

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



~~ELISE / MDS-2
(NASDA, 2002予定)~~

打ち上げ実績

氷床、大気



GLAS / ICESAT
(NASA, 2003)

大気



CALIOP / CALIPSO
(NASA, 2006)

大気



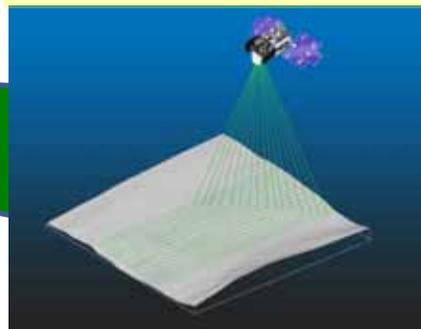
EarthCARE
(ESA / JAXA, 2013)

風、大気



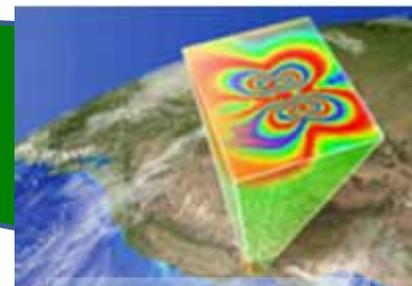
ADM - Aeolus
(ESA, 2014)

氷床、大気、地表高



GLAS / ICESat2
(NASA, 2015)

地表面高、氷床
バイオマス



DESDyn1
(NASA, 2017)

開発中 / 計画

植生ライダー

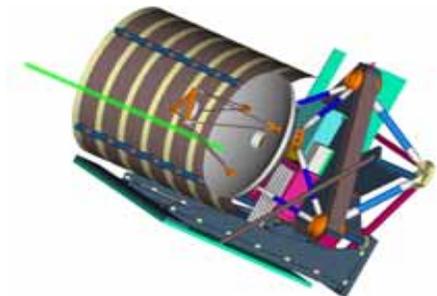
- 炭素・水循環システムの理解を深める植生情報 - 樹冠高さ -
雲・エアロゾル情報の同時観測 -

LOVES

Lidar Observation of Vegetation Environment
from Space

提案者

浅井和弘（東北工業大学），
杉本伸夫（国立環境研究所）



Dedicated to MDS-2/ELISE

植物内光合成と総一次生産量GPP



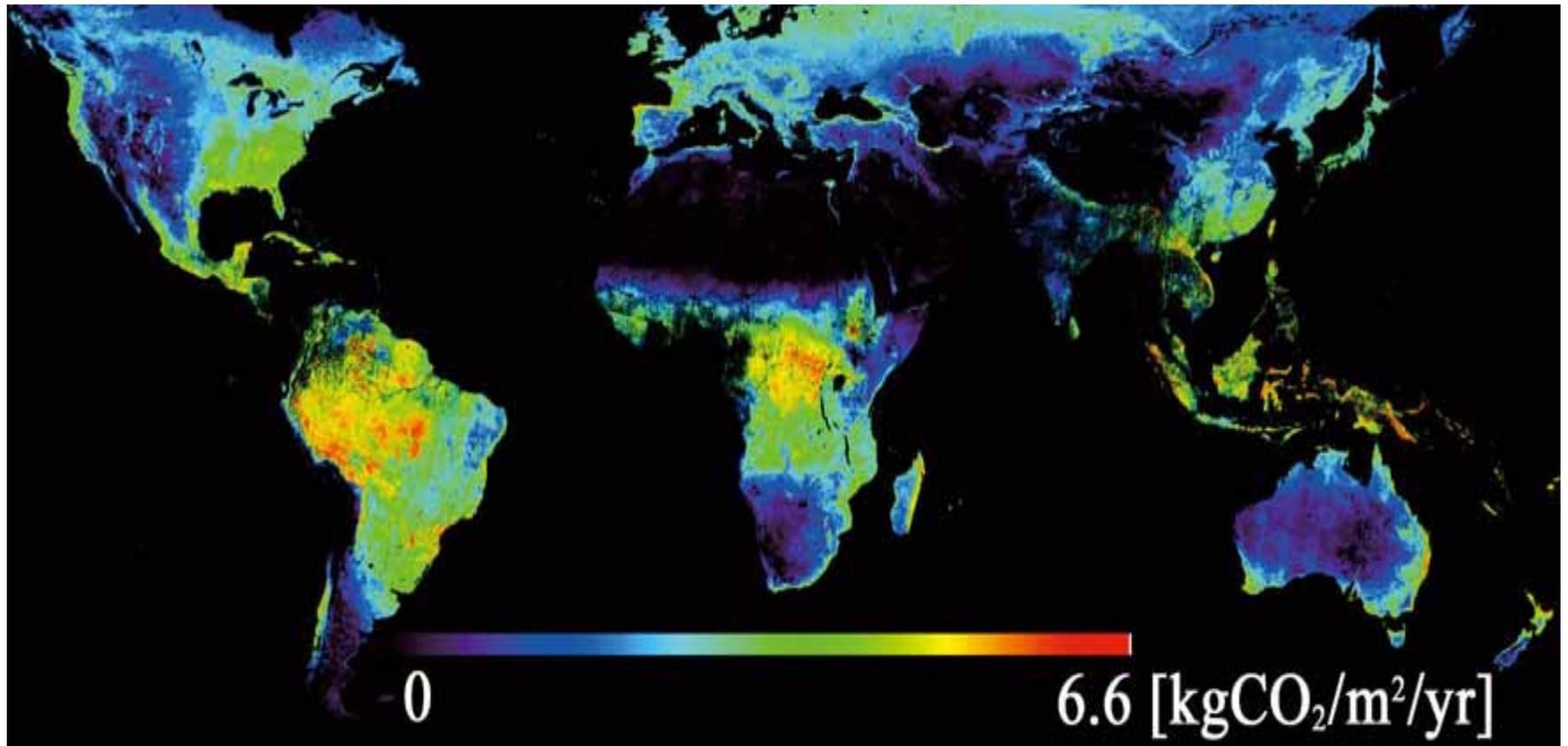
$$GPP = PAR \times f_{PAR} \times LUE$$

PAR : Photosynthetic Active Radiation

f_{PAR} : a fraction of PAR absorbed by the canopy

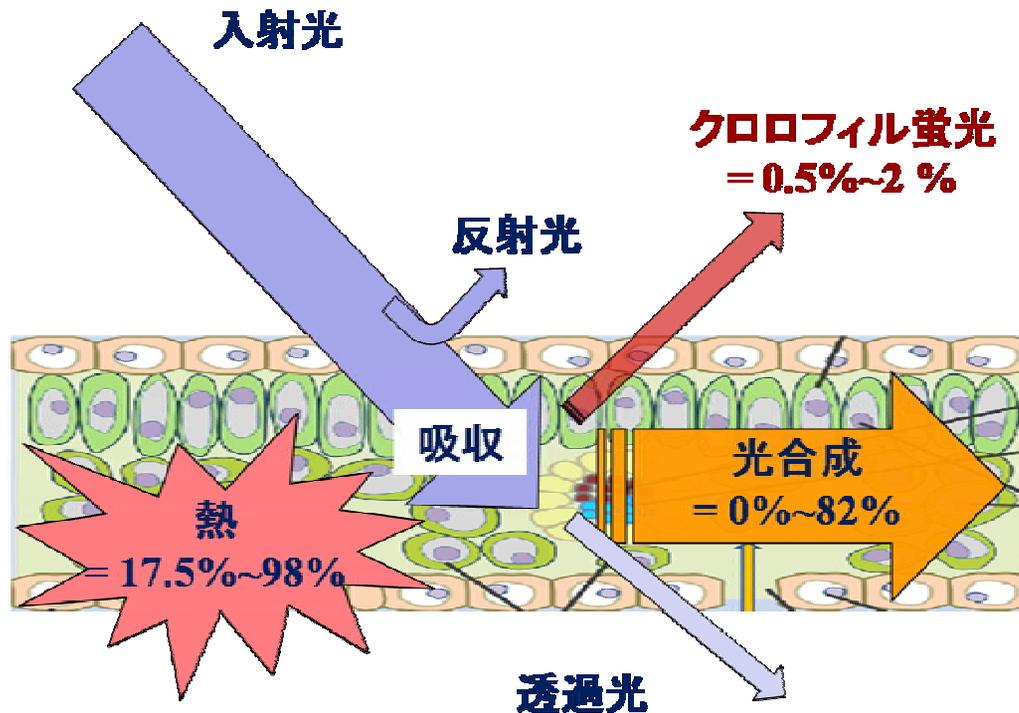
LUE: Light-Use Efficiency

Global Distribution of Annual Net Primary Production



出典: JAXA/EORC編、“GLIがとらえた地球”, GLI成果集(2006)

