

多時期衛星画像を用いた放牧活動の植生に対する影響の推定手法 に関する研究と放牧活動地図作成への応用

Developing Method for Estimation of Affection by Grazing Activities against Vegetation with Multi-Temporal
Satellite Images and Application for Mapping Grazing Activities

学籍番号 66854
氏名 宮崎 浩之 (Miyazaki, Hiroyuki)
指導教員 柴崎 亮介 教授

1. はじめに

中国西部の青海・チベット高原は、寒冷気候、低酸素のもとで、その自然生態系は脆弱であるが、そこで生活する人々は、数百年にわたり、その土地の生産力を、放牧を通じて享受してきた。しかしながら、1990 年台初頭から、過放牧を主な要因とした放牧地における土地生産力の劣化が顕著に現れ、地域社会に深刻な影響を与えている。

このような地域において、過放牧による土地劣化を改善し、持続的な経済・社会発展を遂げるには、人々の生産活動による生態系の利用を前提とした生態系保全計画の策定が必要である。人間と自然が直接に向かい合う高原地域では、その中の相互作用を意識することは特に重要である。

そのような自然と社会の相互作用を意識した計画の策定には詳細な放牧活動のモニタリングが必要である。本研究では、従来の放牧活動モニタリングに不足する地理的な詳細さ、時間的な詳細さ、継続性の補完をねらいとして、地球観測衛星を用いたリモートセンシングの利用に着目する。

以上より、本研究の目的は、青海・チベット高原を対象として、多時期衛星画像を用いた放牧活動の植生に対する影響の推定手法を開発することとする。また、その応用として、放牧活動地図の作成方法について検討し、対象地域である青海省馬多県に適用する。

2. 多時期衛星画像による放牧影響度の推定

2.1. 放牧活動の植生への影響と観測方法

ある土地の植生被覆は、気候などの自然条件と放牧活動によるかく乱の複合的な影響の結果として現れる¹⁾。すなわち、任意の時期において観測さ

れる植生被覆は式 2.1 のように表され、式 2.2 のように表すことができる。

$$OBS_t = NAT_t + GRZ_t \quad (2.1)$$

$$GRZ_t = OBS_t - NAT_t \quad (2.2)$$

ただし、 t は任意の時期を示す添え字、 OBS_t は時期 t の観測値、 NAT_t は時期 t の自然条件によって決定される植生被覆、 GRZ_t は時期 t の放牧活動の影響を表し、放牧活動の影響によって植生被覆が劣化するとき、 $GRZ_t < 0$ である。

以下、観測値の取得方法と、自然条件によって決定される植生被覆を推定する方法を述べる。

2.2. 衛星画像を用いた植生指標による植生被覆の観測

本研究では、放牧活動の季節変動を観測するために、1 ヶ月よりも高精度な時間分解能を可能にする Terra/MODIS によって撮影された画像を用いることにする。

衛星画像を用いた植生被覆の観測手法の代表的なものに、植生指標による観測がある。用途により数多く開発されてきたが、本研究では、高原地域の植生の観測に適している EVI を採用する。

2.3. 自然条件による植生被覆変動モデルの推定

本研究では放牧活動の影響が小さい地点について、植生被覆に対して、降水量と気温を回帰させることによって、自然条件による植生被覆変動モデル(式 2.3) を推定する。

$$NAT_t = (a + b \times TEMP_t + c \times PRECIP_t)^e \quad (2.3)$$

ただし、 t は任意の時期を示す添え字、 NAT_t は放牧の影響がないと仮定した場合の時期 t の植生被覆、 $TEMP_t$ は時期 t の気温の観測値、 $PRECIP_t$ は時期 t の降水量の観測値、 a 、 b 、 c はそれぞれ切片、気温と降水量の回帰係数を表す。

