

宮 崎 大 学 大 学 院
博 士 学 位 論 文

チベット高原におけるヤクとヒツジの放牧が草地植生に及ぼす影響に関する研究

学 位 授 与 2021年 3月

宮崎大学大学院農学工学総合研究科
資源環境科学 専攻

李 曉琴

第1章 序章.....	1
引用文献.....	2
第2章 青海チベット高原の放牧密度が高い草地における裸地発生状況について.....	4
緒 言.....	4
材料および方法.....	4
1. 調査地概況.....	4
2. 聞き取り調査.....	5
3. 植生調査.....	5
4. 地理情報システム解析.....	6
5. 統計処理.....	6
結 果.....	6
1. 放牧密度.....	6
2. 暖季放牧地内の6地点の1 m×1 m 方形区における植生調査結果.....	7
3. 暖季放牧地内の31地点の1 m×1 m 方形区における裸地率の調査結果.....	9
考 察.....	12
1. 放牧密度.....	12
2. 裸地率.....	13
引用文献.....	14
第3章 青海チベット高原の野草地におけるヤクとヒツジの放牧実験区における裸地率の変動.....	16
緒 言.....	16
材料および方法.....	17
1. 調査地概況.....	17
2. 放牧実験.....	17
3. 裸地率の調査.....	20
4. 統計処理.....	21
結 果.....	21
1. 放牧実験区における裸地率の変動.....	21
2. 放牧実験区外における裸地率の変動.....	24
考 察.....	25
1. 放牧草地の荒廃要因.....	25
2. 家畜種の違いによる裸地率の差.....	26
3. 裸地率の空間的変動.....	26
4. まとめ.....	27

引用文献.....	28
第4章 総合考察.....	30
引用文献.....	32
謝 辞.....	32
要 約.....	32

第1章 序章

チベット高原南部に位置する青海省玉樹チベット族自治州の草地総面積は 2010.13 万 ha で、そのうち、放牧に利用可能な面積割合は 58%であるが、植生の荒廃が生じている (曹ら 2011) . 衛星リモートセンシングによって青海省における広域の植生の状態がモニタリングされた結果、気候変化と放牧圧の変化が植生変化の原因であると考えられている (Liら 2013; Liuら 2004; Fanら 2010) . この植生の荒廃は、地球温暖化や人口増加、齧歯類によるダメージなどによって生じていると考えられているが、荒廃の程度の詳細や荒廃原因については不明な点が多い (Harris 2010) .

Fanら (2010)は、この地域の草地生態系の復元と持続的利用のためには、放牧圧 (特に冬季の) を減少させることが必須であると述べている. Harris (2010) は、過放牧は明らかに植生の荒廃の原因であるが、この荒廃がどのように生じるのかを知らなければ持続的な放牧利用に失敗するだろうと述べている. そのためには、植生の衛星リモートセンシングだけでなく、植生の現地踏査や農家への利用状況の聞き取り調査が必要であると考えられる.

近年の中国政府による遊牧民定住化政策により、野草放牧地は暖季と冬季の2季に分けて輪換放牧に利用されることが多くなったが、暖季放牧地の方が植生の荒廃が進んでいたことが報告されている (李ら 2007a; 曹ら 2011) . この植生の荒廃には、夜間繫留地からの距離 (李ら 2007b) , 放牧 (休牧) 期間や家畜行動、地形などが関係していると考えられているが、十分に明らかにはなっていない (曹ら 2011) . これは、植生の荒廃に深く関係する放牧密度 (grazing density) に関する情報がほとんど不明であることが一因であると考えられる.

また、チベット高原ではヤク (*Bos grunniens*) やヒツジ (*Ovis aries*) が放牧されているが、ヤクはグラミノイド (イネ科やカヤツリグ科の草本) を主体に採食するが、羊は広葉草本や樹木も多く採食するなど、採食植物が異なることが知られている (Shrestha と Wegge 2006; Caoら 2009) . 同様の現象は牛 (*Bos taurus*) とヒツジの場合にも知られている (Squires 1982; Grantら 1985) . また、バイトあたりの採食量が牛よりもヒツジで多く (Hodgsonら 1991) , 同じ放牧圧であっても牛よりもヒツジの方が土壌攪乱に与える影響が大きい (Betteridgeら 1999) など、牛よりもヒツジの方が放牧草地に与える影響が大きいことが知られている. ヤクは牛と同じ *Bos* 属に属する近縁種であり、ヤクとヒツジの間でも放牧草地に与える影響が異なる可能性が高いと考えられる. しかしながら、青海チベット高原ではヤクとヒツジを同時に放牧することが一般的であり、通常の放牧地での調査では、ヤクとヒツジが放牧草地に与える影響を区別して評価することは困難である. 過放牧による放牧草地の荒廃には、放牧季節や放牧家畜種の違いなどが影響すると考えられる.

このように、青海チベット高原では草地植生の荒廃が生じており、この草地植生の荒廃

は、裸地の増大による草量の減少によって家畜の生産量の減少をもたらしているが、荒廃の程度の詳細や荒廃原因については不明な点が多い。荒廃の程度の詳細や荒廃原因について知るためには、青海チベット高原における放牧密度と草地植生に関する詳細な調査が必要であると考えられる。

そこで、本論文の第2章では、青海省曲麻萊県の農家12戸に対して行った聞き取り調査により羊単位と放牧地面積から算出した放牧密度（羊単位/ha）を算出した。さらに、放牧密度が高かった農家の放牧地（暖季放牧地）において植生調査を行い、放牧地内での裸地発生による荒廃の程度の空間的変異を検討した（李ら 2020）。第2章での検討によって、暖季放牧地の放牧密度が通年にわたって高かったこと、もしくはヒツジの放牧が植生荒廃の原因であったことが示唆されたが、暖季放牧地は実際には通年にわたって混牧されているため、通年の放牧密度の高さやヒツジの放牧が植生の荒廃を進行させていたのか否かを知ることには困難である。そこで第3章では、第2章で植生調査を行った暖季放牧地にヤク放牧実験区とヒツジ放牧実験区を複数設定して放牧家畜間、ブロック間、調査回次間の裸地率の変動を調査することで、放牧地の荒廃要因を明らかにすることを試みた。これらの結果から、冬季の放牧が裸地率を増加させて草地植生を荒廃させた可能性が高いと考えられた。第4章では、以上の結果と既報の文献情報を総合的に検討し、青海チベット高原の草地荒廃を回復させる方策に関して考察した。

引用文献

- Betteridge K, Mackay AD, Shepherd TG, Barker DJ, Budding PJ, Devantier BP, Costall DA. 1999. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. *Soil Research*, 37: 743-760.
- Cao Y, Zhang T, Lian X, Cui Q, Deng D, Su J. 2009. Diet overlap among selected ungulates in Kekexili region, Qinghai province. *Sichuan Journal of Zoology*, 28: 49-54.
- Grant, SA, Suckling, DE, Smith, HK, Torvell, L, Forbes, TDA, Hodgson, J. 1985. Comparative studies of diet selection by sheep and cattle: the hill grasslands. *The Journal of Ecology*, 73: 987-1004.
- Fan JW, Shao QQ, Liu JY, Wang JB, Harris W, Chen ZQ, Zhong HP, Xu XL, Liu RG. 2010. Assessment of effects of climate change and grazing activity on grassland yield in the Three Rivers Headwaters Region of Qinghai-Tibet Plateau, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 170: 571-584.
- Harris RB. 2010. Rangeland degradation on the Qinghai-Tibetan plateau: a review of the evidence of its magnitude and causes. *Journal of Arid Environments*, 74: 1-12.

- Hodgson, J., Forbes, TDA., Armstrong, RH., Beattie, MM., Hunter, EA. 1991. Comparative studies of the ingestive behaviour and herbage intake of sheep and cattle grazing indigenous hill plant communities. *Journal of Applied Ecology*, 28: 205-227.
- 曹旭敏・長谷川信美・宋仁徳・李国梅・孫軍. 2011. ヤクの季節放牧休牧利用方式がチベット南部高原高山野草地植生と植物種多様性に及ぼす影響. *日本暖地畜産学会報*, 54: 71-77.
- 李国梅・長谷川信美・宋仁徳・井戸田幸子・王有良・馮生青. 2007a. チベット高原北部におけるヤク (*Bos grunniens*) の放牧季節の違いが金露梅 (*Potentilla fruticosa*) 優占草地の植物の種多様性と現存量に及ぼす影響. *日本家畜管理学会誌*, 43: 1-8.
- 李国梅・長谷川信美・宋仁徳・福田 明・李海珠・徐有学・徐寧. 2007b. チベット高原北部金露梅 (*Potentilla fruticosa*) 優占野草地におけるヤク (*Bos grunniens*) の暖寒 2 季輪換放牧地での夜間繫留地からの距離による植生の空間的変動. *日本家畜管理学会誌*, 43: 83-98.
- 李曉琴・宋維茹・宋仁徳・李国梅・山本直之・西脇亜也. 2020. 青海チベット高原の放牧密度が高い草地における裸地発生状況について. *日本暖地畜産学会報*, 63: 5-11.
- Li XL, Gao J, Brierley G, Qiao YM, Zhang J, Yang YW. 2013. Rangeland degradation on the Qinghai-Tibet plateau: Implications for rehabilitation. *Land Degradation & Development*, 24: 72-80.
- Liu Y, Zha Y, Gao J, Ni S. 2004. Assessment of grassland degradation near Lake Qinghai, West China, using Landsat TM and in situ reflectance spectra data. *International Journal of Remote Sensing*, 25: 4177-4189.
- Shrestha R, Wegge P. 2006. Determining the composition of herbivore diets in the trans-Himalayan rangelands: A comparison of field methods. *Rangeland Ecology & Management*, 59: 512-518.
- Squires VR. 1982. Dietary overlap between sheep, cattle, and goats when grazing in common. *Journal of Range Management*, 35: 116-119.