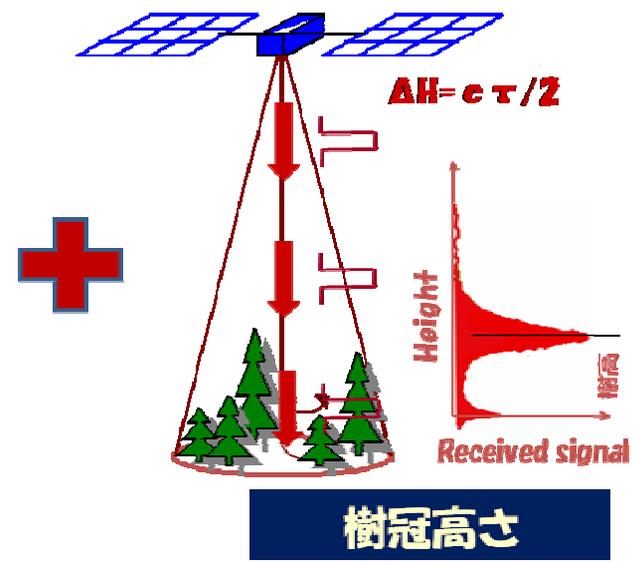
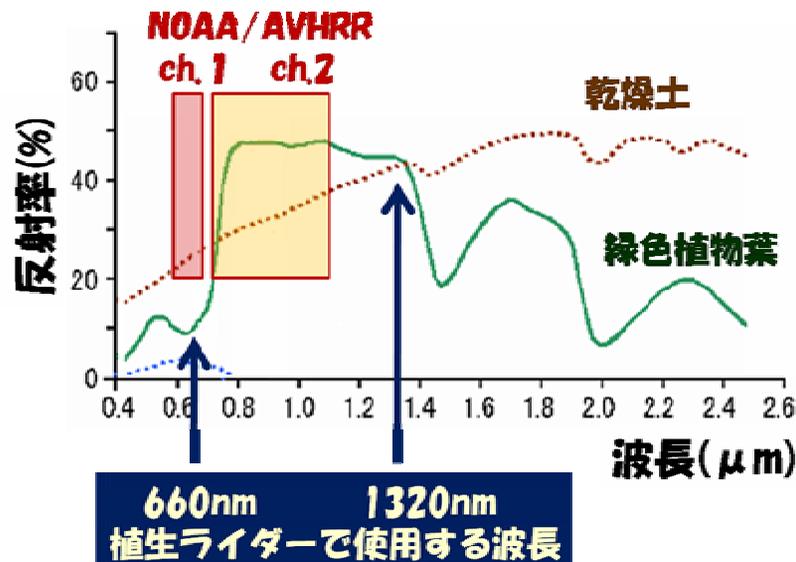
低 / 高ストレス下での光合成



	クロロフィル蛍光	光合成	熱発散
低ストレス	0.5%	82%	17.5%
高ストレス	2.0%	0%	98.0%

1. ミッションの目的 その1

- かつては世界最初の宇宙ライダーを目指したMDS-2・ライダーミッション/Experimental Lidar In Space Environment:ELISEのパイオニア精神と技術遺産を受け継ぎ、NASAが開発を進めて来た/来ている方向とは異なる“植生環境情報”の取得を目指すライダー、(“植生ライダー”と呼ぶ)を開発する
- 植生ライダーは、パッシブ・リモートセンシングで用いられている正規化植生指数 (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



1 . ミッションの目的 その2

- 雲・エアロゾルに関する大気環境の情報も同時に、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
- 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となる
- 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

2 . 科学的意義 その1

- 太陽は、植物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物にとっては非常なストレスとなる。これを制御しているのが、キサントフィル・サイクルとしてよく知られている植物の生理現象である
- パッシブ・リモートセンシングにとっては、太陽が放射光源のためDaytime観測が基本であり、そのため多くの植生情報は高ストレス状態でのデータであると言える。

2 . 科学的意義 その2

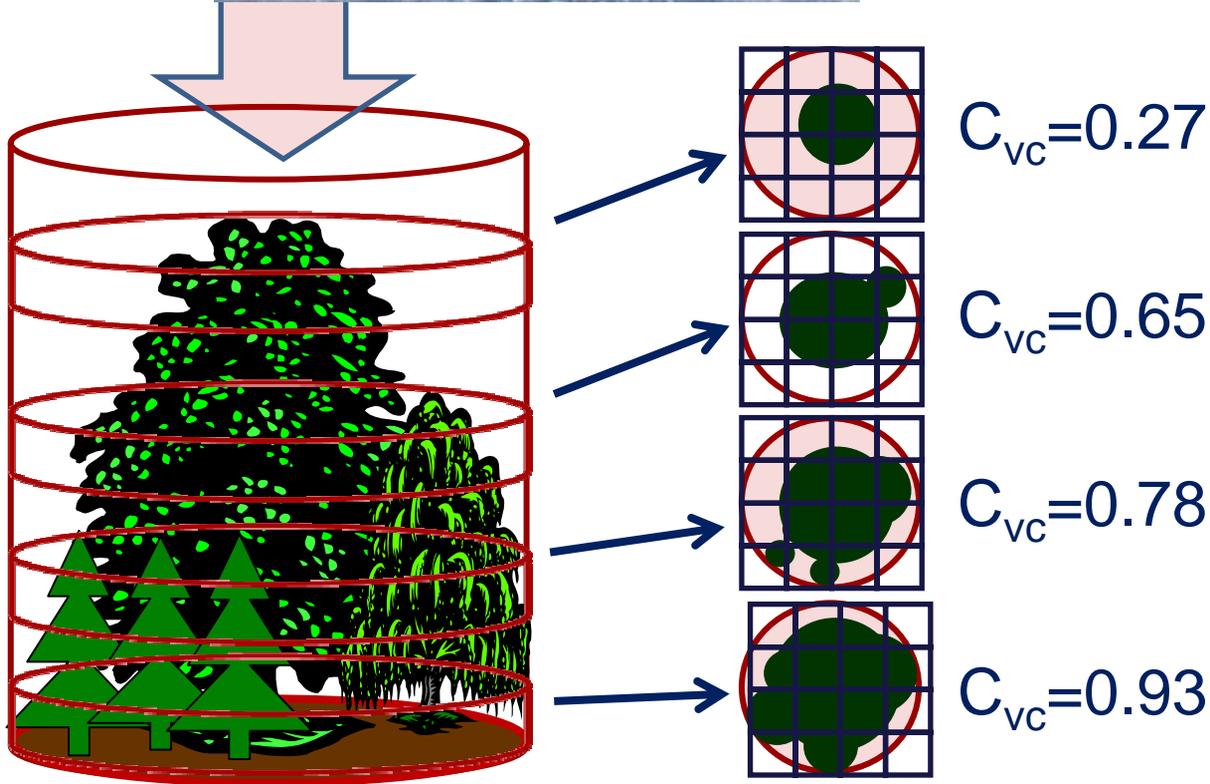
- ✓ 一方、提案した植生ライダーは、光反射・散乱用光源であるレーザ送信器を備えたアクティブ・リモートセンシングであるため、低ストレス下での植生情報、例えばnighttime観測も可能であり、daytime観測のみのパッシブ・リモートセンシングによる観測データとは別の植生情報の知見を得ることができる。
- ✓ 森林による炭素収支のモニタリングに向けた生態系の観測
- ✓ 森林の3次元構造とその変化の把握手法の開発

3 . 技術的新規性

- **世界初のNDVI観測ライダー**
 - 正規化植生指数（NDVI）観測モード（1320nm/660nm）と高度計モードによる樹高測定との植生の同時観測
 - 新しいレーザ波長（1320nm/532nm、従来は主に1064nm/532nm）の発生法
 - 高速2次元検出器の確立
- **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