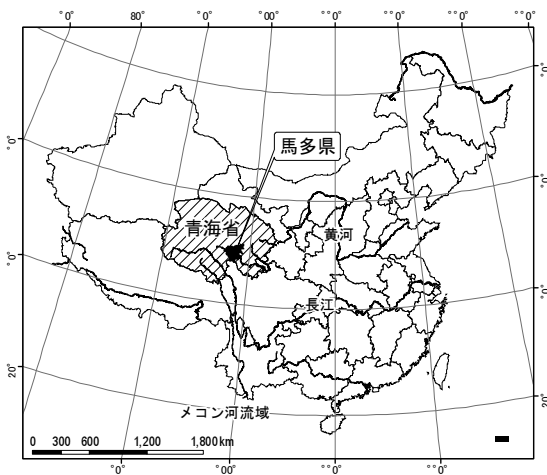


図 2.1 青海省馬多県の位置

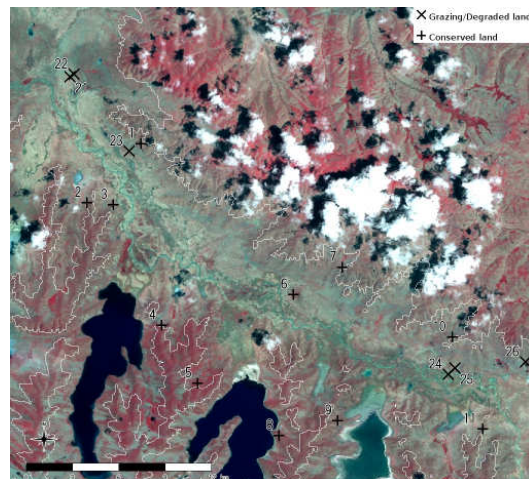


図 2.2 非放牧地、放牧地、劣化した土地の位置。白線は 4300m 等高線。

2.4. データ処理と結果

2.4.1. 解析対象地域

本解析では、解析対象地域を青海省馬多県黒河郷周辺の南北方向 31km、東西方向 34km の地域とした(図 2.1)。当地域の標高は約 4200~4800m であるが、標高の違いによる植生被覆への影響を除くために、解析では 4200~4300m の地域を対象とした。

2.4.2. 自然条件による植生変動モデルと放牧影響度の推定

自然条件による植生被覆変動モデルを推定するために、放牧の影響が小さい土地（以降、非放牧地と呼ぶ）を選定する。選定の方法は 1) 現地における調査、2) Landsat 衛星画像と地形データより判読の 2 つによる。これらの方法により図 2.2 に示す地点を非放牧地として選定した。

選定した非放牧地について、表 2.1 に示すデータセットを用いて、EVI 観測値を被説明変数、地表面温度、降水量を説明変数として、式 3.3 に示すモデルに最小二乗法で当てはめたⁱⁱⁱ。なお、対象期間は 2000/4/6~2006/12/31 の 155 時期とした。これらのうち、もっとも相関係数が高い地点 4 を自然条件による植生被覆変動モデルとして採用し

た。よって、自然条件による植生被覆変動モデルは式 3.4 のように定義される。

$$NAT_t = (-2.408 + 0.016 \times TEMP_t + 0.016 \times PRECIP_t)^e \quad (3.4)$$

ただし、 t は任意の時期を示す添え字、 NAT_t は自然条件によって決定される植生被覆を表す植生指標、 $TEMP_t$ は時期 t の地表面温度の観測値、 $PRECIP_t$ は時期 t の降水量の観測値を表す。式 3.2 と式 3.4 によって、対象地域全域について各時期の放牧影響度を推定した。

2.4.3. 放牧影響度の検証

本節では、劣化した土地と放牧地の放牧影響度を非放牧地と比較することで、本手法の有用性を検証する。非放牧地の選定と同様に、2007 年 10 月 5 日の現地調査時に、劣化した土地、放牧に利用されている土地の位置を GPS 端末で記録した(図 2.2)。それぞれの地点の放牧影響度と、植生被覆変動モデルを採用した非放牧地の放牧影響度を比較した結果を図 2.3 に示す。

夏季・冬季放牧地、劣化した土地はそれぞれ非放牧地よりも放牧影響度が負方向に大きいことが図 2.3 より確認される。また、地点 21(劣化した土地)と地点 25(夏季放牧地)および地点 23(冬季放牧地)を比較すると、対象期間のうち、大半の時期に

表 2.1 使用したデータセットの要約

観測項目	データセット名	空間分解能	時間分解能	配布機関
植生指標 (EVI)	MOD13Q1	250m	16 日	USGS
地表面温度	MOD11A2	1km	8 日	USGS
降水量	Surface Summary of Day	観測所 ¹	1 日 ²	NOAA

