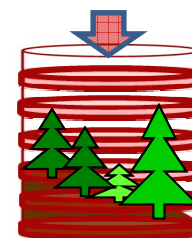
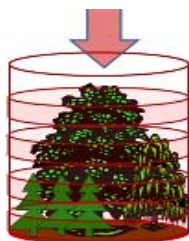


宇宙ステーション・日本実験モジュール暴露部搭載 植生ライダー(**i-LOVE**) **i**ss-jem **L**idar **O**bservation of **V**egetation **E**nvironment

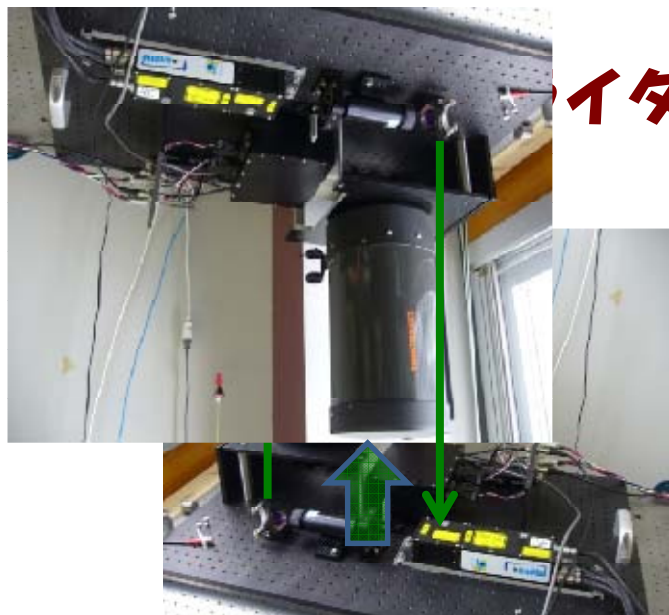
共同提案者

浅井和弘（東北工大）、杉本伸夫（環境研）、
沢田治雄（東大生産研）、三枝信子（環境研/CGER）、小熊宏之（環境研/CGER）
鷹尾 元（森林総研）、平田泰雅（森林総研）、水谷耕平（情報通信研）、
石井昌憲（情報通信研）、西澤智明（環境研）



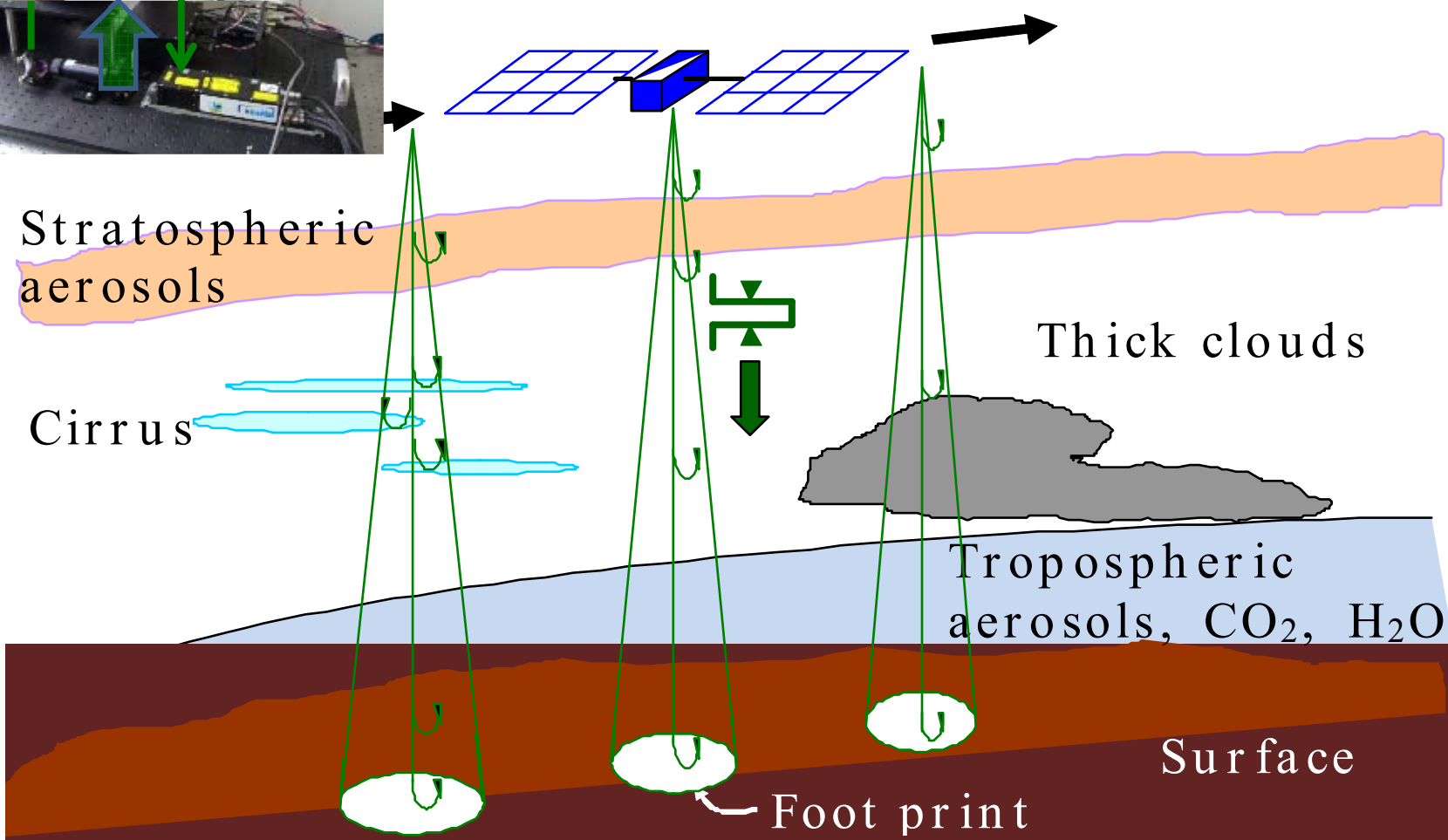
ライダーとは、
レーザを送信機と
LIDAR: Light Dete





ライダー

衛星搭載ライダー Space Lidar



世界の地球観測衛星ライダー

雲・エアロゾル



LITE/STS-64
(NASA, 1994)

大気



FUSE/MDS-2
(NASA, 2002予定)

打ち上げ実績

氷床、大気



GLAS/ICESAT
(NASA, 2003)

大気



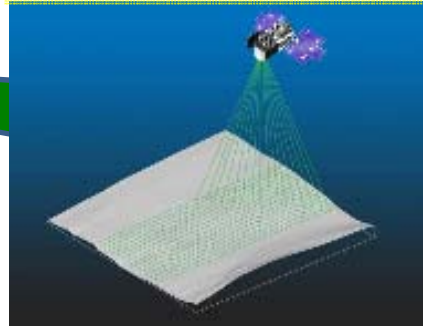
CALIOP/CALIPSO
(NASA, 2006)

