

# ヘリコプターによる反射率観測データを用いた 広葉樹林と草地における BRDF の影響評価 BRDF effect evaluation of broadleaf forest and grassland with the reflectance data observed by radio-controlled helicopter

○陳 路<sup>1</sup>、古海忍<sup>2</sup>、村松加奈子<sup>3</sup>、本多嘉明<sup>4</sup>、梶原康司<sup>4</sup>

L.Chen, S.Furumi, K.Muramatsu, Y.Honda, K.Kajihara

**Abstract:** It is well-known that natural surfaces are generally not Lambertian reflectors, so the surface anisotropic reflectance is dependent on both solar and viewing geometries. When monitoring vegetation from satellite, especially as ADEOS-II/GLI, Terra/MODIS with a large field of view, it is necessary to take Bidirectional Reflectance Distribution Function (BRDF) effect into account. BRDF effect is different with various vegetations. The purpose of this study is to evaluate BRDF effect of broadleaf forest and grassland by using the BRDF (Bi-directional Reflectance Factor) data observed by radio-controlled helicopter. Moreover, with the semi-empirical kernel-driven BRDF model (the RossThick-LiSparse model), this study also simulated BRDF effect on vegetation index VIPD of the objects under GLI observation conditions. As a result, VIPDs were affected by BRDF effect of approximately 13% for broadleaf forest and 25% for grassland.

**Keywords:** BRDF, Ross-Li model, broadleaf forest, grassland, VIPD

## 1 はじめに

衛星解析において地球表面物質、陸域はしばしば等方散乱体として扱われる。しかし、太陽高度が季節変化し、全球観測では MODIS, AVHRR, GLI のようにセンサーの観測角度の変化が大きいことから、観測対象が等方散乱体でないことが報告されている<sup>1)</sup>。衛星データを用いて植生を高精度に推定する際、例えば植生指標 VIPD (Vegetation Index based on Pattern Decomposition) から植生純一次生産量の推定の際には、植生に適合するモデルを利用して、その二方向性反射分布関数 BRDF (Bi-directional Reflectance Distribution Function) の影響を考慮する必要がある。

植生の幾何形状、種類によって、BRDF の影響が違う。以前の研究結果<sup>2)</sup>より、針葉樹林に対して、その影響で年間植生指標 VIPD が最大 11% 変わることがわかった。本研究では広葉樹林と草地を対象物として、地上 BRDF (Bi-directional Reflectance Distribution Factors) 観測のデータを用いて、BRDF の影響を分析する。さらに、長期で VIPD における BRDF の影響を把握するため、GLI センサーの観測状況に合わせて、対象地域に対するその影響のシミュレーションを行うことより実現する。

## 2 BRDF モデル

本研究で使用した Ross-Li モデルは単純な形で計算処理が行え、様々な種類の植生に対して応用できる。そのモデルの二方向性反射率  $R$  は以下のように示される<sup>1)</sup>。

$$R(\theta, \vartheta, \phi) = f_{iso} + f_{vol} K_{vol}(\theta, \vartheta, \phi) + f_{geo} K_{geo}(\theta, \vartheta, \phi) \quad (1)$$

なお、 $\theta, \vartheta, \phi$  はそれぞれ太陽天頂角、観測天頂角と相対

方位角にあたる。ここで、 $K_{vol}$  と  $K_{geo}$  は体積的散乱と幾何的散乱のカーネルである。 $f_x$  はモデルのパラメータであり、地表面の種類と波長に依存する。 $f_{vol}$  と  $f_{geo}$  は葉の多重散乱と植生の幾何形状などの樹冠内部構造を表す体積的散乱と地形、陰などの情報を表す幾何的散乱の成分で、 $f_{iso}$  は太陽が天頂にきた時に直下で観測された地表面の反射率に相当する。

## 3 BRF 観測

BRF 観測はラジコンヘリコプターで、太陽方位を含む鉛直面 (principal plane) とそれに直交する鉛直面 (cross principal plane) 内のそれぞれで、 $0^\circ$  とし鉛直下向きを、 $60^\circ$  の範囲を約  $5^\circ$  か  $10^\circ$  間隔で行われた。ヘリに載せたセンサーの観測波長範囲は  $520 \sim 920 \text{ nm}$  であり、その波長帯に含まれる GLI の 5 つバンド (中心波長:  $545, 678, 710, 763, 865 \text{ nm}$ ) を選んで、解析する。

