

ライダー観測の 研究開発状況について

平成30年9月28日

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
研究開発部門

1. 宇宙基本計画上の位置づけ

- 宇宙基本計画(平成28年4月1日閣議決定):

4.(2)①ii)衛星リモートセンシング」において、「今後、上記以外の新たなリモートセンシング衛星の開発及びセンサ技術の高度化に当たっては、我が国の技術的優位や、学術・ユーザーコミュニティからの要望、国際協力、外交戦略上の位置づけ等の観点を踏まえ、地球規模課題の解決や国民生活の向上への貢献など、出口が明確なものについて優先的に進める。」とされている。

- 宇宙基本計画の工程表改訂に向けた重点事項
(平成30年6月22日宇宙政策委員会):

「ライダー観測についても開発に向けた研究に着実に取り組む。」と明記されており、工程表にライダーに関する研究について盛り込む調整がなされている。

なお、日本学術会議からの提言「我が国の地球衛星観測のあり方について」(平成29年7月)を実現する方策を示す「地球観測グランドデザイン」(平成30年4月、TFリモセン分科会) 五つの選定ミッションのうち、ライダー観測技術(MOLI)が新規ミッションの第2候補に選ばれている

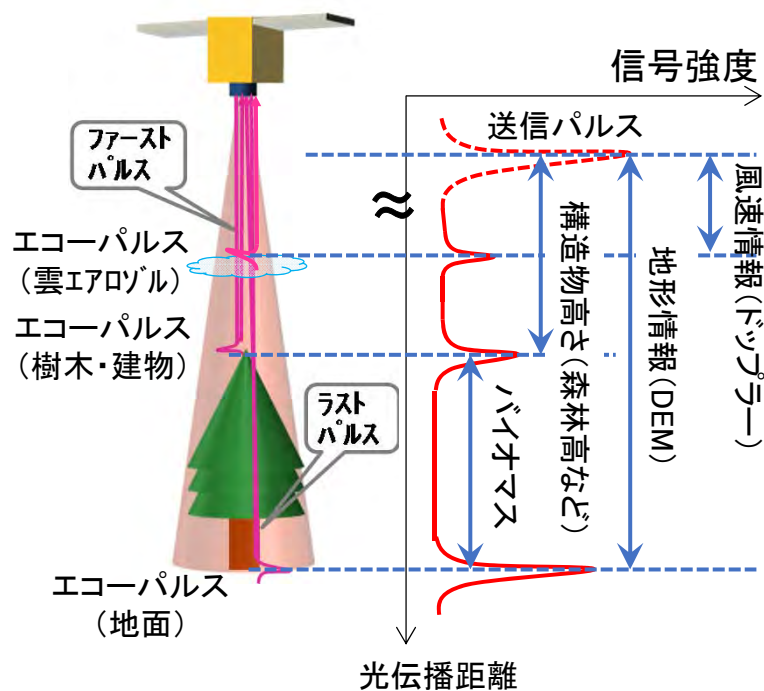
MOLI : Multi-footprint Observation Lidar and Imagerの略

2. 研究開発の目的と意義

ライダーの高精度な構造物の高さ計測機能と、L-band SAR等との統合利用により、森林バイオマス推定の高精度化(精度50%向上)を図り、パリ協定に基づくインベントリ(その中の吸収源)の高精度な情報提供等の可能性を実証する(植生ライダー)。また、宇宙用ライダーの実用化に向け長寿命化技術の実証(1年目標)を行う。

さらにレーザー光の走査技術、波長の高安定化を確立することで、①スキャン型ライダー、②ドップラーライダーの開発が可能になり、下記の社会課題への貢献が期待できる。

- ① cmクラスの地形情報(数値標高モデル:DEM)の整備
- ② 高精度な風向風速情報の取得による航空路予測の高精度化や大気・気象観測に用いる大気大循環モデルへの応用



