

原著論文

# 土壌線と最大植生被覆線を利用した反射率補正法に基づく 植生指数 (raNDVI) の提案

## Proposal of a Vegetation Index (raNDVI) Based on Reflectance Adjustment Method using Soil Line and Full Vegetation Cover Line

内藤裕貴、清水庸、大政謙次\*  
Hiroki Naito, Yo Shimizu and Kenji Omasa\*

東京大学大学院農学生命科学研究科 〒113-8657 東京都文京区弥生1-1-1  
The University of Tokyo, Graduate School of Agricultural and Life Sciences  
1-1-1 Yayoi, Bunkyo, Tokyo 113-8657, Japan

(2011年11月14日受付、2011年12月22日受理)

### ABSTRACT

To reduce irremovable radiometric distortion on images observed with remote sensing sensors, reflectance adjustment approach based on the positional relationship between soil line and full vegetation cover line in red reflectance ( $R$ ) and near infrared reflectance ( $NIR$ ) space and raNDVI (Reflectance-adjusted Normalized Difference Vegetation Index) were proposed. The raNDVI was subsequently compared its reflectance adjustment effect with other conventional vegetation indices, NDVI, SAVI and MSAVI by evaluating errors of each pixel value between two years in three different vegetation type regions. As a result of this experiment, it confirmed that the proposed approach properly corrected the ratio of  $R$  to  $NIR$  for unifying the vegetation index values in the preserved vegetation areas. It is also showed that this method had suitably changed the length and direction of the reflectance correction according to the positional gap between whole scatter plots and origin of  $R$ ,  $NIR$  feature space on each image.

**Key words :** Full vegetation cover line, Reflectance adjustment, Radiometric Correction, Soil Line, Vegetation Index

### 1. 緒 言

植生リモートセンシングの分野では葉面積指数 (LAI, Leaf Area Index) や植生被覆率といった植生の情報を引き出すために数多くの植生指数が提案され、幅広く利用されている (Silleos et al., 2006; Omasa, 2007)。植生指数から対象の性質についての正確な情報を得るためには、対象物からセンサで検知するまでに生じる放射強度の誤差を正しく補正することが必要不可欠である (Japan Association of Remote Sensing, 1992)。放射強度の誤差は、センサ系による誤差、大気の影響による誤差、地

形効果による誤差に大別される (Jensen, 2005)。センサ系による誤差については、センサ同士の較正や画像処理により補正可能である (Teillet, 1986)。大気による減衰については、現地データによる補正や放射伝達モデルによる大気補正などが行われる。地形効果については cosine 法に代表される手法が提案されている (Teillet et al., 1982)。これらの放射強度補正に加えて、植生指数もそれ自体に補正効果を含むものが存在する。植生指数として一般的に普及している NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) では、赤色反射率 ( $R$ ) と近赤外反射率 ( $NIR$ ) の和 ( $NIR + R$ ) で除算することで正規化し、地

\*Corresponding author : Phone: +81-3-5841-5340, Fax: +81-3-5841-8175, E-mail: aomasa@mail.ecc.u-tokyo.ac.jp

形的効果のような不均一な影響を補正している (Rouse et al., 1974)。SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) では土壤調整項 ( $L$ ) を NDVI 式に含み、土壤からの不要な成分の反射を緩和している (Huete, 1988)。SAVI をさらに発展させた指数である MSAVI (Modified Soil Adjusted Vegetation Index) では、異なる植生被覆率の場合でも土壤からの反射の影響を最小化するよう、 $L$  項を再帰的に計算することで修正している (Qi et al., 1994)。

このように、放射強度補正や植生指数の改良により、正確に植生の状況を反映することができる。しかしながら、一般には様々な要因による誤差を全て補正することは困難であり、補正しきれない誤差が残っている場合が多い。このような場合、放射強度や反射率に含まれる誤差によって、植生指数の値に大きな差が生じてしまう。特に異なる時期で植生指数を直接比較する場合には植生指数同士の較正が必要である。そこで本研究では、異なる時期の間での反射率を補正するために、赤-近赤外反射率空間での土壤線 (Soil line) と最大植生被覆線 (Full vegetation cover line) を利用した補正方式を考案し、その反射率補正を取り入れた植生指数 raNDVI (Reflectance-adjusted Normalized Difference Vegetation Index) を提案した。なお、今回は反射率を補正しているが、反射率は放射強度をもとに計算されるため反射率補正はそのまま放射強度補正と置き換えることができる。

