

反射BRDF特性を用いたモンゴル 草地における植生環境の把握

東京農業大学 星野慎司, 島田 沢彦, 豊田 裕道
東京大学生産技術研究所 関山 絢子

背景

気候変動や人間活動などによる乾燥地・半乾燥地の土壌劣化

モンゴル国

北部山地 → 年降水量 250~400mmの半乾燥地
南部沙漠地域 → 年降水量 150mm以下の乾燥地
国土の約80%が放牧草地

温暖化による乾燥化や過放牧による草地荒廃

ゾド(異常寒波)による家畜大量餓死被害

(1945, 1968, 2000- 2001, 2010年に発生)

直接的原因 低温による牧草不足・凍結による水不足
間接的原因 草地荒廃

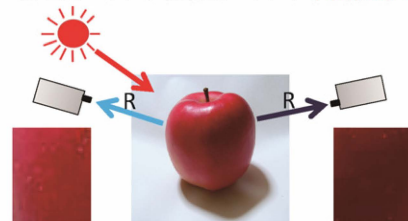
目的

草地劣化やゾドの危険性
↓ 広域空間的・時系列的
衛星画像リモートセンシングが有用
しかし
↓ 従来の衛星画像解析では、植生指数(NDVIなど)がよく用いられるが、植生被覆率など平面的情報しか把握することができない
↓ 詳細な植物情報を得るためには草丈などの三次元構造を把握する必要がある
↓ BRDF特性は三次元構造の影響を受ける
そこで本研究ではモンゴルの草原植物を対象とし、多方向反射スペクトル計測を行い、BRDF特性から植生環境を分析する

BRDF

Bi-directional Reflectance Distribution Function
(双方向性反射分布関数)

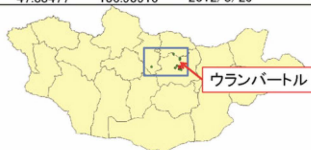
– 物理的モデル, 経験的モデル, 半経験的モデル



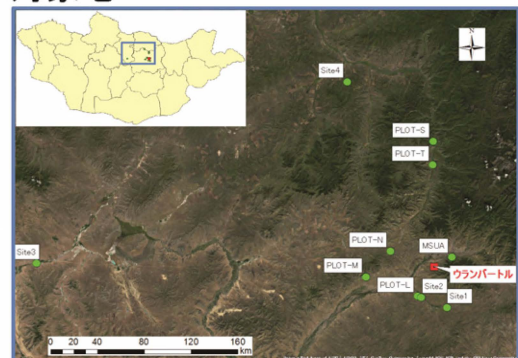
対象地

表1 調査地の位置情報, 調査日, 土地利用

Plot	緯度 deg(N)	経度 deg (E)	調査日	サンプル数	土地利用
L	47.682922	106.646518	2012/8/3,22	4	牧草地
M	47.782974	106.247659	2012/8/18,22	4	越冬地
N	47.915284	106.436005	2012/8/18	2	越冬地
S	48.478479	106.766223	2012/8/15	2	採草地
T	48.358125	106.763303	2012/8/14	2	放牧地
Site1	47.62419	106.87337	2012/8/3	2	放牧地
Site2	47.67661	106.67389	2012/8/3	1	放牧地
Site3	47.85323	103.71430	2012/8/8	2	放牧地
Site4	48.78082	106.10448	2012/8/9	2	放牧地
MSUA	47.88477	106.90916	2012/8/25	4	その他



対象地



方法

多方向反射スペクトル計測

- 簡易BRDF測定装置
- スペクトルメータ (FieldSpec HH2)
- 慣性計測ユニット (IMU) (S4E5A0A0)
- CCDカメラ

観測日 2012/08

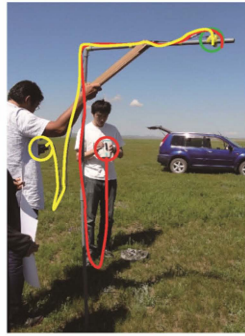
観測方位角

- 0, 90, 180, 270 deg

観測天頂角

- 0, 15, 30, 45 deg

各Plot2ヶ所で計測を行った



半経験的BRDFモデル (陳璐 et al, 2006)

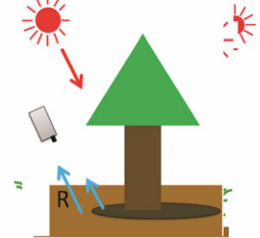
$$R(\theta_i, \theta_v, \varphi, \lambda) = f_{iso}(\lambda) + f_{vol}(\lambda)K_{vol}(\theta_i, \theta_v, \varphi) + f_{geo}(\lambda)K_{geo}(\theta_i, \theta_v, \varphi)$$

$\theta_i, \theta_v, \varphi$: 太陽天頂角, 観測天頂角, 相対方位角
 λ : 波長

f_{iso} : BRDF特性の影響を受けていない反射率

f_{vol}, K_{vol} : 葉や草丈など植生構造を表す体積散乱

f_{geo}, K_{geo} : 地形や影などを表す幾何学的散乱



半経験的BRDFモデル (陳璐 et al, 2006)

$$R(\theta_i, \theta_v, \varphi, \lambda) = f_{iso}(\lambda) + f_{vol}(\lambda)K_{vol}(\theta_i, \theta_v, \varphi) + f_{geo}(\lambda)K_{geo}(\theta_i, \theta_v, \varphi)$$