風、大気



ADM-Aeolus
(ESA, 2013)

氷床、大気、地表高



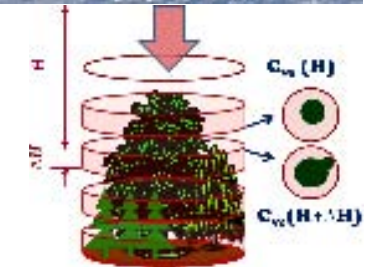
GLAS/ICESat2
(NASA, 2015)

大気



EarthCARE
(ESA/JAXA, 2016)

樹冠高、バイオマス



開発中/計画

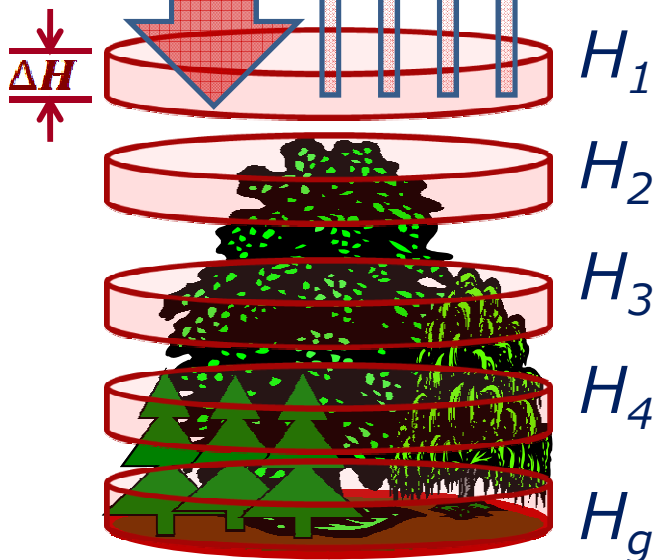
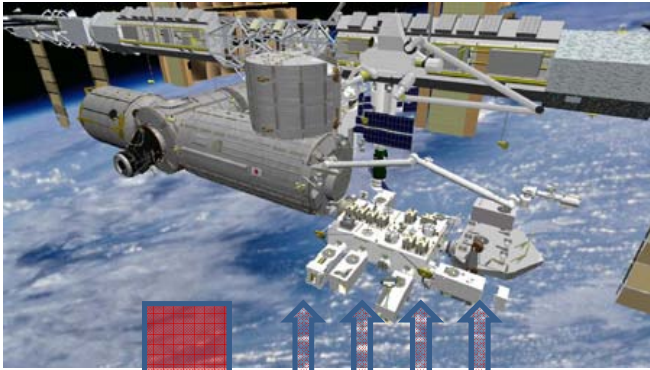
i-LOVEのライダー方程式

$$P_r(H) = \frac{P_t \cdot K \cdot A_r \cdot T_{atm}^2(H) \left[\frac{c \cdot \tau}{2} \cdot \beta_{atm}(H) \cdot \{1 - C_{vc}(H)\} + T_{vc}^2 \cdot \frac{\rho_{vc}(H)}{\pi} \cdot \Delta C_{vc}(H) \cos(\varphi) \right]}{H^2}$$

雲・エアロソル情報

アルベド情報、DEM情報

植生情報



$P_r(H)$: 受信信号電力、 P_t : 送信レーザー電力

K : 総合的な光学効率、 A_r : 受信望遠鏡の有効面積

T_{atm} : 衛星から距離 H までの大気透過率

$\frac{c \cdot \tau}{2} = \Delta H$: 高さ分解能 c : 光速、 τ : レーザパルス幅

H : 衛星から対象物までの距離

$\beta_{atm}(H)$: 大気後方散乱係数 $= \beta_{Mie散乱} + \beta_{Reighly散乱}$

$C_{vc}(H)$: フットフrint面積に対する樹冠被覆率

$C_{vc}(H) = \frac{\text{高度}H\text{での樹冠断面積}}{\text{フットフrintの断面積}}$

$\Delta C_{vc} = C_{vc}\left(H + \frac{c \cdot \tau}{2}\right) - C_{vc}(H)$

φ : 樹冠と樹幹となす角度、 T_{vc} : 樹冠の透過率

ρ_{vc} : 樹冠の反射率、 ρ_{gs} : 地表面の反射率

$\rho_{gs}, \rho_{vc} \gg (\beta_{Mie散乱} + \beta_{Reighly散乱})CT/2$



創造から統合へー仙台からの発展
東北工業大学



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO



独立行政法人
森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute



宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency



独立行政法人
国立環境研究所



独立行政法人
情報通信研究機構

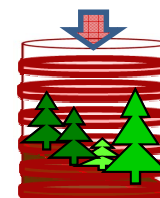
本ミッションの目的

1. 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

2. 地球観測ミッションとして(その1)

- 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
 - 海洋・湖沼中の植物プランクトン



新たな宇宙からの地球観測に向けて (衛星搭載ドップラーライダーの提案)

数値予報、大気循環と波動擾乱、雲・降水・台風の発生から消失までの過程、水循環と放射収支、対流圏の物質輸送等様々な研究において、風を知ることは必要不可欠となっている。しかし、現状の3次元風データは、必ずしも十分ではない…。

宇宙からグローバルに風を測る目的

- ・ 週間予報や台風予報などの精度の向上。
- ・ 様々な時空間スケールの気象現象解明。
- ・ 大規模気象災害に対する安心安全への貢献。
- ・ 全球大気データ同化システムを用いた、衛星観測の事前評価（OSSE）と検証（OSE）。
- ・ ISS搭載植生ライダーに続く衛星搭載ライダーミッション（衛星搭載ライダー技術の確実な蓄積）。
- ・ グローバル風観測実現に向け、各宇宙機関との連携。

(OSSE: Observing System Simulation Experiment, OSE: Observing System Experiment)





創造から統合へー仙台からの発展
東北工業大学



東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO



独立行政法人
森林総合研究所
Forestry and Forest Products Research Institute



宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency



独立行政法人
国立環境研究所



独立行政法人
情報通信研究機構

本ミッションの目的

1. 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

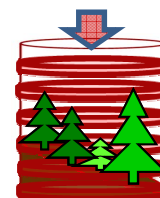
→CO₂,H₂Oなどの三次元濃度分布観測用DIALへの展開

2. 地球観測ミッションとして(その1)

➤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

→海洋・湖沼中の植物プランクトン



CO₂排出源と吸収源のモデル図



図中の数字の色は、蓄積量(GtC)、炭素フラックス量(GtC/年)

物質循環モデル (BIOME-BGC)