## 2. 理論的背景と比較に使用する植生指数

### 2.1 理論的背景

一般に土壤と植生を含んだ画像では、赤色反射率 ( $R$ ) と近赤外反射率 ( $NIR$ ) の反射率空間で各ピクセルのほとんどが Fig. 1 の灰色部のような形状の領域の中に含まれることが知られている (Jones and Vaughan, 2010)。土壤の  $R$  と  $NIR$  はほぼ線形関係であるため、各ピクセルの中で裸地土壤は土壤線とよばれる回帰直線上にそって分布する。一方、植生は  $R$  が低く  $NIR$  が高いため、土壤線に対し左上方向に分布し、高密度植生であるほど左上に分布する。

$R$ 、 $NIR$  空間で反射率を補正する方法として、SAVI が知られている。SAVI の式では土壤線の傾きは 1 と仮定され、 $R$ 、 $NIR$  の補正すべき量はともに  $L/2$  ( $L$  は SAVI 式中の補正項) であると近似している。また、実際の  $L$  の値は経験則的な値が用いられている。本来ならば  $R$ 、 $NIR$  空間での植生密度の等値線を正確に求め、 $R$ 、 $NIR$  の補正量をそれぞれ適切に決定するべきであるが、SAVI では植生密度の等値線を考慮しないために、それぞれの

補正量が適切ではない。そして、実際のリモートセンシングの応用では  $R$ 、 $NIR$  空間で植生密度の等値線を正確に定めることは困難であることが多い。そこで本研究では、導出するのが困難である植生密度の等値線ではなく、代わりに植生密度が最大となる最大植生被覆線を用いることにした。まず、土壤線は土壤種や含水量などの土壤の性質に由来する直線であり、時期が異なっても変化しないと考えられる。次に、観測領域の植生状態に大きな変化がないと仮定できる場合は、植生の分光反射率には大きな違いは生じないため、 $NIR$  が高く  $R$  が低い領域を引く最大植生被覆線も同様に大きく変化せず、土壤線に対する相対的な傾きは一定であると考えられる。そこで、各画像に対し土壤線と最大植生被覆線との交点を原点へと平行移動することで、原点に対する  $R$  と  $NIR$  の分布の位置の違いを揃え、 $R$  と  $NIR$  を調整する方法を考えた。Fig. 1 のように土壤線と最大植生被覆線を引き、これらの交点の座標を  $(l_1, l_2)$  とし、原点から交点へのベクトルを  $\vec{p}$  とする。 $\vec{p}$  は、それぞれの画像での  $R$  と  $NIR$  の分布の相対的な原点からのずれを表している。このずれを揃えるために、画像ごとに  $R$ 、 $NIR$  空間の各点を  $-\vec{p}$  だけ平行移動させ、両反射率を  $(R-l_1, NIR-l_2)$  と補正する。その後 NDVI と同様に反射率の差  $(NIR-l_2) - (R-l_1)$  を反射率の和  $(NIR-l_2) + (R-l_1)$  で除算することで正規化し、得られた新たな植生指数を raNDVI とした。

実際に raNDVI を求めるにあたり、土壤線の導出の方法を示す。

- (1)  $R$ 、 $NIR$  空間で基準線 ( $NIR = aR + b$ ;  $a$  は基準線の傾き、 $b$  は基準線の切片) の初期条件 ( $a = 0.001$ 、 $b = 0$ ) を設定する。
- (2) 設定された基準線に対して垂直に、 $R$  と  $NIR$  の分布を 5 つのデータ区画に分割し、各データ区画で基準線からの符号付き距離 (基準線に対し右下方向の領域を正とする) の分布で  $\mu + 3\sigma$  の点 ( $\mu$  はデータ区画内での符号付き距離の平均値、 $\sigma$  はデータ区画内での符号付き距離の標準偏差) をそれぞれ得る。
- (3) 5 つのデータ区画における  $\mu + 3\sigma$  点を使って線形回帰を行う。
- (4) 得られた線形回帰直線 ( $NIR = a'R + b'$ ;  $a'$  は回帰直線の傾き、 $b'$  は回帰直線の切片) と (2) で使用した基準線とを比較し、①  $a - a' < 1 \times 10^{-2}$  かつ  $b - b' < 1 \times 10^{-8}$  のとき、基準線は収束したものとみなし、線形回帰直線を最終的な土壤線とする。