¹ 位置は北緯 34.917°、東経 98.217° である。

² MOD13Q1 の合成期間に対応するように 16 日間合計に集約した。

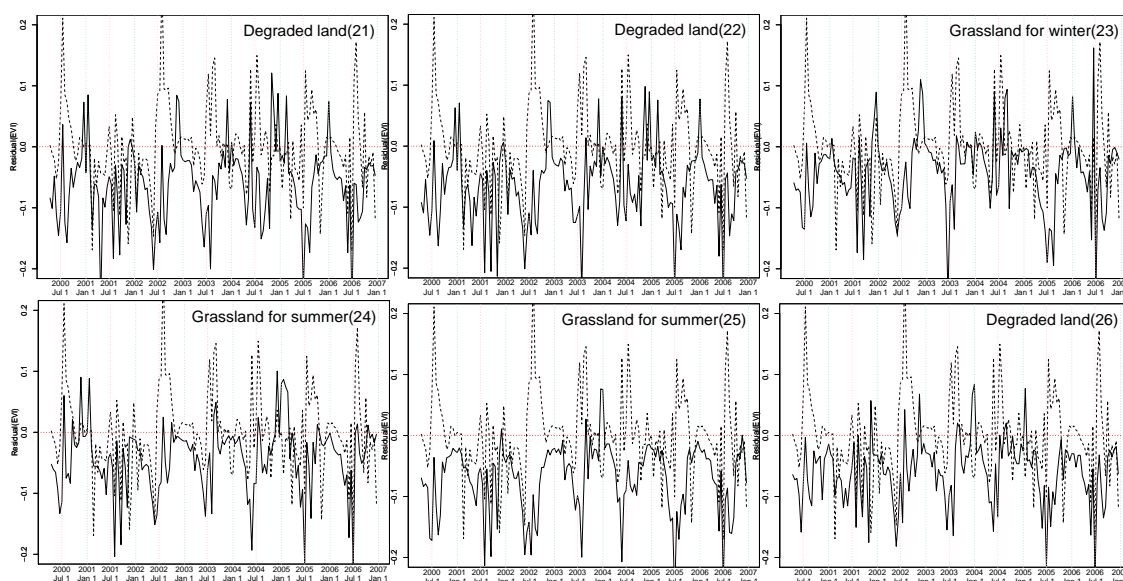


図 2.3 放牧地, 劣化した土地の放牧影響度の変動
点線は非放牧地(4)の放牧影響度

において, 劣化した土地のほうが, 放牧影響度が大きいことが認められた(図 2.3). 地点 23(冬季放牧地)と地点 24(夏季放牧地)は, 変動がほとんど類似しているため, 判別は難しい。

2.5. 考察

検証作業では, 各時期の差に基づいて非放牧地, 放牧地, 劣化した土地を判別することができた。これは, 季節変動の基底となる植生被覆の差異に伴い, 放牧影響度に差が現れたことが原因であると考えられる。

1980 年代に家畜数が急増し, 放牧活動の影響が現れ始めたことを考慮すると, 各時期の差の平均値に基づく判別が可能であるのは, 放牧活動の長期的影響によって, 植生被覆に差異が生じたためであると考えられる。

放牧活動の季節変動は, このような長期的影響に基づく変動に比べて, 短期的であるため, 長期的影響を残したままでは, その導体を観測することは難しい。そのため, 放牧活動の季節変動を観測するには, 長期的影響を標準化する必要があると思われる。

3. 放牧影響度を用いた放牧地図の作成

3.1. K-Means 法によるデータ分類

放牧影響度に基づく分類の方法として, 本研究では K-Means 法を用いる。本研究では, クラスタ中心の初期値を, データをクラスタ数+2 で等分する分位点のうち, 両端以外の点で設定した。

対象地域について放牧影響度を評価した結果 (7817 ピクセル×155 時期) を入力データとして, K-Means 法によって分類した結果と各クラスタの中心値の変動を図 4.1, 4.2 に示す。各クラスタについて, 各時期の差の平均値が 0 であるという帰無仮説の t 検定を行った結果, クラスタ 4, 6 と 7, 8 の組以外の比較において, 有意水準 99% で帰無仮説は棄却された。

分類結果の解釈を補助するために, 前節において得られたクラスタ中心値に対して, 最遠隣法による階層的データ分類を行った結果, 図 4.3 に示すように樹状図が得られた。

3.2. 分類の解釈と考察

Landsat 衛星画像との対応と現地調査によるグラウンドトゥルースより各クラスタは表 3.1 のように解釈された。

本分析では, それぞれのクラスタの放牧影響度の変動の波形が, 対象期間において類似しているため, 平均値の差異を基本として, 分類結果を解釈した。しかし, 3, 5 と 4, 6 の季節別の土地利用の解釈は, クラスタ中心値ではなく, 現地調査の知見のみに基づくものである。したがって, 3, 5 と 4, 6 の区別に際して, 本分析で欠けている視点がある。