- ・植物の水バランス
- ・光合成
- ・呼吸
- ・養分流出
- 等のメカニズムに基づく

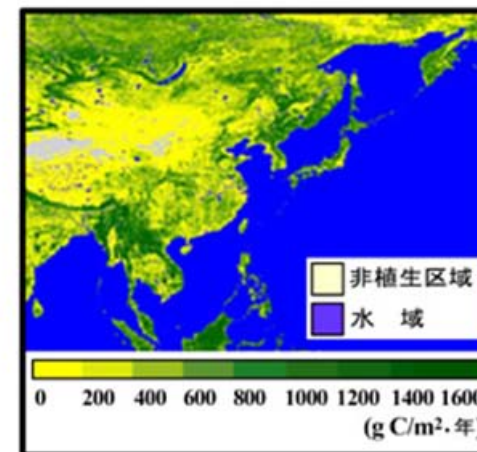
NDVI、植生分布、土地被覆、気象、土壌などのデータを入力してモデルを走らせ、植物による年間の純一次生産量 (NPP) を推定する。

CO₂に対する各種生産量

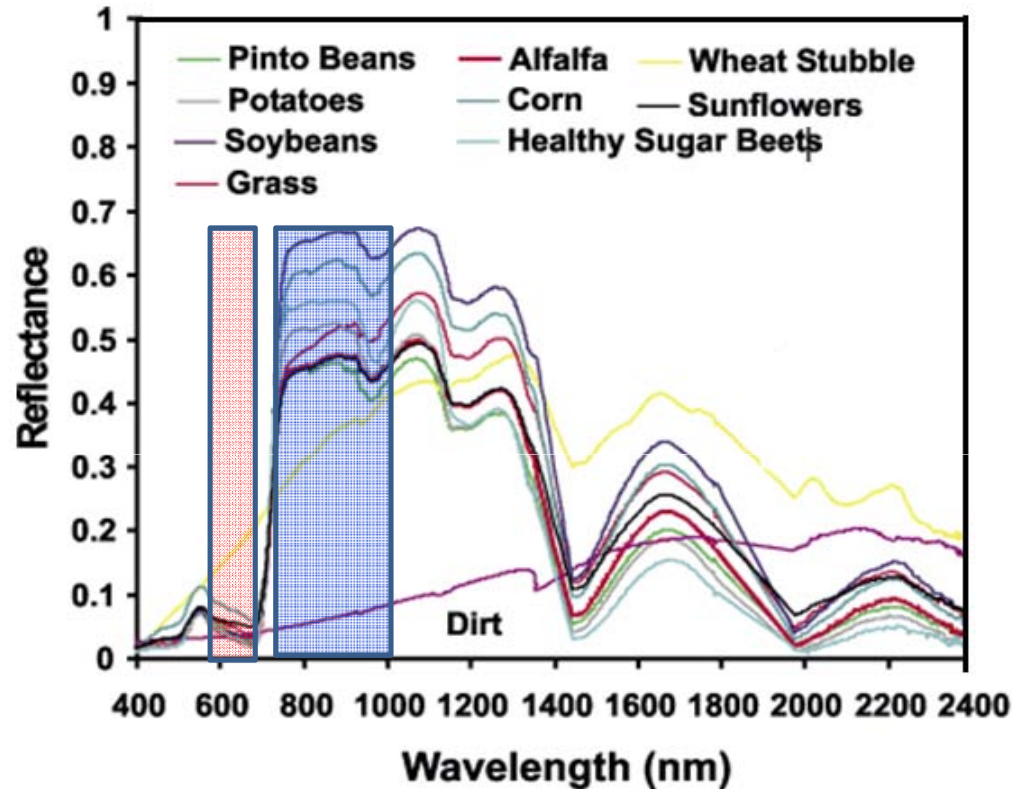


NPPの推定

NPP 推定結果



正規化植生指数 (NDVI)



NDVI
Normalized **D**ifference
Vegetation **I**ndex

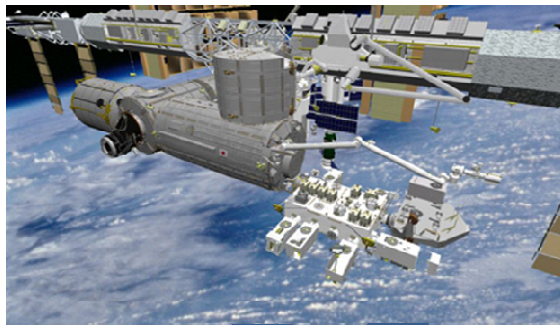
$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

NDVI is directly related to the photosynthetic capacity and hence energy absorption of plant canopies.

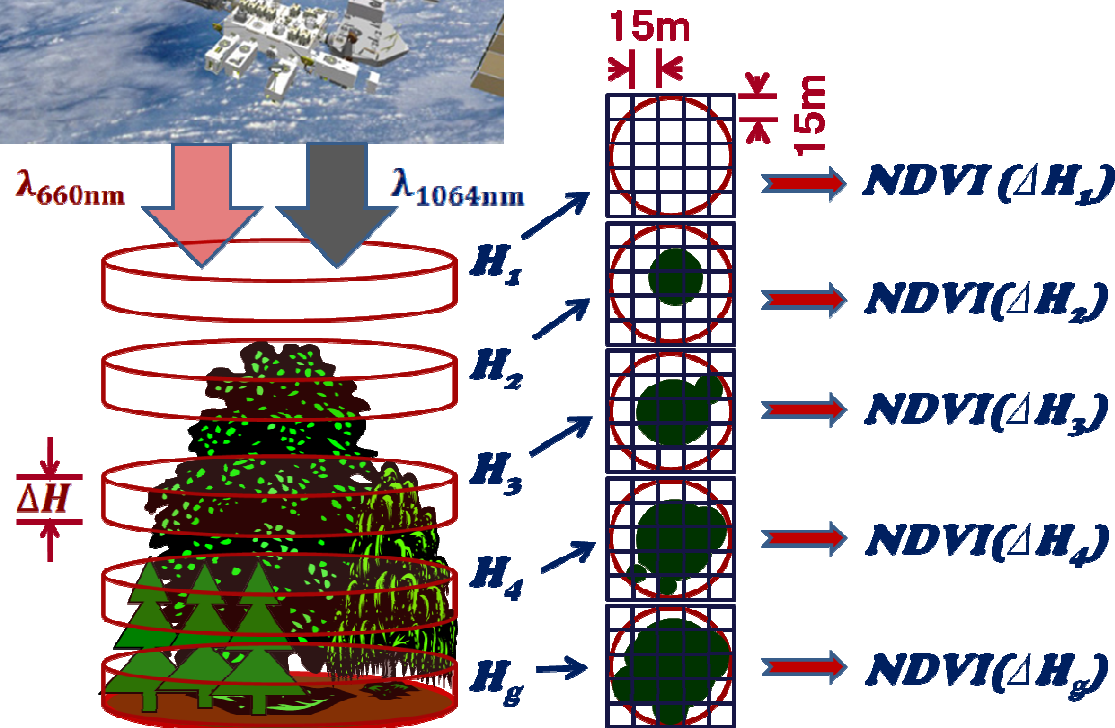
	Red Band (nm)	Near IR Band (nm)
AVHRR/NOAA	580-680	725-1000
MODIS/Aqua,Terra	620 -670	841-876
AVNIR/ALOS	610-690	760-890

Day and Night NDVI ($NDVI = \frac{Ref \cdot NIR \text{ band} - Ref \cdot Red \text{ band}}{Ref \cdot NIR \text{ band} + Ref \cdot Red \text{ band}}$) using dual-wavelength laser

NDVI is directly related to the photosynthetic capacity and hence energy absorption of plant canopies.



