



創造から競争へ—仙台からの挑戦
東北工業大学



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

Chiba University
千葉大学



国立大学法人
岐阜大学



京都大学 ★

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



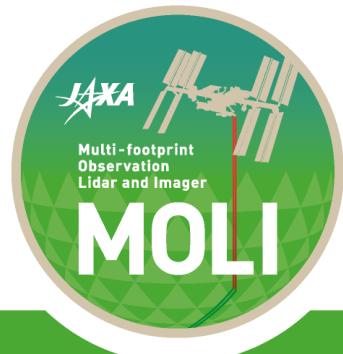
宇宙航空研究開発機構
Japan Aerospace Exploration Agency

RESTEC
リモートセンシング
技術センター

宇宙ステーションISS-JEM搭載 植生ライダーミッション(MOLI)

*浅井 和弘¹、平田 泰雅²、鷹尾 元²、本多 嘉明³、梶原 康司³、栗屋 善雄⁴、須崎 純一⁵、遠藤 貴宏⁶、杉本 伸夫⁷、西澤 智明⁷、石井 昌憲⁸、水谷 耕平¹⁰、
今井 正⁹、澤田 義人⁹、林 真智⁹、境澤 大亮⁹、三橋 恵⁹

- 1.東北工業大学、2.森林総合研究所、3.千葉大学、4.岐阜大学、5.京都大学、
- 6.リモート・センシング技術センター、7.国立環境研究所、
- 8.東京都立大学、9.宇宙航空研究開発機構、10.情報通信研究機構



MOLIミッションの目的と目標

目的：将来の地球観測に必要とされるライダー技術とその観測手法の研究開発

目標1. 高精度森林観測データの取得/利用 ⇒ IPCC2022, SDG's, REDD+, 生物多様性

CO₂吸収源である森林の林冠高、バイオマスを高精度に推定する観測手法を研究開発し、気候変動等の地球規模課題解決に貢献

目標2. 三次元地図高精度化の技術実証 ⇒ 統合型G空間防災・減災システム

地盤面高さ情報を取得し、産業、防災に利用される数値地形モデル(DTM: Digital Terrain Model)の高精度化を実証

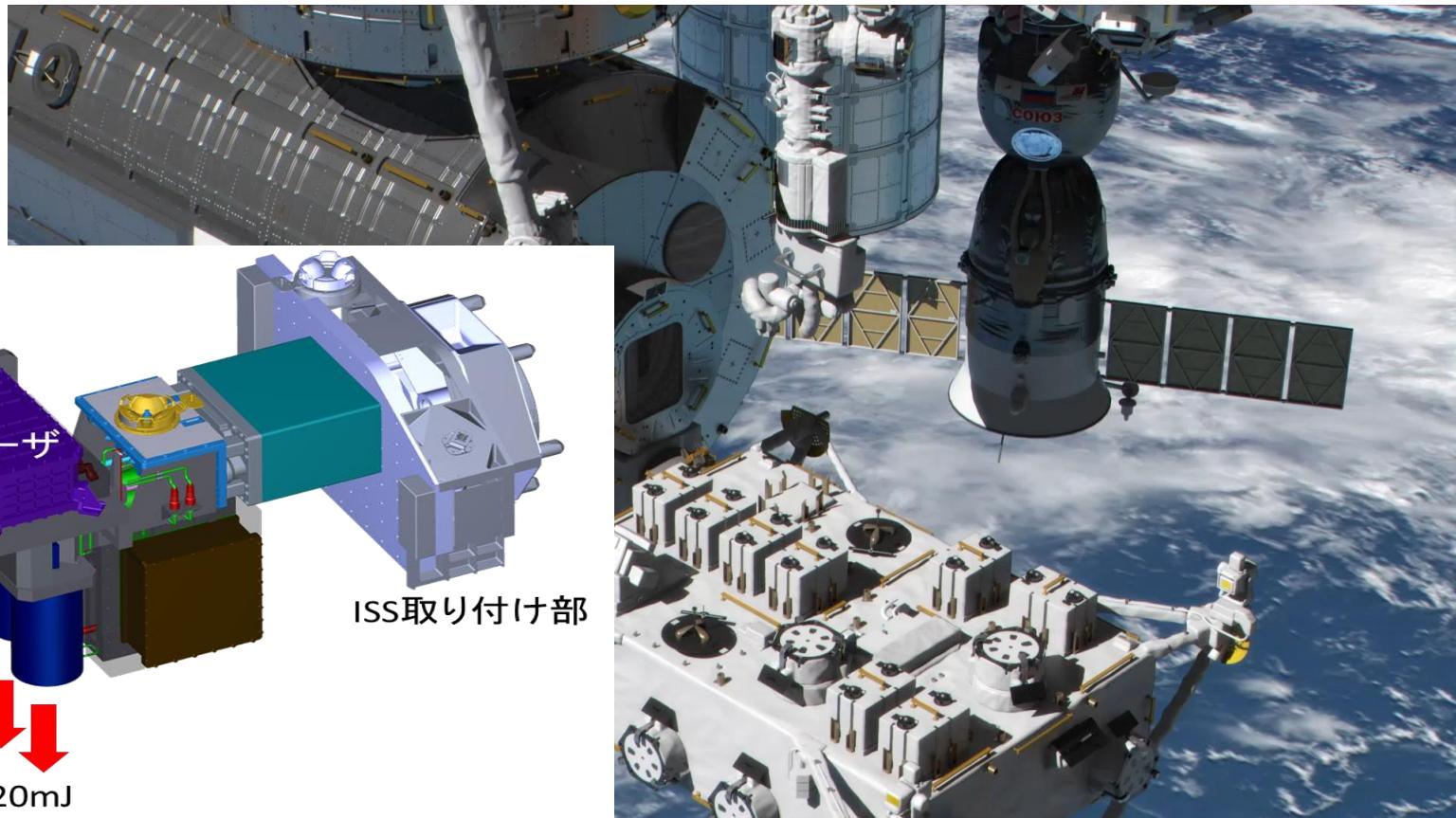
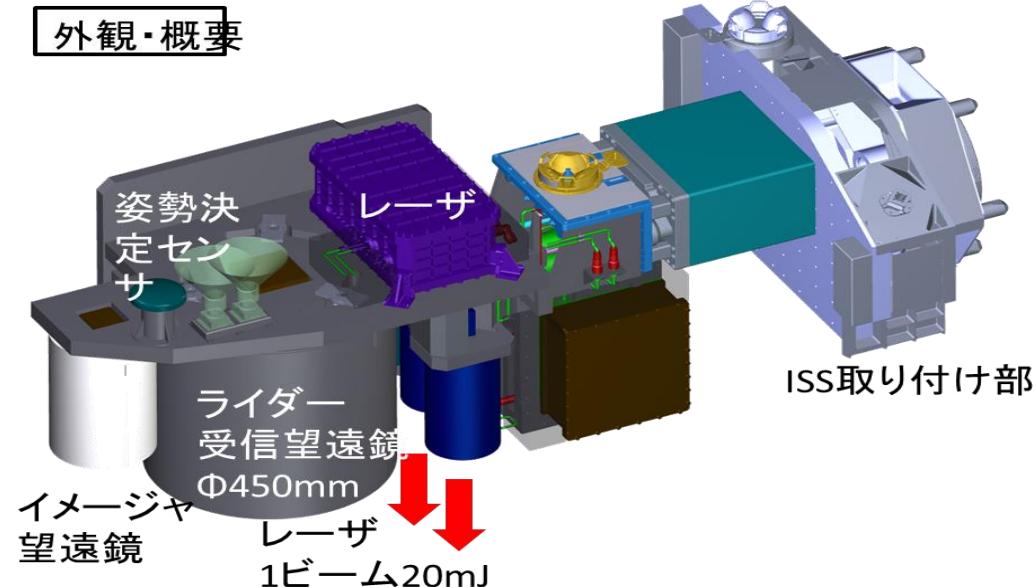
目標3. 宇宙用地球観測ライダー技術の基盤確立

