

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)
バイオマス推定のための三次元植生情報 (NDVI、樹冠高) と雲・エアロゾル情報の同時観測

i-LOVE : iss-jem Lidar for Observation of Vegetation Environment

浅井和弘¹、杉本伸夫²、沢田治雄³、

三枝信子²、小熊宏之²、鷹尾 元⁴、平田泰雅⁴、水谷耕平⁵、石井昌憲⁵、西澤智明²
東北工業大学¹、国立環境研究所²、東京大学生産研³、森林総合研究所⁴、情報通信研究機構⁵

*Kazuhiro Asai¹, Nobuo Sugimoto², Haruo Sawada³, Nobuko Saigusa², Hiroyuki Oguma²,
Gen Takao⁴, Yasumasa Hirata⁴, Kohei Mizutani⁵, Shoken Ishii⁵, Tomoaki Nishizawa²
Tohoku Institute of Technology¹, National Institute for Environmental Research²
, Institute of Industrial Sciences, the University of Tokyo³
, Forestry and Forest Products Research Institute, National Institute of Information and
Communications Technology*

Abstract

In this paper, we propose a newly advanced vegetation lidar on ISS-JEM-EF (International Space Station-Japanese Experiment Module-Exposed Facility) named iss-jem Lidar for Observation of Vegetation Environment (i-LOVE) for observing not only cloud/aerosols but also actively NDVI (Normalized Differential Vegetation Index) and canopy height relating to the atmospheric CO₂ fixation through the photosynthesis within vegetations.

1. はじめに

地球上の植生は大気中にある CO₂ を光合成によって取り込み、その結果として約 120GtC の炭素が植生内に固定され、そのうち約 60GtC が自身の生存のために使われている。したがって太陽は、植生の生存にとって必要不可欠な光合成用電磁波エネルギー源であると同時に、電磁波エネルギーの強度があまりにも強すぎると植生にとっては非常なストレスとなる。

通常、宇宙から植生情報をリモートセンシングによって得る方法としては、クロロフィル吸収バンドに一致した赤色チャンネル (Red Band) と細胞構造に起因して反射率が高い近赤外チャンネル (Near IR Band) を持つ分光放射計により衛星上で地表植生からの反射光を捉え、次式を用いて正規化植生指数 (NDVI) を求めている。

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

この NDVI は CO₂ フラックス量とある程度相関があるので、このデータより植生に固定される CO₂ 量を推定できる。

ここで提案するライダーは、国際宇宙ステーション-日本実験棟暴露部 (International

Space Station-Japanese Experiment Module-Exposed Facility) の標準ペイロードに、前述の Red Band と Near IR Band に対応した二波長発振のレーザ送信機と二次元アレイ検出器を組み合わせた先端的ライダーを搭載し、NDVI をアクティブセンシング技術で得ると共に、レーザ高度計モードによる樹冠高情報を同時に得て、より多角的な植生環境情報を取得することを目的としている。以下、この提案三次元ライダーを“植生ライダー (i-LOVE)” と呼ぶ¹⁻³⁾。

この世界初の植生ミッション用高機能ライダー、“i-LOVE” は、なお、この植生ライダーは当然のことながら電磁エネルギーの反射・散乱・吸収現象を観測原理としているので、雲・エアロゾルに関する大気環境の情報も同時に捉えることが可能であり、炭素循環、水循環における植生の役割に対する知見を深め、ひいては気候変動へのメカニズム解明に向けても貢献する。

