

# 内モンゴル草原における生活様式の変遷と 植生評価のための衛星ALOS/AVNIR-2データの有効性

シュリ\*・前 迫 ゆ り\*\*・村 松 加奈子\*\*\*

Changes on Life Style and the Availability of AVNIR-2 Data onboard  
ALOS Satellite for Vegetation Mapping in Inner Mongolia Grassland

XURI\*

MAESAKO Yuri\*\*

MURAMATSU Kanako\*\*\*

## Abstract

The purpose of this study is to examine the relationship between village lifestyle and desertification, and to attempt to reveal the availability of AVNIR-2 data onboard the ALOS satellite for vegetation mapping in the grasslands of Talture, Inner Mongolia. We conducted interviews and questionnaires about nomadic lifestyle, collecting data on livestock and population change. We also recorded 58 species including *Aneurolepidium chinense*, *Stipa grandis*, *Artemisia frigida*, *Carex korshinskii*, *Potentilla acaulis* in the grasslands, and GPS data for analyzing the data of ALOS satellite. Interview investigation suggested that the grassland around the village has a complex relation to not only climate change such as rainfall decrease or overgrazing caused by increase in livestock but also lifestyle by settlement policy, method of land use and conservation policy change. We examined species diversity of plain colonies both on grazing land and on pasture land where grazing has been nearly prohibited for approximately 20 years. In both study sites, 58 species were identified: 34 species on grazing land, 52 species on pasture land and 28 species common to both sites. Furthermore, we noticed land use types around Talturu, the spectral reflected each vegetation were analyzed using satellite sensor data. The features of vegetation were extracted into 5 types,

---

平成20年3月28日 原稿受理

\*大阪産業大学大学院人間環境学研究科 大学院生

\*\*大阪産業大学大学院人間環境学研究科／人間環境学部 教授

\*\*\*奈良女子大学共生科学研究センター 准教授

such as the grassland for nomadic hunter-gathers, the grassland for feeding, the grassland which livestock avoid eating, wetland and bare land. We concluded that ALOS/AVNIR-2 data is available for the classification into these categories and spatially understanding the land use.

キーワード：ALOS衛星画像，内モンゴル草原，生活様式，遊牧民，植生評価

**Key words**：ALOS satellite, Inner Mongolia grassland, life style, nomad, vegetation analysis

## はじめに

中国内モンゴル自治区は総面積の70%以上が草原で占められ，牧畜を主産業としている地域である。しかし近年，内モンゴル草原は過放牧による草原の退化が問題となっており，砂漠化現象が深刻化している<sup>1, 2, 6)</sup>。この要因としては，気象変動，人間の生活スタイルの変遷（例えば定住化政策による過放牧）など，さまざまな要因が考えられる。内モンゴル草原については，放牧庄と草原群落の群集組成に関する研究<sup>5, 9, 11)</sup>，草地利用と経済に関する研究<sup>7)</sup>など多くの研究がなされている。また草原生態系を衛星データから捉えようとする試みもある<sup>3)</sup>。しかし，内モンゴル草原の生活様式から草原の変遷を検討した研究は少ない。さらに衛星画像による広域的評価と現地調査から草原の土地分類を行う研究はまだ開始されたばかりであり，地域の環境評価において，どの衛星画像が有効であるかについて，現地調査と衛星解析の整合性のなかで有効性が検討されているところである。

砂漠化が進行している西方の草原と比べると，内モンゴル草原Talturu（タルツール）の集落では比較的健全な草原が維持されていると考えられるが，今後，放牧庄，降水量の変化等による砂漠化の進展も懸念される。

本研究は，内モンゴル草原の集落の1つであるTalturuにおいて，草原における生活様式の聞き取り調査を行い，人々のくらしの変容と草原の植生との関連性を検討するとともに，植物群落の現地調査から，衛星画像ALOSデータによる植生の広域的解析の可能性を検討するものである。とくに本研究では，2006年1月に日本の宇宙航空研究開発機構（JAXA）によって打ちあげられたALOS（だいち）衛星に搭載されたAVNIR-2センサによって観測されたデータを用いて，植生に関する情報の抽出を試みる。現地調査の解析に衛星データから得られる空間的な情報を加えることにより，景観生態学における新しい手法の確立をめざしたいと考えている。

## 1 調査地

### 1-1 調査地概要

調査地のTalturuは、内モンゴル自治区ウランハダ市のヘシグテン旗（中国の県に相当）に位置する集落であり（図1）、内モンゴル高原の中東部にある典型草原である。ウランハダ旗の中で最大面積を誇るヘシグテン旗には、大興安嶺の裾野や標高2000 mの山地、氷河期の石林の遺跡、グンゲル草原、ダライノル湖などがあり、多様な地形を含んでいる。

東、北および南は山々に囲まれ、西はグンゲル草原が広がっている。南方では標高が高く、南から北に向かって傾斜している。気候は温帯、半乾燥性の大陸性気候に属する。年平均気温は $-1.4^{\circ}\text{C}$ 、最低気温は $-37^{\circ}\text{C}$ 。年降水量は約350mm、降水は6月、7月、8月に集中する。年蒸発量は約1526mmで、年降水量の3.4倍にもなる。平均風速は3.8m/s、最大風速は28m/sに達し、冬季は西北風が多く、夏季は西南風が多い。

集落の人々は昔から牧畜業を営み、70年代までは一年の四季折々に移動する典型的遊牧生活を送っていたが、内モンゴルの農地開拓の広がりによる放牧地の縮小や定住政策などによりその生活様式は、四季ごとの移動から夏季だけの移動、さらに完全定住の集落化へと次第に変化してきた（図2）。

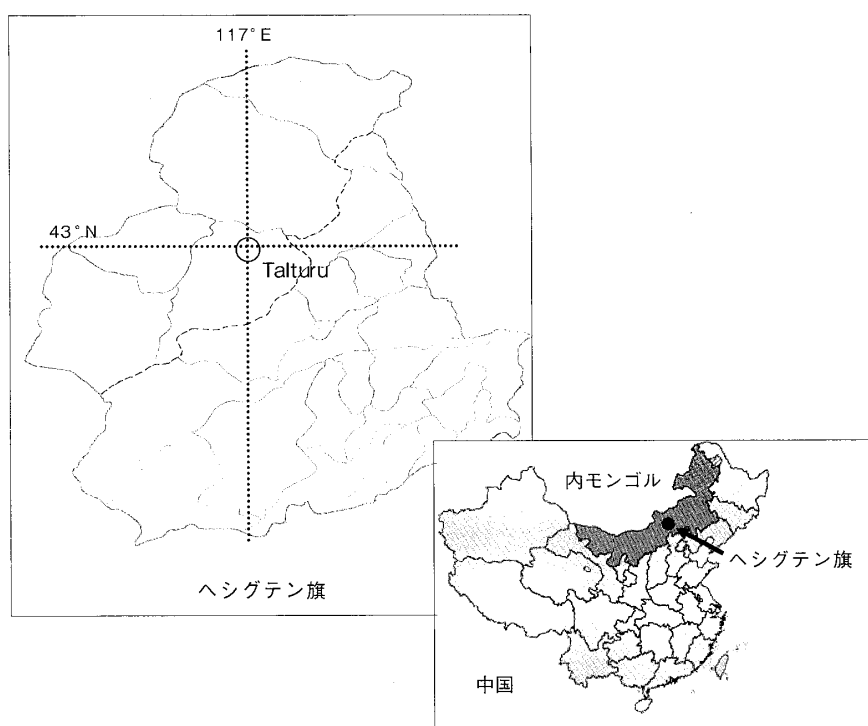


図1. 調査地の概要

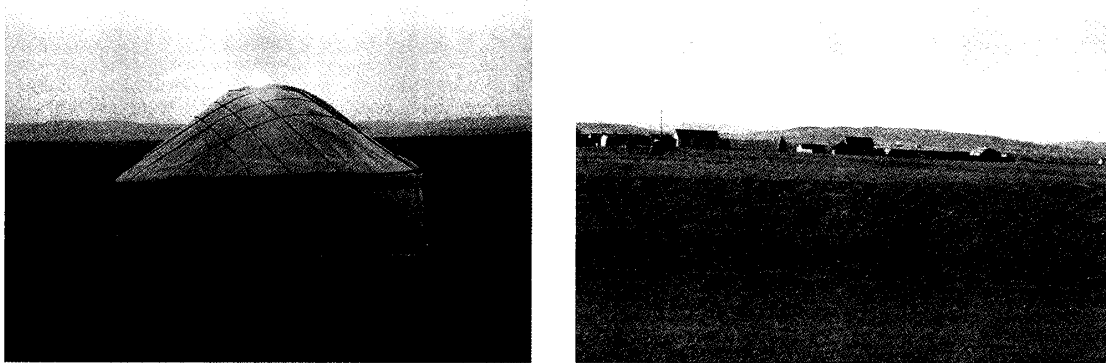


図 2. 遊牧移動用のパオ（左）と定住化集落住宅（右）（撮影：2007年 8 月13日）

## 1-2 草原の利用形態

草原の利用形態は大きく放牧利用と採草利用という二つに分類される。80年代からの草原の所有権の変化によって、放牧エリアと採草エリアの利用形態は大きく変化した。今では採草エリアは完全に個人所有になり、放牧エリアは共有しているが、次第に個人所有化する傾向にある。