幅広い利用が期待される将来ライダー(風観測、CO₂濃度、H₂O濃度など)の実現に向けた基盤技術を確立

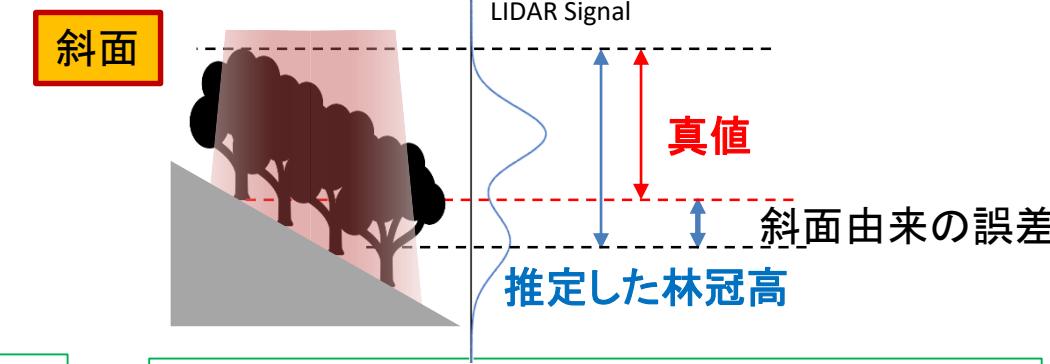
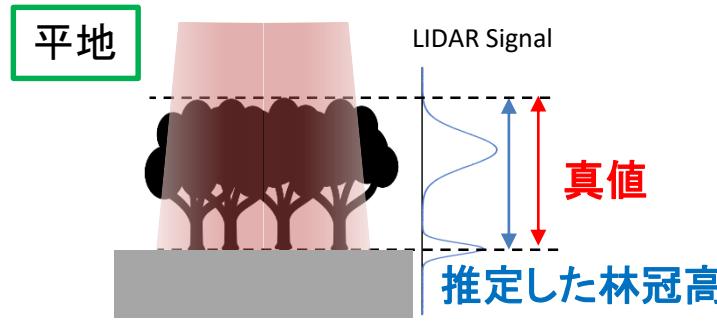


MOLIミッションの概要

- MOLI (Multi-footprint Observation Lidar and Imager)
 - 国際宇宙ステーションきぼう曝露部に取付
 - 太陽非同期、軌道傾斜角 51.6度、高度 400km
- 搭載センサ
 - DTM、DSM測距ライダー
 - 樹木位置判別・樹冠状態確認用イメージヤ
- 観測対象
 - ISS直下の陸域
- 打上げ
 - 2024年度予定