また、②  $a-a' \geq 1 \times 10^{-2}$  または  $b-b' \geq 1 \times 10^{-8}$  のとき、線形回帰直線を基準線に設定し、(2) から繰り返す。

最大植生被覆線も同様に、上記アルゴリズムで、(1) の初期条件を「 $a=100, b=0$ 」、(2) の「 $\mu+3\sigma$  の点」を「 $\mu-3\sigma$  の点」と変更することで算出した。

ここで得られた最大植生被覆線上の全ての点が、正確な最大植生被覆率ではない。しかしながら、分布上で実際に植生被覆率が最大である直線を引くことは困難であるため、上記のアルゴリズムにより分布の中で  $R$  に対する  $NIR$  の比が最大になるような直線を近似的に最大植生被覆線として代用した。植生状態が変わらなければ、この近似直線上の植生状態も変わらないため、反射率補正に用いることができると考えられる。

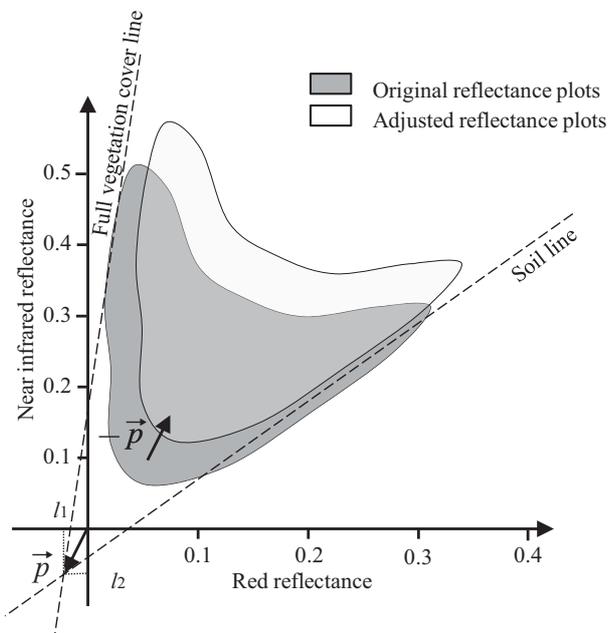


Fig. 1 Typical scatter diagram showing relationship between near infrared and red reflectance for a vegetated area. Gray area indicates original reflectance plots area and white area indicates adjusted reflectance plots transformed by  $-\vec{p}$ .

## 2.2 比較する植生指数

提案した raNDVI と一般的な植生指数との補正効果の比較を行った。比較に使用する植生指数の特徴とその定義を Table 1 にまとめた。Huete (1988) によれば、SAVI に含まれる  $L$  項の最適値については対象とする領域の植生密度によって異なり、低植生密度では  $L=1$  程度、中植生密度では  $L=0.5$  程度、高植生密度では  $L=0.25$  程度、が最適であるという実験結果を得ている。今回解析した領域は、いずれも高植生密度地域であるために  $L=0.25$  を採用した。これらの植生指数の特徴として、NDVI は正規化することで地形効果のような不均一反射率の大きさの影響に対する補正を行っている。SAVI、MSAVI、raNDVI は正規化に加えて指数の中で  $R, NIR$  に対する補正も行っている。したがって、これらの植生指数を比較することで、それぞれの反射率に対する補正効果を検証することができる。

## 2.3 解析対象地域

解析対象地域は北海道川上郡弟子屈町にある阿寒国立公園内摩周湖を含む北緯 43 度 26 分 49.11 秒から北緯 43 度 39 分 9.78 秒、東経 144 度 25 分 11.77 秒から東経 144 度 45 分 54.51 秒、605.6 km<sup>2</sup> (27.3 km × 22.1 km、910 pixel × 737 pixel) のエリアを選択した。Fig. 2 中の実線で囲まれた Region 1, Region 2, Region 3 は植生指数の比較に用いた植物群落の領域を示しており、それぞれ Region 1: ダケカンバーエゾマツ群落 (*Picea jezoensis* - *Betula ermanii*)、Region 2: ササ群落 (*Sasa spp.*)、Region 3: トドマツ - ミズナラ群落 (*Quercus crispula* - *Abies sachalinensis*) である。植物群落を選ぶ際には、環境省自然保護局生物多様性センターが実施した自然環境保全基礎調査の植生調査の結果を利用した (Biodiversity Center of Japan, 2011)。植物群落の規模はそれぞれ、Region 1 (1.20 km<sup>2</sup>、1333 pixel)、Region 2 (1.16 km<sup>2</sup>、1285 pixel)、Region 3 (1.04 km<sup>2</sup>、1151 pixel) であった。