	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
i-LOVE	660	1064



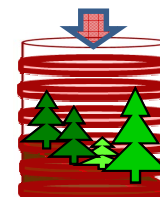
緑葉のNDVI結果

センサー	NDVI
AVHRR/NOAA	0.45
MODIS	0.52
AVNIR/ALOS	0.53
This work	0.49

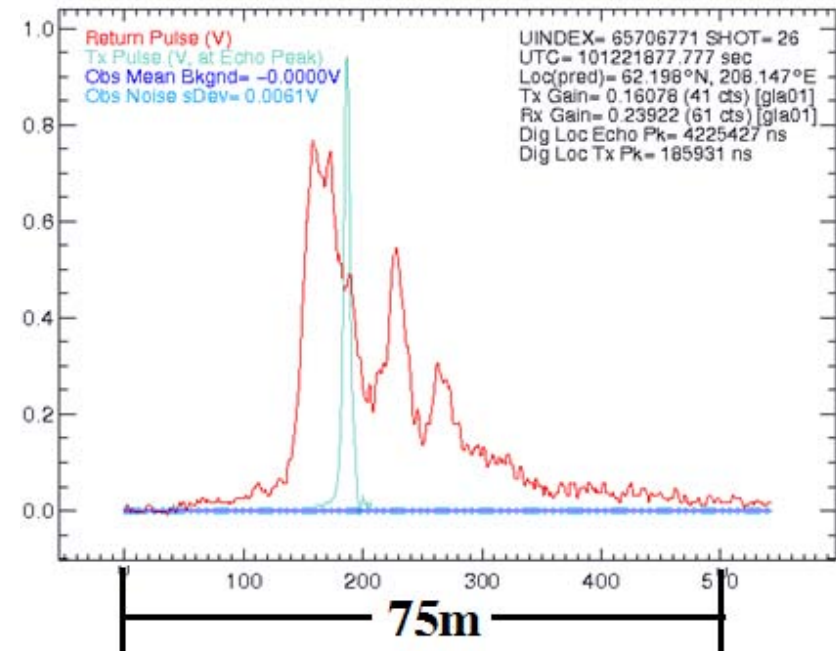
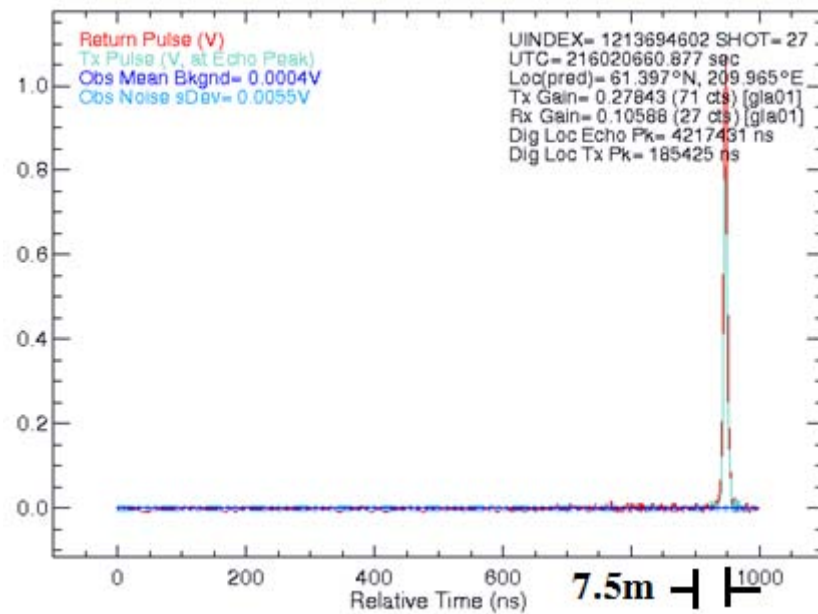
本ミッションの目的 (つづき)

2. 地球観測ミッションとして(その2)

- **バイオマス推定のための樹冠高の高精度観測化**
 - 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
 - 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よるバイオマス情報の取得技術の実証実験
- **雲・エアロゾルに関する大気環境の情報**
 - 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、気候変動へのメカニズム解明に向けて寄与する



