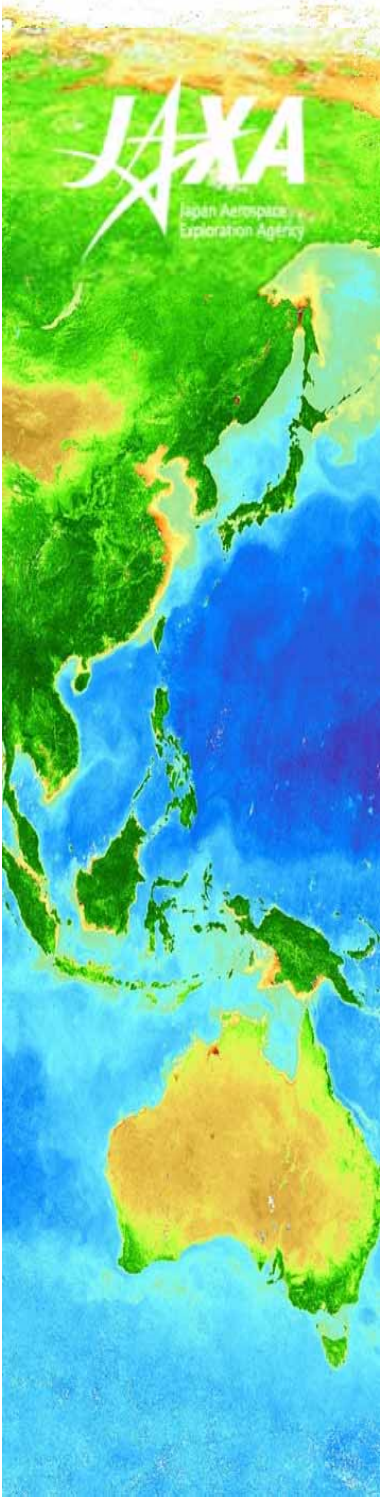




スターダストプログラム 「カーボンニュートラルの実現に向けた 森林バイオマス推定手法の確立と戦略的実装」 成果報告

令和8(2026)年7月14日

国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
第一宇宙技術部門 衛星利用運用センター/地球観測研究センター

1. これまでの経緯と本日のご報告事項
2. 背景・目的
3. 研究開発方針
4. 研究開発スケジュール
5. 研究開発成果
6. まとめ
7. 今後の展望

1. これまでの経緯と本日のご報告事項

【これまでの経緯】

- 第20回衛星開発・実証小委員会（令和5年7月6日）において、宇宙開発利用加速化戦略プログラム（スターダストプログラム）のプロジェクトとして「カーボンニュートラルの実現に向けた森林バイオマス推定手法の確立と戦略的実装」が採択され、研究開発を開始した。また、第77回宇宙開発利用部会（令和5年7月24日）においても、宇宙開発利用加速化戦略プログラム（スターダストプログラム）へのプロジェクトの新規採択について報告がなされた。
- 第80回宇宙開発利用部会（令和5年12月12日）及び第25回宇宙政策委員会 衛星開発・実証小委員会（令和5年12月13日）において、本事業の進捗状況について報告された。
- 第92回宇宙開発利用部会（令和6年11月22日）及び第30回宇宙政策委員会 衛星開発・実証小委員会（令和6年12月13日）において、本事業の進捗状況について報告された。
- 第100回宇宙開発利用部会（令和7年12月26日）及び第33回宇宙政策委員会 衛星開発・実証小委員会（令和7年12月23日）において、本事業の進捗状況について報告された。

【ご報告事項】

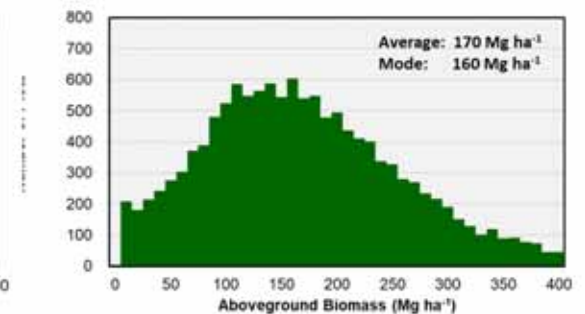
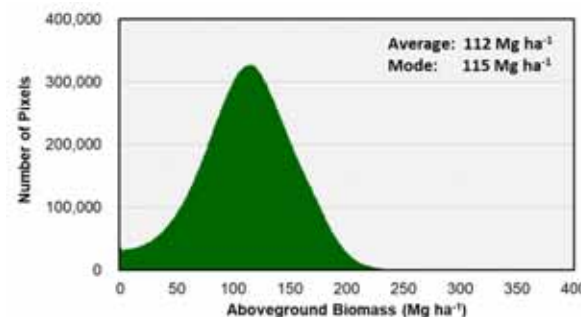
- 令和7年度（2025年度）末までに、「カーボンニュートラルの実現に向けた森林バイオマス推定手法の確立と戦略的実装」での全ての作業を完了したため、その成果を報告する。

- 近年、炭素収支に係る情報把握の重要性が高まっており、特に森林バイオマスや植生活性度（SIF）、大気中の温室効果ガス（GHG）の把握に係る衛星観測の活用に向けた動きが国際的に加速している。こうした中、カーボンニュートラルに係る国際的枠組みでの衛星データの標準化や高精度な算定手法の確立、及びカーボンのクレジット市場への参入・価値創出を戦略的に推進し、国際社会における我が国のプレゼンス向上や社会・経済的優位性へ繋げてゆくことが重要である。
- こうした中、我が国はLバンド合成開口レーダ（SAR）による全球 森林・非森林マップ等を世界に先駆けて整備し、こうしたプロダクトがUNEPにおける公式指標として採用されている等、本領域において 一定の優位性を有している。今後はこうした強みを一層強化しつつ、例えば次回GST（2028年）での衛星データの標準化等、国際的枠組みの中に組み込んでいくことで、国際社会での我が国のプレゼンス向上や社会・経済的優位性へ繋げてゆくことが重要である。
- また、2021年に政府が定めた「グリーン成長戦略」では、観測・モデルに係る科学基盤の充実として人工衛星等の観測網を活用したデータ利活用や経済社会システムのイノベーションが不可欠とされているほか、カーボンのクレジット市場への早急な対応が求められている。
- 一方で、衛星データを活用したクレジットの算定には各制度のガイドライン・方法論の中に衛星データを定義する必要があり、市場に通用する方法論改訂のための研究及び実証が必要である。

