

北極域土壌圏炭素収支の時空間解析のための植生リモートセンシング

Remote sensing of vegetation
for spatiotemporal analysis of carbon budget in arctic pedosphere

○串田圭司*

Keiji Kushida*

ユディ・セティアワン**

Yudi Setiawan**

1. はじめに

北極域は、近年の地球温暖化による温度上昇が地球上で最も大きく、今後の温度上昇も予想されている。北極域土壌圏は 1700GtC (大気 CO₂ の 2 倍に相当) の有機炭素を蓄える。北極域土壌圏が今後、どの程度の CO₂ を大気に放出するかは、今後の地球温暖化予測に大きく関わる。その CO₂ 放出見積もりには、空間的な生態系や環境の違いを考慮しなければならない。リモートセンシングにより、北極域土壌圏の CO₂ 放出見積もりにつながる 2000 年から 2012 年の植生変化抽出と植生区分を行った。

2. 対象と方法

米国アラスカ州の酸性湿潤ツンドラ(MAT)、非酸性湿潤ツンドラ(MNT)、スゲー灌木ツンドラ(SST)、ヒースツンドラ(HTT)にて、分光測定と測定した植物の刈り取りを行った。合計 70 個の 0.2m × 0.2m の正方形の調査区 (コドラート) を対象とした。分光測定は、GER-2600 スペクトロメータ(GER 社製、米国)を用いて、350nm から 2500nm の波長で行った。分光測定方法は Kushida et al. (2004)に従った。それぞれのコドラートについて、刈り取った植物は、落葉性灌木、常緑性灌木、イネ・スゲ類、広葉草本といった植物機能型別に、それぞれ光合成部位 (緑色部)、地上部非光合成部位ごとに区分し、それぞれの乾物重としての現存量を量った。分光指標と現存量および植物から土壌への炭素移動を表す指標との関係を解析した。この関係は 0.2m の地上分解能について成り立つものであるが、毎日画像を取得する地球観測衛星搭載センサーである中分解能撮像分光放射計 (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer; MODIS) は、地上分解能が 250m~1km である。そこで、超高解像度衛星画像 World View-2 (地上分解能 0.5m) により、地上分解能が 0.5m から 1km まで変化する際に、分光指標がどのように変化するか調べた。その分光指標の変動を考慮して、2000 年から 2012 年の 7 月中旬から 8 月中旬にアラスカツンドラについて取得された MODIS から、2000 年から 2012 年の植物から土壌への炭素移動に関する指標の変化を見積もった。また、2000 年から 2012 年のアラスカツンドラについて取得された MODIS の正規化植生指数 (Normalized Difference Vegetation Index; NDVI) を用いたクラスター分類によって、植生タイプ及び 2000 年から 2012 年の植生変化に対応したアラスカツンドラの植生分類を行った。この植生区分は 2001 年に作成された米国の土地被覆分類データ (NLCD2001) と比較し、分類された植生区分ごとに、植生タイプ及び 2000 年から 2012 年の植生変化の観点から、それぞれの特徴を明らかにした。原野・森林火災のデータベース (MODIS Collection 5 Burned Area Product; MCD45) を使い、植生区分ごとの火災の周期を求めた。MODIS データは米国地質調査所 (USGS) による、雲を取り除くように 7 日間ごとに合成されたもの (EROS Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) を用いた。

*日本大学生物資源科学部 College of Bioresource Sciences, Nihon University

**ボゴール農科大学環境研究センター Center for Environmental Research, Bogor Agricultural University

3. 結果

分光指標 NDVI と EVI2 は以下のように定義される。

$$NDVI = (NIR - RED)/(NIR + RED), \quad (1)$$

$$EVI2 = 2.5(NIR - RED)/(NIR + 2.4RED + 1). \quad (2)$$

ここで、RED [%]と NIR [%] は、MODIS のバンド 1 (0.62–0.67 μm) とバンド 2 (0.841–0.876 μm)をそれぞれ示す。これらと、下記で表される分光指標：