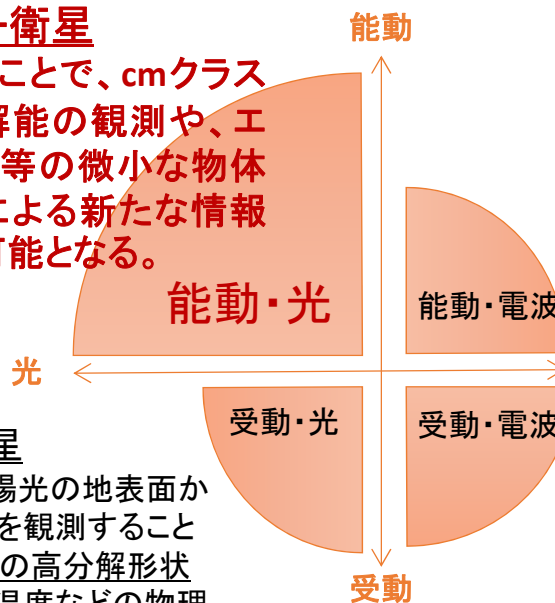
ライダー衛星

光を使うことで、cmクラス高度分解能の観測や、エアロゾル等の微小な物体の反射による新たな情報取得が可能となる。

光学衛星

原理: 太陽光の地表面から反射波を観測することで対象物の高分解形状観測や、温度などの物理状態を検出して識別する。

能動



レーダー衛星

原理: 電波の地表面、雲・雨からの反射波を連続的に観測することで地形、雲・雨の3次元分布を測定する。

放射計衛星

原理: 物体から放出される微弱な電磁波を観測することで、被雲によらず対象領域の温度、水蒸気量などの物理状態を検出する。

3. 森林バイオマス推定におけるライダー観測技術の貢献

植生ライダーの効果

- パリ協定で義務となっているインベントリ(CO₂吸収源)の情報提供
- REDD+ ※の検証手段の解決策として提案
- 炭素循環の把握に不可欠な森林炭素量情報の獲得 → 気候変動メカニズム解明、気候予測精度向上

人工衛星による森林バイオマスの測定のロードマップと技術的展開

L-band SAR観測
(本岡ら,2012)

観測信号強度

Year 2007 (red squares), Year 2009 (blue squares)

高密度領域で低感度

RMSE = 0.703 [tB]

森林バイオマス密度

SAR単体では高密度地域での観測精度確保が困難

Landsat等の光学衛星
別途、高さ情報が必要

ISS搭載植生ライダー(MOLI※)の導入

高精度な点観測 (ライダー) × 面的な情報 (光学画像、SAR)

↓

観測精度50%向上

CO₂吸収源でのうち、他要素より精度の劣る(誤差約2倍)森林バイオマスの推定精度を改善すれば、人為起源の排出量評価の確度が実用レベルになる。
→ **パリ協定に基づく活動が実効を伴うもの**にできる

ISSからの高精度観測

高精度な全球バイオマスマップ (Sawada et. al., 2015)

(参考)
MOLIで培った技術の将来展開

スキャン型ライダー

- ✓ 構造物高計測
 - 森林観測
 - 3次元地図の作成
 - i-Constructionの発展に寄与

ドップラーライダー

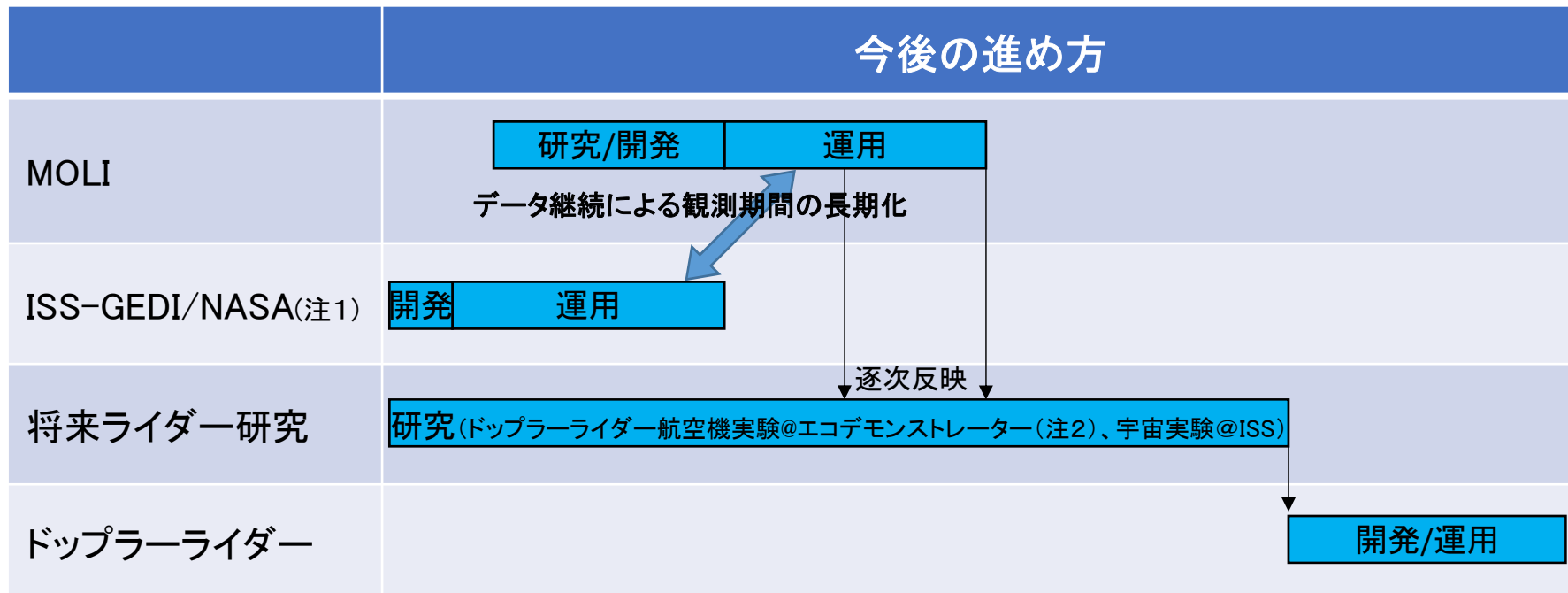
- ✓ 風向風速観測
 - 気象予報の高精度化
 - 航空機の航路最適化による燃料削減を実現

