

## 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

李 国梅<sup>1</sup>・長谷川信美<sup>2\*</sup>・宋 仁徳<sup>2</sup>・福田 明<sup>3</sup>・李 海珠<sup>1</sup>・徐 有学<sup>4</sup>・徐 寧<sup>5</sup>

<sup>1</sup> 鹿児島大学大学院連合農学研究科, 鹿児島市 890-0065

<sup>2</sup> 宮崎大学農学部, 宮崎市 889-2192

<sup>3</sup> 静岡大学創造科学技術大学院, 浜松市 432-8011

<sup>4</sup> 青海省草地センター, 中国青海省西寧市 810000

<sup>5</sup> 玉樹蔵族自治州草地センター, 中国青海省玉樹蔵族自治州結古鎮 815000

\* Corresponding author. E-mail address: nhasegaw@cc.miyazaki-u.ac.jp

### 要 約

暖(4月中旬~10月中旬)・寒(10月中旬~4月中旬)2季にヤク (*Bos grunniens*) の輪換放牧を行ったチベット高原北部の金露梅 (*Potentilla fruticosa*) 優占野草地において, 夜間繫留地から放牧地への出入口(基点:BP=0m)からの距離(近接地点:CP=50m以内, 近距離地点:NP=250m, 中距離地点:MP=500m, 遠距離地点:FP=750m)が野草地の植生, 植物現存量および種多様性の空間的変動に及ぼす影響について検討した。暖季放牧地(WSP)では, 距離が長くなるにしたがい, *P. fruticosa* の被度と植物高がともに増加し, 下層植生の被度と群落高がともに高くなった ( $p<0.05$ )。WSPにおいてFPでは *Elymus nutans*, *Kobresia capillifolia* など草高の高い草種が主要な種であったが, 距離が小さくなるにしたがい, 匍匐性で踏圧に強く, 嗜好性の低い草種の *Potentilla anserina* と *Plantago asiatica* の優占度が高くなった。*Kobresia humilis* の被度はFPからNPまでは増加したが, CPではもっとも低かった。寒季放牧地(CSP)では, FP・MP・NP各地点間には *P. fruticosa* の被度と植物高, 下層植生の被度と草高および草種の組成では一定の傾向が認められず, いずれもイネ科植物と *K. capillifolia*, *Polygonum viviparum*, *Taraxacum mongolicum*, *Astragalus adsurgens* などであったが, CPでは草種数が急に減少し, *P. anserina* が最も優占度が高かった。下層植生の草本植物の現存量はWSPではFP (169 gDM/m<sup>2</sup>) とMP (170 gDM/m<sup>2</sup>) がNP (101 gDM/m<sup>2</sup>) とCP (100 gDM/m<sup>2</sup>) より多く ( $p<0.05$ ), CSPではFP (402 gDM/m<sup>2</sup>) がもっとも多く, CP (259 gDM/m<sup>2</sup>) が最も少なかった ( $p<0.05$ )。WSP・CSPのいずれにおいても, 種数密度, Simpson 指数, Shannon-Wiener 指数および Pielou 均等度指数はNPで最大, CPで最小となった ( $p<0.05$ )。ヤクの暖季・寒季2季輪換放牧地において, 夜間繫留パドックからの距離によって生じる放牧圧の違いによって植生構造, 植物現存量および種多様性が空間的に変動し, 寒季放牧地よりも暖季放牧地でその影響は特に大きいことが明らかとなり, 野草放牧地の劣化を防ぎ植物の種多様性を維持し永続的に利用するためには, 異なる放牧方式の検討が必要と考えられた。

キーワード: 輪換放牧, ヤク, 距離, 植生構造, 金露梅優占草地, チベット高原

Animal Behaviour and Management, 43 (2): 83-98, 2007  
(2006. 10. 20 受付; 2006. 12. 1 受理)

### 結 言

草食動物による攪乱は植物群落の変動要因の一つであり<sup>25, 39)</sup>, 群落構造や植物現存量に影響を与える<sup>24, 43)</sup>。家畜の放牧は草地群落の構成および植物種の種多様性の推移に影響を

及ぼすが, 放牧強度の差によって影響の程度は異なる<sup>25)</sup>。適切な放牧では, 草地の現存量が増加し<sup>25)</sup>, 多くの植物種が共存でき<sup>33)</sup>, 草地植物の種多様性の増加に有益であるが, 過放牧など不適切な管理と利用は草地の植被率と植物種の多様性を減少させ<sup>11)</sup>, 群落構造を変え,

草地の退行遷移を引き起こし、草地を荒廃させる最も根本的な原因となる<sup>6, 23, 35</sup>。

チベット高原には中国の草地総面積の約三分の一を占める自然草地が広がっている。その中で、寒冷高地に位置する草地の面積は約 0.7 億 ha でチベット高原の草地総面積の 49% を占めている。高寒金露梅草地 (Alpine shrub of *Potentilla fruticosa* and coarse grasses meadow) は青海省の標高 3200~4000m 地域に広く分布する草地型である<sup>55, 56</sup>。この栄養価の高い野草資源を豊富に持つ寒冷高地の草地が高原畜産の基礎となっており<sup>56</sup>、数千年にわたり広大な野草地でヤク (*Bos grunniens*)・ヒツジ・ヤギなどの通年放牧がなされてきた。しかし、近年、地球温暖化の影響によるチベット高原の乾燥化、砂漠化が進み、また、家畜の過放牧や鼠害による植生の荒廃が進み、草地植物の種多様性や持続的な家畜生産性の低下・喪失が懸念されている。また、この地域は黄河、長江、メコン川の源流部に位置し、植生の退行遷移による草地環境の劣化は中国のみならず、地球全体の環境にも大きな影響を及ぼしつつある。

チベット高原の高寒草地 (Alpine meadow) はヤク・ヒツジ・ヤギなどの放牧や葉草採取、鼠虫害などにより様々な攪乱を受けている<sup>15, 20, 21, 44</sup>。放牧は高寒草地で行われている主な土地利用方式であるが、家畜の採食と踏圧が支配的な攪乱要因である<sup>4, 5, 12, 13, 26, 38, 41</sup>。草食動物の採食行動と空間的分布は、景観、地形や水場の位置、採食植物の量と質などの時空的変動により変化する<sup>3, 29</sup>。広大な草地では、地形、水、日陰、風雨、放牧施設 (牧柵、ゲート) などの要因によって生じる放牧圧 (採食、踏圧、排泄) の強弱が、植生の時空的変異に影響を及ぼすと考えられる。

チベット高原では 4 季 (春、夏、秋および冬) もしくは 3 季 (春秋、夏および冬) に放牧地を分け、水と草を求めて周年遊牧するのが自然草地の慣行的な利用方式であった。しかし、中国政府による遊牧民の定住化政策により、野草放牧地は暖季と寒季の 2 季に分けて周年放牧利用されることが多くなった。このような利用方式では、家畜は住居近接地に夜間繫留され、また飲水をいつも同じ地点で行わせるため、家畜の採食・移動行動は住居地や飲水地点の付近に集中して偏り、住宅地周辺の草地が最も強く喫食と踏圧を受け、草地の荒廃が進行すると考えられる。

植物群落の種多様性やその生産力については多くの研究者によって注目されてきた<sup>23, 24, 27, 28, 43, 45</sup>。植物群落の現存量あるいは種組成や多様性は群落を特徴づける生態的な特性で

あり<sup>24</sup>、特に種組成や種多様性は群落の豊かさを示し、現存量や安定性は生態系の量的状態と攪乱に対する回復力を示す指標となることが報告されている<sup>43</sup>。また、ヤクの放牧における採食行動の季節および地域による違い<sup>9, 10</sup>、放牧季節と放牧強度が草地植生に及ぼす影響<sup>1, 4, 5, 8, 14, 16, 17, 23</sup>に関する報告はなされている。しかし、ヤクの暖・寒 2 季輪換放牧における採食圧が草地植生へ与える影響についてはほとんど研究されていない。

そこで本研究では、暖・寒 2 季に輪換放牧を行った金露梅 (*P. fruticosa*) 優占草地において、ヤクの夜間繫留地からの距離<sup>34</sup>が野草地の種多様性、植生構造および植物現存量に及ぼす影響について検討し、寒冷高地における野草放牧地生態系の効果的な保全管理と資源利用を両立させるための科学的基礎資料を得ることを目的とした。

## 材料および方法

### 1. 調査地概況

調査地は中国青海省海北蔵族自治州門源回族自治州皇城郷である。チベット高原北部の祁連山脈北支脈南側 (N37°35' E101°25') の緩斜面に位置する野草放牧地で、標高は 3280~3340m、年間降水量は 509.3mm、気温は -31.5~27.5℃ である。野草放牧地は *P. fruticosa* が優占種で、*Kobresia humilis*, *Poa pratensis*, *Elymus nutans*, *Kobresia capillifolia* などが次に優占する種である。

