

中国毛烏素沙地における衛星画像を用いた植生量および放牧圧の推定

誌名	ランドスケープ研究
ISSN	13408984
著者	國友, 淳子 吉川, 賢 森本, 幸裕
巻/号	63巻5号
掲載ページ	p. 531-534
発行年月	2000年3月

中国毛烏素沙地における衛星画像を用いた植生量および放牧圧の推定

Estimation of Vegetation Biomass and Grazing Intensity Using Remote Sensing Data in Mu-U's Desert, China

國友淳子* 吉川 賢** 森本幸裕***

Junko KUNITOMO Ken YOSHIKAWA Yukihiro MORIMOTO

摘要：中国内蒙古自治区の毛烏素沙地における持続的な土地利用を検討していくために、現地の牧農家から放牧に関するアンケート調査を行い、現在の放牧状況を把握した。また、その結果と衛星画像データ (SPOT/HRV) を組み合わせて、広域的な放牧圧の推定方法を検討した。その結果、放牧による土地利用では、夏と冬で利用する土地類型を換えていること、夏に2つの湿性草原を交互に利用していることがわかった。衛星画像から作成した現存量画像からは、放牧頭数からだけでは判断しにくい過放牧の影響を明らかにすることができた。現存量画像と植物生産量との回帰式を画像へ適用することにより、広域的な放牧負荷率の推定および特定地域の放牧管理に利用できることが示唆された。

はじめに

砂漠化および土地荒廃は、気候条件、土壌構造、地形などの自然的要因に加え、その地域の人口や土地利用形態などの社会経済的・人為的な要因によって引き起こされている。世界の乾燥地域で砂漠化/土地荒廃の影響を受けている土地利用形態は、灌漑農地、降雨依存農地、放牧地であり、そのうち放牧地(約33億3,300万ha)は最も広い¹⁾。このような人間活動による砂漠化/土地荒廃を防止するためには、植生の活性状況と人為的要因との関係を明らかにして、生態学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。

本研究の対象地域である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。近代では人民政府成立後、数回にわたる濫墾過牧が行われたために、さらに植生が退行し、流砂が増大した^{2),3)}。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⁴⁾。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いる。

これまでに筆者らは、衛星画像を用いて広域的な植生の活性状況の季節変動⁵⁾やさまざまなスケールで土地被覆分類図を作成し、毛烏素沙地のランドスケープ構造を示した⁶⁾。

本研究ではランドスケープ構造に沿った土地利用を検討していくために、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、ある地域の植生がどの程度の放牧インパクトを受けているかを推定した。

1. 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1,000~1,500m)南部に、400万haに渡って広がる毛烏素沙地である(図-1)。この地域の地質的基盤は、中生代起源の砂岩層であり、この風化物あるいは水侵食による堆積土砂が現在の砂の起源である²⁾。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景観に反映しており、移動砂丘地・固定砂丘地・半固定砂丘地・湿性草原・波上高原に分類される。SPOT/HRVデータを用いて行った教師付き分類図(図-2)では、現地の景観に類似した11クラスを確認した。各クラスの面積割合は、移動砂丘地が約30%を占め、ここでは植被がほとんどみられない。その周辺には砂漠化の危険性の高い半固定砂丘地や低密度草原が広がる。固定砂丘地では砂の移動は少なく、臭柏(*Sabina vulgaris*)の常緑灌木林や、油蒿(*Artemisia ordosica*)を代表種とする落葉灌木林が成立している。湿性草原では、イネ科のヨシ(*Phragmites communis*)、拂子茅(*Calamagrostis epigeops*)、寸草(*Carex stenophylla*)、キク科の*Potentilla sp.*などがみられる。

2. 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、

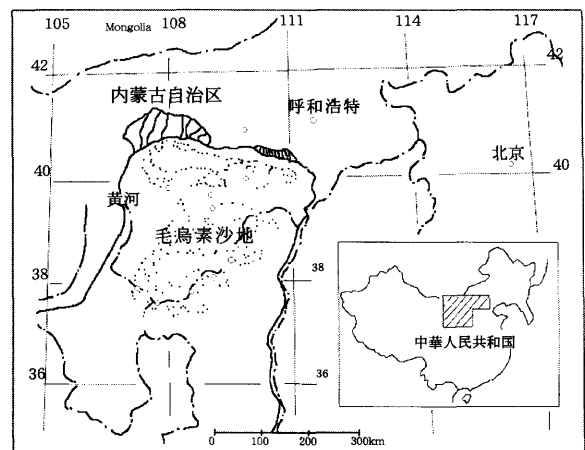


図-1 調査地

*大阪府立大学大学院農学生命科学研究科 **岡山大学農学部 ***大阪府立大学農学部地域環境科学科

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、また「今後どのように牧農業を発展させていきたいか」といった要望の設問も含めた。所有地面積は上記の土地類型ごとに聞いたが、ほとんどの牧農家は総面積と草場（湿性草原と固定砂丘地）についての概数（畝：ムー）または比率で記憶しているため、その数値を解析に供した。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規模な牧農家をカバーしている。

