

氏 名 (本 国 籍)	川 村 健 介 (山口県)
学 位 の 種 類	博士 (農学)
学 位 記 番 号	農博甲第 364 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 17 年 3 月 14 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研 究 科 及 び 専 攻	連合農学研究科 生物環境科学専攻
研究指導を受けた大学	岐阜大学
学 位 論 文 題 目	Application of Satellite Remote Sensing and GIS/GPS for Sustainable Use of Inner Mongolia Grassland (中国内蒙古草原の持続的利用のための衛星リモート センシングと GIS/GPS の応用)
審 査 委 員 会	主査 岐阜大学 教授 秋 山 侃 副査 岐阜大学 教授 小 泉 博 副査 静岡大学 教授 澤 田 均 副査 信州大学 教授 星 川 和 俊

論 文 の 内 容 の 要 旨

中国内蒙古草原では畜産需要と人口の増加および定住化等によって、環境収容力を超えた家畜数の放牧による過放牧の影響で砂漠化が進行している。そのため、牧畜を営む牧民の生活を成立させつつ同時に草原生態系の維持・保全を可能にする手法の確立が求められている。そこで本研究では、リモートセンシング、GPS、GIS のツールを組み合わせた大面積における草量・草質の推定と草の生育に与える放牧圧の影響を定量的に把握する手法の構築によって、内蒙古草原における草生産－放牧圧の関係を定量的に把握し、その持続的利用に資することを目的とした。

第 1 章の General introduction では、これまでの研究で得られた結果を示し、大面積における草量および放牧圧の定量評価手法における課題と問題点を明確にした。

第 2 章では、1.1 km の空間分解能をもち、毎日データ取得可能な NOAA AVHRR データを用いたシリソ川流域草原 (面積約 12,000 km²) の地上部草量 (以下、草量) の推定方法の構築を試みた。現地調査による草量と同時期の NOAA AVHRR 衛星データから得られた正規化植生指数(NDVI, Normalized Difference Vegetation Index)の間で回帰推定を行った結果、AVHRR-NDVI との間に正の相関($r = 0.62$)が認められた。この回帰式によって算出される 2001 年 8 月時点でのシリソ草原全体の平均草量は 1,189 kg ha⁻¹ で、14 年前より約 40% 減少していると推定された。

第3章では、空間分解能 250 m をもつ Terra MODIS 衛星による草量および草質（粗タンパク、CP）の推定を行った。さらに、放牧強度（単位面積あたりの放牧家畜頭数）の異なる 4 サイト（放牧なし、弱、中、強放牧）を選び、草量・草質の季節変化の季節変化パターンを比較した。回帰分析の結果、緑色草量（ $R^2 = 0.79$ ）と CP 草量（ $R^2 = 0.74$ ）が高い精度で推定が可能であることが認められた。放牧強度の異なる 4 サイトで草量・草質の季節変化パターンを比較した結果、放牧強度が高くなるにつれて生育ピーク時期における草量が減少し、一方、草質（CP 含有率）は増加する傾向が見られた。中、強放牧地では、羊に採食されることで常に新しい葉が再生産を行っているため、高い CP 含有率を示したと推察される。

第4章では、気象要因が草量に及ぼす影響を明らかにするため、放牧のない採草地を対象として、気象データ（気温と降水量）から AVHRR-NDVI の季節変化を予測するモデルの構築を試みた。草の生育が始まる 4 月下旬から、刈り取り直前の 8 月中旬までの期間について、旬ごとの NDVI 変化率（ $\Delta\text{NDVI} = (\text{当該旬 NDVI} - \text{前旬 NDVI}) / 10$ ）を従属変数、期間 α の平均気温（ T_{α} , °C）と積算降水量（ P_{α} , mm）を独立変数とした重回帰式によるモデルを作成した。重回帰式によって求められた各時期の ΔNDVI を用いて、NDVI の季節変化シミュレーションを行った。その結果、NDVI の季節変化は 12.9% の誤差（ $R^2 = 0.912$, $P < 0.001$ ）で推定できた。

第5章では、自由放牧地における羊群の放牧行動と空間利用分布を定量化する手法の構築を試みた。羊に取り付けた携帯型 GPS（HGR3, Sony 製）の行動軌跡を用いて、GIS ツール上で放牧圧の定量化を行った。さらに、放牧強度分布図と同時期の MODIS-NDVI から作成した草量分布図の関係から、草量と放牧強度の関係を見た。その結果、放牧強度が高くなるにつれて草量が低くなる傾向が見られた。