### 2. 家畜の管理

本放牧地では過去 20 年間にわたり、暖季放牧パドック (WSP) では面積 31.9 ha に約 50 頭のヤクを 4 月中旬から 10 月中旬まで約 185 日間、寒季放牧パドック (CSP) では面積 23.2 ha に約 45 頭のヤクを 10 月中旬から翌年の 4 月中旬まで約 180 日間放牧する輪換放牧が行われ、年により野草の生育量に従って利用期間の調整を行っている。畜舎は無く、夜間は住居に近接するパドックにヤクを繫留し、朝から夕方まで草地に放牧した。飲水は日中 2 回パドックに隣接する川で行わせた。暖季 (5 月~10 月) は朝晩 2 回雌ヤクを搾乳し、哺乳子ヤクは住居近くの親とは異なるパドックに放牧した。

### 3. 調査方法

WSP と CSP 両牧区において夜間繫留パドックから放牧地へのゲートを基点 0 m (以下 BP) とし、BP からの距離により、50 m 以内を近接

地 (以下 CP), 250 m 地点を近距離地 (以下 NP), 500 m 地点を中距離地 (以下 MP), 750 m 地点を遠距離地 (以下 FP) とした (図 1)。2006 年 8 月 1 日～5 日の 5 日間に, WSP・CSP 各パドック各地点において, 50×50 cm<sup>2</sup> コドラートを 50m 間隔で 4 点, 計 16 点/パドック, 総計 32 点で植生と地上部現存量の調査を行い, コドラート内の植被率, 群落高および全出現種の被度 (C), 植物高 (HT) を測定した。植物をすべて地際から刈取り, 植物種ごとに重量を測定した後, 電子レンジを用いて恒量になるまで乾燥して乾物率を測定し, 個々の種の乾物重量を地上部現存量 (W: g DM) とした。なお, コドラートは *P. fruticosa* 群落を避け, 測定地点が *P. fruticosa* 群落と重なった場合, 基点方向にずらして下層植生を調査した。

*P. fruticosa* の被度はラインインターセプション法によって各牧区で 50 m 測尺を 6 回張り, その遮断距離の合計を 300 で割った値を被度とし, 植物高は各 0.5 m および 1 m で出現した株を測定し, 平均値を算出した。なお, WSP と CSP 両牧区の CP では *P. fruticosa* は出現しなかった。

#### 4. データ解析

各牧区の平均植被率, 平均群落高, 出現種数を求め, *P. fruticosa* および各牧区各植物種の平均被度, 平均草高を求めた。これらの数値から各植物種の重要値および種多様性を以下の式に従い算出した。

##### 4.1 優占度

植物種 *i* の優占度を種の重要値 (Importance Value, 以下: IV) で表した。

$$IV_i = (HT_i' + C_i') / 2$$

ここで,  $HT_i'$ ,  $C_i'$  は群落構成種の植物高 (HT) の合計および被度 (C) の合計をそれぞれ 100% としたときの植物種 *i* の相対重要値である。

##### 4.2 種多様性

1) 豊富指数:  $S = n$

2) Shannon-Wiener 種多様度指数:

$$H' = -\sum_{i=1}^n P_i \times \ln(P_i)$$

3) Simpson Diversity Index :  $D = 1 - \sum_{i=1}^n (P_i)^2$

4) Pielou 均等度指数:  $E = H' / \ln(S)$

ここで,  $n$  は植物種数,  $P_i$  は各植物種の重要値合計を 100% としたときの種 *i* の相対指数である。

#### 4.3 統計処理

データは平均値±標準偏差で示し, パドックまたは調査地点距離を要因として, Wilcoxon test により有意差が示された場合に, 処理区間の差の検定を Tukey-Kramer test により行った。

### 結 果

#### 1. 植生群落特性

WSP と CSP において, *P. fruticosa* 群落の特徴を被度と植物高で調査し, 草本植物については植被率, 群落高, 種数密度および地上部現存量の調査を行った。

##### 1.1 *Potentilla fruticosa* 群落構造の特性

*P. fruticosa* の被度 (図 2) は, WSP では FP が 20.9% で最も高く, 次いで MP (16.6%) と NP (15.7%) の順であった。CSP では NP の 16.6% が最も高くなり, 次いで FP (13.3%), MP (11.7%) の順であった。

*P. fruticosa* の植物高 (図 3) は, WSP では FP (33.0cm) と MP (31.2cm) が NP (24.1cm) に比べて高かった ( $p < 0.05$ )。CSP では FP (38.1cm) が MP (29.8cm) と NP (31.2cm) よりも高かった ( $p < 0.05$ )。

##### 1.2 草本植物の植被率, 群落高, 種数密度

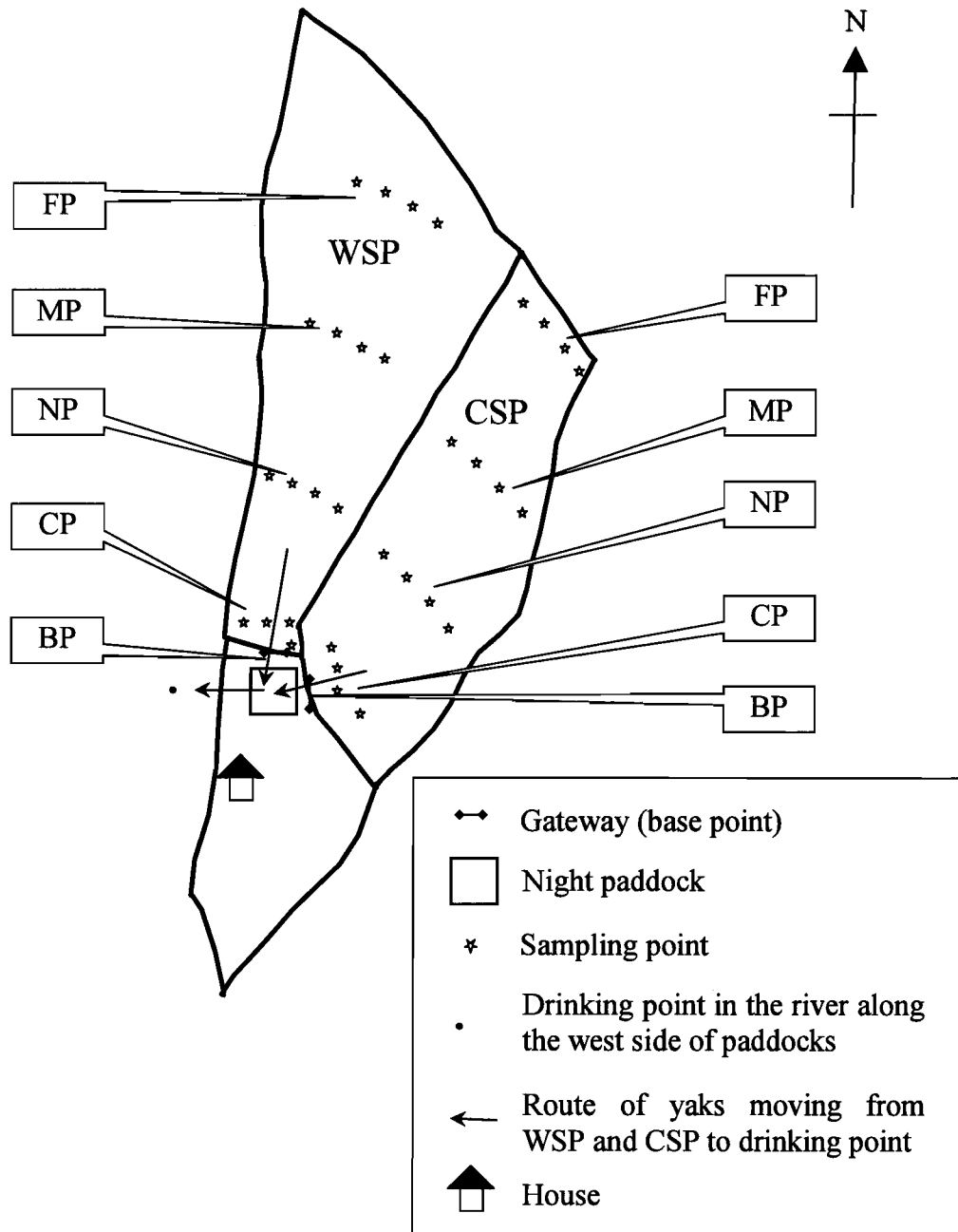
植被率 (図 4) は, WSP では  $FP > MP > NP > CP$  の順で, 夜間繫留パドックからの距離が減少するにつれて減少した ( $p < 0.05$ )。CSP では FP (98.8%) が NP (90.0%) よりも有意に高く ( $p < 0.05$ ), MP と CP 間では有意差が認められず, 夜間繫留パドックからの距離による植被率の差は明瞭ではなかった。

草本植物平均群落高 (図 5) は, WSP では  $FP > MP > CP > NP$  の順となり, FP が 4.1cm で NP の 2.4cm よりも有意に高かった ( $p < 0.05$ )。CSP では  $MP > FP > NP > CP$  の順であったが, 4 地点間には差はなかった ( $p > 0.05$ )。

ヤク夜間繫留パドックからの距離が草本植物の種数密度に及ぼす影響を表 1 に示した。WSP と CSP 両区において, CP では NP, MP および FP よりも低かった ( $p < 0.05$ )。