調査地の採草エリアは山地の麓にある長草型草原である。放牧エリアには主に湿地（冬、春、晩秋に利用される）と短草型草地（主に夏利用される）と固定砂丘が成立している（図 3）。

## 2 調査方法

### 2-1 ヒアリング調査

Talturuにおいて、草原の自然環境変化、利用実態、維持管理、保全対策、社会環境および人々の生活の変化についてヒアリング調査を行った。集落でのヒアリング調査は世帯ごとに直接訪問する形で行われた。Talturuの全世帯数は約50世帯であり、できるだけ幅広い世代を含む形でランダムに30世帯を選択し、世帯主を中心に聞き取り調査をした。9月の初旬は集落の多忙な採草時期に当たるので、世帯主が家にいない世帯については女性を中心に行われた。なお、集落の中で20代、60代の世帯は少ないため、全て訪問した。表 2、表 3に記載されている政策の実施年月についてはTalturuの役場に直接聞き取り調査を行った。調査内容、調査対象および調査日時は以下の通りである。人口および家畜頭数については、Talturuの役場からの資料収集により、動態を調査した。

<調査内容> 自然環境変化、利用実態、維持管理、保全対策、社会環境および生活変化

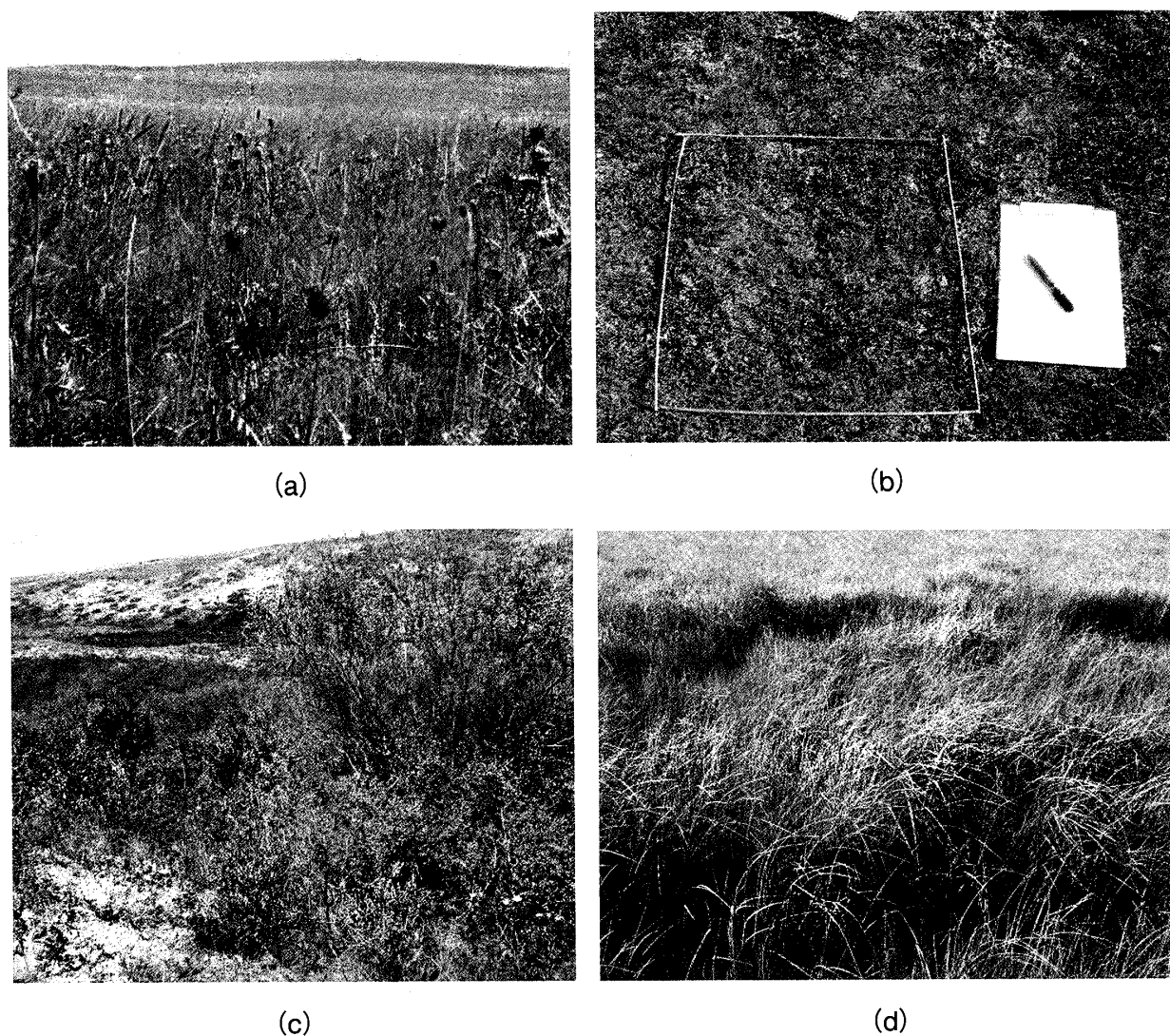


図3. Talturuの (a) 採草型草原, (b) 放牧型草原, (c) 固定砂丘, (d) 湿地  
(撮影: 2007年8月28日)

についての聞き取り調査および人口、家畜頭数の資料収集

<調査対象> 30世帯38名

20代: 男性4名, 女性2名, 30代: 男性8名, 女性4名

40代: 男性4名, 女性2名, 50代: 男性9名, 女性3名

60代: 男性2名

<調査日時> 平成19年9月6日~平成19年9月18日

## 2-2 現地調査

調査エリアを草地の利用形態ごとに放牧エリアと採草エリアに、採草エリアを調査目的ごとに採草エリアAと採草エリアBに分けて、三つの調査エリアを設けた。エリアごとに

約40点, 計120点の調査地点を設置した。

1) GCP (Ground Control Points) の測定

GCPの候補点は, 2006年9月15日に観測されたALOSの画像から明らかに判別できる道の交差点6点を現地にて探し, その点でGPSを用いて緯度経度の測定を行った。

2) 草地群集の種の多様性

放牧エリアと採草エリアA, Bの各エリアで40地点, 計120地点で, 50cm×50cmのコドラートに出現する種を記録するとともに, 各地点毎にGPSの値を記録した。

2-3 衛星データ

本研究では, 2006年1月に宇宙航空研究開発機構が打ち上げたALOS (だいち) 衛星に搭載されたAVNIR-2 (高性能可視近赤外放射計2型) センサのデータを用いた。ALOS衛星は46日に一度地球上の同じ領域の観測を行う。AVNIR-2 センサの地上空間分解能は約10mで, 可視の青, 緑, 赤の波長帯と近赤外の4つの波長帯で地球を観測する。

以後, これらの波長帯を波長の短い順にバンド1, 2, 3, 4と呼ぶ。図4に, 2006年9月15日に観測された調査領域周辺のAVNIR-2のカラー合成図を示す。バンド2に青を, バンド4に緑を, バンド3に赤色を割り当てたものである。赤紫色の線状の道や植生から