2. i-LOVE の概念

Fig.1 に i-LOVE の概念図を、また Fig.2, Fig.3 にライダーシステムの送受信系

概略と信号処理系を示す。

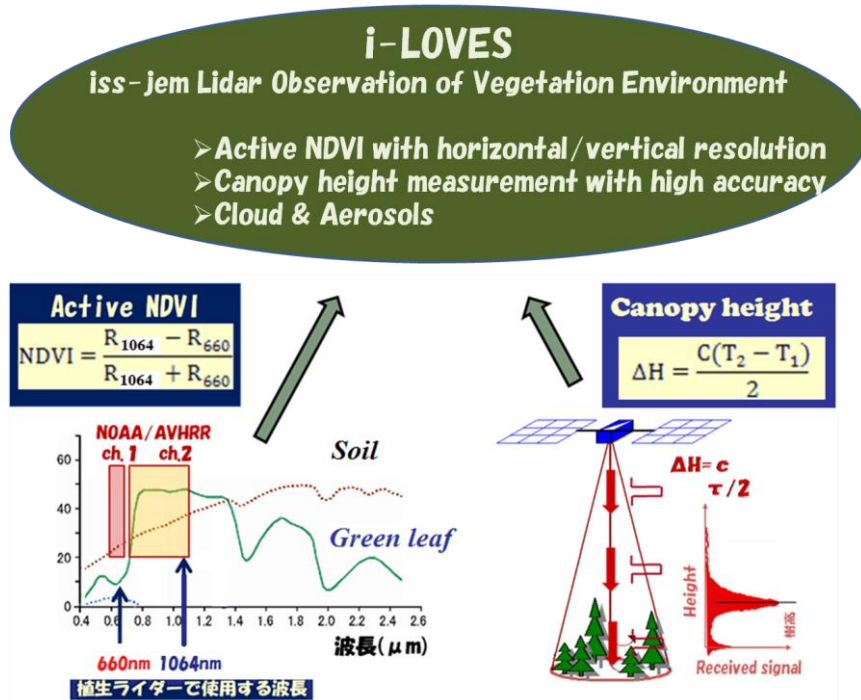


Fig.1 Concept of i-LOVE cooperating NDVI mode with altimeter mode.

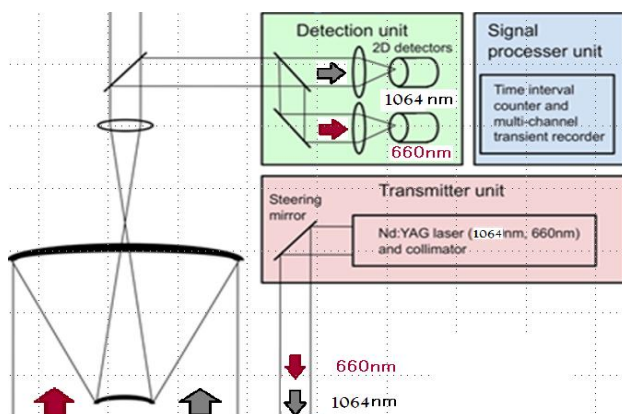


Fig.2 Block diagram of lidar

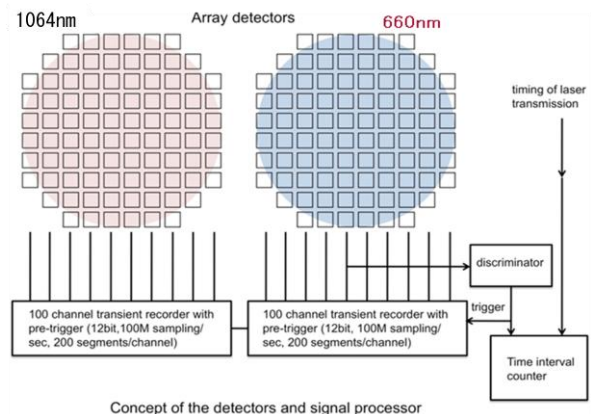


Fig.3 Signal processing with 2-D array detector

ISS JEM	Orbit	Altitude	330 km~480 km
		Inclination angle	51.4 degree
	JEM/EF	Inner Dimension of module	0.8m(H)x1m(W) x 1.85m(L)
		Electric resource	maximum 3kwatts
Laser Transmitter	Wavelength	Fundamental	SHG
		1064nm : Near IR Band	660nm : Red Band
	Output energy	< 100 mJ	50 mJ
	PRF	100 pps/50pps	
	Pulse width	< 10 nsec	
Telescope	Effective dia.	700 mm	
	Field of View	0.18 mrad	
Receiver	2D-array detector	multi-channel MT/APD	multi-channel MT/APD

