2000年の間の現存量の変動をとらえ、砂漠化進行程度を評価した。また、ホルチン草地に含まれる12の旗または県を対象に自然、社会経済統計データを郷鎮単位で1970年以降5年ごとを原則として収集し、データベースを作成した。

⑥砂漠化程度と地域レベルでの環境容量を推定するために、36地点、約150の方形区(1×1m)で種組成・被度を調査し、16区については地上部を刈り取って乾重を測定した。また、各地点で土壌断面調査を行い、層位毎にサンプルを採取し理化学分析を行った。同時に、土地利用調査、定点写真撮影を行うとともに、刈り取りを行った16区では分光放射を測定した。そして、砂漠化程度と地域レベルでの環境容量を推定する指標として現存量推定式を検討した。

⑦上記で得られた推定式をもとに、対象地域全体の現存量の変動をとらえた。

⑧対象地域で得た土壌の理化学性値と既存の土壌図を用いて土壌生産力図を作成した。

⑨ホルチン草地全域(県別・郷鎮別)の各県の1985年度と1995年度の統計資料を収集し、広域土地利用と農村経済に関する郷鎮レベルのデータベースを構築した。また、奈曼旗克勒木子村および沙日塔拉村を対象に、農家経営・経済のサーベイ調査を行い、土地利用の変化および土地利用変化の要因を解析した。また、数理計画法を用いて、適正技術を導入した地域農業の経済的効果および砂漠化防止効果をシミュレーションし、適正技術の導入に基づく環境保全型農業経営計画モデルを作成した。さらに、数理計画法を用いて、制約条件のパラメータ計算を通じて、適正技術の導入に必要とされる外部支援政策を検討した。

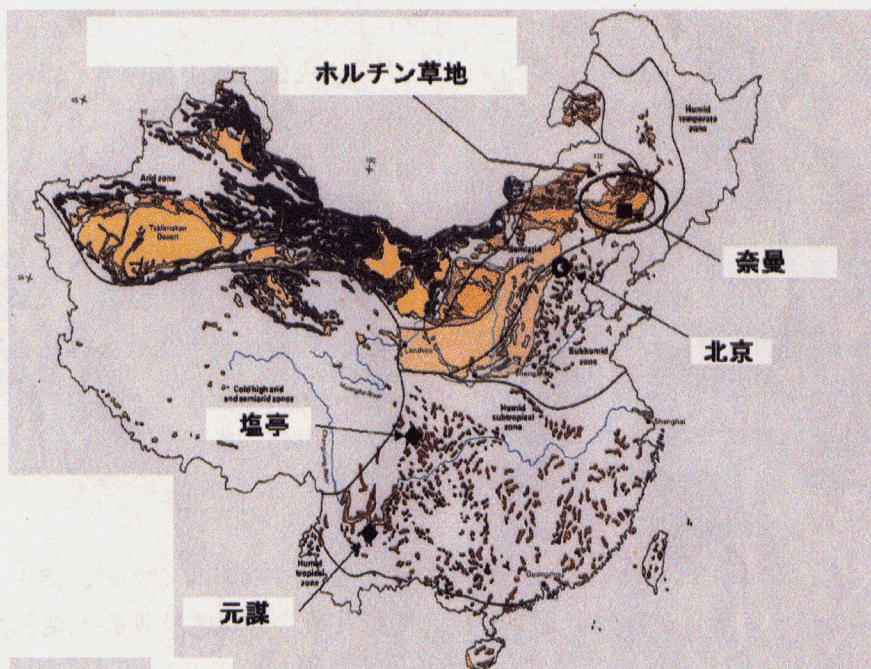


図1 中国における調査地域

(3) 中国南部半湿潤地帯の概要

中国南部半湿潤地域における以下の2地域を対象として、研究を実施した。

四川省・塩亭県周辺(図1): 1950年後半、大躍進政策により大規模な森林破壊が行われた

結果、森林率が大きく減少し、地域住民の生活にも大きな影響をもたらした。その後、1970 年代に植林事業に積極的に取り組んだ結果、現在では森林の多くが回復している。

雲南省・元謀県周辺（図 1）：同様に森林破壊が行われ、その後、一部植林や節水灌漑による土壌保全型農業の導入等にも取り組んできたが、依然として激しい土壌侵食がみられる。元謀試験地は中国科学院山地災害及環境研究所によって設置され、およそ 104km² の広さを有する。植生はガリ侵食によって残された台地の上に僅かに存在する程度であり極めて貧弱である。元謀気象局によって観測された 1956 年から 1998 年の平均気温は、21.7 度（最高平均気温：5 月 26.8 度、最低平均気温：12 月 14.4 度）であり、比較的温暖な気候条件下にある。また同期間における年平均降水量は 634.2mm である。同地域においては雨季（5 月から 10 月）、乾季（11 月から 4 月）が明瞭であり、年雨量のうち約 92%が雨期に集中している。

（4）中国南部での研究方法

① 1950 年代以降の土地利用・被覆の変化を解明するため、空中写真、衛星画像、地形図等を GIS（地理情報システム）上で統合的に解析し、複数時期の土地利用／土地被覆図を作成した。

② 土壌侵食特性の把握および土壌侵食量を推定するため、侵食によって形成された谷の地形測量、透水試験、表面流のサンプリングによって流出土壌濃度の測定を行った。モデル化は、USLE（Universal Soil Loss Equation）を用いた。

③ 土地荒廃の社会経済的要因を解明するため、農村を対象として、詳細な聞き取り調査を行い、農家経済（生産セクターと家計セクター）・外部市場・政府部門・地域資源の 4 セクター間に発生している年間のフロー構造を貨幣タームで推定した。

④ 村落レベルの生物資源の生産・利用プロセスを解明するため、詳細な聞き取り調査を行い、生物資源（食料、燃料、肥料、建料、飼料）の生産量と利用量を定量化するとともに、林地、農地、草地を対象として生産力調査、生物資源の元素分析を行った。

4. 結果・考察

（1）ホルチン草地

① 砂漠化防止・回復試験

砂丘植生回復試験区の地形測量から、周囲の流動砂丘は 1996～2000 年の 4 年間で最大約 30m 移動したのに対し、対策技術を施した砂丘は移動しておらず、これらの技術が有効であることが示された（図 2）。1999～2000 年は、周囲の流動砂丘の移動が止まっていた。これは、2000 年春からの禁牧政策による植生回復の効

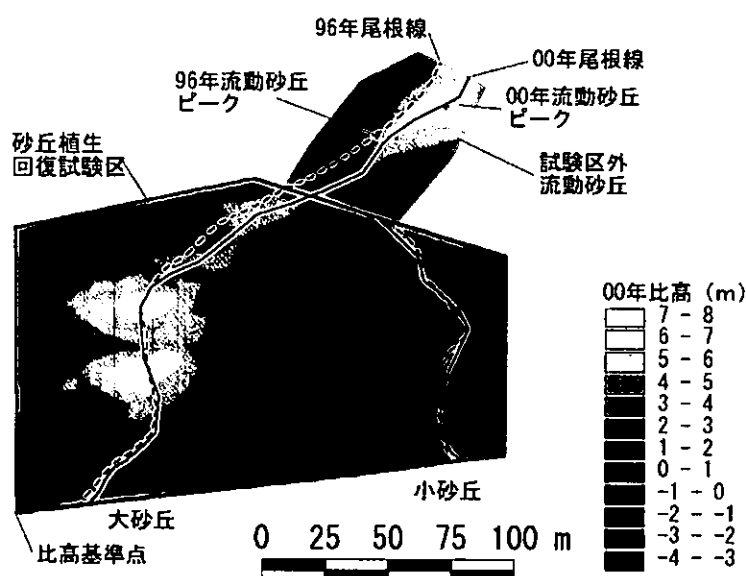


図 2 砂丘植生回復試験区における4年間の地形変化

果の可能性もある。

表層土壌の微細粒子、有機炭素および可給態リン酸含量は、大砂丘と小砂丘でともに対照区よりも処理区全体の平均が高く、草方格などいくつかの処理区では有意な差があったことから、3～4年という短期間でも土壌特性がかなり変化したことが明らかになった。同一処理区内では、風下斜面で風上斜面よりもこれらの含量が高かった。

植生変化からみた砂丘固定技術の評価：植生変化を把握するため、永久調査区において種組成および個体群動態に関する調査を毎年9月上旬に実施した。その結果、植物の侵入・定着状況は、砂丘固定技術の違いによって異なることが確認された。

大砂丘における処理区間での植生回復の比較を図3に示す。草方格を設置した処理区では、*Setaria viridis* や *Digitaria ciliaris* 等のイネ科一年草をはじめ、マメ科の *Lespedeza davurica* やイネ科の *Pennisetum centrasiticum* 等の多年草の侵入・定着も確認され、植被率も50%に達した。またトウモロコシ茎柵処理区でも、試験開始後2年程度は植物の侵入状況は良好であった。しかし、茎の埋設深度が十分でなかったために茎柵が風食により破壊され、植被率は次第に減少する傾向を示した。一方、砂丘固定植物である *Artemisia halodendron* を植栽した処理区では、*A. halodendron* 自体の成長は良好であったものの、それ以外の植物は *Agriophyllum squarrosum* のような先駆植物を除いてほとんど侵入・定着していなかった。99年には侵入個体数が若干増加したが、それらはほとんどが植栽された *A. halodendron* 由来の実生であった。植栽による場合には、植栽された植物が、風速の軽減や飛砂の抑制など地上部の環境を改善する一方で、土壌の水分や養分など地下部のミクロな環境にも影響を及ぼすため、このことが他の植物の侵入を妨げる要因の一つになっているものと推察される。