その他特筆事項

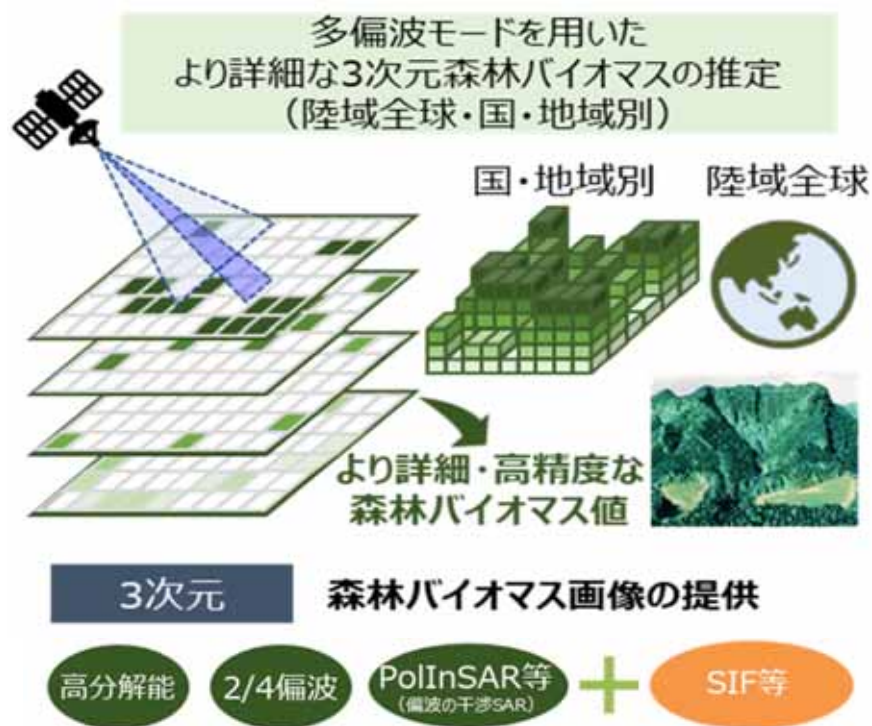
欧州宇宙機関(ESA)が整備する全球森林バイオマスマップは、我が国を含むアジア域の森林を 7割程度に過少推定していることが示されており、脱炭素領域における我が国の社会・経済的不利益が懸念される。

林野庁データによる全球森林バイオマスマップの検証(日本域)

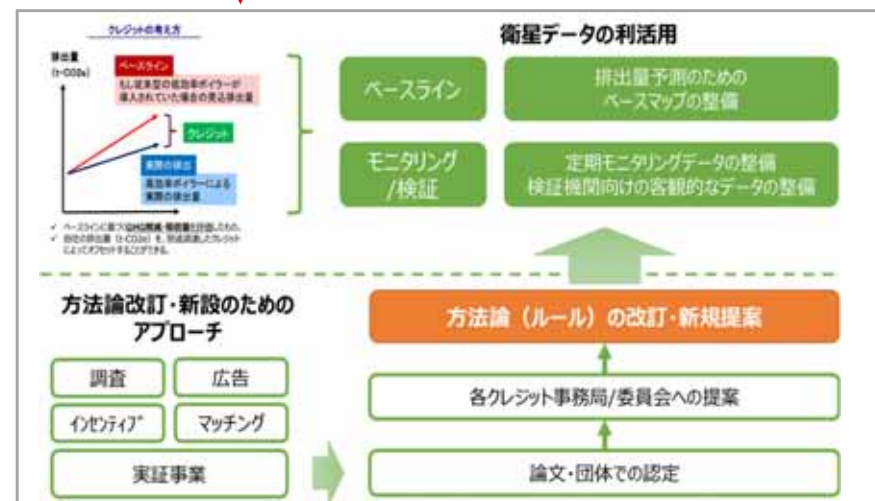
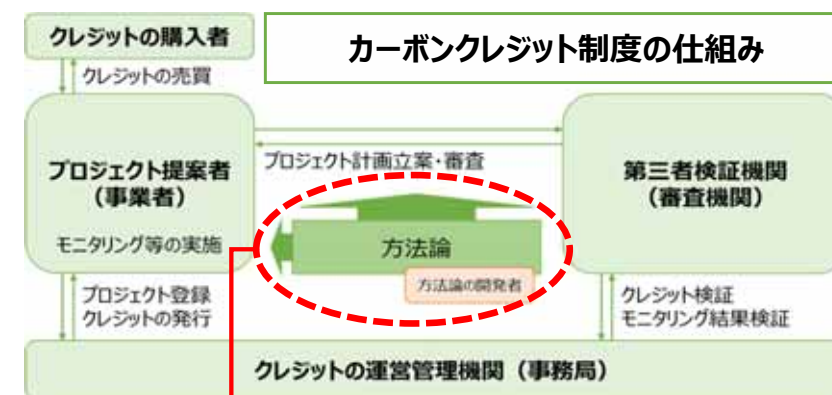


2. 背景·目的

- 【目的①】 炭素収支に係る高精度な算定手法の確立に向けた、衛星搭載のLバンド合成開口レーダ（SAR）観測やGHG観測、光学衛星など**様々な衛星データを組み合わせた森林バイオマス推定と炭素収支算定手法の研究開発を実施する。**また、気候変動研究において不確実性の一つといわれる水田や湿地などを対象とした炭素吸排出量算定手法についても検討する。（欧州宇宙機関(ESA)が作成した全球森林バイオマスマップ（精度:88 Mg/ha RMSE）を上回る精度の森林バイオマスマップを作成する。）
- 【目的②】 カーボンのクレジット市場への参入促進のため、環境省や林野庁等とも連携し、J-クレジット等の既存制度における**方法論の新設・改訂のための実証事業を実施する。**



全球森林バイオマスマップ[®] + 高精度なフラックス推定



目的①(LバンドSAR衛星と光学衛星等による観測データを組み合わせた森林バイオマス推定手法の確立および森林バイオマスマップの作成)のため、以下の①～③の研究開発を実施した。

目的②(作成したバイオマスマップを用いた方法論の新設・改訂の事業実証)のため、以下の④の取り組みを実施した。

①陸域炭素吸排出算定手法の開発

R5：航空機搭載 SAR 機能追加及び SIF 観測装置整備、試験観測準備、検証データの取得。

R6：航空機試験観測の実施及び手法の高精度化、検証データの取得。

R7：観測機観測データの蓄積及び手法の高精度化、検証データの取得。

②流域スケールでの炭素収支算定手法の開発

R5：対象流域選定、地上観測データ収集及び研究プラットフォーム構築、森林バイオマス推定手法の検討。

R6：地上観測データ収集及び研究プラットフォームの機能強化、森林バイオマス・炭素収支算定手法の開発・検証。

R7：森林バイオマス・炭素収支算定手法の高度化検討。

③国レベルの森林バイオマスマップの整備・検証

R5：日本域の森林バイオマスマップ初版を作成、東南アジアの対象国数ヶ国との連携体制の構築。

R6：日本域森林バイオマスマップの高精度化、東南アジア対象国で地上観測データ整備及び森林バイオマスマップの作成、炭素収支算定手法の検討。

R7：日本と東南アジア対象国で2時期の森林バイオマスマップを作成し、炭素吸排出量情報のカーボンニュートラル貢献にむけた行政利用の検討。

④森林カーボンクレジット算定に係る利用実証

R5：カーボンクレジット算定方法論の衛星データ活用位置付けに向けた実証計画の立案。

R6：衛星データバイオマス算定と他のデータとの比較検証等の実施。

R7：衛星データを活用したバイオマス算定にかかる実証結果を踏まえた方法論改定等に向けた活動の実施。

JAXA 4. 研究開発スケジュール

本研究開発のスケジュール（実績）を以下に示す。文部科学省殿よりJAXAが受託して計画立案・管理や方法論適用のための渉外活動を行い、民間委託事業者にて各開発・実証等を行うことで本研究開発を実施した。

実施項目		R5	R6	R7
①陸域炭素吸排出算定手法の開発	1-1)航空機搭載SAR多偏波・多周波同時観測機能改修（Pi-SAR-L3）	→		
	1-2)航空機搭載GHG/SIF観測センサ開発	→		
	1-3)試験観測		→	
	1-4)観測フライト		→	→
	1-5)炭素吸排出算定手法の開発・検証	→		
	1-6)地上検証データの取得	→		
②流域スケールでの炭素収支算定手法の開発	2-1)空間スケールアップ手法の検討	→		
	2-2)大学演習林等の地上観測データ等収集	→		
	2-3)研究プラットフォームの構築・管理	→		
	2-4)炭素収支算定手法の開発・検証		→	
③国レベルの森林バイオマスマップの整備・検証	3-1)国内森林バイオマスマップの整備・検証	→		
	3-2)海外森林バイオマスマップの整備・検証	→		
	3-3)炭素収支の算出			→
④森林カーボンのクレジット算定に係る利用実証	4-1)民間事業者との連携構築	→		
	4-2)クレジット算出方法の検討		→	
	4-3)海外森林バイオマスマップの利用実証の検討		→	
	4-4)森林カーボンのクレジットに関する利用実証			→