前章の考察でも述べたように, 放牧による土地利用が季節別に分けられているならば, 1 年未満を周期とした変動に, 特徴が表れると考えられる。したがって, 本研究が目的とする季節別土地利用

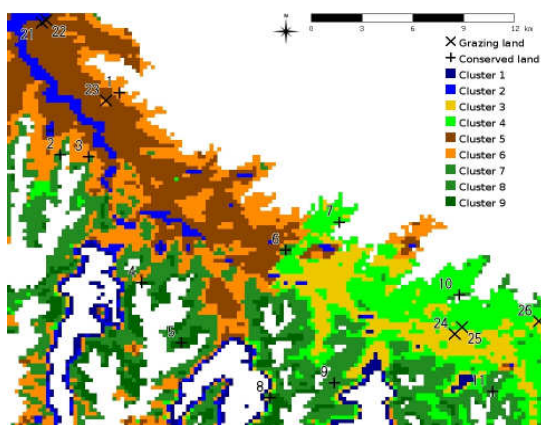


図 3.1 K-Means 法によるデータ分の結果

の分類においては、放牧影響度そのものよりも、その変動の仕方、特に周期性に着目した分類の軸が必要であると思われる。

4. おわりに

本研究では、Terra/MODIS から得られた多時期衛星画像を用いて、放牧活動の植生に対する影響を推定する手法を検討し、中国西部の青海・チベット高原の青海省馬多県の放牧地に適用した。

その結果、1)推定した放牧活動影響度に基づいて、任意の土地を放牧地、劣化した土地、非放牧地のいずれかに判別することが可能である、2)放牧活動影響度の大小のみでは夏季放牧地と冬季放牧地の判別は困難であることが示された。

また、本手法によって算出された放牧活動影響度に基づいて、K-Means 分類法を活用することで、放牧活動地図を作成した。得られた放牧活動地図は、放牧活動影響度の大小に基づいて分類された結果となり、は水域・河川・湿地、非放牧地、放牧の影響が大きい放牧地（夏季・冬季）、放牧の影響が小さい放牧地（夏季・冬季）と解釈された。

本研究の考察では、放牧の影響の季節変動に着目することの必要性が示された。そこで今後の課題として、1 年未満の周期を分析するために、ウ

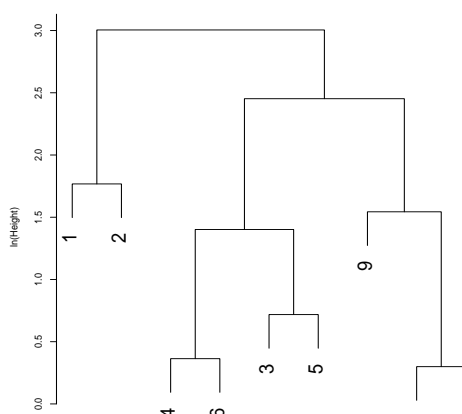


図 3.2 クラスタ中心値に対する階層的クラスタ分析結果と解釈

ェーブレット解析などの手法の適用により、1 年以上の周期の変動を標準化することが挙げられる。また、各地点の放牧活動の影響の時系列の周期性だけでなく、時期別の使い分けを繰り返す習慣を考慮した地理的な周期性も考慮する必要がある。

現在、これらの課題に対応するために、高分解能衛星画像を用いて放牧活動を検出する方法、GPS 首輪により放牧活動の位置を記録する方法を検討中である。これらの方法によって、得られた放牧活動の位置データは、本研究で検討された手法の改善に大変効果的であることが期待される。

ⁱ その他の人間活動の影響も考えられるが、高原地域においては、放牧活動以外の人間活動の影響は微小であるため、本研究では考慮しない。

ⁱⁱ 植生指標とは、植物に含まれる葉緑体が、赤色帯域の電磁波を吸収し、近赤外帯域の電磁波を反射する特性に基づいて算出される植生被覆の特性と相関の高い指標である。

ⁱⁱⁱ 地表面温度が 0 °C 以下、EVI が 0.05 以下のレコードについては除外した。

^{iv} なお、類似度を各時期のデータ値の近似性を独立に評価するため、距離行列はマンハッタン距離 1 で評価した。

表 3.1 クラスタ解釈結果

クラスター	解釈結果	クラスター	解釈結果
1	水域・河川・湿地	6	放牧影響度が小さい冬季放牧地
2	水域・河川・湿地	7	非放牧地
3	放牧影響度が大きい夏季放牧地	8	非放牧地
4	放牧影響度が小さい夏季放牧地	9	非放牧地
5	放牧影響度が大きい冬季放牧地		