第2章 青海チベット高原の放牧密度が高い草地における裸地発生状況について

緒言

チベット高原南部に位置する青海省玉樹チベット族自治州の草地総面積は2010.13万 haで、そのうち、放牧に利用可能な面積割合は58%であるが、植生の荒廃が生じている(曹ら 2011)。衛星リモートセンシングによって青海省における広域の植生の状態がモニタリングされた結果、気候変化と放牧圧の変化が植生変化の原因であると考えられている(Liら 2013; Liuら 2004; Fanら 2010)。この植生の荒廃は、地球温暖化や人口増加、齧歯類によるダメージなどによって生じていると考えられているが、荒廃の程度の詳細や荒廃原因については不明な点が多い(Harris 2010)。

Fanら(2010)は、この地域の草地生態系の復元と持続的利用のためには、放牧圧(特に冬季の)を減少させることが必須であると述べている。Harris(2010)は、過放牧は明らかに植生の荒廃の原因であるが、この荒廃がどのように生じるのかを知らなければ持続的な放牧利用に失敗するだろうと述べている。そのためには、植生の衛星リモートセンシングだけでなく、植生の現地踏査や農家への利用状況の聞き取り調査が必要であると考えられる。

近年の中国政府による遊牧民定住化政策により、野草放牧地は暖季と冬季の2季に分けて輪換放牧に利用されることが多くなったが、暖季放牧地の方が植生の荒廃が進んでいたことが報告されている(李ら 2007a; 曹ら 2011)。この植生の荒廃には、夜間繫留地からの距離(李ら 2007b)、放牧(休牧)期間や家畜行動、地形などが関係していると考えられているが、十分に明らかにはなっていない(曹ら 2011)。これは、植生の荒廃に深く関係する放牧密度(grazing density)に関する情報がほとんど不明であることが一因であると考えられる。

そこで、本研究では、まず、青海省玉樹チベット族自治州曲麻萊県の牧畜経営農家を対象とした聞き取り調査によって放牧密度の平均値とバラツキを明らかにしたいと考えた。そして、放牧密度の高い放牧地を調査対象として選び、放牧地内のどの部分が荒廃しているのかを調査することによって、植生の荒廃に与える要因を明らかにすることを目的とした。

材料および方法

1. 調査地概況

調査対象地はヒマラヤ山脈の北側中国青海省チベット高原南部に位置する玉樹チベット族自治州曲麻萊県の標高4300 - 5000 mの野草放牧地である(図1: 東経92° 56' から97° 35', 北緯33° 36' から35° 40')。年降水量は380 - 470 mm, 年日照時間は2700時

間、年平均気温-3.3°C、植物成長期は6月から8月までである。放牧地は暖季放牧地と寒季放牧地とに分けて2季輪換(移牧)により利用している。



図 2-1. 調査地域の位置図

2. 聞き取り調査

2013年8月17 - 18日に、青海省曲麻菜県地域の放牧を行っている農家12戸を対象に行った。聞き取り項目としては、家畜の放牧頭数、放牧地面積や家畜の状態、家畜販売や今後の経営意向等とした。家畜単位は、中国で使われる家畜単位である羊単位（ヤク1頭は羊4頭に相当する）を用いた（Dongら 2015）。また、放牧地面積の面積は、中国で使われている単位である畝（1畝=1/15 ha）で聞き取りを行ったが、表ではhaに換算した数値も示した。放牧密度は放牧地面積（ha）あたりの羊単位として算出した。

3. 植生調査

上記の牧畜経営農家12戸の中で最も放牧密度が高かった農家の放牧地における植生の状況を知るために、2013年8月17 - 18日に、暖季放牧地において任意に配置した6地点の方形区(1 m×1 m)において、出現種数、群落高、出現種毎の被度(%)、裸地率(%)の測定を行った。これらの植生調査後に植物体を地際から刈取り、電子レンジを用いて恒量となるまで乾燥し、乾物重量を測定し、地上部現存量とした。さらに、この6地点の方形区の周辺の任意に配置した25地点の方形区(1 m×1 m)においては、デジタルカメラ(EX-H20G, カシオ計算機株式会社, 東京)で35 mmフィルム換算の焦点距離24 mmの設定で、方形区全体を約1.4 mの地上高から撮影した写真を用いて裸地率の測定を行った。全ての方形区(31地点)については、ハンドレベルを用いて斜面傾斜度を測定するとともに、携帯型GPS装置(GPSMAP 60CSx, Garmin International Inc., KS, USA)を用いてGPS座標

を記録した。さらに、夜間繫留地、寒季放牧地などの位置についてもGPS座標を記録した。

4. 地理情報システム解析

方形区や寒季放牧地、夜間繫留地などの位置はGISソフトQGIS 2.16.3 にGPS座標を読み込んで地図化した。非商業利用可能な中国の行政（省）境界や100 m等高線のデータは、DIVA-GIS (<http://www.diva-gis.org/datadown>) から入手して使用した。方形区から夜間繫留地や寒季放牧地までの距離は、各地点のGPS座標を用いてQGISの解析ツールである「距離マトリクス」を使って求めた。

5. 統計処理

裸地率や現存量、種数を目的変数とし、夜間繫留地や寒季放牧地までの距離、斜面傾斜度、標高を説明変数とする、回帰分析を行った。統計ソフトは R version 3.4.1を用いた。

結 果

1. 放牧密度

表1に聞き取り調査の結果を示した。ここで、番号は聞き取り調査の順番である。12戸の農家の家畜放牧頭数は、ヤクが平均121頭/戸（9 - 230頭/戸）、羊が平均340頭/戸（0 - 980頭/戸）であった。これらから算出した羊単位は平均822頭/戸（36 - 1780頭/戸）であった。放牧地面積は平均513 ha/戸（160 - 1133 ha/戸）であった。羊単位と放牧地面積から算出した放牧密度（羊単位/ha）は平均1.7頭/ha（0.1 - 4.1頭/ha）であった。放牧密度が最も高かったのは、表1の1番の農家であり、4.1頭/haであった。

12戸の中で、家畜販売収入を得ているのは5戸であり、残りの7戸は自家消費のみであった。しかし、この7戸の内、2戸は今後販売を志向していた。

家畜の発育状況は、1番と回答を得られなかった7番の農家を除き、全て良好であるとの回答が得られた。1番の農家からは、春は家畜の発育状況が良かったが今年の夏場は雨が少ないために草の生育が悪く家畜の発育状況が悪かったとの回答が得られた。

今後の増頭の意向がある農家（条件付きの2戸を含む）は6戸であり、5戸は現状維持の意向であった。2番の農家からはこの質問に対する回答が得られなかった。

表2-1. 調査農家の家畜飼養頭数、放牧地面積、放牧密度、家畜販売状況等

農家番号	放牧頭数 (頭 / 戸)			放牧地面積 (畝: 1/15 ha)	放牧地面積 (ha)	放牧密度 (羊単位/ha)	家畜販売状況	発育状況	増頭意向
	ヤク	ヒツジ	羊単位						
1	230	500	1420	5200	346.7	4.1	雌の淘汰分を 4000-5500 元 / 頭	春は良いが夏場は雨が少なく生育悪かった。	条件付きで増加
2	127	100	608	11500	766.7	0.8	今後販売も志向	良好	-
3	65	0	260	2800	186.7	1.4	販売無し (自家消費)	良好	条件付きで増加
4	9	0	36	9000	600.0	0.1	販売無し (自家消費)	良好	現状維持
5	100	300	700	7200	480.0	1.5	販売無し (自家消費)	良好	現状維持
6	20	0	80	2400	160.0	0.5	販売無し (自家消費)	良好	現状維持
7	120	0	480	-	-	-	販売無し (自家消費)	-	現状維持
8	60	0	240	2400	160.0	1.5	今後販売も志向	良好	増加
9	200	700	1500	17000	1133.3	1.3	ヤク 8 頭 (肥育), 羊 100 頭, 販売価格ヤク 4000 元 / 頭, 羊 800 元 / 頭	良好, 年 3 回移牧しているが, 草地区切って輪環放牧	増加
10	196	980	1764	8880	592.0	3.0	ヤク 8 頭, 羊 80 頭	良好, 2 回移牧	現状維持
11	220	900	1780	9480	632.0	2.8	ヤク 12 頭, 羊 60 頭, 4-5 歳 + 老廃ヤク販売	良好, 4 回移牧	増加
12	100	600	1000	8800	586.7	1.7	ヤク 13-14 頭, 羊 24-25 頭	良好, 4 回移牧	増加
平均	121	340	822	7696	513.1	1.7			

2. 暖季放牧地内の6地点の1 m × 1 m 方形区における植生調査結果

聞き取り調査の結果, 最も放牧密度が高かった農家(表1の1番)の放牧地で植生調査を行った。この農家の放牧地全体の面積346.7 haの内, 暖季放牧地は259.4 ha, 寒季放牧地は87.3 haであった。暖季放牧地では5月16日から11月14日まではヤク230頭と羊500頭を放牧し, 寒季放牧地では11月15日から翌年5月15日までの間に, ヤク40頭(雌)と羊200頭(雌)を放牧し, 放牧時間は午前8時から夕方6時までであった。

寒季放牧地にはほとんど裸地が観察されず, 暖地放牧地には裸地が多く観察された(写真2-1)。



写真2-1. 暖季放牧地(左)と寒季放牧地(右)の境界

この暖地放牧地内の6地点の1 m×1 m方形区における植生調査結果を表2に示した。この放牧地では16種が出現し、1位(最優占種)は*Kobresia parva*(平均被度53%), 2位は*Stipa purpurea*(平均被度23%), 3位は*Astragalus polycladus*(平均被度9%), 4位は*Kobresia tibetica*(平均被度7%)と続いた。

表2-2. 暖地放牧地内の6地点の1 m×1 mコドラートにおける植生調査結果

調査地点 (GPS 番号)	419		420		421		422		423		424		平均 草高 (cm)	平均被 度(%) 等
	種名	草高 (cm)	被度 (%)	草高 (cm)										
1 <i>Kobresia parva</i>	7.3	60	7.3	60	3.7	70	2.7	50	2.3	50	2.3	25	4.3	52.5
2 <i>Stipa purpurea</i>	11.7	25	14.0	25	15.3	25	11.7	30	11.0	20	12.0	15	12.6	23.3
3 <i>Astragalus polycladus</i>	3.0	25	3.0	25					1.0	1			1.2	8.5
4 <i>Kobresia tibetica</i>	2.7	2	2.7	2	11.3	5	8.7	2	10.7	10	10.0	20	7.7	6.8
5 <i>Poa crymophila</i>	11.0	15	12.0	1	15.0	5	10.0	3	14.0	2			10.3	4.3
6 <i>Kobresia humilis</i>	7.0	5	9.0	5	7.3	1	5.0	4	5.0	2			5.6	2.8
7 <i>Potentilla chinensis</i>	2.7	15			3.0	1							0.9	2.7
8 <i>Leontopodium nanum</i>	1.3	6	1.0	8	1.5	1							0.6	2.5
9 <i>Oxytropis ochrocephala</i>	7.3	7	5.0	3	3.0	1	3.7	1			5.0	2	4.0	2.3
10 <i>Oxytropis coerulea</i>			2.0	1	2.0	1	1.0	1	1.3	1	1.3	1	1.3	0.8
11 <i>Poa koelzii</i>									4.0	4			0.7	0.7
12 <i>Potentilla anserina</i>			2.7	3									0.4	0.5
13 <i>Taraxacum mongolicum</i>			2.0	2									0.3	0.3
14 <i>Gueldenstaedtia</i> sp.			1.0	1			2.0	1					0.5	0.3
15 <i>Stipa aliena</i>			3.3	2									0.6	0.3
16 <i>Potentilla nivea</i>			2.0	1									0.3	0.2
種数	9		14		9		8		8		5		8.8	
裸地率 (%)	10		8		17		20		30		45		21.7	
生重 (g)	127.1		186.1		139.7		111.8		79.7		50.7		115.9	
乾物率	0.48		0.48		0.57		0.62		0.65		0.60		0.56	
乾物重 (g)	60.9		89.1		79.8		68.9		51.4		30.2		63.4	

