

AVHRR植生指数とTerra/MODIS植生指数の比較

北海道自然植生季節変動の抽出の場合

布和敖斯尔 金子 正美 土屋 清*

要 約

本研究では衛星センサーの特徴、計算モデル及びアルゴリズムの違いから従来の植生指数とEOS-Terra/MODISの植生指数を比較した。本研究を通して、MODISの特有な植生指数EVI (Enhanced Vegetation Index) はAVHRR/NDVIとMODIS/NDVIより地表面植生空間分布や植生季節変動などをもっとも正確に示していることが分かった。また、MODISの植生指数を用いて、北海道釧路湿原及び周辺植生の季節変動特徴を明らかにした。

Key words: AVHRR/NDVIとMODIS/NDVIの比較、北海道自然植生季節変動、釧路湿原

1 まえがき

健康な植生に降り注ぐ太陽光は植生のクロロフィルにより0.63~0.68 μm (赤色光) では吸収され、近赤外光域 (特に0.74~1.16 μm) では強く反射される。この性質を利用するとマルチスペクトルセンサによる観測データから植生に関する様々な情報の効果的な抽出が可能である。Landsat に搭載された4バンドのマルチスペクトルセンサMSSによる取得画像データの利用が可能になった時に、Rouse (1973)、Rouse et al (1974) はMSSのデータから植生の情報を抽出するのに便利な植生指数NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)(式1)を導いた。

$$\text{NDVI} = (\rho_{\text{nir}} - \rho_{\text{red}}) / (\rho_{\text{nir}} + \rho_{\text{red}}) \quad - (1)$$

実際の計算に当たっては、赤色光域としてバンド5 (0.6~0.7 μm)、近赤外光域としてはバンド6 (0.7~0.8 μm)、またはバンド7 (0.8~1.1 μm) が使われた。その後多くの研究者がいろいろな植生指数を導いた。それらについてはBannari et al (1995) による詳細なReviewがある。土屋 (2000) はBannari et alの報告の後に示された若干の指数を含めて特に乾燥地の詳細な植生情報抽出に適する植生指数の検討を行っている。

Landsat 4号以後に搭載されているTM (Thematic Mapper) では植生情報抽出のために0.63~0.69 μm (バンド3) が設けられている。TMデータは高い空間分解能とスペクトル分解能で植生域抽出には非常に効果的ではある

が、観測範囲、同一地域の観測可能頻度に著しい制限があるためグローバルな問題には利用出来ない。この問題に対応するため、毎日の観測が可能な気象衛星NOAA AVHRRの可視域0.58~0.68 μm と近赤外域0.725~1.10 μm のデータから計算されたNDVIが広く利用されている。

一方、NASAの打ち上げた衛星EOS-Terra (1999.12.18) に搭載されている新センサーMODISは空間分解能、スペクトル分解能がNOAA AVHRRに比較して格段に優れており、植生抽出に適した波長での観測も行われている (表1参照)。表1に示したように、MODIS250m及び500mメッシュNDVIの生産にバンド1-7が利用されている。

また、これまでの植生指数に関する研究結果をとりいれ、式(2)で定義されるMODIS独特の植生指数EVI (Enhanced Vegetation Index) (Huete and Liu, 1994) が提示されている。

$$\text{EVI} = \frac{\rho_N^* - \rho_K^*}{\rho_N^* + C_1 \rho_R^* - C_2 \rho_B^* + L} (1 + L) \quad - (2)$$

ρ^* は方向性反射率 (大気分子散乱とオゾン訂正した反射率); L はキャノピーバックグラウンド調整係数; C_1 と C_2 は、青色光域 (459-479nm) バンドを使って、赤色光域に大気エアロゾル訂正をする時の定数である (Huete and Liu, 1994; Liu, H. Q., and Huete, A. R, 1995)。通常、大気エアロゾル効果を極小化すると土壌の影響が大きくなり、逆に土壌の反射率の影響を小さくすると大気の影響が大きくなるため、EVIでは土壌と大気の植生指数への影響を同時に訂正している。MODISのNDVIもNDVI計算に大気エアロゾルの訂正、太陽天頂角度及びBRDF訂正、キャノピーバックグラウンド影響の訂正、NDVI飽和及びキャノピー構造

* 土屋 清 (財) 広島地球環境情報センター
(Kiyoshi Tsuchiya, Hiroshima Earth Environmental Information Center)