【サマリ】①陸域炭素吸排出算定手法の開発（航空機SAR、GHGセンサー開発）**目的・実施結果（【】内の項目は、P.7研究開発スケジュールの実施項目を示す。）**

- Lバンド合成開口レーダ（SAR）観測やGHG観測、光学衛星など様々な衛星データを組み合わせた森林バイオマス推定と炭素収支算定手法を研究開発した。また、水田や湿地などを対象とした炭素吸排出量算定手法の検討する。
- JAXAが所有する航空機搭載 SAR（Pi-SAR-L2）に対して、多偏波・多周波同時観測ができるよう機能追加を実施（Pi-SAR-L3）及び航空機搭載 GHG/SIF 観測装置を整備し、観測機体への搭載を実施した。【1-1,1-2】
- 国内主要テストサイトを対象とした航空機観測の実施手順を具体化し、当該地域（森林・水田・湿地）を対象とした航空機搭載 SAR（Pi-SAR-L3）および航空機搭載 GHG/SIF による同時観測を実施した。【1-3,1-4】
- 国内主要テストサイトを対象とした地上検証データを取得し、炭素吸排出算定手法についての検討を行った。【1-5,1-6】
- 得られた成果は世界初のSAR/GHG/SIF同時観測の実績となった。光学観測であるGHG/SIFの観測データについてはデータの有効性の検証に向けて今後も更なるデータ蓄積を進める。【1-4】

【実施結果詳細】①陸域炭素吸排出算定手法の開発（航空機SAR、GHGセンサー開発）**航空機搭載SAR多偏波・多周波同時観測機能改修（Pi-SAR-L3）及び航空機搭載GHG/SIF観測センサー開発**

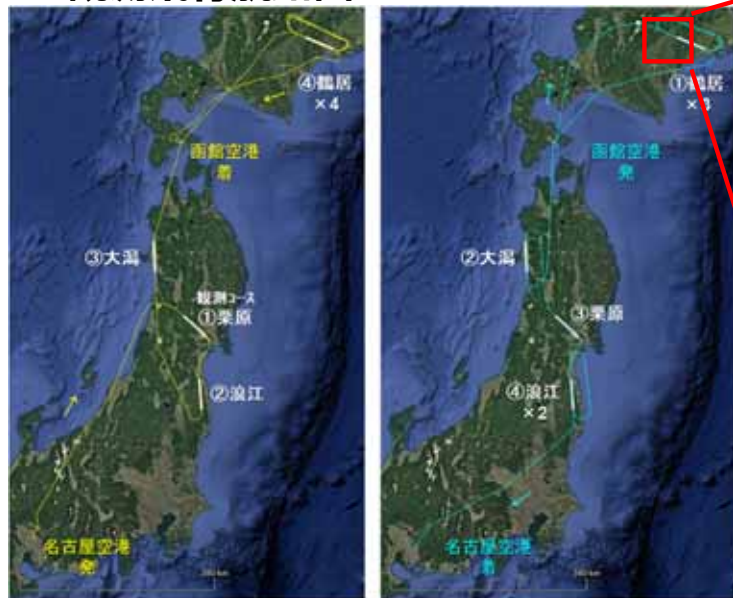
- JAXAが所有する航空機搭載 SAR（Pi-SAR-L2）に対して、多偏波・多周波同時観測ができるよう機能追加を実施（Pi-SAR-L3）及び航空機搭載 GHG/SIF 観測装置を整備し、観測機体への搭載を実施した。
- 航空機SARの改修（Pi-SAR-L3）と航空機搭載GHG/SIF観測装置の整備完了後、SARとGHGの同時観測が可能となり、2026年8月29-30日に国内主要テストサイトを対象とした観測飛行を実施した。
- 本センサーにより取得したデータを用いて、炭素収支推定手法への活用可能性について検討した。

開発状況**SAR機器ラック(機内)****航空機への搭載状況****GHG/SIF観測装置(機内)****SARアンテナ(機体下部)****運用状況****飛行中のデータ取得**