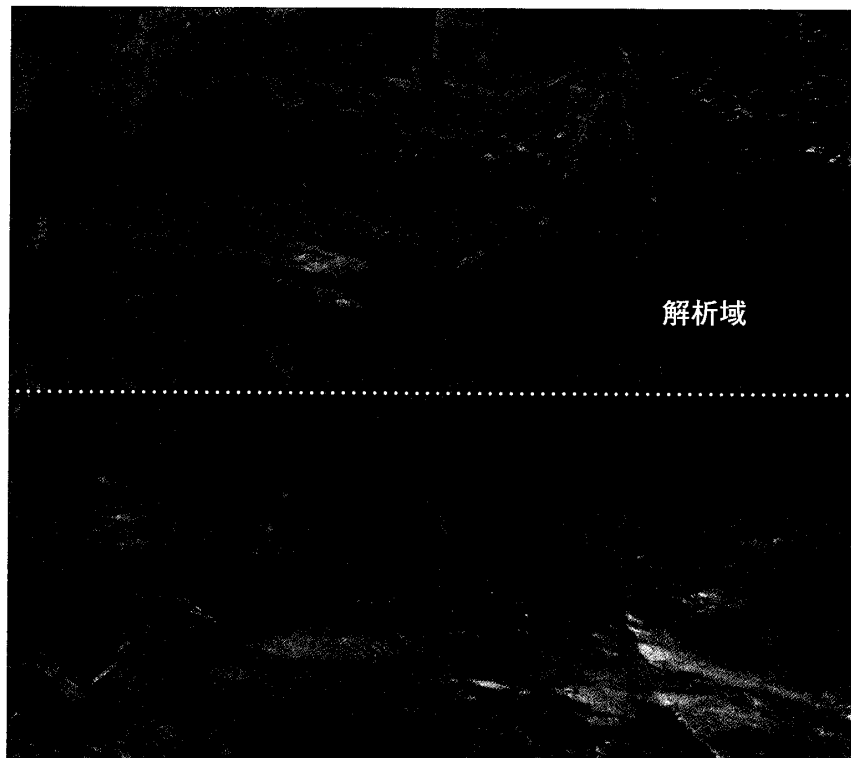


図4. ALOS衛星の2006年9月15日に観測された調査領域周辺のAVNIR-2のカラー合成図 (破線より上部を解析に使用)

のシグナルが強い部分は緑色で表示されている。

#### 2-4 衛星データの解析手法

AVNIR-2 データは、各波長毎に提供される 0~255 のデジタルカウント値から、衛星高度での分光反射率を計算し、大気による影響は Rayleigh 散乱を用いて計算し差し引いた<sup>4)</sup>。以上のようにデータを処理する事により、地表面の分光反射率に近い値を得る事ができる。

次に本研究ではこの各波長毎の反射率の値を用いてユニバーサル・パターン展開法<sup>12)</sup>で解析を行う。この方法は衛星で観測された反射スペクトルのパターンを水、植生、土壌と黄色成分を補うための 4 つの基本パターンで合成するものである。AVNIR-2 の観測波長数は 4 である事から、本研究では、水、植生、土壌の 3 つの基本パターンのみを用いた。ユニバーサル・パターン展開法では、衛星での観測波長帯が異なっても同じサンプルに対してはほぼ等しい展開係数が得られる事が大きな特徴である。

n本の波長帯で観測した分光反射率 (R1, R2, ..., Rn) を 3 つの基本パターン (水の基本パターン: Pwi, 植生の基本パターン: Pvi, 土壌の基本パターン: Psi, i=1, ..., n) を用いて 3 つの展開係数 (水の展開係数: Cw, 植生の展開係数: Cv, 土壌の展開係数: Cs) に下記の通り変換する。

$$R_i = C_w P_{wi} + C_v P_{vi} + C_s P_{si}, \quad (i=1, \dots, n)$$

このようにして得られた 3 つの展開係数は、衛星が植生を観測していれば、Cv の値が Cw, Cs に比べて高く決まり、土壌であれば Cs の値が高く決まる。衛星データを反射率から展開係数に変換する事により、土地被覆に関連する情報に近くなる。

また、この 3 つの展開係数により、植生指標を下記の通り定義した<sup>10)</sup>。

$$MVIUPD = (C_v - 0.2C_s - C_w) / (C_w + C_v + C_s)$$

この植生指標は、植生の被覆率や最大光合成量に対して線形になるように、地上実験データより決めたものである。

一般に衛星データの解析には、植生指標 NDVI ((赤の反射率 - 近赤外の反射率) / (赤の反射率 + 近赤外の反射率)) がよく使われる。しかし NDVI は、赤の波長帯と近赤外の波長帯のみを使っているため、乾燥域での赤い土の反射の影響を受ける事、植生量が多くなると飽和する傾向にある。本研究では、半乾燥域の疎な植生の情報を抽出したいため、3 つの展開係数と植生指標 MVIUPD を用いる。

### 3 調査結果

#### 3-1 ヒアリング調査の結果

##### 1) 自然環境変化

自然環境，特に降水量減少や自然災害の増加によって，植生変化，採草地の収穫変化が起きていることについてのヒアリング結果を表1に示す。

表1. 自然環境変化についてのヒアリング調査結果

約20年前と現在の草原の比較	
①	採草エリアで定期的に野焼きを実施していた。
②	そのときは，草丈，植被率が高かった。枯れ草が地面を厚く覆い，降雨量も多かったため，湿気が高く火の燃え移りが悪いことで一苦勞したそう。
③	今では，野焼きしなくても草原全体が燃えるような日照りが毎年続いている。
④	野焼きは蚊の異常発生や牧草の発芽，生育の環境を準備し，枯れ草の堆積による古野化を防ぎ，防火上大切な役割を果たしている。(複数回答)
約10年前と現在の草原の比較	
①	採草エリアに乾燥に強い <i>Artemisia frigida</i> Willd はほとんど生長していなかった。放牧エリアでも砂丘を中心に自生していた。
②	近年の採草地の収穫は年々減り続け，十年前に比べると3分の1に減少した。
③	1998年頃から降水量は年々減り続ける傾向にある。
④	大雪，日照り，黄砂などの自然災害は10年に1回ぐらいの頻度から年々増え続ける傾向にある。(複数回答)

##### 2) 社会環境および生活変化

定住化による生活形態の変化，外界とのつながりが便利になったことによる社会環境の変化などについてのヒアリング結果を表2に示す。

##### 3) 利用実態，維持管理，保全対策

家畜，土地の所有権の変化，保全対策とそれが自然環境，社会環境に及ぼす影響についてのヒアリング結果を表3に示す。

##### 4) 約30年間の集落の家畜頭数変化，人口変化とその関係

集落の約30年間の人口の年変化と一人当たりの家畜頭数の年変化を図5，図6にそれぞれ示す。人口は非常に緩やかではあるが，小さな集落という要素から考えれば，増加傾向にある。一人当たりの家畜頭数も増加傾向にある。

集落の約30年間の全家畜，種類別家畜頭数の年変化を図7に示す。図からもわかる様に1999年から2002年まで4年間のデータがとぎれている。その原因は1999年から家畜税が廃止されたことにある。勿論，この政策によって牧民たちの負担は減少した。しかし，課税



表2. 社会環境および生活変化についてのヒアリング調査結果

定住化による生活変化	
①	1991年から完全定住化が始まった。
②	停止の理由には家畜の増加，土地開発による遊牧環境の縮小と留守の間空き巣に入られる不安，若い世帯の中では移動することに不便を感じる人が増加，などがあつた。
③	完全定住で電気設備の普及による生活の利便性が増すなどの長点がある。
④	一方で，家畜の移動範囲が集落周辺に集中したため，周辺環境の裸地化が急激に強まっている。
⑤	幸いなことに今でも夏の移動生活を続けているたった一人の若い世帯がいる。勿論色々不便もあるという。しかし，集落の周辺に観光施設がたくさんあるので，夏になると草原に一つだけの白いパオがそこに訪れる観光客たちの目に留まり，伝統的な遊牧生活を楽しもうと，決まってこの家に訪れ，収入も増えたという。(①⑤単独回答，他複数回答)
草原をとりまく社会状況の変化	
①	最近草原でも交通が便利になったため外界とのつながりが便利になった。
②	その一方で，家畜泥棒や空き巣被害も増え，治安は悪くなる一方だった。
③	薬草の盗掘も増える一方。採草エリアに出現する植物の66%が薬用植物である。
④	薬草の中でも <i>Astragalus mongolicus</i> Bunge, <i>Bupleurum sibiricum vest</i> Pekinens Franch, <i>Dianthus chinensis</i> L., <i>Ephedra sinica</i> Stapf, <i>Saposhnikovia divaricata schischek</i> , <i>Scabiosa comosa</i> Fisch は良く使われる薬草という特徴から被害に遭う確率も高くなる。
⑤	特に根が薬用になる植物の場合，植被率が失われるだけでなく，穴が掘られ草地の荒廃，草刈機の故障を招く原因になる。(複数回答)
交通手段の変化	
①	昔は草原での交通手段と言えば，馬しかなかった。
②	今ではバイクが主流になっている。
③	その背景には馬の世話をすることに比べて，ガソリンを入れるだけで走れるバイクの利便性がある。
④	もう一つは，馬は群れで広い範囲を行動するため，近年増加してきた家畜窃盗の被害に遭う確率が高い等の原因が考えられる。(複数回答)