※MOLI: Multi-footprint Observation Lidar and Imager. ~ ISS/JEM(きぼう)の曝露部に搭載。クイックかつタイムリーな軌道上実証を目指す。

※REDD+: Reducing emissions from deforestation and forest degradation in developing countriesの略。国連の枠組みの下で、途上国の森林減少等の防止により地球温暖化を抑制する取り組み。

4. 研究計画

- MOLIについては、相乗効果が見込めるNASAのGEDI計画と連携し、利用価値を検証する。
- MOLIの技術成果は適宜ライダー技術の研究に反映し、実用センサに向けた技術の蓄積や、新たなセンサ(ドップラーライダー、スキャンライダー等)の研究開発に反映する。



(注1) ISS-GEDI/NASA: NASAがISSに搭載を計画している森林観測ライダー。2018年11月に打上予定。協力のLOIを締結済み。

(注2) エコデモストレーター: Boeing社が実施した将来アビオニクスの実験にJAXAの乱気流検知ドップラーライダーを搭載(2018)。



GEDIの概観図



きぼう曝露部に搭載されたGEDI

5. キー技術の研究状況



宇宙用高出力レーザーの長寿命化技術

- レーザ出力6W(現時点の世界最高クラス)で寿命1年が目標
- ドップラーライダーの実現にはさらに10~15Wの高出力化が必要

① レーザ焼損故障のメカニズム解明

- レーザの散乱光が光学系の構成材に当たりガスが発生
- 漂ったガスがレーザー光に照射されて化学変化を起こし光学素子表面に付着して蓄積
- 蓄積物の焼損による光学素子表面コーティングのダメージ

② メカニズムに対応した対策の実施

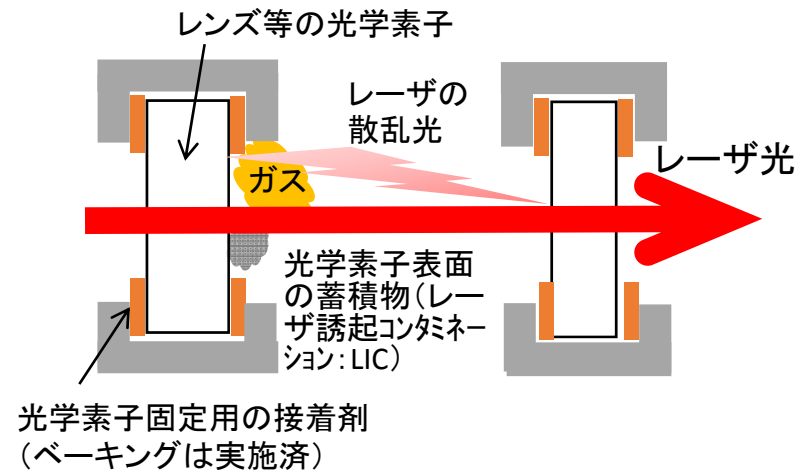
- ガス発生抑止のためにレーザーを与圧容器に封入(ガスの分解効果のある気体(酸素)で封入)
- ガスが発生しにくい接着剤を最小限の使用に留める設計
- レーザ光束の出力密度を小さくして、焼損の危険性を低減