【実施結果詳細】①陸域炭素吸排出算定手法の開発（航空機SAR、GHGセンサー開発）

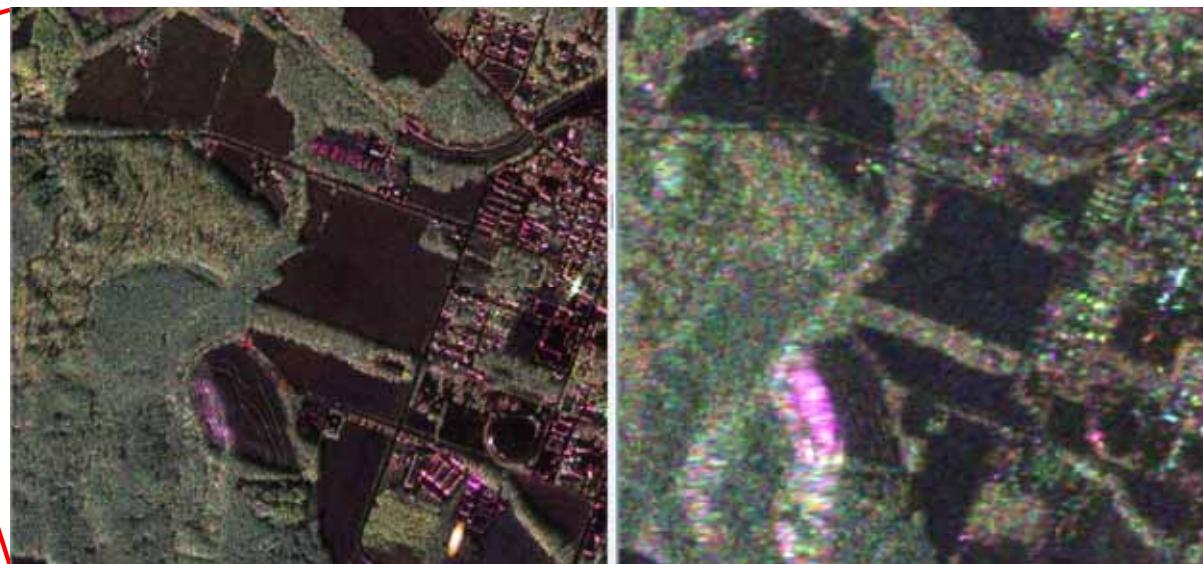
観測フライト・データ取得結果

観測飛行航路図

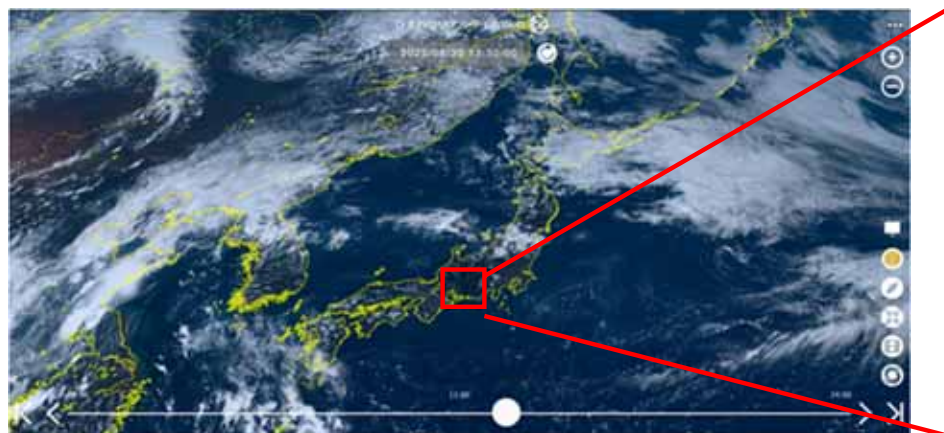


名古屋空港および函館空港を拠点とし、選定した国内主要サイト上空にて観測を実施した。

Pi-SAR-L3観測結果の例（北海道鶴居村・釧路湿原付近）



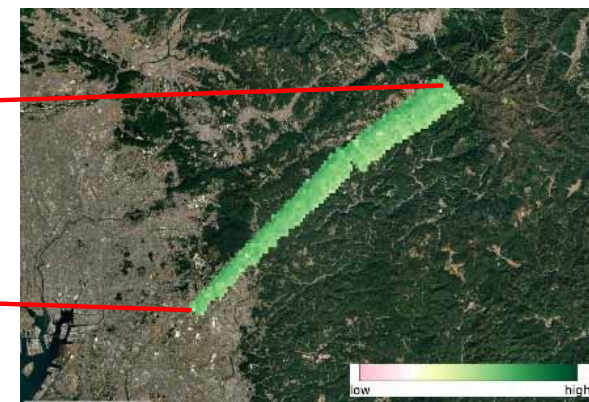
鶴居村で取得した航空機搭載SAR画像（左）とALOS-2衛星によるSAR画像（右）の比較。偏波カラー合成画像（赤、緑、青にそれぞれHH、HV、VV偏波）。森林形状や湿地、水田の把握に活用可能であることを確認。水田については大湊村等もデータを取得。



観測日は雲が卓越しており、関東・東北・北海道と被雲が多く発生していたため、GHG/SIF観測は限定的となった。



観測中の晴天域：名古屋空港近郊



晴天域における植物発光蛍光強度

【サマリ】②流域スケールでの炭素収支算定手法の開発

③国レベルの森林バイオマスマップの整備・検証（バイオマスマップの開発）

目的・実施結果（【】内の項目は、P.7研究開発スケジュールの実施項目を示す。）

- 炭素収支に係る高精度な算定手法の確立。様々な衛星データを組み合わせた森林バイオマス推定と炭素収支算定手法の研究開発する。【達成目標：欧州宇宙機関（ESA）が作成した全球森林バイオマスマップ（精度:88 Mg/ha RMSE）等を上回る精度の森林バイオマスマップを作成する】
- 大学演習林や地上検証データ等を収集し、研究プラットフォームを整備し、炭素収支算定手法を検討した。【2-1,2-2,2-3,2-4】
- 2023~2025年度実施のスターダストプログラムの中で、ALOS-2 L-band SAR、Sentinel-2光学、衛星観測データにもとづく樹種・土地被覆分類や標高データ(AW3D30)などを入力データとし、機械学習にもとづく**森林樹高・地上部バイオマス(AGB)**推定アルゴリズムおよびマップの開発研究と精度検証を実施した。国内はVer. 3として2018, 2020, 2024年を対象とした樹高・バイオマスマップを整備した。【3-1,3-2】
- 連携省庁である林野庁から、協定にもとづき森林生態系多様性基礎調査(NFI)データの一部および航空機LiDARデータ（優先3県）の貸与を受け、本研究開発において精度検証用に活用した。【3-1,3-2】
- 開発した森林バイオマスマップVer. 3(2018年)の全国分布（ヒストグラム）を確認したところ**平均154 Mg/ha**, **NFIデータでは平均170 Mg/ha**, 欧州が公開の**CCIバイオマスは平均112 Mg/ha**であり, 既存のマップと比較して全国分布は精度が高いことを確認した。【3-1,3-2】
- NFIデータによる精度検証結果, **樹高8.84m**, **AGB 79.81 Mg/ha(RMSE)**と当初目的としたCCIバイオマスによる推定精度**88 Mg/haを上回る精度を達成**した。【3-1,3-2】
- しかしながら, 平均絶対パーセント誤差(MAPE)は**20%に収まらず, 更に改善の余地がある**。特に、**低樹高・低バイオマスで過大推定**となっていることが課題として分かった。【3-1,3-2,3-3】
- 本研究開発で得られた, 衛星データを活用した森林地上部バイオマス推定アルゴリズム(Ver. 2)は査読付き論文として投稿しAcceptされた。
 - Kawamura, A.D., Kodama, T., and Tadono, T. (2026), High-Resolution Forest Biomass Mapping in Japan Using Canopy Height Estimation from Remote Sensing and Machine Learning, Remote Sensing, MDPI (Accepted).

JAXA 5. 研究開発成果

【実施結果詳細】②流域スケールでの炭素収支算定手法の開発

③国レベルの森林バイオマスマップの整備・検証（バイオマスマップの開発）

JAXA森林樹高・バイオマスマップの整備

- 日本国内においてはVer. 0の開発→Ver. 3へ精度向上を実施した。また、当初は複数年の平均値での開発であったが、カーボンクレジット市場での利用を考慮した際に、単年もしくは複数時期の変化値が求められることが分かり、Ver. 3では単年内の観測データを用いるとともに、日本全国を対象に3時期分のバイオマスマップを整備した。
- 精度検証およびクレジット実証については、検証用の正解データがそろっている岡山・熊本・大分の3件を優先して実施した。
- 海外はVer. 1の開発→Ver. 2への精度向上を行うとともに、カンボジア全域を対象に2時期分を整備した。

JAXA森林樹高・地上部バイオマスマップの整備状況

対象領域	バージョン（整備年）	バイオマスマップの対象年
日本全域	Ver. 0（2023年度）	2020-2023の平均的な値（全域をカバーするために使用した衛星データの観測年）
日本全域	Ver. 1（2024年度）	2016-2020の平均的な値（全域をカバーするために使用した衛星データの観測年） （公開済み。データセット ALOS@EORCホームページ）
日本全域	Ver. 2（2024年度）	2020-2023の平均的な値（全域をカバーするために使用した衛星データの観測年）
日本全域 （検証およびクレジット実証は岡山・熊本・大分にて実施）	Ver. 3（2025年度）	2018年 ※カーボンクレジットで利用するためには単年内での計測データを用いたバイオマスマップが必要。 2022年 また、AGBの差分情報も必要であることから複数時期のプロダクトを開発 2024年
岡山 （検証用）	Ver. 2.2（2025年度）	2018年 2024年
カンボジア全域	Ver. 1（2024年度）	2023年
カンボジア全域	Ver. 2（2025年度）	2020年 ※カーボンクレジットで利用するためには単年内での計測データを用いたバイオマスマップが必要。 2023年 また、AGBの差分情報も必要であることから複数時期のプロダクトを開発

