

植生ライダーのためのレーザ正規化植生指数(NDVI)の測定  
Sensing of laser Normalized Difference Vegetation Index(NDVI) for vegetation lidar

三浦康寛、渡部修也、浅井和弘  
東北工業大学

Yasuhiro Miura, Shuya Watanabe, Kazuhiro Asai  
Tohoku Institute of Technology

Abstract

It is very important to watch the spatial distribution of vegetation biomass and changes in biomass over time, representing invaluable information to improve present assessments and future projections of the terrestrial carbon cycle. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) is used to present quantitatively the density of green on vegetation, to monitor changes in vegetation and to understand how they affect the environment using mostly satellite's data taken by imaging spectro-radiometer, e.g. AVHRR/NOAA, MODIS/Terra, Aqua, AVNIR/ALOS. This paper reports preliminary results of NDVI experiments obtained by using a red laser lasing at 660nm and a near IR laser lasing at 1064nm.

1. はじめに

地球を覆う植生は、光合成を通して大気中の二酸化炭素を固定する重要な役割を持っている。それゆえ、炭素固定量を把握するために、正確な植生情報が必要である。

現在まで衛星による植物活性度の測定は、パッシブリモートセンシングで行われている。しかし、この方法では光源である太陽が必要不可欠であり、太陽が出ている昼間しか観測ができない。

本研究では、従来のパッシブセンシングによる植物活性度の測定に代わる、ライダー技術を用いたアクティブセンシングについての基礎的な検討を行った<sup>1,2)</sup>。

本研究は、クロロフィルの吸収バンドの中で、最も反射率が低い 660nm と、近赤外域の中で高い反射率である 1064nm の二波長のレーザを同時に測定対象物に照射し、反射特性の違いから正規化植生指数(NDVI: Normalized Difference Vegetation Index、以下 NDVI と呼ぶ)を取得することを目的としている。そして、パッシブセンシングで取得した NDVI と、二波長レーザを用いて取得した NDVI の比較結果を報告する。

2. ライダーによる NDVI 測定の原理

(1) NDVI とは

Fig.1 は、各種植物の葉に対する典型的な分光反射スペクトルである。この図が示すように、全ての葉は 660nm 付近でクロロフィルの吸収により反射率が低く、一方、近赤外域 700nm~1100nm では反射率が高い。宇宙から植物活性度を観測する方法として、次式を使って NDVI を算出している。

$$NDVI = \frac{\text{Near IR Band} - \text{Red Band}}{\text{Near IR Band} + \text{Red Band}} \quad (1)$$

なお、図中、①はクロロフィルの吸収バンドの可視

赤域(Red Band)であり、②は近赤外域(Near IR

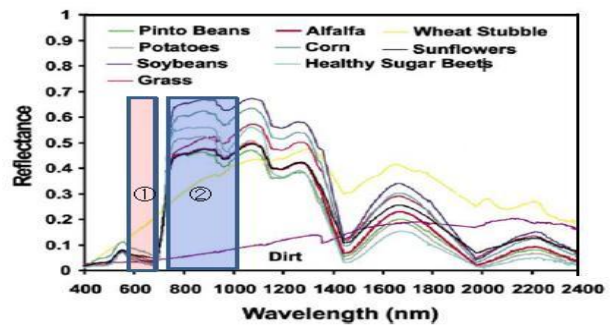


Fig.1 Reflection spectrum of each leaf<sup>3)</sup>.

Band)である。通常、NDVI は-1~+1 までの値であり、値が大きいほど植物の活性度が高いことを表わしている。

Table.1 は、JAXA や NASA の地球観測衛星に搭載されている分光放射計による観測データから、NDVI を算出するために使用する可視赤域と近赤外域の波長の組み合わせである。

Spectro-radiometer / Satellite	Red Band (nm)	Near IR Band (nm)
AVHRR/NOAA	580~680	725~1000
MODIS/Aqua,Terra	620~670	841~876
AVNIR/ALOS	610~690	760~890

Table.1 A band pair for spectro-radiometer on each satellite.

(2) 植生ライダー方程式とライダーNDVI

植生情報を含んだ波長λ、衛星からの距離 H に対する受信信号 P<sub>rλ</sub>(H)のライダー方程式は(2)式で書き表される<sup>4)</sup>。植生ライダーの場合、Red Band 波長としてλ=660nm、Near IR 波長としてλ=1064nm の二波長の組み合わせを仮定している。

$$P_{r\lambda}(H) = \frac{P_{t\lambda} \cdot K_{t\lambda} \cdot K_{r\lambda} \cdot A_r \cdot T_{atm\lambda}^2(H) \left[ \frac{c \cdot \tau}{2} \beta_{atm\lambda}(H) \cdot \{1 - C_{vc}(H)\} + T_{vc\lambda}^2 \frac{\rho_{vc\lambda}(H)}{\pi} \Delta C_{vc}(H) \right]}{H^2} \quad (2)$$