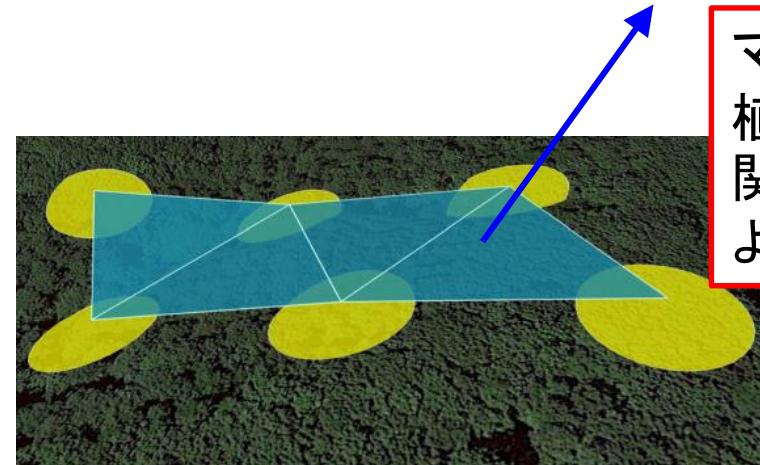
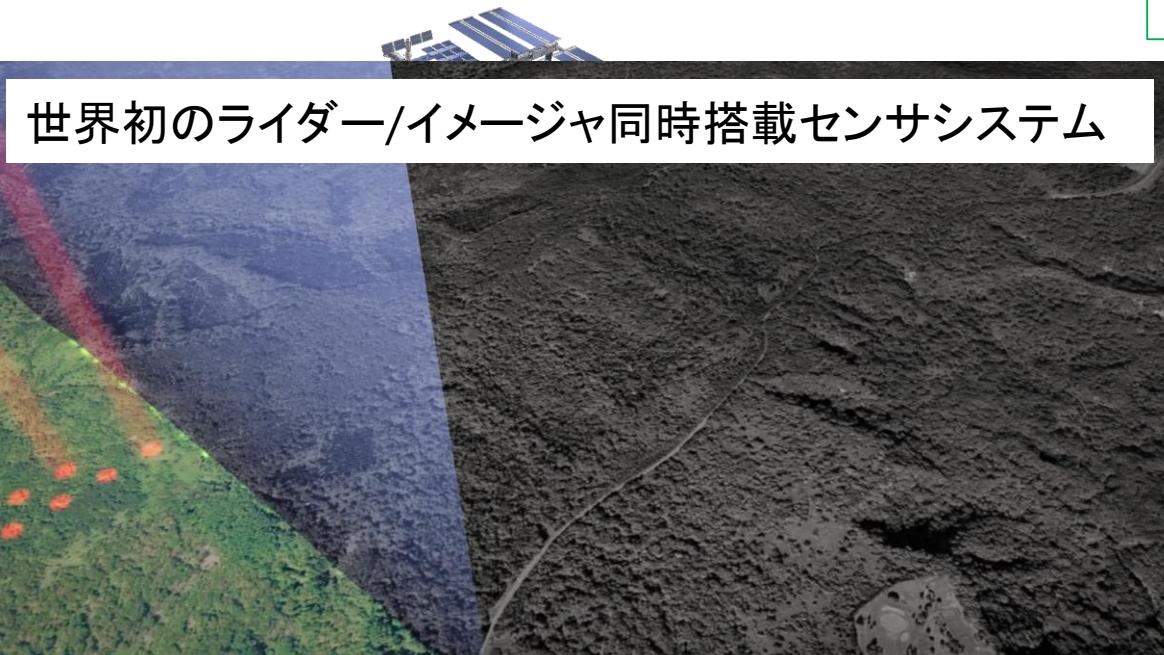