効果影響 (LAI) 訂正などを行い NDVIのアルゴリズムを改善した。

本研究では、北海道の自然植生の季節変動に関して AVHRR及び MODISによる観測データから得られた植生

指数の比較を行い、併せてMODISデータから求めされる他の植生に関する指数 LAI (Leaf Area Index, 葉面積指数) に関する検討、北海道自然植生季節変動等の解析結果についても報告する。

表 1 Comparative the AVHRR and MODIS sensor spectral range on vegetation indices monitoring

Sensor	Launch data	Vegetation index	Spectral range (μm)	Spectral resolution	Scan size (km)
(NOAA-6,7,8,9,10,11,12,14) AVHRR	Jun 27, 1979	NDVI	#1: 0.58-0.68 #2: 0.725-1.10	1000m	2400
MODIS	AM-1 Dec. 18, 1999	NDVI _{250m}	#1: 0.62-0.67 #2: 0.841-0.876	250m	2330
		NDVI _{500m}	#1: 0.62-0.67 #2: 0.841-0.876 #3: 0.459-0.479 #4: 0.545-0.565 #5: 1.230-1.250 #6: 1.628-1.652 #7: 2.105-2.135	500m	
		EVI _{500m}	#1: 0.62-0.67 #2: 0.841-0.876, #3: 0.459-0.479	500m	

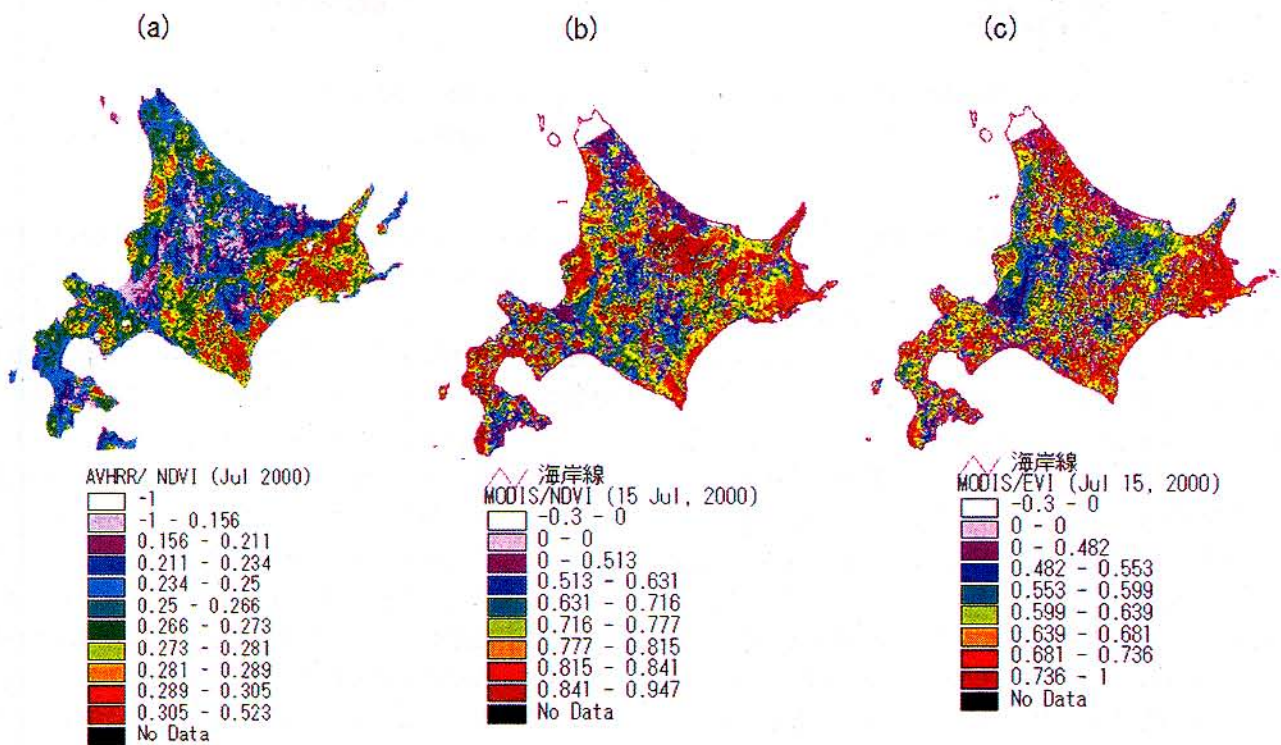


図1 AVHRR NDVIとMODIS EVIの比較

(a) 2000年7月平均NOAA/AVHRRのNDVI (1000×1000m) ; (b) 2000年7月15日MODIS/NDVI (500×500m) ; (c) 2000年7月15日MODIS/EVI (500×500m)