規模の異なる砂丘間における植生回復を比較した結果、全体としては、起伏の小さな砂丘では起伏の大きな砂丘よりも植生の回復が速く、上記技術による砂丘固定が比較的容易であることが確認された。ただし、砂丘固定技術によって若干異なる傾向を示し、草方格処理区では大砂丘でも小砂丘とほぼ同様の植生回復パターンを示すことがわかった。

本試験の結果、砂丘固定植物植栽による生物的技術を適用した場合と、草方格等の物理的技術を適用した場合では、植生回復のプロセスおよびその効果がそれ

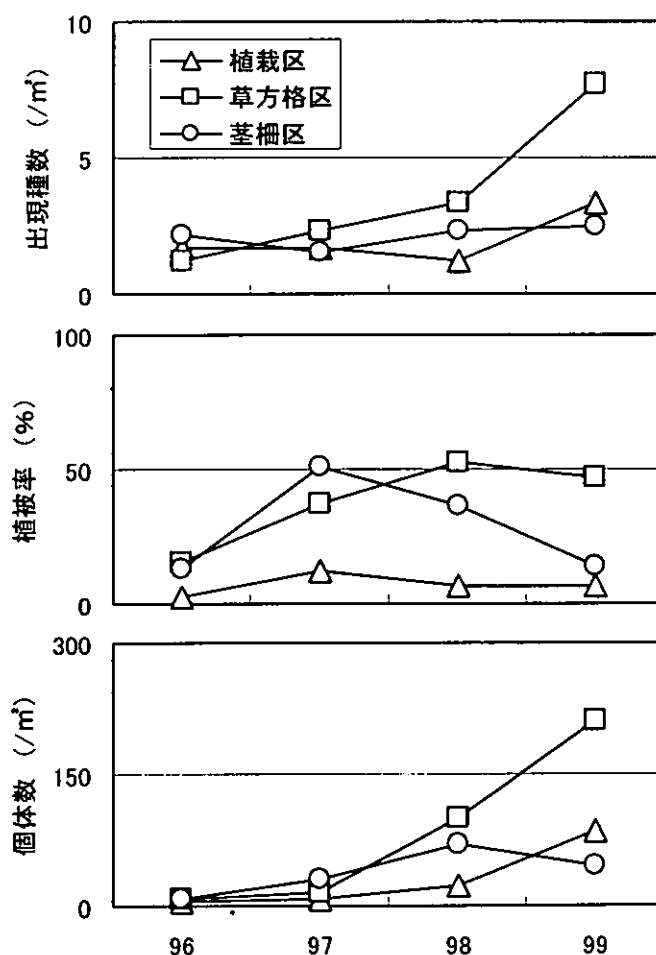


図3 各処理区に侵入した植物の出現種数(上), 植被率(中)および個体数(下)の推移

ぞれ異なることが明らかになった。前者では、植栽植物による地表面の速やかな被覆、言い換えれば植物バイオマスの迅速な回復を促進する効果が期待できる。これに対し後者では、多様な種の侵入・定着により、種多様性の高い植生への回復を促進する効果が期待できる。

以上のような質的、量的な回復効果のどちらを重視すべきかは、将来どのような土地利用を想定するかによって異なってくるであろう。例えば、耕地として利用を希望するのであれば、質的な回復よりもむしろ早急に砂丘を安定化する技術が望ましい。他方、放牧地として利用を計画する場合には、飼料価値の低い砂丘固定植物による被覆よりもむしろ、牧養力の高い植生へ誘導する技術を選択すべきである。

②禁牧の効果の解析

1996 年までの放牧処理で顕著な植生退行がみられた処理区（重放牧区）では、一部で砂丘の再活動が生じており、全体的に植生回復が抑制されていた。とくに風砂土の堆積域では、流動砂丘の指標植物である *Agriophyllum squarrosum* のみが生育可能であった。これに対し、水食や風食によって表層物質が除去された場所では、表層にクラストが形成され、また一部で埋没土壌が露出したため植物の定着が困難となり、*Salsola collina* や *Corispermum macrocarpum* などのアカザ科の一年草がパッチ状に分布するのみであった。一方、風食の影響を受けなかった場所でも、前年までの強い放牧圧の影響を反映して、家畜の嗜好性に劣る *Artemisia scoparia* や踏圧耐性種の *Chloris virgata* などが優占するにとどまった。以上のように、禁牧による植生回復のパターンは、禁牧以前の土地・植生の状況によって大きく異なり、禁牧以前に風食の影響を受けた場所では植生の回復が著しく抑制されることが分かった。

③植林が土壌特性に及ぼす影響

ポプラ植林地において、植林後 20 年程度で微細粒子や有機物の集積に伴い土壌肥沃度が向上しているが、10 年以下では効果が小さいことが明かになった。また、地形的には凹地で凸地よりも微細粒子や有機物の集積が促進されていた。カラガナ植栽地の土壌特性は、ほぼポプラ植林地の 9 年と 20 年の間に入っていた。樹種は違うが年数と土壌特性変化の関係に大きな違いはないと考えられた(図 4)。

④砂漠化進行程度の地域区分

ホルチン草地の地形－土壌－植生の模式断面を図 5 に示した。対象地域は砂漠化進行程度をによって、大地形スケールで 5 つの地域に区分された。ホルチン草地で草地が退行し、砂漠化が問題となっているところは

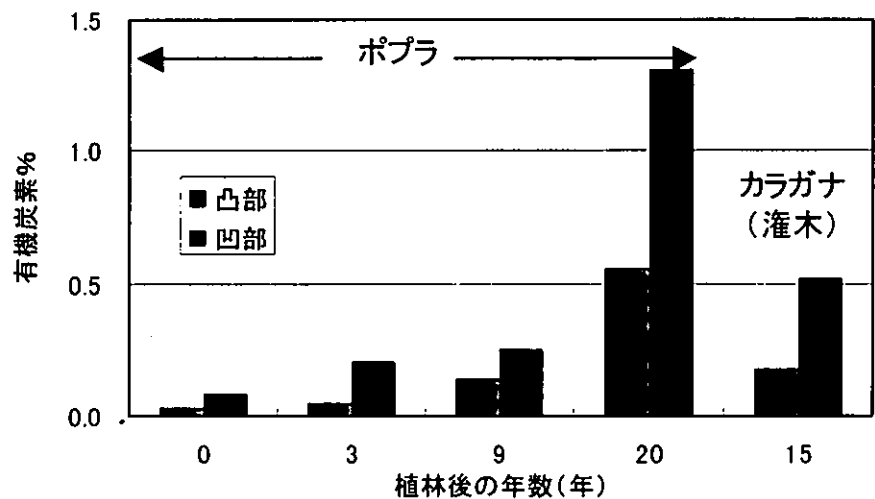


図 4 ポプラ及び灌木植林後の年数と土壌表層の有機炭素含量

興安嶺の山地前面まで(図中の3～5)であることが確認された。対象地域の草原は栗色土でイネ科多年草によって特徴づけられるタイプと風積砂土でイネ科の一年草を主体とするタイプに区分された。そして、草地の退行程度を示す指標として、前者は冷蒿や隠子草等、後者ではイネ科一年草や猪毛蒿等の出現割合の増加や土壌の各層位の厚さ、粒径、有機物含量が有効と考えられた。