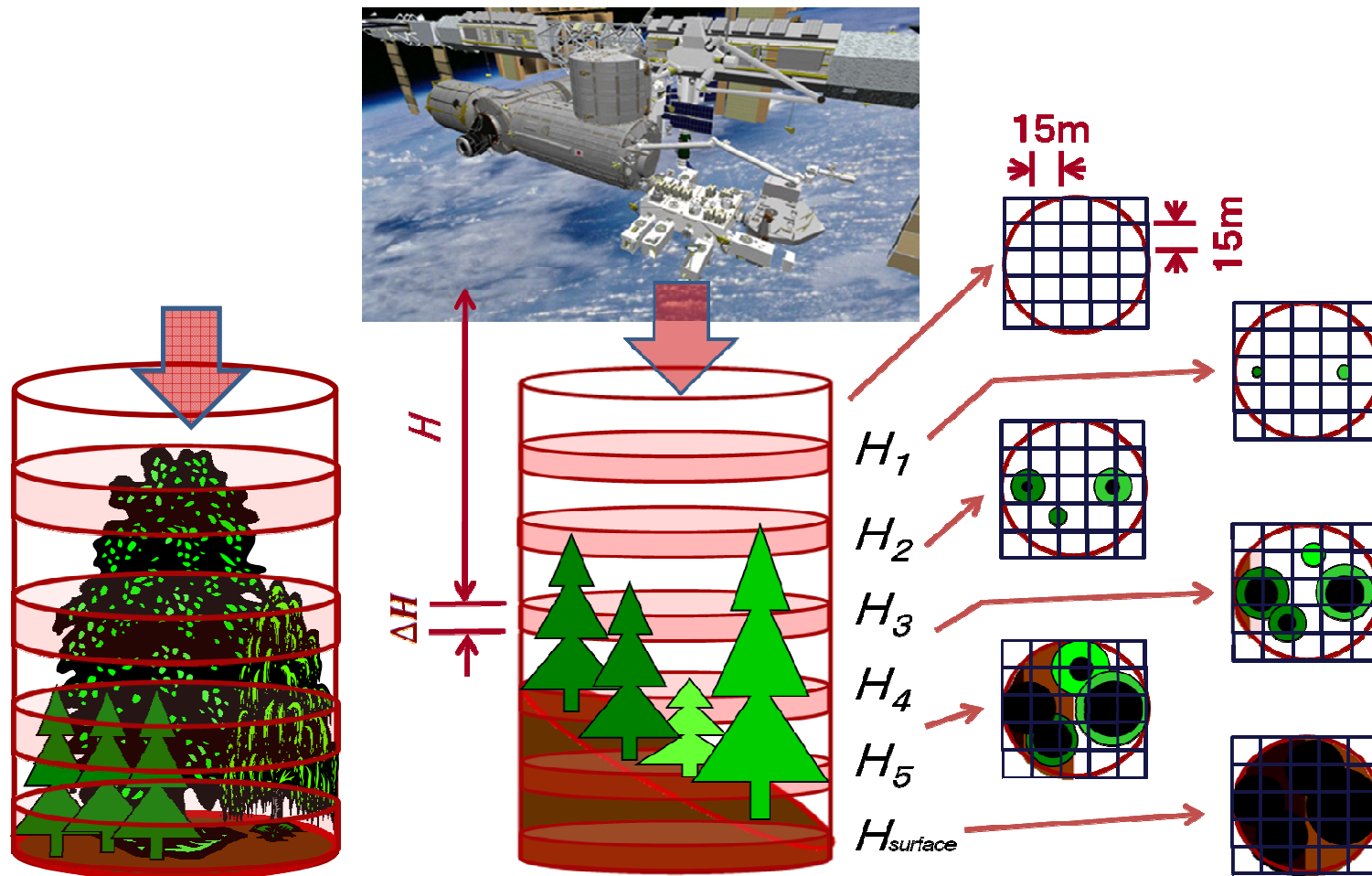
解析結果from GLASデータ



GLAS footprintの中心点でのプロット調査(森林総研)



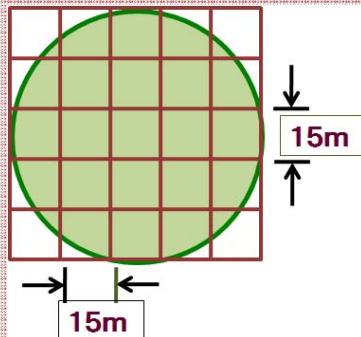
Canopy height measurement with higher accuracy using 25 pixel APD array/ small footprint(~ 15 meters/pixel)



ライダー性能比較

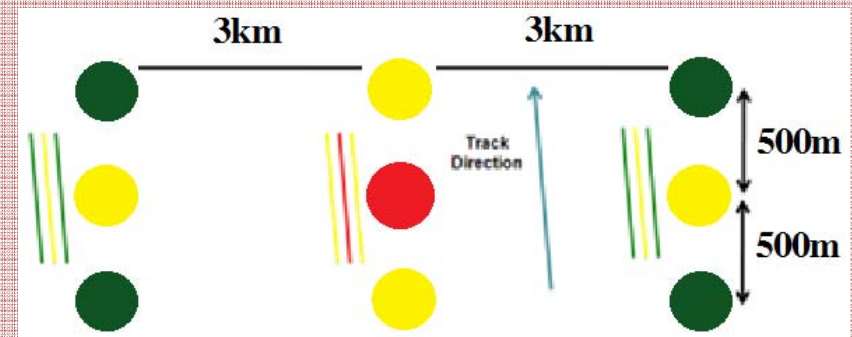
Iss-Jem-LOVE

- ・ 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

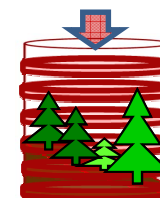
- ・ 観測ミッション：おもに氷床
- ・ 衛星高度：600km
- ・ レーザ送信出力 x10kHz
1mJ@532nm x 9ビーム
- ・ 送信ビーム拡がり：7.5 μ rad(?)
- ・ 受信光学系口径：1meter ϕ
- ・ 検出器：Si-APD (?)
- ・ Foot print：10m ϕ x 9



本ミッションの目的 (つづき)

2. 地球観測ミッションとして(その2)

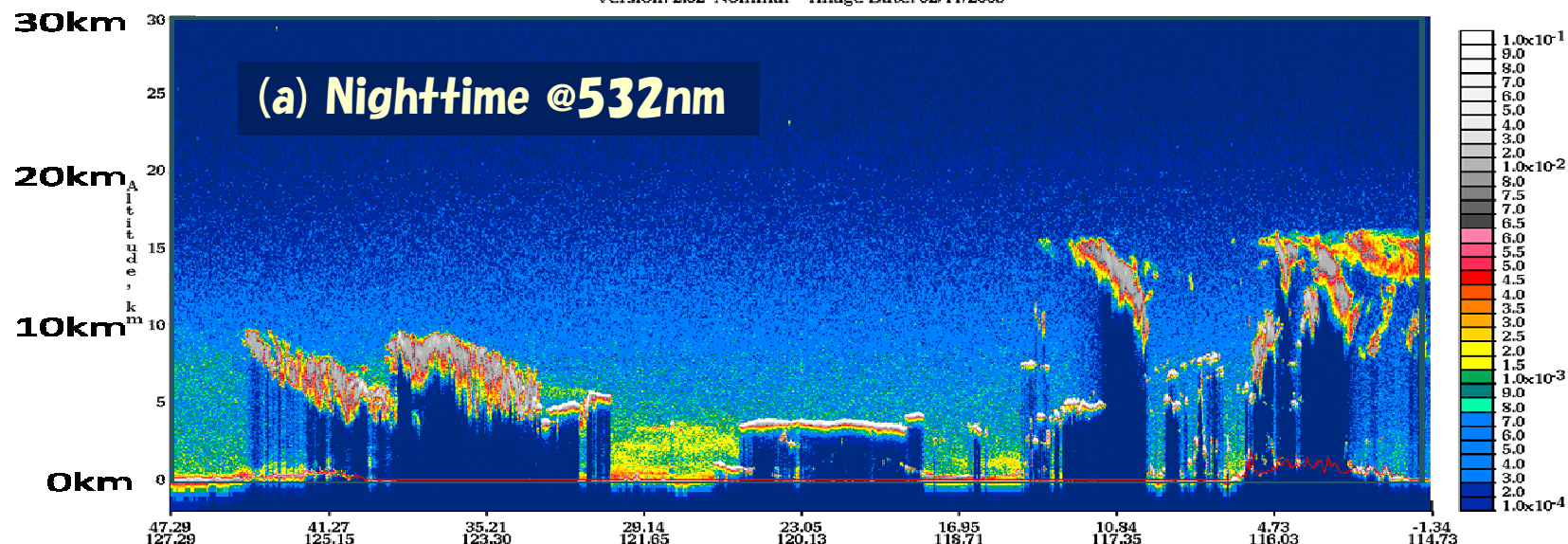
- バイオマス推定のための樹冠高の高精度観測化
 - 森林による炭素収束のモニタリングに向けた生態系観測の実証
 - 将来のLバンド/Pバンド SAR+植生ライダーとの共同観測によるバイオマス情報の取得技術の実証実験
- 雲・エアロゾルに関する大気環境の情報
 - 炭素循環、水循環における植生の役割に対する知見を深め、気候変動へのメカニズム解明に向けて寄与する