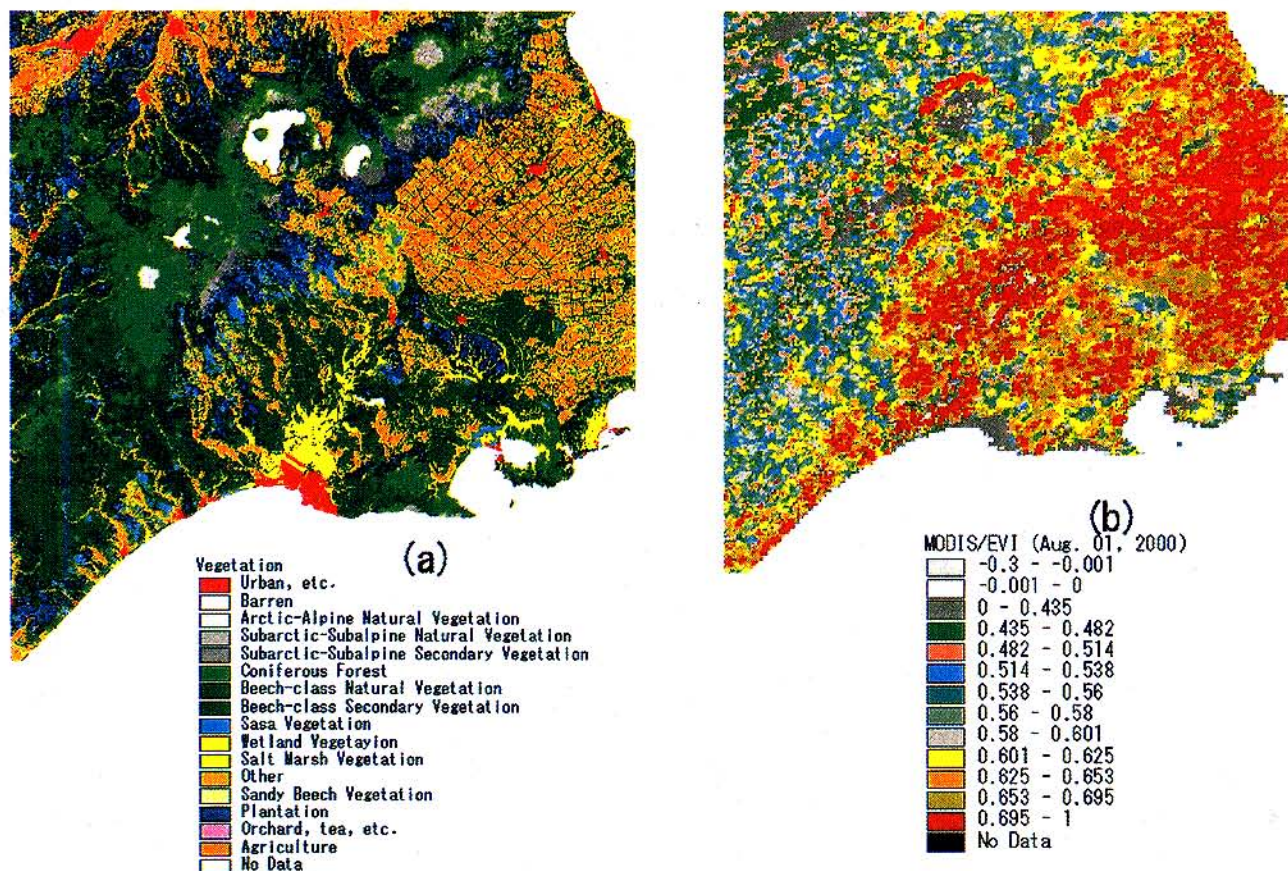


図2 北海道釧路湿原及び周辺地区調査データにより作成した植生分類図とMODIS/EVI分布図の比較

((a)は植生調査図で、(b)はMODIS/EVI分布図)