##### 1.3 草本植物の地上部現存量

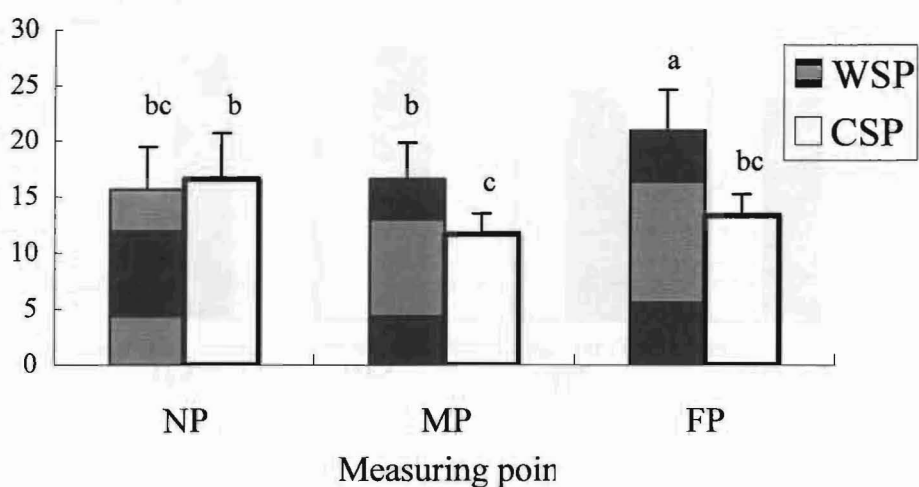
草本植物現存量 (図 6) は, WSP では FP (169 gDM/m<sup>2</sup>) と MP (170 gDM/m<sup>2</sup>) が NP (101 gDM/m<sup>2</sup>) と CP (100 gDM/m<sup>2</sup>) よりも有意に高かった ( $p < 0.05$ )。CSP では,  $FP > MP > NP > CP$  の順であり, FP (402 gDM/m<sup>2</sup>) が CP (259 gDM/m<sup>2</sup>) よりも有意に高かった ( $p < 0.05$ )。



**Fig. 1. Map of investigated site in alpine *Potentilla fruticosa* rangeland.**

WSP: paddock grazed in warm seasons, and CSP: paddock grazed in cold seasons by yaks for over 20 years.

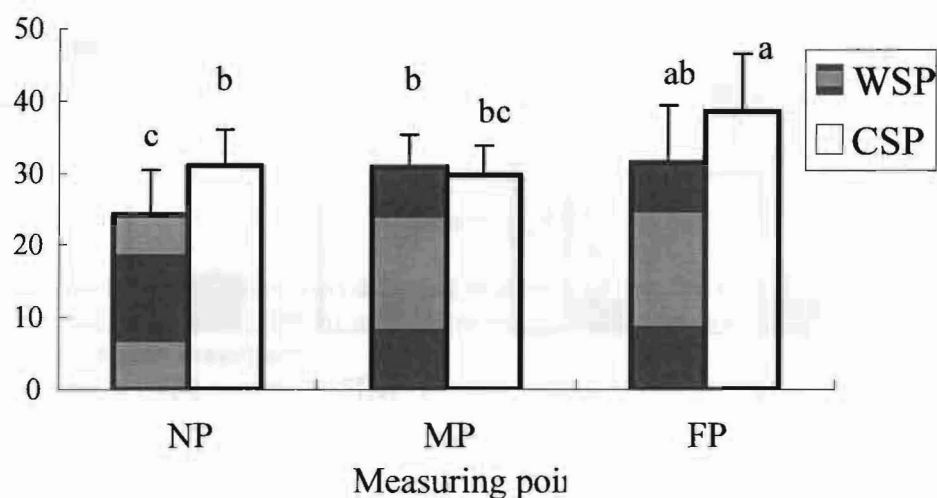
BP: base point (=0m), CP: close point ( $\leq 50$ m), NP: near point (=250m), MP: middle point (=500m) and FP: far point (=750m) from the gateway to night paddock as base point (=0m) with distance in each of the paddocks.



**Fig.2. Coverage of *Potentilla fruticosa* in locations differing in distance from the night paddock (NP, 250 m; MP, 500 m; FP, 750 m) in rotationally grazed warm- and cold-season paddocks in *P. fruticosa* alpine rangeland.**

WSP: paddock grazed in warm seasons, and CSP: paddock grazed in cold seasons by yaks for over 20 years.

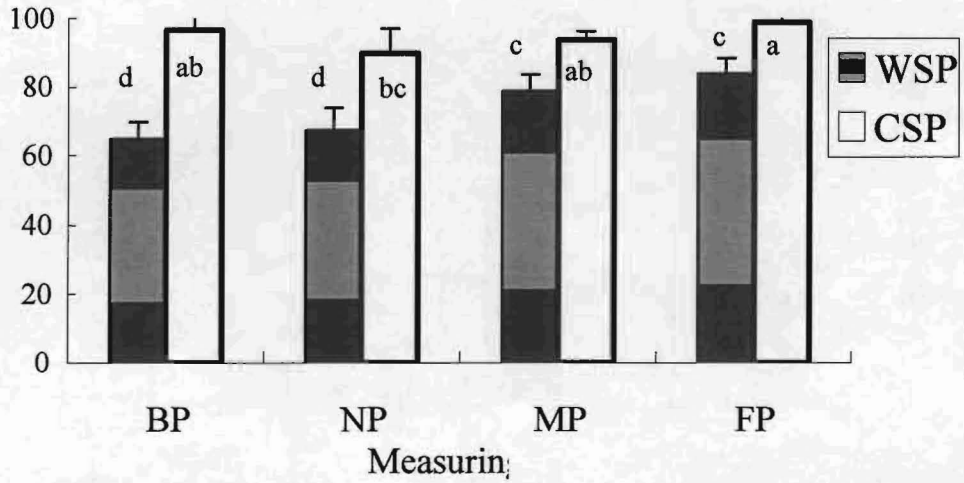
<sup>a, b, c</sup>  $p < 0.05$ .



**Fig.3. Height of *Potentilla fruticosa* in locations differing in distance from the night paddock (NP, 250 m; MP, 500 m; FP, 750 m) in rotationally grazed warm- and cold-season paddocks in *P. fruticosa* alpine rangeland.**

WSP: paddock grazed in warm seasons, and CSP: paddock grazed in cold seasons by yaks for over 20 years.

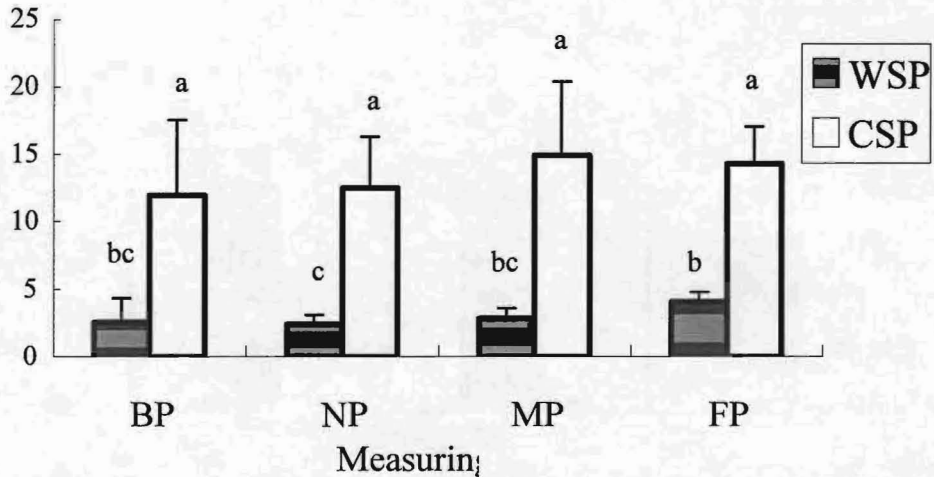
<sup>a, b, c</sup>  $p < 0.05$ .



**Fig.4. Plant cover in locations differing in distance from the night paddock (CP, ≤50 m; NP, 250 m; MP, 500 m; FP, 750 m) in rotationally grazed warm- and cold-season paddocks in *P. fruticosa* alpine rangeland.**

WSP: paddock grazed in warm seasons, and CSP: paddock grazed in cold seasons by yaks for over 20 years.

a, b, c, d  $p < 0.05$ .



**Fig.5. Community height in locations differing in distance from the night paddock (CP, ≤50 m; NP, 250 m; MP, 500 m; FP, 750 m) in rotationally grazed warm- and cold-season paddocks in *P. fruticosa* alpine rangeland.**

WSP: paddock grazed in warm seasons, and CSP: paddock grazed in cold seasons by yaks for over 20 years.

a, b, c  $p < 0.05$ .

