中国毛烏素沙地における衛星画像を用いた放牧圧の推定

國友淳子¹・森本幸裕²

大阪府立大学大学院農学生命科学研究科 599-8231 堺市学園町 1-1

(¹kunitomo@envi.osakafu-u.ac.jp, ²yuki@envi.osakafu-u.ac.jp)

Estimation of grazing intensity using remote sensing data in Mu-Uss desert, China

Junko KUNITOMO¹, Yukihiro MORIMOTO²

Graduate School of Agriculture and Biological Science, Osaka Prefecture University, 1-1 Gakuen-cho, Sakai
599-8231 Japan

はじめに

中国内蒙古自治区にある毛烏素沙地は半乾燥地域であり、モンゴル民族が多く定住し、主に牧畜業が行われている。この地域は歴史時代の戦争や過放牧、粗放な開墾等、人為的要因により砂漠化が進行した。現在では、定住化政策や1980年代前半の人民公社の解体と農業生産責任制により、1人あたりの羊の平均所有数が増大した（内蒙古沙漠開発研究会, 1992）た。これは地域住民が経済的に自活していくために必要なことであるが、過放牧による植生の過剰利用や気候変動にともなう植生の退行が危惧されており、生態的にバランスのとれた土地利用システムを考える必要がある。

本研究では現地の牧農家から放牧に関する聞き取り調査を行うことにより、現在の放牧状況を把握し、その結果と衛星画像データを組み合わせて、地域の植生がどの程度の放牧インパクトをうけているかを推定した。

調査対象地の概要

調査対象地は中国内蒙古自治区のオルドス高原（標高1,000～1,500 m）南部に、400万haに渡って広がる毛烏素沙地である（図1）。大小の半月型砂丘が存在し、砂丘砂は冬期および春期の北西風によって移動する。気候条件は、年平均気温6.4℃、年平均降水量362mmであり、降雨は6～9月に集中する。

毛烏素沙地に成立する植生は、土壌・地形等と強く結びついて成立している。地形を基礎とした土地類型は、移動砂丘地・固定砂丘地・半固定砂丘地・湿性草原・波上高平原に分類される。SPOT/HRVデータを用いて11クラスに教師付き分類したものを、図2に示す。植被がほとんど見られない移動砂丘地（moving sand dune）が全体の約30%を占め、その周辺に半固定砂丘地（semi fixed sand dune）や

図1. 調査地

低密度草原（sparse grassland）が広がる。植生量が少ないこれらのクラスに接して、固定砂丘地に成立する常緑樹林・灌木林（evergreen forest / shrub）や灌木林（shrub）、湿性草原に成立する放牧草原（meadow）、高茎草原（reedswamp）といった植生量の多いクラスがモザイク状に存在している。

研究方法

1. アンケート調査

内蒙古自治区伊克昭盟烏審旗図克蘇木桃包の地域の牧農家に対して、土地利用方法に関するアンケート調査を行った。図克蘇木は毛烏素沙地の北東部に位置し、面積109,580ha、1991年における世帯数は968戸であった。調査は1999年の8月下旬に、毛烏素沙地開発整治研究センターの近隣に定住する7戸の牧農家の、実際に農牧業に従事している人を対象に行った。アンケートを行った牧農家の緯度経度をGPSカメラを用いて測定し、図2に示した。アンケートの内容は、所有地面積、家畜頭数、土地利用の方法に関する設問、緑化活動に関する設問などである。聞き取りを行った7戸は、所有地面積から判断して、この地域の小規模から大

図2. アンケート調査を行った地域の土地被服分類図

規模な牧農家をカバーしている。

2. SPOT/HRV データを用いた現存量の推定

放牧地における現存量の推定には、1997年6月22日に撮影されたSPOT/HRVデータ(空間分解能: 20 m)から作成したNDVI画像とTSAVI画像を用いた。湿性草原(meadow, reedswamp, wet lowland)の地上部現存量および固定砂丘地に成立する落葉樹林(deciduous forest)および落葉灌木(deciduous shrub)の同化部器官の現存量を以下の式より計算した。