Table 1 Vegetation indices and their properties compared in this research

ACRONYM	Name	Formula	References
NDVI	Normalized difference vegetation index	$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R}$	Rouse et al., 1974
SAVI	soil-adjusted vegetation index	$SAVI = \frac{NIR - R}{NIR + R + L} (1 + L)$	Huete, 1988
MSAVI	Modified soil-adjusted vegetation index	$MSAVI = \frac{2NIR + 1 - \sqrt{(2NIR + 1)^2 - 8(NIR - R)}}{2}$	Qi et al., 1994
raNDVI	Reflectance adjusted normalized difference vegetation index	$raNDVI = \frac{NIR - R + (l_1 - l_2)}{NIR + R - (l_1 + l_2)}$	this article

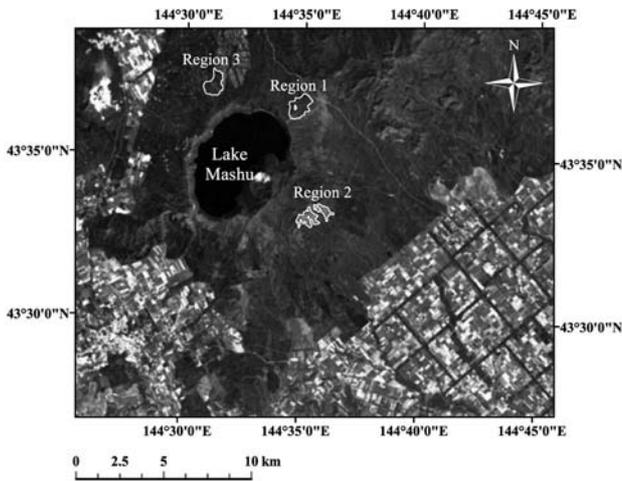


Fig. 2 Location of the study area. The white line indicates three different vegetation type regions.

## 2.4 使用したデータ

解析には Landsat-5 に搭載されたセンサ TM (Thematic Mapper) から取得された4時期(1990年8月3日、1991年8月29日、2006年8月6日、2007年8月2日)のデータを使用した。Landsatは太陽準回帰軌道をとっているため、撮影時刻は各時期とも現地時刻午前10時付近とほぼ同じ時間帯である。Landsat TMは、可視光から熱赤外までに計7バンドの観測波長帯を有している。今回はTMから取得された画像のうち、赤色光(Band 3: 0.63–0.69  $\mu\text{m}$ )および近赤外光(Band 4: 0.76–0.90  $\mu\text{m}$ )のデータから各植生指数を算出した。これらのバンドの空間分解能は30 mである。

## 2.5 前処理

取得した各時期のLandsat画像のDN値は、観測時期でのセンサ感受特性を補正するための変換式により大気上端での放射輝度に変換した後(National Aeronautics and Space Administration, 2011)、MODTRAN4放射伝達コードを用いて大気補正を行い地表面反射率を求めた。その後、解析対象地域とその周囲において選定した16の地上基準点を用いてアフィン変換による幾何補正を行った。補間方法はNearest neighbor法によって内挿した。

補正後、*R*、*NIR*空間で土壤線と最大植生被覆線を求める際に不要な情報を除去するために、マスク画像を作成した。初めに画像ごとに最尤分類法により6クラス(水、雲、日陰、植生、土壤、市街地)に分類した。分類後にはMajority filterにより平滑化し分類のノイズ成分を除去している。そして、水、雲、日陰を除去するマスクを

作成した。

4時期の*R*と*NIR*の画像をもとに、比較する各植生指数(NDVI、SAVI、MSAVI、raNDVI)の画像を作成し、最終的に計16の画像を得た。

## 2.6 評価方法

各植生指数の反射率の補正効果を検証する方法として、異なる時期で植生状態が維持されている植物群落での各植生指数の差を調べた。1990年と1991年の画像の比較、および2006年と2007年の画像の比較を考えた場合、これらのデータはほぼ同時期の8月に観測されたものであり、また選択した3カ所の植物群落は国立公園特別地域内にあり、人為的改変は少なく、時期をまたいで植生状態に大きな違いはないと仮定している。このような仮定の下では、比較する画像で各ピクセルの植生指数の差が小さいほど、植生状態が変化していないことを表しており、画像間の反射率補正が達成できていると考えられる。上記の方法で、3つの植物群落について各植生指数の傾向を比較した。