MOLIで提案した地盤傾斜に起因する林冠高誤差の解決



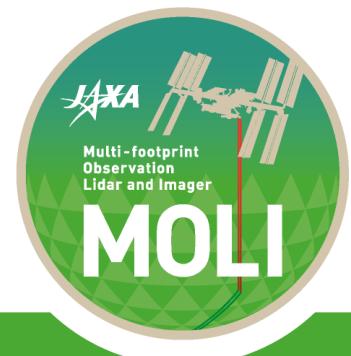
林冠高 = 信号開始と終了の時間差

林冠高
= 信号開始・終了の時間差 + 斜面補正項

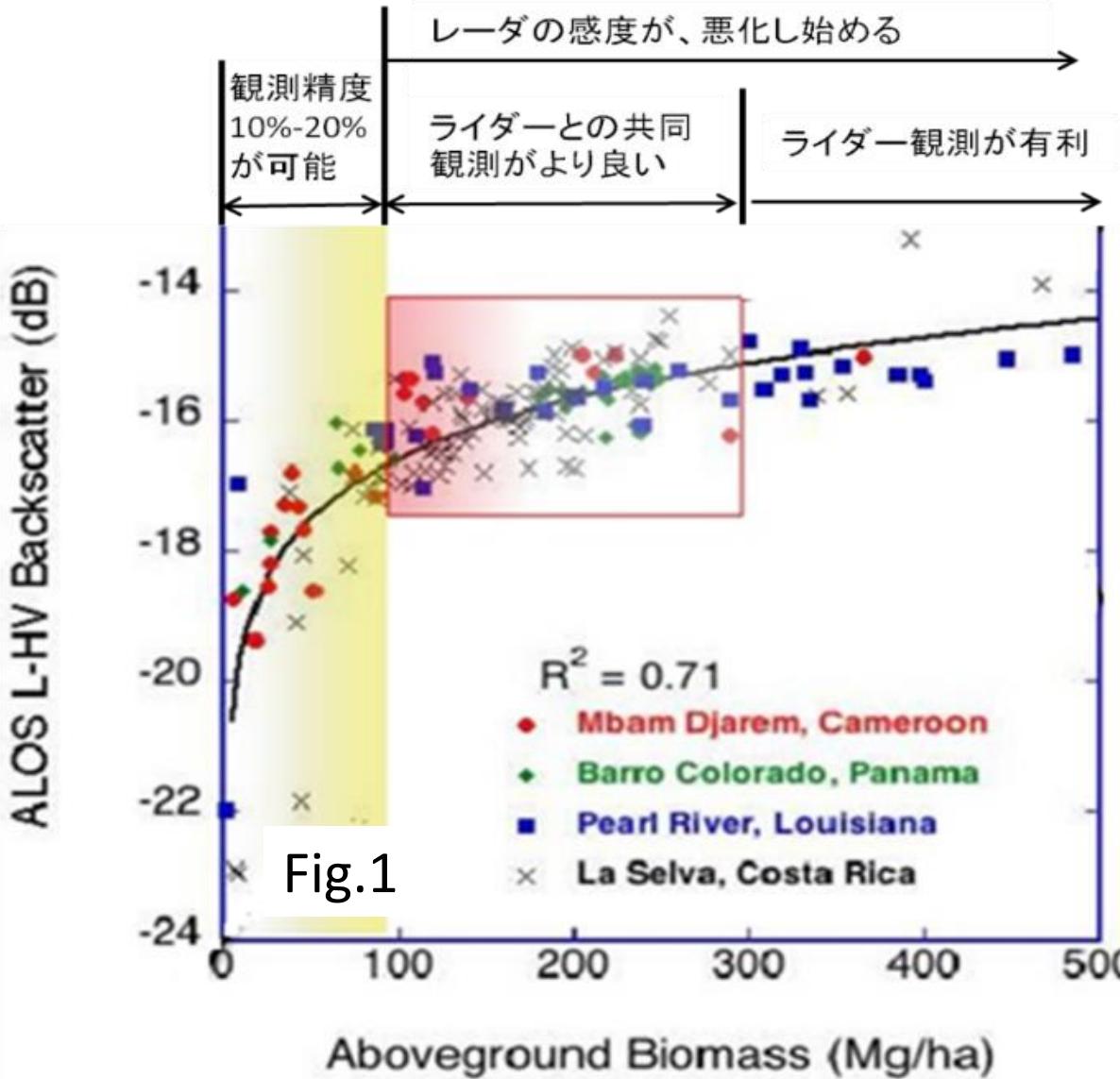


TIN (Triangulated Irregular Network: 不規則三角形網) モデルから斜面を推定

マルチフットプリントにより、
植生バイオマスに大きく
関係がある林冠高を
より高精度に推定



高密度な熱帯林域観測での合成開口レーダとの補完性



合成開口レーダ (SAR)は、全球での森林バイオマス観測には欠かせないセンサーである。

- ・全天候観測が可能、
- ・リアルタイムで変化が抽出可能、
- ・しかし、高密度な熱帯林での受信後方散乱信号が飽和し正確な地上部バイオマス(AGB)の推定は難しい