・湿性草原:

$$\text{地上部現存量} = 589 \times \text{NDVI} - 18.6 \quad (r=0.74)$$

・固定砂丘地:

$$\text{地上部現存量 } y_1 = 68.12e^{4.00TSAVI} \quad (r=0.70)$$

$$\text{同化部現存量 } y_2 = 29.22e^{0.003y_1} \quad (r=0.75)$$

地上部現存量を推定するために、湿性草原と固定砂丘地で用いた植生指数が異なる(NDVIとTSAVI)のは、各指数と地上部現存量との相関を調べ、相関係数の高い方を選択したためである。バイオマス量の推定は、アンケート調査を行った牧農家のある地域を含む12km×12kmの範囲で行った。

結果および考察

1. 放牧に関するアンケート結果

毛烏素沙地開発整治研究センターの近隣に住む牧農家を対象に行ったアンケート調査の結果を表1に示す。

定住年数は各牧農家によって異なっており、約

表1. アンケート調査結果

		NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	平均
定住年数		17	約100	33	約100	37	43	約90~100	
家族人数		3	4	4	5	5	5	5	4
所有地面積	灘地	25.2(27)	86.7(33)	33.3(25)	66.2(25)	13.3(22)	36.2(27)	32.8(25)	42.0±25.4
(ha)	固定砂丘地	18.1(19)	93.3(35)	31.3(24)	66.2(25)	10.0(17)	36.2(27)	32.8(25)	41.1±29.0
() 内は割合	耕地	3.3(4)	6.7(3)	2.0(2)	2.0(1)	0.9(2)	0.8(1)	1.0(1)	2.3±2.1
	流動砂丘地	46.7(50)	80.0(30)	66.7(50)	132.4(50)	35.7(60)	60.0(45)	66.7(50)	69.7±31.2
	合計	93.3	266.7	133.3	266.7	60.0	133.3	133.3	155.2±80.8
灘地の数		2	2	2	2	1	2	2	
家畜	羊	150(24)	380(80)	200(40)	110(40)	100(30)	170(50)	100(20)	174.4±97.7
() 内は1年	ヤギ				40	4		3	
に売る頭数	牛	35(5)	30(5-6)	0	20(2-3)	6(1)	6(2)	4	14.4±13.9
	豚	6	4	3	4	4	2	2	3.6±1.4
	鶏	40(20)	0	30	0	0	7	0	11.0±16.8
放牧地あたりの	(羊+ヤギ)/ha	3.5	2.1	3.1	1.1	4.5	1.9	1.6	2.5±1.2
家畜頭数	牛/ha	0.8	0.2	0.0	0.2	0.3	0.1	0.1	0.2±0.3
灘地あたりの	(羊+ヤギ)/ha	6.0	4.4	6.0	2.3	7.8	4.7	3.1	4.9±1.9
家畜頭数	牛/ha	1.2	0.3	0.0	0.3	0.5	0.2	0.1	0.4±0.4
固定砂丘地	(羊+ヤギ)/ha	7.0	3.2	5.1	1.7	7.4	3.3	2.5	4.3±2.2
あたりの家畜頭数	牛/ha	1.7	0.3	0.0	0.3	0.5	0.1	0.1	0.4±0.6
生産穀物の種類		トウモロコシ, ムギ	トウモロコシ, アワ	トウモロコシ, アワ	トウモロコシ, アワ	トウモロコシ, アワ	トウモロコシ, アワ	トウモロコシ, アワ	
		ジャガイモ			ジャガイモ	ジャガイモ	ジャガイモ	黒豆	
穀物生産を始めた年		1987	1980	1982	1982	1983	1982	1980年代始め	