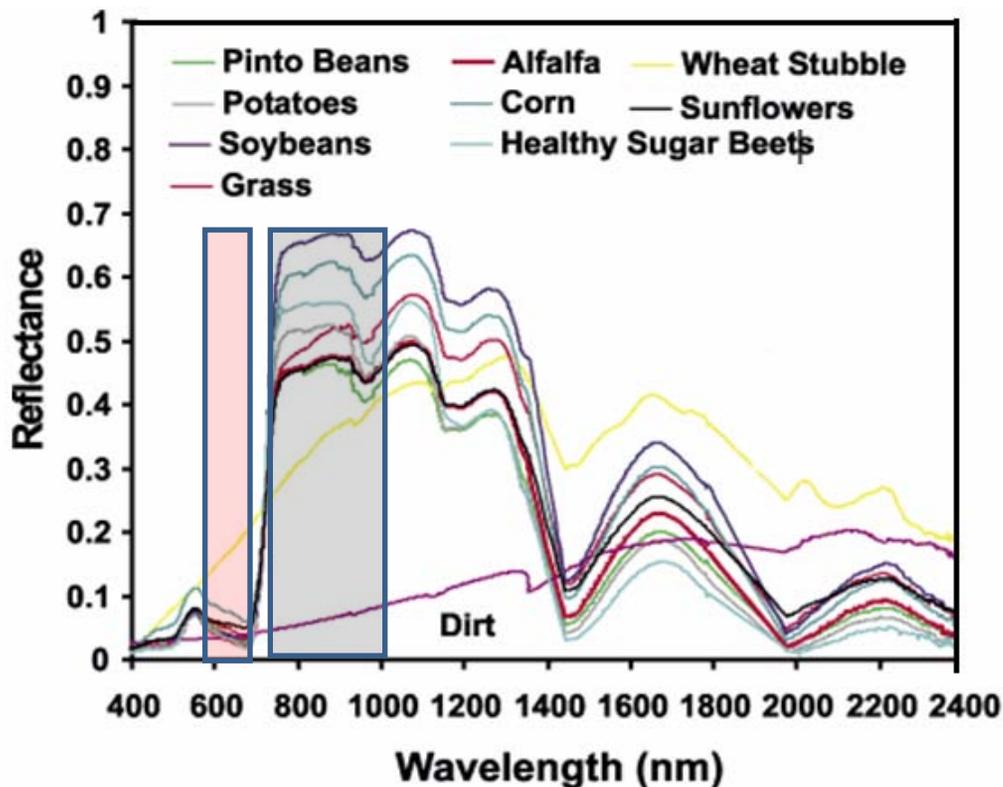
新規性その 1

Multiple detector pixels / footprint



新規性その2

Active NDVI with vertical resolution H



NDVI
Normalized Difference
Vegetation Index

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

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

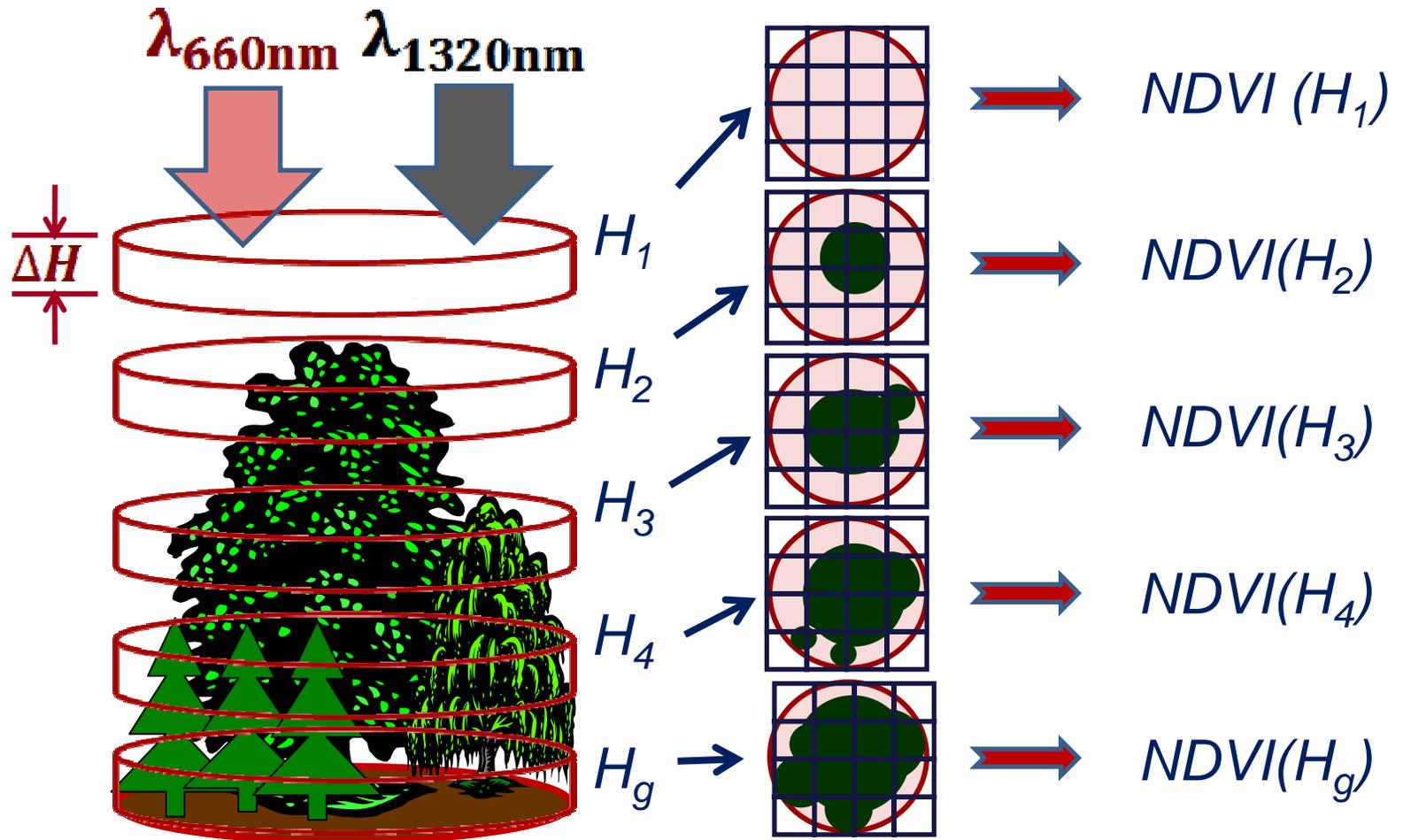
	Red Band (nm)	Near IR Band (nm)
AVHRR/NOAA	580-680	725-1000
MODIS/Aqua,Terra	620 -670	841-876
AVNIR/ALOS	610-690	760-890

新規性その2

Active NDVI with vertical resolution H

Laser beam transmitted from
ISS-JEM-EF payload

$$NDVI(H) = \frac{\lambda_{1320nm} - \lambda_{660nm}}{\lambda_{1320nm} + \lambda_{660nm}}$$



4 . 緊急性

以下の理由により、2015年頃に植生ライダーを打ち上げる計画はタイミング的にも、また地球科学、環境科学分野への世界貢献の点からも、ぜひ早急に取り組むべきである。

- 日本のライダー技術を途絶えさせない
- 現在運用中のGLAS (2003年から5年間)、CALIPSO (2006年から3年間) は共にまもなく運用が終了
- その後に打ち上げが予定されているライダーミッションはADM-Auolus(2013年打ち上げ予定、3年間)、EarthCARE (2013年から3年間)
- 2015年打ち上げが予定されているGLAS/ICESat2はの主ミッションはレーザ波長532nmのみの氷床高/地表高変化観測であり、提案ライダーとは異なる方向性である
- IPCCは気候数値モデルの高精度化、全球森林炭素量の観測機能の強化努力を勧告しており、ますますバイオマス観測の重要性が望まれている

5 . 期待される成果

(0) 自信喪失気味の日本人へ「一番じゃないといけない」誇りと勇気を！！

(1) 二波長ライダー (1320nm / 660nm) の場合

- 正規化植生指数NDVIの鉛直情報
- 樹冠の高さ
- 雲頂、雲底
- PBL高度
- イベント時でのエアロゾル鉛直分布 (黄砂、森林火災など)
- 地表面の凹凸高度