制度は，家畜統計の潜在的動機でもあつた。それが廃止されることにより，一定期間家畜数の増減と統計的把握は実質上無法状態になったともいえる。

また図の折線を見ると，家畜頭数の変化はいつも羊の頭数の増減に大きく関係していることが示唆できる。最も，明らかであるのは2004年から2007年にかけて起きた急激な変化である。

2004年，2005年，2006年の増加と高い数値は，集落だけの羊頭数が増加したに限らず，集落の一部の人たちが外部の羊を飼育し現金収入を得ていたことによるものである。外部の羊頭数は全体頭数の約4分の1の3000~4000頭であつた。

2004年，2005年，2006年の増加と高い数値は，集落だけの羊頭数が増加したに限らず，集落の一部の人たちが外部の羊を飼育し現金収入を得ていたことによるものである。外部の羊頭数は全体頭数の約4分の1の3000~4000頭であつた。

表 3. 利用実態, 維持管理, 保全対策についてのヒアリング調査結果

家畜の国有資産から個人資産化への転換	
①	この政策は1981年から実施された。
②	その時の草地はまだ共有されていた上に、自然環境状況も良かったため、努力次第で家畜の頭数は自由に増やすことができた。
③	これが、後の人口と家畜頭数で配分する採草エリアの個人所有化政策による、世帯あたりの採草エリアの配分量を左右することになる。
④	更に、集落における経済的格差の原因の一つにもつながる。(②~④複数より回答を得た)
採草エリアの個人所有化	
①	この政策は1987年から実施された。
②	この政策により一部採草エリアごとに柵が設置されるなど各々の管理方式は改善された。
③	しかし一方で、個人所有という概念からくる他人地への関心の薄れが全体の管理方式を弱める原因にもなった。
④	例えば、薬草採掘対策は毎年夏に行われ、集落全体での団結した抗議運動でうまく保たれていたが、次第に参加する人が減少し対策はうまくいかなくなっている。(②~④複数より回答を得た)
植物保護政策	
①	この政策は1997年から実施された。
②	採草エリア植物の保護のため、採草時期を10日間遅らせる。植物の種の損失は防げるが、枯れ始めた植物は運搬時の損失が多く、栄養価値も低下する欠点がある。
③	伝統的な家畜の柵は木で作られているため、それも制限された。その代わりに、温かくて植物保護のためにも役割を果たしているというレンガなどで作った温室タイプのものが広まった。
④	伐採制限はされていないが、柵作りの一部に使われていたTanacetum boreale DCは家畜も好まない植物で、他に使い道がなく、その植被率は年々増え草地の荒廃を招く一つの原因にもなっている。(②, ③複数より回答を得た)
家畜税の廃止	
①	この政策は1999年から実施された。
②	この政策によって牧民たちの負担は減少した。しかし、課税制度は、家畜統計の潜在的動機でもあったが、それが廃止されることにより、一定期間家畜数の増減と統計的把握は実質上無法状態になった。(②複数より回答を得た)

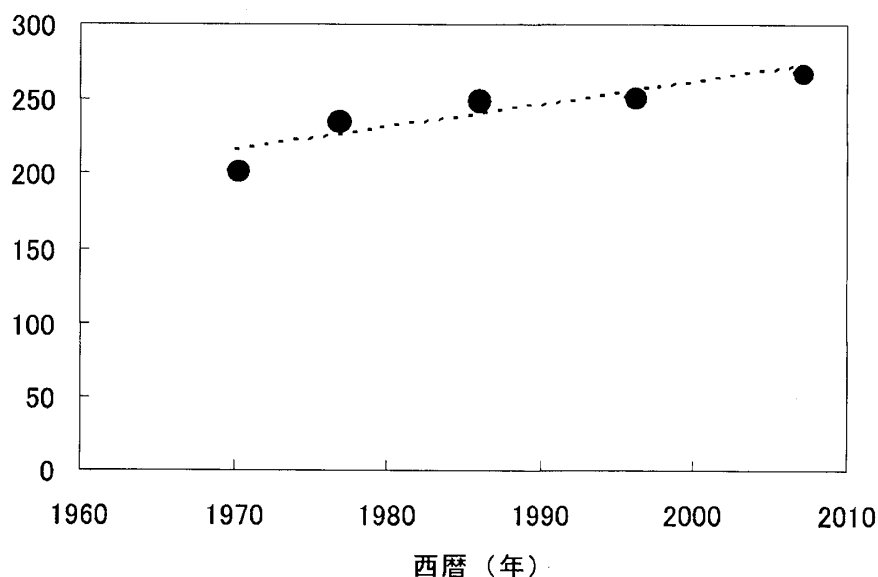


図 5. Talturu 集落における約30年間の人口変動 (Talturu 役場の資料により作成)

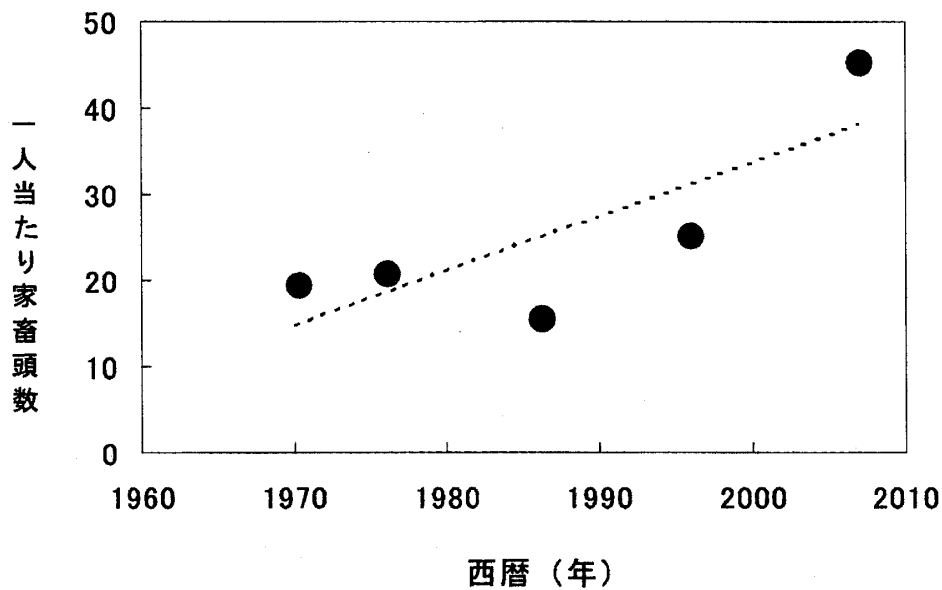


図6. 集落の約30年間の一人当たりの家畜頭数の年変化 (Talturu 役場の資料により作成)