(2) SPOT/HRV データを用いた放牧地における現存量の推定

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：20m）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）の地上部現存量を求めるために、現地調査から得た湿性草原のNDVI-地上部現存量の回帰式⁷⁾を用いて、NDVI画像から地上部現存量画像を作成した。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）については、固定砂丘地に成立する群落（油蒿、沙柳、楊柴）のTSAVI-地上部現存量の関係を対数曲線にあてはめて回帰式を求め（図-3）、さらに飼料となる同化部現存量を推定するために、地上部現存量-同化部現存量の関係式（図-3）を用いて、TSAVI画像から同化部現存量の画像を作成した。植生指数TSAVI（Transformed Soil Adjusted Vegetation Index）は、低密度の植生被覆地域におけるバックグラウンド土壌の反射特性によるノイズを軽減するために考案された指数⁸⁾である。地上部現存量を推定するために、湿性草原と固定砂丘地を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。

3. 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

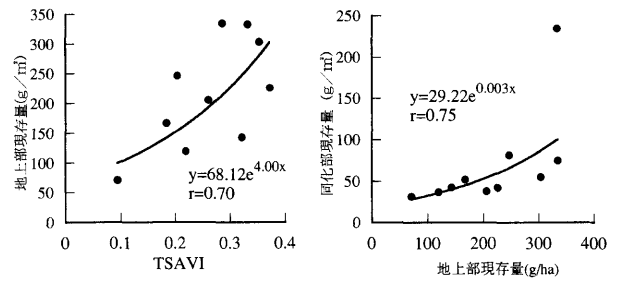


図-3 固定砂丘地に成立する植物群落のTSAVI-地上部現存量および地上部現存量-同化器官現存量の関係

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±9.1%で、この値は図-2の流動砂丘地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、さらに夏の間刈り取った早柳（*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、聞き取りによっても牧羊数は増加傾向にあるとのことだった。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モン自治区内のカルチン沙地（平均気温6.4℃、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350g/m²であるのに対し、6頭/ha程度の放牧圧で30g/m²程度まで減少した。また、起伏量・比高の大