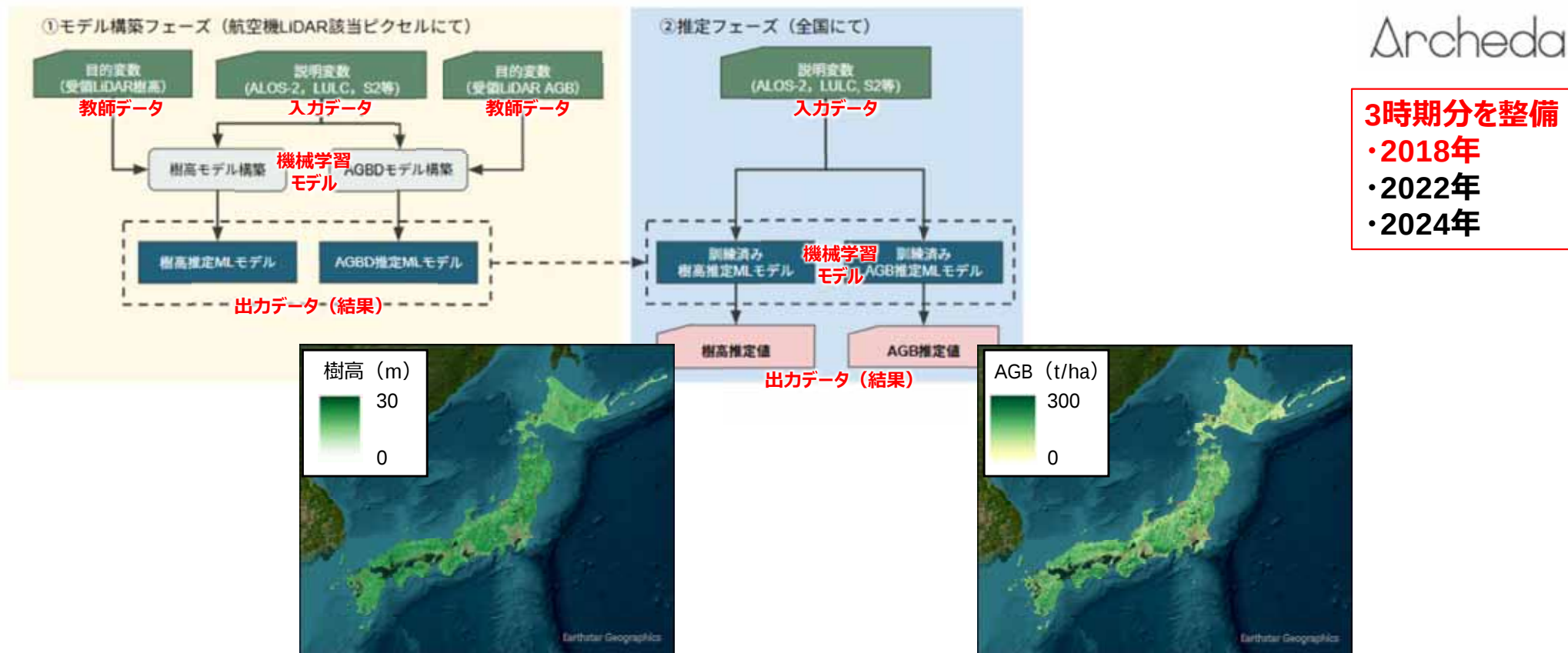
全て10m解像度

【実施結果詳細】②流域スケールでの炭素収支算定手法の開発

③国レベルの森林バイオマスマップの整備・検証（バイオマスマップの開発）

JAXA森林樹高・地上部バイオマスマップVer. 3

➤ バイオマスマップVer. 3の処理アルゴリズムの詳細は以下の通り。



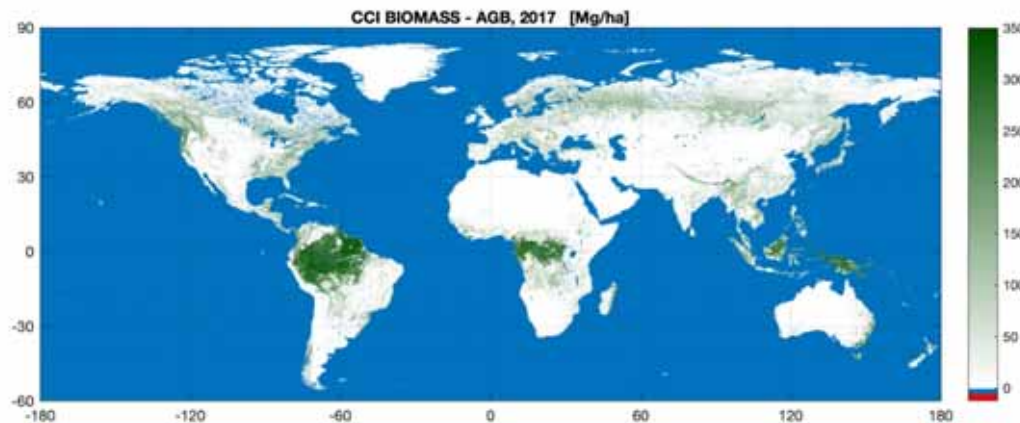
- 航空機LiDARを教師データとした機械学習により、ALOS-2等複数の衛星データによる森林樹高および地上部バイオマスを推定するアルゴリズムを構築し、日本全域のマップを整備。
- 林野庁保有の森林生態系多様性基礎調査(NFI, National Forest Inventory)第4期データによる精度検証を実施。
- 次項以降の精度検証では、NFIデータが整備された年に近いバイオマスマップVer. 3（2018年）の結果について報告する。

【実施結果詳細】②流域スケールでの炭素収支算定手法の開発

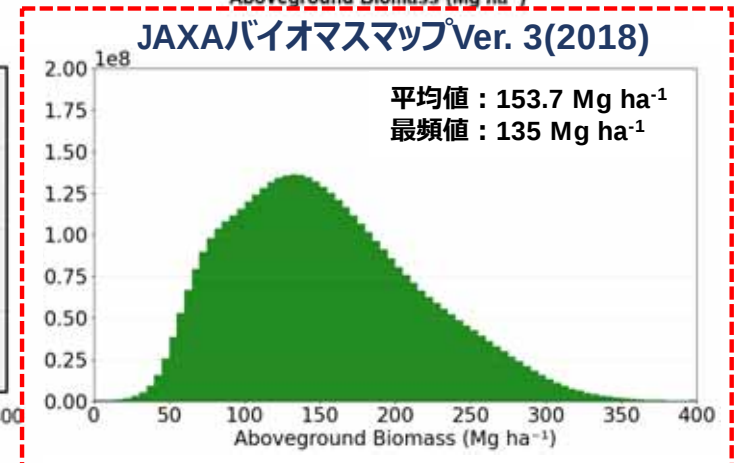
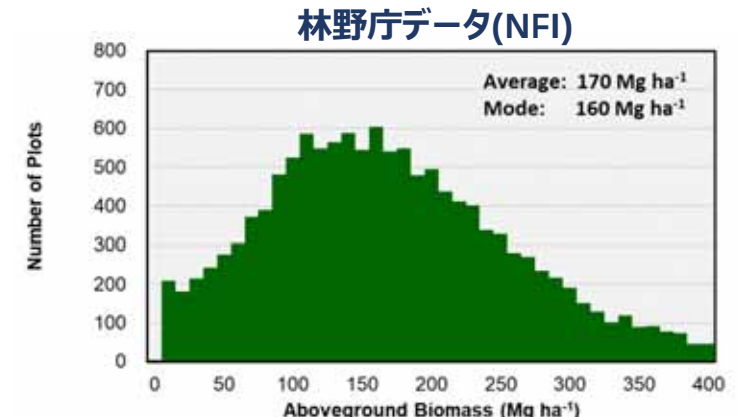
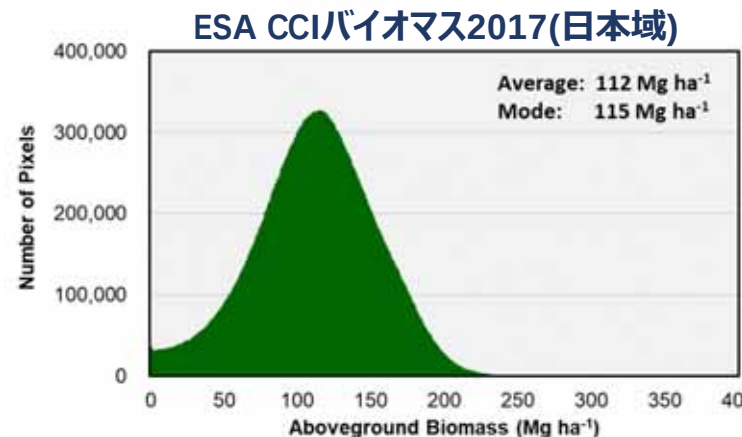
③国レベルの森林バイオマスマップの整備・検証（バイオマスマップの開発）

