

博士学位論文

学位論文内容の要旨および審査結果の要旨

氏 名 NAYINTAI

学位の種類 博士（農学）

学位授与の条件 酪農学園大学学位規程第3条第3項に該当

学位論文の題目 The Effects of Grazing Systems on Plant Communities in Steppe Lands -A Case Study From Mongolia's Pastoralists and Inner Mongolian Settlement Areas

（放牧システムがステップ（典型草原）の植物群落への影響 -モンゴル国遊牧地域と内モンゴル自治区定住地域の例として）

審査委員

主査 教授 星野 仏方（植物資源生産学）

副査 教授 保原 達（植物資源生産学）

副査 准教授 小川 健太（動物資源生産学）

副査 荒木 和秋（酪農学園大学名誉教授・特任教授）

副査 烏蘭 図雅（内モンゴル大学師範大学教授）

The Effects of Grazing Systems on Plant Communities in Steppe Lands
-A Case Study From Mongolia's Pastoralists and Inner Mongolian Settlement Areas
(放牧システムがステップ(典型草原)の植物群落への影響
-モンゴル国遊牧地域と内モンゴル自治区定住地域の例として)

NAYINTAI (食生産利用科学)

【目的】

- 1) 同じ自然条件下での異なる放牧システムの植物群落への影響を明らかにすること
- 2) モンゴル高原典型草原の草地劣化の原因解明

【方法】

土地の退化と砂漠化は土地の生物生産力を急激に低下させ、地球規模の深刻な生態と環境問題を引き起こしている。近年、アジア内陸から頻繁に発生するようになった黄砂も草原の退化と砂漠化が主な原因であることが明らかになった。本論文は、こうした地域、および地球規模の環境問題を引き起こしているモンゴル高原を対象とし、遊牧型と定住型の二つの異なる放牧システムの草原植物群落(草原劣化)への影響を明らかにすることを研究の目的とした。そのために、モンゴル国と中国(内モンゴル自治区)国境に跨る典型草原ステップ地域を調査地として選定し、基本的に同じ自然条件(気温・降水量・土壌と地形的要素)下の2つの隣接するソム(モンゴル語:町レベルの行政区域のこと)内において、それぞれ1つの調査用のサイトを設置し、また対象区として国境沿いに1つのサイト、合計3つのサイトで、(1m×1m)コドラートを計61箇所設けて、植物群落のサイト間の差を計測してフィールド検証を行った。三つのサイトにおける植物種の同定と生態的機能(Ecosystem function, ecosystem vitality)の同定を行うために、種の多様性(種数)、草丈、被度、個体数、地上バイオマス、土壌水分、植物のスペクトルなどの計測を行い、さらに時系列のランドサット(30m分解能)の人工衛星データから正規化植生指数(NDVI)を算出し、植生被覆状態の長期変動を求め、グラウンドツルーツデータと衛星データの解析によって、放牧システムがステップ(典型草原)の植物群落への影響を明らかにした。

全文は6章で構成された。

【結果および考察】

1) コドラート調査の結果 植物群落のサイト平均草丈・トータル植被率(被度)・および地上バイオマスはそれぞれ:対象区(国境沿いの禁牧区:7プロット) > 遊牧区(モンゴル国サイト:27プロット) > 定住型放牧区(内モンゴルサイト:27プロット)順に減少していることが明らかになった。この三つのサイトでは植物群落のサイト平均草丈と地上バイオマスに統計学的な有意差($P < 0.05$)が認められた。ただし、トータル植比率においてそれぞれ対象区と遊牧区の方が定住区より大きい結果となり、両者の間に有意差($P < 0.05$)が認められたが、遊牧区と定住区の間では有意差が認められなかった。