100年という牧農家もあったが、NO. 3, 5, 6のような解放後の大躍進の頃やNO.1のように人民公社解体後に入植してきた牧農家が多いと思われる。所有地面積は、古くから定住している農家では2000ムー(133ha)以上を有していた。放牧ができない流動砂丘地の面積割合は平均 $48 \pm 9.1\%$ で、この値は図2の流動砂丘と半固定砂丘地を合わせた面積割合(45%)と類似しており、これらの土地は放牧地として利用していないことがわかる。

土地利用のローテーションについては、全牧農家で夏期(5～10月)と冬期(11～4月)に分けてローテーションを行っており、夏期は湿性草原、冬期には固定砂丘地を利用していた。湿性草原は、図2の土地被覆タイプのmeadowやreedswamp, wet lowlandである。湿性草原を1つしか持っていない牧農家は、その1つに全ての羊・ヤギを放牧し、2つある牧農家では、3カ月、2カ月、または15日ごとに輪換放牧を行っていた。冬期に利用する固定砂丘地の土地被覆タイプは、図2のdeciduous forestやshrubであり、牧羊は油蒿や沙柳(*Salix cheilophila*)の枯葉を採食し、さらに夏の間に刈り取った旱柳(*Salix matsudana*)の葉を飼料にしていた。羊・ヤギの平均家畜頭数をみると、放牧地(湿性草原と固定砂丘地)では、 2.5 ± 1.2 頭/ha、湿性草原では羊・ヤギで 4.9 ± 1.9 頭/haであった。1990年の図克蘇木の統計資料から計算した平均家畜頭数は、1.2頭/haであり、増加傾向にあると考えられる。この家畜頭数について、毛烏素沙地と類似した気象条件の内蒙古自治区内のカルチン沙地(平均気温 6.4°C 、降水量372mm)において行われた実験を参考に評価をしてみる。放牧頭数を3段階(6頭、4頭、2頭/haと禁牧区)に設定して5月～9月に5年間、放牧を行った実験では、禁牧区の現存量が 350 g/m^2 であるのに対し、6頭/ha程度の放牧圧で 30 g/m^2 程度まで減少した。また、起伏量・比高の大きい場所では4頭/ha程度の放牧圧でも裸地化が始まるという結果が報告されている(大黒・根本, 1996)。これらから判断すると、NO.1や5の牧農家では、平均家畜頭数が大きく、これ以上の家畜の増加は、湿性草原における植生退行を起こす恐れがあると予測される。

緑化活動に関する設問では、流砂固定のために全牧農家で毎年、流動砂丘地や固定砂丘地に旱柳や沙柳の挿木造林を行っていた。また半固定砂丘地には、樺条(*Caragana korshinskii*) (挿木)、楊柴(*Hedysarum mongolicum*) (種子と挿木)、油蒿

(*Artemisia ordosica*) (挿木)による緑化を行っていた。牧草として利用するために、固定砂丘地および湿性草原にマメ科の草木栖(*Melilotus suaveolens*)、沙打旺(*Astragalus adsurgens*)を植えていた。

農業生産についてみると、どの牧農家も畑地を持ちトウモロコシ(飼料用)やアワ(食用)、ジャガイモ(食用と飼料用)を主に栽培していた。農業生産を始めたのは1980年代初頭であり、その面積を徐々に広げてきている。開墾を行う場所は固定砂丘地と灘地の間であり、耕作には地下水を汲み上げて灌漑を行っている。

今後の要望については、舎飼による安定した牧畜経営を行いたいという牧農家が多かった。そのために、飼料用作物用の畑地を拡大し、沙柳や旱柳などの植林をさらに進めていくことを目標にしていた。

2. 衛星画像による放牧地の現存量の推定

湿性草原(夏期の放牧地)の同化部現存量画像および固定砂丘地(冬期の放牧地)の同化器官現存量の画像から求めた湿性草原の平均地上部現存量は 220 g/m^2 、固定砂丘地の同化器官の平均現存量は 51 g/m^2 であった。