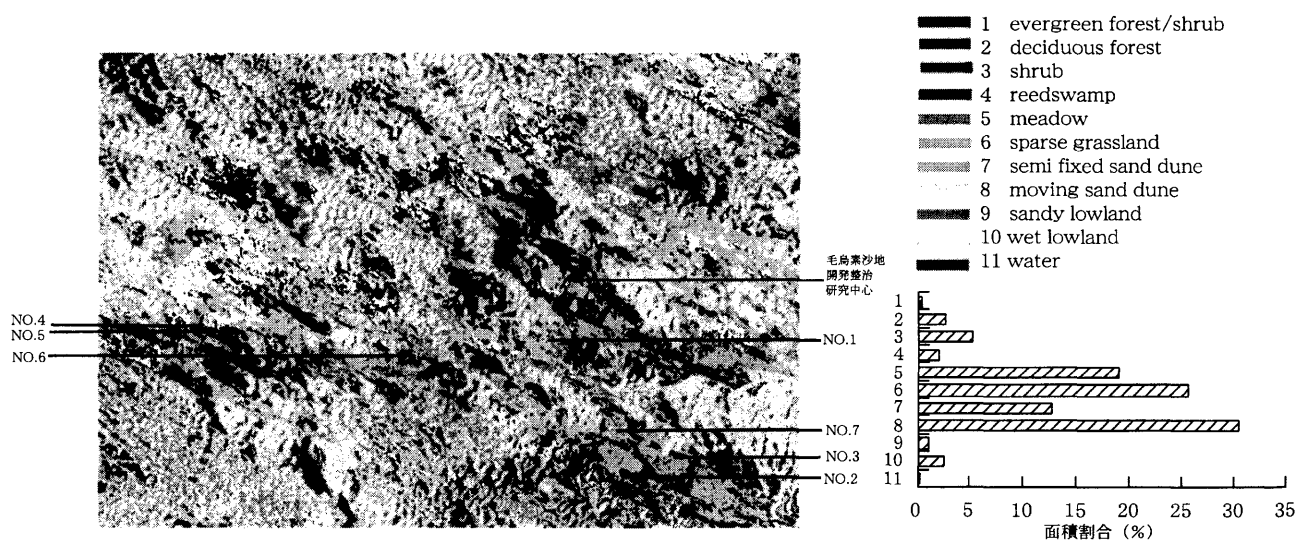


図-2 アンケート調査を行った地域の土地被覆分類図

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	
所有地面積(ha)	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
()内は割合								
湿性草原	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
固定砂丘地	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
耕地	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
流動砂丘地								
合計	93.3	266.7	133.3	266.7	60	133.34	133.34	155.2±80.8
湿性草原の数	2	2	2	2	1	2	2	
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±1.1
家畜頭数 牛/ha	0.8	0.2	0.0	0.2	0.3	0.1	0.1	0.2±0.3
湿性草原あたりの (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	1.9	0.3	0.0	0.3	0.6	0.2	0.1	0.5±0.7
農作物の種類	トウモロコシ, ムギ, ジャガイモ	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	トウモロコシ, アワ, ジャガイモ	トウモロコシ, アワ, ジャガイモ	トウモロコシ, アワ, ジャガイモ	
農業を始めた年	1987	1980	1982	1982	1983	1982	1980年代始め	

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^{9),10)}。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、これ以上の家畜頭数の増加によって、湿性草原における植生退行の恐れがある。

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早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 (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た。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く、飼料用作物のための畑地を拡大し、沙柳や早柳などの植林を行うことによって、飼料生産を増加させることを目標としていた。

(2) 衛星画像による放牧地の現存量の推定

夏期の放牧地である湿性草原の地上部現存量画像および、冬期の放牧地である固定砂丘地の同化器官現存量の画像を図-4に示す。この画像から求めた湿性草原の平均地上部現存量は220 g/m²、固定砂丘地の同化器官の平均現存量は51 g/m²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¹⁰⁾から求めた。

$$\text{被食量 (g/m}^2\text{)} = \text{放牧家畜頭数 (頭数/m}^2\text{)} \times 1,500 \text{ g} \times \text{放牧日数}$$

$$\text{生産量 (g/m}^2\text{)} = \text{被食量} + \text{平均地上部現存量 (画像値)}$$

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

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1,500g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カメラで調べ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。

これらの値を表-2に、また平均地上部現存量 (画像値) と生産量の関係を図-5に示す。表-2を見ると、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。図-5をみると、平均地上部現存量と生産量の間には、正の相関がみられる。負荷率は平均44%で、32%~56%までの幅がある。被食量が大きいの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大き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。

図-5の回帰式を湿性草原の現存量画像に適用して得られた値は、平均生産量410 g/m²、平均被食量191 g/m²、平均放牧頭数は羊、ヤギで5.4頭/ha、負荷率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-6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、