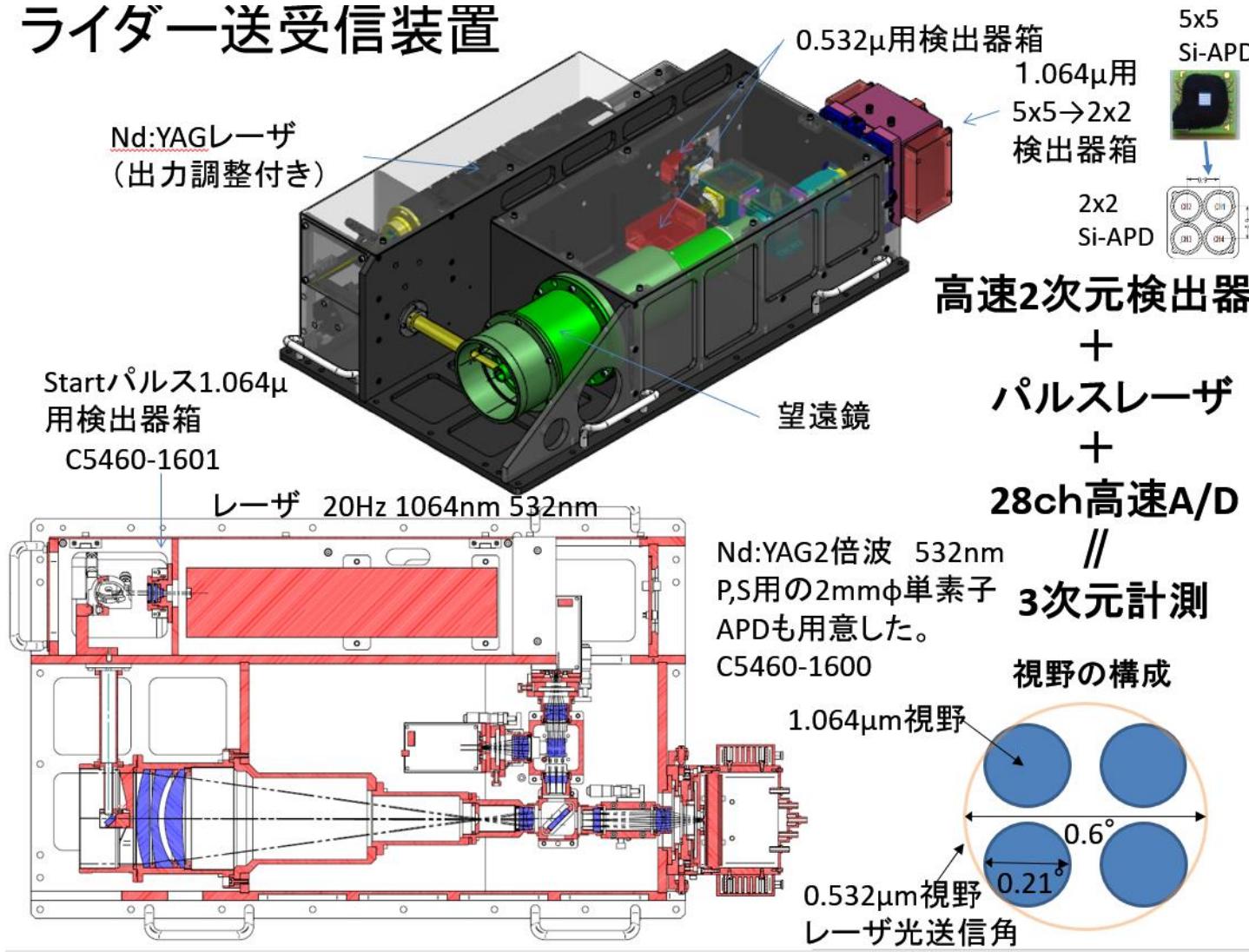
ライダーは全天候型センサーではないが、

- ・レーザ送信パルス幅が狭く(距離分解能<1m)、
- ・尖頭電力値が高い(高S/N比が可能)
- ・熱帯林でも、必ず林冠から正確な信号が戻る

ライダー/SARのハイブリッドセンシング技術により、高密度な熱帯林域でのAGB推定精度の改善が期待できる。

航空機搭載MOLIライダー

ライダー送受信装置



プロダクトに対するアルゴリズムの開発状況

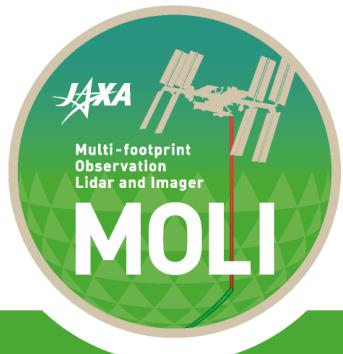
1. プロダクトの仕様と精度
2. 地上部バイオマス(AGB)
3. 林冠高
4. 生物多様性への応用
5. 地盤高(標高、傾斜)情報
6. 雲・エアロゾルの物理量



目標1(気候変動)

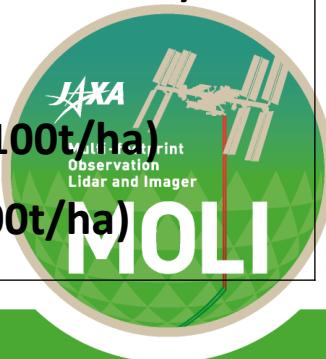
目標2(地盤高)

目標3(将来センサ)



MOLIプロダクトの仕様と精度

レベル	Product category	Products	精度等
L1B (標準)	Lidar footprint products	ライダー波形	位置情報、位置決定精度 15m(3σ)以下
	Imager product (1km swath)	画像データ (Red, Green, NIR)	幾何補正済
L2 (標準)	MOLIフットプリント 25mΦ 林冠高・バイオマス・地盤高	林冠高	±3m (Canopy Height is under 15m) ±20% (Canopy Height is over 15m)
		地上部森林バイオマス	±25t/ha (Biomass density is under 100t/ha) ±25% (Biomass density is over 100t/ha)
		地盤高	3m(RMSE)以下 (地表被覆率95%未満かつ 地盤面傾斜角30度未満) 5m(RMSE)以下 (上記以外)
L3 (研究)	MOLIイメージヤとの融合 (1km swath)	林冠高(1km)	<input type="radio"/> Canopy heights ±~5m (Canopy Height is under 15m) ±~40% (Canopy Height is over 15m)
		バイオマスマップ (1km)	<input type="radio"/> Forest biomass ±~40t/ha (Biomass density is under 100t/ha) ±~40% (Biomass density is over 100t/ha)
L4 (研究)	広域マップ (1/ha) (使用データ: SGLI、Landsat等)	林冠高マップ(広域)	
		バイオマスマップ(広域)	



林冠高/バイオマス算出アルゴリズム（目標1）

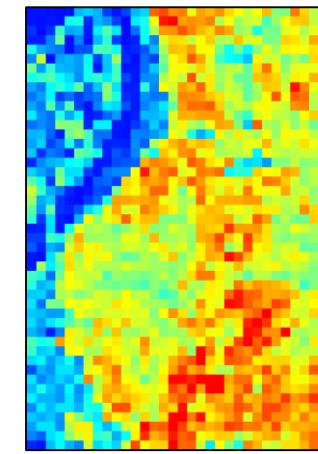
MOLIイメージヤ画像(5m分解能)



③画像全体
に適用

樹高
推定器

MOLI プロダクト: 樹高マップ(30~60m分解能)