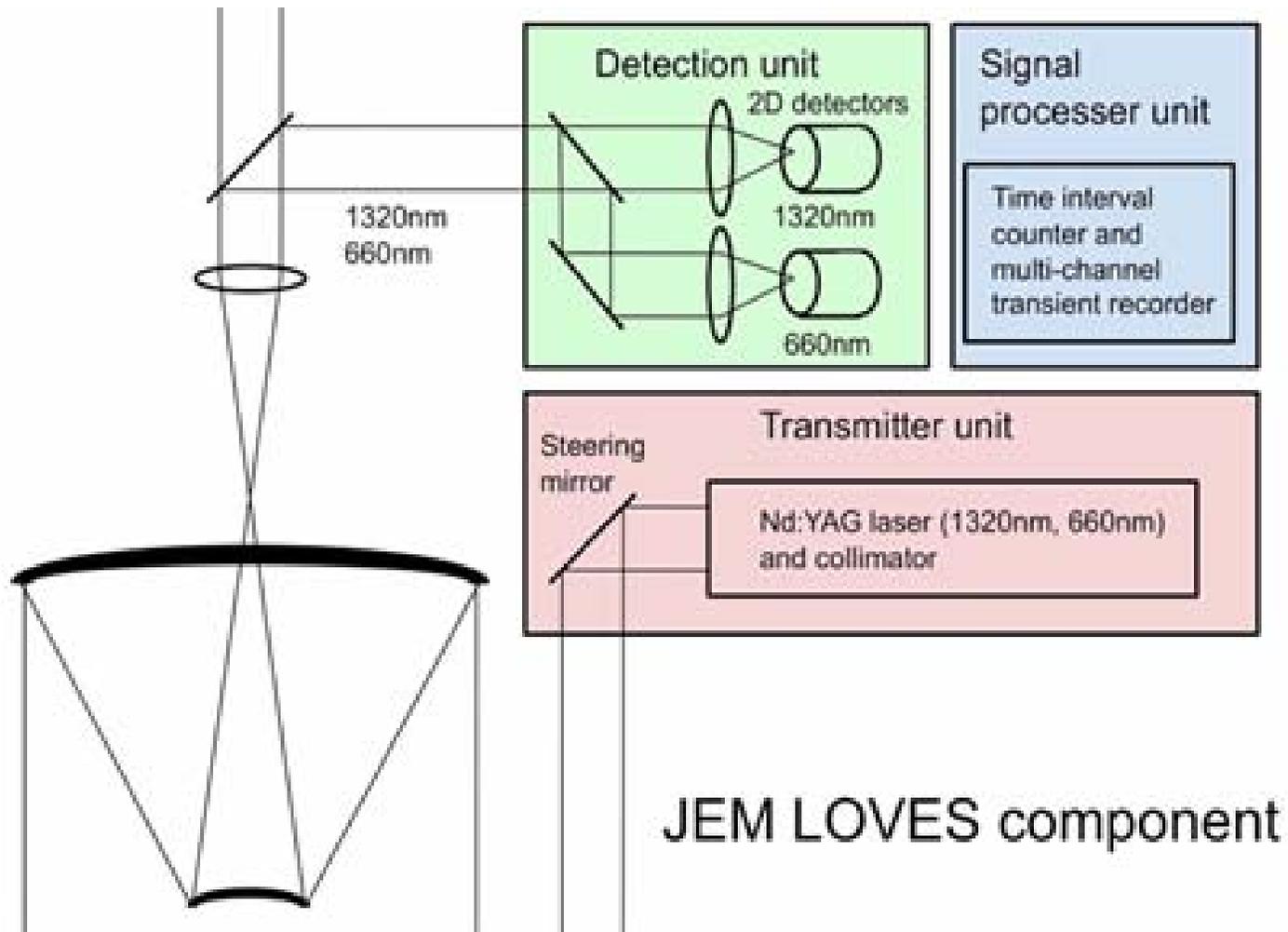
(2) 三波長ライダー (1064nm / 660nm / 532nm) の場合

上記 (1) + 下記の成果

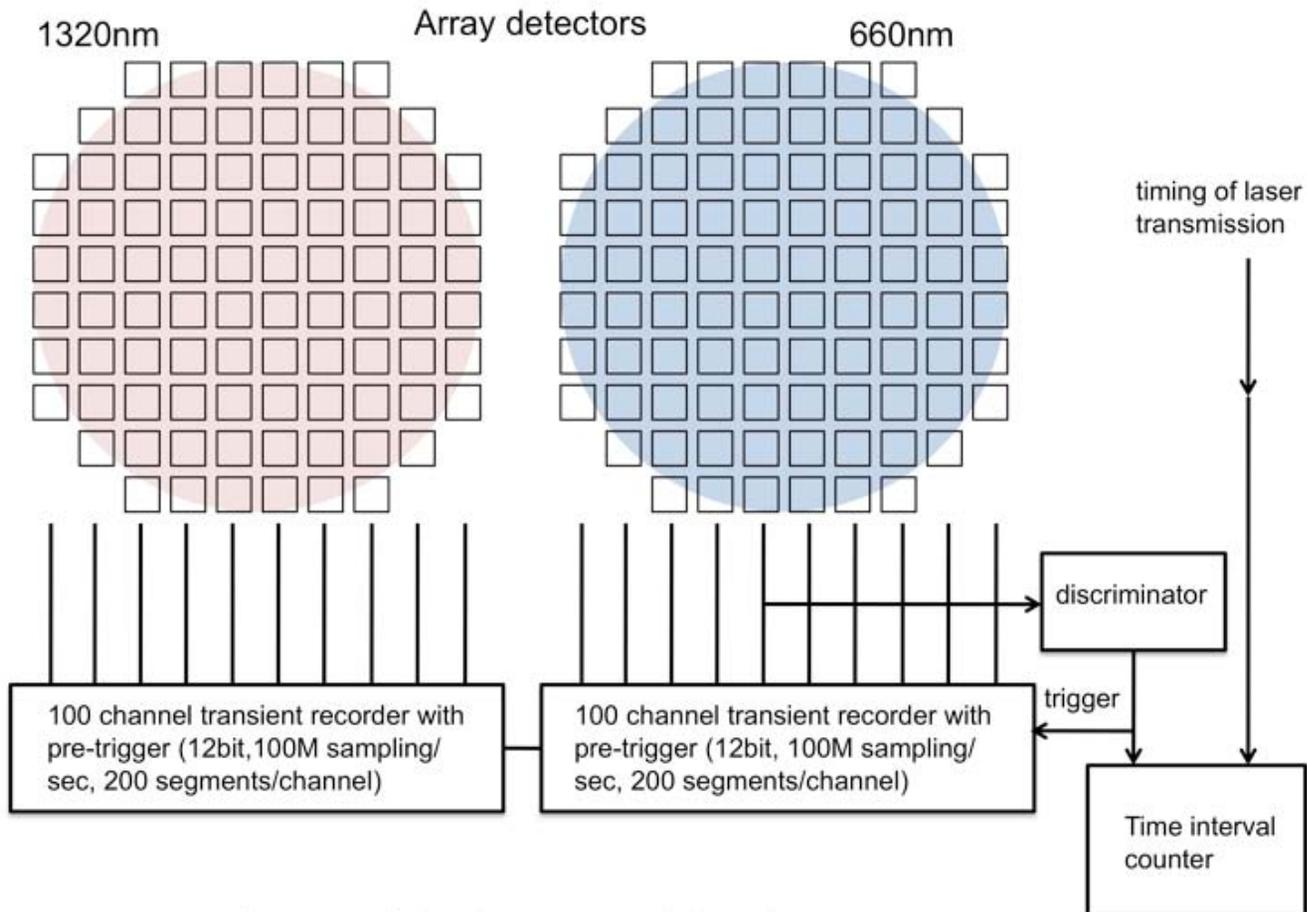
- 砂漠下での草、低木の識別や植生観測
- アクティブ海色観測が可能かも
 - (水深 5 m 程度までの植物性プランクトン)