2 研究対象域の植生分布の特徴

釧路湿原は総面積18290haで、日本全体の湿地面積の60%を占める国内最大の湿原であり、1980年水鳥をはじめとする野生生物が生息する湿地としてラムサール条約の国内第1号登録地となった。湿原全体に生育するヨシと散在するハンノキ林、蛇行する河川等から構成される壮大な水平的景観の特異性ばかりでなく、高・中・低層湿原の特徴的な植生が見られる。湿原周辺は丘陵、低い山地がつながっている。湿原植物はヨシスゲ群落を中心の草本植物で、丘陵と山地は針葉樹林、広葉樹林や針広混交林である。近年、流域の経済活動の拡大に伴い湿原面積が著しく減少し、湿原植生もヨシスゲ群落からハンノキ林に急激に変化してきている。そのため、湿原再生のプロジェクトも検討中である。本研究では北海道植生分布域AVHRR植生指数とMODIS植生指数の違いを比較すると共にMODIS植生指数と葉面積指数を用いて、釧路湿原及び周辺域自然植生及び土地被覆の季節変動を調べた。

図1は2000年7月平均AVHRR/NDVI (1000m メッシュ unsigned-8bit) と2000年7月15日MODIS植生指数NDVI及びEVI (500mメッシュ・16bit integer) の比較

結果である。AVHRR/NDVIと比べるとMODIS植生指数は大気の影響を訂正したわけで、NDVIの絶対値は大きい。図1で示しているように、7月になると北海道の道東域は比較的植生指数分布が高い値を示している。また、針葉樹林地などの森林分布地域だけでなく、農地でも高い値を示している。MODIS/NDVIとAVHRR/NDVIの違いはNDVI絶対値で(センサーの違い)、EVIとの違いは植生指数値の空間分布と絶対値(センサーとアルゴリズムの違い)である。このことがEVIは訂正した指数であることを証明している。EVIは可視光域の青色光域反射率を使って、NDVIに大気補正とバックグラウンド土壌影響の補正をした指数で、植生の空間分布の差及び生物物理的特徴を強調したと言われている(Huete and Liu, 1994)。デジタル化した植生分布調査図とEVI分布図を比較すると、図2で示しているように夏の間、EVIは湿原植生域や農作物分布域で森林分布域よりも高い値を示している。

また図3(a,b,c)の植生指数季節変動曲線からAVHRR/NDVIとMODIS/NDVI及びMODIS/EVIの違いが分かる。7月、9月及び12月自然植生分布域AVHRR/NDVIとMODIS/NDVI、MODIS/EVI絶対値の差をセンサーの違いとアルゴリズムの違いから説明できる。図3(a)と

(b) は同じセンサーで、ここで主にアルゴリズムによる植生指数計算の違いを示している。即ち、EVIは土壤調整係数及びL、C1とC2パラメーターを用いてNDVIに大気の影響とキャノピバックグラウンドの影響を共に訂正したことで、EVIはNDVIより、植生季節的変動、いわゆる“緑色の動き” (Green moving) を著しく表現している (布和ら, 2001)。また図3 (a) と (c) はほぼおなじ考え方、即ち植生の太陽光に対して、赤色光域での吸収と近赤外光域での散乱する特徴を利用して比率によって計算されたNDVIで、ここでの違いは主にセンサーによるものと思っている。図3 (a) と (c) の曲線からNDVIのX軸に沿っての変動 (植生タイプに対応する変動) はおなじルールだが、Y軸に沿っての変動 (絶対値) は大きい違いがあることが分かる。表1からも分かるように、EVIの不足点は、EVI計算式に青色光域 (459-479nm) 反射率を使うと共に、MODISの青バンド (バンド3) 解像度は500mため、MODIS/EVIの解像度を250m (赤色光域 (バンド1) と近赤外光域 (バンド2) は250m) から500mに落としてしまうことである。

またBaret と Guyot (1991) ; Huete (1988) ; Major et al. (1990) ; Qi et al., (1994) らの研究ではNDVIとLAIの相関関係から、葉面積指数 (LAI) が変わらない時 (即ち同じ群落でLAI定数を取る時) NDVIの変化は太陽エネルギーを吸収する赤色光域反射率の値に強く依存して、LAIとNDVIの相関関係は対数曲線であると見ている。図4は北海道釧路湿原とその周辺地区MODISの植生指数NDVIとEVIの季節変動の比較である。図4からNDVIよりEVIのほうが植生の季節的変動に反応していることが分かる。

夏の間 (8月~9月)、湿原草本植生分布地域及び農地のNDVIとEVI値の差が大きい。NDVIは針葉樹林、広葉樹林地でより高い値を示しているが、EVIは草本植生分布地域と農地で森林より高い値を示している。冬、EVIのほうが針葉樹林地でより高い値を示しているが、NDVIでこの変化はあまり見えない。