③ 長寿命化の達成

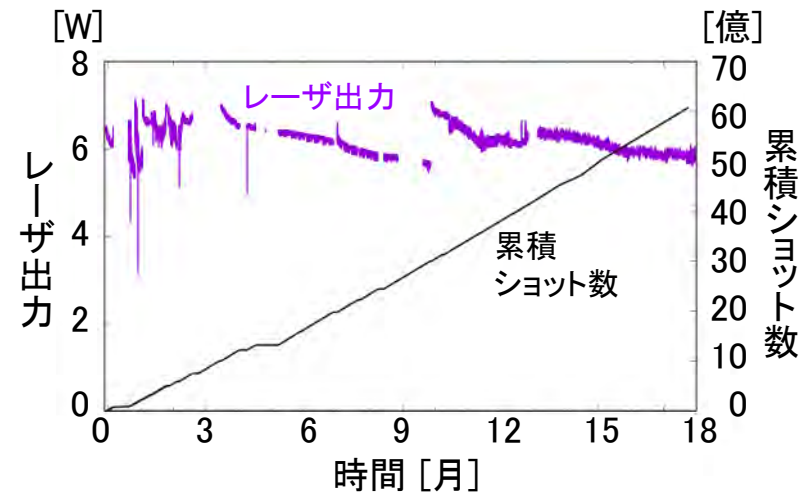
- 高出力パルスレーザー試作試験用モデル(BBM)(6Wクラス)で60億ショット(MOLIミッションの1.5年のショット数)に到達。ショット数は世界最高クラス

④ MOLI EM相当品の研究開発(2019年度実施予定)

- レーザBBMを小型・軽量化、耐振化し、地上試験モデル(EM)相当品を研究開発



レーザー焼損のメカニズム



レーザー出力の時間変化(レーザーBBM)

(補足資料)ドップラーライダーの利用構想

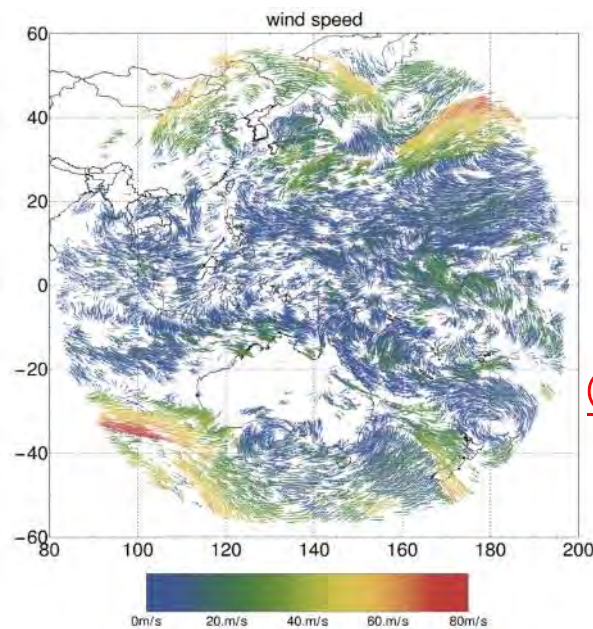


①風向風速データ

飛行経路最適化
システムへの利用



出典:
S-Booster2017 超
低高度衛星搭載
ドップラーライダー
による飛行経路・
高度最適化システ
ム構築



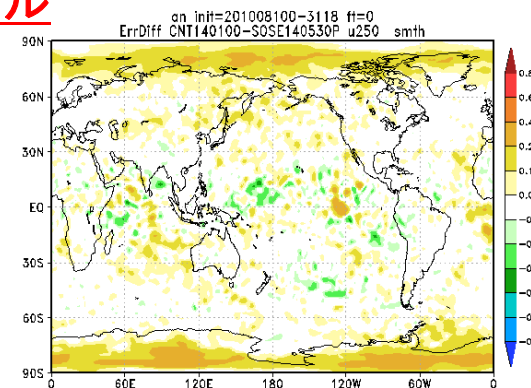
ドップラーライダーの効果

航路最適化による使用燃料の削減 (宇宙ビジネスアイデアコンテストS-Booster2017大賞受賞提案)

現在の予測誤差3~4m/sを1m/s改善し、航空機燃料を1%削減する

②大気大循環モデル

数値気象予報の
改良



ドップラーライダーデータによる風速予報値の改善効果例
(暖色系が改善効果が高い部分)