5 . 具体的な話

Block diagram of ISS-JEM LOVES



2D-Detector array

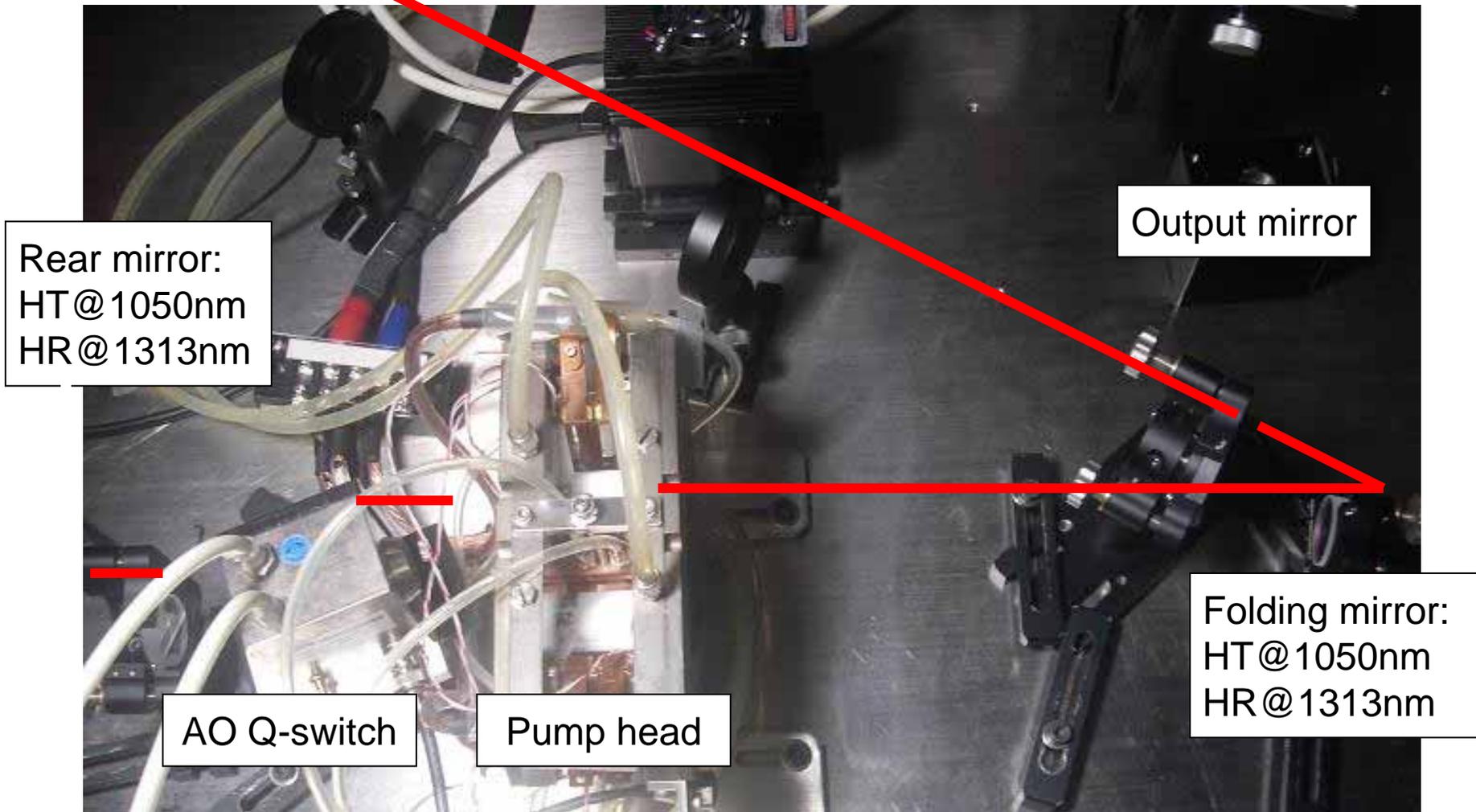


Concept of the detectors and signal processor

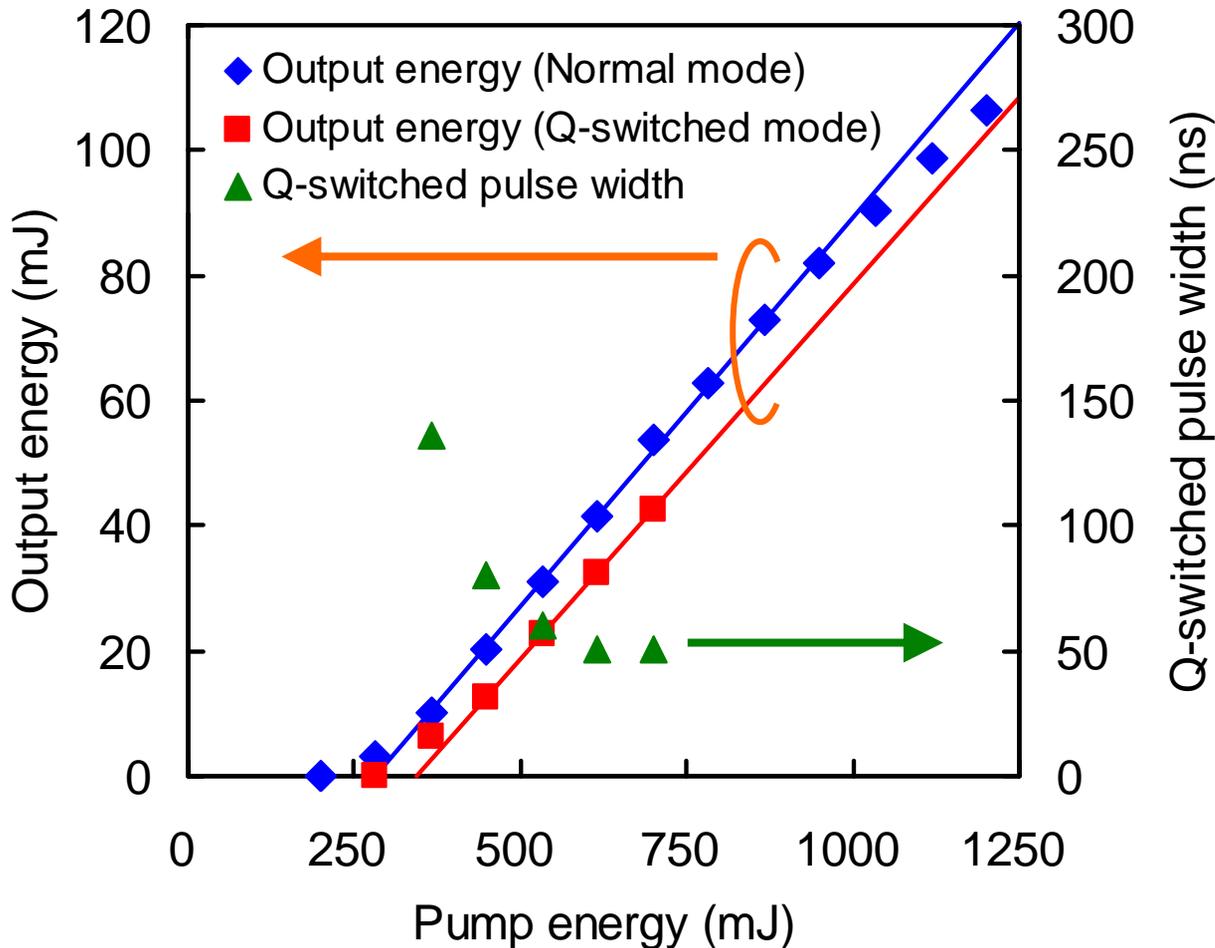
Specification

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		Fundamental	SHG	
	Wavelength	1320nm : Near IR Band	660nm : Red Band	
	Output energy	< 100 mJ	< 100 mJ	
	PRF	30 pps		
	Pulse width	< 5 nsec		
Telescope	Effective dia.	700 mm		
	Field of View	0.2 mrad		
Receiver	2D-array detector	multi-channel MT/APD	multi-channel MT/APD	

レーザ発振の予備実験@1320nm / 660nm



Q-switched laser performance



Operating condition

PRF: 5 Hz

Pump pulse: 240 μ s

Temperature: 18

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

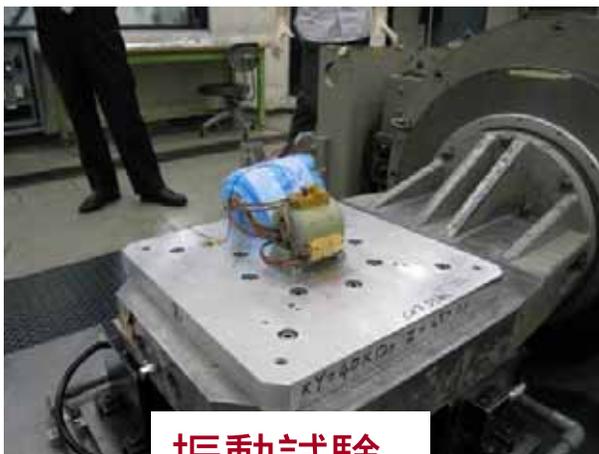
Slope efficiency: 11.8%

Conv. efficiency: 6.0%

(pump = 700 mJ)

伝導冷却型レーザヘッド試作 at NICT

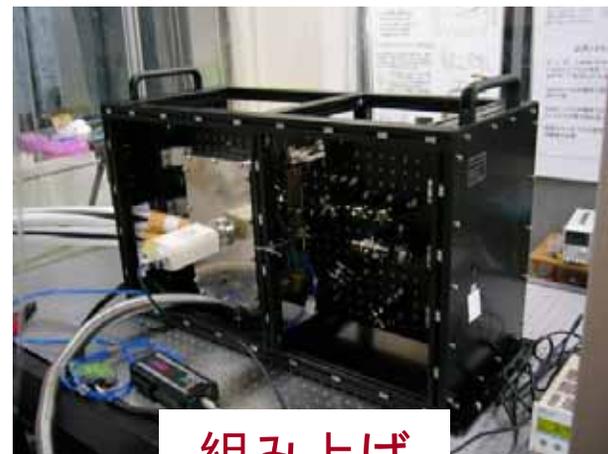
NICTでは、航空機搭載型 CO₂ DIAL/Wind Doppler lidarの開発を進めている。
今回のISS-JEM・植生ライダー提案に際しては、伝導冷却型レーザに関する技術をメーカーへの移転技術をお願いしたが、NICTから快諾を得ている。