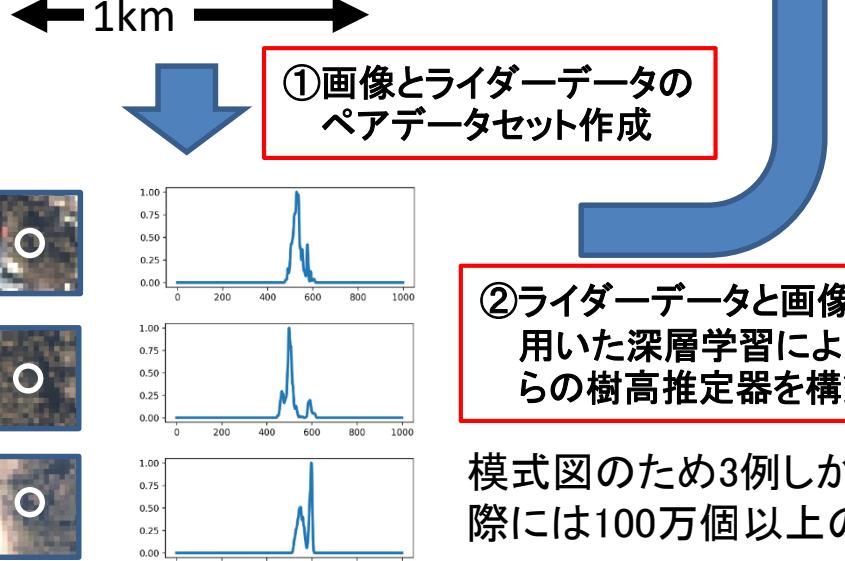


樹高(m)

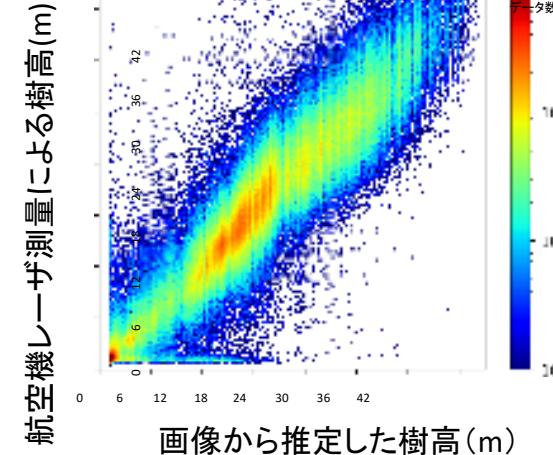
0 30

MOLIはライダーと同時観測するイメージヤを用いて樹高・バイオマス推定をフットプリント単位だけでなく面的に拡張するアルゴリズムを開発し、研究プロダクトとして公開する。