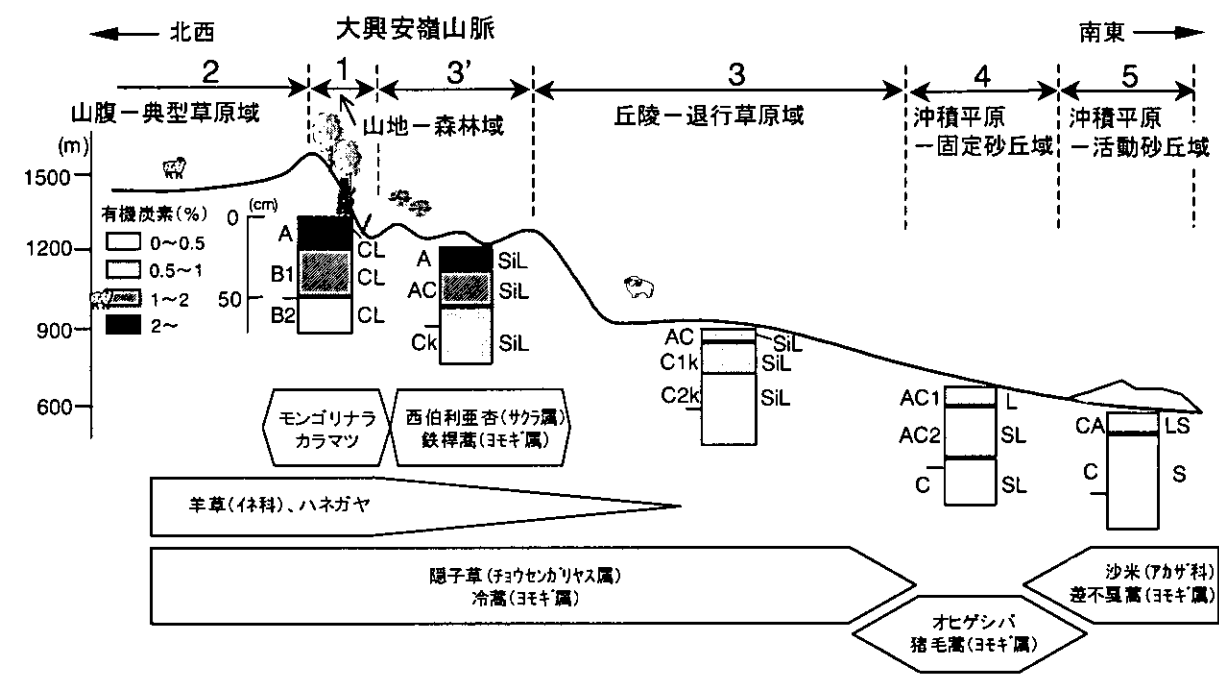


図5 沙漠化程度に基づくホルチン草地の模式断面と退行指標となる土壌特性及び植物

⑤植生指数を用いた沙漠化進行程度の評価

阿魯科尔沁旗を対象に 1994 年から 2000 年の 6 年間の現存量変化を植生指数でとらえたところ、大半の郷鎮で減少しており、特に図 5 の丘陵部 3 で減少が著しかった。この結果は、現地の状況とよく対応しており、衛星データを用いることによって地点レベルから旗レベルまでの草地退行あるいは沙漠化程度を評価することができることを示している。また、阿魯科尔沁旗の人口は約 29 万人、主要家畜頭数は 100 万等余りで、過去 50 年間にそれぞれ 2.5 倍と 5 倍に増加していた。特に家畜は綿羊とヤギの増加が大きく、1980 年代後半からは土地の退行を引き起こすといわれているヤギが最も多くなっていた。

⑥植生指数とバイオマスの関係

分光放射測定で得られた植生指数 (NDVI) と乾物重との間に以下の回帰式が得られた (図 6)。

$$\text{Log(乾物重: g/m}^2\text{)} = 4.07 \times (\text{植生指数}) + 2.74 \quad (R^2=0.66)$$

この式から衛星データから求めた植生指数を利用した草地の定量的把握が可能となった。

①植生の現存量の把握

上記で得られた回帰式によって算出した、対象地域全体の夏期の現存量を図 7 に示した。ホルチン草地中心部の西拉木倫河と教来河川流域の低地の活動砂丘地や固定砂丘地ではほとんどが 0

～ 100g/m² と現存量が低く、その周囲の丘陵地帯の退化草原や畑地でやや高く 101 ～ 300g/m² であるが、さらにその北の大興安嶺山脈、西の七老図山脈および東の東北平原では 301g/m² 以上の現存量である森林や畑地が広がっていることが分かった。このように植生現存量の分布は、砂漠化進行程度の指標の一つとして有用であることが示された。

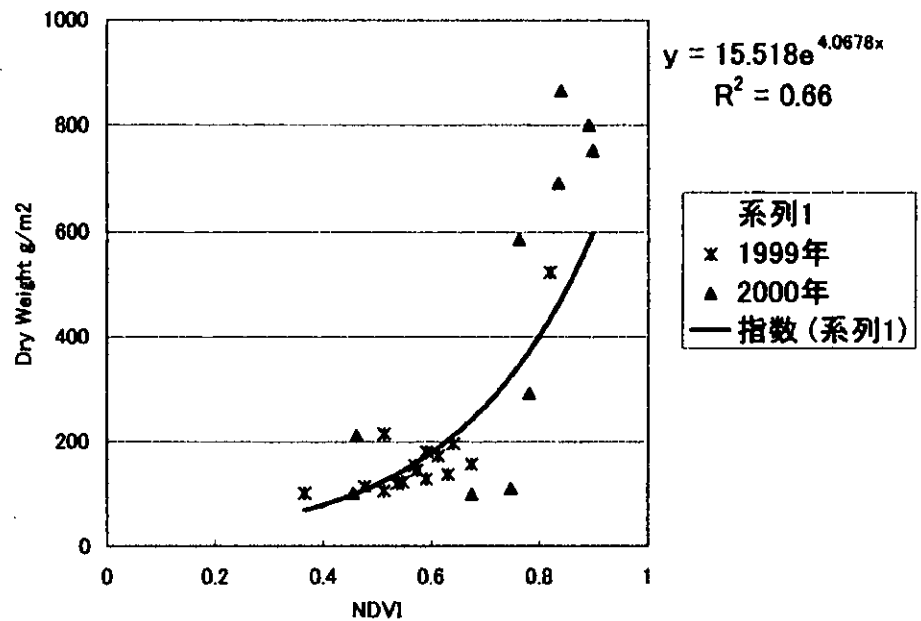


図6 分光放射測定で得られた植生指数と植生現存量の関係

⑧ 土壌生産力評価

対象地域の土壌を 5 つにタイプ分け (ア. Phaeozems、イ. Chernozems、ウ. Kastanozems 及び Calcisols、エ. Regosols、オ. Arenosols) した。アは山地に分布する森林土壌、イ、ウは丘陵地の草原土壌で、エはホルチン草地の砂質土壌であり、エはウとオの中間的な性質を持つ土壌である。土壌タイプアからオへ向かい、砂漠化がより進行している。アからオへ向かい、粒径組成は粗くなり、有機炭素、CEC は減少しており、大まかな土壌生産力の推定にはこれらの土壌特性が有用であると考えられた。また、土壌生産力をより正確に評価しようとするときにこの地域で最も重要である可給態 N は、同じ順番で減少していたが、減少の割合は少なく、オでは全 N に対する可給態 N の割合が高かった。また、可給態 P については、上記の順番とは関係がなかった (表 1)。

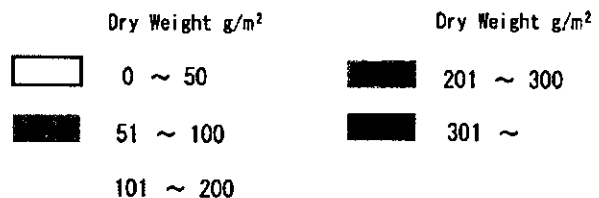
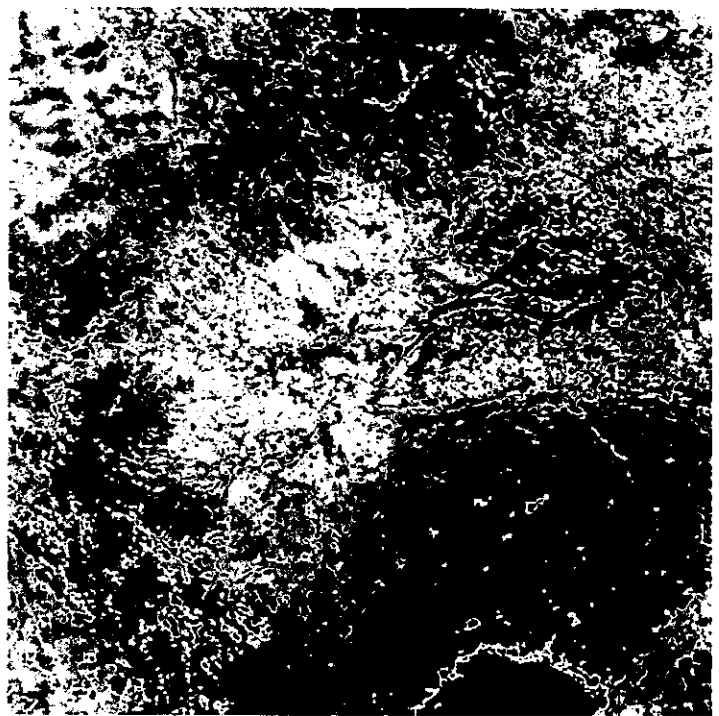


図7 ホルチン草地周辺の2000年8月30日の植生現存量

表 1 ホルチン草地の各土壌タイプにおける表層20cmの土壌特性平均値

土壌タイプ (n=断面数)	粒径組成%		pH (H ₂ O)	有機 C (%)	全 N (%)	可給	CEC (cmol/kg)	可給態	土壌生産力 総合得点
	粘土	シルト				態 N (mg/100g)		P(Bray2) (mg/100g)	
1(n=2)	23.4	20.1	6.7	4.3	0.4	6.7	25.8	1.3	6
2(n=6)	0.7	16.0	7.4	2.6	0.2	5.1	16.5	1.9	5
3(n=17)	12.2	13.0	8.4	1.4	0.2	3.4	12.5	1.4	3
4(n=2)	9.2	9.2	8.2	0.9	0.1	3.2	9.6	2.2	2
5(n=17)	3.4	4.1	8.2	0.4	0.0	2.8	5.7	2.3	0