CALIPSO観測例 : Total Backscatter

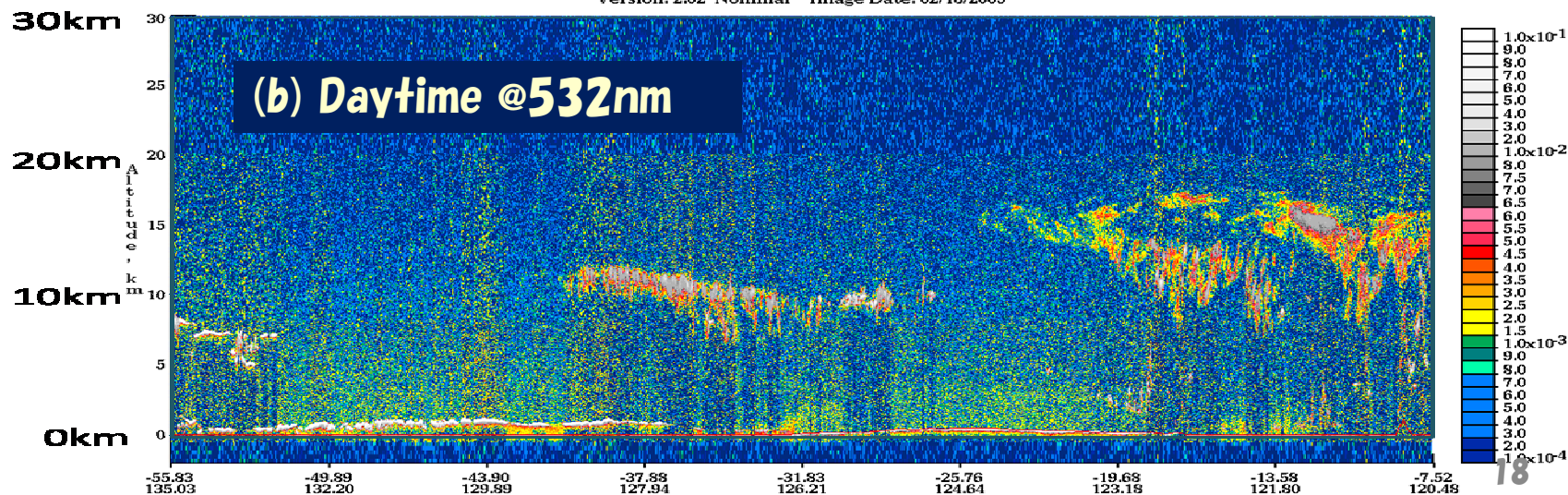
532 nm Total Attenuated Backscatter, /km /sr Begin UTC: 2009-02-08 17:55:16.8471 End UTC: 2009-02-08 18:08:45.5402

Version: 2.02 Nominal Image Date: 02/11/2009



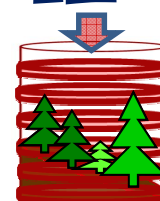
532 nm Total Attenuated Backscatter, /km /sr Begin UTC: 2009-02-15 05:37:36.3951 End UTC: 2009-02-15 05:51:05.0732

Version: 2.02 Nominal Image Date: 02/18/2009



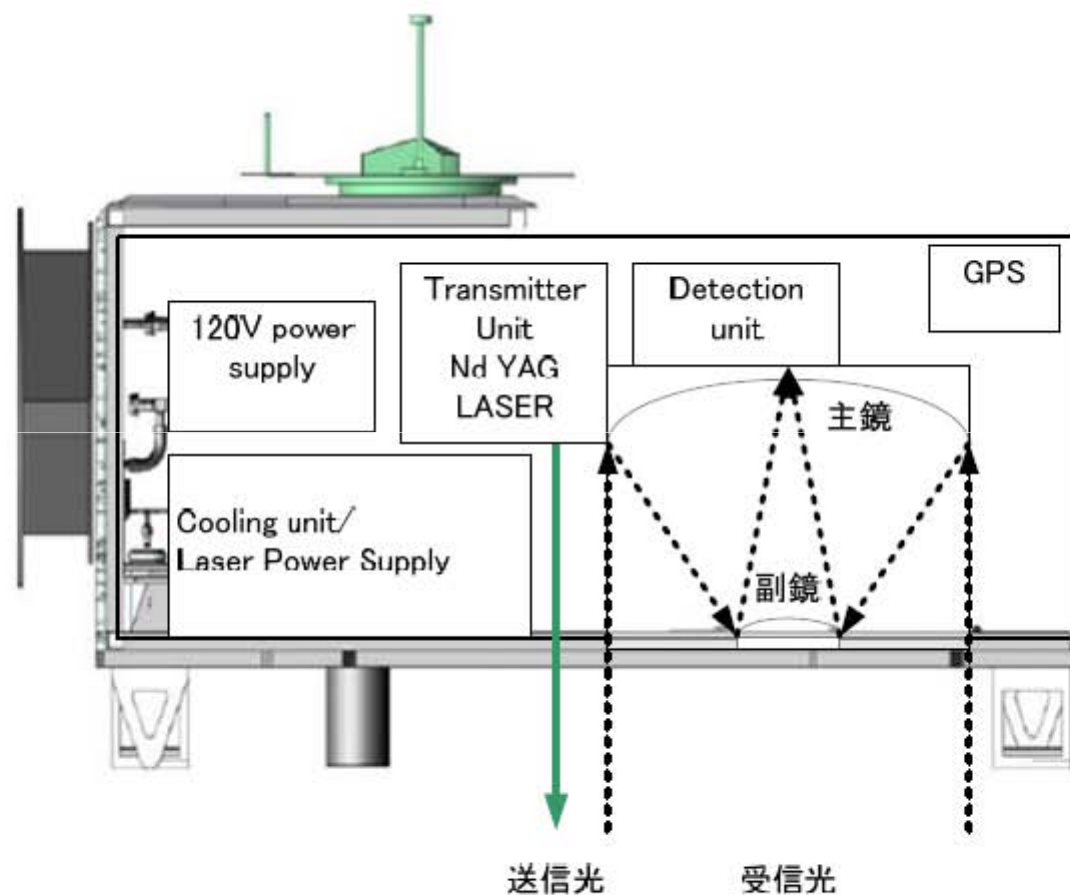
技術的新規性

- **世界初の植生ミッション用高機能ライダー**
 - 正規化植生指数 (NDVI) 観測 : @ 1064nm / @ 660nm
 - 斜面に起因する観測誤差を抑える高精度な樹高観測 @ 532nm
 - 海洋、湖沼中の植物性プランクトンの観測
@ 660nm / @ 532nm
 - 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 @ 1064nm / @ 532nm
- **世界初の衛星搭載イメージングライダーの基盤実験**
- **我が国最初の本格的スペース・ライダー**
 - 宇宙スペックのレーザ技術と排熱技術の確立
 - 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