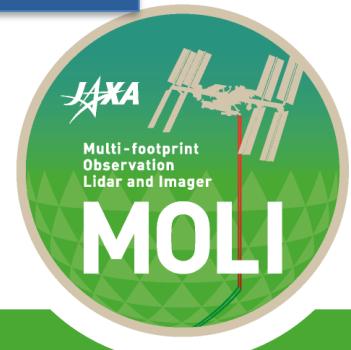
現在はシミュレーションデータを用いてアルゴリズムの開発を実施中



模式図のため3例しか示していないが、實際には100万個以上のペアデータセットを使用

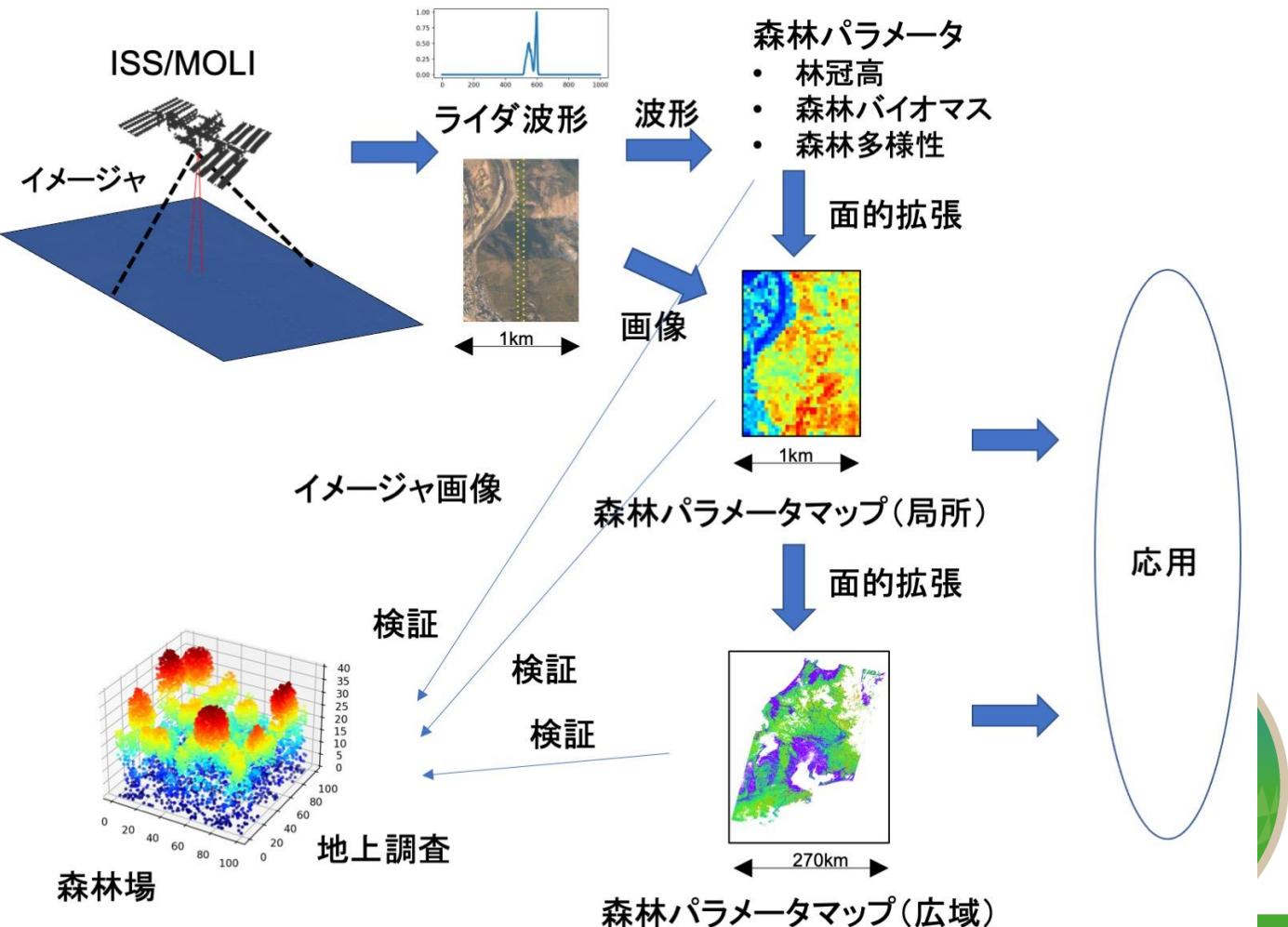


推定結果
RMSE=3.55m
 $r = 0.932$

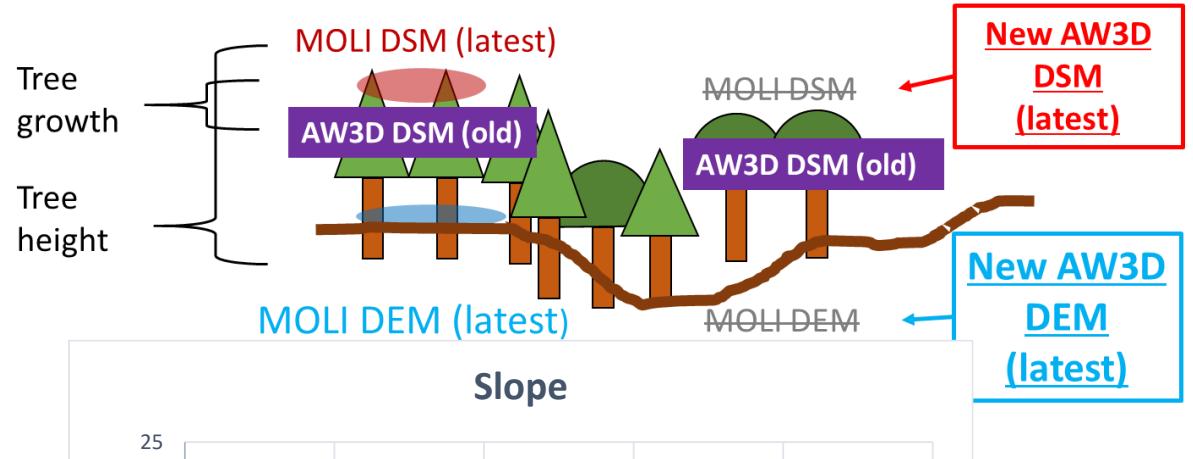


MOLIプロダクツ 生物多様性への応用（目標1）

- ・気候変動に対し、森林の多面的機能発揮のためには生物多様性の保全が重要とされている
- ・そのため、全球規模で森林面積だけでなく、森林の「質」の評価が求められている
- ・森林の「質」の評価はSCI(Forest Structural Condition Index)が有効な指標であるとされている
- ・SCIはFHD(Foliage Height Diversity)とほぼ同じ量で、MOLIなどのライダー波形から求めることができる
- ・FHDはこれまで、生物多様性の指標として用いられてきた
- ・MOLIミッションでは、生物多様性応用の研究を進める

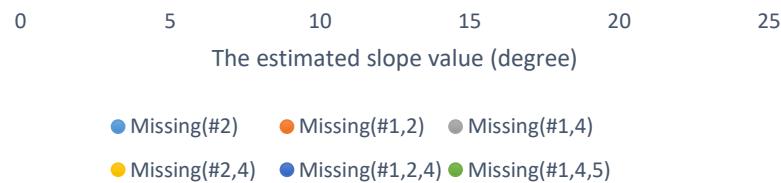


三次元地図高精度化の技術実証（目標2）

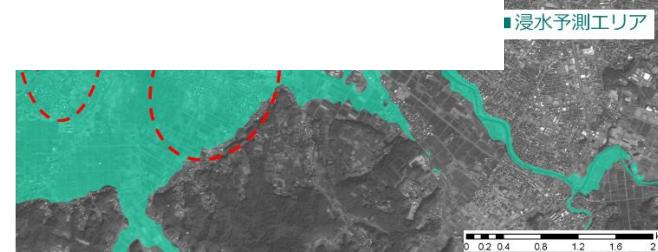
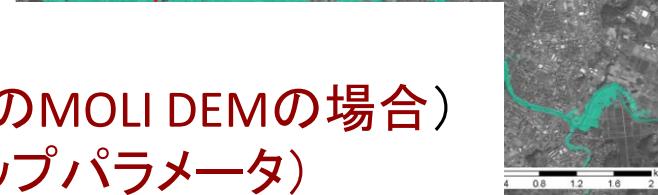
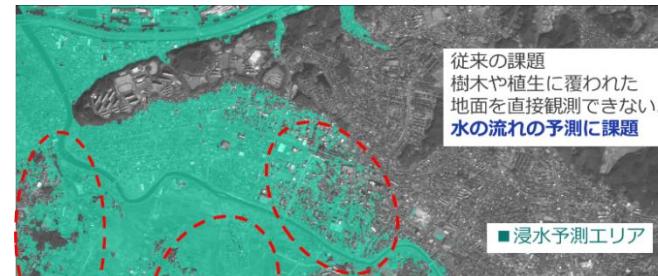