森林地上部バイオマス分布の比較

- 海外でも衛星データにもとづく森林地上部バイオマスマップが整備されつつあるが、精度検証が十分ではない。
- これらのマップは日本について過少推定の傾向が確認され、クレジット算定などに不利な状況となる可能性がある。
- 本研究開発で開発したバイオマスVer. 3は、林野庁保有の各種データと比較して日本全土のバイオマス分布がESA CCIバイオマス2017(日本域)よりも近いことが確認できた。日本全国で見ると概ね妥当な分布となっている。



欧州宇宙機関(ESA)
気候変動イニシアチブ(CCI)
による全球地上部バイオマス
マップ(2017).



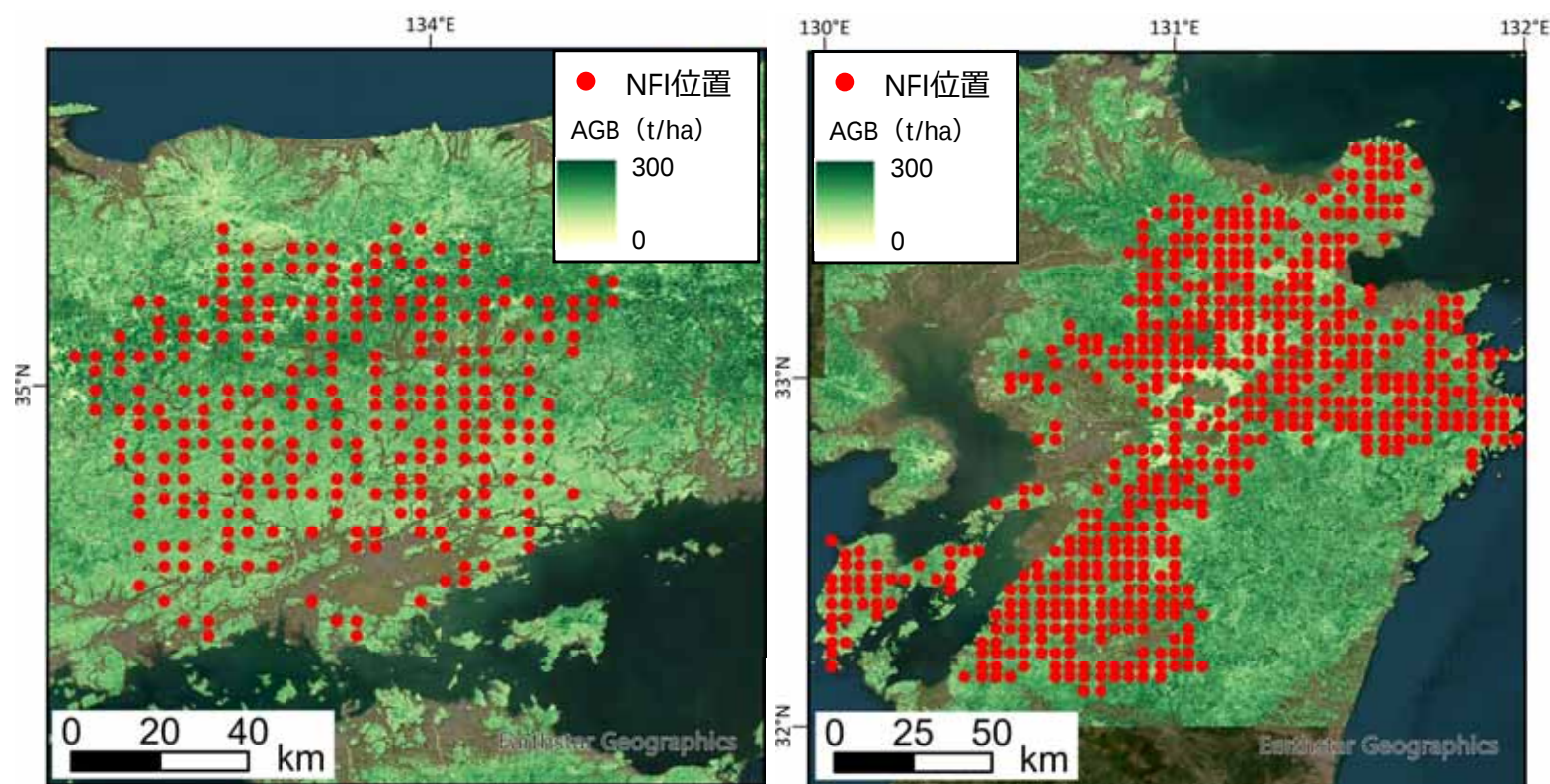
森林地上部バイオマス分布の比較.
縦軸は度数を表しており値に意味はない。

【実施結果詳細】②流域スケールでの炭素収支算定手法の開発

③国レベルの森林バイオマスマップの整備・検証（バイオマスマップの開発）

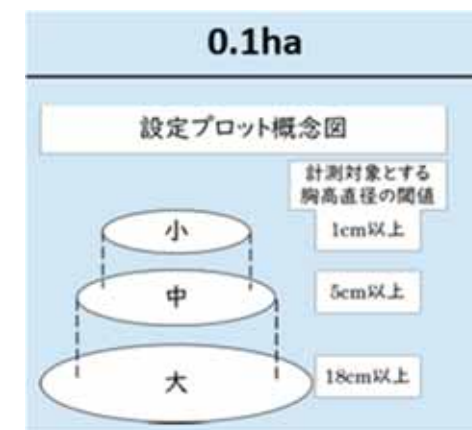
NFIデータによるJAXAバイオマスマップの精度検証（優先3県）

- 林野庁殿から貸与頂いた優先3県の非公開の森林生態系多様性基礎調査（NFI, National Forest Inventory）データを検証用に加工し、バイオマスマップの精度検証を実施した。



JAXAバイオマスマップVer. 3(2018年)とNFI位置

左：岡山県，右：熊本・大分県



⇒1ha

1cm以上5cm未満
→(小円部のみ:0.01ha) ✖100
+
5cm以上18cm未満
→(小円部+中円部:0.04ha) ✖25
+
18cm以上
→(プロット全体:0.1ha) ✖10