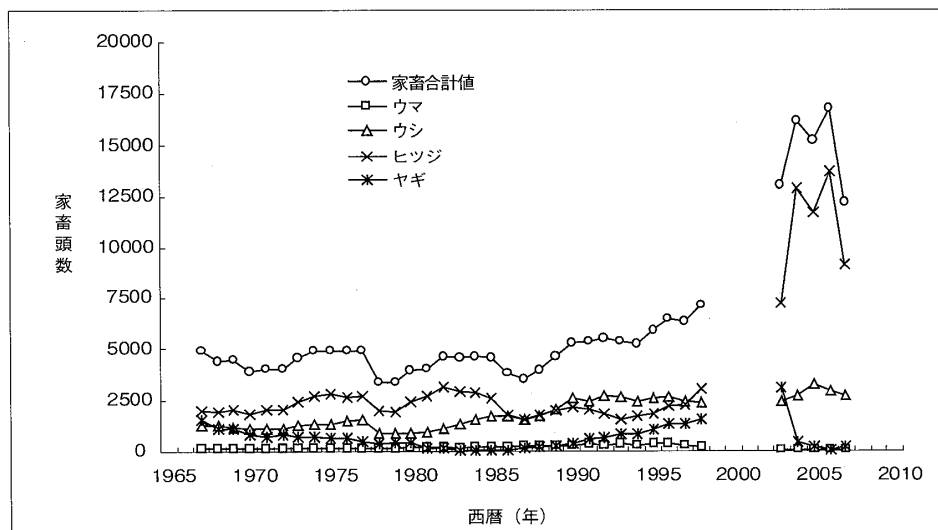


図7. 約30年間の集落の全種類、種類別家畜頭数の年変化 (Talturu 役場の資料により作成)

このようなことが起きた原因として考えられるのは、先ず羊の成長と収入循環が早いこと、次に羊の冬季に費やす飼料量が他の家畜に比べて少ないため、採草エリアの少ない世帯でも共有型の放牧エリアを利用することで容易に収入を増やせたことである。

このような状態によりやく気づいた政府は重い腰を上げ、羊の頭数を20頭/人に制限する政策を実施したことで、2007年に大幅に減少する傾向になった。

以上のヒアリング調査を集約し、図8に示した。

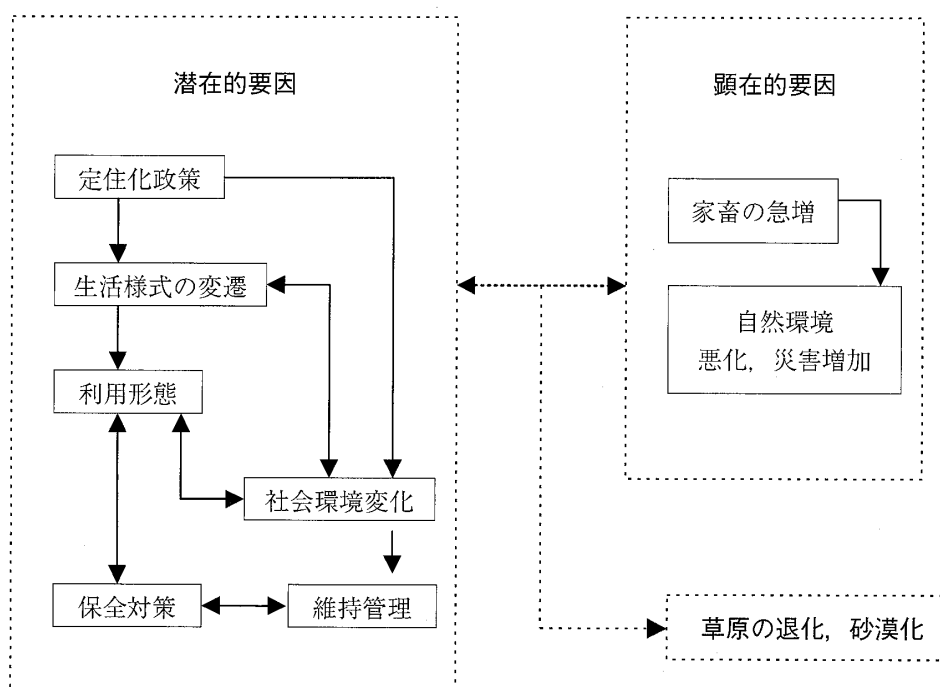


図 8. ヒアリング調査によって得られた草原の退化と社会的背景との関係

### 3-2 放牧エリアおよび採草エリアにおける草地植生

調査エリアに出現した植物は *Aneurolepidium chinense*, *Stipa grandis*, *Artemisia frigida*, *Carex korshinskii*, *Potentilla acaulis* など 58 種であった。このうち、放牧エリアでは 34 種、採草エリアでは 52 種、共通種は 28 種で、採草エリアのみ出現した種は 24 種と多かった (表 4)。放牧エリアに出現した科数は 19、採草エリアに出現した科数は 22 であった。放牧エリアではとくに、ユリ科とキク科の種が減少し、アカネ科、サクラソウ科、ジンチョウゲ科などは出現しなかった。一方、アカザ科とイソマツ科は放牧エリアにのみ出現した。なお植物の学名は内モンゴル師範大学院生物学科 (1976) にしたがった。

#### 1) 放牧エリアの生態的特徴

全体的に裸地化が目立ち、植被が失われた土壌は風食および水食により表土が飛散、流亡し硬度が上昇していた。各調査地点において、植物に加えられた放牧圧と家畜の踏みつけ、乾燥などに耐性があり、多様な攪乱要因に対して再生力の強い種 *Artemisia frigida*, *Carex korshinskii*, *Carex duriuskula* および忌避型植種 *Tanacetum boreale* が優占していた。固定砂丘は流動砂丘になる傾向が顕著で、主な植被のヤナギは砂丘周辺の水場を中心に多く見られた (図 9)。

#### 2) 採草エリアの生態的特徴

採草エリアの中で地形的に乾燥が強い立地では植生が失われるため、土壌は風食、水食により表土が飛散・流亡する傾向が見られた。このような立地では乾燥に強い *Artemisia*

表4. 放牧エリアと採草エリアにおける出現種および科の比較 (\* : 出現種)

科名	種名	放牧エリア	採草エリア	和名	
単子葉類	イネ科	<i>Agropyron cristatum</i> Caertn	*	*	
		<i>Aneurolepidium chinense</i> Kitag	*	*	シバムギモドキ
		<i>Cleistogenes chinensis</i> Keng	*	*	
		<i>Festuca ovina</i> L.	*	*	チイサンウチノケグサ
		<i>Stipa grandis</i> P. Smirn	*	*	
		<i>S. baicalensis</i> Roshev	-	*	クサナニワズ
	ユリ科	<i>Allium senescens</i> L.	*	*	セッカヤマネギ
		<i>A. anisopodium</i> Ledeb	-	*	ヒメラッキョウ
		<i>A. condensatum</i> Turcz.	-	*	
		<i>Hemerocallis minor</i> Mill	-	*	
	イチハツ科	<i>Iris dichotoma</i> Pall	*	*	
		<i>I. tenuifolia</i> Pall	*	-	
		<i>I. pallasii</i> Fisch. var. <i>chinense</i> Fisch	-	*	
	ハマスゲ科	<i>Carex korshinskii</i> Kom.	*	*	
		<i>C. duriuskula</i> C. A. Mey.	*	-	ノヤマスゲ
双子葉類	キク科	<i>Achillea alpine</i> L.	*	*	ノコギリソウ
		<i>Artemisia frigida</i> Willd	*	*	
		<i>Taraxacum mongolicum</i> Hand - Mzt	*	*	キバナイトヨモギ
		<i>Tanacetum boreale</i> DC	*	-	
		<i>Tanacetum sibiricum</i> L.	-	*	
		<i>Artemisia sacrorum</i> Ledeb	-	*	
		<i>A. scoparia</i> Waldst	-	*	ハマヨモギ
		<i>Aster altaicus</i> Willd	-	*	アルタイノギク
		<i>Echinops latifolius</i> Tausch	-	*	オクルリヒゴタイ
		<i>Leontopodium leontopodioides</i> Beauv	-	*	ノウスユキソウ
		<i>Ligularia mongolica</i> DC.	-	*	
		<i>Serratula centauroides</i> L.	-	*	コガネバナ
	バラ科	<i>Potentilla acaulis</i> L.	*	*	
		<i>P. bifurca</i> L.	*	*	クサキンロバイ
		<i>P. chinensis</i> Ser	*	*	カワラサイコ
		<i>Sanguisorba officinalis</i> L.	*	*	
	ゴマノハグサ科	<i>Cymbaria dahurica</i> L.	*	*	
		<i>Veronica incana</i> L.	*	*	
		<i>Pedicularis flava</i> Pall	-	*	
	シソ科	<i>Schizonepeta multifida</i> Briq	*	*	
		<i>Thymus mongolicus</i> Ronninger	*	*	
		<i>Scutellaria baicalensis</i> Georgi	-	*	
	マメ科	<i>Astragalus complanatus</i> R.Br	*	*	
		<i>Thermopsis lanceolata</i> R.Br.	*	*	ハナカラマツ
		<i>Astragalus mongolicus</i> Bunge	-	*	モウコモメンヅル
	キンボウゲ科	<i>Delphinium grandiflorum</i> L.	-	*	オオバナヒエンソウ
		<i>Thalictrum petaloideum</i> L.	-	*	モウコタンポポ
	セリ科	<i>Bupleurum sibiricum</i> Vest.	*	*	
		<i>Saposhnikovia divaricata</i> Schischek	-	*	ワレモコウ
	タデ科	<i>Rumex acetosa</i> L.	*	*	タカネスイバ
	アブラナ科	<i>Torularia humilis</i> O. E. schulz	*	*	
	オオバコ科	<i>Plantago asiatica</i> L.	*	*	オオバコ
	ジンチョウゲ科	<i>Stellera chamaejasme</i> L.	*	*	
	セキチク科	<i>Dianthus chinensis</i> L.	*	*	セキチク
	マツムシソウ科	<i>Scabiosa comosa</i> Fisch	*	*	ボウフウ
	イソマツ科	<i>Limonium bicolor</i> Kuntze	*	-	イヌトウゴウソウ
	アカザ科	<i>Chenopodium aristatum</i> L.	*	-	ハリセンボン
	ヤナギ科	<i>Salix microstachya</i> Turcz	*	-	
	サクラソウ科	<i>Androsace filiformis</i> Retze	-	*	サカコザクラ
	アカネ科	<i>Galium verum</i> L.	-	*	エゾノケカワラマツバ
	ナス科	<i>Solanum septemlobum</i> Bunge	-	*	
	ベンケイソウ科	<i>Orostachys fimbriatus</i> Berger	-	*	
ムラサキ科	<i>Eritrichium rupestre</i> Bunge	-	*		
出現科数		19	22		
出現種数		34	52		