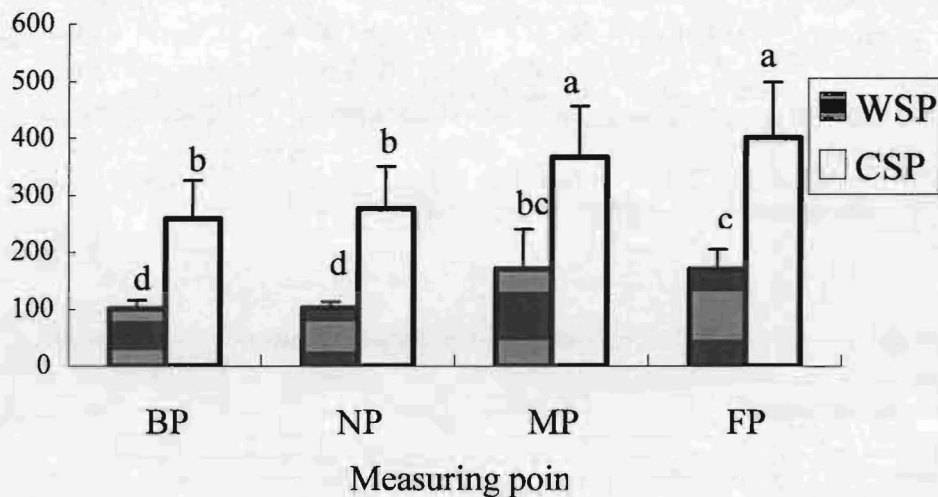
**Table 1. Number of species (/0.25m<sup>2</sup>, mean±SD) in locations differing in distance from the night paddock in rotationally grazed warm- and cold-season paddocks in *Potentilla fruticosa* alpine rangeland.**

Paddock <sup>1</sup>	Measuring point <sup>2</sup>			
	CP	NP	MP	FP
WSP	7.0±1.0 <sup>b</sup>	16.0±3.6 <sup>a</sup>	14.2±2.2 <sup>a</sup>	14.0±0.8 <sup>a</sup>
CSP	9.3±1.2 <sup>b</sup>	19.0±3.5 <sup>a</sup>	18.7±3.2 <sup>a</sup>	17.5±2.8 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>WSP: paddock grazed in warm seasons, and CSP: paddock grazed in cold seasons by yaks for over 20 years.

<sup>2</sup>Close (CP, ≤50m), near (NP, 250m), middle (MP, 500 m) and far (FP, 750m) points from the gateway to the night paddock as base point (0m).

<sup>a,b</sup>p<0.05 by student-t test.



**Fig.6. Above-ground biomass in locations differing in distance from the night paddock (CP, ≤50 m; NP, 250 m; MP, 500 m; FP, 750 m) in rotationally grazed warm- and cold-season paddocks in *P. fruticosa* alpine rangeland.**

WSP: paddock grazed in warm seasons, and CSP: paddock grazed in cold seasons by yaks for over 20 years.

<sup>a, b, c, d</sup>p<0.05.

#### 1.4 主要な草本植物の植生変化

ヤク夜間繫留パドックからの距離が主要草本種の被度に及ぼす影響を表2に示した。被度は、WSPではヤク夜間繫留パドックからの距離が小さくなるにしたがって *E. nutans*, *P. pratensis*, *K. capillifolia*, *Carex atrofusca*, *Taraxacum mongolicum* などが減少し, *Potentilla anserina*, *Plantago asiatica* などが増加した。*K. humilis* の被度は、距離の減少にしたがいNPまでは上昇したが、CPではもともと低かった。CSPでも暖季と同様に *E. nutans*, *P. pratensis*, *K. capillifolia* などヤクに好まれる草種の被度

は距離が小さくなるにしたがって減少したが、CPでは *P. anserina* の被度が63%を占め、著しく高くなった。

夜間繫留パドックからの距離が主要草本種の草高に及ぼす影響を表3に示した。草高は、WSPでは距離が大きくなるにしたがって *E. nutans*, *K. capillifolia*, *K. humilis*, *C. atrofusca*, *T. mongolicum* などヤクの嗜好性が高い野草で高くなったが、*P. anserina* と *P. asiatica* ではFPを除いて低下した。CSPでは草高と距離の間に一定の傾向がみられなかった。

**Table 2. Coverage (%) of herbaceous plants in locations differing in distance from the night paddock in rotationally grazed warm- and cold-season paddocks in *Potentilla fruticosa* alpine rangeland.**

Species	Paddock <sup>1</sup> and measuring point <sup>2</sup>							
	WSP				CSP			
	CP	NP	MP	FP	CP	NP	MP	FP
<i>Elymus nutans</i>	2.3	7.4	8.2	17.2	18.0	17.4	21.2	23.5
<i>Poa pratensis</i>	0	1.0	1.2	2.5	2.0	6.2	21.2	13.7
<i>Kobresia capillifolia</i>	0	0.1	4.0	7.7	0	5.7	8.7	11.1
<i>Kobresia humilis</i>	7.3	21.0	20.0	13.5	5.0	0	5.5	5.0
<i>Carex atrofusca</i>	0	1.0	6.5	9.0	4.2	4.2	0	4.2
<i>Taraxacum mongolicum</i>	2.0	2.1	3.0	4.7	1.7	2.2	2.1	3.9
<i>Polygonum viviparum</i>	0	2.0	7.5	5.2	3.7	8.7	5.6	15.2
<i>Potentilla nivea</i>	0.2	1.5	0.7	2.2	2.3	0.4	7.0	1.2
<i>Potentilla anserina</i>	36.7	34.0	17.2	9.7	63.3	8.5	1.0	14.2
<i>Astragalus adsurgens</i>	0	0.9	5.0	0.5	0	7.5	7.7	8.7
<i>Plantago asiatica</i>	10.3	5.4	1.2	1.6	2.0	0	10.0	0
<i>Lancea tibetica</i>	0.3	1.4	1.6	1.7	0.2	4.0	0	3.7

<sup>1</sup>WSP: paddock grazed in warm seasons, and CSP: paddock grazed in cold seasons by yaks for over 20 years.

<sup>2</sup>Close (CP,  $\leq 50$ m), near (NP, 250m), middle (MP, 500 m) and far (FP, 750m) points from the gateway to the night paddock as base point (0m).

**Table 3. Height (cm) of major herbaceous plants in locations differing in distance from the night paddock in rotationally grazed warm- and cold-season paddocks in *Potentilla fruticosa* alpine rangeland.**

Species	Paddock <sup>1</sup> and measuring point <sup>2</sup>							
	WSP				CSP			
	CP	NP	MP	FP	CP	NP	MP	FP
<i>Elymus nutans</i>	2.6	3.9	4.1	10.6	25.8	21.2	25.3	29.7
<i>Poa pratensis</i>	-	4.5	2.3	4.7	25.0	27.0	25.7	20.7
<i>Kobresia capillifolia</i>	-	5.5	7.7	11.2	-	16.8	20.9	16.3
<i>Kobresia humilis</i>	2.4	3.1	3.5	4.3	11.2	-	-	9.4
<i>Carex atrofusca</i>	-	2.3	4.2	4.6	11.6	11.1	16.8	14.5
<i>Taraxacum mongolicum</i>	0.9	1.6	2.1	4.0	8.9	14.5	15.1	21.4
<i>Polygonum viviparum</i>	-	4.3	3.7	7.0	18.1	20.1	22.3	19.5
<i>Potentilla nivea</i>	0.8	1.5	1.2	1.9	6.4	5.8	4.5	8.9
<i>Potentilla anserina</i>	3.0	1.3	1.6	3.1	11.4	6.7	7.1	8.7
<i>Astragalus adsurgens</i>	-	4.7	3.6	4.0	-	8.5	12.3	12.0
<i>Plantago asiatica</i>	2.9	1.3	1.2	1.6	7.8	-	-	-
<i>Lancea tibetica</i>	0.5	0.7	0.8	1.1	1.2	3.1	3.2	3.8

<sup>1</sup>WSP: paddock grazed in warm seasons, and CSP: paddock grazed in cold seasons by yaks for over 20 years.

<sup>2</sup>Close (CP,  $\leq 50$ m), near (NP, 250m), middle (MP, 500 m) and far (FP, 750m) points from the gateway to the night paddock as base point (0m).