Y. Knyazikhin (1998) ら年植物キャノピーの幾何特徴及び散乱放射を考えながら、式 (3) のようにLAI計算モデルを提案した。

$$LAI = \frac{1}{X_S \cdot Y_S} \int_V u_L(r) dr \quad (3)$$

ここで、Vが植物キャノピーのある場所の範囲で、Xs、Ysは、水平次元のVである。もし植物キャノピーがNc個木から成っているならば、LAI (R. B. Myneni, Y. Knyazikhin, J. L. Privette, S. W. Running, R. Nemani, Y. Zhang, Y. Tian, Y. Wang, A. Lotsch, J. T. Morisette, J. Glassy, P. Votava, 1999) の計算は式 (4) に変わる。

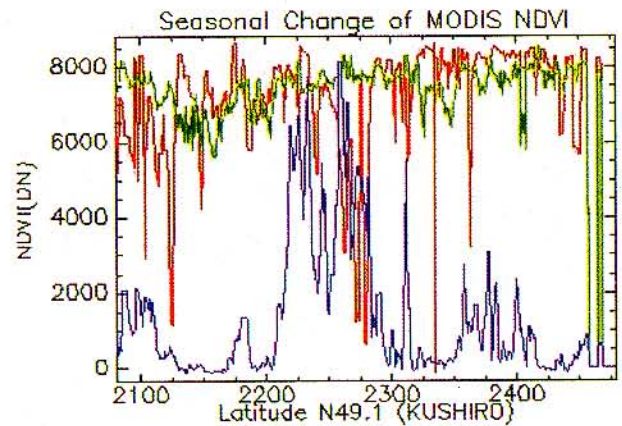


図3 (a) 北海道陸域北43.1緯度沿線MODIS/NDVIの季節変動
(R: 15 Jul 2000; G: 19 Sep 2000; B: 23 Dec 2000)

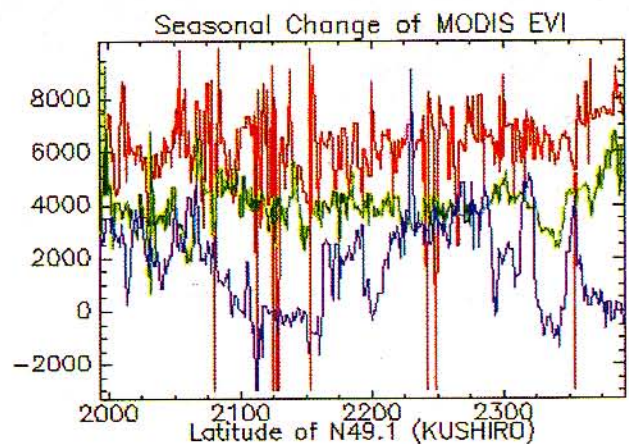


図3 (b) 北海道陸域北43.1緯度沿線MODIS/EVIの季節変動
(R: 15 Jul 2000; G: 19 Sep 2000; B: 23 Dec 2000)

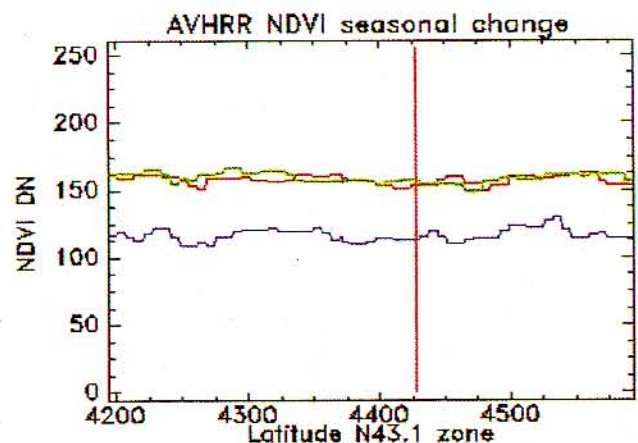


図3 (c) 北海道陸域北43.1緯度沿線AVHRR/NDVIの季節変動
(R: Jul 2000; G: Sep 2000; B: Dec 2000)