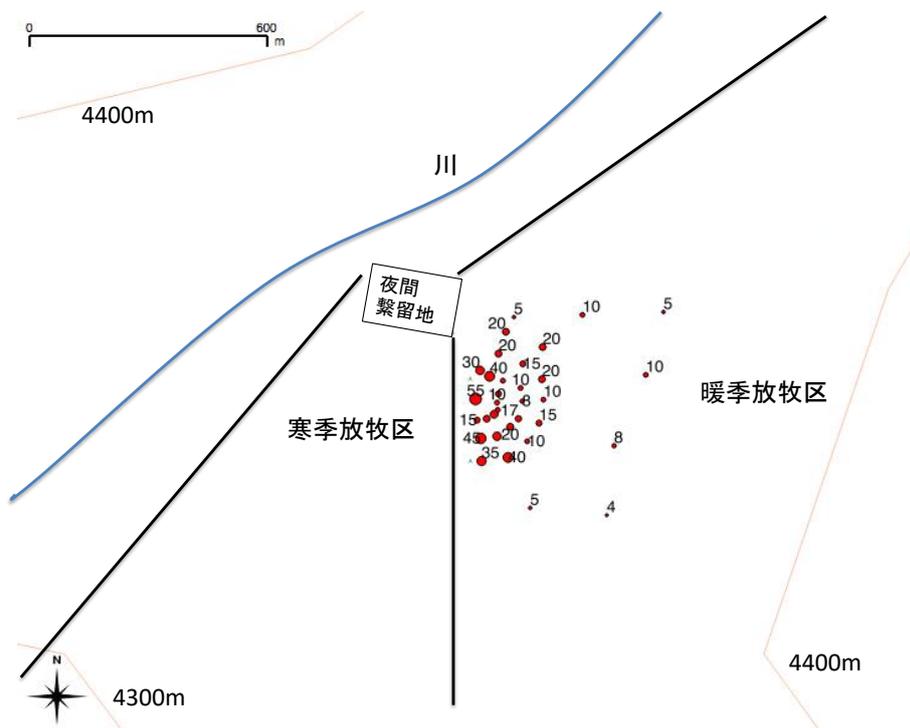


図 2-3. 調査対象農家1における調査地点毎の裸地率

詳細な植生調査を行った6地点の1 m×1 m方形区では、標高が平均4339 m(4336 - 4342 m)、斜面傾斜度が平均で0.8 度(0.1 - 1.6 度)、夜間繫留地までの距離の平均が354 m(295 - 463 m)、寒季放牧地からの距離が平均で94 m (25 - 130 m)であったが、31地点の1 m×1 m方形区では、標高が平均4355 m(4335 - 4365 m)、斜面傾斜度が平均で1.6 度(0.1 - 5.7 度)、夜間繫留地までの距離の平均が 334 m(150 - 632 m)、寒季放牧地からの距離が平均で122 m (20 - 365 m)となり、6地点の調査よりも広範囲での調査となった。

裸地率は、平均で18.5% (5 - 55%)であった。裸地率と寒季放牧地までの距離 ($r^2=0.35, P < 0.001$)、斜面傾斜度 ($r^2=0.33, P < 0.001$)と標高($r^2=0.19, P=0.013$)の間には有意な負の相関が認められたが、夜間繫留地までの距離との間には有意な相関は認められなかった ($r^2=0.08, P=0.19$)。

裸地率を目的変数とし、夜間繫留地や寒季放牧地までの距離、斜面傾斜度、標高を説明変数とする、重回帰分析を行った結果を表2-3に、対数変換した裸地率を目的変数とし、対数変換した夜間繫留地や寒季放牧地までの距離、斜面傾斜度、標高を説明変数とする、重回帰分析を行った結果を表2-4に示した。

表2-3. 裸地率 (%) を目的変数とする重回帰分析結果

	偏回帰係数	標準誤差	t 値	P 値
切片	-2116.00	2091.00	-1.01	0.32
寒季放牧地からの距離	-0.09	0.05	-1.88	0.07 ⁺
夜間繋留地からの距離	0.03	0.02	1.01	0.32
斜面傾斜度	-4.63	3.08	-1.50	0.14
標高	0.49	0.48	1.03	0.32

* $P < 0.05$

表2-4. 対数変換した裸地率 (%) を目的変数とする重回帰分析結果

	偏回帰係数	標準誤差	t 値	P 値
切片	-276.34	597.09	-0.46	0.65
log (寒季放牧地からの距離)	-0.58	0.16	-3.56	0.00**
log (夜間繋留地からの距離)	-0.11	0.29	-0.38	0.71
log (斜面傾斜度)	-0.15	0.10	-1.48	0.15
log (標高)	33.70	71.30	0.47	0.64

** $P < 0.01$

寒季放牧地までの距離の偏回帰係数は有意な負の相関の傾向を示した ($t = -1.9$, $P = 0.07$) が、標高、斜面傾斜度、夜間繋留地までの距離の偏回帰係数は有意な相関を示さなかった (表2-3)。

対数変換した寒季放牧地までの距離の偏回帰係数は有意な負の相関を示した ($t = -3.6$, $P = 0.0015$) が、標高、斜面傾斜度、夜間繋留地までの距離の偏回帰係数は有意な相関を示さなかった (表2-4)。

寒季放牧地までの距離を横軸、裸地率を縦軸とする散布図を図2-3に示した。寒季放牧地までの距離が近くなると裸地率が急激に高くなっていた。単回帰分析による回帰式係数の決定係数 ($r^2 = 0.35$, $P = 0.004$) よりも、非線形回帰分析によってべき乗近似を行った回帰式の決定係数 ($r^2 = 0.55$, $P < 0.001$) の方が高かった。

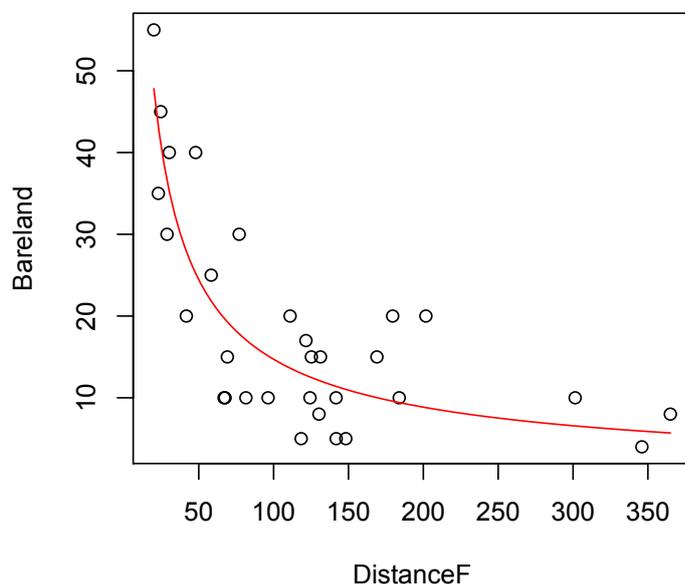


図2-4. 寒季放牧地からの距離と裸地率との関係

考 察

1. 放牧密度

今回の聞き取り調査対象とした農家における、羊単位と放牧地面積から算出した放牧密度（羊単位/ha）は平均1.7頭/ha（0.1 - 4.1頭/ha）であった。Sunら（2011a）が調査した青海省蘇吉湾村の放牧密度（羊単位/ha）は平均1.9頭/ha（0.9 - 4.5頭/ha）、Sunら（2011b）が調査した青海省寧夏村の放牧密度（羊単位/ha）は平均2.9頭/ha（2.6 - 3.0頭/ha）であったので、今回の調査地域も同程度の放牧密度であったことが明らかである。Dongら（2015）は、青海省においてヤクの放牧密度を変化させた放牧実験を行った結果、ヤク1頭/ha（羊単位: 4頭/ha）以上の放牧密度の場合には単位面積あたりの体重増加が減少することを示している。これらから考えて、標高4000 m以上の高標高地に位置する青海省チベット高原の自然草地では、放牧密度（羊単位/ha）が4頭/ha以上になると過放牧の危険性が高まると考えられる。今回の植生調査の対象農家の放牧密度(4.1頭/ha)は4頭/ha以上であるため、放牧地内で局所的に過放牧となっている場所が存在することが予測される。実際、調査対象の農家からは、春は家畜の発育状況が良かったが今年の夏場は雨が少ないために草の生育が悪く家畜の発育状況が悪かったとの回答が得られている。同じ地域の他の農家からは家畜の発育状況は良好であるとの回答が得られており、この地域内

で夏場の降雨状況に大きな差があったとは考えにくいので、やはり過放牧となっている可能性があると考えられる。

聞き取り調査を行った12戸の中で、家畜販売し収入を得ているのはこの農家を含めて5戸であり、残りの7戸は自家消費のみであった。しかし、この7戸の内、2戸は今後販売を志向していたし、今後の増頭の意向がある農家は12戸中で6戸だった。そのため、今後、この地域の放牧密度は増加し、過放牧となる放牧地が増加することが予想される。

2. 裸地率

今回、植生調査の対象とした曲麻菜県の放牧地は、曹ら（2011）が調査した玉樹県国営牧場から約250 km、李ら（2007a）が調査したチベット高原北部の放牧草地から800 km以上離れているが、これらと同様に冬季放牧地にはほとんど裸地が観察されず、暖季放牧地には裸地が多く観察されたが、この事実は、多くの暖季放牧地において過放牧による植生の荒廃が進行していることを示唆する。