## 3. 結果

2006年と2007年のNDVI、raNDVI画像と、それらのピクセル値のヒストグラムをFig. 3に示した。図中では

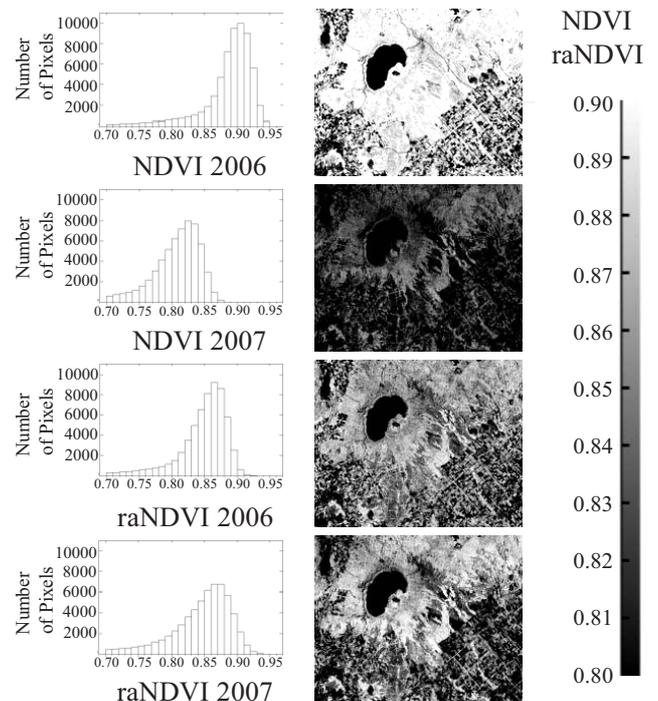


Fig. 3 Gray level differences in NDVI and raNDVI between 2006 and 2007 and their histogram.

NDVI と raNDVI それぞれについて 2006 年と 2007 年の間の植生指数の違いを示している。なおグレースケールは 0.8 から 0.9 までの範囲を強調して示している。Fig. 3 より、2006 年と 2007 年の NDVI 画像は明度の差が大きい、2006 年と 2007 年の raNDVI 画像では明度がほぼ同程度に補正されている。各画像のヒストグラムの分布のピークは、NDVI の 2006 年、2007 年でそれぞれ 0.90、0.82 程度と 0.1 近い値の差が見られた。一方の raNDVI の 2006 年、2007 年ではどちらも 0.85 程度でありヒストグラムは類似していた。このことから、NDVI と比較して raNDVI での反射率の補正は植生指数の値を揃え、差を小さくする効果があることが窺える。

raNDVI の補正項に注目すると、それぞれの時期の補正項 ( $l_1, l_2$ ) の値は、1990 年 ( $-3.9 \times 10^{-3}, -1.27 \times 10^{-2}$ )、1991 年 ( $-1.06 \times 10^{-2}, -7.3 \times 10^{-3}$ )、2006 年 ( $-7.1 \times 10^{-3}, 2.05 \times 10^{-2}$ )、2007 年 ( $1.66 \times 10^{-2}, 9.33 \times 10^{-2}$ ) であった。補正量の大きさはそれぞれ、 $|\vec{p}_{1990}| = 1.33 \times 10^{-2}$ 、 $|\vec{p}_{1991}| = 1.29 \times 10^{-2}$ 、 $|\vec{p}_{2006}| = 2.17 \times 10^{-2}$ 、 $|\vec{p}_{2007}| = 9.48 \times 10^{-2}$  であった。傾向として、2006 年と 2007 年の補正量の大きさは 1990 年と 1991 年の補正量と比較して大きく、とくに 2007 年の補正量が最も大きかった。また、補正項の符号より 1990 年と 1991 年ではどちらも第 3 象限に交点が位置しているが、2006 年では第 2 象限、2007 年では第 1 象限に交点は位置していた。