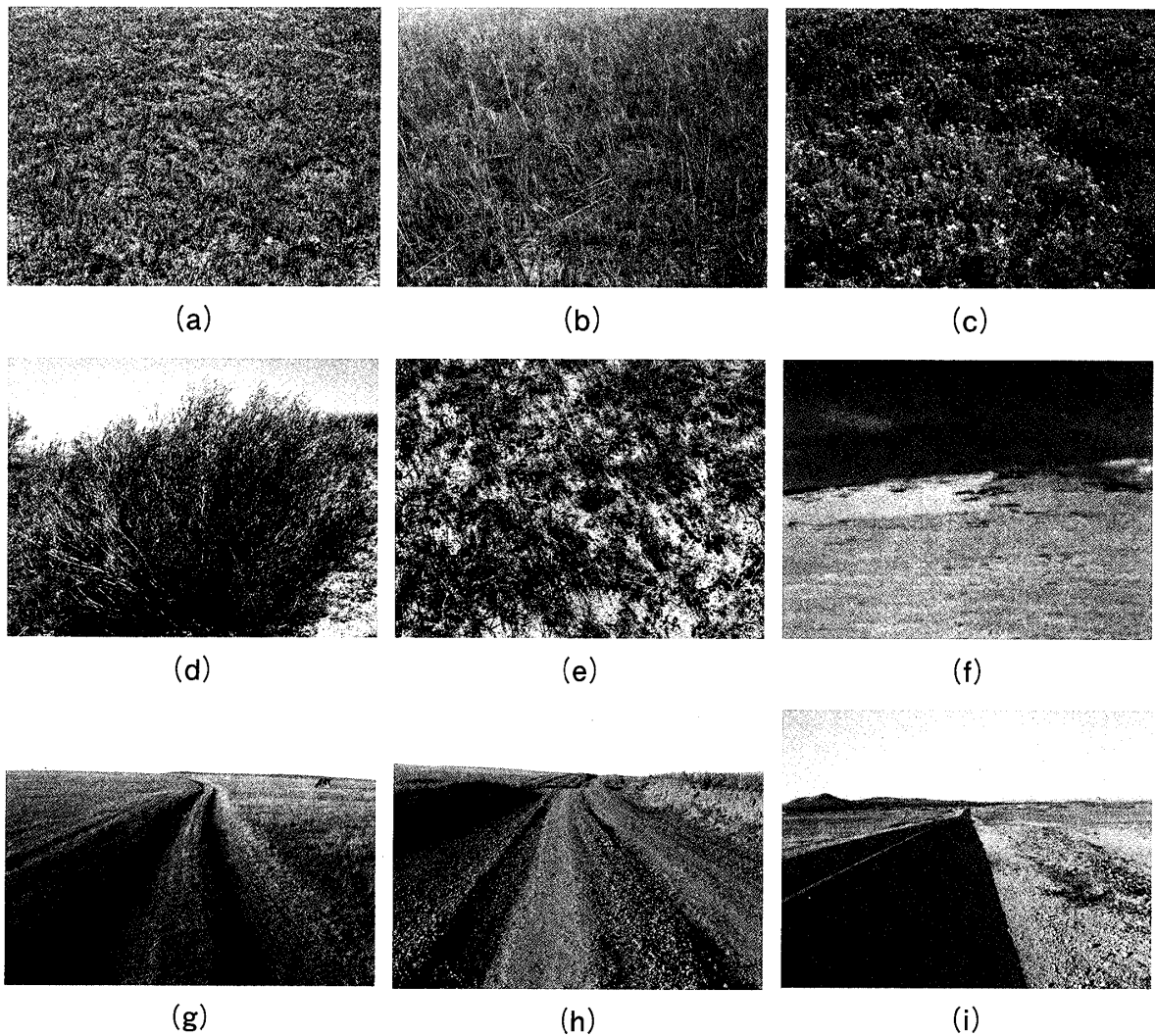


図9. 放牧エリアと採草エリアの植生および裸地化の状態 (撮影：2007年8月)

(a) *Artemisia frigida* が優占する放牧型植生, (b) *Aneurolepidium chinense* が優占する採草型植生, (c) 忌避型植生 *Tanacetum boreale*, (d) 固定砂丘の *Salix microstachya*, (e) 風食が進んだ土壌, (f) 植生が失われた流動砂丘, (g) 野道, (h) 砂利道, (i) アスファルト

*frigida* などの侵入が目立っていた。また、採草エリアを網のように走る道路も裸地化を招く攪乱要因になっていた。特に舗装道路および砂利道はメンテナンスが十分ではないため、非舗装道路に比べて裸地化しやすく、土壌の侵食が生じていた (図9)。

### 3-3 衛星データと植生との関連性

2006年9月15日にALOS衛星に搭載されたAVNIR-2センサーで観測されたデータを用いて、つぎの手法によって解析を行った。衛星データに緯度経度に関する正確な情報を付加するために、地上基準点GCPとしてGPSを測定した点を衛星画像上にプロットし、これをベースに、現地調査の異なる同地域データ間の重ね合わせ等に利用した。

1) 反射率の特徴

衛星データを用いて、土地の利用形態の空間的把握が可能かを調べるために、採草型植生、放牧型植生、忌避型植生、湿地、裸地に着目し、これらの反射率の特徴を調べた。その結果を図10に示す。