第6章では、草生産の季節変化における放牧行動の影響の定量的な把握を試みた。第5章の調査地を対象として、放牧期間中（6～9月）における各時期の放牧強度と草量・草質の季節変化を明確にした。その結果を用いて、各時期における草量と草質に影響する放牧強度の違いの影響を見た。その結果、1日の羊の放牧行動パターンは、気温の影響を受け午後に採食割合が減少する傾向が見られた。草量と草質の季節変化は、放牧強度の影響を強く受けることが示唆された。またその空間的な分布において、川および牧童の家からの距離といった地理的な影響も認められた。

第7章の General discussion では、本研究で得られた結果を用いて、放牧管理における衛星リモートセンシングおよび GIS/GPS の利用の可能性と問題点について明確にした後、今後の課題について考察した。

^{*1} NOAA; National Oceanic and Atmospheric Administration
AVHRR; Advanced Very High Resolution Radiometer

^{*2} MODIS; Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer

本学位論文は、近年、環境収容力を超えた家畜の放牧によって、砂漠化が進行している中国内蒙古草原の、持続的利用を目的とした草原管理情報システムの確立を目的として行った研究である。草原を畜産利用している牧民の生活安定と、貴重で脆弱な草原生態系の維持・保全の両立を図るため、リモートセンシング技術、地理情報システム (GIS) ならびに全球測位システム (GPS) を用いて、広域性、反復性、即時性の面で優れた手法を提示した。

その主な成果は以下の通りであった。

- ① 高頻度観測・低解像度衛星 (NOAA) の画像から求めた植生指数 NDVI で、草原の現存量の季節変化、年次変化を正確に把握することができた。その結果、14 年前に同地方で行った調査データと比較して、約 40 % 現存量が減少したこと、また、地域によっては、フェンスなどによる保護の結果、草勢が回復している地域も見られた。
- ② 新たに打ち上げられた MODIS 衛星から計算される植生指数は、現存量に加えて、草の質(ここでは粗タンパク含量)を推定できた。その結果、強放牧地のピーク時現存量は低い、粗タンパク含量は高い草を生産していた。この情報は家畜生産者にとって重要な情報となる。
- ③ 草生産は毎年の気象条件によって変動するが、前期間の気温および降水量が草生産に直結することが明らかになった。この関係を定量化できたため、何らかの方法で気象が長期予測できれば、その年の適正な放牧頭数をあらかじめ設定できるようになる。
- ④ 自由放牧地における毎日の羊群の空間分布および行動を、GPS、GIS 手法を使って追跡した。これを、衛星データによる草原現存量の分布と変化に重ね合わせるにより、空間的な草原利用頻度の違いが明らかになった。この情報は草原の効率的利用、持続的利用の上で有効である。また、GIS、GPS とリモートセンシング情報を組み合わせた手法は、新しい家畜行動学 (衛星生態学) の展開を期待できる。

以上のことにより、審査委員全員一致で本論文が、岐阜大学大学院連合農学研究科の学位論文として十分価値あるものと認めた。

基礎となる学術論文：

1. Kawamura, K., Akiyama, T., Watanabe, O., Hasegawa, H., Zhang, F., Yokota, H. and Wang, S. (2003) Estimation of aboveground biomass in Xilingol steppe, Inner Mongolia using NOAA/NDVI. *Grassland Science* 49: 1-9.
2. Kawamura, K., Akiyama, T., Yokota, H., Tsutsumi, M., Watanabe, O. and Wang, S. (2004) Estimation model for NOAA/NDVI changes of meadow steppe in Inner Mongolia using Meteorological data. *Grassland Science* 49: 547-554.
3. Kawamura, K., Akiyama, T., Yokota, H., Tsutsumi, M., Yasuda, T., Watanabe, O. and Wang, S. (in press) Quantifying grazing intensities using geographic information systems and satellite remote sensing in the Xilingol steppe region, Inner Mongolia, China. *Agriculture, Ecosystems & Environment*.
4. Kawamura, K., Akiyama, T., Yokota, H., Tsutsumi, M., Yasuda, T., Watanabe, O., Wang, G. and Wang, S. (in press) Monitoring of forage conditions with MODIS imagery in the Xilingol steppe, Inner Mongolia. *International Journal of Remote Sensing*.
5. Kawamura, K., Akiyama, T., Yokota, H., Tsutsumi, M., Yasuda, T., Watanabe, O. and Wang, S. (in press) Comparing MODIS vegetation indices (VIs) with AVHRR NDVI for monitoring the forage quantity and quality in Inner Mongolia grassland. *Grassland Science*.