2) 植物群落の指標種 草原劣化は嗜好性の出現頻度や劣化指標種の出現頻度で定量的評価することが可能である。優先度が3%より大きい10種の植物群落を選び比較したところ、それぞれの異なる放牧システム(禁牧区・遊牧区・定住区)において顕著な応答があった。全域において草原の退化(植物群落の劣化)が明確だが、典型草原ステップとしての耐乾性の多年生のイネ科の植物が優先している群落は維持されていることに変化はなく、対象区ではイネ科の優良牧草の大針茅(*stipa grandis*)と *Leymus chinensis*. (Trin.) Tzvel. (シバムギモドキ・イネ科:優良牧草)が優先しているのに対して、遊牧区では *Artemisia frigida* Willd. (冷蒿)と *Carex duriuscula* C.A.Mey (ノヤマスゲ・カヤツリグサ科:草原退化の指標植生)が優先し、定住区ではイネ科の優良牧草の大針茅(*stipa grandis*)から同じイネ科の優良牧草の *Stipa krylovii*. Roshev. が優先する草原に交替されていた。また、定住区では

ほかにアカザ科の *Chenopodium acuminatum* Willd.、*Allium polyrhizum*、*Allium tenuissimum*、および *Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng. などの嗜好性のない耐乾性の植物が増加傾向にあった。もともと定住区の草原では大針茅 (*Stipa grandis*) と *Stipa krylovii*. Roshev. が多く分布し、遊牧区では *Artemisia frigida* Willd. (冷蒿) と *Carex duriuscula* C.A.Mey (ノヤマスゲ・カヤツリグサ科) が多く分布していた。

3) 種の多様性指数 種の豊富さ (Species richness) 指数 (R)、Shannon-Wiener 指数 (H)、および均等度指数 (Pielou's evenness index) (J') の3つの指数を用いて、3つのサイトにおける植物群落の種の多様性を評価したところ、いずれも有意差が認められなかった。これにより、モンゴル国の遊牧区と内モンゴルの定住区では異なる放牧型による種の多様性の影響は顕著ではないことを示し、この地域ではまだ放牧圧の植物生態系への影響は限定的であることを示唆した。ただし、Simpson の多様度指数を用いて計算したところ、遊牧区より対象区と定住区の方が大きいことを示し、両者の値に有意差が認められた。つまり、遊牧区では植物の種の分布が偏って分布し、定住区と禁牧区では比較的均等分布していることを示した。一般的に、放牧圧が低い地区では非均等に分布し、放牧圧が高い地区では均等分布傾向がある。しかし、本研究では禁牧区も遊牧区より Simpson の多様度指数 ($1-\lambda$) が高い傾向を示したため、放牧圧以外のほかの要因があると考えられる。例えば、モンゴルガゼルによる禁牧区 (無人地帯) での採食の影響などが考えられる。

4) 植物生態系の機能 植物生態系の機能を評価するために、研究地の植物生態系を植性機能による異なる群落 (plant species with different functional groups) に分類した。主に水分型・生活型 (water-based functional groups and life-form functional groups) に分類し、水分型では半湿生型・半乾生型・乾生型・極乾生型などに分類し；生活型では一年生・多年生・草本・半草本・灌木などに分類した。その結果、水分型では：定住区と対象区の植物群落は乾生型が支配的であり、遊牧区の群落は半乾生型 (または半湿潤型) が支配的である；生活型では：定住区と対象区は多年生のイネ科の草本植物群落で構成され、遊牧区は多年生の灌木 (イネ科以外) で主に構成されている。定住区と対象区の間では生態系の機能として生活型の有意差 ($P<0.05$) が認められなかった。

5) 時系列人工衛星データの解析結果 5時期の夏季のランドサット衛星 (30m解像度) データから計算されたサイト平均正規化植生指数 (NDVI) を比較したところ、1990年代初期の内モンゴル側の定住型放牧が始まってから10数年経った2005年ごろ、遊牧区と定住区では顕著な差があることが認められ、特に湿潤な年である2011年では、その差は有意であり、顕著であった。つまり、湿潤な年でも定住区では植生の回復が見られないと言うことは、土壌のシードバック (種) まで影響が及んでいる可能性があること示唆された。1989年に比べて、2005年、2011年と2016年の平均NDVIの値が遊牧区の方が定住区より高い結果となった。その中でも特に、2011年と2016年の値の差に有意差 ($P<0.05$) が認められ、遊牧区の方が定住区より全体的に高い値を示した。