Table 1 Specifications of i-LOVE

クロロフィル吸収バンドに一致した波長 660nm (Nd:YAG レーザ@1320nm の SHG 波) の赤色 レーザ光と細胞構造に起因して反射率が高い波 長 1064nm (通常の Nd:YAG レーザ@1064nm) の近 赤外レーザ光を用いた正規化植生指数 (NDVI) と、また Si-APD アレイ検出器の採用と波長 1064nm を高度計モードにも用いて樹冠高も同 時に計測し、パッシブセンシングでは得ること の出来ない三次元情報取得の技術実証が可能と なる。

3. 観測モード

i) 大気中 CO₂ の吸収源である地球表面上に存 在するクロロフィル光合成情報の取得

→陸域植生

正規化植生指数 (NDVI) 観測波長：

@1064nm/@660nm

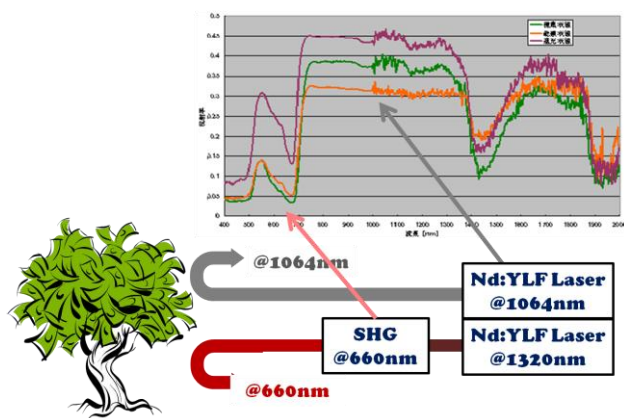


Fig.4 Concept of lidar measurement of NDVI

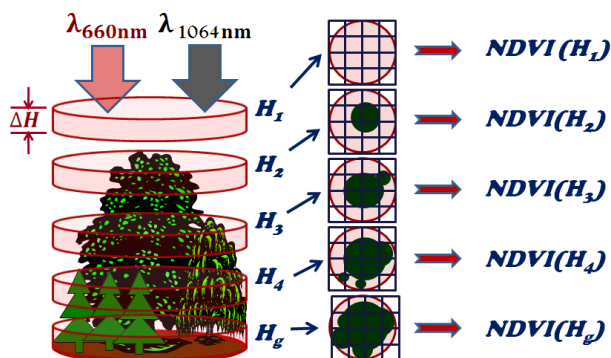


Fig.5 Concept of height-resolved NDVI using i-LOVE

ライダーNDVI は、ISS-JEM からの距離 H と すると (2) 式で与えられる。

$$\text{ライダー NDVI}(H) = \frac{\left(\frac{P_{r1064}(H)}{P_{t1064}}\right) - \left(\frac{P_{r660}(H)}{P_{t660}}\right)}{\left(\frac{P_{r1064}(H)}{P_{t1064}}\right) + \left(\frac{P_{r660}(H)}{P_{t660}}\right)} \quad (2)$$

ここで、 $P_{t\lambda}(H)$ 、 $P_{r\lambda}(H)$ はそれぞれ波長 λ における送信エネルギー、受信エネルギーを表す。→森林による炭素収支のモ ニタリングに向けた生態系観測の実証