**Table 4. Importance value of plant species in locations differing in distance from the night paddock in rotationally grazed warm- and cold-season paddocks in *Potentilla fruticosa* alpine rangeland.**

Species	Paddock <sup>1</sup> and measuring point <sup>2</sup>							
	WSP				CSP			
	CP	NP	MP	FP	CP	NP	MP	FP
<i>Elymus nutans</i>	7.47	6.08	9.38	12.49	19.84	12.48	14.27	15.58
<i>Poa pratensis</i>	0	3.24	1.47	2.45	7.28	6.32	6.03	6.65
<i>Poa subfastigiata</i>	0	0	0	0	0	1.19	0	1.08
<i>Koeleria cristata</i>	0	0	0	0	0	5.68	3.88	5.08
<i>Poa annua</i>	0	0	0	0	0	6.66	6.26	1.04
<i>Stipa purpurea</i>	1.93	1.85	1.80	0	0	0.91	3.33	1.29
<i>Festuca sinensis</i>	0	0	0	0	0	3.34	1.43	2.41
<i>Kobresia humilis</i>	8.74	18.19	14.02	9.63	5.30	0	0	3.17
<i>Carex atrofusca</i>	0	3.11	7.38	8.14	6.64	2.83	3.83	1.78
<i>Kobresia capillifolia</i>	0	1.90	9.12	14.48	0	4.84	3.81	8.19
<i>Taraxacum mongolicum</i>	4.95	3.74	4.17	6.14	2.94	3.14	5.22	4.70
<i>Polygonum viviparum</i>	0	4.87	8.48	9.16	6.57	8.23	6.42	7.41
<i>Potentilla nivea</i>	2.03	2.28	1.57	2.54	2.20	0.71	1.25	1.01
<i>Potentilla anserina</i>	36.86	19.73	11.13	2.29	33.13	5.44	4.55	4.96
<i>Potentilla bifurca</i>	2.43	1.51	3.00	0.66	1.04	0	0	1.42
<i>Plantago asiatica</i>	13.69	3.56	1.78	1.91	2.85	0	0	0
<i>Leontopodium nanum</i>	0	2.67	7.93	6.08	0	1.97	2.32	2.16
<i>Pedicularis kansuensis</i>	0	1.31	0.72	0	0	0	0	1.70
<i>Lancea tibetica</i>	2.28	1.98	1.67	1.99	0.67	2.36	1.44	1.86
<i>Anaphalis lactea</i>	0	0.62	0	0	0	0.32	0	0.58
<i>Aster flaccidus</i>	0	3.49	0.65	0.53	0	3.62	4.29	1.65
<i>Aster ageratoides</i>	0	0	0	2.95	2.70	3.19	4.61	2.71
<i>Saussurea superba</i>	0	0	0	0.29	1.74	0	0	0
<i>Artemisia capillaris</i>	0	0.83	1.57	3.20	0	0.31	0	0
<i>Ligularia virgaurea</i>	0	0	0	0	0.55	0	1.98	1.23
<i>Thalictrum alpinum</i>	0	2.66	1.58	4.00	0.27	1.32	1.56	0.78
<i>Trollius pumilus</i>	0	0	0	0	0	0.99	0	0.69
<i>Ranunculus spp.</i>	2.32	1.29	0	0	0	1.40	1.85	0.81
<i>Hippophae thibetana</i>	0	0	0	0	0	0	0	1.05
<i>Pedicularis longiflora</i>	0	0	0	1.20	0	0.92	1.01	0.4
<i>Dracocephalum heterophyllum</i>	0	0.98	0	1.44	0	1.93	2.00	1.71
<i>Notopterygium forbesii</i>	0	0	0	0	0	0.28	0.76	0
<i>Carum buriaticum</i>	13.57	0	0	0	2.16	1.33	0	2.42
<i>Polygonum sphaerostachyum</i>	0	2.17	1.20	0	0	0	0	1.11
<i>Polygonum sibiricum</i>	2.94	1.06	0	0	2.35	1.36	4.02	1.32
<i>Spiraea alpina</i>	0	0	0	0	0	0	1.01	0.80
<i>Geranium pylzowianum</i>	0	1.02	0.31	0.45	0	2.72	3.96	1.32
<i>Ephedra sinica</i>	0	0	0	0	0	1.08	1.64	1.66
<i>Astragalus adsurgens</i>	0	4.47	5.83	1.21	0	4.64	5.28	5.94
<i>Astragalus polycladus</i>	0	0	2.49	0	0	6.08	1.33	0
<i>Gueldenstaedtis diversifolia</i>	0.79	3.18	1.34	1.70	1.73	0	0	0
<i>Gentiana sinoornata</i>	0	1.70	1.41	5.04	0	1.85	0.32	0.51
<i>Swertia franchetiana</i>	0	0	0	0	0	0.56	0.3	0
<i>Gentiana straminea</i>	0	0.52	0	0	0	0	0	0
<i>Gentianopsis paludosa</i>	0	0	0	0	0	0	0	1.81
No. species	13	29	24	24	16	34	31	36

<sup>1</sup>WSP: paddock grazed in warm seasons, and CSP: paddock grazed in cold seasons by yaks for over 20 years.<sup>2</sup>Close (CP, ≤50m), near (NP, 250m), middle (MP, 500 m) and far (FP, 750m) points from the gateway to the night paddock as base point (0m).

**Table 5. Species richness and diversity indices of plant communities in locations differing in distance from the night paddock in rotationally grazed warm- and cold-season paddocks in *Potentilla fruticosa* alpine rangeland.**

Item	CP <sup>2</sup>	NP	MP	FP
Richness Index (No. species by plant family)				
WSP <sup>1</sup>	13	29	24	24
CSP	16	34	31	36
D (Simpson Diversity Index)				
WSP	0.777±0.047 <sup>b</sup>	0.880±0.045 <sup>a</sup>	0.891±0.020 <sup>a</sup>	0.875±0.024 <sup>a</sup>
CSP	0.766±0.026 <sup>b</sup>	0.921±0.010 <sup>a</sup>	0.914±0.024 <sup>a</sup>	0.903±0.038 <sup>a</sup>
<i>H'</i> (Shannon-Wiener Diversity Index)				
WSP	1.68±0.17 <sup>b</sup>	2.43±0.30 <sup>a</sup>	2.42±0.15 <sup>a</sup>	2.33±0.15 <sup>a</sup>
CSP	1.82±2.71 <sup>b</sup>	2.71±0.16 <sup>a</sup>	2.67±0.22 <sup>a</sup>	2.59±0.23 <sup>a</sup>
E (Pielou Evenness Index)				
WSP	0.865±0.031	0.881±0.040	0.915±0.017	0.884±0.028
CSP	0.815±0.010 <sup>b</sup>	0.923±0.015 <sup>a</sup>	0.916±0.032 <sup>a</sup>	0.907±0.042 <sup>a</sup>

<sup>1</sup>WSP: paddock grazed in warm seasons, and CSP: paddock grazed in cold seasons by yaks for over 20 years.

<sup>2</sup>Close (CP, ≤50m), near (NP, 250m), middle (MP, 500 m) and far (FP, 750m) points from the gateway to the night paddock as base point (0m).

<sup>a, b</sup>p<0.05.

## 2. 植物種組成

ヤク夜間繫留パドックからの距離がWSPとCSP区における植物の種組成に及ぼす影響を表4に示した。WSPにおいては、CSPよりもイネ科植物種数が少なく、FPでは草高の高い草種である*E. nutans*, *K. capillifolia*が*P. fruticosa*に次いで優占度が高く、*K. humilis*, *Polygonum viviparum*, *C. atrofusca*, *T. mongolicum*が続いた。また、距離が小さくなるにしたがって放牧耐性の高い*K. humilis*以外の草高の高い草種の優占度が低下し、匍匐性で踏圧に強く、ヤクの嗜好性の低い草種である*P. anserina*と*P. asiatica*の優占度が増加した。MPでは*K. humilis*と*P. anserina*が優占度の高い種で、*E. nutans*, *K. capillifolia*, *P. viviparum*, *C. atrofusca*, *L. nanum*がそれに続く草種であった。NPでは*P. anserina*と*K. humilis*が優占度の高い草種で、*E. nutans*, *P. viviparum*, *P. pratensis*, *Astragalus adsurgens*などがそれに次ぐ草種であった。また、*Aster flaccidus*, *P. asiatica*などヤクが採食しない広葉草本の種数と優占度が高かった。CPでは*P. anserina*が最も優占度が高く、*P. asiatica*, *Carum buriaticum*などがそれに次ぐ草種で、ヤクの採食性が高い草種はほとんど見られなかった。CSPにおいては、FP, MP, NPの3地点間では草種構成に大きな差はなく、いずれもイネ科植物と*K. capillifolia*, *P. viviparum*, *T. mongolicum*, *A. adsurgens*などの採食性の高いと考えられる

優良な草種であったが、CPでは草種が急に減少し、*P. anserina*が最も優占度の高い草種となり、*E. nutans*と*P. pratensis*, *C. atrofusca*, *P. viviparum*, *K. humilis*などが次いで優占度の高い種であった。

## 3. 植物の種多様性

ヤク夜間繫留パドックからの距離が植物の種多様性に及ぼす影響を表5に示した。WSPにおいては、総種数はNPの29種が最も多く、CPの13種が最も少なかった。Simpson指数とPielou均等度指数はMPで最大値を示したが、Shannon-Wiener指数はNPの2.43が最大値であった。Simpson指数とShannon-Wiener指数およびPielou均等度指数はいずれもCPが他の距離地点と比較し低かった(p<0.05)。CSPにおいては、総種数はFPの36種が最も多く、CPの16種が最も少なかった。Simpson指数とShannon-Wiener指数およびPielou均等度指数はいずれもFPからNPまでは距離が小さくなるにしたがって増加したが、CPでは最も低い値を示した(p<0.05)。

## 考 察

広大な草地では、地形、水、日陰、風雨、放牧施設(牧柵、ゲート)などの要因によって生じる放牧圧(採食、踏圧、排泄)の空間的変異により、植生にも空間的変異が見られる。放