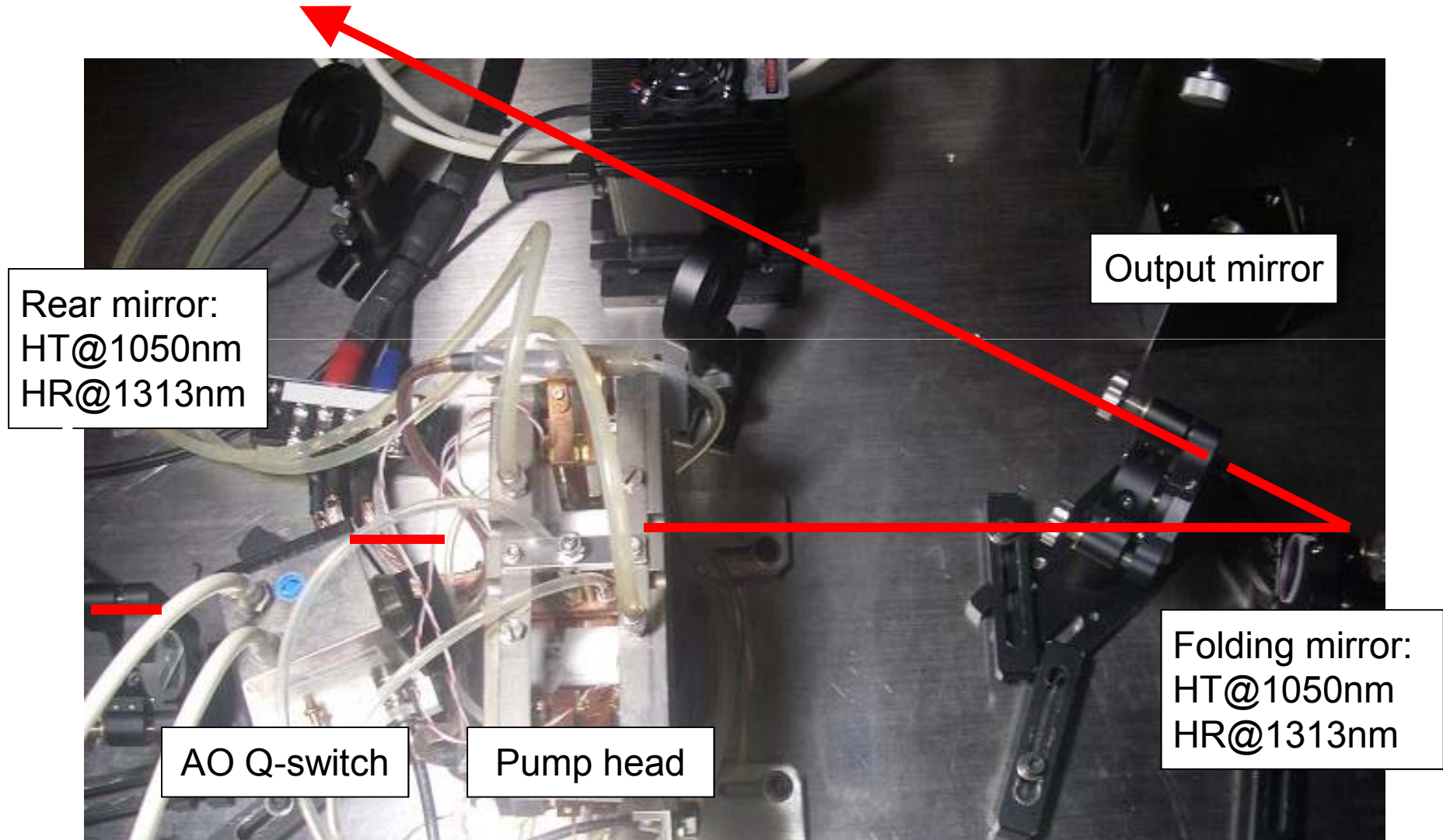
5. 具体的な話

JEM-EF搭載・植生ライダー(JEM LOVES) 概念図

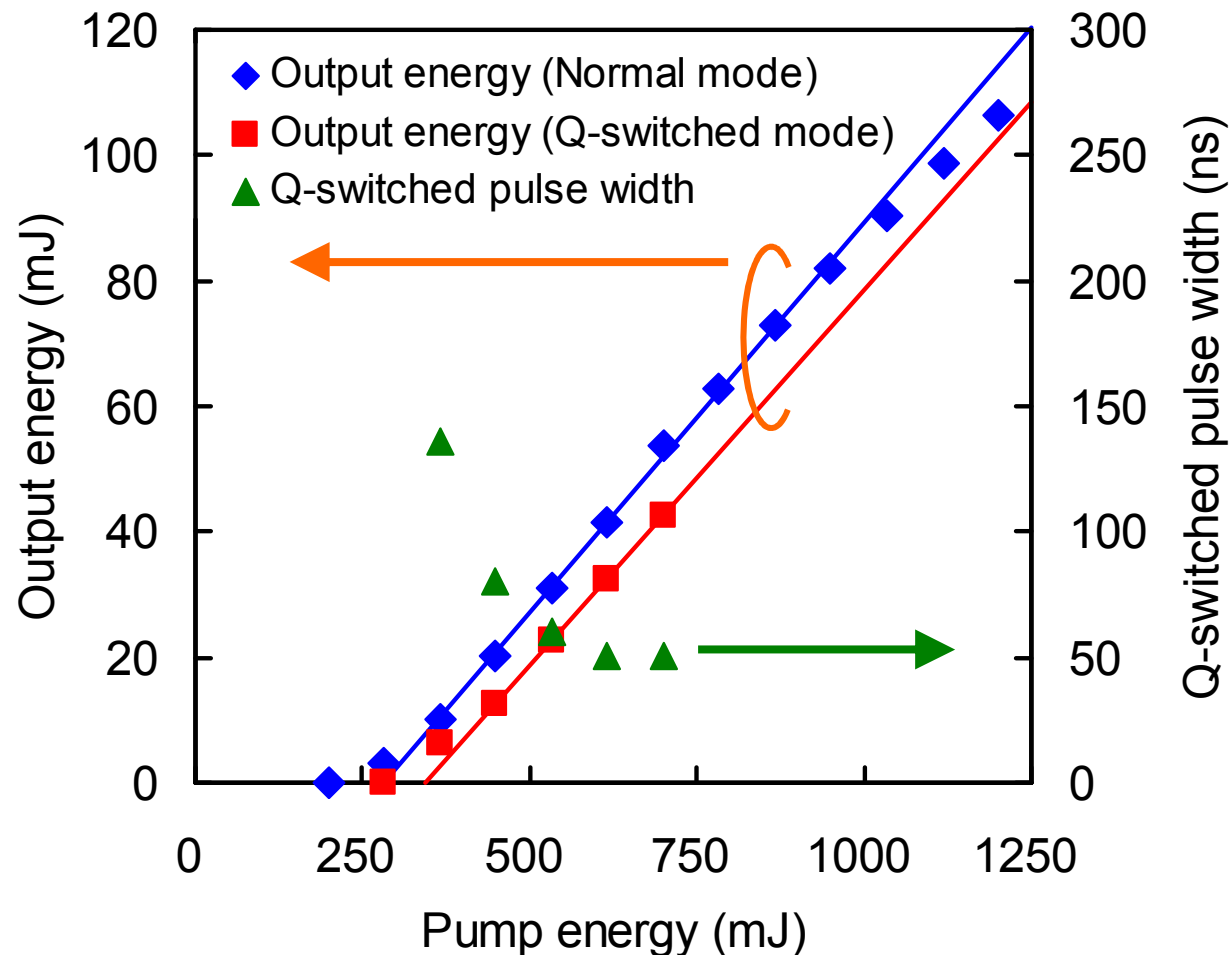


レーザ発振の予備実験

@1320nm / 1064nm / 660nm / 532nm



Q-switched laser performance



Operating condition

PRF: 5 Hz

Pump pulse: 240 μ s

Temperature: 18°C

Normal mode

Output energy: 106 mJ

Slope efficiency: 12.4%

Conv. efficiency: 8.8%

(pump = 1201 mJ)

Q-switched mode

Output energy: 42 mJ

Pulse width: 51 ns