植生調査の結果で出現した植物の多くは、カヤツリグサ科の*Kobresia*属やイネ科の*Stipa*属や*Poa*属の種であり、これらはZhouら（2005）によれば、良質の飼料草であり、マメ科の*Oxytropis ochrocephala*（平均被度2%）のような毒草の優占度は低かった。一方、曹ら（2011）が調査した玉樹県国営牧場の暖季放牧地では、0.5 m × 0.5 m方形区21個（5.25 m²）を調査した結果、62種が出現したことを報告しているが、今回は1 m × 1 m方形区6個（6.0 m²）で16種の出現だったので、出現種はかなり少なかったことがわかる。今回の1 m × 1 m方形区あたりの出現種は平均8.8種（5種 - 14種）であったが、これは曹（2011）の0.5 m × 0.5 m方形区あたり出現種の平均20種（12 - 29種）よりも少なく、種数密度も低いことが明らかである。

地上部現存量（乾物重g/m²）は、平均63.4 g（30 - 89 g/m²）であった。曹ら（2011）は暖季放牧地の地上部現存量（乾物重g/m²）が平均170 gであったことを報告しているので、今回の地上部現存量がかなり少なかったことがわかる。裸地率は、平均で21.7%（8 - 45%）であった。曹ら（2011）は暖季放牧地の裸地率は10%程度であることを報告しているので、本試験地ではそれよりも高い。

これらの結果から、暖季放牧地でも良質の飼料草を主体とする草地植生が維持されていたが、出現種数と地上部現存量が極めて少なく、裸地率が高かったことは、やはり過放牧による植生の荒廃が進行していることを示していると考えられた。

李ら（2007b）は暖季放牧地では夜間繫留地からの距離が近い地点ほど地上部現存量が少なく、裸地率が高かったことを報告している。李ら（2007b）は、夜間繫留地に川の飲水地点が近接していることや、放牧区が夜間繫留地に近いほど狭くなる扇状の形状となったことが夜間繫留地の近くで放牧圧が高くなった原因と考えられると述べている。今回の結果では、6地点の1 m × 1 m方形区の出現種数と地上部現存量はともに冬季放牧地までの距離との間に有意な正の相関が認められた。また、裸地率と冬季放牧地までの距離との間

には有意な負の相関が認められた。これらの結果は、暖季放牧地の中でも、寒季放牧地に近い地点ほど過放牧による植生の荒廃が進行していることを示唆する。暖季放牧地のより広範囲を対象に多くの1 m×1 m方形区を用いて裸地率の分布を検討した結果も同様であり、裸地率と寒季放牧地までの距離との間には有意な負の相関が認められた。一方、裸地率と夜間繫留地（水場を含む）までの距離との間には有意な負の相関が認められず、李ら（2007b）とは異なり、夜間繫留地（水場を含む）までの距離が短い場所ほど裸地率が高いとは言えなかった。今回調査対象とした農家では、川をそのまま用いた水場ではなく夜間繫留地に設置された水場に給水して飲水させる方式を採用しており、この方式によって夜間繫留地に近接する放牧地の荒廃が進行していない可能性がある。この点を明らかにするためには、今後、さらなる検討が必要であると考えられる。

このように、暖季放牧地内での裸地発生による植生の荒廃の程度には大きな空間的変異が存在していた。荒廃が進行していた理由としては、まず、今回の植生調査の対象農家の放牧密度が比較的高かった(4.1頭/ha)ことが考えられる。この放牧密度であれば局所的に植生の荒廃が進行しやすくなっていたと考えられる。

次に考えられるのは、暖季放牧地内における寒季の放牧による植生の荒廃である。李ら（2007b）は、従来の4季もしくは3季に放牧地を分けて周年遊牧する慣行的な利用方式から、野草放牧地を暖季と寒季の2季に分けて周年放牧利用する方式に変わっているが、暖季放牧地の植生の荒廃が進んでいたことを報告している。今回調査を行った農家1では暖季放牧地でも放牧が行われていることを観察したので、追加の聞き取り調査を行ったところ、暖季放牧地は暖季に5.4頭/haと高い放牧密度となるだけでなく、寒季にも4.1頭/haと高い放牧密度が維持されていた。

この放牧密度は、寒季だけにヤクと羊の雌のみを放牧する寒季放牧地の放牧密度（4.1頭/ha）とほぼ同程度である。そのため、暖季放牧地の放牧密度が通年にわたって放牧圧が高かったために植生の荒廃が進行した可能性があると考えられる。また、寒季放牧地に近い地点ほど過放牧による植生の荒廃が進行していた理由としては、寒季放牧地において暖季に採食されずに残された飼料草にヤクと羊が誘因され、暖季放牧地における放牧密度が寒季放牧地に近接した場所で局所的に高かったことによると考えられるが、この点の解明についても今後の検討が必要である。

本研究の結果、放牧密度が局所的に高かったことが暖季放牧地の植生荒廃の原因であったことが示唆された。しかしながら、暖季放牧地は実際には通年放牧地として放牧されているため、暖季と寒季のどちらの季節の放牧が植生の荒廃を進行させていたのかは不明である。そこで、今後は暖季のみ放牧する放牧実験区を設置して、通年放牧区や寒季放牧区と比較することによって、暖季と寒季のどちらの季節の放牧が植生荒廃を進行させていたのかを明らかにしたい。

引用文献

- Dong QM, Zhao XQ, Wu GL, Chang XF 2015. Optimization yak grazing stocking rate in an alpine grassland of Qinghai-Tibetan Plateau, China. *Environmental Earth Sciences*, 73: 2497-2503.
- Fan JW, Shao QQ, Liu JY, Wang JB, Harris W, Chen ZQ, Zhong HP, Xu XL, Liu RG. 2010. Assessment of effects of climate change and grazing activity on grassland yield in the Three Rivers Headwaters Region of Qinghai-Tibet Plateau, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 170: 571-584.
- Harris RB. 2010. Rangeland degradation on the Qinghai-Tibetan plateau: a review of the evidence of its magnitude and causes. *Journal of Arid Environments*, 74: 1-12.
- 曹旭敏・長谷川信美・宋仁徳・李国梅・孫軍. 2011. ヤクの季節放牧休牧利用方式がチベット南部高原高山野草地植生と植物種多様性に及ぼす影響. *日本暖地畜産学会報*, 54: 71-77.
- 李国梅・長谷川信美・宋仁徳・井戸田幸子・王有良・馮生青. 2007a. チベット高原北部におけるヤク (*Bos grunniens*) の放牧季節の違いが金露梅 (*Potentilla fruticosa*) 優占草地の植物の種多様性と現存量に及ぼす影響. *日本家畜管理学会誌*, 43: 1-8.
- 李国梅・長谷川信美・宋仁徳・福田 明・李海珠・徐有学・徐寧. 2007b. チベット高原北部金露梅 (*Potentilla fruticosa*) 優占野草地におけるヤク (*Bos grunniens*) の暖寒 2 季輪換放牧地での夜間繫留地からの距離による植生の空間的変動. *日本家畜管理学会誌*, 43: 83-98.
- Li XL, Gao J, Brierley G, Qiao YM, Zhang J, Yang YW. 2013. Rangeland degradation on the Qinghai-Tibet plateau: Implications for rehabilitation. *Land Degradation & Development*, 24: 72-80.
- Liu Y, Zha Y, Gao J, Ni S. 2004. Assessment of grassland degradation near Lake Qinghai, West China, using Landsat TM and in situ reflectance spectra data. *International Journal of Remote Sensing*, 25: 4177-4189.
- Sun J, Kano H, Yamamoto N, Hasegawa N, Cao X, Hou S. 2011a. The effect of cooperativization of grazing and sale on improving management of pastoral farming. *European Journal of Scientific Research*, 52: 170-176.
- Sun, J, Kano H, Yamamoto N, Hasegawa N, Cao X, Hou S. 2011b. Status and Challenges of Ecological Pastoral Farming in Qinghai, China: Evaluation of Initiatives in Ningxia Village. *European Journal of Scientific Research*, 65: 572-580.
- Zhou H, Zhao X, Tang Y, Gu S, Zhou L. 2005. Alpine grassland degradation and its control in the source region of the Yangtze and Yellow Rivers, China. *Grassland Science*, 51: 191-203.

第3章 青海チベット高原の野草地におけるヤクとヒツジの放牧実験区における裸地率の変動

緒 言

青海チベット高原では植生の荒廃が生じている (Liu ら 2004; Fan ら 2010; 曹ら 2011; Li ら 2013;) . その結果, 野草放牧地の草量の減少, 裸地の増大, 家畜の体格の矮小化などが大きな問題となっている (Zhou ら 2005; Yang ら 2004) . この植生の荒廃は, 地球温暖化や人口増加に伴う放牧頭数の増加による過放牧, 齧歯類によるダメージなどによって生じていると考えられているが, 荒廃の程度の詳細や荒廃原因については不明な点が多い (Harris 2010) . 荒廃の程度の詳細や荒廃原因について知るためには, 現地における詳細な調査が必要であると考え, 筆者らは農家に対して行った聞き取り調査により放牧密度 (羊単位 /ha) を算出して, 最も放牧密度が高かった農家の放牧地において植生調査を行った (李ら 2020) . その結果, 暖季放牧地における地上部現存量は他の地域よりも少なく, 裸地率が高い結果となり, 植生の荒廃が進行していたことを報告した (李ら 2020) . この結果は, 青海チベット高原の他の地域の暖季放牧地も寒季放牧地に比べて草量が少なく, 植物種多様性が低く裸地率が高かったとする報告 (李ら 2007a; 曹ら 2011) と合致するが, なぜ暖季放牧地で植生の荒廃が進行していたのかは不明である. 筆者らは, 暖季放牧地の放牧密度が通年にわたって高かったことが植生荒廃の原因であったことを示唆した (李ら 2020) が, 暖季放牧地は実際には通年放牧地として放牧されているため, 暖季と寒季のどちらの季節の放牧が植生の荒廃を進行させていたのかを知ることは困難である.