6) 生態系安定性指数 (M. Godron's Community Stability test) 植物群落の M. Godron's 安定性テストでは：定住区 > 遊牧区 > 対象区 となった。ただし、植比率の M. Godron's 安定性テストでは：遊牧区 > 定住区 > 対象区 となった。

考察として、植物群落の基本構成、優先種の特性、種の多様性、植物群落の機能、植物群落の安定性、および衛星植生指数 (NDVI) などを指標として、異なる放牧システムの植物群落への影響について考察した。本研究の対象地域は国境の緩衝地帯であるために、比較的人口密度や家畜密度が小さい。家畜放牧という人間活動の自然植物群落への影響は限定的であることを論じた上、降水量が少ない・土壌が疲弊して、植比率が乏しい脆弱生態系である乾燥・半乾燥のゴビ・砂漠地域では伝統的な遊牧型放牧が定住型放牧より草原に与えるインパクトが小さいことが明らかになった。

【結論】

同じ自然条件と放牧の度合い (grazing pressure) の下で、それぞれの放牧方式が典型草原ステップの植物群落に大きな影響を及ぼしているものの、モンゴル国側の伝統的な遊牧方式による影響は現在の内モンゴルの定住型の連続放牧方式より土地に対するプレッシャーが小さく、植物群落に優しくて、その影響は種の多様性までは及んでいないものの、草丈、被度、地上バイオマス、群落密度、および NDVI 値間で顕著な差があることが認められた。主な結果を Journal of Land と ROH Journal (Research of One Health) 上で公開し、この地域における政策の決定や科学研究のための基礎データを提供することができた。

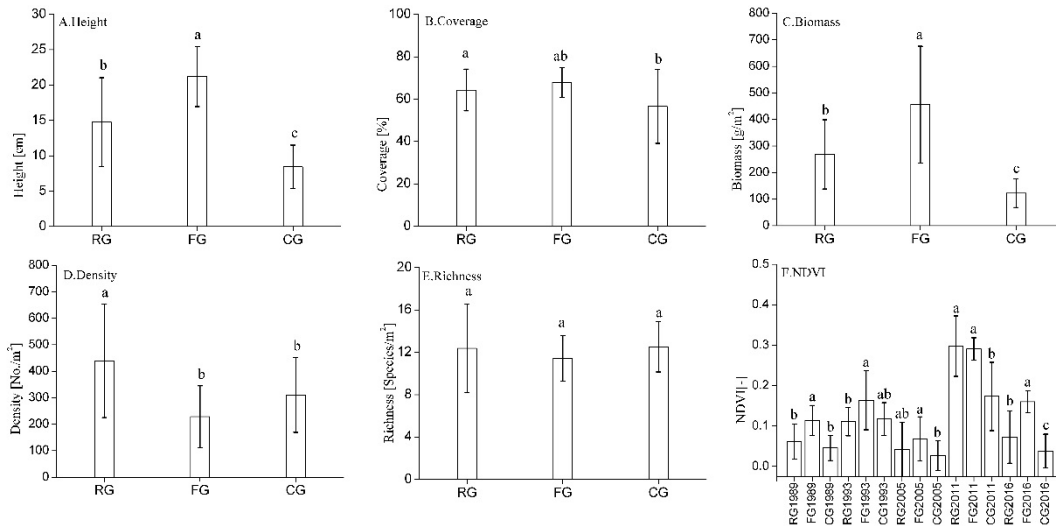


Figure . Average height, total coverage, total aboveground biomass, total individual density, species richness and NDVI value of regions with different grazing systems (mean \pm SD). RG (Rotational Grazing); FG (Forbidden Grazing); CG (Continues Grazing) (Where, A-Height; B-Coverage; CBiomass; D-Density; E-Richness; F-NDVI).