ドップラーライダーデータを用いて、

①風向風速データ

②大気大循環モデル

を全球で高精度化

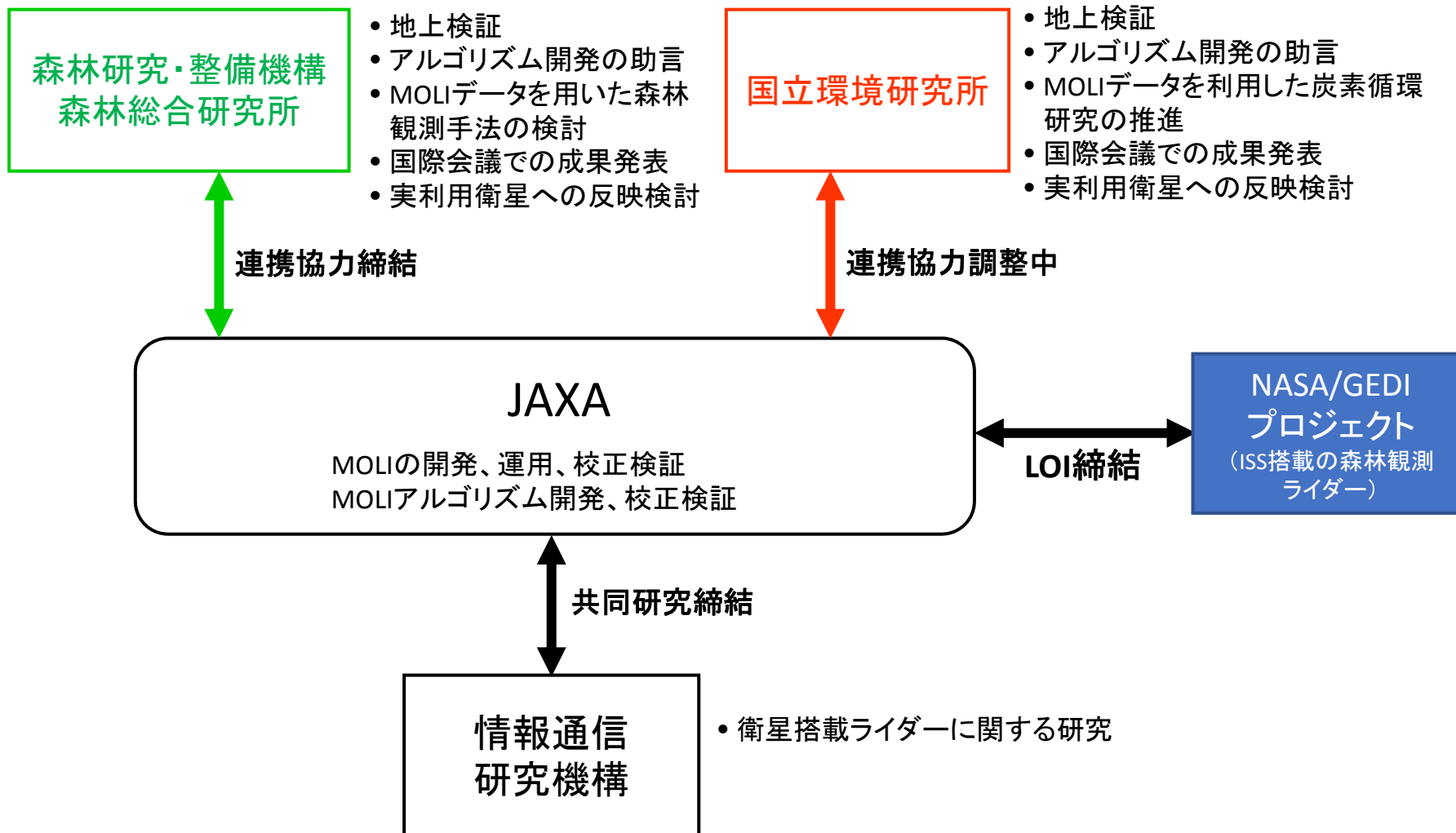
ドップラーライダーの効果

数値予報の精度改良(気象予報、台風進路予測の高精度化)