今回 BRF 観測の対象地域とする広葉樹林と草地はアメリカの西側に位置する。

## 4 解析結果及び検討

### 4.1 対象地域において BRDF の特徴

各対象地域に対する BRDF の特徴を調べるために、BRF 観測で測定した広葉樹林と草地の各バンドの平均反射率と観測角度の関係を図 1 に示す。図 1 に、二つ対象地域とも後方散乱方向 (太陽がセンサーの背面である方向) で反射率が高いことが明らかになった。そして、principal plane と比べると cross-principal plane では観測角度の違いに伴う反射率の変化が少ない。これは他研究<sup>3)</sup>で示されたほかの植生の BRDF 特徴とも一致する。ただし、広葉樹林では、可視域と近赤外域の反射率の差異が大きい。一方、草地にはその差異が小さい。それは草地より、広葉樹林で植生が密集していることが要因として考えられる。他研究<sup>4)</sup>にも同じような結果を示した。

<sup>1</sup> 学生会員 奈良女子大学・SORST-JST

<sup>2</sup> 正会員 奈良女子大学・SORST-JST

<sup>3</sup> 正会員 奈良女子大学

<sup>4</sup> 千葉大学リモートセンシング環境センター・SORST-JST

(所在地 奈良市北魚屋西町奈良女子大学人間文化研究科)

(連絡先 [chin@ics.nara-wu.ac.jp](mailto:chin@ics.nara-wu.ac.jp))

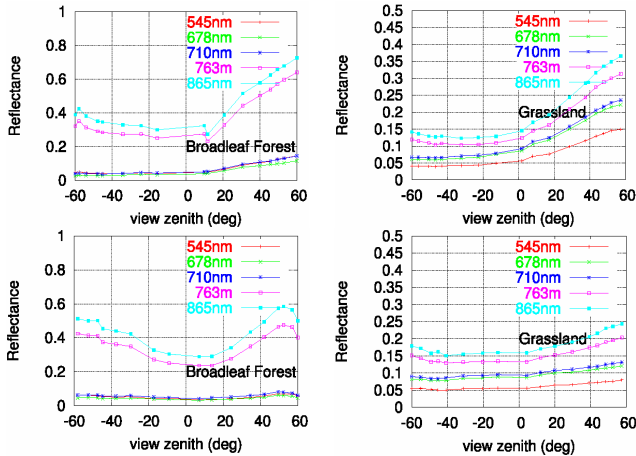


Fig 1. The reflectance of broadleaf forest (left) and grassland (right) corresponding to the five bands in principal plane (upper figures) and cross-principal plane (bottom figures).

#### 4.2 BRDF モデル適用性の検証

GLI 観測状況で、BRDF の影響をシミュレーションするために、各対象地域に対するパラメータを決めることが必要である。その上、求めたパラメータを用いて、モデルから計算した反射率は実測した反射率の再現性を検討する。つまり、BRDF モデル適用性の検証である。その手順は、まず、BRF 観測の各観測ポイントの幾何位置によってモデルのカーネルを計算しており、また実測での反射率を式 (1) に代入する。最小二乗法で GLI の各バンドに対応するパラメータを決めた。その結果の一部分 (植生の反射特性を代表する赤領域と近赤外領域での各パラメータ) を表 1 に示す。次に、決めたモデルのパラメータと BRF 観測での各観測ポイントの幾何位置から計算した反射率と実測した反射率と比較する。その結果は GLI 各バンドに対応して、二つの反射率は約  $y=x$  の線形関係であった。図 2 は一つの代表例を示す。

Table 1. Broadleaf forest and grasslands' parameters of BRDF model in red (678 nm) and NIR (865 nm) bands.

	678 nm		865 nm	
	broadleaf	grassland	broadleaf	grassland
$f_{iso}$	0.0669	0.1394	0.4349	0.2145
$f_{geo}$	0.0160	0.0362	0.0377	0.0328
$f_{vol}$	0.0339	0.1187	0.3279	0.2607

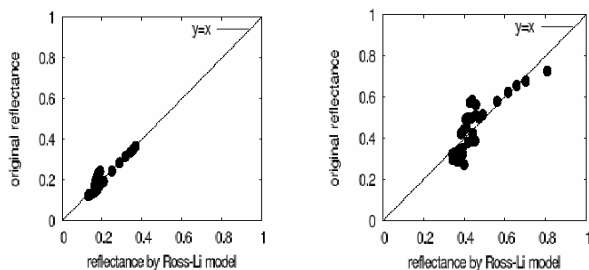


Fig 2. Comparison of modeled reflectance and original reflectance of broadleaf forest (left) and grassland (right) at wavelength 865 nm.

