

プロジェクト - 2

2011. 2. 21 千葉大学環境リモートセンシング研究センター
共同利用研究発表会

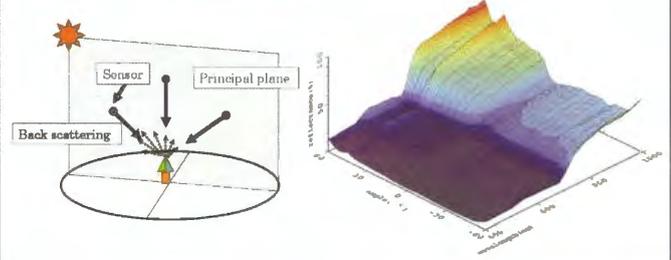
植生の双方向性反射分布関数(BRDF)が 反映する植生パラメータについて

～長期観測データおよび、モデル研究からの考察～

首都大学東京大学院
長谷川 宏一・泉 岳樹・松山 洋
(担当 本多嘉明・梶原康司)

双方向性反射分布関数とは？

- 一つの物体を多方向から放射観測(多方向放射観測)することにより、地表面の不均一な散乱を捉えたもの。
- 太陽方位角・太陽天頂角・観測方位角・観測天頂角の条件によって反射率が変化する様子。(Bidirectional Reflectance Distribution Function; BRDF)



植生リモートセンシングにおけるBRDF研究

- 太陽条件の異なる多時期の衛星画像を使った解析や、斜め観測技術を用いた高周期観測を行う衛星(MODISなど)の増加から、衛星データへのBRDFの影響が懸念され、研究が進んだ。
⇒半経験的モデルに基づくBRDF補正
- 不均一な散乱は対象物の三次元構造(凹凸)と関係あり。
⇒BRDFを植生固有の特性と捉え、従来の一方向観測では推定できなかった植生の情報を推定する研究が注目をあびる。

Chen et al. (2003)

- Hotspot(最大反射率)とDarkspot(最低反射率)から計算される指標HDSを用いて、植生の日向葉・日陰葉の割合を推定し、それをパラメータとした光合成モデルを作成。

Heiskanen (2006)

- 衛星センサ: MISRのデータを用いて、BRDFが樹高や植被率の推定に有用であることを実証。

BRDFを用いたLAI推定に関する研究 (Hasegawa et al., 2010)



Improving the estimation of leaf area index by using remotely sensed NDVI with BRDF signatures

Koiti Hasegawa^{1,2,3*}, Hiroshi Matsuyama¹, Hayato Tsuzuki¹, Tatsuo Sweda¹

¹ Department of Geography, Tohoku Gakuin University, 1-1 Utsunomiya-cho, Utsunomiya, Shizuoka 424-8507, Japan

² Department of Urban, Environmental and Atmospheric Science, Tohoku University, 6-6-01 Aramaki, Aoba-ku, Sendai 980-8579, Japan

³ Department of Agriculture, Tohoku University, 1-1-1 Aramaki, Sendai 980-8579, Japan

- NDVIにBRDFから算出する特徴量を乗ずることで、NDVIとLAIとの非線形な相関関係を、改善する可能性を示した。

⇒特に立体構造を持つ植生パラメータ(バイオマスやカゲ指数)の推定に、BRDFを利用することは有効である。

BRDF研究における問題点

①長期観測の不足

...各植物季節のBRDFの観測に年間を通して成功した事例が無く、BRDFがどのような植生状態を反映して変化するのかの考察が不足している。(そもそも季節変化するのか?)

⇒森林のBRDFの観測にはタワーやヘリコプターといった大規模な施設が必要(樹冠上に十分に出なくてはならない)

②複雑すぎる、もしくはざっくりすぎるBRDFの再現モデル

...観測値に基づいてBRDFパラメータを推定するモデル(半経験的モデル)は多く存在する。しかし、そのパラメータが具体的に植生のどの情報を反映するのか分かっていない。(現地観測できない植生パラメータに基づく再現モデルが多い)

⇒実測できる植生パラメータに基づく物理モデルの作成が必要
また、半経験的モデルのパラメータに対する考察が必要

$$\rho = f_{iso} + f_{geo}K_{geo} + f_{vol}K_{vol}$$

(MODISの補正に用いられる半経験的BRDFモデルの概念)

f_{iso} 等方散乱成分 ?
 f_{geo} 幾何散乱成分 ?
 f_{vol} 体積散乱成分 ?