(補足資料)MOLIに関する協力体制



MOLIに関する、現在の外部機関との協力体制



(補足資料) 各国の衛星搭載ライダー開発の状況



国	開発状況	衛星名・ミッション	特徴・状況
米国	計画未達	ICESat (2003) 氷床観測ミッション	<ul style="list-style-type: none">世界初の衛星搭載ライダー(レーザ高度計:ライダーの一種)レーザ誘起コンタミネーションが原因の出力低下により短寿命不具合(設計1年→実績3ヶ月)
		CALIPSO (2006年:現在も運用中) 雲、エアロゾル観測ミッション	<ul style="list-style-type: none">レーザを与圧容器に封入することでレーザ誘起コンタミネーションを抑制。レーザ長寿命達成これまでに世界で唯一成功している衛星搭載ライダーミッションレーザは、冗長系に切り替え、打ち上げから10年経過後も観測継続中
		GEDI (2018年打上予定) 森林、地表観測	<ul style="list-style-type: none">宇宙ステーション搭載MOLIとはLOIを結び、ミッション協力実施を調整中
欧州	計画遅延	ADM-Aeolus (2018年8月22日打上) 風観測ミッション:ドップラーライダー	<ul style="list-style-type: none">レーザ誘起コンタミネーションが原因の出力低下(短寿命不具合)でレーザ開発が遅延打上は、当初は2008年の計画。10年遅れ。
	計画遅延	EarthCARE/ATLID (2019年打上予定) 雲、エアロゾル観測ミッション	<ul style="list-style-type: none">レーザ誘起コンタミネーションが原因の出力低下(短寿命不具合)でレーザ開発が遅延打上は2013年の計画だったが現在は2019年の予定。
		MDS-2 (ELISE) NASDA実施 雲・エアロゾル観測ミッション	<ul style="list-style-type: none">2000年に開発中止。製造を開始していたレーザと光学系の機器地上実験を実施地上での真空寿命評価試験中、レーザ誘起コンタミネーションが原因の出力低下により短寿命不具合(設計寿命1年以上→実績2週間)
日本	開発中止	はやぶさ、はやぶさ2	<p>大気がない小惑星探査用のためレーザパワーが低い。はやぶさ: 8mJ, 1Hz, 8mW、はやぶさ2: 15mJ, 1Hz, 15mW。MOLIは40mJ, 150Hz, 6Wで、他の地球観測用ライダーも4Wから10Wであり、特にレーザ焼損故障(LIC故障)の点では小惑星探査用ライダーの方が有利。</p>

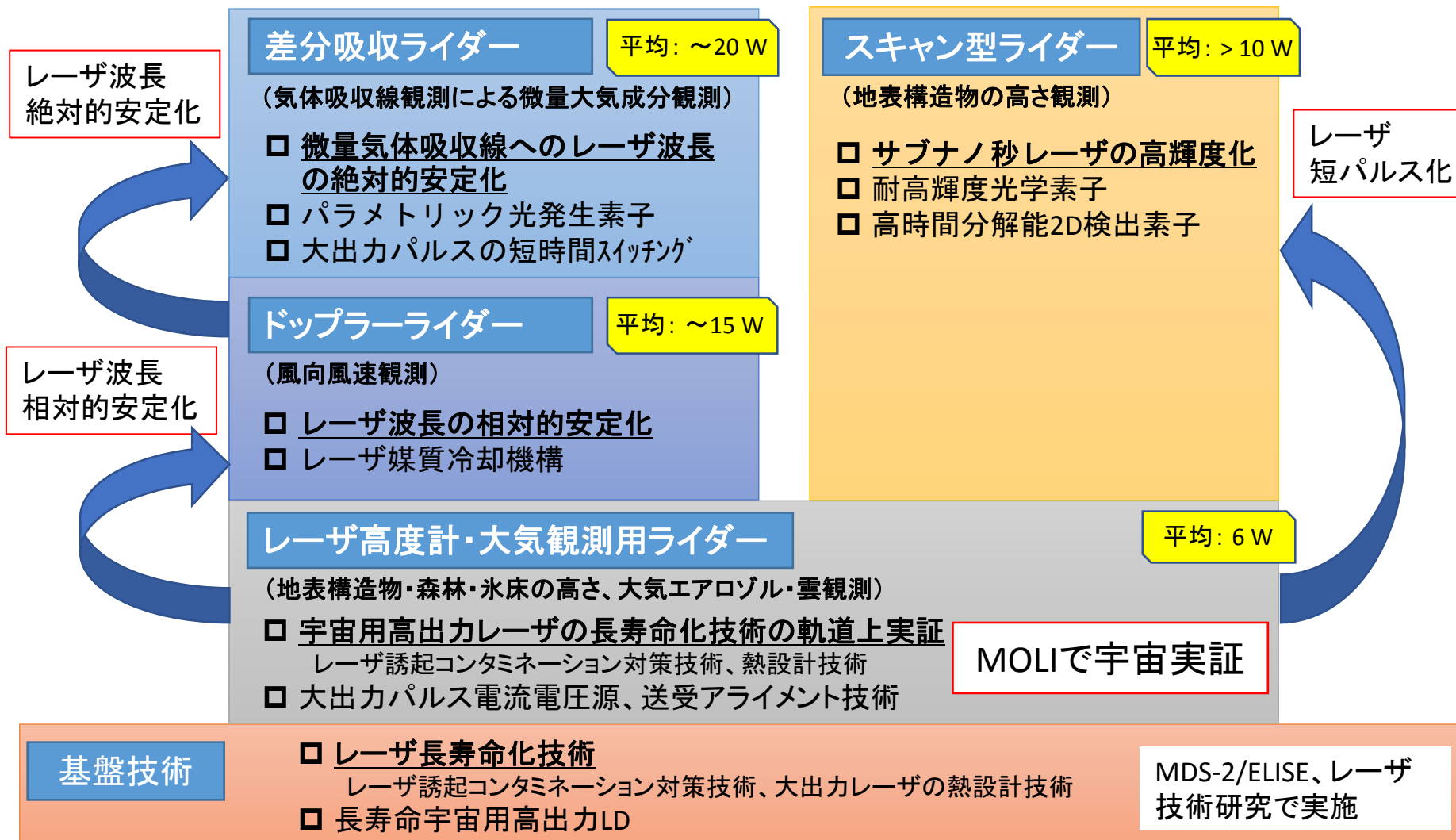
(補足資料) 段階的な技術開発(1/2)