振動試験

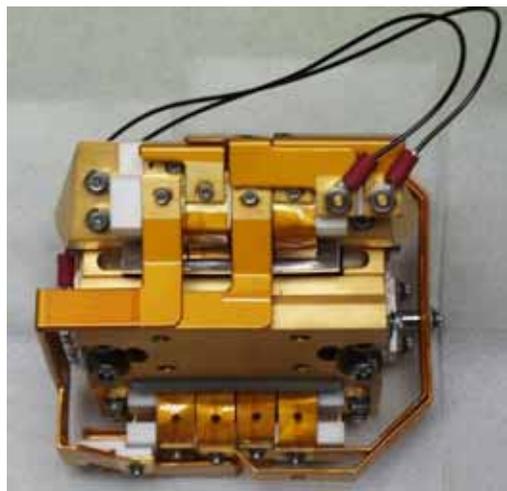
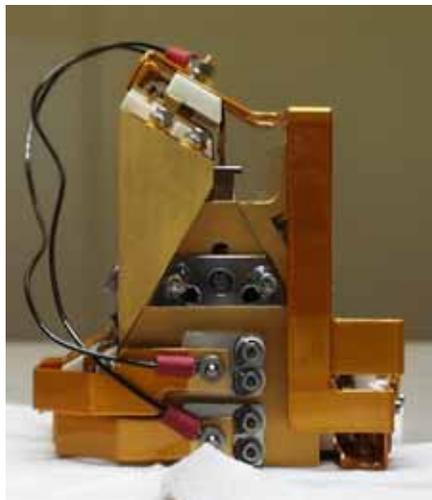


真空試験



組み上げ

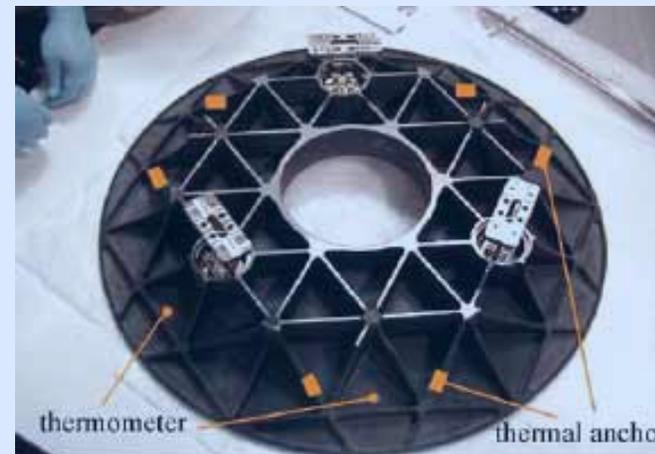
ちなみに ELISE / MDS - 2のレーザ送信機部



IEEE Geoscience Remote
Sensing Symposium 2000,
Hawaii, July 24 - 27, 2000

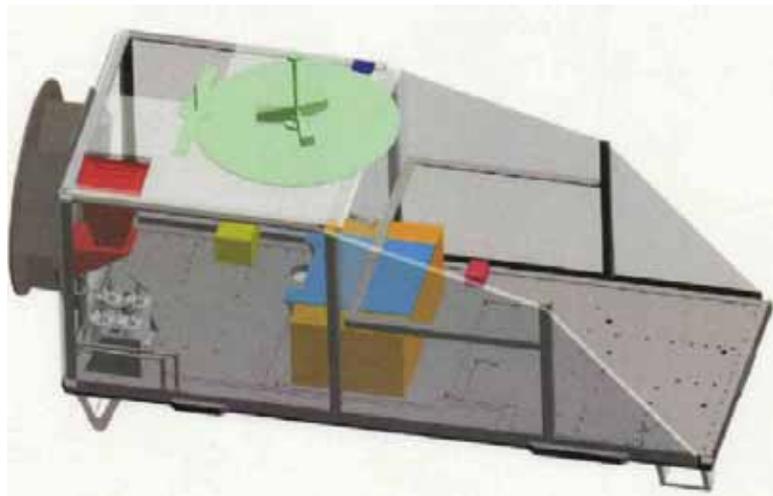
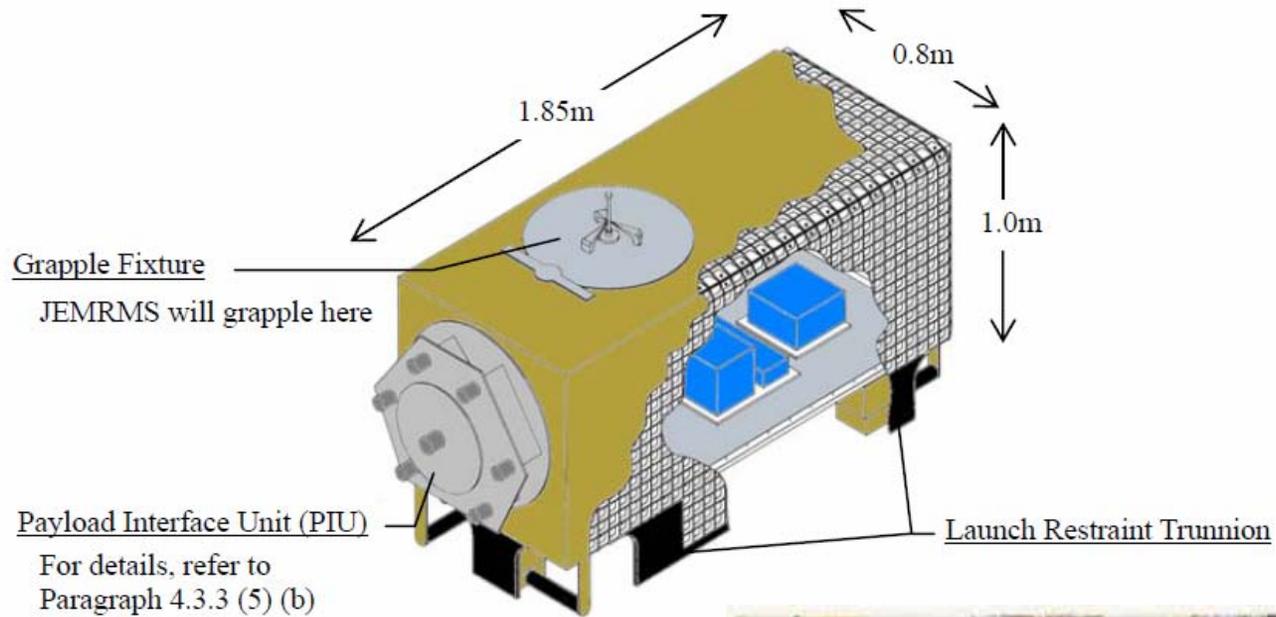