土壌生産力評価には、日本の土壌生産力可能性分級¹⁾、中国の内蒙古土壌²⁾における農業土壌の生産力分級などに使われている土壌特性から、土壌の有機炭素含量、粒径組成、CEC の 3 項目を用いることとした。有機炭素含量は有機成分の量で、可給態養分量のおおまかな指標になり、粒径組成は保水力の、CEC は保肥力の指標になる。各項目ごとに対象地域内での等面積分類によりそれぞれ 3 段階に階級分けして、0、1、2 点のスコアを与え、各項目の得点を加算して土壌生産力の総合得点とした（表 2）。土壌生産力評価の結果

表 2 土壌生産力評価法

項目	スコア		
	0	1	2
有機炭素 (%)	0 ～ 0.6	0.6 ～ 1.8	1.8 ～
粘土+シルト (%)	0 ～ 10	10 ～ 30	30 ～
CEC (cmol/kg)	0 ～ 10	10 ～ 20	20 ～

※ 3 項目のスコアの合計＝土壌生産力総合得点

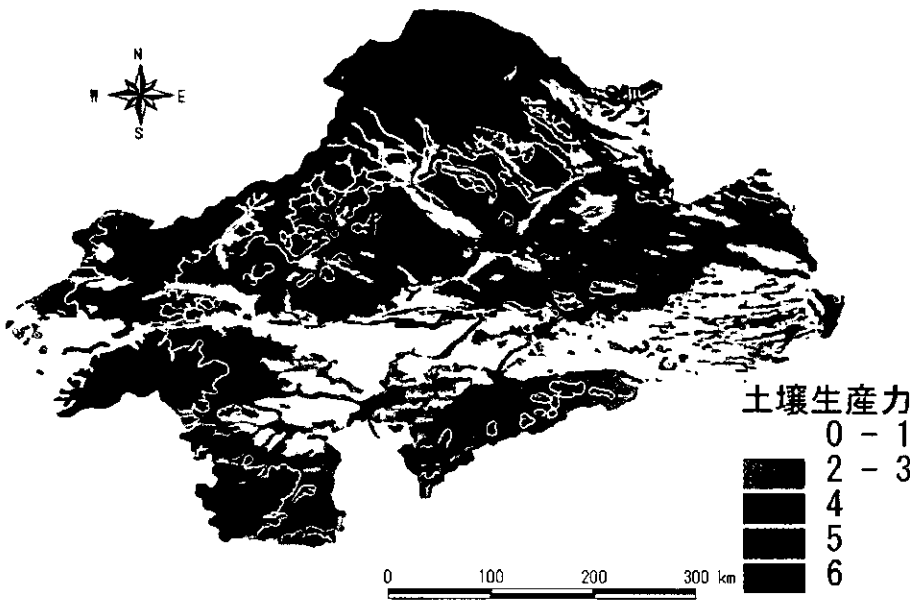


図 8 ホルチン草地の土壌生産力評価図

は、アからオへ向かい総合得点が低くなった（表1）。すなわち、北西部の大興安嶺山脈に分布する森林土壌の Phaeozems で生産力が最も高く、地形的にその下部に分布する Chernozems、Kastanozems および Calcisols の草原土壌が次に高く、最も低い位置に分布する砂質土壌の Arenosols で最も低い生産力になった（図8）。この土壌生産力分布図は図7の植生現存量の分布図の傾向と一致していた。

⑨土地利用変化の動向分析および砂漠化防止のための経営計画の策定

ホルチン地域における土地利用の展開・環境負荷変化および土地利用変化の規定要因を次のように解明した。第1段階（1960年代半ばまで）：家畜頭数が増加し、畑作が拡大し、その結果、放牧圧の増大、砂漠化の進展をもたらした。第2段階（1960年代後半から1970年代後期）：山羊の減少に伴い家畜頭数が停滞し、畑作は1958年からの定住化に伴い1960年初まで一時開墾が拡大したものの、その後停滞した。1970年代に入って「農業は大寨を学ぶ」運動に伴い灌漑面積が拡大し、土地利用の集約化が進んだ。第3段階（1980年代以降）：羊の増加につれ家畜頭数の増加が顕著であった。しかし、表3に示すように、1996年以降、家畜頭数は減少傾向にあり、一方、一部地域では畑作の拡大傾向がみられる。

1965年以前の家畜頭数の増加には制度・政策的要因が決定的な規定要因であった。第2段階の畜産の停滞は主として草地退化など資源の制約によるものであった。1980年代以降は家畜頭数は主として市場の変動に規定された。

図9が示すように、羊（肉毛兼用品種）の飼養頭数は、農村投入財物価指数で調整した畜肉価格と畜毛価格の変動に伴い、若干のタイムラグをもちながら増減している。1995年以降の家畜頭数減少には、畜産物価格の下落に伴う畜産収益の低下のほかに、草地使用権長期化による

表3 調査対象農家の基本状況

村	年	農家戸数 戸	耕地面積 ha	1戸当たり 耕地面積 ha	家畜頭数 羊単位	1戸当たり 家畜頭数 羊単位
尧勒甸子	1996	92	77.2	0.84	1,248	13.6
	2000	88	118.4	1.35	1,050	11.9
沙日塔拉	1996	50	49.9	1.00	3,636	72.7
	2000	42	73.3	1.75	1,849	44.0

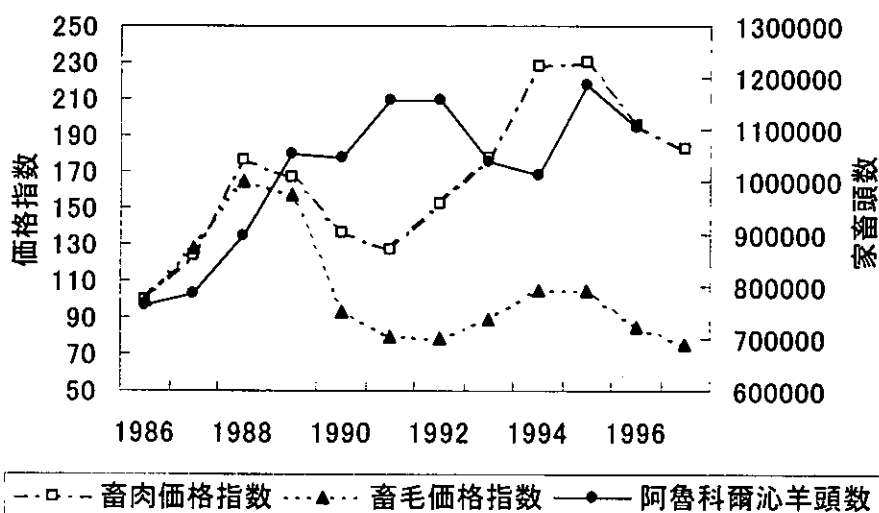


図9 畜産物価格の変動と家畜頭数の変化

放牧の外部費用の内部化など制度的要因も大きく関わっており、価格変動と家畜頭数変化の間のタイムラグが縮まっている。

畑作地域では、畑作物価格の低落と畑作収益の低下により、換金作物など高収益作目への指向

が高まっているが、堆肥不足による低位な地力再生産に制約されている。牧野地域では、畜産へのこだわりは根強いが、畜産収益の低下、放牧地の劣化および放牧禁止政策に制約されている。新技術の欠如により、牧民は代替的選択として畑作の拡大を選ぶ傾向がみられる。

農法論の視点から、畑作地域では高収益な作目、稲作（一部地域）の導入・拡大が考えられるが、地力再生産の改善のため、舎飼畜産を導入した農牧複合システムが考えられる。放牧地域では、モンゴル族民の文化や習慣を配慮し、放牧畜産から舎飼畜産への転換にによる、放牧圧の軽減が求められる³⁾。

舎飼畜産を導入した場合、牧野地域では放牧圧が現在の 3.95 羊単位/ha から 2.25 羊単位/ha へ、畑作地域では放牧圧が現在の 4.02 羊単位/ha から 0 羊単位/ha へ減少することをシミュレーションした。軽放牧度の 2 羊単位/ha を適正放牧圧とする制約条件の下で、舎飼畜産を導入した場合の農家経済改善効果を数理計画法を用いてシミュレーションした結果を表 4 が示す。畜産志向農家では1999年実績では経営所得が 8500 元であるが、放牧地（放牧禁止地を含む）を家族構成員人数による均等配分とする場合、既存資源の下で経営計画の改善によって所得が 10153 元へ、舎飼畜産の新規導入によって所得が肥育牛の場合は 11242 元へ、乳牛の場合は 14531 元へ増加する。同様に畑作志向農家では舎飼肥育牛の導入によって経営所得が 7997 元から 11637 元へ、稲作志向農家では稲作・畑作複合経営から稲作・舎飼畜産（＋飼料用玉蜀黍）の複合経営へ転換し、経営所得が 10368 元から 11811 元へ増加する。いずれの農家類型でも経営所得の増加をもたらすことを予測した。