	研究(地上実験)	MOLI	ドップラーライダー	スキャン型ライダー、 (差分吸収ライダー)
レーザーパワー	6W(MOLI BBM)	6W(軌道上機器)	~15W(LEO)	15W(LEO)
レーザーからの排熱	約50cm ² 内で発生する80Wの排熱	約50cm ² 内で発生する80Wの排熱	MOLI以上の発熱量対策	MOLI以上の発熱量対策
レーザー長寿命化(LIC対策)	MOLI BBMで1.5年の動作実証	軌道上での1年以上の動作	MOLI実績を基にした高出力化対応	MOLI実績を基にした高出力化対応
レーザー波長の安定化	N/A	N/A	相対値で±0.1MHz(約1 fm相当)以下	絶対値で±0.1MHz以下(差分吸収ライダー)
受信検出系	4素子APD試作	4素子APD	光ヘテロダイン検波 高速低雑音検出器	2次元アレイ検出器 (スキャン型ライダー)
ライダー送受アライメント	N/A	±200μrad以下	±100μrad以下	±100~200μrad程度
ライダー走査技術	N/A	N/A	N/A	走査技術

新規開発
高機能化
MOLI等で開発した技術を使用

(補足資料) 段階的な技術開発(2/2)



- 最も基本的なライダーであるレーザ高度計で宇宙用ライダーの軌道上実証を行う。
- 続いて、応用型のライダーであるドップラーライダーやスキャン型ライダー実現に必要な要素技術の研究開発を行い、応用ライダーの実現を目指す。

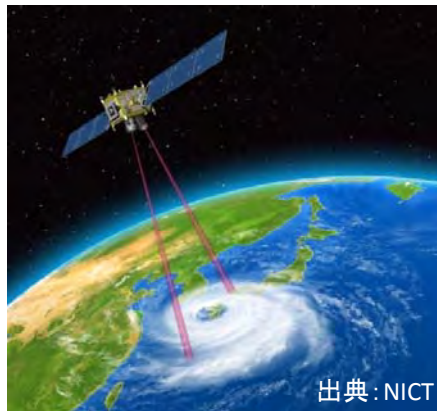
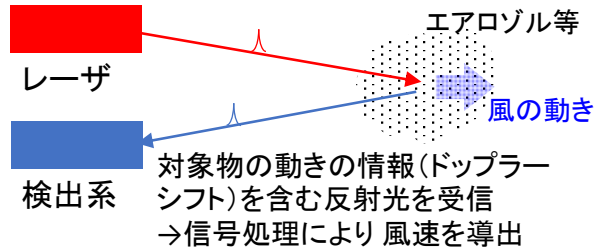
(補足資料)