牧強度実験は、家畜の放牧頭数と採食量によって放牧圧を設定して実施するのが一般的である<sup>1, 4, 5, 8, 14, 17)</sup>。面積の広い牧区を対象にした研究では、放牧地出入口あるいは家畜の飲水地点からの距離で相対放牧圧を推定する方法<sup>35, 39, 40, 41, 43, 46)</sup>や、植生の遷移によって間接的に放牧圧の推定を行う方法<sup>41, 43, 52, 54)</sup>が報告されている。放牧家畜による採食と踏圧、排泄およびそれらによる草地での養分の分布状態の変化は草地生態システム中の植物群落の構成、草種組成および生産性に重要な働きを持つ<sup>6, 18, 25, 32)</sup>ことが報告されている。放牧強度は放牧草地の植生組成、種多様性、生産性および土壌理化学性状にさまざまな影響を及ぼし、適度な放牧は草地の種多様性および生産性を維持・向上させるが、過放牧はそれらを低下させ、草地の荒廃を引き起こす<sup>6, 23, 35)</sup>。チベット高原の野草放牧地でも、放牧強度の増加に伴って、地上部現存量はイネ科植物およびカヤツリグサ科植物が低下し広葉草本が著しく増加し<sup>7, 19, 36, 37, 51)</sup>、草種構成が単純化する<sup>19, 35, 48, 49)</sup>。更に、強い放牧強度による過放牧は高寒草地を荒廃させる根本的な原因であると報告されている<sup>20, 22, 37, 49, 53, 56)</sup>。*P. fruticosa* 優占草地で行ったヒツジの放牧強度に関する試験では、夏の放牧地において、放牧強度が高まるにしたがって、*P. fruticosa* の葉がヒツジに頻繁に採食されるようになり、枯死した *P. fruticosa* の株と群落が増加し、植物高と被度は共に低下したと報告されている<sup>35)</sup>。本研究においても、WSP では、距離が小さくなるにしたがって *P. fruticosa* の植物高と被度はともに低下したが、CSP では一定の傾向が見られなかった。このことは、WSP では、早春と晩秋の牧草の量が極端に少ない時期に、ヤクにより *P. fruticosa* の葉が採食されたが、ヤク夜間繫留パドックからの距離により被食度が異なった影響と考えられる。CSP においては、入牧時は現存量が多く *P. fruticosa* が採食されず、その後の気温の低下により葉は枯死し採食できなくなるため、*P. fruticosa* へのヤクの採食による影響は小さかったと考えられる。また、WSP では、草本植物でも距離が小さくなるにしたがって地上部現存量が減少し、下層植生の植被率は FP>MP>NP>CP の順で、群落高は FP>MP>CP>NP の順に低くなった。群落の構成種の優占度も変化し、*P. anserina*, *P. asiatica* などのヤクの嗜好性が低い種の群落内での優占度が高くなり、ヤクに好まれる *E. nutans*, *P. pratensis*, *K. capillifolia* などの優占度は低下した。*K. humilis* の被度は NP までは上昇したが、CP では最も低かった。これらの WSP と CSP 両牧区間および同一牧区内

での時空的変動は、距離によって生じた放牧圧の時空的変動により引き起こされたものと考えられる。本調査農家では、朝から夕方までは放牧し、搾乳作業と獣害や盗難を防ぐために、夜にはヤクを住宅近傍のパドックに繫留する。ヤクの放牧行動については、午前中と夕方帰牧前の時間帯に採食行動のピークがあることが観察されている<sup>10)</sup>。特に、ヤクは夜間に午前中には空腹であるため採食行動が集中し、移動時間が短くて採食時間が長く、摂取速度が速くて、採食バイト数が多いことが観察されている<sup>31)</sup>。また、夜間繫留パドックに川の飲水地点が近接しており、飲水前後に毎回同じ経路で歩行と採食を繰り返す。これらの行動は距離が小さくなるほど多くなるため、同一パドック内においても放牧圧の大きな勾配が形成されたと考えられる。牧区の形状は、CSP では夜間繫留パドック側 263m、北側 223m でほぼ四角形であったが、WSP では夜間繫留パドック側が 164m、北側が 591m の扇形となっており、この形状も WSP で生じた放牧圧の勾配の一因と考えられた。

放牧家畜の採食行動は植物群落に直接的に影響し、異なる放牧強度では家畜の選択が異なり<sup>2, 30, 39)</sup>、植物が受ける影響の差によって草地群落構造と植物組成も変化する。カヤツリグサ科の *K. humilis* は、高寒草地での家畜の放牧採食に強い植物の代表種である。放牧強度はその栄養繁殖に大きく影響し、典型的な勾配反応特性を持つと報告されている<sup>57)</sup>。イネ科の *E. nutans* とバラ科の *P. anserina* は高寒草地での指標となる重要な種で、放牧採食に対しては異なる反応を示し、群落中の優占度の増減が草地の遷移方向を示すことが報告されている<sup>18, 56)</sup>。すなわち、適度な放牧は *E. nutans* の栄養成長に有利であるが、過放牧は自然下種による有性繁殖を抑制するため優占度が低下する。また、過放牧条件下での家畜の採食は植物種間競争を低減し、*P. anserina* の優占度を高め栄養成長と有性繁殖を共に促進し、更に優占度が上昇するため、*P. anserina* は高寒草地の退行遷移を示す主要指標種であると報告されている<sup>18)</sup>。本研究では、WSP において、夜間繫留パドックからの距離が小さくなるにしたがって、優良な草種である *E. nutans*, *P. pratensis*, *K. capillifolia* などの優占度は減少し、採食性の低い *K. humilis* などカヤツリグサ科の短草型草種とバラ科の *P. anserina* のような匍匐性で踏圧に強い草種の優占度は高くなり、放牧圧が高い CP では *P. anserina* が最も優占度の高い種であった。WSP では距離が大きくなるにしたがって主要な植物の *E. nutans*, *P. pratensis*, *K.*

*capillifolia*, *C. atrofusca*, *T. mongolicum* などの被度が増加し, *P. anserina*, *P. asiatica* などでは減少した。このことは, 放牧により嗜好性の高い草種の成長が抑制され, 嗜好性の低い *P. anserina* はより多くの成長空間と栄養を獲得しやすくなり, 成長と更新が速くなったと考えられる。特に夜間繫留地に接する CP の場合, ヤクの頻繁な採食と歩行で優良な野草の成長が抑制され, 重度の踏圧を受け, また, 多量の排泄物から養分を吸収利用できるため, *P. anserina* が優占したと推測される。更に長期間にわたって重度の放牧圧がかかると, 草地は生態的価値と放牧利用価値のない“黒土型”裸地<sup>50)</sup>に遷移し, 砂漠化する恐れがある。

被食の指標となる植物高を複数の植物種で見ると, WSP では夜間繫留パドックからの距離が小さくなるにしたがって, *P. pratensis*, *E. nutans*, *K. capillifolia* などの長草型草種だけでなく, *K. humilis* など短草型草種と *P. anserina*, *L. nanum*, *Lancea tibetica* などヤクの嗜好性が低い広葉草本および優占種である木本植物 *P. fruticosa* の植物高も低くなった。また, 夜間繫留パドックからの距離が小さくなるにしたがって *K. humilis* や *P. anserina* など短草型草種の被度は高くなり, *P. pratensis*, *E. nutans*, *K. capillifolia* などの草種の値は低くなり, 草地の生産性と放牧地としての利用価値が低下した。これらのことから, 夜間繫留地から放牧地への出口を基点とした距離による放牧圧の差が *P. fruticosa* の優占する自然放牧草地の空間的変動に強い影響を与え, CP および NP では重度の退行遷移が起きていることが明らかとなった。

放牧による攪乱は高寒草地の遷移と安定性に影響を及ぼし, 種多様性の変化は草地の退行遷移状況を反映する<sup>40, 41, 42, 43, 45, 56)</sup>。多様化した群落では生態システムの安定性が増加し, 種数の増加はより多くの利用可能な資源の提供となり, 草地の生態的価値が高まることが知られている<sup>18, 47, 48)</sup>が, 本研究では, WSP においては, 総種数は NP の 29 種が最も多く, Simpson 指数と Pielou 均等度指数は MP で最大値を示したが, Shannon-Wiener 指数は NP の 2.43 が最大値であった。種数密度も, 距離が小さくなるにしたがって上昇し, NP では最大値を示した。しかし, NP では *P. anserina* と *K. humilis* が優占度の高い主要な種で, *E. nutans*, *P. viviparum*, *P. pratensis* などがそれに次ぐ種であるが優占度が低く, *A. flaccidus*, *A. adsurgens* などヤクが採食しない広葉草本の種数と優占度が MP と FP よりも高くなった。また, NP では草本植物の群落高, 植被率, 草本植物の地上部現存

量は, いずれも CP よりは高かったが MP と FP よりは低かった。以上のことから, 群落の種多様性が高いことは必ずしも優良草地を意味しないと考えられる。優良な草地とは, 家畜の嗜好性が高く栄養価の高い草種の割合が高い草地を指すと考えられるが, 種多様度指数は群落を構成する草の質とは関係なく決定する指数である。多様性が高くても, 群落構成種に家畜の嗜好性の高い種が少なければ, その草地は生態的価値はあるが, 家畜生産的価値は低い。また, 家畜の嗜好性の高い種が多くても喫食によって草高が低くなるとその放牧利用価値は減少する。そのため, 今後嗜好性を考慮した各草種の現存量と被度によって放牧草地を評価すべきであると考えられる。