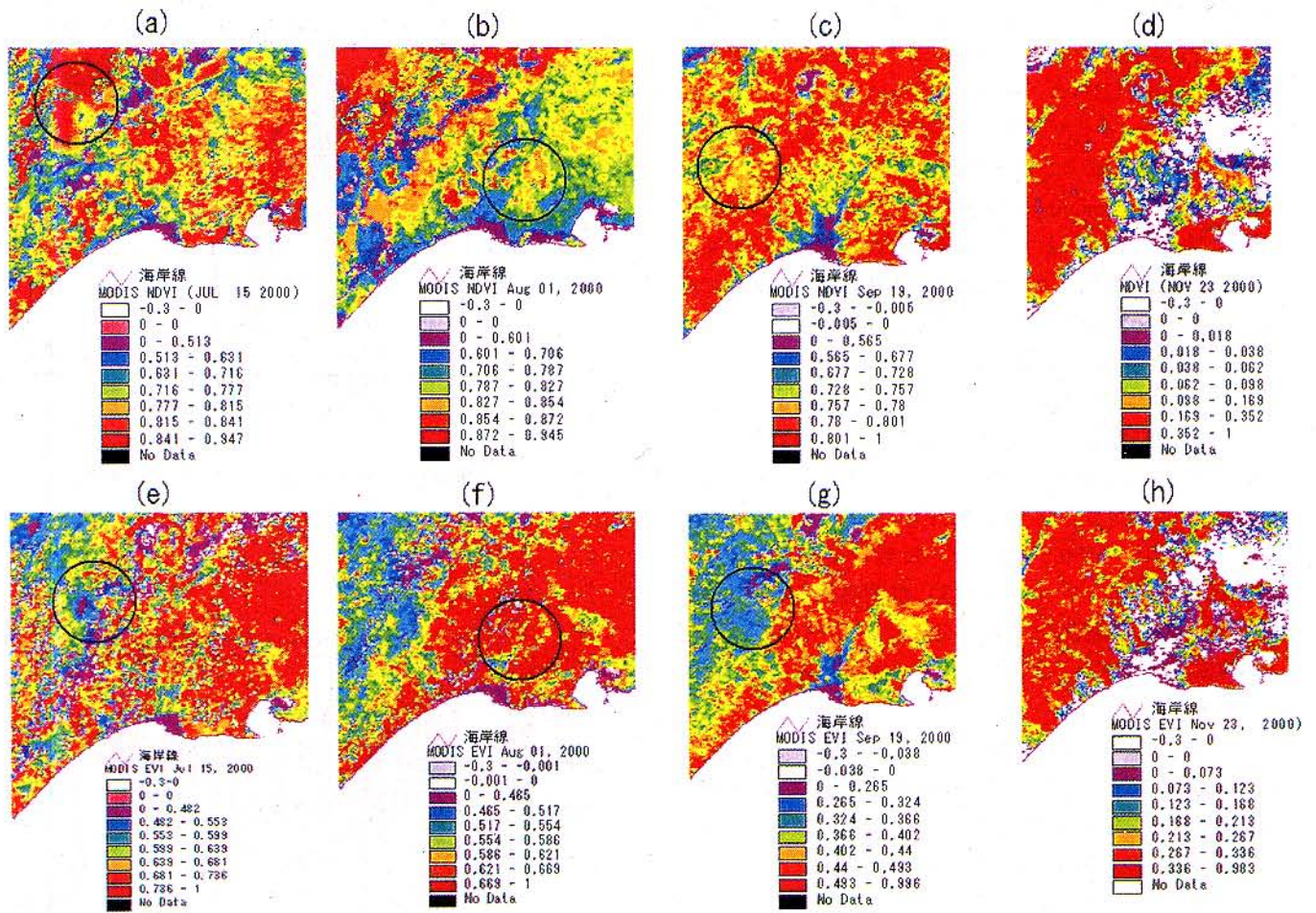


図4 北海道釧路湿原とその周辺植生地区MOD13A1レベルデータのNDVI

((a) - (b)) と EVI ((e) - (h)) の季節変動の比較 (○内は主に変動の違いを示している)

$$LAI = \sum_{k=1}^{N_c} P_k \frac{1}{S_k} \int_{u_L(r)} dr = \sum_{k=1}^{N_c} P_k \cdot LAI_k \quad (4)$$

ここで、 S_k がグラウンドの上に第K個木または植物ある場所k個植物の樹冠投射； $P_k = S_k / (X_s \times Y_s)$ と LAI_k は個々の植物または木の葉面積指数である (Y. Knyazikhin, J.V. Martonchik, R.B. Myneni, D.J. Diner, and S. W. Running, JANUARY 27, 1998)。