1. MOLI DSM(最新)-MOLI DEM(最新)=木の高さ
2. MOLI DSM(最新)-木の高さ=MOLI DEM(最新)*(DEMなしのMOLI DEMの場合)
3. MOLI DSM(最新)-AW3D DSM(旧)=木の成長(タイムギャップパラメータ)
4. AW3D DSM(旧)+樹木の成長=NEW AW3D DSM(最新)
5. NEW AW3D DSM(最新)-木の高さ=NEW AW3D DEM(最新)

*AW3D:ALOS World 3D



樹木や植生に覆われた森林域における3次元地図作成の技術課題の解決を図るとともに、防災をはじめとする多様な分野で活用される3次元地図の高精度化への取り組み



大気物理量(雲・エアロゾル)の取得アルゴリズム (目標3)

アルゴリズムの流れ

Supplement data
Meteorological parameter
(Pressure, Temperature)

MOLI
Lidar signal (P)

Data quality check

Signal smoothing

Theoretical computation

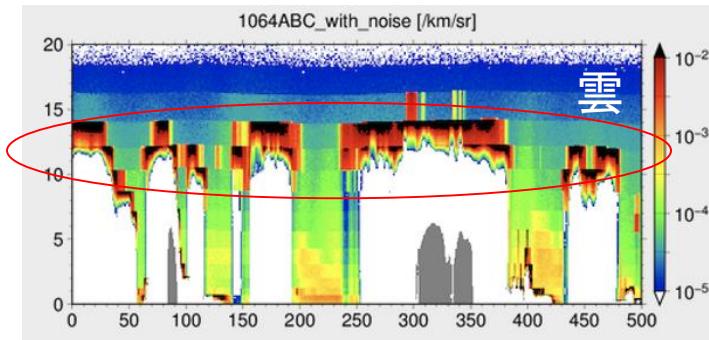
Calibration
(Retrieve C)

β_{atn}

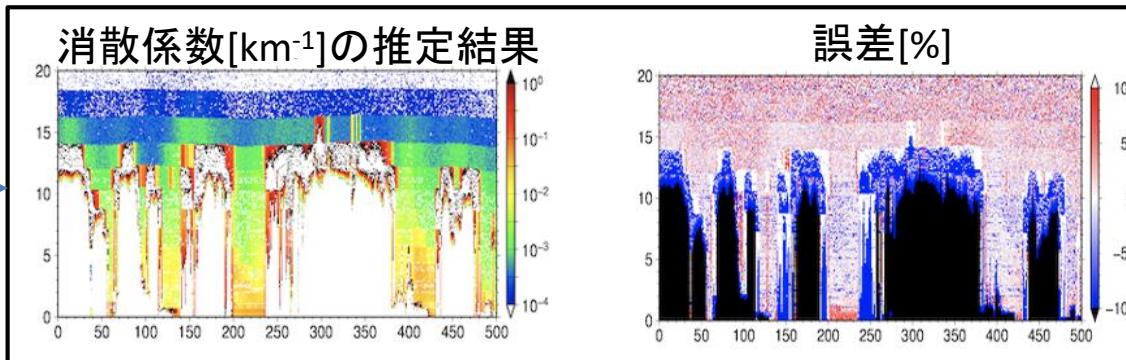
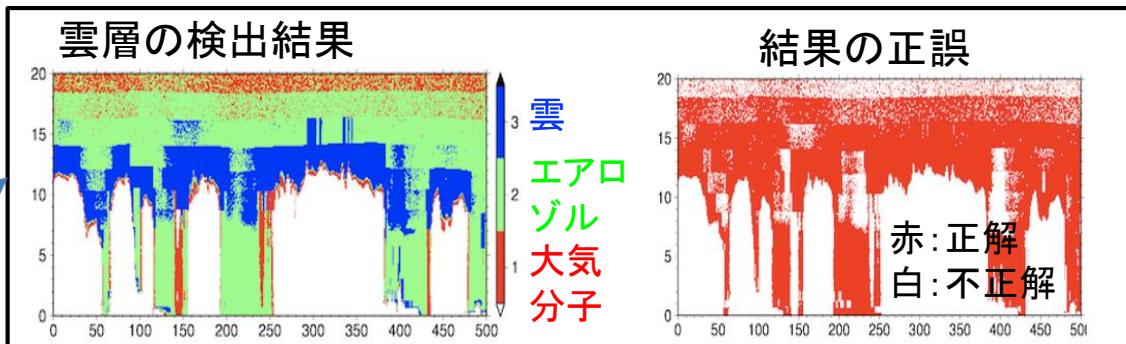
Cloud detection

Particular optical properties
✓ Backscatter/Extinction coefficient
✓ optical depth

作成したMOLI疑似信号(β_{atn})



- SPINTARS の出力を利用
- ランダムノイズを付加 (SN~10)



まとめ

- MOLIミッションは、全球3次元植生観測の継続性からも非常に意義が大きい



- 「MOLIミッション計画」が初めて令和3年度宇宙基本計画工程表に記載
- 2021年10月1日、JAXA研究開発部門内に「ISS搭載ライダー実証(MOLI)プロジェクトチーム」が発足し、現在、2022年度内でのプロジェクト移行を目指した準備が進行中
- 2024年度の打上げを目標に、更なるシステム検討とアルゴリズム開発が進められている