

生態環境計測学 2015.11.11 の質問・補足

回答者 : 植山

1. 最大コンポジット法により雲を除去する方法についての説明をもう一度してほしい。特に、雪と雲の識別についても最大コンポジット法で識別可能か説明がほしい。

[Answer]

衛星リモートセンシングは宇宙空間から地表面の反射率、放射率を計測するため、エアロゾルなどの大気を混濁する物質や雲などの影響を受ける。特に、可視反射赤外リモートセンシングでは、対象領域に雲がかかると、雲の下の状態を評価することができない。人工衛星は周期的に同じ場所を計測していることが多いため（例えば、MODISであれば、毎日の朝夕2回について地球上の全ての場所を計測している）、異なる日に取得した雲のないデータを合成することで雲の影響のない画像を作成することができる。NDVIは、植物の量が多く活性度が高い場所ほど高い値を示す。一方、雲があるとNDVIの値は小さくなる。このことを利用して、最大コンポジット法では、ある期間においてNDVIが最大となっている部分を抜き出して合成画像を作成して雲の影響を除去する。ここで、コンポジットを作成するための期間は、植生が大きく変化しない程度に短くあり、雲の影響が除去できる程度に長くある必要がある。一般に、1週間から1月程度のコンポジットが作成されることが多いが、熱帯域のように季節を通して雲が多い地方に関しては、ここでの最適なコンポジット期間を決めることが容易でない。

雲と雪の識別には短波長赤外(Short-wavelength infrared; 1.4 – 3 μm)の波長帯が利用される。可視域の波長帯では、雲も雪もいずれの反射率も高いため雲と雪の識別は困難である。一方、短波長赤外の波長帯の電磁波を雪が吸収するため、雪は雲と比べてこの波長帯において暗く見える。このことを利用して、雪の識別には Normalized Difference Snow Index (NDSI)などの指標が利用されている。

$$NDSI = \frac{R_{0.66} - R_{1.6}}{R_{0.66} + R_{1.6}} \quad (1)$$

ここで $R_{0.66}$ は可視域(0.66 μm 付近)反射率、 $R_{1.6}$ は短波長赤外域(1.6 μm 付近)反射率を表す。一般にNDSIが0.4以上で近赤外域(0.841 ~ 0.876 μm)の反射率が11%以上であれば雪が存在しているとされている(Hall et al., 2002)。

引用文献

Hall, D., Riggs, G. A., Salomonson, V. V., DiGirolamo, N. E., Bayr, K. J. 2002: MODIS snow-cover products, *Remote Sensing of Environment*, **83**, 181-194.

2 NDVI において近赤外線と赤色光の差によって植物量や活性が表現できる原理について説明がほしい。

[Answer]

植物は、光合成色素の働きで可視域の光をクロロフィルなどの色素が効率的に吸収すると共に、近赤外の光を反射する特徴を持つ(図 1)。リモートセンシングを用いた植生モニタリングでは、このような植物の分光反射の特徴を利用する NDVI (Normalized Difference Vegetation Index; 正規化植生指数) という指標が広く用いられている。NDVI は、近赤外光(NIR)と赤色光(RED)の反射率を用いて以下のように表される。

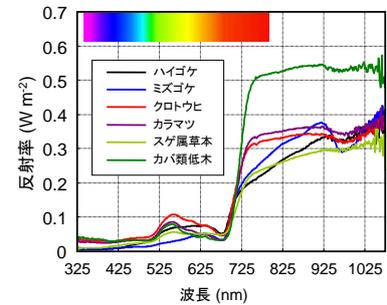


図 1. 夏季アラスカで計測された植物の分光スペクトル反射率

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (2)$$

近赤外光の反射率が高く、赤色光の反射が少なければ2式の分子が大きくなり、NDVIは1に近づく。

3. 光利用効率(LUE; Light Use Efficiency)モデルについて、再度、説明をしてほしい。

[Answer]

LUE モデルとは、植物が吸収した光(APAR; Absorbed Photosynthetically Active Radation)と LUE の積から光合成量を推定するためのモデルである。

$$\begin{aligned} \text{光合成量} &= LUE \times APAR \\ &= LUE \times FPAR \times PAR \end{aligned} \quad (3)$$

ここで、FPAR は光合成有効放射吸収率(Fraction of PAR)を表す。一般に、FPAR と NDVI の間には関係性があることが分かっているため、NDVI から FPAR を推定することができる(ただし、近年では、より高度な手法を用いて FPAR が計算されることが多い)。また、衛星データから PAR を推定することも可能であるため、衛星リモートセンシングから式 3 中の LUE 以外を算出することができる。LUE は、植物種毎に異なること、また環境要因によって光合成活性が変化することを考慮してモデル化すると、LUE モデルと衛星データを用いた広域的な光合成量の評価が可能となる (Sasai et al., 2005)。

引用文献

Sasai, T., Ichii, K., Yamaguchi, Y. and Nemani, R. 2005: Simulating terrestrial carbon fluxes using the biosphere model “biosphere model integrating eco-physiological and mechanistic approaches using satellite data” (BEAMS), *J. Geophys. Res.*, **110**, 493-503. G02014, doi:10.1029/2005JG000045.