多くの畜産農家が, 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。野草放牧地の植物種多様性および生態系を良好に保ち, 家畜の生産を継続的に維持・向上させるためには, 牧道の設置や小区画でのあるいは休牧を取り入れた輪換放牧方式など, 現行の暖寒 2 季輪換放牧に代わる現実にあった方式の検討が必要と考えられた。

## 謝 辞

本研究は日本学術振興会科学研究費補助金(課題番号15255020, 研究代表者:長谷川信美, および課題番号16・04482, 研究代表者:長谷川信美, 共同研究者:宋 仁徳)による助成を受けた。

本研究の遂行にあたり, ご協力いただいた中国青海省海北藏族自治州門源回族自治县草地ステーションおよび畜牧獣医ステーションの研究者15名の方々と, 調査地管理者の周 薩氏, 曲 永琴氏ご夫妻に, 心より謝意を表す。

## 引用文献

- 1) ANDERSEN, U. V. and B. CALOV, Long-term effects of sheep grazing on Giant Hogweed (*Heracleum mantegazzianum*). *Hydrobiologia*, 340:277-284. 1996.
- 2) BERENDSE, F., The effects of grazing on the outcome of competition between plant species with different nutrient requirements. *Oikos*, 44:129-137. 1985.
- 3) BAILEY, D. W., J. E. GROSS, E. A. LACA, L. R. RITTENHOUSE, M. B. COUGHENOUR, D. M. SWIFT and P. L. SIMS, Mechanisms that result in large herbivore grazing distribution patterns.

- Journal of Range Management, 49: 386-400. 1996.
- 4) DONG, Q., X. ZHAO, Y. MA, Q. LI and Q. WANG, J. SHI, Studies on the relationship between grazing intensities for yaks and plant groups in *Kobresia parva* alpine meadow. Acta Agrestia Sinica, 7:334-338, 343. 2005. (In Chinese with English abstract).
  - 5) GAN, Y., Z. LI, Q. WANG, B. ZE, G. LUO, Y. REN, and Y. CHEN, Study on grazing degenerating succession of subalpine meadow in northwestern of Sichuan Province. Acta Agrestia Sinica, 13:48-52. 2005. (In Chinese with English abstract).
  - 6) GRIME, J. P. Competitive exclusion in herbaceous vegetation. Nature, 242:344-347.1973.
  - 7) HAN, F., G. BEN, S. SHI, Study on some plant growth characteristics under different grazing intensities in alpine bushland. Acta phytocologica et geobotanica sinica, 17:331-338.1993. (In Chinese with English abstract).
  - 8) HART, R. H., Plant biodiversity on shortgrass steppe after 55 years of zero, light, moderate, or heavy cattle grazing. Plant Ecology, 155:111-118. 2001.
  - 9) HASEGAWA, N., R. SONG, M. KOZONO, S. IDOTA, A. NISHIWAKI, G. LI, A. FUKUDA and Q. ZHOU, Differences in yak (*Bos grunniens*) grazing behaviour and chemical composition of feces in the southern and northern Qinghai-Tibetan Plateau in China. Acta Prataculturae Sinica, 15(Suppl):286-288. 2006.
  - 10) 長谷川信美・宋 仁徳・李 国梅・井戸田幸子・小藪正治・秋田 優・福田 明・馮 生青・周 玉清・周 青平, 中国青海省北部野草地におけるヤク (*Bos grunniens*) の行動. 日本草地学会誌, 51(別):372-373. 2005.
  - 11) HOBBS, R. J. and L. F. HUENNEKE, Disturbance, diversity and invasion: implications for conservation. Conservation Biology, 6:324-337.1992.
  - 12) HOU, F., S. CHANG, Y. YU and H. LIN, A review on trampling by grazed livestock. Acta Ecologica Sinica, 24:784-789. 2004. (In Chinese with English abstract).
  - 13) HOU, F., and J. REN, Evaluation on trampling of grazed Gansu wapiti (*Cervus elaphus kansuensis* Pocock) and its effects on soil property in winter grazing land. Acta Ecologica Sinica, 23:486-495. 2003. (In Chinese with English abstract).
  - 14) HUMPHREY, J. W. and G. S. PATTERSON, Effects of late summer cattle grazing on the diversity of riparian pasture vegetation in an upland conifer forest. Journal of Applied Ecology, 37:986-996. 2000.
  - 15) JIANG, X., Relationship of population quantities of plateau Pika with vegetation homogeneity. Acta Prataculturae Sinica, 7:60-64. 1998. (In Chinese with English abstract).
  - 16) LI, G., S. IDOTA, N. HASEGAWA, R. SONG, Y. WANG, S. FENG, Effect of long-term seasonal grazing of yak (*Bos grunniens*) on botanical diversity of potentilla fruticosa alpine rangeland in Qing-Zang Plateau. Acta Prataculturae Sinica. 15: 149-151. 2006.
  - 17) LI, J., Z. LI and J. REN, The effects of grazing on grassland plants. Acta Prataculturae Sinica, 11:4-11. 2002. (In Chinese with English abstract).
  - 18) LIU, J., Z. ZHU, W. ZHENG. Responses of two plant species to grazing practice in alpine and cold meadow under grazing and grazing-suspension. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica, 25:2043-2047. 2005. (In Chinese with English abstract).
  - 19) LIU, W., L. ZHOU, X. WANG, Responses of plant and rodents to different grazing intensity Acta Ecologica Sinica, 19:376~382. 1999. (In Chinese with English abstract).
  - 20) LIU, W., Q. WANG, X. WANG, L. ZHOU, Y. LI and F. LI, Ecological process of forming "black-soil-type" degraded grassland. Acta Agrestia Sinica, 7:300-307. 1999. (In Chinese with English abstract).
  - 21) MA, K., J. HUANG, S. YU and L. CHEN, Plant community diversity in Dongling mountain, Beijing, China: II. Species richness, evenness and species diversities. Acta Ecologica Sinica, 15:268-277. 1995. (In Chinese with English abstract).
  - 22) MA, Y., B. LANG, H. YANG, Y. MA, Improvement of yak production on deteriorated "black soil" grassland. Grassland of china, 4:61-63. 1998. (In Chinese with English abstract).
  - 23) MILCHUNAS, D. G., O. E. SALA, W. L. LAUENROTH, A generalized model of the effects of grazing by large herbivores on grassland community structure. American Naturalist, 132:87-105. 1988.
  - 24) 西脇亜也・佐藤衆介・大竹秀男・篠原 久・菅原和夫, 放牧地の草種構成と種多様性に及ぼす異なる放牧管理の影響—北上山系に同時に入植した酪農家2戸の放牧地の植生—. 日本草地学会誌, 45 : 52-58, 1999.
  - 25) NOY-MEIR, I., M. GUTMAN and Y. KAPLAN, Responses of mediterranean grassland plants to grazing and protection. Journal of Ecology, 77:290-310. 1989.
  - 26) OSEM, Y., A. PEREVOLOTSKY and J. KIGEL, Grazing effect on diversity of annual plant