Table 2 では 1990 年と 1991 年の画像および 2006 年と 2007 年の画像の間で、それぞれの植物群落での  $R$  と  $NIR$  の比と 2 時期の間の差を表している。 $\gamma$  は補正前の平均反射率の比であり  $\gamma = \overline{NIR}/\overline{R}$  である。 $\gamma'$  は補正後の平均反射率の比であり、 $\gamma' = \overline{(NIR - l_2)}/\overline{(R - l_1)}$  である。また、 $|\Delta\gamma|$  と  $|\Delta\gamma'|$  はそれぞれ、1990 年と 1991 年、2006 年と 2007 年の間の  $\gamma$ 、 $\gamma'$  の差の絶対値を表している。表より、 $|\Delta\gamma|$  に対して  $|\Delta\gamma'|$  は大幅に小さくなっていることがわかる。

Fig. 4 ではそれぞれの植物群落の各ピクセルでの時期の間の植生指数の差を、二乗平均平方根誤差 (Root mean square error, RMSE) で示している。RMSE が小さいほど時期の間に植生指数の差が小さく、反射率が補正されていることとなる。Fig. 4 より、全体を通して raNDVI の RMSE が最も低い (0.02 から 0.04 程度) ことが分かる。

まず年次別にみると 1990 年と 1991 年の間に比べて 2006 年と 2007 年の間の方が NDVI の RMSE 値が高く、他の指数は同程度もしくは低いという結果が得られた。

具体的には 1990 年と 1991 年の間に比べて 2006 年と 2007 年の間では NDVI は約 0.03 程度高く、SAVI は同程度、MSAVI、raNDVI は総じて 0.02 程度低くなっている。ただし、1990 年と 1991 年の間では、MSAVI が SAVI と比べて RMSE 値が大きいという結果が得られた。

次に植物群落別にみると、Region 1 と Region 3 では両者ともに全ての植生指数で RMSE が似たような値の傾向を示した。また、Region 2 では他の植物群落に比べ、SAVI と MSAVI の RMSE が高い結果が得られた。具体的には、Region 2 では Region 1, Region 3 と比較して RMSE が SAVI では 0.02 程度、MSAVI では 0.03 程度高いという結果が得られた。raNDVI については全ての植物群落を通してほぼ同程度であり、NDVI については逆に Region 2 で RMSE が低かった。

Table 2 Each simple ratio of average infrared reflectance to average red reflectance on three different vegetation type regions

		$\gamma$	$ \Delta\gamma $	$\gamma'$	$ \Delta\gamma' $
Region 1	1990	9.73	2.35	9.06	0.39
	1991	12.08		8.67	
	2006	18.91	9.34	12.66	
	2007	9.57		12.79	
Region 2	1990	10.25	1.92	9.78	0.30
	1991	12.18		10.08	
	2006	15.99	6.28	12.92	
	2007	9.70		11.44	
Region 3	1990	9.40	3.97	8.75	0.24
	1991	13.36		8.99	
	2006	20.53	10.66	13.28	
	2007	9.87		13.71	

$\gamma$  means the ratio of original reflectance and  $|\Delta\gamma|$  is its absolute difference, while  $\gamma'$  means the ratio of adjusted reflectance.  $|\Delta\gamma'|$  is its absolute difference between years.

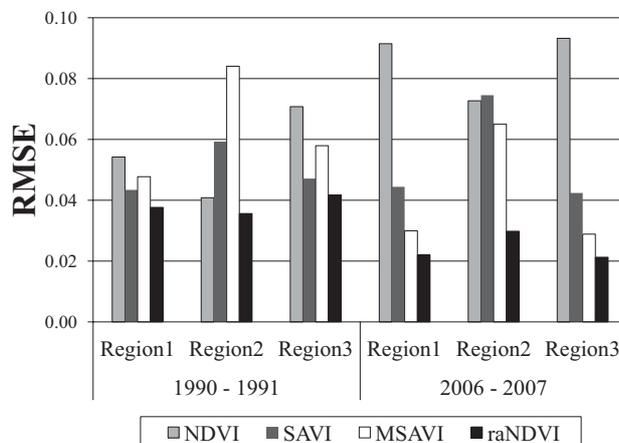


Fig. 4 RMSE values of each vegetation index between years in areas classified as vegetation type.