$P_{t\lambda}$ : 送信レーザーエネルギー、 $K$ : 総合的な光学効率、 $A_r$ : 受信望遠鏡の有効面積、 $T_{atm\lambda}$ : 衛星から距離  $H$  までの大気透過率、 $c \cdot \tau / 2 = \Delta H$ : 高さ分解能、 $c$ : 光速、 $\tau$ : レーザパルス幅、 $\beta_{atm\lambda}(H)$ : 大気後方散乱係数、 $C_{vc}(H)$ : フットプリント面積に対する樹冠被覆率、 $T_{vc\lambda}$ : 樹冠の透過率、 $\rho_{vc\lambda}$ : 樹冠の反射率、 $\Delta C_{vc}(H) = C_{vc}(H + c \cdot \tau / 2) - C_{vc}(H)$

一方、得られた各受信信号エネルギーを用いて NDVI は(3)式より算出する。

$$\text{ライダーNDVI} = \frac{\left( \frac{P_{r1064}(H)}{P_{t1064}} \right) - \left( \frac{P_{r660}(H)}{P_{t660}} \right)}{\left( \frac{P_{r1064}(H)}{P_{t1064}} \right) + \left( \frac{P_{r660}(H)}{P_{t660}} \right)} \quad (3)$$

### 3. 植物の葉を用いた基礎的分光反射実験

#### (1) 実験方法

Fig.2 に実験ブロック図を示す。用いたレーザーは、LD 励起 Nd:YAG レーザ@1064/532nm、LD@660nm、LD@850nm であり、比較の為にハロゲンランプも使用した。

それぞれの光源からの光は測定対象物に照射される。その反射光は光ファイバーを通り、分光器 (TRISTAN) によって分光された後に検出される。

測定対象物は、採取直後のニシキギ、オオイトドリ、トチノキの三種類の葉、及び黒土、砂である。黒土と砂は、乾燥状態と湿潤状態で測定を行った。

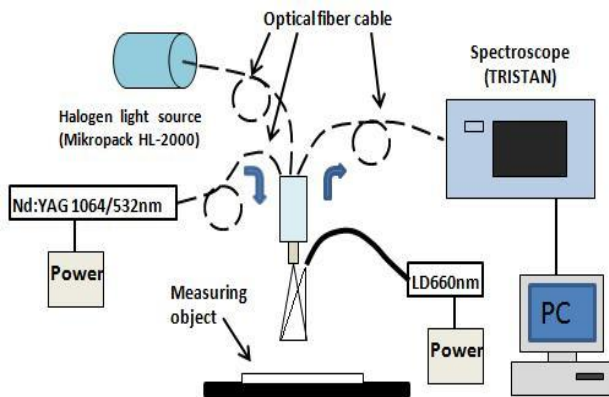


Fig.2 Block diagram of reflectance measurement.

#### (2) 実験結果と考察

原理的な実験結果を Table.2 に示す。AVHRR/NOAA、MODIS/Aqua,Terra、AVNIR/ALOS および Halogen NDVI は、それぞれのセンサー観測波長での反射率を求め、(1)式に代入して算出した。実験の結果、レーザー NDVI 値は衛星センサー波長での NDVI 値に比べ相対的に低めの値

を示した。その理由として、①レーザー発振幅は概ね  $\Delta \lambda / \lambda = 10^{-6}$  に対し、衛星センサー観測波長である Red Band、Near IR Band は  $\Delta \lambda / \lambda = 10$  であるため、葉の微細スペクトルが影響したのではないかと

②反射率の偏光依存性による影響、③その他、二波長間でのビーム重なり、ビームパターンの違い、シリニヤ検出器の長波長での感度劣化などが挙げられる。

Measuring object	Laser NDVI	Halogen NDVI	AVHRR/NOAA	MODIS/Aqua,Terra	AVNIR/ALOS
Nishikigi	0.50	0.56	0.56	0.62	0.60
Oitadori	0.54	0.61	0.54	0.61	0.60
Tochinoki	0.49	0.63	0.63	0.69	0.67
Dry black soil	-0.03	0.08	-0.09	-0.15	-0.19
Wet black soil	-0.10	0.15	-0.07	-0.10	-0.15
Dry sand	-0.03	0.12	-0.11	-0.18	-0.22
Wet sand	-0.06	0.09	-0.10	-0.15	-0.20

Table.2 Comparison between NDVI by active sensing and NDVI by passive sensing.

#### 4. おわりに

室内での実験結果が示した様に、レーザー NDVI 値と連続光源による NDVI 値は完全な一致を見られなかったが、今後、葉の微細分光スペクトルの研究や、偏光面を揃えたり、各の波長でのビーム重なりなどに注意をしながら様々な条件下で実験に取り組んでいきたい。

#### 5. 参考文献

- 1) Kazu Asai, Nobuo Sugimoto "Lidar for Observation of Vegetation Environment from Space(LOVES)", Recommended Mission to JAXA from the Committee of Future Sensor Study for understanding Earth Environment, April 15th, 2009
- 2) 浅井和弘、杉本伸夫、沢田治雄、三枝信子、小熊宏之、鷹尾 元、平田泰雅、水谷耕平、石井昌憲、西澤智明、"宇宙ステーション-日本実験モジュール暴露部搭載・植生ライダー (i-LOVE)", JAXA 主催「新たな宇宙からの地球観測を考えるワークショップ」、2011年5月24日、東大弥生講堂
- 3) <http://www.nasa.gov/centers/goddard/home/>
- 4) 佐藤龍太郎、浅井和弘 「レーザー樹高計測に対する森林被覆率の影響」第 28 回レーザーシンポジウム予稿集,p6-7,2010年9月,滋賀県大津市