*<https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/tayouseichousa/>

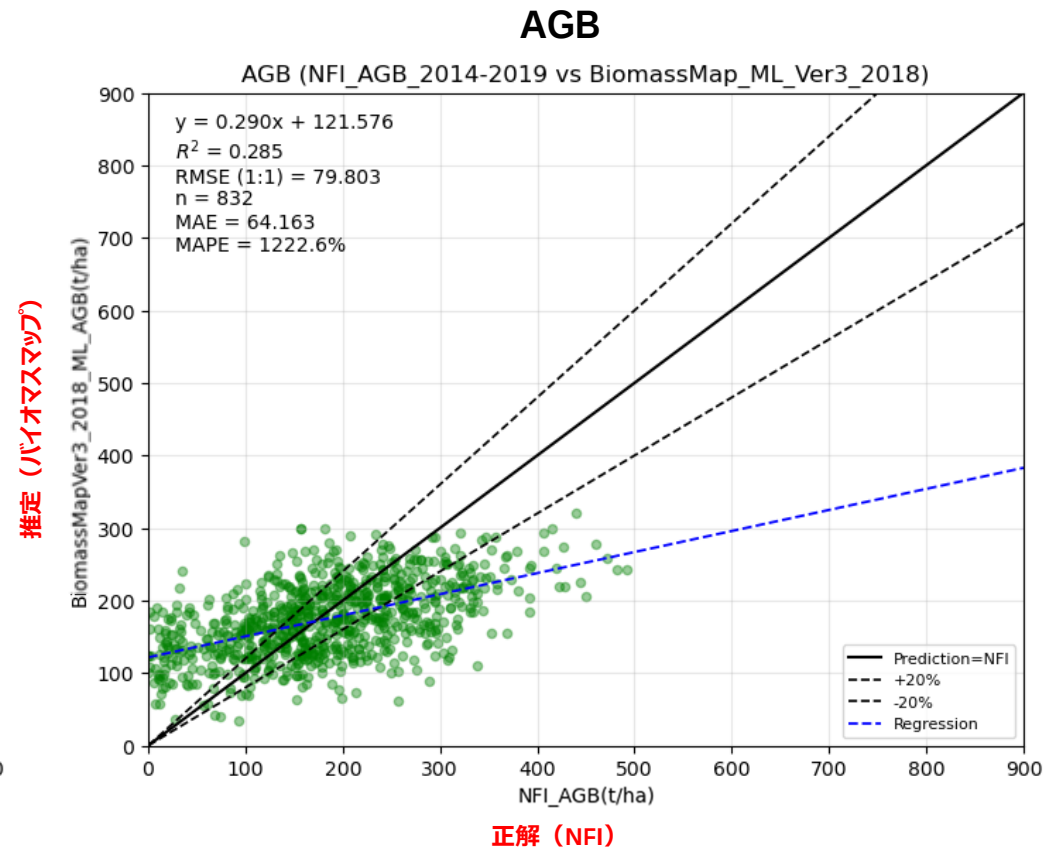
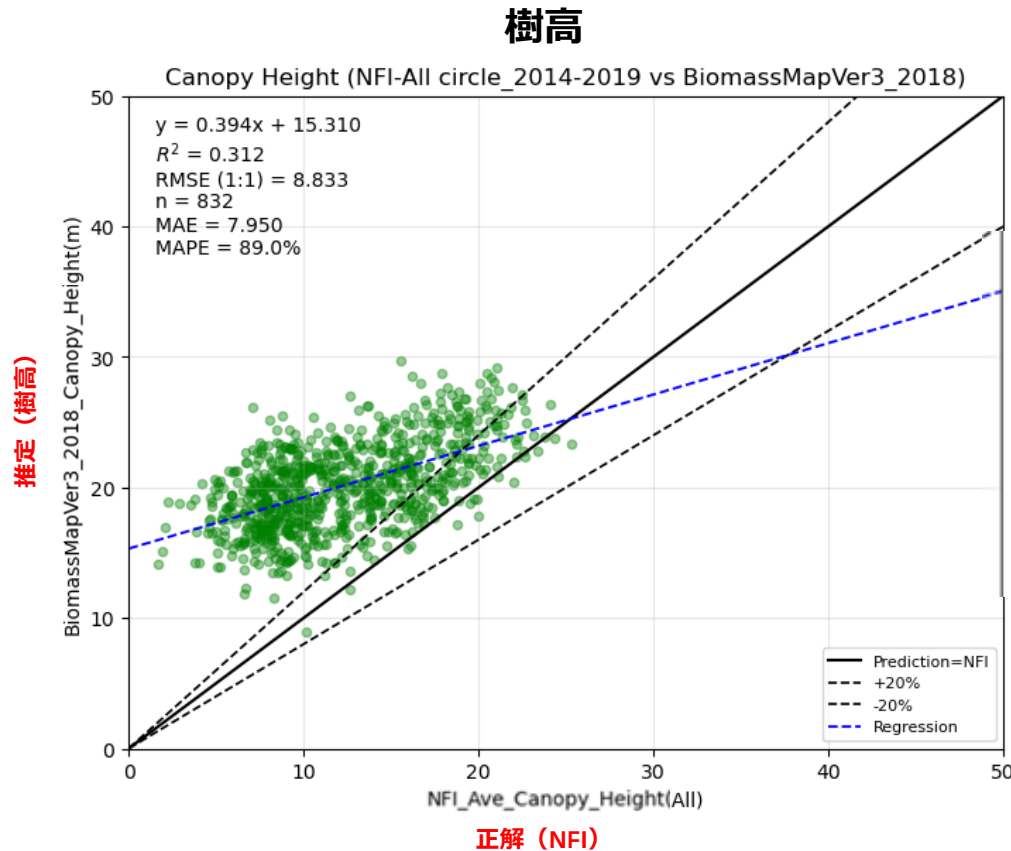
- NFIデータは「小中大円」（0.1ha）を**1haに換算した値**を使用。
- 樹高・バイオマスマップは水平解像度10mで作成し、**大円にかかる画素の平均値**を使用。