## 4. 考 察

最初に簡単に誤差の原因を考察する。Fig. 3の結果については、NDVIとraNDVIは、計算式は正規化した差を求めている点で同様ではある。しかしながら、NDVIは補正前の反射率を使用して植生指数を計算している。raNDVIでは、各画像においてRとNIRの分布の位置と形状を元にして、土壤線と最大植生被覆線との交点を求め、これを原点移動することでRとNIRを補正し、植生指数の計算に用いている、という点で異なっている。結果に示すとおり、補正量は特に2007年の時に大きかった( $|\vec{p}_{2007}| = 9.48 \times 10^{-2}$ )。補正量の大きさは、補正前の反射率分布の原点からの相対的なずれの大きさを示している。さらに2006年と2007年では交点の象限も異なっている。したがって、2006年と2007年の間ではもとのRとNIRの分布の位置の相対的なずれが大きき、RとNIRを補正しないNDVIでは最終的に得られる植生指数にRMSEが0.1に近い差が残り、一方raNDVIの場合は補正の結果、RMSEが0.02程度の差に収まったと考えられる。

NDVIとraNDVIの式は共に正規化指数であるため、NIR/Rの比と機能的に等しい。そのため反射率空間でピクセルの比NIR/Rが等しい場合は、植生指数の値は等しい。Table 2の結果より、2時期の間での植物群落ごとの平均反射率の比の差 $|\Delta \gamma|$ が $\vec{p}$ によるRとNIRの補正により $|\Delta \gamma'|$ と小さくなった。このことは、補正しないNDVIでは比の差 $|\Delta \gamma|$ が大きいため指数の差も大きかったが、補正したraNDVIでは比の差 $|\Delta \gamma'|$ が小さくなり指数の差も小さくなったことを意味している。この結果よりraNDVIによる補正方式は、それぞれの画像ごとにRとNIRの分布の位置と形状を元にして補正ベクトルを決定しており、その補正する量と方向は画像間でのRとNIRの比を揃えるよう調節されていることが分かる。

なお、今回はR、NIR空間での平行移動による補正のみで、時期の間の土壤線と最大植生被覆線をほぼ一致させることが出来た。しかしながら、RとNIRの比が極度に異なるような画像を補正する場合には、平行移動のみでは土壤線と最大植生被覆線が一致できないことも考えられる。そのような場合には、土壤線と最大植生被覆線をそれぞれ一致させるよう回転移動による補正を加えることも検討する必要があるだろう。

Fig. 4ではNDVI、raNDVIに加えてSAVI、MSAVIとの比較を示している。NDVI、SAVI、MSAVIでは画像

のRとNIRの分布の位置が変化しても指数の算出アルゴリズムは変わらないため、R、NIRの違いがそのまま各指数のRMSEの差として現れる結果となっている。一方、raNDVIでは画像ごとに値の異なる補正項 $l_1, l_2$ を求めることが可能であるため、RとNIRの分布の位置の違いの大きさに応じて補正量を適切に調整している。RとNIRの比が揃うように補正されることにより植生指数raNDVIの値が揃い、raNDVIが全体として最もRMSEが低かったと考えられる。

年次別では、2006年と2007年の間でNDVIのRMSE値が高かった。これは、前述の通り2006年と2007年の間でRとNIRの分布のずれが大きかったためであると考えられる。また、1990年と1991年の間で、MSAVIがSAVIと比べてRMSE値が大ききという結果が得られた。解析した植物群落全体で、各植生指数の1990年と1991年の間の関係を調べると、SAVIの回帰式は( $SAVI_{1991} = 1.04 SAVI_{1990} - 0.022$ )、決定係数は0.72、MSAVIの回帰式は( $MSAVI_{1991} = 1.21 MSAVI_{1990} - 0.099$ )、決定係数は0.88であった。SAVIの回帰式の傾きはほぼ1.0であり、時期のSAVIの値は同様の値をとっている。一方のMSAVIの回帰式の傾きが約1.2であり、1991年のMSAVIは1990年のMSAVIに比べて大きな傾向を示している。この傾向が、1990年と1991年の間で、MSAVIのRMSEが増加した原因と考えられる。植生別では、全ての植生指数がRegion 1とRegion 3で似たようなRMSEの傾向を示した。また、SAVIとMSAVIはRegion 2で他の植物群落に比べてのRMSE値が高い傾向が見られ、raNDVIについては植物群落による大きな違いは見られず、逆に、raNDVIはRegion 2でRMSEが低かった。Region 1とRegion 3で同様の傾向を示したのは、それぞれの植物群落領域でのRとNIRの分布がもともと似通っていたために、補正が同様に扱われ、結果として植生指数として同じような値をとったと考えられる。実際、Region 1:ダケカンバ-エゾマツ群落とRegion 3:トドマツ-ミズナラ群落はともに落葉広葉樹・常緑針葉樹の混交林であり、Region 2のようなササ群落とは異なる光学特性を有していたといえる。Region 2でSAVIとMSAVIのRMSE値が高い傾向が見られたのは、Region 2では他の植物群落と比較してもとの反射率の分布のばらつきが大きいため、結果としてSAVIとMSAVIの値もばらつき、それぞれの誤差が大きくなったためにRMSE値が高くなったと考えられる。SAVIとMSAVIとは対照的にraNDVIは植物群落の違いによる影響を受けず、NDVIは逆に低かったことから、これら