研究概要

①長期観測

...八ヶ岳カラマツ林(落葉針葉樹)において、タワー上にBRDF観測システムを設置し、植物フェノロジーとBRDF特性との関係を検証する。

※2006年度よりシステム作りを開始

2007年度より観測開始

(2007年に年間10回の観測に成功)

※MODISのBRDF補正に用いられる、半経験的モデルを観測データに適用し、各季節のBRDFパラメータを算出

②観測データに基づくBRDF再現モデルの作成

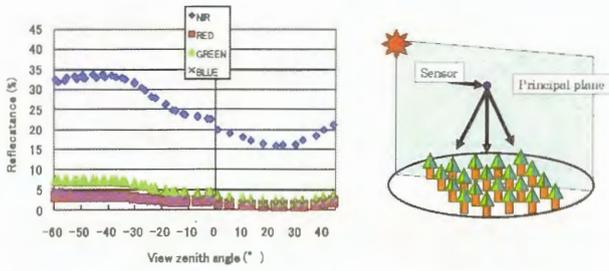
...現地観測可能な植生パラメータによって計算されるBRDFシミュレータ(Bidirectional Reflectance Simulator)を作成

(本多・梶原研究室の研究結果、小野ほか 2010、写真測量とリモートセンシング)



取得されたデータ:夏(八ヶ岳)

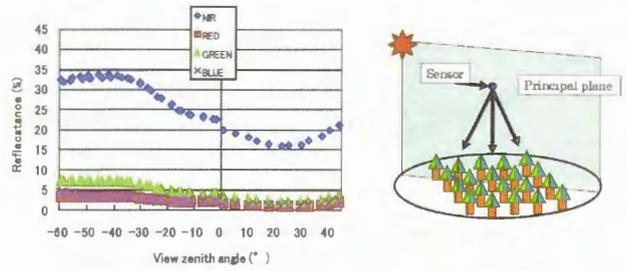
8月16日 天頂角 46.5



後方散乱方向(日向葉が主に見える方向)への強い反射と、前方散乱方向(日陰葉が主に見える方向)への弱い反射の差を確認できる(植生のBRDFの特徴)

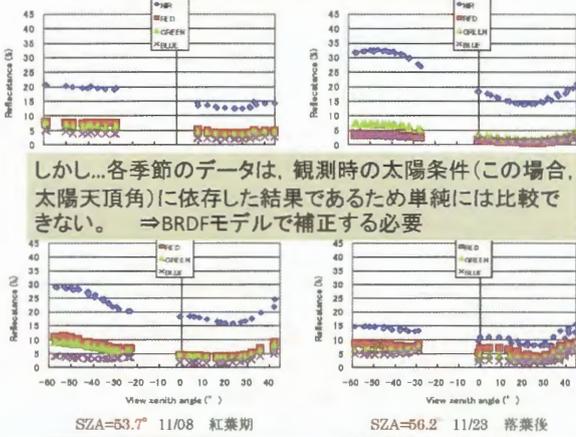
取得されたデータ:夏(八ヶ岳)

8月16日 天頂角 46.5



後方散乱方向(日向葉が主に見える方向)への強い反射と、前方散乱方向(日陰葉が主に見える方向)への弱い反射の差を確認できる(植生のBRDFの特徴)

各季節に取得されたBRDFデータ



しかし...各季節のデータは、観測時の太陽条件(この場合、太陽天頂角)に依存した結果であるため単純には比較できない。⇒BRDFモデルで補正する必要

半経験的BRDFモデルの摘要 (Ross-Li Kernel Model 1995)

MODISのプロダクト作成に使われているBRDFモデル

$$\rho = f_{iso} + f_{geo}K_{geo} + f_{vol}K_{vol}$$

等方散乱成分 幾何散乱成分 体積散乱成分

観測された反射率を、三つの散乱成分(>0)に分けて考えるモデル

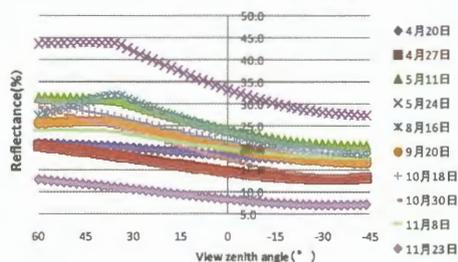
$$K_{geo}, K_{vol} \rightarrow \text{Kernels}$$

観測条件(観測天頂角・太陽天頂角・相対方位角)によって決まるパラメータ(天頂角が0°の時はK=0になる)

BRDFの観測結果から季節ごとに、 f_{iso} , f_{geo} , f_{vol} を求める。(MODISのBRDFプロダクトの作成に用いられているのと同じ方法で重回帰)