次に現存量画像を用いて、湿性草原における放牧のインパクトを以下の式(Imanaga et al., 1998)から求めた。

$$\cdot \text{被食量}(\text{g/m}^2) =$$

$$\text{放牧頭数}(\text{頭数/m}^2) \times 1500 \text{ g} \times \text{放牧日数}$$

$$\cdot \text{生産量}(\text{g/m}^2) =$$

$$\text{被食量} + \text{平均地上部現存量 (画像値)}$$

$$\cdot \text{負荷率} = (\text{被食量} / \text{生産量}) \times 100$$

衛星画像から作成した現存量画像の値は、家畜による被食量が引かれた値である。そこで被食量として羊が1日に食べる草量を1500 gとし、牛については1頭を羊5頭に換算して、放牧日数は夏期に湿性草原で放牧を行う日数を入れて計算した。生産量は被食量に平均地上部現存量(画像値)を加算して求めた。これは衛星画像が撮影された6月24日の地上部現存量を夏期の増加量とみなして計算したものである。このようにして求めた被食量と生産量から負荷率を求めた。今回の現地調査では各牧農家の所有地の境界線を把握できなかったため、GPSで測定した牧農家の家の位置付近における平均現存量値を用いた。

計算した値を表2に示す。被食量は牧農家ごとの湿性草原あたりの平均家畜頭数(頭/ha)によって異なる。負荷率は平均44%で、32%～56%まで

表2. 夏期の湿性草原における植生への負荷率

	NO.1	NO.2	NO.3	NO.4	NO.5	NO.6	NO.7	平均
被食量 (g/m ²)	329	161	166	104	278	152	104	185±896
生産量 (g/m ²)	590	306	390	327	500	428	282	403±112
負荷率	0.56	0.53	0.42	0.32	0.56	0.36	0.37	0.44±0.10

の幅がある。被食量が大きいNO.1やNO.5で、負荷率も大きい値を示したが、NO.2のように被食量が小さくても負荷率が高い湿性草原もあることがわかる。これは、湿性草原ごとに放牧可能な容量が異なっていることやこれまでの放牧圧が高かったために植生量が減少してきていることが推測される。単に放牧頭数からだけでは判断しにくい過放牧の影響を、衛星画像から求めた現存量の値を用いることによって、放牧による負荷率から定量的に各牧農家ごとに判断できる。

各牧農家の平均地上部現存量(画像地)と生産量の関係から回帰式($y = 1.77x + 21.96$, $r = 0.73$)を求め、湿性草原の現存量画像に適用した。そこで得られた画像から、この地域の平均生産量は410 g/m²、平均被食量191 g/m²、平均放牧頭数の羊、ヤギが5.4頭/ha、負荷率は0.48であった。画像から推定した湿性草原における放牧頭数および負荷率のヒストグラムを図3に示す。放牧頭数は4～6頭/haでピークがみられる。1991年の図克蘇木のデータから求めた湿性草原における平均放牧頭数は、2.7頭/haであり、この地域で放牧頭数が増加していることが予想される。負荷率のピークは、0.46～0.47であるが0.58という高い負荷率を示すピクセルもあり、放牧圧の強い地域があることがわかる。

以上のような手順で、アンケート調査の結果をもとに、衛星画像から生産量、被食量、放牧頭数、負荷率を求め、どの地域で過放牧の恐れがあるか、推定できることが示唆された。しかし、今回はアンケートのサンプル数が少なく、また裸地化がおき