MDS - 2 / ELISE
ベリリウム受信望遠鏡、
口径1m

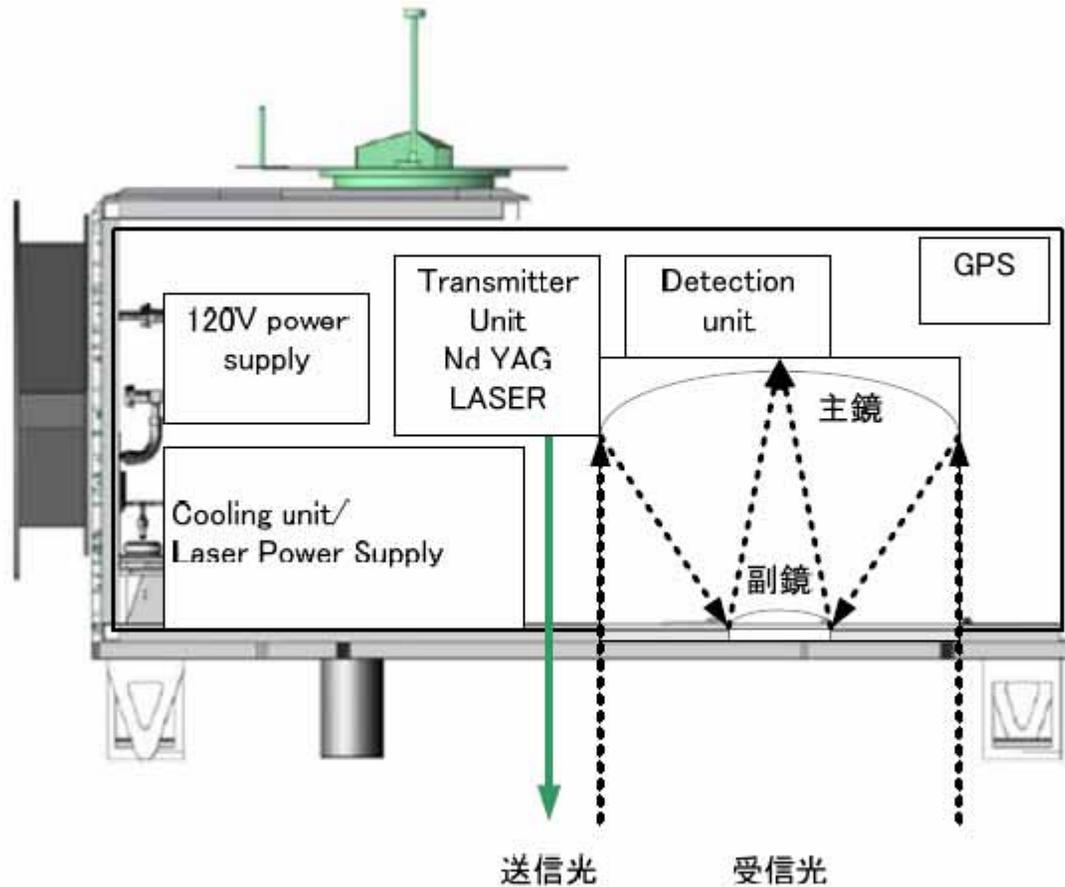


ASTRO-F「あかり」、SiC受信望遠鏡、口径0.7m

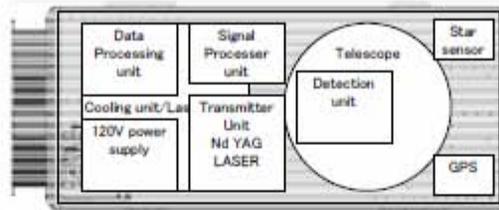
Standard EF payload



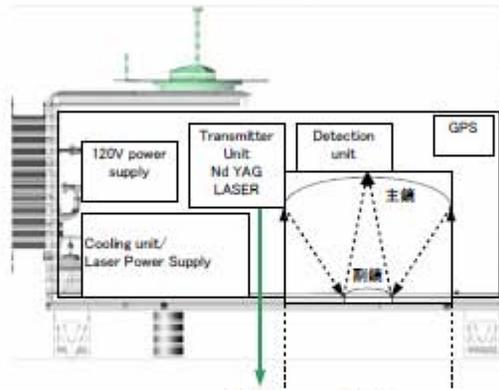
JEM-EF搭載・植生ライダー(JEM LOVES) 概念図



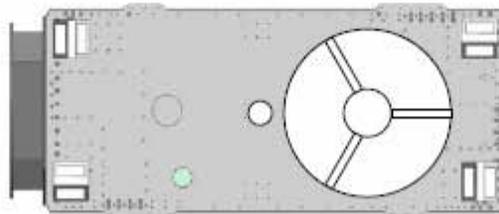
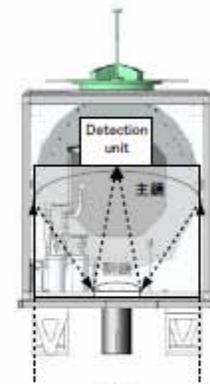
JEM-EF搭載・植生ライダー 機器配置案



上面

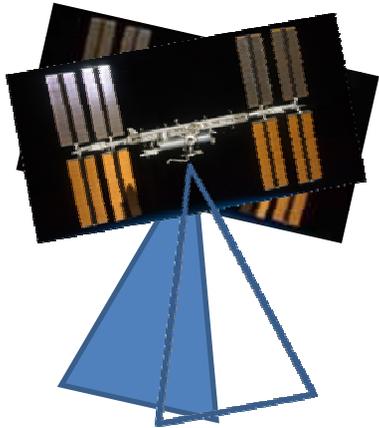


側面



下面

ISSの姿勢変化 / 高度変化が及ぼす 観測モードへの影響



	光軸への影響	
ピッチ角変化	高度330km	高度440km
+/-3.5 °	+/-600m	+/-800m
+/-10 °	+/-5.1km	+/-6.8km

飛行高度の変化		ビーム広がり 0.15mrad	ビーム広がり 0.2mrad	ビーム広がり 0.25mrad	ビーム広がり 0.3mrad
330km	直径(m)	50	66	83	99
	面積(m ²)	1924	3421	5346	7698
	エネルギー密度(J/m ²)	5.20E-05	2.92E-05	1.87E-05	1.30E-05
385km	直径(m)	58	77	96	116
	面積(m ²)	2619	4657	7276	10477
	エネルギー密度(J/m ²)	3.82E-05	2.15E-05	1.37E-05	9.54E-06
440km	直径(m)	66	88	110	132
	面積(m ²)	3421	6082	9503	13685
	エネルギー密度(J/m ²)	2.92E-05	1.64E-05	1.05E-05	7.31E-06

Criteria for conceptual studies

Weight	<<500 kg	no problem
Dimension	0.8 m(W) x 1.0 m(H) x1.85m(L)	no problem
Consumption Electric Power	3kw>>>>350watts	no problem
Data rate	6Mbps	problem but OK

	mから	mまで	分解能(m)	Kbps
under sea level	500	3000	15	50
	500	0	0.75	200
above sea level	0	500	0.75	200
	500	9000	15	170
	9000	20000	50	66
	20000	35000	1050	4
	100000	130000	1050	9
			Total	699

Maximu data rate	10000000bps		Total(Mbps)	
mergin	0.1			
Detector Pixel	25	0.4	Mbps/pixel	17
	16	0.625	Mbps/pixel	11
	9	1.1	Mbps/pixel	6

衛星搭載ライダー サイエンスチーム会議スケジュール

- 10月26日 第1回 キックオフ
- 12月14日 第2回 目次案、担当等
- 2月中旬 第3回
- 3月下旬 第4回 報告書原案（概ね50ページ）

「衛星搭載植生ライダー・サイエンス検討報告書」を4月中頃までに、「新規ミッション検討委員会」に提出。

植生ライダー「サイエンスチーム」

名前	所属
小熊宏之(委員)	国立環境研究所・地球環境研究センター、主任研究員
三枝信子(委員)	国立環境研究所・地球環境研究センター、陸域モニタリング推進室長
沢田治雄(委員)	東京大学生産技術研究所 都市基盤安全工学国際研究センター、教授
杉本伸夫(委員)	国立環境研究所 大気圏環境研究領域、遠隔計測研究室長
鷹尾 元(委員)	森林総合研究所、 森林管理研究領域チーム長
平田泰雅(委員)	森林総合研究所、 温暖化対応推進室長
水谷耕平(委員)	情報通信研究機構・電磁波計測研究センター、 環境情報センシング・ネットワーク、研究マネージャー
浅井和弘(委員)	東北工業大学 工学部環境情報工学科、教授
石井昌憲(幹事)	情報通信研究機構・電磁波計測センター、 環境情報センシングネットワーク、主任研究員
西澤智明(幹事)	国立環境研究所・大気圏環境研究領域、遠隔計測研究室 特別研究員

全体討議の内容、

1. 衛星搭載・植生ライダーによる観測は、植生研究・炭素収支研究・林業応用・生態系保護などに、どの程度のインパクトが期待されるか？
2. ISS - JEM - EF搭載・植生ライダーの場合、上記インパクトにどの程度の変化がありそうか？
3. 2015年～2016年の打ち上げは可能か？
4. 本会議の名称を“衛星搭載” “ISS - JEM - EF搭載”とし、今後の議論を

Carbon fixation and storage in Siberian forest

H.Sawada with FFPRI, Hokkaido Univ.,

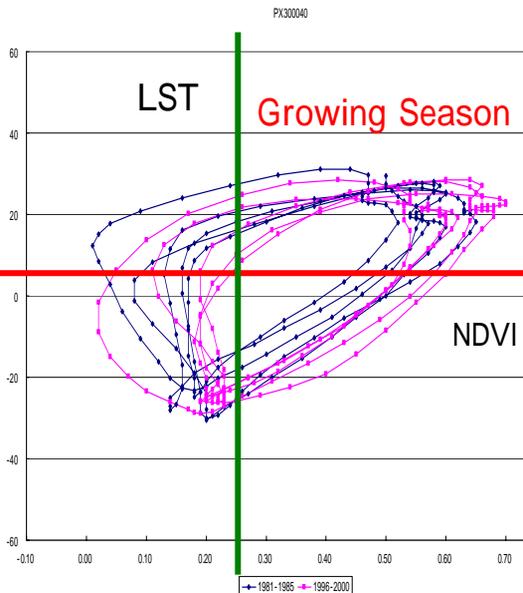
FRI

Objectives:

1) To estimate carbon fixation of whole Siberia in global scale

2) To estimate Carbon storage as biomass and soil

NDVI and LST for 20 years with 10 day interval



3) To determine the impact of forest fire



Emission of CO₂ by fire

Degradation of photosynthesis

コスタリカ熱帯多雨林でのLiDAR計測

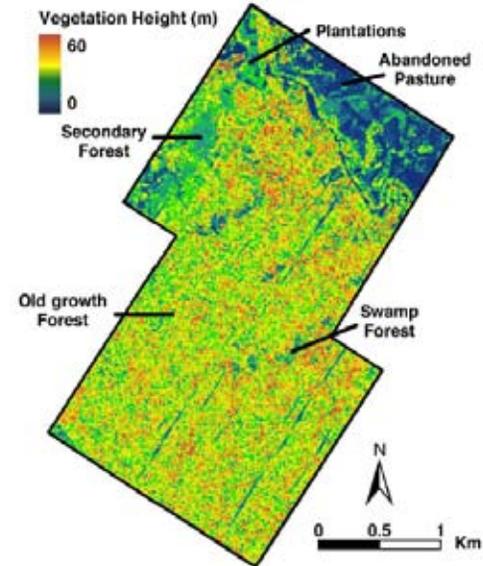


0 0.5 1 2 Km

- Lidar data extent
- Rivers
- Land Use**
- ▨ Developed Areas
- ▧ Selectively-logged Forest
- Old-growth Forest
- ▩ Secondary Forest
- Abandoned Pasture
- ▤ Agroforestry Plantation
- ▦ Swamp Forest