4. LUE モデルの説明の際、講義のテキストでは PAR の単位が J m^{-2} と表記されていたが、PPFD では駄目か？

[Answer]

光合成有効放射 (Photosynthetically Active Radiation; PAR) との定義を用いたためエネルギーの単位 ($\text{J s}^{-1} \text{m}^{-2}$ や W m^{-2}) で記載したが、光量子に関する物理量、光合成有効光量子束密度 (Photosynthetically Photon Flux Density; PPFD) を用いて光量子フラックスの単位 ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) で記述することもできる。PPFD と PAR は等価であるため、適切な変換を行えばエネルギー量から光量子数に変換することが出来る。ゆえに、PPFD を LUE モデルの入力に利用することが出来る。

5. NDVI の変化からストレスを検出する方法を教えてください。

[Answer]

ストレスによって落葉するなどの群落構造の変化が生じるか、色素量の変化などで葉の分光反射特性が変化する場合、NDVI などの植生指数の変化から植生のストレスを検出することができる。植物は水ストレスを受けていない場合、蒸散によって葉温の上昇を防いでいる。植生の活性が高い場合は NDVI が高く表面温度が低いと考えることができるが、NDVI が高いにも関わらず表面温度が高い植生があるとすると、その植生は水ストレスを受けている可能性があると判断できる (Nemani and Running, 1989)。特定の波長領域 (531~570 nm) の反射率は、植物がストレスを受けている際に変化することが知られており、この波長帯の反射率を用いた指標から植物のストレスを検出しようとする試みもある (Gamon et al., 1997)。

引用文献

Gamon, J. A., Serrano, L., and Surfus, J. S. 1997: The photochemical reflectance index: an optical indicator of photosynthetic radiation use efficiency across species, functional types, and nutrient levels. *Oecologia*, **112**, 492-501.

Nemani, R., and Running, S. W. 1989: Estimation of regional surface resistance to evapotranspiration from NDVI and thermal infrared ACHRR data. *J. Appl. Meteorol.*, **28**, 276-284.

6. マルチスペクトルの観測に関して説明がほしい。

[Answer]

マルチスペクトルセンサとは様々な波長帯の電磁波 (可視光、近赤外線、熱赤外線など) を同時に観測するセンサーのことである。光学センサーに特定の電磁波のみを通過させる帯域通過フィルタを用いると、特定の波長の光を観測することができる。様々な波長の電磁波を同時に観測し、それらを適切に組み合わせて指標化すれば、地表面や大気の状態を知ることができる。例えば、NDVI (式 2) は植生モニタリングに、NDSI(式 1)は積雪モニタリングに利用されている。

7. 土地被覆分類が当たらない理由について教えてほしい。

[Answer]

リモートセンシングを用いた土地被覆分類には、教師付き分類と教師なし分類の二つに大別できる。教師付き分類とはあらかじめ土地被覆が明らかな場所をいくらか選んでおき、その地点の土地被覆をうまく説明できる統計モデルを構築する分類法である。一方、教師なし分類とは先見情報を利用せず、リモートセンシングデータを統計的にグループ化することで土地被覆を分類する方法である。いずれの分類法でも、リモートセンシングから得られるマルチスペクトルデータや、それらの時系列データを用いた分類がなされる。例えば、MODISであれば、教師データとして全球から土地被覆が明らかな地点を入力し、それらを説明できる統計モデル（決定木やニューラルネットワーク）を構築することで、土地被覆分類を行っている（Friedl et al., 2002）。

土地被覆分類が当たらない理由としては、1)教師データの代表性や数の少なさ、2)リモートセンシングのミクセルの問題（空間解像度の問題）、3)分類アルゴリズムの問題、4)検証データの不足や土地被覆の定義が曖昧であることの問題などがあげられる。

引用文献

Friedl, M. A., McIver, D. K., Hodges, J. C. F., Zhang, X. Y., Muchoney, D., Strahler, A. H., Woodcock, C. E., Gopal, S., Schneider, A., Cooper, A., Baccini, A., Gao, F., Schaaf, C. 2002: Global land cover mapping from MODIS: algorithms and early results, *Remote Sensing of Environment*, **83**, 287-302.