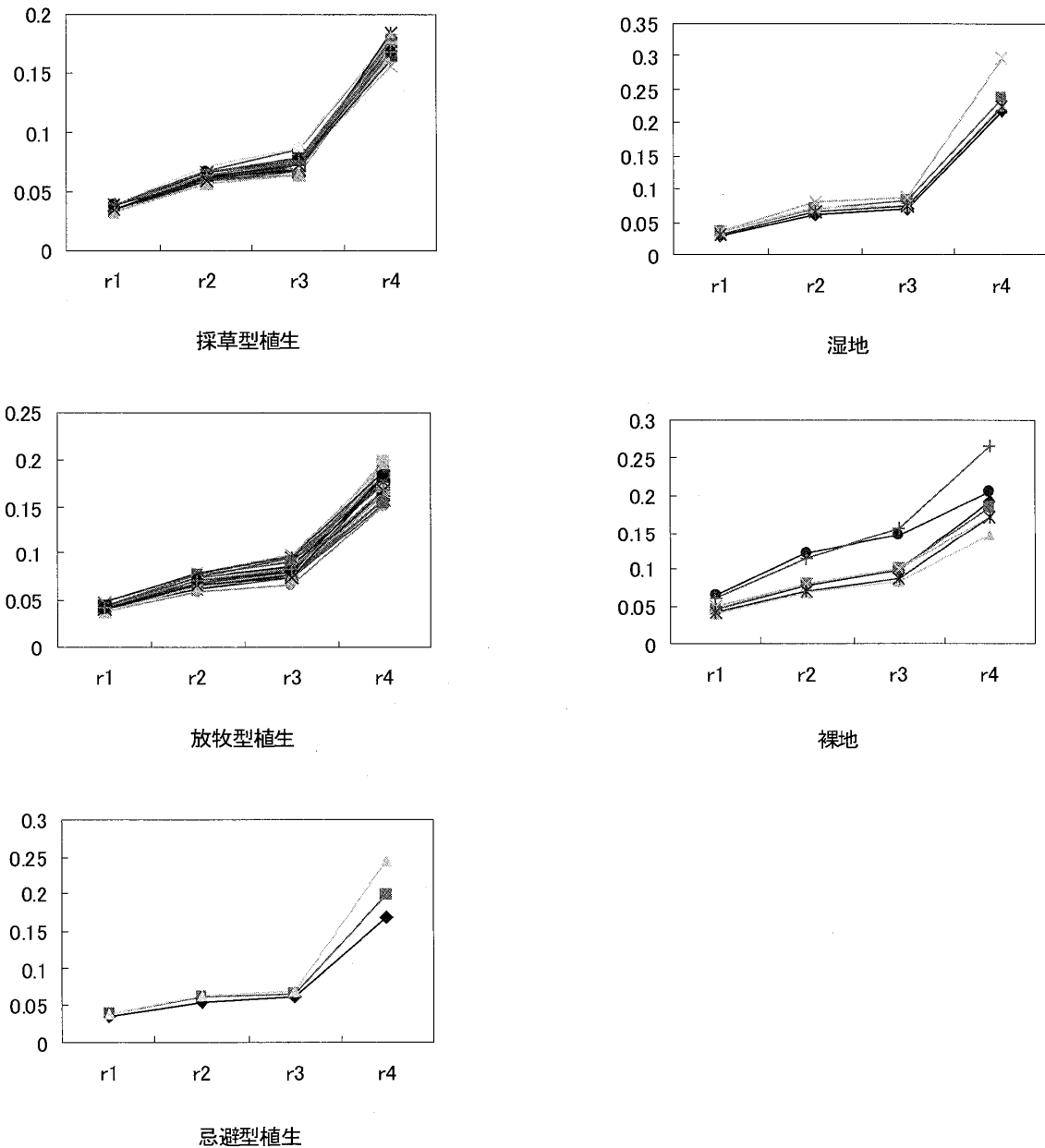


図10. 土地被覆採草型植生、放牧型植生、忌避型植生、湿地および裸地における反射率の特徴  
 図中の r1, r2, r3, r4は ALOS 衛星 AVNIR-2センサの 4つのバンド 1, 2, 3, 4の分光  
 反射率を示す。

反射率の特徴として、植生が活性であるとクロロフィルにより赤い光は吸収されるので  $r_3$  の反射が低くなる、また、近赤外  $r_4$  の反射が高くなる。土壌は  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$ ,  $r_4$  全体的に反射が高くなるという特徴をもつ。

9月の裸地の反射率が典型的な土のパターンに似ている。しかし、サンプルをとった野道、砂利道、砂丘などの周辺に多少植生があるため土のパターンに少し植生のパターン特性が混じっている形である。

9月の内モンゴルは植生活性度が低くなり始めている時期でもある。忌避型植生が9月でも比較的高い植生パターンが見られるのは、先ずは、その名前の通り動物に食べられず、ボリュームはそのまま残っていること、次は忌避型植生の隙間に生えているほかの植生も低温や動物から保護される形で残ることが考えられる。

同じく9月の湿地も植生パターンが見られるのは水域に近いという特徴で秋比較的遅くまで植生活性度が高いことが考えられる。

9月の採草型植生は切り取られているため、放牧型植生とほぼ同じ植生パターンの反射率を持つ。地面が剥き出しになっているところの放牧型の植生は、土のパターンが高く、裸地の状態になっている部分も多いので採草型に比べて  $r_3$ ,  $r_4$  のばらつきが大きい。

## 2) 展開係数と植生指標の特徴

図10のサンプルに対して、反射率からパターン展開係数（水の展開係数  $C_w$ 、土壌の展開係数  $C_s$ 、植生の展開係数  $C_v$ ）、植生指標を求めた。土地被覆毎の展開係数と植生指標を図11に示す。

9月は植生の活性度が比較的高いので裸地と植生は  $C_s$ , MVIUPDに違いがある。次に植生についてのみ考える。忌避型植生の *Tanacetum* の  $C_s$  は、放牧型植生と採草型植生に比べて低く、MVIUPDは高い。湿地は特徴的に *Tanacetum* と非常に似ているが、 $C_w$  で違いが見られる。9月の長草はほぼ刈り取られているが、長草と短草はMVIUPDに違いがある。

以上より、衛星データの解析から、Talturuの土地利用形態について、放牧型植生、採草型植生、忌避型植生、湿地および裸地について区分でき、空間的に把握できる可能性が明らかとなった。

## 4 考察

内モンゴルの農地開拓の広がりによる放牧地の縮小や定住政策などによって、集落の典型的遊牧生活方式は季節毎の移動から夏季だけの移動、さらに完全定住の集落化へと変化



展  
開  
係  
数

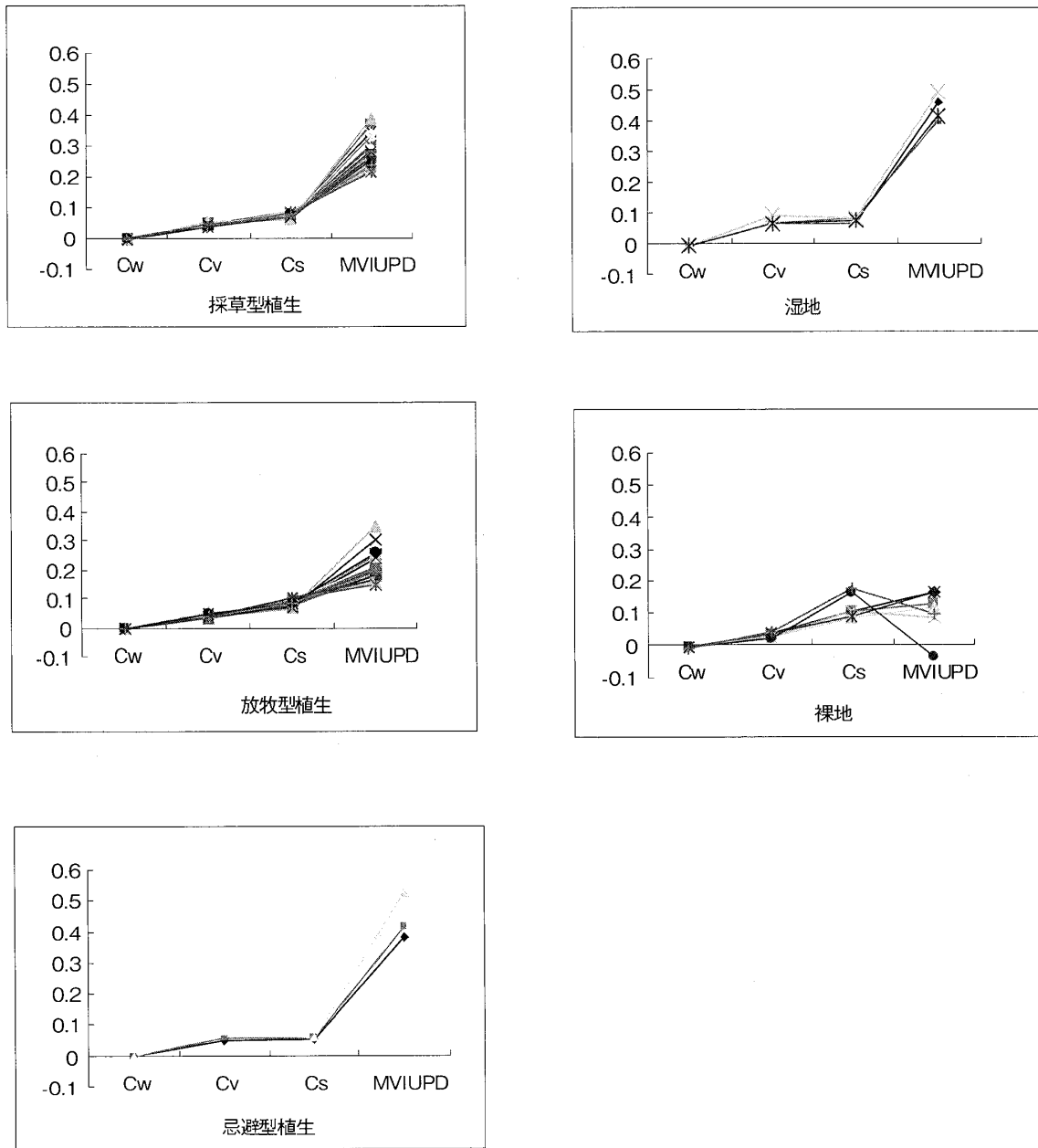


図11 採草型植生，放牧型植生，忌避型植生，湿地および裸地における展開係数と植生指標の特徴. 図中の Cw, Cv, Cs, MVIUPD は水の展開係数：Cw, 植生の展開係数：Cv, 土壌の展開係数：Cs および植生指標：MVIUPD