Table. The dominance of water-based functional group for different grazing systems.

		Mean \pm SD			Mean \pm SD
Xerophytes	RG	55.6 \pm 11.82b	Intermediate mesophytes	RG	8.78 \pm 6.31a
	FG	66.76 \pm 15.99a		FG	10.17 \pm 10.13a
	CG	68.21 \pm 13.46a		CG	11.62 \pm 8.96a
Intermediate xerophytes	RG	27.39 \pm 9.56a	Mesophytes	RG	8.23 \pm 6.72a
	FG	15.37 \pm 10.03b		FG	7.69 \pm 4.04a
	CG	13.65 \pm 7.3b		CG	6.12 \pm 7.94a

Note: SD refers to standard deviation.

Table. The dominance of life-form functional group for different grazing systems.

		Mean \pm SD			Mean \pm SD
Perennial grass	RG	24.62 \pm 11.76b	Annual grass	RG	24.61 \pm 11.68a
	FG	38.16 \pm 17.27a		FG	15.32 \pm 17.88a
	CG	36.07 \pm 13.15a		CG	19.49 \pm 10.79a
Perennial weeds	RG	43.28 \pm 16.32a	Shrubs and sub-shrubs	RG	7.48 \pm 5.29a
	FG	36.89 \pm 8.96ab		FG	9.63 \pm 3.94a
	CG	35.65 \pm 11.71b		CG	8.4 \pm 5.69a

Note: SD refers to standard deviation.

論文審査の要旨および結果

1 論文審査の要旨および結果

第1章では本研究の背景として、世界の異なる放牧システムに対する先行研究とモンゴル高原における放牧システムの先行研究と今まで明らかになったことの取りまとめと分析を行い、最近の研究では、気候変動と人為的かく乱の応答として、よりミクロスケールにおける放牧生態学の研究が放牧地管理の焦点の一つになっていることを示唆した。その一つとして、伝統の遊牧型放牧と定住型放牧が草原の生態系の変化に、特に植物群落の変遷にどのような影響を及ぼすかの議論が活発に行われてきた。ただし、先行研究の多くは小さな柵の中での放牧コントロール実験による結論であり、実際の自然条件下での「遊牧型」と「定住型」放牧システムの比較研究やフィールドにおける実証実験の先例研究は少ない。本研究はこうした背景を踏まえ、ほぼ同じ自然条件下のエリアを選択し、家畜による異なる放牧が草原の植物群落に及ぼす影響を評価することにした。

第2章ではモンゴル高原の土地(特に放牧地)退化の歴史背景・現状・土地退化の駆動力(driving forces)を土地利用政策・人口の増加・家畜頭数の増加、および近年の気候変動などの様々な要因から分析し、隣接するモンゴル国南部の乾燥・半乾燥地域と内モンゴル自治区北部の乾燥・半乾燥地域は地理的に同じモンゴル高原に位置するが、異なる土地利用政策によって、地表面の土地被覆状態と植物の分布が異なる変遷を遂げているかについてまだ資料とデータが乏しい状態にあることを問題として提起し、更なる研究の必要性をアプローチした。研究対象地としてのモンゴル国の伝統的な遊牧システムと中国内モンゴル自治区の定住型放牧システムの違いについて文献による分析を行い、なぜ国境に跨る三つのサイトを選んだ理由を説明した。