$$SI = (B_x - B_y)/(B_x + B_y) \quad (3)$$

$$ESI = a \exp(b \cdot SI) \quad (4)$$

により、維管束植物緑色部現存量と分光指標との関係を見たところ、NDVI および EVI2 が最も維管束植物緑色部現存量(g/m^2)との相関が高かった。それぞれの決定係数(R^2)は、0.54 および 0.58 であった。ただし、 B_x と B_y は MODIS のバンド x ($x = 1, 2, 3, 4, 5, 6, \text{ and } 7$) とバンド y ($y = 1, 2, 3, 4, 5, 6, \text{ and } 7; y \neq x$). a と b は定数である。NDVI, EVI2 と維管束植物緑色部現存量(g/m^2)に地上部維管束植物非光合成部位を含めた地上部維管束植物現存量(g/m^2)やそれにコケや地衣類も含めた地上部現存量(g/m^2)と分光指標との相関も見たと、NDVI, EVI2 と維管束植物緑色部現存量(g/m^2)との相関が最も高かった。落葉性灌木、常緑性灌木、イネ・スゲ類、広葉草本といった植物機能型別の植物緑色部現存量に、葉の寿命(Shaver and Chapin, 1991)と葉の生産量の純一次生産量に対する割合(Shaver and Chapin, 1991)を仮定し、根の生産量を除く維管束植物純一次生産量(NPP)を見積もり、分光指標との相関を見たところ、NDVI および EVI2 との相関が最も高かった。それぞれの決定係数(R^2)は、0.56 および 0.60 であった。2000 年から 2005 年と 2007 年から 2012 年それぞれの 7 月中旬から 8 月中旬の NDVI からアラスカツンドラの維管束植物緑色部現存量の変化を見積もった。多くの先行研究では、アラスカツンドラ全域で近年、植生が増加傾向にあることが示されていたが、Foothills と呼ばれる地域で増加し、Seward 半島では減少していることを示した。2000 年から 2012 年のアラスカツンドラについて取得された MODIS の正規化植生指数(Normalized Difference Vegetation Index; NDVI)を用いたクラスター分類による植生区分は 2001 年に作成された米国の土地被覆分類データ(NLCD2001)と比較し、それぞれの植生区分について植生変化をした年や原野・森林火災との対応を明らかにした。植生区分ごとに原野・森林火災の周期を見積もった。

4. 結論

リモートセンシングにより、植生の増加や原野森林火災の起こりやすさといった観点での植生区分を行った。また、維管束植物 NPP の 2000 年から 2012 年の変化の地理的分布を得た。維管束植物 NPP は維管束植物地上部から土壌への毎年の炭素の流入を示す。これらは、北極域土壌圏の CO_2 放出と対応している。今後、土壌コア分析と合わせて土壌有機物分解を含む北極域土壌圏の CO_2 放出の解析に用いる。

本講演の約 70%は、Kushida, K., Hobara, S., Tsuyuzaki, S., Kim Y., Watanabe M., Harada K., Setiawan Y., Shaver G. R., Fukuda, M.: Spectral indices for remote sensing of phytomass, deciduous shrubs, and productivity in Alaskan arctic tundra (投稿中) の引用である。環境省環境研究総合推進費(2-1304)および宇宙航空研究開発機構(JAXA)の IJIS および衛星データ他を利用する IARC/JAXA 北極圏研究の支援により、実施された。

引用文献

Kushida, K., Kim, Y., Tanaka, N., and Fukuda, M. (2004) : Remote sensing of net ecosystem productivity based on component spectrum and soil respiration observation in a boreal forest, interior Alaska, *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, **109**(D6), doi: 10.1029/2003jd003858.

Shaver, G.R., and Chapin, III, F.S. (1991): Production: biomass relationships and element cycling in contrasting arctic vegetation types, *Ecological Monographs*, **61**, 1-31.