農業経営計画に資金を制約条件に加えると、舎飼畜産は導入されがたい。すなわち、素牛導入の初期投資が肉牛、乳牛経営への参入障壁となり、初期投資調達および家畜品種・貯蔵飼料技術の外部支援が必要とされる⁴⁾。また、乳牛の場合は生乳の流通ルートの確保が課題である。舎飼畜産導入の放牧圧軽減効果を考慮に入ると、これらの外部支援の費用負担を

表 4 畜産指向農家の経営改善計画

			単位	1999年実績	現状改善	肉牛導入	乳牛導入
経営所得			元	8,500	10,153.4	11,242.1	14,530.7
耕地類型	作物	作業類型					
灌漑畑	玉蜀黍	集約手作業	10a		2.4		
灌漑畑	玉蜀黍	粗放機械	10a	4.0			
非灌漑畑	玉蜀黍	機械	10a	16.0	2.5	12.7	
非灌漑畑	玉蜀黍	手作業	10a		12.4		
非灌漑畑	飼料用玉蜀黍	手作業	10a				7.5
灌漑畑	飼料用玉蜀黍	機械	10a		0.3	2.7	2.7
非灌漑畑	飼料用玉蜀黍	機械	10a			2.3	7.4
灌漑畑	小麦		10a		0.7	0.7	0.7
灌漑畑	西瓜		10a		0.7	0.7	0.7
非灌漑畑	豆類		10a	3.3			
非灌漑畑	緑豆		10a		7.5	4.1	5.6
非灌漑畑	大豆		10a			3.4	1.9
放牧地			10a			109.6	142.6
放牧禁止地			10a		152.4	152.4	152.4
放牧羊家族労働			頭	43.0	9.1		
放牧牛家族労働			頭	4.0			
役畜馬			頭	1.0			
養豚			頭	6.0			6.0
肥育牛(サレーシ)			頭			10.5	
舎飼乳牛(サレーシ)			頭				3.2
9月雇用			h		212.3	234.0	229.2

砂漠化防止費用として位置づけることが考えられるであろう。

今後の砂漠化防止対策を推進するために、地域社会、特に農家経済を改善するとともに環境負荷を軽減することが必要であるが、そのため、新技術・代替作目を導入した持続可能な地域農業・土地利用システムの確立が求められる。舎飼畜産の導入によって放牧圧を軽減でき、農家経営所得の増加にも寄与できる。そのために必要とされる初期投資調達や家畜品種・貯蔵飼料技術などの費用負担の外部支援は、砂漠化防止の視点から行政が考えるべきであろう。

(2) 中国南部半湿润地带

① 広域土地利用・被覆の変化の解明

1960年代から1990年代にかけての四川省塩亭県の土地被覆の解析の結果、これまで、ほとんど林地が存在しなかったとされてた1960年代にも、竹林や丘陵地の斜面に植栽された灌木林なども含めると、13.9%の林地が存在していたことが示され、その面的な配置も明らかになった(図10)。1950年代の後半から1960年代にかけて行われた森林の伐採の程度は、幹線道路との距離などの条件に大きく依存していた。また、植林による回復の度合いは、地形的な条件に大きく規定されていることが示唆された。

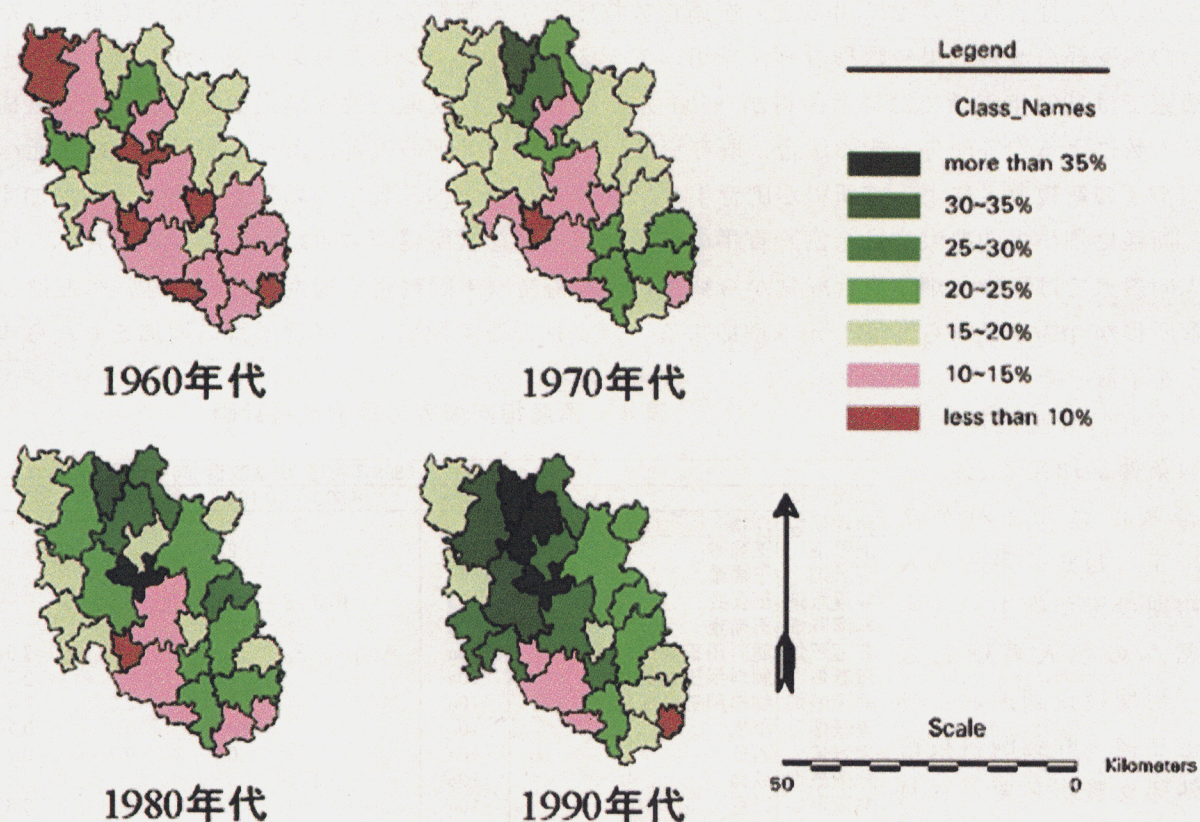


図10 四川省塩亭県の林地面積の推移

② 村落レベルの生物資源の利用と物質・エネルギーの収支

塩亭県林山郷截流村内の一小流域の19世帯61人を対象としたアンケート調査と生活概況や生活資源利用についての調査の結果に基づき、小流域内でのエネルギーフロー図(図11)と、窒素フロー図(図12)を作成した。

これらの解析から、70年代から植林を進めたことにより小流域内に燃料が供給され、森林が面積の少なかった60年代には燃料として使われていた農作物の残渣が耕地に戻されることにより、流域内での物質循環は比較的良好なものへと変化したことが分かった。しかし一方で、流域内の耕地においては、窒素のインプットがアウトプットに比べると非常に大きく、化学肥料の多投入による水域の汚染が懸念される。