- communities in a semi-arid rangeland: interactions with small-scale spatial and temporal variation in primary productivity. *Journal of Ecology*, 90:936-946. 2002.
- 27) QIN, G., and G. DU, Similarity, species diversity, and interannual variability in total aboveground biomass in alpine meadow plant community. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 25:979-984. 2005.
- 28) QUINN, J. and G. ROBINSON, The effects of experimental subdivision on flowering plant diversity in a California annual grassland. *Journal of Ecology*, 75:837-856. 1987.
- 29) SENFT, R. L., M. B. COUGHENOUR, D. W. BAILEY, L. R. RITTENHOUSE, O. SALA and D. M. SWIFT, Large herbivore foraging and ecological hierarchies. *BioScience*, 37: 789-799. 1987.
- 30) SONG, R., N. HASAGAWA, S. IDOTA, G. LI, A. NISHIWAKI, C. JIU, N. XU and Q. ZHOU, Botanical composition, aboveground biomass and grazing behaviour of yak (*Bos grunniens*) in the southern rangeland of Qinghai Province, China. *Acta Prataculturae Sinica*, 15 (Suppl): 289-291. 2006.
- 31) 宋 仁徳・長谷川信美・李 国梅・井戸田幸子・長谷川岳子・秋田 優・松隈聖子・喬 扎西・馬 存寿・馮 生青・周 玉清. 中国青海省北部金露梅優占放牧地における成雌ヤクの採食行動. *日本草地学会誌*, 52 (別) : 336-337. 2006.
- 32) 宋 仁徳・雷 豪清・李 国梅・馬 更禄・徐 寧・井戸田幸子・長谷川信美・西脇亜也. 中国青海省南部の野草放牧地におけるクチグロナキウサギ (*Ochotona curzoniae*) による被害. *日本草地学会誌*, 51 (別) : 10-11. 2005.
- 33) TILMAN, D., Community invisibility, recruitment limitation, and grassland biodiversity. *Ecology*, 78:81-92. 1997.
- 34) WANG, B., Approach to grassland grade classified in Qinghai province. *Pratacultural Science*, 14 (2): 20-22, 1997. (In Chinese with English abstract).
- 35) WANG, G., J. REN, Z. ZHANG, Studies on the population diversity of plant community in Hexi mountain-oasis-desert area, Gansu, China, II Impacts of grazing pressure on species diversity in steppe. *Acta Prataculturae Sinica*, 11:31-37. 2002. (In Chinese with English abstract).
- 36) WANG, Q. and X. ZHOU, The growth rhythm of the grasses populations and their adaptability of environment in *Kobresia humilis* meadow. *Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica*, 15:168-175. 1991. (In Chinese with English abstract).
- 37) WANG, Q., L. ZHOU, F. WANG, Effect analysis of stocking intensity on the structure and function of plant community in winter-spring grassland. *Alpine Meadow Ecosystem*, 4:353-364. 1995. (In Chinese with English abstract).
- 38) WANG, Q., X. ZHOU, Y. ZHANG, X. ZHAO, Y. ZHANG, The effect of grazing on growth and biomass of *Potentilla fruticosa*. *Alpine Meadow Ecosystem*, 3:89-95. 1991. (In Chinese with English abstract).
- 39) WANG, S., The dietary composition of fine wool sheep under different stocking rates and relationship between dietary diversity and plant diversity in Inner Mongolia steppe. *Acta Ecologica Sinica*, 21:237-243. 2001. (In Chinese with English abstract).
- 40) WANG, Y, X. WEI, P. YANG, Effects of over-grazing on vegetation degradation of *Kobresia pygmaea* meadow in Naqu, Tibet. *Journal of Lanzhou University (Natural Sciences)*. 41:32-38. 2005. (In Chinese with English abstract).
- 41) WEI, X, P. YANG, S. LI and H. CHEN, Effects of over-grazing on vegetation degradation of the *Kobresia pygmaea* meadow and determination of degenerative index in the Naqu prefecture of Tibet. *Acta Prataculturae Sinica*, 14(3):41-49. 2005. (In Chinese with English abstract).
- 42) WHITTAKER, R. H., Evolution of diversity in plant communities. *Ecology*, 50:417-428. 1969.
- 43) 烏 云娜・中村 徹・林 一六, 内モンゴルシリ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. 1999.
- 44) XIA, W., X. ZHOU, J. LIU, X. ZHANG, The bio-community in the region of alpine meadow. *Alpine Meadow Ecosystem*, 3:1-7. 1991. (In Chinese with English abstract).
- 45) 山本嘉人・八木隆徳・斉藤吉満・桐田博充, 放牧によるススキ型草地の植生遷移に伴う群落の種多様年数  $H'$  の変化. *日本草地学会誌*, 44 : 122-126, 1998.
- 46) YANG, L., J. LI, Y. YANG,  $\beta$ -diversity of grassland communities along gradient of grazing disturbance. *Chinese Journal of Applied Ecology*. 10:442-446. 1999. (In Chinese with English abstract).
- 47) YUAN, J., X. JIANG, W. HUANG and G. WANG, Effects of grazing intensity and grazing season on plant species diversity in alpine meadow. *Acta Prataculturae Sinica*, 13(3):1-8. 2004. (In Chinese with English abstract).
- 48) ZHANG, Y., A quantitative study on characteristics and succession pattern of alpine shrub lands under different grazing intensities.

- Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica, 14:358-364. 1990. (In Chinese with English abstract).
- 49) ZHANG, Z., Significance, problem and suggestion of highland pasture animal husbandry in Tibet, China. Pratacultural Science, 18 (6): 1-5. 2001. (In Chinese with English abstract).
- 50) ZHOU, H., L. ZHOU, X. ZHAO, W. LIU, Z. YAN, Y. SHI, Degraded process and integrated treatment of "black soil beach" grassland in the source regions of Yangtze and Yellow Rivers. Chinese Journal of Ecology, 22(5):51-55. 2003. (In Chinese with English abstract).
- 51) ZHOU, H., L. ZHOU, X. ZHAO, Y. ZHOU, W. LIU and Z. YAN, Effect of fencing on lightly and heavily grazing *Potentilla fruticosa* shrublands. Acta Arestla Sinica, 12:140-144. 2004. (In Chinese with English abstract).
- 52) ZHOU, H., X. ZHAO, L. ZHOU, L. ZHAO, F. HAN, Effects of different grazing intensities on growth of *Potentilla anserina* clones. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 26: 1021-1029. 2006. (In Chinese with English abstract).
- 53) ZHOU, L., Q. WANG, J. ZHAO, Q. ZHOU, Studies on optimum stocking intensity in pasturelands of alpine meadow. Alpine Meadow Ecosystem, 4:365-418. 1995. (In Chinese with English abstract).
- 54) ZHOU, X., Q. WANG, Y. ZHANG, X. ZHAO, Y. LIN, Quantitative analysis of succession law of the alpine meadow under the different grazing intensities. Acta Phytocologica et Geobotanica Sinica, 11:276-286. 1987. (In Chinese with English abstract).
- 55) 周興民・王質彬・杜慶, 青海植被. 西寧. 青海人民出版社, 1986.
- 56) 周興民, 中国嵩草草甸 (Kobresia meadow of CHINA). 北京. 科学出版社, 2001.
- 57) ZHU, Z., G., WANG, S. ZHAO, Dynamics and regulation of clonal ramet population in *Kobresia humilis* under different stocking intensities. Acta Ecologica Sinica, 14:40-45.1994. (In Chinese with English abstract).

## Spatial variety in vegetation of *Potentilla fruticosa* rangeland rotationally grazed by yak (*Bos grunniens*) in warm and cold seasons on the distance to night paddock in northern Qinghai-Tibetan Plateau

Guomei LI<sup>1</sup>, Nobumi HASEGAWA<sup>2\*</sup>, Rende SONG<sup>2</sup>, Akira FUKUDA<sup>3</sup>, Haizhu LI<sup>1</sup>,  
Youxue XU<sup>4</sup> and Ning XU<sup>5</sup>

<sup>1</sup> The United Graduate School of Agricultural Sciences, Kagoshima University, Kagoshima 890-0065, Japan

<sup>2</sup> Faculty of Agriculture, University of Miyazaki, Miyazaki 889-2192, Japan

<sup>3</sup> Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University, Hamamatu 432-8011, Japan

<sup>4</sup> Qinghai Province Grassland Center, Xining, Qinghai Province 810000, China

<sup>5</sup> Yushu State Grassland Center, Jiegu, Yushu state, Qinghai Province 815000, China

\* Corresponding author. E-mail address: nhasegaw@cc.miyazaki-u.ac.jp

### Summary

Spatial variability in vegetation (cover, height, biomass, species diversity) was evaluated in two seasonally grazed, daytime paddocks (WSP, warm-season paddock; CSP, cold-season paddock; >20 years of grazing history) in *Potentilla fruticosa* rangeland in northern Qinghai-Tibetan Plateau, focusing on the distance to a night paddock (CP, ≤50 m; NP, 450 m; MP, 850 m; FP, 1250 m). In WSP, coverage and height of *P. fruticosa* and the coverage and community height of the understory increased as the distance to the night paddock increased ( $p < 0.05$ ). *Elymus nutans* and *Kobresia capillifolia* which were tall in height were main species in the FP. The dominance values of *Potentilla anserina* and *Plantago asiatica* which were prostrate, trampling-tolerant and avoided by yak increased as the distance to the night paddock decreased. Coverage value of *Kobresia humilis* increased from the FP to the NP but was smallest in the CP among the measuring points. In CSP, the coverage and plant height of *P. fruticosa* and understory did not show significant differences among FP, MP and NP. Floristic composition of understory were Gramineous plants, *K. capillifolia*, *Polygonum viviparum*, *Taraxacum mongolicum*, *Astragalus adsurgens* and others. In the CP, number of plant species decreased steeply and dominance value of *P. fruticosa* was greatest among the plant species. Biomass of understory plants in WSP was greater in FP (169 gDM/m<sup>2</sup>) and MP (170 gDM/m<sup>2</sup>) than NP (101 gDM/m<sup>2</sup>) and CP (100 gDM/m<sup>2</sup>) ( $p < 0.05$ ), and that in CSP was greatest in FP (402 gDM/m<sup>2</sup>) and smallest in CP (259 gDM/m<sup>2</sup>) ( $p < 0.05$ ). Both in WSP and CSP, the values of species density and Simpson, Shannon–Wiener and Pielou evenness indices were greatest in NP and smallest in CP among measuring points ( $p < 0.05$ ). It was indicated that, in *P. fruticosa* rangeland rotationally grazed in warm and cold seasons by yak, the distance to the night paddock caused spatial variety in vegetation and the influence was especially greater in warm- season grazed paddock than in cold-season grazed one. It is considered that alternative grazing systems should be investigated for maintaining floral diversity and preventing grazing rangeland from deterioration in Qinghai-Tibetan Plateau.

**Key words:** rotational grazing, yak, vegetation structure, spatial variety, *Potentilla fruticosa* rangeland, Qinghai-Tibetan Plateau

Animal Behaviour and Management, 43 (2): 83-98, 2007

(Received 20 October 2006; Accepted for publication 1 December 2006)