第3章では、調査研究の設計として、本研究では、モンゴルと中国の国境に跨る典型ステップ地域において、基本的に同一の自然条件下にある2つの隣接するサイトを調査対象として選択し、コドラート調査法による植物の調査では国境沿いを対象区とし7プロットを設置し、両国の国境内に垂直3本線と水平7本の線で囲まれたグリッド上にそれぞれ27プロットを設置し、植物群落の種数・種の多様性・群落の機能などを調査した。衛星データは1989年～2016年の間の基本的に近い降水量の時期の画像を選んで正規化植生指数(NDVI)を算出し、植被率の長期変動を評価した；最後に統計データの有意差を検定するために、Randomization testを行い、統計手法の有意差がある・なしを評価した。

第4章では研究結果として、

1) コドラート調査の結果 植物群落のサイト平均草丈・トータル植被率(被度)・および地上バイオマスはそれぞれ：対象区(国境沿いの禁牧区：7プロット) > 遊牧区(モンゴル国サイト：27プロット) > 定住型放牧区(内モンゴルサイト：27プロット) 順に減少していることが明らかになった。この3つのサイトでは、植物群落のサイト平均草丈と地上バイオマスに統計学的な有意差($P < 0.05$)が認められた。ただし、トータル植比率において、それぞれ対象区と遊牧区の方が定住区より大きい結果となり、両者の間に有意差($P < 0.05$)が認められたが、遊牧区と定住区の間では有意差が認められなかった。

2) 植物群落の指標種 草原劣化は嗜好性の出現頻度や劣化指標種の出現頻度で定量的評価することが可能である。優先度が3%より大きい10種の植物群落を選び比較したところ、それぞれの異なる放牧システム(禁牧区・遊牧区・定住区)において顕著な応答があった。全域において

草原の退化（植物群落の劣化）が明確だが、典型草原ステップとしての耐乾性の多年生のイネ科の植物が優先している群落が維持されていることに変化はなく、対象区ではイネ科の優良牧草の大針茅 (*stipa grandis*) と *Leymus chinensis*. (Trin.) Tzvel. (シバムギモドキ・イネ科:優良牧草)が優先しているのに対して、遊牧区では *Artemisia frigida Willd.* (冷蒿)と *Carex duriuscula* C.A.Mey (ノヤマズゲ・カヤツリグサ科:草原退化の指標植生)が優先し、定住区ではイネ科の優良牧草の大針茅 (*stipa grandis*) から同じイネ科の優良牧草の *Stipa krylovii*. Roshev. が優先する草原に交替されていた。また、定住区では他にアカザ科の *Chenopodium acuminatum* Willd.、*Allium polyrhizum*、*Allium tenuissimum*、および *Cleistogenes squarrosa* (Trin.) Keng. などの嗜好性のない耐乾性の植物が増加傾向にあった。もともと定住区の草原では大針茅 (*Stipa grandis*) と *Stipa krylovii*. Roshev. が多く分布し、遊牧区では *Artemisia frigida* Willd. (冷蒿)と *Carex duriuscula* C.A.Mey (ノヤマズゲ・カヤツリグサ科)が多く分布していた。

3) 種の多様性指数 種の豊富さ (Species richness) 指数 (R), Shannon-Wiener 指数 (H)、および均等度指数 (Pielou's evenness index) (J') の3つの指数を用いて、3つのサイトにおける植物群落の種の多様性を評価したところ、いずれも有意差が認められなかった。これにより、モンゴル国の遊牧区と内モンゴルの定住区では異なる放牧型による種の多様性の影響は顕著ではないことを示し、この地域ではまだ放牧圧の植物生態系への影響は限定的であることを示唆した。ただし、Simpson の多様度指数を用いて計算したところ、遊牧区より対象区と定住区の方が大きいことを示し、両者の値に有意さが認められた。つまり、遊牧区では植物の種の分布が偏って分布し、定住区と禁牧区では比較的均等分布していることを示した。一般的に放牧圧が低い地区では非均等に分布し、放牧圧が高い地区では均等分布傾向がある。しかし、本研究では禁牧区も遊牧区より Simpson の多様度指数 ($1-\lambda$) が高い傾向を示したため、放牧圧以外のほかの要因があると考えられる。例えばモンゴルガゼルによる禁牧区 (無人地帯) での採食の影響などが考えられる。