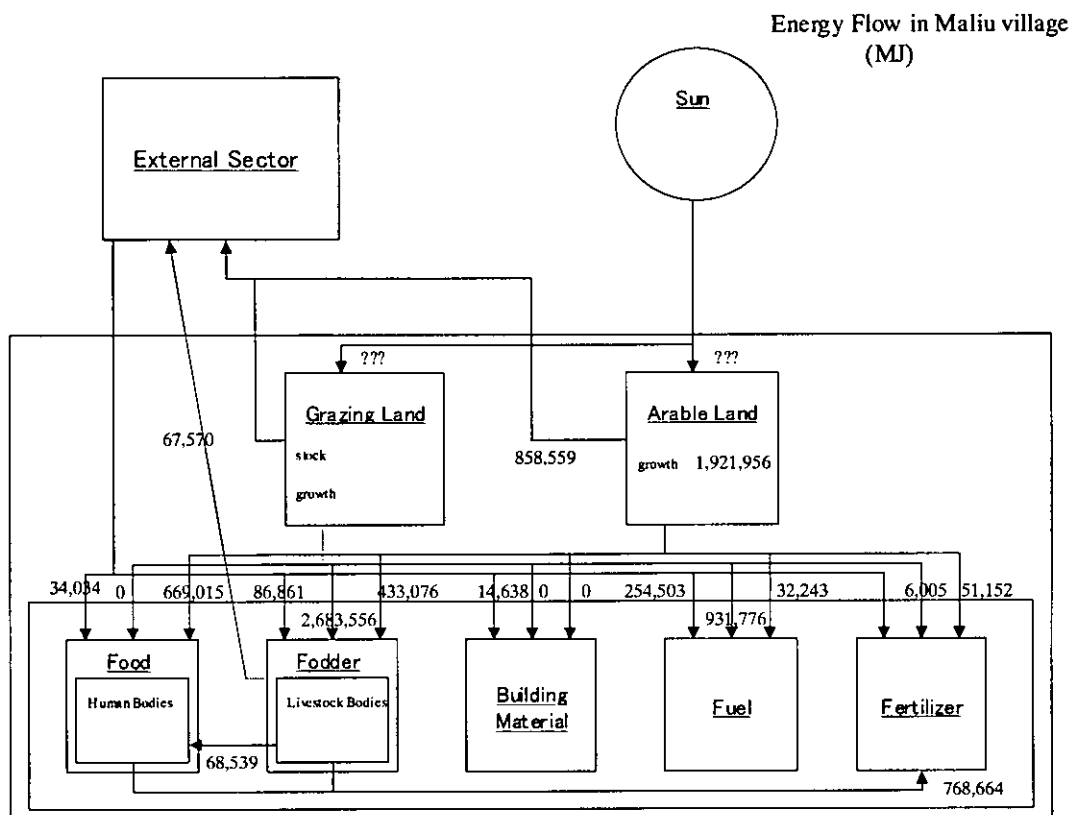


図11 塩亭県の小流域における生物資源の生産・利用フロー（エネルギーベース）

③ USLE を用いた土壌侵食量の推定

塩亭県の小流域において、USLE で導き出された土壌侵食量を現地で測定されたデータと比較すると、畑地で 1.8 倍、林地ではほぼ一致し、畑地においてはやや過大評価される傾向があるが、林地においてはほぼ妥当性を持つことが示された。次に USLE を用いて推定した 1965 年頃と 1995 年頃の小流域全体の年間の土壌侵食量は、それぞれ年間 5878.8t (169.2t/ha)、1767.2t (50.9t/ha) であった。両者の間には 4111.6t もの差が見られ、植林の効果の大きいことが示された。また、現況は季節的に見ると 7 ～ 9 月の間の土壌侵食量が全体の 82.3% を占める。したがって、土壌侵食防止の面から考えた場合、7 ～ 9 月における土地利用および管理について十分考慮

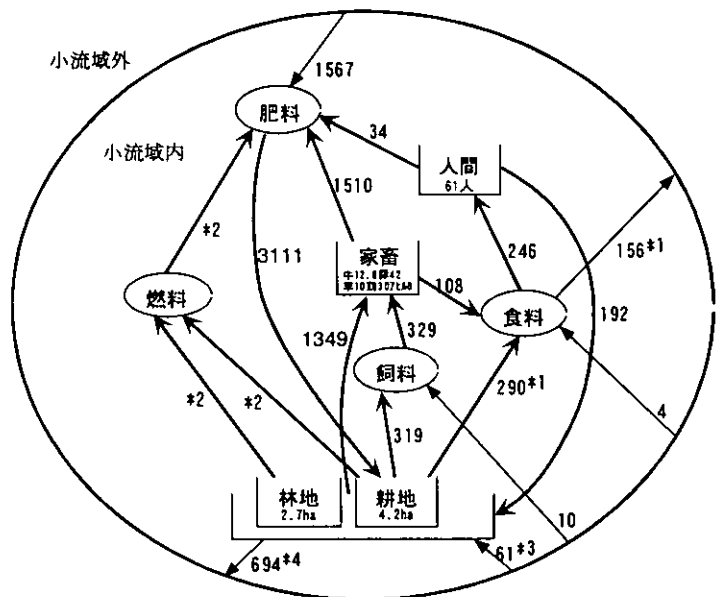


図12 流域内の窒素フロー(単位:kgN/year)

- *1 アブラナ1260kgを除く。
- *2 燃料については正確なデータが得られていないため、ここでは、流れのみを示した。
- *3 農作物のうち燃料として使われるのは、ピーナッツ(主産物生産量290kg)の殻である。
- *4 窒素固定および降水。
- *5 脱窒および侵食流出。

する必要がある。USLE の土壌流亡量推定値では現在の土地利用条件下においても許容基準を上回っており、森林の量を増やす、または質を高めるなどの何らかの保全対策が必要であることが分かった。森林を増やす場合には 5%以上森林を増加させ配置を変える必要があることが示された。

④元謀試験地における土壌侵食について

試験地内にはガリ侵食によって形成された谷が多数存在している。ガリの侵食深さはおよそ 10m、谷の出口付近の勾配は 5 度程度であり、谷の奥に行くに従って急勾配になっている。変水位式透水試験によって土壌の飽和透水係数を計測した結果、透水係数は $10^{-4} \sim 10^{-7}$ cm/s の範囲にあり、極めて表面流の発生しやすい土壌構造を有していることが確認された。さらに表面流の分析結果から、侵食によって流出する土砂の大半は粒径 0.02mm 以下のシルト・粘土分であり、それによって残存斜面の粒度分布が定まっていることが示唆された。流出土砂濃度は 8.9kg/m^3 であり、ガリの流域面積 0.2ha、流出率 0.8 として、同地域における年間流出土砂量を概算し、 44.9t/ha/yr の値を得た。

⑤地球規模から見た元謀試験地の土壌侵食特性について

全球レベルにおける同試験地の土壌侵食特性を把握するために、利用可能な全球データセット（降水、気温、地形、放射の各データ）を用いて評価を行った。結果を図 13、図 14 に示す。

図 13、図 14 より、侵食ポテンシャル指標の分布を見ると、オーダ一的には 10000 より小さい地域が、水食の可能性が高い地域のほぼ過半数を占めており、その累加面積割合は、約 65%であった。また、元謀の侵食ポテンシャルの位置付けを見ると、10000 より大きい範囲に属しており、同地域が元来侵食を受けやすい地域にあることが示唆された。

⑥土地荒廃の社会経済的要因の解明

雲南省元謀県の農村における 3 年の調査研究の結果を要約す

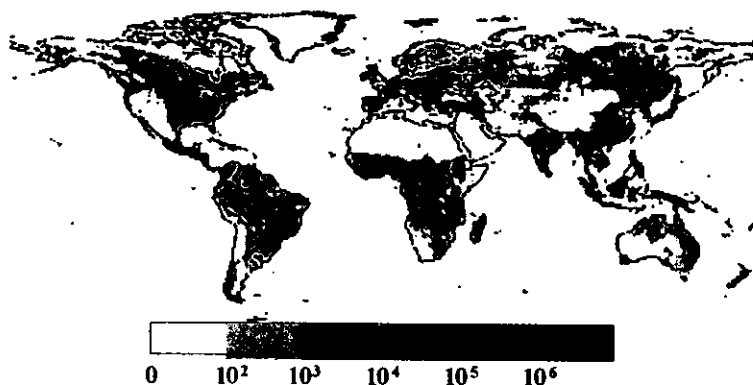


図13 侵食ポテンシャル指標の全球分布
(白抜きは、風食、水食域を示す)

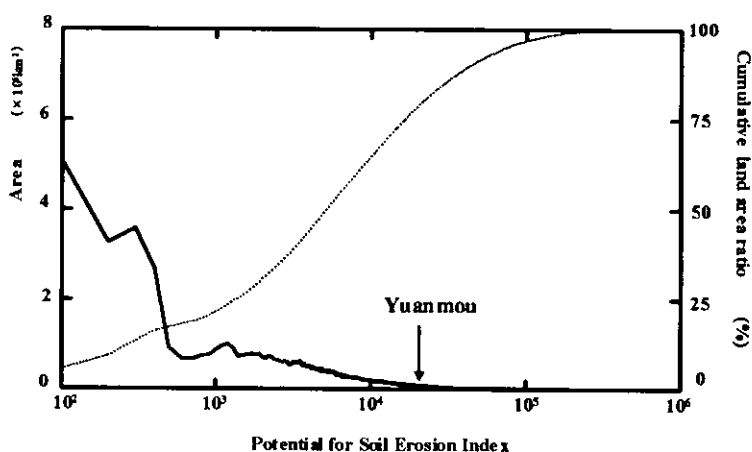


図14 水食地域における侵食ポテンシャル指標の
面積頻度分布及び累加面積割合

ば、概略以下のとおりである。

ア．土地荒廃の進んでいる集落の 28 戸の詳細な聞き取り調査の結果、家畜の放牧と樹木の採取の量と態様は、農家部門の生産・消費の水準に規定されることが明らかとなった。とくに、山羊や水牛といった草食家畜の飼養頭数、飼料の調理に燃料を使用する豚の飼養頭数、さらには家計としての燃料の使用量の 3 つの要素が重要である。このうち、草食家畜の頭数について雲南省全体の動向は、1990 年代以降に大きな増加はないものの、山羊については 1950 年代から 1960 年代に急増しており、また、水牛についても 1980 年代の半ばまで着実な増加が認められる。さらに、豚の飼養頭数は近年に至るまで増加の趨勢が続いている。こうした傾向は調査対象村にもあてはまることが、聞き取り調査によって確かめられている。すなわち、長期傾向的には家畜の放牧強度と燃料の要求量を引き上げる方向で、農家経済の量的な拡大が続いていると判断された。

イ．調査対象年のフロー構造によれば、多くの農家はプラスの経済余剰を生み出している。すなわち、年間を通じて資産のネットの増加が生じている。このことは、例えば資産の保有形態のひとつである家屋の新築の頻度が近年高い水準にあるなどの事実とも整合的である。また、農家の生産行動は作物や家畜の市場価格の動向にかなり敏感に反応していると判断される。家畜の長期な増加傾向は、畜産物の堅調な市場価格に支えられており、耕種作物のなかでも、サトウキビやタバコといった収益性の高い作物の出荷量の伸びが著しい。こうした市場適合的な行動が、プラスの余剰を生み出す現在の農家経済を支えている要因の一つである。