また, チベット高原ではヤク (*Bos grunniens*) やヒツジ (*Ovis aries*) が放牧されているが, ヤクはグラミノイド (イネ科やカヤツリグ科の草本) を主体に採食するが, 羊は広葉草本や樹木も多く採食するなど, 採食植物が異なることが知られている (Shrestha と Wegge 2006; Cao ら 2009) . 同様の現象は牛 (*Bos taurus*) とヒツジの場合にも知られている (Squires ら 1982; Grant ら 1985) . また, バイトあたりの採食量が牛よりもヒツジで多く (Hodgson ら 1991) , 同じ放牧圧であっても牛よりもヒツジの方が土壌攪乱に与える影響が大きい (Betteridge ら 1999) など, 牛よりもヒツジの方が放牧草地に与える影響が大きいことが知られている. ヤクは牛と同じ *Bos* 属に属する近縁種であり, ヤクとヒツジの間でも放牧草地に与える影響が異なる可能性が高いと考えられる. しかしながら, 青海チベット高原ではヤクとヒツジを同時に放牧することが一般的であり, 通常の放牧地での調査では, ヤクとヒツジが放牧草地に与える影響を区別して評価することは困難である.

このように、過放牧による放牧草地の荒廃には、放牧季節や放牧家畜種の違いなどが影響すると考えられる。そこで、本研究では、暖季放牧地にヤク放牧実験区とヒツジ放牧実験区を複数設定し実験区間と実験区内の裸地率の変動を調査することで、放牧地の荒廃要因を明らかにすることを目的とした。

材料および方法

1. 調査地概況

調査対象地は第2章(李ら 2020)と同じく、ヒマラヤ山脈の北側中国青海省チベット高原南部に位置する玉樹チベット族自治州曲麻菜県の標高 4300 – 5000 m の野草放牧地である(東経 92° 56′ から 97° 35′ , 北緯 33° 36′ から 35° 40′)。

調査地から約 5 km 離れた曲麻菜測候所で測定された気象データによると、2010 年～2015 年の年平均気温は -0.52°C 、年平均降水量は平均 469.4 mm であり、 5°C 以上の月平均気温は約 4 ヶ月と短い典型的な高山気候である。筆者らが 2013 年 8 月に植生調査を行った結果、イネ科の *Stipa purpurea* やカヤツリグサ科の *Kobresia parva* などの良質な飼料草が優占する植生が維持されていた(李ら 2020)。

この放牧地は、他の地域に比べて出現種数と地上部現存量が極めて少なく、裸地率が高かったことから、過放牧による植生の荒廃が進行していると考えられた(李ら 2020)。

2. 放牧実験

青海省畜牧獣医センターと農家の協力により、6 ha の暖季放牧地とヤクおよびヒツジの貸与による放牧実験が可能となった。

羊単位と放牧地面積から算出したこの放牧地の放牧密度(羊単位 /ha)は 4.1 頭 /ha であったが、これは、この地域の放牧密度(0.1 - 4.1 頭 /ha, 平均 1.7 頭 /ha)の中で最も高い放牧密度であった(李ら 2020)。

そこで、ヤク放牧実験区(以降、ヤク区)とヒツジ放牧実験区(以降、ヒツジ区)それぞれについて、放牧密度をこの農家と同程度にするため、農家から貸与された 6 ha の暖季放牧地を家畜種毎に 3 ha ずつ等分に割り当てることとし、ヤク区では 4 頭のヤクを、ヒツジ区では 14 頭のヒツジを放牧することとした結果、放牧密度はヤク区で 5.3 頭 /ha、ヒツジ区で 4.7 頭 /ha となり、放牧実験区外の 4.1 頭 /ha よりも高かったが、暖季放牧地における、暖季(5 月中旬から 11 月中旬)の 5.5 頭 /ha よりも低い放牧密度となった(表 3-1)。暖季放牧地は、暖季にはヤク 230 頭、ヒツジ 500 頭を放牧するが、寒季(11 月中旬から 5 月中旬)には寒季放牧地に雌のヤク 40 頭と雌のヒツジ 200 頭を移牧するため、ヤク 190 頭、ヒツジ 300 頭の放牧となり、放牧密度は 4.2 頭 /ha となった(表 3-1)。

表3-1. 放牧地と放牧実験区における放牧の概要

	面積 (ha)	ヤク頭数		ヒツジ頭数		羊単位		放牧密度 (羊単位/ha)	
		暖季	寒季	暖季	寒季	暖季	寒季	暖季	寒季
暖季放牧地	252.8	226	190	486	300	1390	1060	5.5	4.2
寒季放牧地	87.3	0	40	0	200	0	360	0.0	4.1
ヤク区	3.0	4	0	0	0	16	0	5.3	0.0
ヒツジ区	3.0	0	0	14	0	14	0	4.7	0.0
全体	346.1	230	230	500	500	1420	1420	4.1	4.1

放牧実験区を設置する前年である 2013 年 8 月 18 日に、この放牧実験区予定地について 31 個の方形区を設置して裸地率を調査した結果、放牧地内での裸地発生による荒廃の程度には大きな空間的変動があり、寒季放牧地に近い地点ほど裸地率が高かった（李ら 2020）。そのため、放牧実験区を寒季放牧地からの距離の違いの程度に応じたブロック（寒季放牧地からの距離が遠い順に A, B, C）に分けてブロックも分散分析の要因に加えることで、ブロック間の変動を全体の変動から分離する実験計画とした。

そこで、雪解け直後の 2014 年 5 月 25～26 日に約 6 ha の放牧草地をヒツジ用のネットフェンスを用いて 6 等分し、これを 2 家畜区×3 ブロックとした放牧実験区の配置とした（図 3-1、写真 3-1）。そのため、各放牧実験区の名称は、家畜種名とブロック名を組み合わせ、ヒツジ A、ヤク A、ヒツジ B、ヤク B、ヒツジ C、ヤク C とした。

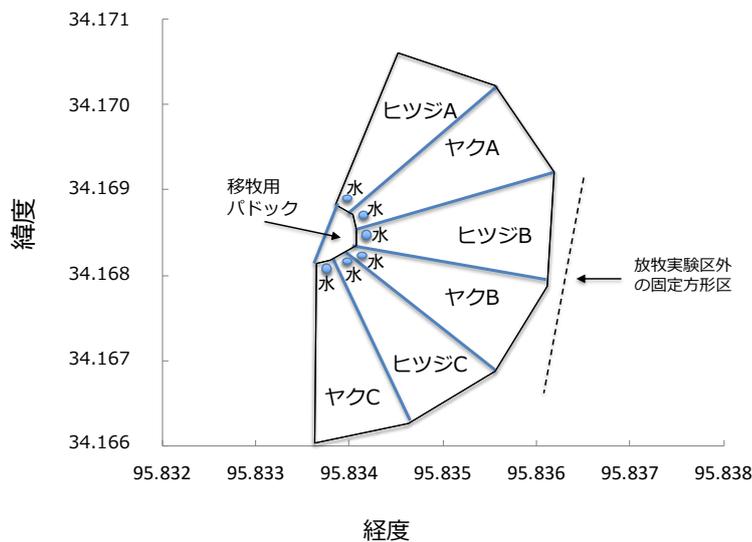


図3-1. 放牧実験区の配置図



写真3-1. 放牧実験区と暖季放牧地と寒季放牧地

約10日間間隔でのブロック間のローテーション放牧によってヤクとヒツジを、暖季（5月中旬から11月中旬）となる2014年6月～9月末と2015年5月末～2015年9月末の暖季のみ昼夜放牧した（写真3-2）。



写真3-2. ヒツジB区とヤクB区における放牧風景

ヤク区とヒツジ区の出入り口付近に移動式の水場を置き、農家が毎日給水する自由飲水とした。鈹塩は水場の近くに吊して自由摂取とした。補助給餌は行わなかった。移牧の際には水場と鈹塩も移動させた。

3. 裸地率の調査

各放牧実験区の中央に水場の位置を起点とする 180 m のラインを設定し、そのライン上に 5 m 間隔で固定方形区(1 m×1 m) を 37 個設置した(写真 3-3)。放牧実験区全体では $37 \times 6 = 222$ 個である。比較のために、放牧実験区に隣接する暖季放牧地にも同様に 180 m のラインを設定し、そのライン上の 5 m 間隔で固定方形区(1 m×1 m)を 37 個設置したため、合計で 259 個となった。



写真3-3. ヤクC区における固定方形区の位置を探すために地面に配置した巻尺

この固定方形区については、デジタルカメラ(EX-H20G, カシオ計算機株式会社, 東京)で 35 mm フィルム換算の焦点距離 24 mm の設定で、方形区全体を約 1.4 m の地上高から撮影した写真を用いて裸地率 (%) の測定を行った。

調査は、2014 年 8 月 20 日、2015 年 5 月 25 日、2015 年 8 月 24 日、2016 年 5 月 23 日の 4 回行った。その結果、放牧実験区で $222 \times 4 = 888$ 枚、全体で $259 \times 4 = 1036$ 枚の写真について裸地率を測定した。

4. 統計処理

放牧実験区に設定した固定方形区については、裸地率を目的変数とし、家畜種、ブロック、調査回次を因子とする、三元配置分散分析を行った。暖季放牧地に設置した固定方形区については、裸地率を目的変数とし、調査回次を因子とする、一元配置分散分析を行った。統計ソフトは R version 3.4.1 を用いた。