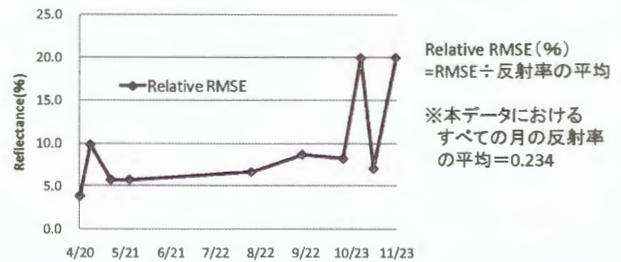
Ross-Li model によって計算された各季節のBRDF

太陽天頂角条件を35°に統一



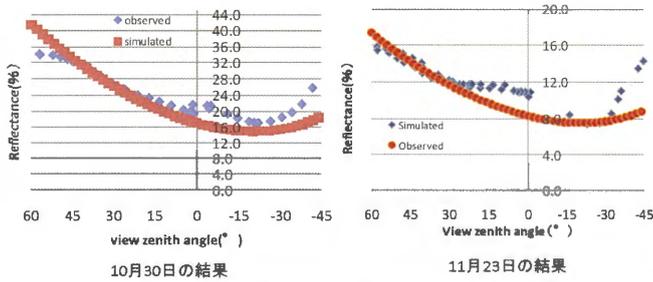
- ・後方散乱方向の強い反射と前方散乱方向の弱い反射を再現
- ・植物フェノロジーと共にBRDFも季節変化することが分かる

各季節のBRDFの再現性 (Relative RMSE)



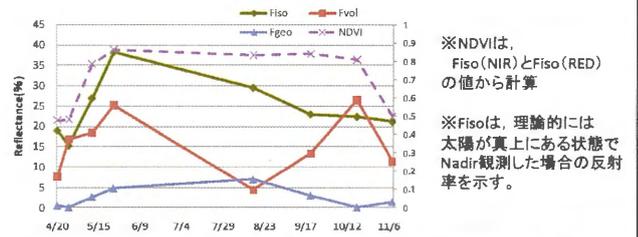
- ・ Relative RMSEは、10/30(紅葉期)と11/23(落葉後)の観測値を除き、10%以下であった。

再現性の悪かった季節における観測値とシミュレーション値の比較
(太陽天頂角の条件が35° の場合)



- 特に、前方散乱方向での反射率の再現性が悪かった。(反射率の上昇が見られない)

BRDFパラメータ(NIR)の季節変化 ※10/30と11/23のデータを除く



※NDVIは、Fiso (NIR)とFiso (RED)の値から計算

※Fisoは、理論的には太陽が真上にある状態でNadir観測した場合の反射率を示す。

- モデルの説明ではFgeoを幾何散乱成分(陰影を作りだすような三次元的な立体構造)Fvolを体積散乱成分(光路長に影響するような葉の層の厚み)と説明している。
- Ross-Li modelは、汎用的かつ盛夏においては実効的なBRDFモデルだが、そのパラメータFgeo, Fvolが反映している植物の状態は何であるかは考察が難しかった。(半経験BRDF modelの曖昧さと危うさ)

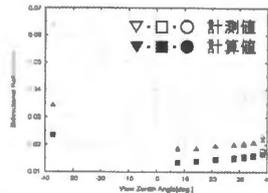
BiRS (Bidirectional Reflectance Simulator) の研究成果から...

※BiRS(本多・梶原 研究室で開発されたBRDF物理モデル)

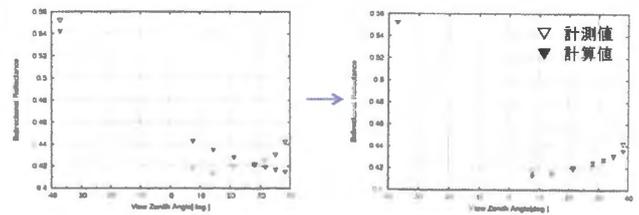
対象とする森林の表面を構成する要素
(日向の林冠)・(日陰の林冠)
(日向の林床)・(日陰の林床)

の被覆率と反射係数を、地上観測値(樹高・胸高直径・樹冠高・樹冠径・樹木間距離)若しくは上空から計算したDSMから求め、BRDFを再現するモデル

北海道カラマツ林におけるBRDFの再現に成功。(Principal plane)



BiRSの研究成果から...(近赤外域)



※(小野塚か 2010, 写真測量とリモートセンシング)より引用

- 植生表面にできる陰影を、散乱光の影響を受けない影と散乱光の影響を受ける明るい影の二種類に分けたところ、前方散乱方向の再現性が向上した。