図5で式 (4) によって計算したMODIS葉面積指数の分布を示した。夏 (図5 (a))、釧路湿原草本植生分布域でLAIはより高い値を示している。秋 (図5 (c))、逆に針葉樹林地でより高い値を示している。冬になると (図5 (d)) 湿原と農地は既に雪にカバーされたため、LAI値はほぼ0に近いが、針葉樹林地でまた一定の値を示している。図5のように、葉面積指数空間分布の季節変動から釧路湿原及び周辺域植物の生物物理的アクティビティとバイオマスの違いを区分できる。

3 おわりに

MODISの植生指数はこれまでの植生指数の問題点を克服しながら、NDVI植生指数の精度に影響を及ぼす要因：大気エアロゾル、太陽天頂角度及びBRDF、キャノピバックグラウンド汚染、NDVI飽和及びキャノピー構造効果などの影響を最小化した。MODIS植生指数はNDVIのバイオマス植物パラメーターを評価する能力を改善している。また、MODISのバンド1とバンド2の250m解像度の反射率データから250m解像度のNDVIが生産され、MODISバンド3～7の500m解像度のデータから解像度500mのNDVIとEVIがそれぞれ生産されている。北海道釧路湿原MODIS植生指数の季節変動の比較によって、MODIS植生指数は自然植生の季節変動の差、植生タイプ、地域分布などを明らかに表現し得た。また、MODIS植生指数はAVHRR植生指数より絶対値が高いことが分かった。

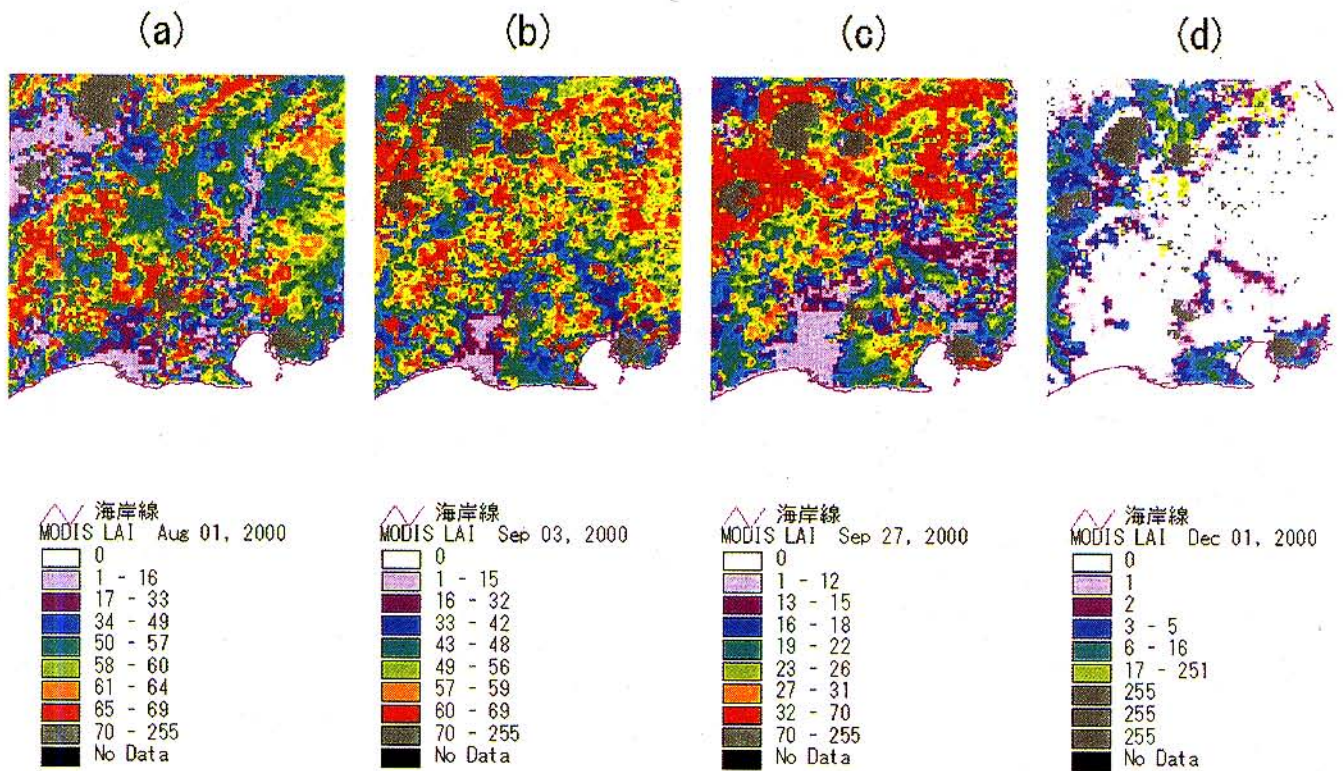


図5 MODIS/LAIの季節変動 ((a) は8月1日で、(b) は9月3日で、(c) は9月27日で、(d) は12月1日である)