結 果

1. 放牧実験区における裸地率の変動

放牧実験区における起点（水場）からの距離にともなう裸地率の変動を図 3-2 に、平均裸地率を表 3-2 に示した。

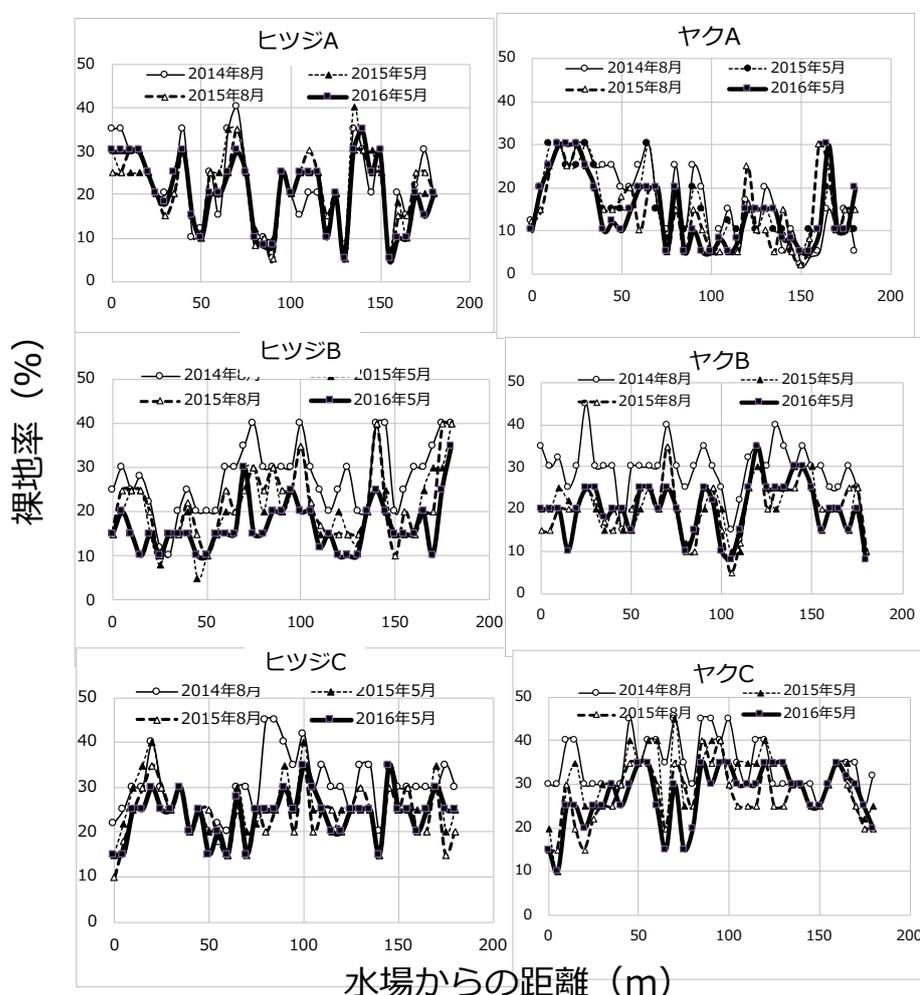


図3-2. 放牧区の固定方形区における裸地率 (%) の変動

表3-2. 放牧実験区と放牧実験区外の裸地率 (%) の変化 (括弧内は標準偏差)

調査回次	1回目	2回目	3回目	4回目
実験区	2014年8月20日	2015年5月25日	2015年8月24日	2016年5月23日
ヒツジA	21.8 (9.2)	21.5 (8.0)	21.0 (7.8)	20.6 (8.3)
ヒツジB	27.6 (7.7)	20.8 (8.1)	21.5 (7.9)	16.7 (5.8)
ヒツジC	30.3 (6.6)	25.6 (6.2)	23.7 (5.8)	24.0 (5.3)
ヤクA	16.6 (8.5)	15.4 (7.4)	14.7 (8.1)	14.4 (8.0)
ヤクB	29.4 (8.5)	20.8 (7.4)	20.7 (8.1)	20.3 (8.0)
ヤクC	34.6 (5.8)	31.0 (7.2)	27.5 (6.5)	27.5 (6.6)
実験区外	23.4 (4.7)	26.1 (5.1)	21.8 (5.0)	25.8 (4.7)

裸地率の変動パターンは調査回次間で類似しており、2014年8月に裸地率が低かった地点はその後裸地率が低い状態が持続している傾向があった(図3-2)。一方、2014年8月に裸地率が高かった地点では、その後、裸地率が低下したケースが多かった(図3-2)。

平均裸地率は、2014年8月(調査回次1回目)から2015年5月(調査回次2回目)にかけて全ての放牧実験区において低下し、2015年5月(調査回次2回目)から2015年8月(調査回次3回目)にかけても、ヒツジB区を除く残り全ての放牧実験区で低下し、2015年8月(調査回次3回目)から2016年5月(調査回次4回目)にかけても、ヒツジC区とヤクC区を除く4区の放牧実験区で低下した(表3-2)。

三元配置分散分析の結果、家畜種の違いによる裸地率の差は有意ではなかった($F=0.18, P=0.67$)が、ブロックの違い($F=122.08, P<0.001$)と調査回次の違い($F=27.89, P<0.001$)による差は有意であった(表3-3)。

表3-3. 放牧実験区における裸地率(%)を目的変数とし調査回次, 家畜種, ブロックを因子とする三元配置分散分析結果

	自由度	平方和	平均平方	F値	P値
調査回次	3	4880	1627	27.89	0.00 ***
家畜種	1	10	10	0.18	0.67
ブロック	2	14241	7120	122.08	0.00 ***
残差	881	51383	58		

*** $P < 0.001$

2014年8月に放牧区内で最初の調査を行った地点のほとんどは, その後, 裸地率が低下したが, 中には, ヒツジA区の110 m地点, 145 m地点, ヒツジC区の170 m地点, ヤクA区の10 m地点, 165 m地点, ヤクC区の125 m地点のように, その後に裸地率が増加した地点も存在した(図3-2). それらの地点の写真を確認したところ, クチグロナキウサギ(*Ochotona curzoniae*)の巣穴開口部が形成されていた(写真3-4).



写真3-4. ヒツジC区の170 m地点におけるクチグロナキウサギの巣穴開口部による裸地形成(2015.5.25)

2. 放牧実験区外における裸地率の変動

放牧実験区に隣接する暖季放牧地に設置した 37 個の固定方形区から得られた裸地率を図 3-3 と表 3-1 に、一元配置分散分析の結果を表 3-4 に示した。

裸地率の変動パターンは調査回次間で異なっており、2014 年 8 月に裸地率が比較的低かった地点でも、その後の暖季（11 月中旬まで）と寒季（11 月中旬から 5 月中旬）における放牧後に、裸地率が高くなっていった（図 3-3）。一方、2014 年 8 月に裸地率が高かった地点でも、その後、裸地率が低下したケースは少なく、2015 年 5 月や 2016 年 5 月に裸地率が高い地点が多くなっていった（図 3-3）。

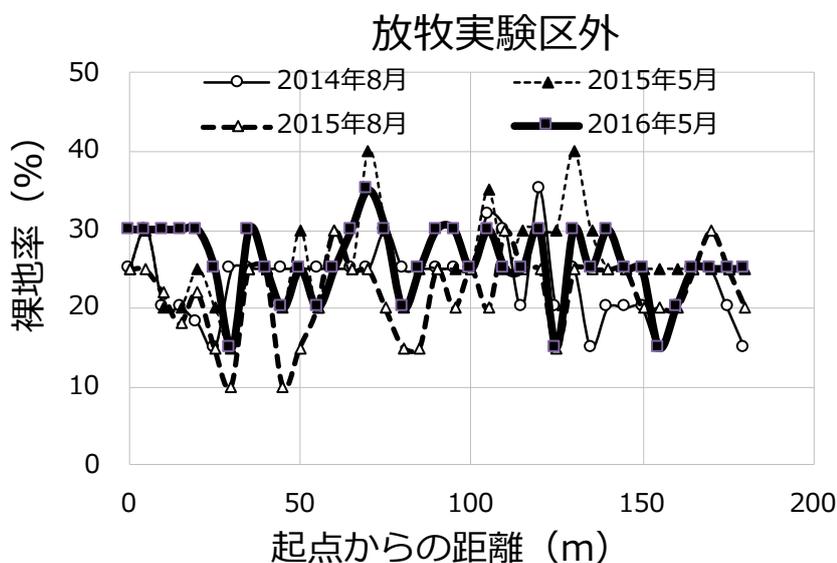


図3-3. 放牧実験区外の固定方形区における裸地率 (%) の変動

平均裸地率は、2014 年 8 月（調査回次 1 回目）から 2015 年 5 月（調査回次 2 回目）にかけて上昇したが、2015 年 5 月（調査回次 2 回目）から 2015 年 8 月（調査回次 3 回目）にかけて低下し、2015 年 8 月（調査回次 3 回目）から 2016 年 5 月（調査回次 4 回目）にかけて再び上昇した（表 3-2）。

一元配置分散分析の結果、調査回次の違い（ $F=6.34$, $P<0.001$ ）による差は有意であった（表 3-4）。

表3-4. 放牧実験区外における裸地率（%）を目的変数とし，調査回次を因子とする
一元配置分散分析結果

	自由度	平方和	平均平方	F値	P値
調査回次	3	462	154	6.34	0.00 ***
残差	144	3499	24		

***P<0.001

考 察

1. 放牧草地の荒廃要因

過放牧による放牧草地の荒廃には，放牧密度や放牧家畜種の違いが影響すると考えられる，そこで本研究では，この地域での平均の約3倍の放牧密度となるヤク放牧実験区とヒツジ放牧実験区を荒廃した暖季放牧地に複数設定して実験区間と実験区内の裸地率の変動を調査した．その結果は，1. 高い放牧密度でも裸地率が減少して荒廃した植生が回復し，2. さらに家畜種の違いによる裸地率の差は検出されなかった．これは予想予測とは異なるものであった．

李ら（2020）は，暖季放牧地内での裸地発生による植生の荒廃が進行していた理由としては，対象農家の放牧密度が比較的高かったことと，および暖季放牧地内における寒季の放牧による植生の荒廃の2つの可能性を挙げている．今回の，この地域の平均の約3倍高い放牧密度設定での放牧実験において裸地が減少したと言う結果から考えて，暖季における高い放牧密度が放牧地の荒廃要因となっている可能性は低いと考えられる．

李ら（2007b）は，従来の4季もしくは3季に放牧地を分けて周年遊牧する慣行的な利用方式から，野草放牧地を暖季と寒季の2季に分けて周年放牧利用する方式に変わっているが，暖季放牧地の植生の荒廃が進んでいたことを報告している．この理由として，李ら（2020）は，暖季放牧地は暖季に5.4頭/haと高い放牧密度となる暖季放牧地では寒季にも4.1頭/haと高い放牧密度が維持されていたことを示し，暖季放牧地の放牧密度が通年にわたって高かったために植生の荒廃が進行した可能性があると考えしている．今回，寒季には放牧しない放牧実験区だけでなく放牧実験区外の暖季放牧地でも調査を行った結果，裸地率は暖季（5月から8月）にかけて減少し，寒季（8月から翌年の5月）にかけて増加したことから，8月以降の暖季（11月中旬まで）と寒季（11月中旬から5月中旬）における暖季放牧地の放牧が植生の荒廃要因となっている可能性が高いことが明らかであると考えられる．