→海洋、湖沼中の植物性プランクトンの観測、 波長：@660nm/@532nm

ii) 世界初の衛星搭載イメージングライダーの 基盤実験を行い、バイオマス推定のための 樹冠高の高精度観測化

→将来のLバンド/Pバンド SAR+植生ライダ ーとの共同観測に備えた実証実験

→斜面に起因する観測誤差を抑える高精度 な樹高観測@1064nm

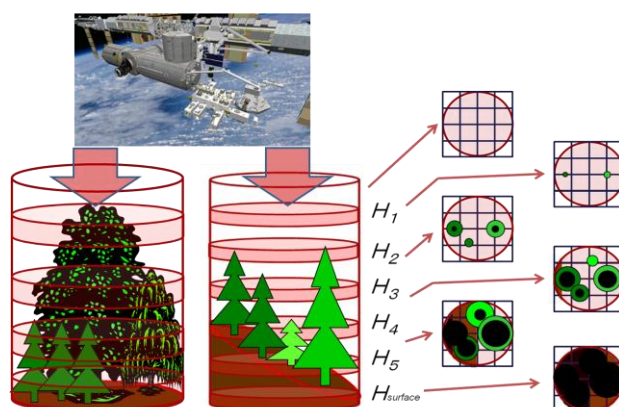


Fig.6 Concept of three dimensional laser altimeter measuring with 2-Dimesion array detector

iii) 雲・エアロゾルに関する大気環境の情報、 波長@1064nm/@532nm

→炭素循環、水循環における植生の役割に対 する知見の取得

→雲・エアロゾル (黄砂、森林火災などのイ ベント時) の立体的観測

iv) ライダー技術の長期宇宙実証

→基盤技術が確立されると植生ミッション の実用衛星への展開将来の衛星搭載・高

性能ライダー開発が可能となる

→三次元大気風観測用ドップラーライダーへの展開

→CO₂, H₂O などの三次元濃度分布観測用 DIAL への展開

v) 宇宙スペックのレーザ技術と排熱技術の確立

vi) アクティブセンサーに対する耐熱歪み/耐機械的歪み抑止技術の確立

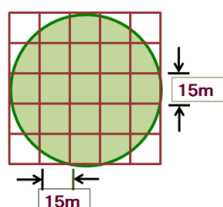
4. おわりに

以上、三次元植生ライダー “i-LOVE” について述べてきた。i-LOVE は、現在、JAXA 内でのミッション定義審査会 (MDR: Mission Definition Review) に向け、準備が進められている。

最後にまとめとして、現在、NASA において 2015 年打ち上げを予定に開発が進められている ICESat/GLAS の後継機である ICESat-2/GLAS との比較を示しておく。

Iss-Jem-LOVE

- 観測ミッション：おもに植生
- 衛星高度：330km-440km
- レーザ送信出力 x30Hz
100mJ@1064nm,
50mJ@660nm @532nm
- 送信ビーム拡がり：0.18mrad
- 受信光学系口径：1meter ϕ
- 検出器：Si-APD、5x5pixels
- Foot print：75m ϕ



ICESat-2/GLAS

- 観測ミッション：おもに氷床
- 衛星高度：600km
- レーザ送信出力 x10kHz
1mJ@532nm x 9ビーム
- 送信ビーム拡がり：7.5 μ rad (?)
- 受信光学系口径：1meter ϕ
- 検出器：Si-APD (?)
- Foot print：10m ϕ x 9

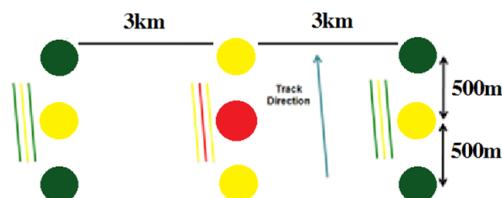


Table 2 Comparison of i-LOVE with ICESat-2/GLAS to be launched in 2015.

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) Kazuhiro Asai, Atsushi Sato, Tomohiro Terasaki and Nobuo Sugimoto, “Lidar for Observation of Vegetation Environment from International Space Station (ISS)/Japanese Experiment Module (JEM)-Exposed Facility (EF)”, SPIE Asia & Pacific Remote Sensing, Conference, 7860-15, 11-14 October 2010, Songdo Convensia Incheon, Republic of Korea
- 3) 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)、バイオマス推定のための三次元植生情報 (NDVI、樹冠高) と雲・エアロゾル情報の同時観測”、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、東大弥生講堂にて

- 4) ICESat-2/GLAS, <http://glo.gsfc.nasa.gov/>