2つの指数は Region 2 の反射率のばらつきに対する影響が少なかったと言える。

## 5. まとめ

本研究では、異なる時期の間で植生指数を比較する際に問題となる反射率の違いを補正するために、*R*、*NIR* 空間で土壤線と最大植生被覆線を利用した補正方式を検討し、その反射率補正を取り入れた植生指数 raNDVI を提案した。raNDVI の補正効果を検証するために、1990 年と 1991 年、2006 年と 2007 年の時期の間で、3つの植物群落の各ピクセルでの植生指数の差を他の植生指数 NDVI、SAVI、MSAVI と比較した。その結果、raNDVI は画像ごとに *R* と *NIR* の分布の相対的な原点からのずれに応じて補正ベクトルを調整することで、異なる時期の間の *R* と *NIR* の比の違いを揃え、結果として植生指数自体も揃える効果があることがわかった。

今後は LAI や植生被覆率といった植生に関する生物物理学的な特性と raNDVI との関係について検証する必要があると考えられる。

## 6. 引用文献

- Biodiversity Center of Japan, 2011: Vegetation naturalness survey / Vegetation survey. At [http://www.biodic.go.jp/kiso/vg/vg\\_kiso.html](http://www.biodic.go.jp/kiso/vg/vg_kiso.html) Ministry of Environment Government of Japan, Accessed 20 July 2011. (生物多様性センター, 2011: 自然環境保全基礎調査 / 植生調査. 環境省, Accessed 20 July 2011.)
- Huete, A. R., 1988: A soil-adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, **25**, 295-309.
- Japan Association of Remote Sensing, (ed.), 1992: *Remote sensing note*. Japan Association of Surveyors, Tokyo, pp.172-175. (日本リモートセンシング研究会 編, 1992: 図解リモートセンシング. 社団法人日本測量学会, 東京, pp.172-175.)
- Jensen, J. R., 2005: *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. (3rd ed.). Pearson Education Inc., Upper Saddle River, pp.194-222.
- Jones, H. G. and Vaughan, R. A., 2010: *Remote sensing of vegetation: Principles, techniques, and applications*. Oxford University Press., New York, pp.165.
- National Aeronautics and Space Administration, 2011: Landsat 7 science data users handbook. At [http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7\\_Handbook.pdf](http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/pdfs/Landsat7_Handbook.pdf), Accessed 20 July 2011.
- Omasa, K. (ed.), 2007: *Advanced image informatics in agricultural and environmental applications: Phyto-imaging to remote sensing*. Nougyou Denka Kyokai, Tokyo, 168 pp. (大政謙次編, 1992: 植物機能のリモートセンシング 農業・環境分野における先端的画像情報利用. 農業電化協会, 東京, 168 pp.)
- Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H. and Sorooshian, A., 1994: A modified soil adjusted vegetation index. *Remote Sensing of Environment*, **48**, 119-126.
- Rouse, J. W., Haas, R. H., Schell, J. A., Deering, D. W. and Harlan, J. C., 1974: Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation. NASA/GSFC Final report, Greenbelt, MD, USA.
- Silleos, N. G., Alexandridis, T. K., Gitas, I. Z. and Perakis, K., 2006: Vegetation Indices: Advances made in biomass estimation and vegetation monitoring in the last 30 years. *Geocarto International*, **21**, 21-28.
- Teillet, P. M., 1986: Image correction for radiometric effects in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, **7**, 1637-1651.
- Teillet, P. M., Guindon, B. and Goodenough, D.G., 1982: On the slope-aspect correction of multispectral scanner data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, **8**, 84-106.