2. 家畜種の違いによる裸地率の差

牛よりもヒツジの方が土壌攪乱に与える影響が大きかった (Betteridge ら 1999) などの報告があるように、ヤクとヒツジの間でも放牧草地に与える影響が異なる可能性が高いと考えた。青海チベット高原ではヤクとヒツジを同時に放牧することが一般的であり、通常の放牧地での調査では、ヤクとヒツジが放牧草地に与える影響を区別して評価することは困難であるため、ヤク区とヒツジ区をそれぞれ複数設置して裸地率を調査した。しかし得られた結果は、家畜種の違いによる裸地率の差は検出されないと言う、予想に反したものであった。この理由としては、協力していただいた農家の事情によって、放牧密度がヤク区の 5.3 頭/ha に比較してヒツジ区で 4.7 頭 /ha と両区で異なったために、家畜種の違いによる裸地率への影響が打ち消されてしまった可能性がある。

本研究では家畜種を分離した放牧実験は暖季に限定して行ったので、冬季における家畜種の違いによる裸地形成の違いは不明であるが、冬季における暖季放牧地でのヤクとヒツジの放牧頭数から、家畜種の違いによる裸地率に与える影響の違いについて考察を試みる。表 1 に示したように、農家への聞き取りによって、暖季放牧地では暖季はヤク 230 頭 (ヒツジ換算で 920 頭) , ヒツジ 500 頭を放牧し、冬季にはヤク 190 頭 (ヒツジ換算で 760 頭) , ヒツジ 300 頭を放牧するため、放牧頭数 (ヒツジ換算) はヤクの方が羊よりも 1.84~2.53 倍多かった。ヤクの頭数の割合が最も多かった冬季における暖季放牧地で裸地が増加していたので、冬季におけるヤクの放牧が植生の荒廃に影響している可能性は高いと考えられる。しかしながら、冬季における暖季放牧地の放牧密度を計算すると、冬季でも 4.2 頭 /ha と高い放牧密度が維持されていたため、家畜種の違いに関わらず冬季における高い放牧密度が裸地率の増加に影響していた可能性も高いと考えられる。また、ヤク、ヒツジという採食行動の異なる家畜種が混牧されることによる相乗効果が裸地率の増加に影響していた可能性も考えられる。今後は、家畜種を分離した放牧実験を冬季でも実施することによって、家畜種の違いや混牧が植生の荒廃に与える影響の違いを明らかにすることが必要であると考えられる。

3. 裸地率の空間的変動

李ら (2020) は、この暖季放牧地内での裸地発生による植生の荒廃の程度には大きな空間的変動が存在していたことを報告しているが、今回のより詳細な調査によっても、裸地率の空間的変動は極めて大きかったことが示された。

2018 年 8 月の調査によって、放牧地に近い地点ほど裸地率が高かった (李ら 2020) ので、放牧実験区を冬季放牧地からの距離の違いの程度に応じたブロック (冬季放牧地からの距離が遠い順に A, B, C) に分け、ブロックも分散分析の要因に加えた結果、極めて大きなブロック間差が検出され、冬季放牧地に近いブロックほど高い裸地率であったことが確認された。

一方、放牧区内でも大きな空間的変動があったことが確認された。李ら（2007b）等とは異なり、水場までの距離が短い場所ほど裸地率が高いとは言えない結果であった。今回調査対象とした放牧区では、約10日間間隔でのブロック間のローテーション放牧によってヤクとヒツジを昼夜放牧し、ヤク区とヒツジ区の入出口付近に移動式の水場を置き、農家が毎日給水水場に給水して飲水させる方式を採用したが、この方式によって水場に近接する放牧地の荒廃が進行しなかった可能性がある。

放牧区によって、様々な位置で裸地率が高い地点が局所的に出現していたが、どの放牧区も斜面傾斜が1~3度と極めてなだらかな斜面に設置されており、放牧地の表面の観察だけでは裸地率が高い地点の微地形的な特徴を見出すことは困難であると考えられた。放牧区内の土壤環境の違いによって裸地が形成されやすい地点が存在した可能性があるが、今回は土壤環境については調査しなかったため、将来はこの点を検討する必要があると考えられる。

クチグロナキウサギは草地の劣化を助長すると考えられており（Pechら 2007）、今回の調査でも放牧区内で裸地率が増加した固定方形区6個の全てにおいてクチグロナキウサギの巣穴形成の影響が確認された。しかし、クチグロナキウサギの巣穴形成によって裸地率が増加していたのは、放牧区内の222個の固定方形区のうち6個（1.4%）と非常に少ない割合であった。このことから、裸地発生による植生の荒廃が進行していた要因としてクチグロナキウサギが関与した程度は低いと考えられる。

4. まとめ

本研究の結果、放牧家畜の違いよりも、暖季放牧地における寒季の放牧の方がこの地域の草地荒廃の原因となっていることが示唆された。暖季放牧地は実際には通年放牧地として放牧されており、寒季の高い放牧密度での放牧が植生荒廃を進行させていたと考えられた。Fanら（2010）は、青海チベット高原の草地生態系の復元と持続的利用のためには、放牧圧（特に寒季の）を減少させることが必須であると述べているが、今回の結果はこの意見を支持する重要な成果であると考えられる。今後は、暖季放牧地における寒季の放牧圧を減少させる方策を検討する必要があると思われるが、そのためには、暖季放牧地と寒季放牧地の面積割合やローテーション放牧のスケジュールをどのようにすれば良いのかを知る必要がある。しかし、現状では、裸地率の変化にともなう放牧草や放牧家畜の生産力に関する知見が乏しく、通年の放牧計画を策定することは困難である。そこで、今後は放牧実験区における放牧草や放牧家畜の生産力の季節変化や年次変化に関する検討を行う必要があると考えられる。

引用文献

- Betteridge K, Mackay AD, Shepherd TG, Barker DJ, Budding PJ, Devantier BP, Costall DA. 1999. Effect of cattle and sheep treading on surface configuration of a sedimentary hill soil. *Soil Research*, 37: 743-760.
- 曹旭敏・長谷川信美・宋仁徳・李国梅・孫軍. 2011. ヤクの季節放牧休牧利用方式がチベット南部高原高山野草地植生と植物種多様性に及ぼす影響. *日本暖地畜産学会報*, 54: 71-77.
- Cao Y, Zhang T, Lian X, Cui Q, Deng D, Su J. 2009. Diet overlap among selected ungulates in Kekexili region, Qinghai province. *Sichuan Journal of Zoology*, 28: 49-54.
- Fan J, Shao Q, Liu J, Wang J, Harris W, Chen Z, Zhong H, Xu X, Liu R. 2010. Assessment of effects of climate change and grazing activity on grassland yield in the Three Rivers Headwaters Region of Qinghai-Tibet Plateau, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 170: 571-584.
- Grant, SA, Suckling, DE, Smith, HK, Torvell, L, Forbes, TDA, Hodgson, J. 1985. Comparative studies of diet selection by sheep and cattle: the hill grasslands. *The Journal of Ecology*, 73: 987-1004.
- Harris RB. 2010. Rangeland degradation on the Qinghai-Tibetan plateau: a review of the evidence of its magnitude and causes. *Journal of Arid Environments*, 74: 1-12.
- Hodgson, J., Forbes, TDA., Armstrong, RH., Beattie, MM., Hunter, EA. 1991. Comparative studies of the ingestive behaviour and herbage intake of sheep and cattle grazing indigenous hill plant communities. *Journal of Applied Ecology*, 28: 205-227.
- 李国梅・長谷川信美・宋仁徳・井戸田幸子・王有良・馮生青. 2007a. チベット高原北部におけるヤク (*Bos grunniens*) の放牧季節の違いが金露梅 (*Potentilla fruticosa*) 優占草地の植物の種多様性と現存量に及ぼす影響. *日本家畜管理学会誌*, 43: 1-8.
- 李国梅・長谷川信美・宋仁徳・福田 明・李海珠・徐有学・徐寧. 2007b. チベット高原北部金露梅 (*Potentilla fruticosa*) 優占野草地におけるヤク (*Bos grunniens*) の暖寒 2 季輪換放牧地での夜間繫留地からの距離による植生の空間的変動. *日本家畜管理学会誌*, 43: 83-98.
- 李曉琴・宋維茹・宋仁徳・李国梅・山本直之・西脇亜也. 2020. 青海チベット高原の放牧密度が高い草地における裸地発生状況について. *日本暖地畜産学会報*, 63: 5-11.
- Li X, Gao J, Brierley G, Qiao Y, Zhang J, Yang Y. 2013. Rangeland degradation on the Qinghai-Tibet plateau: Implications for rehabilitation. *Land Degradation & Development*, 24: 72-80.
- Liu Y, Zha Y, Gao J, Ni S. 2004. Assessment of grassland degradation near Lake Qinghai, West China, using Landsat TM and in situ reflectance spectra data. *International Journal of Remote Sensing*, 25: 4177-4189.

- Pech RP, Arthur AD, Zhang Y, Lin H. 2007. Population dynamics and responses to management of plateau pikas *Ochotona curzoniae*. *Journal of Applied Ecology*, 44: 615-624.
- Shrestha R, Wegge P. 2006. Determining the composition of herbivore diets in the trans-Himalayan rangelands: A comparison of field methods. *Rangeland Ecology & Management*, 59: 512-518.
- Squires VR. 1982. Dietary overlap between sheep, cattle, and goats when grazing in common. *Journal of Range Management*, 35: 116-119.
- Yang M, Wang S, Yao T, Gou X, Lu A, Guo X. 2004. Desertification and its relationship with permafrost degradation in Qinghai-Xizang (Tibet) plateau. *Cold Regions Science and Technology*, 39: 47-53.
- Zhou H, Zhao X, Tang Y, Gu S, Zhou L. 2005. Alpine grassland degradation and its control in the source region of the Yangtze and Yellow Rivers, China. *Grassland Science*, 51: 191-203.