る湿性草原の被食量の上限が明らかになっていない。今後は、サンプル数を増やし、湿性草原において裸地化が進む位置での放牧頭数を明らかにする必要がある。

まとめ

放牧地における砂漠化・土地荒廃の進行は、植生の退行によるものであるが、これを防ぐためには、適切な放牧頭数の管理を行うことにより、植生を保全しなければならない。その場合、いくつかの放牧地を利用してローテーションシステムを取り入れ、どれくらいの放牧強度と時間間隔でローテーションすれば、持続的な家畜生産を行えるのかを検討する必要がある(Forman, 1995)。アンケート調査を行った地域では、夏期と冬期で放牧を行う土地類型が異なっており、また灘地を2つ以上所有している牧農家では、夏期に輪牧放牧を行っていた。輪牧放牧は放牧のインパクトを分散させるのに効果的であり、家畜は植物種に対して嗜好性があることから(根本ほか, 1994)、それらの集中的な減少を緩和させることができる。しかし、湿性草原を2つ所有している牧農家は輪換放牧ができるが、1つしか湿性草原を持っていない牧農家は輪換放牧ができない。このような場合、家畜頭数を増加していくことは難しい。また、負荷率画像からは、所有地面積が小さい牧農家では、負荷率が高い傾向があると思われ、放牧方法に工夫が必要である。

聞き取りを行った1999年は干ばつ年であり、干ばつ年の状況と牧農家の取り組みを聞き取ることができた。No1の牧民は、今年は乗り切れても来年の春までには餓死する羊が出るだろうとのことだった。干ばつ年の対応としては、売却する時期をいつもよりも早くしたり、また売却する頭数を増やすとの返答が得られ、干ばつ年の翌年は、家畜頭数が維持できていないことがわかった。このような半乾燥地域では、数年に1度の干ばつが起こることは必至であり、その対処方法を考える必要がある。

家畜頭数を維持したままで干ばつ年を乗り切る

図3. 画像から推定した放牧頭数と負荷率ヒストグラム

ための方法としては、灘地に一定期間の禁牧区を設置すること、湿性草原と固定砂丘地における緑化等があげられる。禁牧区の設置によって、植物生産量の増大と種組成の変化が見込まれており (Mwendera *et al.*, 1997; 農水省農業環境技術研究所・農業総合研究所), これは有効な方法であると考えられる。本調査地においても、植生タイプごとに禁牧区の設置を行って、種組成および現存量の違いを測定している。湿性草原から半固定砂丘地への移行帯に設置した禁牧区において、設置1年後の現存量は、隣接する放牧区に比べて増加していた。また、家畜の嗜好性の低い種の減少が確認された。しかし、ある程度の放牧圧は、現存量を増加させるのに必要であると考えられるため、今後は効率的に湿性草原が使われるためには、どの程度の禁牧期間が必要であるかを明らかにしなければならない。また、この地域では、放牧地として利用できる土地をほぼ全面的に利用している。このような所で、生物多様性の保全を考えていくためにも、禁牧処理によるその効果を調べていく必要がある。

高解像度衛星画像を利用した放牧圧の推定では、画像を経年的に利用して、放牧圧の高い場所を正確に把握することによって、土地荒廃を防ぐことができるものと考えられる。今後は、これらの結果から、植生保全に向けた実地的な土地利用方法を考えていく予定である。

参考文献

- Forman, R. T. T. 1995. Land Mosaics. 632pp. Cambridge university press, New York
- Mwendera, E.J. *et al.* 1997. Vegetation response to cattle grazing in the Ethiopian highlands. Agriculture, Ecosystem and Environment 64; 43-51
- Imagawa, T. *et al.* 1998. Estimation of Biomass and Grazing Intensity for Grassland in Naiman, Inner Mongolia, China using Remote Sensing: Proceedings of Japan-China Workshop on Land Evaluation of Prevention and Remedies for Desertification
- 根本正之・大黒俊哉・徐 斌・趙哈林. 1994. 緬羊の放牧強度の違いが数種草原植物の生育に及ぼす影響. 日本草地学会誌, 40 (3) : 239-245
- 農水省農業環境技術研究所・農業総合研究所. 砂漠化防止対策適用効果の評価手法の開発に関する研究, 平成7年度～平成9年度: 環境庁地球環境研究総合推進費終了研究報告書. 63pp.
- 大黒俊哉・根本正之. 1996. 中国北東部半乾燥地域域の砂地草原における過放牧による植生退行過程. 環境情報科学論文集 10 : 31-36
- 内蒙古沙漠開発研究会. 1992. 中国の乾燥地における砂漠化防止に関する実証的研究. トヨタ財団助成研究報告書. 212pp.