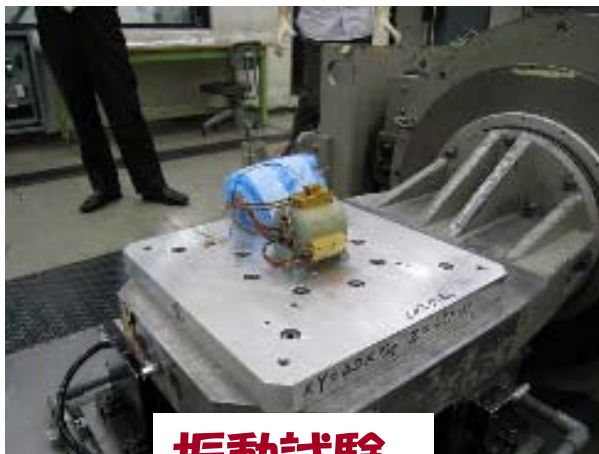
Slope efficiency: 11.8%

Conv. efficiency: 6.0%

(pump = 700 mJ)

伝導冷却型レーザーヘッド試作 at NICT

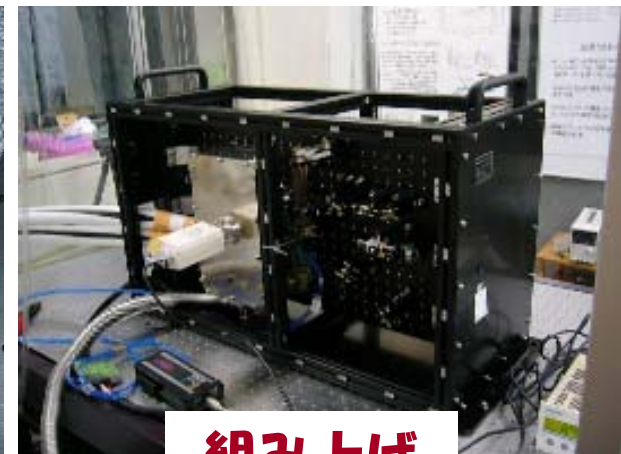
NICTでは、航空機搭載型 CO₂ DIAL/Wind Doppler lidarの開発を進めている。
今回のISS-JEM・植生ライダー提案に際しては、**伝導冷却型レーザーに関する技術をメーカーへの移転技術をお願いしたが、NICTから快諾を得ている。**



振動試験



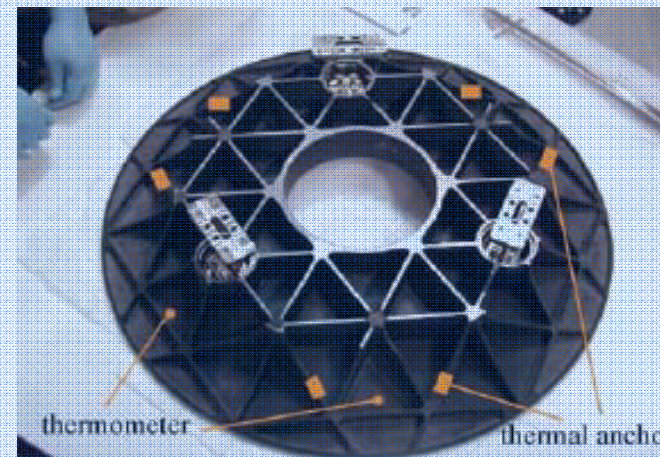
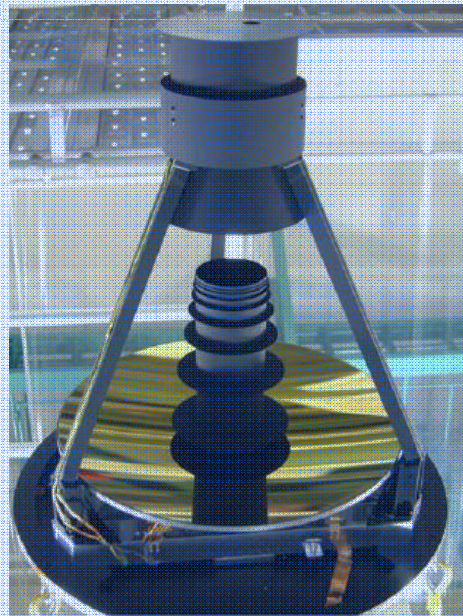
真空試験



組み上げ



MDS-2/ELISE
ベリリウム受信望遠鏡、
口径1mφ



ASTRO-F「あかり」、SiC受信望遠鏡、口径0.7mφ 25

おわり