第4章 総合考察

青海チベット高原では草地植生の荒廃が生じている。本論文の第1章では、この草地植生の荒廃は、裸地の増大による草量の減少によって家畜の生産量の減少をもたらしているが、荒廃の程度の詳細や荒廃原因については不明な点が多いことを論考した。Harris

(2010) は、過放牧は明らかに植生の荒廃の原因であるが、この荒廃がどのように生じるのかを知らなければ持続的な放牧利用に失敗するだろうと述べている。そのためには、植生の衛星リモートセンシングだけでなく、植生の現地踏査や農家への利用状況の聞き取り調査が必要であると考えられる。荒廃の程度の詳細や荒廃原因について知るためには、現地における放牧密度と草地植生に関する詳細な調査が必要であると考えた。そこで、第2章では、青海省曲麻萊県の農家12戸に対して行った聞き取り調査により羊単位と放牧地面積から算出した放牧密度(羊単位/ha)を算出したところ、平均1.7頭/ha(0.1-4.1頭/ha)であり、この放牧密度は、他地域と同程度であった。最も放牧密度が高かった農家の放牧地(暖季放牧地)において植生調査を行った結果、*Stipa purpurea* や *Kobresia parva* などの良質な飼料草が優占する植生が維持されているが、地上部現存量は他地域よりも少なかった。各調査地点から寒季放牧地までの距離と裸地率との間には有意な負の相関が認められ、放牧地内での裸地発生による荒廃の程度には大きな空間的変異があることが示された。

第2章での検討によって、暖季放牧地の放牧密度が通年にわたって高かったこと、もしくはヒツジの放牧が植生荒廃の原因であったことが示唆されたが、暖季放牧地は実際には通年にわたって混牧されているため、通年の放牧密度の高さやヒツジの放牧が植生の荒廃を進行させていたのか否かを知ることは困難である。そこで第3章では、第2章で植生調査を行った暖季放牧地にヤク放牧実験区とヒツジ放牧実験区を複数設定して放牧家畜間、ブロック間、調査回次間の裸地率の変動を調査することで、放牧地の荒廃要因を明らかにすることを試みた。放牧家畜とブロック、調査回次が裸地率に及ぼす影響を三元配置分散分析によって検討した。

過放牧による放牧草地の荒廃には、放牧密度や放牧家畜種の違いが影響すると考えられる。そこで第3章では、この地域での平均の約3倍の放牧密度となるヤク放牧実験区とヒツジ放牧実験区を荒廃した暖季放牧地に複数設定して実験区間と実験区内の裸地率の変動を調査した。その結果は、高い放牧密度でも裸地率が減少して荒廃した植生が回復し、さらに家畜種の違いによる裸地率の差は検出されなかった。これは予想予測とは異なるものであった。この結果は、放牧家畜の違いによる草地の荒廃に与える影響の程度は検出されなかったが、ブロック間の差は検出されたことから空間的変動が大きいことを示す、また、調査回次による差は検出されたことから、放牧実験区設置後の時間経過と共に植生が回復したことが明らかとなった。ヒツジとヤクの放牧実験区外に隣接した暖季放牧地でも

同様の調査を行った結果、放牧実験区とは異なり、時間経過と共に植生は回復しておらず、冬季の放牧が裸地率を増加させて草地植生を荒廃させた可能性が高いと考えられた。

李ら (2020a) は、暖季放牧地内での裸地発生による植生の荒廃が進行していた理由としては、対象農家の放牧密度が比較的高かったことと、および暖季放牧地内における冬季の放牧による植生の荒廃の2つの可能性を挙げている。今回の、この地域の平均の約3倍高い放牧密度設定での放牧実験の結果から考えて、暖季における高い放牧密度が放牧地の荒廃要因となっている可能性は低いと考えられる。

李ら (2007b) は、従来の4季もしくは3季に放牧地を分けて周年遊牧する慣行的な利用方式から、野草放牧地を暖季と冬季の2季に分けて周年放牧利用する方式に変わっているが、暖季放牧地の植生の荒廃が進んでいたことを報告している。この理由として、李ら (2020) は、暖季放牧地は暖季に5.4頭/haと高い放牧密度となる暖季放牧地では冬季にも4.1頭/haと高い放牧密度が維持されていたことを示し、暖季放牧地の放牧密度が通年にわたって高かったために植生の荒廃が進行した可能性があると考えられている。今回、冬季には放牧しない放牧実験区だけでなく放牧実験区外の暖季放牧地でも調査を行った結果、裸地率は暖季(5月から8月)にかけて減少し、冬季(8月から翌年の5月)にかけて増加したことから、8月以降の暖季(11月中旬まで)と冬季(11月中旬から5月中旬)における暖季放牧地の放牧が植生の荒廃要因となっている可能性が高いことが明らかであると考えられる。

Fanら (2010) は、この地域の草地生態系の復元と持続的利用のためには、放牧圧(特に冬季の)を減少させることが必須であると述べている。本研究の結果、放牧家畜の違いよりも、暖季放牧地における冬季の放牧の方がこの地域の草地荒廃の原因となっていることが示唆された。暖季放牧地は実際には通年放牧地として放牧されており、冬季の高い放牧密度での放牧が植生荒廃を進行させていたと考えられた。Fanら (2010) は、青海チベット高原の草地生態系の復元と持続的利用のためには、放牧圧(特に冬季の)を減少させることが必須であると述べているが、今回の結果はこの意見を支持する重要な成果であると考えられる。今後は、暖季放牧地における冬季の放牧圧を減少させる方策を検討する必要があると思われるが、そのためには、暖季放牧地と冬季放牧地の面積割合やローテーション放牧のスケジュールをどのようにすれば良いのかを知る必要がある。しかし、現状では、裸地率の変化にともなう放牧草や放牧家畜の生産力に関する知見が乏しく、通年の放牧計画を策定することは困難である。そこで、今後は放牧実験区における放牧草や放牧家畜の生産力の季節変化や年次変化に関する検討を行う必要があると考えられる。

以上の結果と既報の文献情報を総合的に検討し、放牧家畜種の違いよりも、暖季放牧地における冬季の放牧の方がこの地域の草地荒廃の原因となっている可能性が極めて高いと考えた。そして、本研究の結論として、草地荒廃を回復させるには、ローテーション放牧によって暖季放牧地における冬季の放牧圧を減少させる方策が必要であると考えられた。

引用文献

- Fan J, Shao Q, Liu J, Wang J, Harris W, Chen Z, Zhong H, Xu X, Liu R. 2010. Assessment of effects of climate change and grazing activity on grassland yield in the Three Rivers Headwaters Region of Qinghai-Tibet Plateau, China. *Environmental Monitoring and Assessment*, 170: 571-584.
- Harris RB. 2010. Rangeland degradation on the Qinghai-Tibetan plateau: a review of the evidence of its magnitude and causes. *Journal of Arid Environments*, 74: 1-12.
- 李国梅・長谷川信美・宋仁徳・井戸田幸子・王有良・馮生青. 2007a. チベット高原北部におけるヤク (*Bos grunniens*) の放牧季節の違いが金露梅 (*Potentilla fruticosa*) 優占草地の植物の種多様性と現存量に及ぼす影響. *日本家畜管理学会誌*, 43: 1-8.
- 李国梅・長谷川信美・宋仁徳・福田 明・李海珠・徐有学・徐寧. 2007b. チベット高原北部金露梅 (*Potentilla fruticosa*) 優占野草地におけるヤク (*Bos grunniens*) の暖寒 2 季輪換放牧地での夜間繋留地からの距離による植生の空間的変動. *日本家畜管理学会誌*, 43: 83-98.
- 李曉琴・宋維茹・宋仁徳・李国梅・山本直之・西脇亜也. 2020. 青海チベット高原の放牧密度が高い草地における裸地発生状況について. *日本暖地畜産学会報*, 63: 5-11.

謝 辞

本研究の実施にあたり、青海チベット高原におけるヤクとヒツジの放牧行動比較研究をご指導いただいた、元宮崎大学農学部教授の長谷川信美さんに深く感謝いたします、また、青海省における放牧研究にあたり終始支援していただいた、青海省玉樹州動物疫病予防控制センターの宋 仁徳さんと青海省玉樹州林業と草原総合サービスセンターの李 国梅さんをはじめとする多くの支援者に深く感謝いたします、また、青海省での調査や研究室での解析、論文執筆などを指導いただいた宮崎大学農学部の西脇亜也教授と学生諸氏に深く感謝いたします、

要 約

青海チベット高原では草地植生の荒廃が生じている。本論文の第1章では、この草地植生の荒廃は、裸地の増大による草量の減少によって家畜の生産量の減少をもたらしているが、荒廃の程度の詳細や荒廃原因については不明な点が多いことを論考した。

荒廃の程度の詳細や荒廃原因について知るためには、現地における放牧密度と草地植生に関する詳細な調査が必要であると考えた。そこで、第2章では、青海省曲麻菜県の農家12戸に対して行った聞き取り調査により羊単位と放牧地面積から算出した放牧密度（羊

単位/ha)を算出したところ、平均 1.7 頭/ha (0.1-4.1 頭/ha)であり、この放牧密度は、他地域と同程度であった。最も放牧密度が高かった農家の放牧地(暖季放牧地)において植生調査を行った結果、*Stipa purpurea* や *Kobresia parva* などの良質な飼料草が優占する植生が維持されているが、地上部現存量は他地域よりも少なかった。各調査地点から寒季放牧地までの距離と裸地率との間には有意な負の相関が認められ、放牧地内での裸地発生による荒廃の程度には大きな空間的変異があることが示された。

第2章での検討によって、暖季放牧地の放牧密度が通年にわたって高かったこと、もしくはヒツジの放牧が植生荒廃の原因であったことが示唆されたが、暖季放牧地は実際には通年にわたって混牧されているため、通年の放牧密度の高さやヒツジの放牧が植生の荒廃を進行させていたのか否かを知ることは困難である。そこで第3章では、第2章で植生調査を行った暖季放牧地にヤク放牧実験区とヒツジ放牧実験区を複数設定して放牧家畜間、ブロック間、調査回次間の裸地率の変動を調査することで、放牧地の荒廃要因を明らかにすることを試みた。放牧家畜とブロック、調査回次が裸地率に及ぼす影響を三元配置分散分析によって検討した。その結果、放牧家畜の違いによる草地の荒廃に与える影響の程度は検出されなかったが、ブロック間の差は検出されたことから空間的変動が大きいことと、調査回次による差は検出されたことから、放牧実験区設置後の時間経過と共に植生が回復したことが明らかとなった。ヒツジとヤクの放牧実験区外に隣接した暖季放牧地でも同様の調査を行った結果、放牧実験区とは異なり、時間経過と共に植生は回復しておらず、寒季の放牧が裸地率を増加させて草地植生を荒廃させた可能性が高いと考えられた。第4章では、以上の結果と既報の文献情報を総合的に検討し、放牧家畜種の違いよりも、暖季放牧地における寒季の放牧の方がこの地域の草地荒廃の原因となっている可能性が極めて高いと考えた。そして、草地荒廃を回復させるには、ローテーション放牧によって暖季放牧地における寒季の放牧圧を減少させる方策が必要であるとの結論を提示した。