ウ．農家の余剰形成構造について、調査対象農家を現金収入の水準によって 4 つに階層区分したうえで若干の分析を試みたところ、現金収入上位階層ほど畜産所得の比率が高い傾向、また、耕種部門のなかではサトウキビとタバコによる所得の高い傾向が認められた。これらの傾向は、農家の所得水準の上昇と経済余剰の形成に対して、畜産部門の成長と収益性の高い商品作物の増加が寄与していることを裏付けている。このうち、畜産部門の成長は地域資源の利用圧の上昇に結びつく。

エ．調査対象集落において飼養されている草食家畜の種類と頭数に基づいて、TDN 単位による放牧栄養需要量の推定を行った。一方、集落のヒアリングの結果により、放牧区域の面積を推定した。ただし、面積の推定に際しては常時放牧区域と、頻度は低いものの放牧を行うことのある区域（広域放牧区域）のふたつのレベルを区別した。これらの結果に基づいて計算された単位面積当たりの放牧圧と、植生の再生可能な資源利用量を比較したところ、比率（放牧圧／再生可能利用量）は常時放牧区域について 3 割程度、広域放牧区域について 1 割程度であった。これらの結果は、調査対象集落の草食家畜の頭数であれば、その放牧圧は自然植生の再生力にダメージを与えるほどの水準ではないことを物語っている。

オ．地域資源に対する利用圧の評価に当たっては、このほかに以下の要素を考慮する必要がある。第一に、農家の家計部門並びに養豚部門における燃料利用であり、調査対象集落に関しては、燃料としての資源利用は放牧による資源利用の 3 割ないし 4 割に達していると推定された。第二に、集落外の農家による越境放牧が頻繁に発生している点である。さらに第三に、常時放牧地域においても放牧圧は一様に植生に作用しているわけではなく、不均一な放牧圧が特定のスポットに過放牧をもたらしている可能性を否定できない点である。

カ．元謀県内の 20 の集落では、以下のようなタイプのルールが、さまざまなバリエーションをもって存在することが確認された。すなわち、放牧可能地域の限定、特定の樹種・樹齢の樹木

採取の規制、土地の権利関係に着目した利用規制、監視人の設置および違反行為に対する罰金などの制裁である。なお、調査対象とした 20 集落のうち 3 集落については、放牧利用を規制するルールは一切定められていなかった。

キ. 確認されたルールについて、そのバリエーションや組み合わせに留意しつつ、集落ごとに資源管理ルールの厳格さをスコア化した。スコア化されたルールの厳格さと、集落の土地荒廃の度合いとの間には、はっきりした相関関係は認められなかった。このことの要因のひとつとして、地域の土地荒廃そのものが 100 年以上も前から存在しており、現時点における土地荒廃の度合いには長期的な荒廃のプロセスの結果としての側面が強い点をあげることができる。しかしながら、土地荒廃の進行速度については近年の資源管理ルールのレベルが影響を与えている可能性を否定できない。土地荒廃の進行速度に着目し、その差異を社会経済的な要因によって説明する試みは、今後の課題として残された。

⑦村落レベルの生物資源の利用と物質・エネルギーの収支

元謀県老城郷麻柳村の一集落（東経 101 度 52 分、北緯 25 度 34 分）において、28 世帯 134 人を対象に四川省・塩亭県と同様の調査をおこない、エネルギーフロー図を作成した（図 15）。その結果、麻柳村では近くに十分な森林がないことから、家庭燃料の多くを草地に依存している

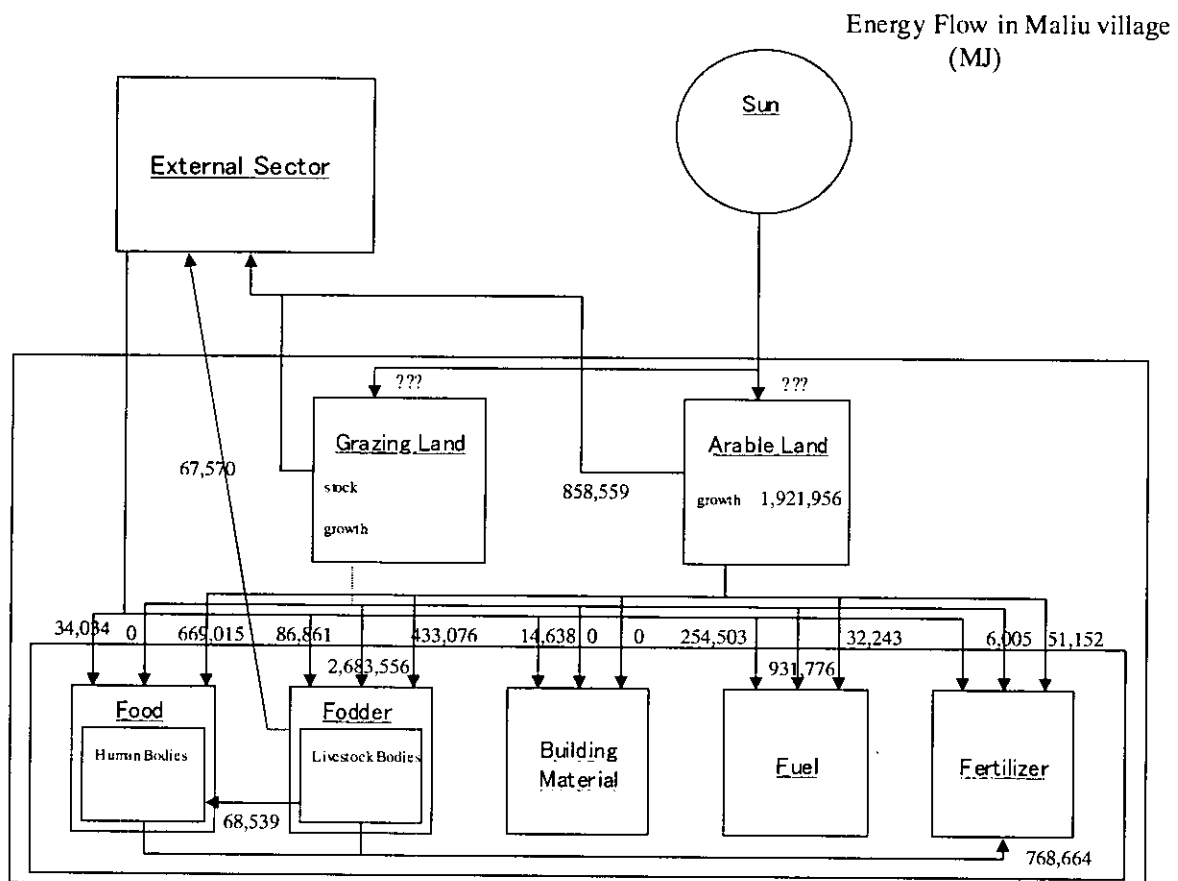


図15 元謀県の一集落における生物資源の生産・利用フロー（エネルギーベース）

ことが示された。同時に草地は、家畜飼料の供給源としても利用されており、塩亭県の結果と比較すると、草地資源の利用量（エネルギーベース）は約4倍の大きさとなっている。このように放牧による利用と同時に、燃料源としても草が採取されることにより、草地のオーバーユースを引き起こし、さらにそれが土壌流出の大きな要因となっていることが示唆された。

5. 本研究により得られた成果

半乾燥地のホルチン草地における各種在来砂漠化対策技術の適用が、土壌特性や植生に及ぼす影響を明らかにした。また、この地域は砂漠化進行程度をもとに、大地形スケールで5つに区分できた。このうち草地が退行し、砂漠化が問題となっているところは大興安嶺の山地前面までであることが確認された。分光放射測定で得られた植生指数と乾物重との間に関係式を提出し、衛星データ利用による植生の定量的把握を可能にするとともに、この地域に分布する土壌の特性を把握し、砂漠化指標の一つである土壌生産力評価をマップ化する手法を開発した。さらに、この地域では、放牧畜産から舍飼畜産への転換による放牧圧の軽減が、農家経営および環境保全上必要であることを示した。

半湿润地帯の雲南省・元謀試験地における流域の年間流出土砂量は、44.9t/ha/yrであり、四川省塩亭県の小流域の土壌侵食量は、森林が乏しかった1965年頃に比べて、植林が進められた1995年頃には約30%に低下したと推定された。また、雲南省原簿字検の家畜の放牧と樹木の採取の量と態様は、農家の生産・消費の水準に規定され、特に草食家畜の飼養頭数、飼料の調理に燃料を使用する豚の飼養頭数および家計としての燃料の使用量の3つの要素が重要であることが示された。さらに、四川省塩亭県と雲南省元謀県における村落レベルの生物資源の生産・利用プロセスを解明し、森林の豊富な塩亭県では木材が燃料として利用されていたのに対し、森林がほとんどない元謀県では燃料と家畜飼料の供給を草地に依存し、それが草地の過剰利用を引き起こしていることを明らかにした。