ドップラーライダー、差分吸収ライダー、スキャン型ライダーの概念



ドップラーライダー

エアロゾル等のレーザ反射信号のドップラーシフト量を求めることで、エアロゾルが存在する領域の風向風速を求める。

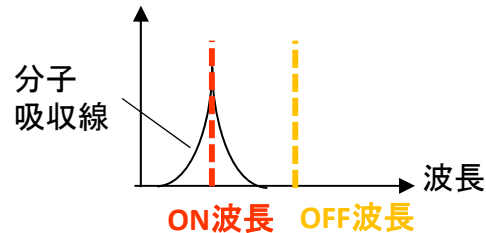


出典: NICT

衛星ドップラーライダーの観測イメージ

差分吸収ライダー

わずかに波長が異なる2つのレーザ光を送受し、分子による光の吸収量が波長間で異なることを利用して対象となる分子濃度を計測する。



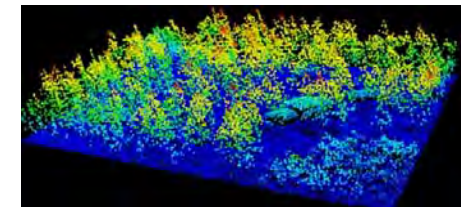
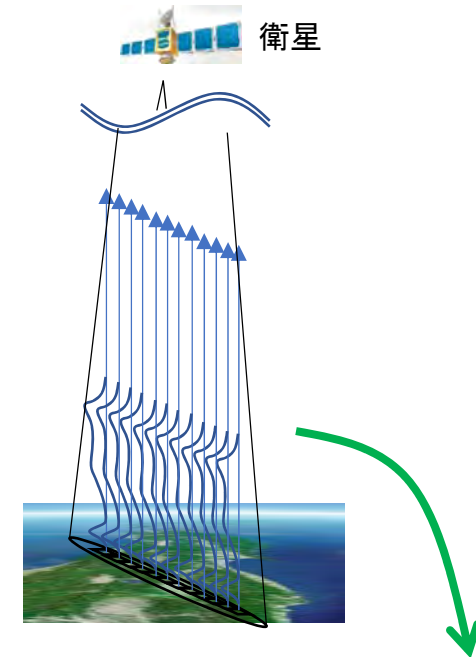
ON波長 : 分子による吸収が大きい波長
OFF波長 : 分子による吸収が小さい波長



波長間の信号強度差を測定することで、レーザ伝搬経路における分子濃度、高度分布を観測する。

スキャン型ライダー

クロストラック方向(衛星進行方向と直角の向き)に観測幅を拡大し、レーザビームの掃引機能を利用することで、地表面形状、構造物情報を広域に取得する。



スキャン型ライダーの観測イメージ

(補足資料)

ライダー観測の研究-平成31年度概算要求額 60百万円(新規)

文部科学省研究開発局
宇宙開発利用課

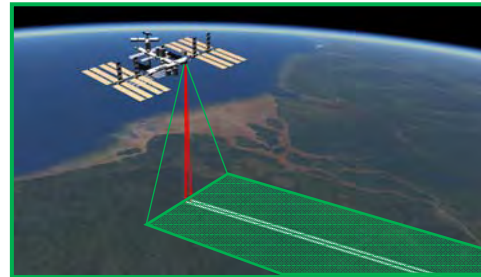
事業概要・目的

○ライダーは、能動型(レーザーを発射しその反射を検出する方式)の光学センサです。リモートセンシングの新たな利用開拓を目指し、他の型の観測センサでは十分に検出できなかった森林高、地表の3次元構造、風向・風速、大気成分、エアロゾル高度分布などが高精度で計測可能となる宇宙用ライダーの研究を進めます。

事業イメージ・具体例

○事業内容

REDD+(途上国における森林伐採、森林劣化の削減)の評価検証手法や全球炭素循環の理解増進として森林の高さを高精度に測定する植生ライダー(MOLI: Multi-footprint Observation Lidar and Imager)の開発に向けた研究に取り組み、ISSでの軌道上実証を目指します。また、航空路最適化のため風向・風速を観測するドップラーライダーの研究を進め、早期の実用化を目指します。



植生ライダーによる観測イメージ



ドップラーライダーによる観測イメージ

出典:S-booster2017 大賞受賞提案

超低高度衛星搭載ドップラーライダーによる飛行経路・高度最適化システム構築

資金の流れ



期待される効果

- 植生ライダー(MOLI)の観測データの利用により、気候変動抑制に関する多国間協定(パリ協定)の義務である森林バイオマスの評価について、これまでの観測方法に比べて誤差を半減して推定することが可能となります。また、途上国が実施するREDD+の検証の有効な手段となり、途上国等での森林減少の防止に貢献します。
- ドップラーライダーの観測データによる航空路の最適化により、使用燃料を削減に貢献します。