参考文献

- 1) Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A. & Deering: Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS, Third ERTS Symposium, NASA SP-351, vol. 1, pp. 309-317 (1973).
- 2) Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W., and J. C. Harlan: Monitoring the Vernal Advancements and Retroradation (Greenwave Effect) of Nature Vegetation. NASA/GSFC Final Report, NASA, Greenbelt, MD, 371 pp. (1974).
- 3) Bannari, A., D. Morin, F. Bonn, and A.R. Huete: A Review of Vegetation Indices. Remote Sensing Reviews, 13, 95-120 (1995).
- 4) 土屋 清: 衛星から観測されるデータから求められる植生指数. 沙漠研究, 10 (2), pp. 137-145 (2000).
- 5) Alfredo Huete, Chris Justice, Wim van Leeuwen: MODIS VEGETATION INDEX (MOD13), ALGORITHM THEORETICAL BASIS DOCUMENT, (April 30, 1999).
- 6) Huete, A. R. and Liu, H. Q.: An error and sensitivity analysis of the atmospheric and soil-correcting variants of the NDVI for the MODIS-EOS, IEEE Tans. Geosci. Remote Sensing, 32 (4) :897-905 (1994).
- 7) Liu, H. Q., and Huete, A. R. : A feedback based modification of the NDVI to minimize canopy background and atmospheric noise, IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing, 33:457-465 (1995).
- 8) Baret, F. and Guyot, G.: Potentials and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment, Remote Sens. Environ., 35:161-173 (1991).
- 9) Huete, A. R.: A soil adjusted vegetation index (SAVI), Remote Sens. Environ., 25:295-309 (1988).
- 10) Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., and Sorooshian, S.: A modified soil adjusted vegetation index, Remote Sens. Environ., 48:119-126 (1994).
- 11) 布和敷スル* 金子正美* ほか: Terra/MODISレベルデータの幾何補正手法および北海道環境評価への応用, RESTECリモートセンシング実利用フォーラム 2001 in北海道, October, 29, 2001, P.65-74.

- 12) Y. Knyazikhin J.V. Martonchik, R.B. Myneni, D.J. Diner, and S. W. Running: Synergistic algorithm for estimating vegetation canopy leaf area index and fraction of absorbed photosynthetically active radiation from MODIS and MISR data. *Journal of Geophysical Research*, 103:32,257–32,276 (1998) .
- 13) R. B. Myneni, Y. Knyazikhin, J. L. Privette, S. W. Running, R. Nemani, Y. Zhang, Y. Tian, Y. Wang, A. Lotsch, J. T. Morisette, J.Glassy, P.Votava: MODIS Leaf Area Index (LAI) And Fraction Of Photosynthetically Active Radiation Absorbed By Vegetation (FPAR) Product (MOD15) Algorithm Theoretical Basis Document (April 30, 1999) .

Comparative of AVHRR and MODIS Vegetation Indices—Case of Extraction of Seasonal Change of Natural Vegetation in Hokkaido

Abstract In this study we compared MODIS/NDVI and AVHRR/NDVI by using different sensor characteristics and algorithm. MODIS 36 spectral bands use 7 bands to compute NDVI comparing to AVHRR sensor which use 2 bands only. The MODIS VI is widely recognized as an improvement over the current NOAA – AVHRR NDVI due to its improved instrument design and specification, and the significant amount of VI research conducted over the last decade. MODIS VI optimized NDVI algorithm by using the atmospheric aerosol resistance correction, BRDF correction and LAI correction. Applying the result of MODIS VI to Kushiro Marshin Hokkaido as a case study, it was found out that EVI is able to express the spatial distribution of the natural vegetation types, and expressed the seasonal change of natural vegetation cover more clearly than MODIS and AVHRR NDVI. Hokkaido EVI and NDVI show a high value in the natural forest area during winter. However the distribution of EVI and NDVI is the opposite in the summer. The natural vegetation and agricultural area show a high EVI value.