6. 参考文献

- 1) 土壌保全調査事業全国協議会編：日本の耕地土壌の実態と対策、博友社、東京（1991）
- 2) 内蒙古自治区土壌普查弁公室・内蒙古自治区土壌肥料工作站：内蒙古土壌、775pp, 科学出版社、北京、中国（1994）
- 3) 石 敏俊・田中洋介・趙哈林：中国ホルチン沙地における沙漠化防止と環境保全型営農方式の開発－内蒙古自治区奈曼旗の事例－，開発学研究，9（1），71-80（1998）
- 4) Brown, C.G., Waldron, S.A. and Longworth, J.W. : China's Rangeland Law and Implications of the Expansion of the Beef Cattle Industry for Sustainable Development in the Pastoral Areas, Japanese Journal of Rural Economics, 2,1-13 (2000)

〔国際共同研究等の状況〕

- （1）「持続的土地利用のための砂漠化防止技術適用に関する研究」における日中共同研究
《日本側》農林水産省 農業環境技術研究所、《中国側》中国科学院蘭州沙漠研究所
- （2）日中環境保護協定「中国高温乾燥溪谷における砂漠化土地の植物修復技術に関する研究」
《日本側》東京大学《中国側》中国科学院成都山地災害及環境研究所

[研究成果の発表状況]

(1) 誌上発表 (学術雑誌)

- ① 石 敏俊、田中洋介、趙哈林：開発学研究、9(1), 71-80 (1998)
「中国ホルチン沙地における沙漠化防止と環境保全型営農方式の開発－内蒙古自治区奈曼旗の事例－」
- ② M. Nemoto : Global Warming : The Potential Impact on Japan (S. Nishioka and H. Harasawa, eds.), Springer-Verlag, pp. 71-75 (1998)
"Deserification : Effects on Japan across national borders"
- ③ 安部和子、朱波、恒川篤史、武内和彦：農村計画論文集、1, 169-174 (1999)
「中国四川省の農村における土地被覆変化と生物資源利用」
- ④ T. Wang, T. Imagawa, and W. Wu : Journal of Desert Research, 19(1), 6-11 (1999)
"Methods for monitoring and assessing sandy desertification in the north China"
- ⑤ B. Zhu, M. Gao, G. Liu, R. Liu, and A. Tsunekawa : Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation, 5(3), 33-37 (1999)
"Weathering erosion and environmental effects of purple shale"
- ⑥ 小泉博、大黒俊哉、鞠子茂：共立出版 (2000)
「草原・砂漠の生態」
- ⑦ T. Imagawa : Journal of Desert Research, 20(2), 108-112 (2000)
"A Collaborative Research on Combating Desertification in Naiman, Inner Mongolia, China with Institute of Desert Research, CAS"
- ⑧ 今川俊明、大黒俊哉、白戸康人、谷山一郎、藤原英司、石敏俊：地球環境、5,3-8 (2000)
「中国内モンゴル自治区奈曼旗における放牧圧の推定と砂漠化防止対策効果」
- ⑨ 執印康裕、鈴木雅一、太田猛彦：砂防学会誌、54(2) (印刷中) (2001)
「全球データセットを用いた地球陸面の侵食ポテンシャルによる地域区分について」
- ⑩ 大黒俊哉、白戸康人：農業環境技術研究所年報 (平成 12 年度)、(印刷中) (2001)
「中国北東部半乾燥地域の砂地草原における砂漠化防止対策が植生回復に及ぼす効果」
- ⑪ 大林圭司、朱波、太田猛彦、武内和彦、恒川篤史：日本緑化工学会誌、(印刷中) (2001)
「中国四川盆地小流域における USLE を用いた土地利用評価」

(2) 口頭発表

- ① T. Ohkuro, M. Nemoto, H. Zhao, and S. Li : 7th International Congress of Ecology, Italy, (1998)
"Land and vegetation degradation by sheep grazing in grassland regions in Northeast China"
- ② 今川俊明、藤原英司、福原道一、牧内寛：平成 10 年度日本地理学会秋季大会 (1998)
「ランドサットデータを用いた中国内モンゴル自治区奈曼旗における草量及び放牧圧の推定」
- ③ 白戸康人、谷山一郎、張 銅会、趙 哈林：日本土壌肥料学会 (1998)
「中国北東部風食地域における防風林植栽が土壌特性に及ぼす影響」
- ④ 白戸康人、谷山一郎、張 銅会、趙 哈林：日本沙漠学会 (1998)
「中国内モンゴル自治区奈曼旗における風食対策と土壌特性の変化」

- ⑤ T. Imagawa : International Symposium on Desertification Facing Developing Countries, Lanzhou, China, (1999)
"A collaborative research on combating desertification in Naiman, Inner Mongolia, China"
- ⑥ 白戸康人、谷山一郎、張 銅会、趙 哈林 : 第 45 回日本土壤肥料学会 (1999)
「中国ホルチン沙地における土地荒廃と土壤腐植の形態」
- ⑦ 白戸康人、谷山一郎、張 銅会、趙 哈林 : 第 10 回日本沙漠学会 (1999)
「中国ホルチン沙地における砂漠化程度と土壤腐植の集積」
- ⑧ T. Ohkuro : Workshop on Regional Research Cooperation to Combat Desertification in Asia, Tokyo, Japan, (1999)
"Degradation, Restoration and Improvement of Grasslands in Horquin Sandy Land, Northeast China"
- ⑨ 大黒俊哉 : 第 46 回日本生態学会大会 (1999)
「内蒙古東部の砂地草原における放牧活動と植生動態」
- ⑩ 石 敏俊 : 中国科学院砂漠研究所, シンポジウム「砂漠科学 40 年と持続的発展」(1999)
"Sustainable Development of land Use and Farming System for Combating Desertification in Inerlacing Agropastoral Area, North China"
- ⑪ 安部和子、朱波、恒川篤史、武内和彦 : 1999 年度農村計画学会学術研究発表会要旨集 (1999)
「中国四川省の農村における土地被覆変化と生物資源利用」
- ⑫ T. Ohta and Y. Shuin : Proceedings of the International Symposium held on October 19-20,1999 at the United Nations University, (1999)
"Erosion and sediment discharge in the upper Yangize River Basin - Can Biological Production Harmonize with Environment? -Reports from Research Sites in Asia-"
- ⑬ Y. Shuin : Proceedings of the International Symposium held on October 19-20 ,1999 at The United Nations University, (2000)
"Characteristics of soil erosion in a hot, dry valley at Yuanmou Reserach Station in south-west China - Can Biological Production Harmonize with Environment? -Reports from Research Sites in Asia-"
- ⑭ 白戸康人、谷山一郎、張 銅会、趙 哈林 : 第 46 回日本土壤肥料学会 (2000)
「中国ホルチン沙地における各種砂丘固定技術が土壤特性に及ぼす影響」
- ⑮ 白戸康人、谷山一郎、張 銅会、趙 哈林 : 第 11 回日本沙漠学会 (2000)
「中国ホルチン沙地のポプラ植林地における植林後の年数と土壤特性の関係」
- ⑯ T. Ohkuro, Y. Shirato, X. Chang, and H. Zhao : 43rd Symposium of the International Association for Vegetation Science, Nagano, Japan, (2000)
"Effects of desertification control measures on vegetation restoration in Horqion Sandy Land, China"
- ⑰ O. Ohkuro, Y. Shirato, X. Chang, and H. Zhao : International Symposium of Integration and Regional Researches to Combat Desertification -Present State and Future Prospect-, Tsukuba, Japan, (2000)
"Effects of conventional remedies for desertification on land and vegetation restoration in Horqin Sandy Land, China"

- ⑮ X. Chang, T. Ohkuro, and H. Zhao : International Symposium of Integration and Regional Researches to Combat Desertification -Present State and Future Prospect-, Tsukuba, Japan, (2000)
"Relationship between productivity and plant diversity at different desertification stages in Horqin Sandy Grassland Region"
- ⑯ M. Shi : International Symposium on Integration and Regional Researches to Combat Desertification (2000)
"Sustainable Development of Regional Agriculture for Combating Desertification-A Case Study in Naiman, Inner Mongolia"
- ⑰ 執印康裕、鈴木雅一、太田猛彦：砂防学会研究発表会、2000年5月（2000）
「グローバルデータセットを用いた侵食ポテンシャル解析について」
- 21 K. Takeuchi : Proceedings of the International Symposium: Integration and Regional Researches to Combat Desertification (2000)
"Drought early warning system and desertification monitoring/assessment in UNCCD/CST and TPN1 framework"
- 22 T. Takahashi, S. Mori, and S. Shogenji : Proceedings of the International Symposium: Integration and Regional Researches to Combat Desertification (2000)
"Socioeconomic factors contributing to land degradation: a case study of a subtropical region in China"
- 23 白戸康人、谷山一郎、張 銅会、趙 哈林：第12回日本沙漠学会（2001）
「中国ホルチン沙地における砂漠化程度と土壌生産力の評価」

（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