していった。生活様式の変化に伴い，草原の利用形態および保全管理なども大きく変化してきたといえよう。

草原においては砂漠化や退化の要因は必ずしも一様ではない。地形の起伏や地下水位の高さによる自然的要因と地球温暖化，気候変動による降雨量の減少，自然災害の増加など過剰な経済活動による社会的要因，放牧方式の違いによる人為的要因，草原の保全活動に

よる政策的要因などのさまざまな要因が複雑に絡みあって起こる。とくに近年、草原を取り巻く環境は自然環境、社会環境ともに大きく変容しつつある。

今回のTalturuにおけるヒアリング調査は、人間の生活スタイルの変容が草原景観をも変化させることを示唆するものであった。さらに自然環境変化は、家畜頭数の急激の増加だけに起因するのではなく、その背景にある政策、生活方式、利用形態、保全管理変化の社会的要因も複雑に絡み合っていると考えられる。

草原の群落調査において、放牧エリアでは科数および種数ともに、採草エリアに比較して低く、採草エリアでは50種以上が確認され、比較的多様な草原であることが示唆された。その一方、草原退化指標植物である*Artemisia frigida*<sup>9)</sup>の侵入が二つのエリアにおいて同時に見られた。放牧圧の違いによる草原の群集組成の違いが報告されているが<sup>5)</sup>、*Aneurolepidium chinense*, *Stipa grandis*, *Artemisia frigida*, *Carex korshinskii*, *Potentilla acaulis*といった弱い放牧圧と強い放牧圧の指標種となる種が混在して生育していた。これは、放牧圧の違いだけでなく、所有権において政策が転換し、放牧地と採草地に共有と個人所有の管理方式が同時存在すること、近年の降雨量の減少など、要因が複合していることにも起因すると考えられた。

利用形態の相違により貧弱化した放牧エリアとなり、春、夏、秋の3シーズンにわたって放牧が行われ、生産力と収容量は厳しさを増している。したがってこうした近年の管理体制の変化は、草原の退行、そして裸地化を招く要因になることが危惧される。比較的良好的な状態を保っている採草エリアにおいても生産量が減少しているのは、降水量の減少が要因として考えられる。採草エリアは越冬飼料供給のためにだけ利用されているが、栄養価は低くなり、このような利用形態ではその利用価値が十分に果たされていないのが現状である。

放牧草原においては、家畜の嗜好性および栄養性の高い植種割合が高いことが、高い評価につながる。さらに群落構成種の中に、どのような種類が多いかによって評価される側面もある<sup>6)</sup>。

定住化政策により遊牧の生活方式は集落方式に変化し、水場と草の分布が一致しない空間を柔軟に利用する遊牧の合理性<sup>6)</sup>が失われ、限られた草地を高度に利用するため定住地周辺では過放牧状態になり、移動によって植物を季節的に選択する家畜の栄養バランスの吸収も低下したことになる。利用形態の変化では、草地所有権の共有と個人所有が同時に存在するため、共有型の過剰な利用を招き、草地退化、砂漠化の引き金になっている。保全管理対策はある程度成果をあげたが、草原の自然、社会環境を全体的に見渡すマクロな視点と長期的な計画とは言えない。交通の発達に伴う粗末なメンテナンスや治安悪化、

薬草盗掘なども草地破壊を招いていることが、ヒアリング調査から示唆された。

## 5 結論

本研究では集落レベルで内モンゴル草原の砂漠化問題を、人間の生活スタイルの変遷との関係でとらえるために、潜在的要因と顕在的要因に分けて整理し、砂漠化との関係を検討した。環境の広域的評価手法としてALOS衛星を用いたリモートセンシングによる植生解析によって、空間的に土地利用形態を把握することが有効であることが明らかとなった。

植生の現地調査とヒアリング調査によって、増加する自然災害、家畜頭数の近年の急増といった側面だけでなく、定住化政策による地域の人々の生活様式の変遷とそれに伴う利用形態、保全対策、維持管理などの変化がもたらす草原景観や草地群落の多様性との関連性に新しい知見を得ることができた。さらに草原の植生図化など広域的な環境評価手法として、ALOS衛星画像による解析と現地調査の融合はきわめて有効であると考えられた。

## 謝辞

本研究において、植物種名の同定にあたり、御指導と御協力を頂いたバヤンジルへ自然保護区のビシリト氏、ヒアリング調査をご快諾いただいたTalturuの皆様と植物調査に多大な御協力を頂いたAshan氏、Higan氏に厚くお礼申し上げます。

## 引用文献

1. Bao, Yuhai, Yinshan, Alatengtuya, LEI Jun. 2005. Study on the Dynamics of Land Desertification in the Middle Part of Inner Mongolia. 季刊地理学, 58 : 114-115.
2. 伊藤操子・放 敏・伊藤幹二. 2006. 内モンゴル草原の現状と課題. 雑草研究, 51: 256-262.
3. 川村 健介・秋山 侃・横田 浩臣・安田 泰輔・堤 道生・渡辺 修・汪 詩平. 2005. 「草原生態系の保全と持続的利用にむけて：衛星モニタリングとGPS/GIS (特集2. 大規模長期生態学研究とは何か?)」. 日本生態学会誌, 55 : 327-335.
4. Muramatsu, K. S. Furumi, A. Hayashi, N. Fujiwara, M. Daigo, and F. Ochiai. 2000. Pattern decomposition method in the albedo space for landsat/TM and MSS data analysis, I. J. Remote Sensing, 21 : 99-119.
5. Nakamura, T. T. Go, Wuyunna and I. Hayashi. 2000. Effects of grazing on the floristic composition of grasslands in Baiyinxile, Xilingole, Inner Mongolia.
6. 賽西雅拉図・酒井啓・小泉武栄. 2007. 中国・内モンゴルのアバガーホシュー草原における飼育家畜の密度と草原荒廃の関係. 東京学芸大学紀要人文社会科学系 II, 58 : 21-35.

7. 関根良平・ソドスチン・小金澤孝昭. 2006. 中国内モンゴル自治区における草地利用の現状—経済発展と環境政策との関連から—, 季刊地理学, 58 : 116.
8. 内モンゴル師範大学院生物学科・内モンゴル教育出版社自然科学編集室. 1976. 「種子植物図鑑」, 内モンゴル教育出版社. 1825pp.
9. 烏雲那・中村徹・林一六. 1999. 内モンゴル草原における群落の種多様性と現存量. 日本草地学会誌, 45 : 140-148.
10. Xiong, Y., L.Chen, S. Furumi, K. Muramatsu, M. Daigo, and N. Fujiwara. 2005. Estimation of global terrestrial net primary production using ADEOS-II/GLI data, SPIE Proc., Vol. 6043, 604313- 1 -12,
11. 安田泰輔・塩見正衛・高橋繁男. 2003. 異なった放牧圧における半自然草地の空間的不均一性の差異. 日本草地学会誌, 49 : 101-108.
12. Zhang, L. F., S. Furumi, K. Muramatsu, N. Fujiwara, M. Daigo, L. P. Zhang. 2006. Sensor-independent analysis method for hyper-multispectral data based on the pattern decomposition method, I. J. of Remote Sensing, 27, Nos. 21-22 : 4899-4910.