$\theta_i, \theta_v, \varphi$: 太陽天頂角, 観測天頂角, 相対方位角

K_{vol} (Ross-thick)

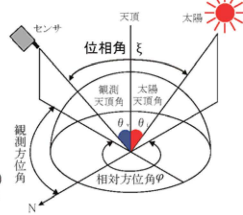
$$K_{vol} = \frac{(\pi/2 - \xi)\cos\xi + \sin\xi}{\cos\theta_i + \sin\theta_v} \cdot \frac{\pi}{4}$$

$$\cos\xi = \cos\theta_i\cos\theta_v + \sin\theta_i\sin\theta_v\cos\varphi$$

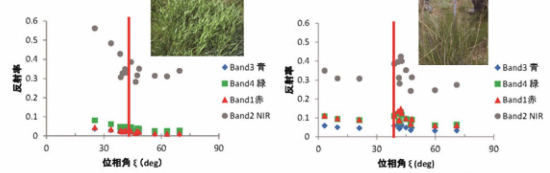
K_{geo} (Roujean) (David et al, 1998)

$$K_{geo} = \frac{1}{2\pi} [(\pi - \varphi)\cos\varphi + \sin\varphi]\tan\theta_i\tan\theta_v - \frac{1}{\pi}(\tan\theta_i + \tan\theta_v + D)$$

$$D = [\tan^2\theta_i + \tan^2\theta_v - 2\tan\theta_i\tan\theta_v\cos\varphi]^{1/2}$$

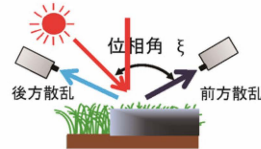


結果



MSUA-4Iにおける位相角ξごとの反射率

N-2Iにおける位相角ξごとの反射率

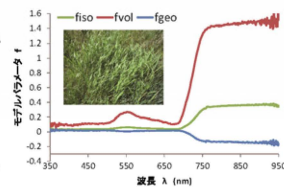


BRDFモデルパラメータ

$$R(\theta_i, \theta_v, \varphi, \lambda) = f_{iso}(\lambda) + f_{vol}(\lambda)K_{vol}(\theta_i, \theta_v, \varphi) + f_{geo}(\lambda)K_{geo}(\theta_i, \theta_v, \varphi)$$

Rに実測の反射率、 K_{vol} 、 K_{geo} にカーネルの式から得られた値を代入し、最少数乗法を用いて、 f_{iso} 、 f_{vol} 、 f_{geo} を算出した

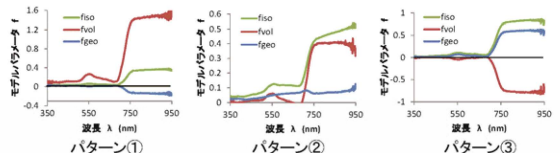
f_{iso} は植物特有の反射特性の傾向を示している
 反射率が高い波長ほどBRDF特性の影響を受ける



MSUA-4IにおけるBRDFモデルパラメータ

BRDFモデルパラメータ

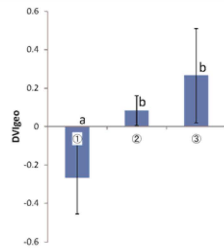
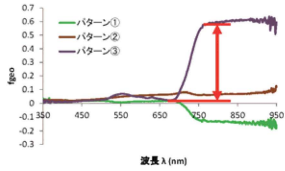
f_{geo} が正のものは土の影響を強く受けている
 f_{vol} が負のものは草が細く疎らなため光が透過または隙間から差し込み前方散乱の反射率が高くなった



パターン分類の検証

様々な植物指数を用いて、一元配置分散分析を行ったところ DVI_{geo} に有意差が認められた ($P < 0.01$)

$$DVI_{geo} = NIR_{geo} - Red_{geo}$$



タイプ分類

パターン①
N=15

羊草



パターン②
N=4

シュエ



パターン③
N=5

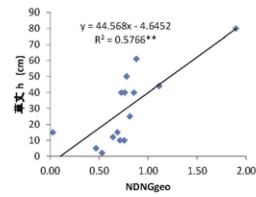
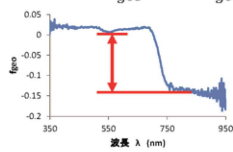


草丈との関係

羊草タイプについて様々な植物指数を用いて草丈との関係を調べたところ、草丈と $NDNG_{geo}$ に相関があった ($R^2=0.577^{**}$)

$$h = 44.6 NDNG_{geo} - 4.65$$

$$NDNG_{geo} = \frac{NIR_{geo} - Green_{geo}}{NIR_{geo} + Green_{geo}}$$



まとめ

BRDF特性

位相角 ζ の角度が小さくなるほど反射率は高くなる
反射率が大きい波長ほどBRDF特性の影響を受ける

植生環境

BRDFモデルパラメータを算出し、 DVI_{geo} を用いて植生を2タイプに分類することができた
羊草タイプに関しては草丈と $NDNG_{geo}$ に相関があり $h = 44.6 NDNG_{geo} - 4.65$ という関係式が得られた