4) 植物生態系の機能 植物生態系の機能を評価するために、研究地の植物生態系を植性機能による異なる群落 (plant species with different functional groups) に分類した。主に水分型・生活型 (water-based functional groups and life-form functional groups) に分類し、水分型では半湿生型・半乾生型・乾生型・極乾生型などに分類し、生活型では一年生・多年生・草本・半草本・灌木などに分類した。その結果、水分型では定住区と対象区の植物群落は乾生型が支配的であり、遊牧区の群落は半乾生型 (または半湿潤型) が支配的である。生活型では定住区と対象区は多年生のイネ科の草本植物群落で構成され、遊牧区は多年生の灌木 (イネ科以外) で主に構成されている。定住区と対象区の間では生態系の機能として生活型の有意差 ($P < 0.05$) が認められなかった。

5) 時系列人工衛星データの解析結果 5時期の夏季のランドサット衛星 (30m解像度) データから計算されたサイト平均正規化植生指数 (NDVI) を比較したところ、1990年代初期の内モンゴル側の定住型放牧が始まってから10数年経った2005年ごろ、遊牧区と定住区では顕著な差があることが認められ、特に湿潤な年である2011年には、その差は有意であり、顕著であった。つまり、湿潤な年でも定住区では植生の回復が見られないということは、土壌のシードバック (種) まで影響が及んでいる可能性があることと示唆された。1989年に比べて、2005年、2011年と2016年の平均NDVIの値が遊牧区の方が定住区より高い結果となった。その中でも、特に2011年と2016年の値の差に有意差 ($P < 0.05$) が認められ、遊牧区の方が定住区より全体的に高い値を示した。

6) 生態系安定性指数 (M. Godron' s Community Stability test) 植物群落の M. Godron' s 安定性テストでは、定住区>遊牧区>対象区となった。ただし、植比率の M. Godron' s 安定性テストでは、遊牧区>定住区>対象区となった。

第5章は考察として、植物群落の基本構成、優先種特性、種の多様性、植物群落の機能、植物群落の安定性、および衛星植生指数 (NDVI) などを指標として、異なる放牧システムの植物群落への影響について考察した。本研究の対象地域は、国境の緩衝地帯であるために、比較的人口密度や家畜密度が小さい。家畜放牧という人間活動の自然植物群落への影響は限定的であることを論じた上、降水量が少なく土壌が疲弊して植比率が乏しい脆弱生態系である乾燥・半乾燥のゴビ・砂漠地域では、伝統的な遊牧型放牧が定住型放牧より草原に与えるインパクトが小さいことが明らかになったことを示唆した。

第6章 結論として、同じ自然条件と放牧の度合い (grazing pressure) の下で、それぞれの放牧方式が典型草原ステップの植物群落に大きな影響を及ぼしているものの、モンゴル国側の伝統的な遊牧方式による影響は、現在の内モンゴルの定住型の連続放牧方式より土地に対するプレッシャーが小さく、植物群落に優しく、その影響は種の多様性までは及んでいないものの、草丈、被度、地上バイオマス、群落密度、および NDVI 値間で顕著な差があることが認められた。主な結果を Journal of Land と ROH Journal (Research of One Health) 上で公開し、この地域における政策の決定や科学研究のための基礎データを提供することができた。

よって、申請者であるナインテ (NAYINTAI) 氏は博士 (農学) の学位を授与されるに十分な資格を有すると審査員一同は認めた。

2 最終試験の結果

審査委員5名が最終試験を行った結果、合格と認める。

2018年2月8日

審査委員

主査	教授	星野	仏方
副査	教授	保原	達
副査	准教授	小川	健太
副査		荒木	和秋
副査		烏蘭	図雅