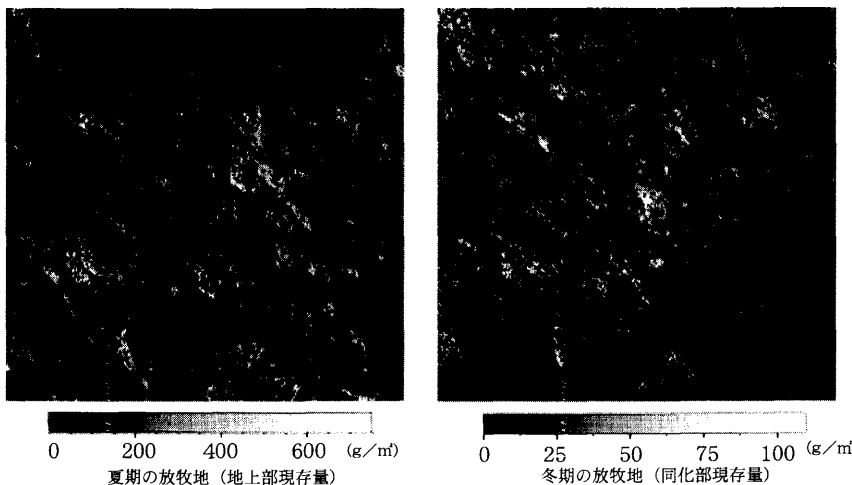


図-4 放牧地の現存量画像

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

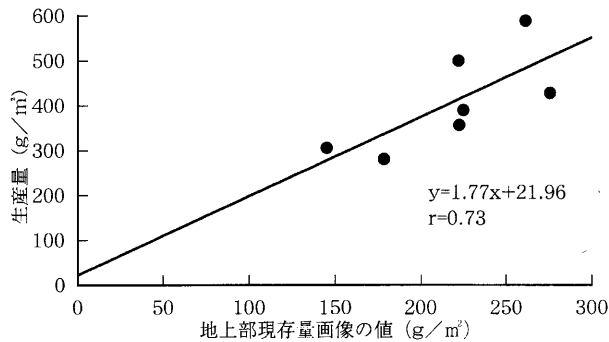


図-5 平均地上部現存量-生産量の関係

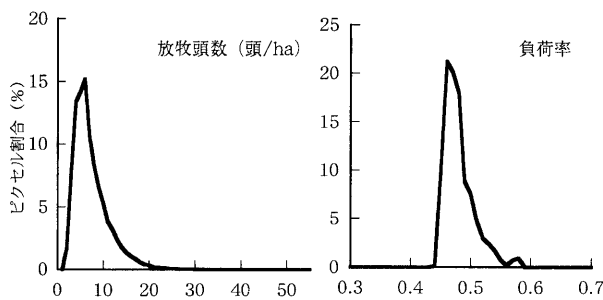


図-6 画像から推定した放牧頭数と負荷率のヒストグラム

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

参考文献

- 1) 地球環境研究センター (1997) : Data Book of Desertification / Land Degradation : 環境庁 国立環境研究所, 68pp
- 2) 小橋澄治 (1986) : 内蒙古自治区毛烏素沙地緑化利用の状況 : 緑化工技術 11(3), 15-22
- 3) 河野通博 (1988) : 中国における砂漠化とその防治についての覚書 : 地理学評論 61(2), 186-197
- 4) 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
- 5) 國友淳子・森本幸裕 (1999) : リモートセンシングによる中国毛烏素沙地における植生量の定量的評価と季節変動の解析 : 環境情報学論文集 13, 115-120
- 6) Junko Kunitomo・Yukihiro Morimoto (1999) : Vegetation monitoring using dif-
- 7) 國友淳子・森本幸裕 (1998) : 分光反射特性による毛烏素沙地植物群落の生育診断 : 日本造園学会誌 61(5), 577-580
- 8) Baret F・Guyot G. (1991) : Potentials and Limits of Vegetation Indices for LAI and Apar Assessment. Remote Sens. Environ. No.35, 161-174
- 9) 大黒俊哉・根本正之 (1996) : 中国北東部半乾燥地地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
- 10) 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 : 環境庁地球環境研究総合推進費終了研究報告書
- 11) Toshiaki Imagawa et al.(1998) : Estimati-

- on 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
- 12) 根本正之・大黒俊哉・徐 斌・趙哈林 (1994) : 綿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
- 13) Richard T.T.Forman (1995) : Land Mosaics : Cambridge university press, 632pp
- 14) E.J. Mwendera・M.A. Mohamed Saleem・Zerihun Woldu (1997) : Vegetation response to cattle grazing in the Ethiopian highlands : Agriculture, Ecosystem and Environment 64, 43-5

Summary : We conducted interview through questionnaires from stock farmers about the method of land use for stock farming in semi-arid region of Mu-U's desert in China. Additionally, land use method was evaluated by analysis of SPOT/HRV image of ground biomass using vegetation indices (NDVI, TSAVI). There is rotational type of land use; grassland on wet lowland is used for grazing in summer; in winter, deciduous forest and shrub on fixed sand dune are used. During summer, most farmers utilize the lowland grassland in alternation. Although it is possible to estimate over-grazing from the number of livestock only, by using biomass image and carrying capacity of the land, the grazing intensity of each land unit could be identified. Further, by applying regression analysis between biomass image and total production of a site, broad area estimation of grazing intensity is possible hence land planning for specific area can be carried out.

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。

4. 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¹³⁾。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¹²⁾、それらの集中的な減少を緩和させることができる。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く、草原の現存量を効率的に利用する方法を考えなければならない。その方法としては、灘地に1年または数年間の禁牧区の設置、湿性草原と固定砂丘地における緑化等があげられる。放牧を行わない期間を設けることによって、植物生産量の増大と種組成の変化が見込まれており^{11),14)}、有効な方法であるが、放牧区の放牧密度が高くなるためにおこる裸地化の程度を見極めて、土地荒廃に気をつけなければならない。ローテーションシステムについては、禁牧区を設置した場合の変化のデータや時系列の負荷率データを積み重ねることによって効率的に草地を利用できる方法を検討していく必要がある。

謝辞

現地調査の際、内蒙古農業大学、毛烏素沙地開発整治研究中心の方々および岡山大学坂本圭児先生ら調査隊のメンバーにご協力、ご指導を頂いた。ここに記して、感謝の意を表します。