#### 4.3 VIPD に BRDF が与える影響

緯度・季節・時間によって太陽の位置が変わるので、BRDF の影響も異なる。そこで、対象地域に対して、Ross-Li

モデルのパラメータと GLI の観測状況に基づいて、モデルから計算した反射率から年間植生指標 VIPD を推定する。VIPD は次式で表される。

$$VIPD = \frac{C_v - C_s - C_w \cdot \frac{S_s}{\sum_{i=1}^n A_i} + S_s}{S_v + S_s} \quad (2)$$

ここで、 $C_v$ 、 $C_s$ 、 $C_w$  はそれぞれ水・土壌・植生のパターン展開係数である。 $A_i$  は各バンドの反射率であり、 $S_v$ 、 $S_s$  はそれぞれ植生と土壌の基本パターンの反射率の和であり、定数である。

対象地域の年間 VIPD のシミュレーションした結果は図 3 に示す。太陽高度と観測角度の違いに伴って、VIPD 値が変化することがわかった。その変化の大きさは広葉樹林で約 13% であり、草地で約 25% である。しかし、BRDF の影響により、VIPD の変動傾向について、広葉樹林と草地が大きい違いを示した。広葉樹林では前方散乱方向より後方散乱方向での VIPD 値が大きかった。そして、後方散乱方向で、観測角度の増加に伴って、VIPD 値が大きくなった。草地の場合で、逆の傾向を示した。後方散乱方向での VIPD 値が小さかった。その差異の原因は現在まだ調べているところである。

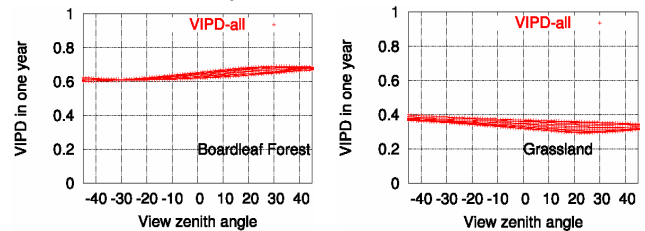


Fig 3. With GLI observation conditions and parameters of Ross-Li model, the simulated VIPD of broadleaf forest (left) and grassland (right) in one year.

#### 5 まとめと今後の課題

本研究では BRF 観測で実測したデータから、広葉樹林と草地に対する BRDF の影響特性をそれぞれ分析した。また、BRDF モデルがこの二種類の植生への適用性を検証し、パラメータを求めた。その上、GLI の観測状況で、年間 VIPD における BRDF の影響をシミュレーションした。今後、農地と熱帯雨林など異なる植生の種類に対する BRDF モデルの適用性を検証しつつ、植生指標における BRDF の影響を分析する。その影響を考慮した上で、GLI データを用いて全球植生純一次生産量の値とその精度を求める予定である。

#### 謝辞

本研究は独立行政法人科学技術振興機構 (JST) 基礎的研究発展推進事業「発展・継続」第二研究領域の「全球高精度植生バイオマス推定の実用化一」の補助を受けた。

#### 参考文献

- 1) W.Wanner, X.Li, A.H.Strahler, "On the derivation of kernels for kernel-driven models of bidirectional reflectance," *Journal of Geophysical Research*, vol.100, pp.21077-21090, 1995
- 2) 陳路 他, "針葉樹林の NPP 推定における BRDF の影響," 日本リモートセンシング学会第 40 回学術講演会論文集, pp3-5, 2006
- 3) J.I. Peltoniemi et al., "BRDF measurement of understory vegetation in pine forest: dwarf shrubs, lichen, and moss," *Remote sensing of Environment*, vol.94, pp343-354, 2005
- 4) Cédric Bacour et al., "Variability of biome reflectance directional signatures as seen by POLDER," *Remote sensing of Environment*, vol.98, pp80-95, 2005