Discrete LiDARによる樹高マップ
10 cm-Footprint; 9 points/m²

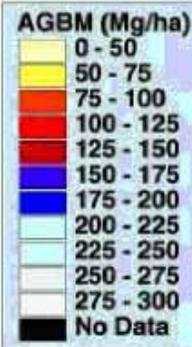
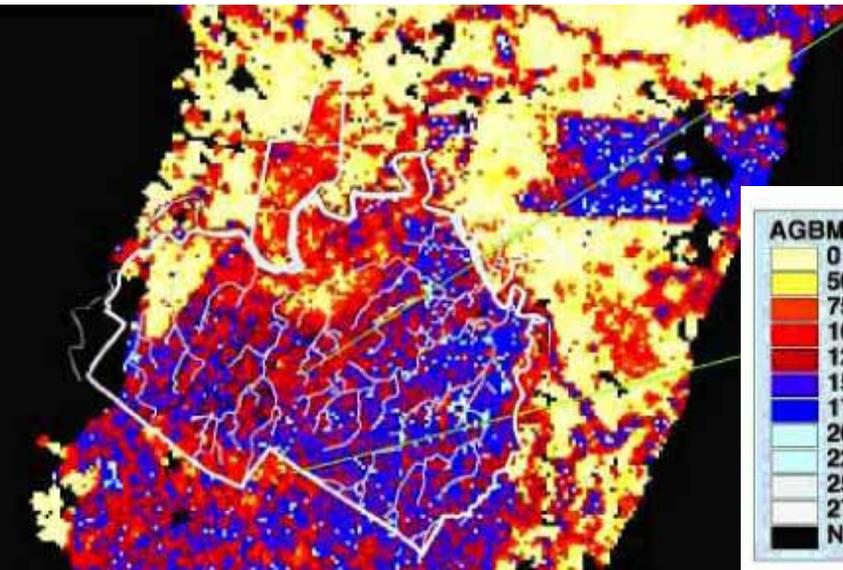
Clark et al.(2004)



Waveform LiDARによる炭素蓄積量マップ

LVIS: 25m-Footprint; 2km-sawth

Drake et al.(2002)



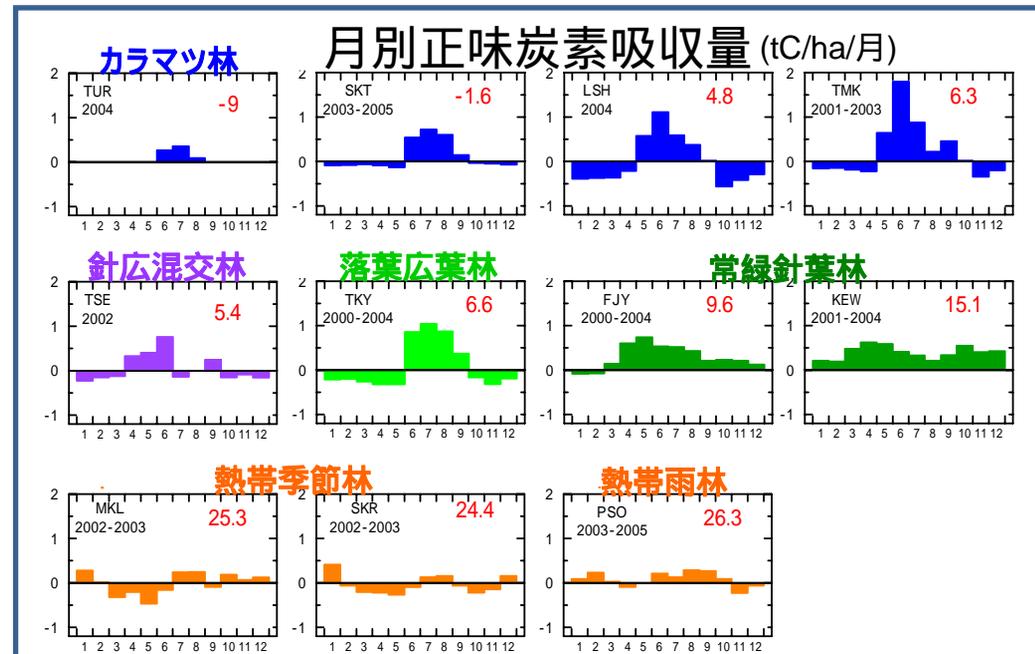
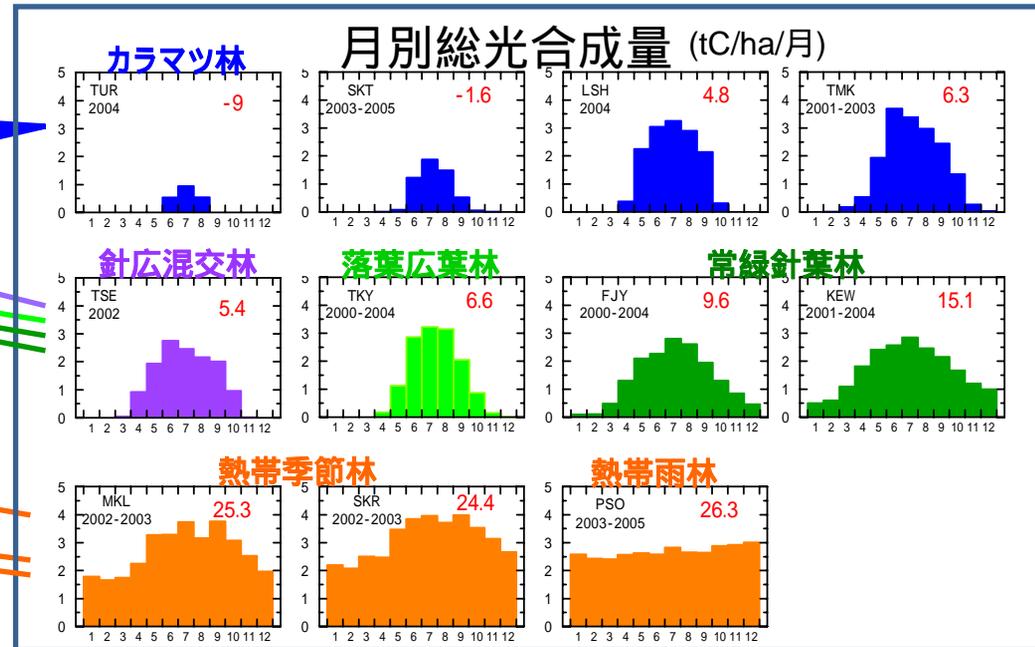
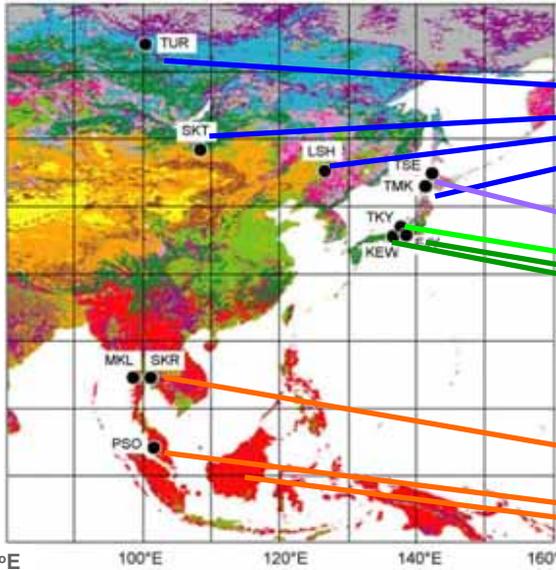
・平均樹高約45mの老齢林でも精度良く樹高が推定可能

RMSE=4.15m (For emergent trees)



情報の少ない熱帯林で、光学センサの参照データとして十分耐えうる精度

アジア各地の森林における炭素収支の空間分布



- 気候帯と森林タイプ(常緑・落葉)に応じて炭素収支の季節変化パターンが異なります。
- 落葉林は常緑林に比べ短い生育期間に集中的に吸収します。
- (非攪乱の)熱帯林は吸収と放出がほぼバランスし季節変化も微小です。

おわり