【実施結果詳細】②流域スケールでの炭素収支算定手法の開発

③国レベルの森林バイオマスマップの整備・検証（バイオマスマップの開発）

NFIデータによるJAXAバイオマスマップの精度検証（優先3県）

➤ NFIデータによる精度検証結果は以下の通り。



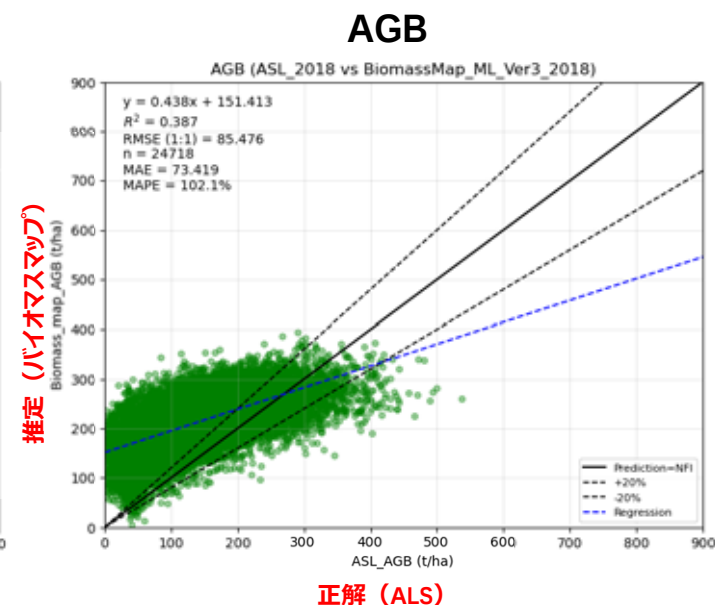
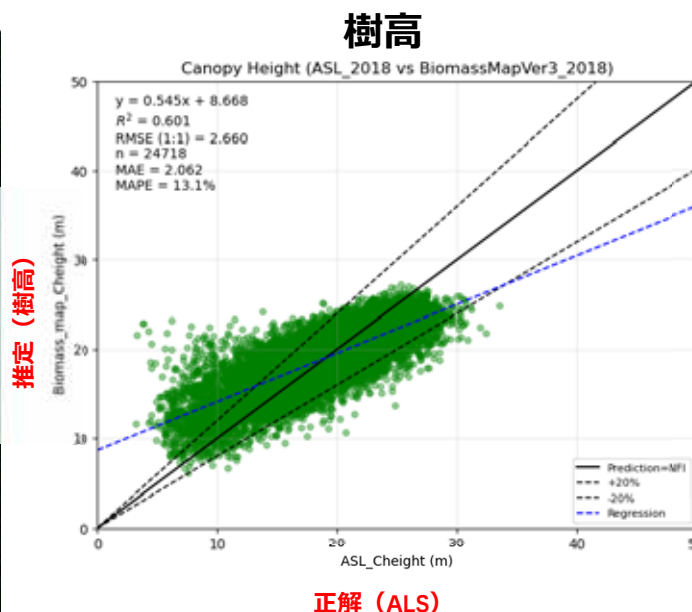
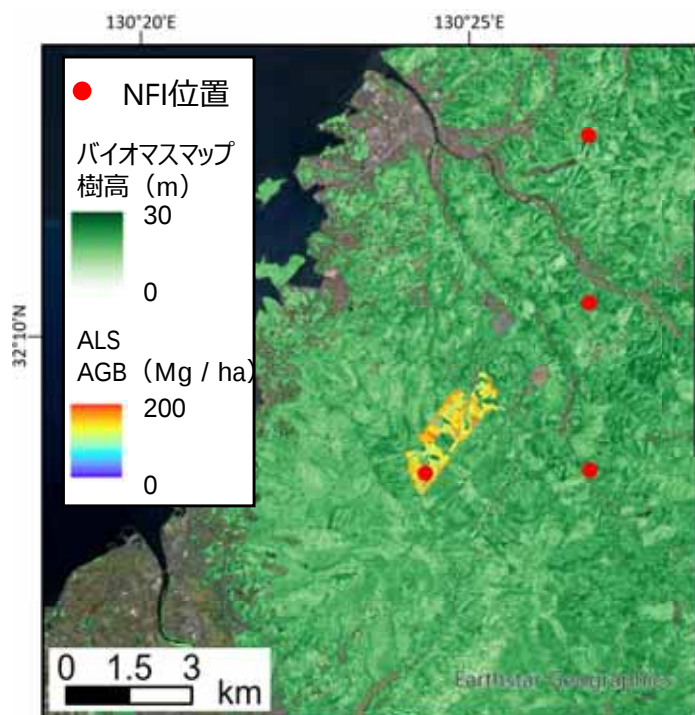
- NFIデータによる樹高・バイオマスマップVer. 3の検証結果：樹高8.84m, **AGB 79.81Mg/ha(RMSE)**
- 絶対パーセント誤差が20%（点線内）に収まらず、**改善の余地がある**。今回の結果では、特に低樹高・低AGBで過大推定の傾向が確認できた。

【実施結果詳細】②流域スケールでの炭素収支算定手法の開発

③国レベルの森林バイオマスマップの整備・検証（バイオマスマップの開発）

航空機LiDARによるJAXAバイオマスマップの精度検証（優先3県）

- 航空機LiDAR(ALS)データを正解データとしたバイオマスマップの検証を実施した。
- 検証結果については下記の通り。



- ALSデータによる樹高・AGBが算出されている領域で、JAXAバイオマスマップとALSデータを比較した。
- ALSによる樹高・バイオマスマップVer. 3の検証結果：**樹高2.66m**，**AGB 85.48Mg/ha(RMSE)**
- ALSデータによる樹高・AGBが算出されている領域は限られている状況。
- バイオマスマップの高度化および十分な精度検証のため、優先3県以外における地域の**NFIデータ**や**森林資源量解析**を行ったALSデータの充実が望まれる。

【サマリ】④森林カーボンクレジット算定に係る利用実証**目的・実施結果（【】内の項目は、P.7研究開発スケジュールの実施項目を示す。）**

- カーボンクレジット市場への参入促進のため、環境省や林野庁等とも連携し、J-クレジット等の既存制度における方法論の新設・改訂のための実証事業を実施する。
- カーボンクレジット制度は、二国間で任意の協力として実施するもの、日本国内で実施するもの、民間主導で行うもの等に分類される。このうち二国間クレジット制度（JCM）及び日本国内で実施されるJクレジット制度について、関連機関や制度運用事務局等とのヒアリングを踏まえ、方法論改定並びに方法論における利用のための詳細の検討及びバイオマスマップを用いた利用実証を実施した。【4-2,4-3,4-4】
- J-クレジット制度においては、方法論への反映に向けた検討を実施した。その結果、「③国レベルの森林バイオマスマップの整備・検証」のとおり、バイオマスマップの高度化および精度検証が不十分であることから、現段階ではJ-クレジット制度の方法論への反映は困難である。このため、今後はバイオマスマップの高度化および精度検証を進めた上で、2時点間のバイオマスマップのAGB差分情報による吸収量算定精度の検証や、2時点間のバイオマスマップの使用をJ-クレジット制度の方法論にどのように反映するかを検討等を行うことが必要と考えられた。【4-2,4-4】
- 二国間クレジット制度（JCM）においては、カンボジアの既存プロジェクトをリファレンスとし、1時期のJAXA LULCマップ及びバイオマスマップを使った手法での算出結果との比較を実施した。【4-2,4-3】
- 方法論の改定並びに方法論における利用には各ステークホルダーとの連携が非常に重要となるため、林野庁、カンボジア、タイ、フィリピン、民間事業者等との連携を行い実施した。【4-1,4-4】
- 利用実証の結果については次項以降にて報告する。

【実施結果詳細】④ 森林カーボンのクレジット算定に係る利用実証

カーボンのクレジット制度の調査検討

- カーボンのクレジット制度は、二国間で任意の協力として実施するもの、日本国内で実施するもの、民間主導で行うもの等に分類される。このうち二国間クレジット制度（JCM）及び日本国内で実施されるJクレジット制度について、関連機関や制度運用事務局等とのヒアリングを踏まえ、方法論改定並びに方法論における利用のための詳細の検討及びバイオマスマップを用いた利用実証を実施した。
- 民間主導のボランタリークレジット制度（VCS）においては、方法論が刷新されたばかりであり、短期的な改定は見込めないことから、方法論の検討・調査を実施した。

カーボンのクレジット制度の一覧及び森林クレジットに関する方法論の概要

	クレジット 認証機関	認証制度	対象 地域	方法論	概要
国内 制度	J-クレジット制 度事務局	J-クレジット	日本	FO-001 森林経営活動	■ 間伐などの適切な森林経営を実施する活動
				FO-002 植林活動	■ 森林の定義を満たしていない土地で植林活動を実施する活動
				FO-003 再造林活動	■ 無立木地で再造林活動を実施する活動
二国間	政府間合同 委員会	二国間クレジット制 度（JCM）	パート ナー国	JCMKH_005 カンボジア (方法論はPJ毎に作成。本実証では カンボジアの案件を対象とした。)	■ REDD+の仕組みを活用した、森林保全を通じた温室効果ガ ス排出削減のプロジェクト活動
民間主導 (ボランタリー クレジット)	Verra	VCS : Verified Carbon Standard	世界	VM0047 : 植林、再植林、再緑化 v1.0	■ 植林、再植林、再緑化（ARR）活動から 炭素除去を行う際の炭素除去を目的とす るプロジェクト活動
				VM0045 : 国立森林調査での動的 一致ベースラインを使用した 森林管理の改善 v1.0	■ AFOLU (農林業その他 の土地利用) カテゴリ ■ 林地灌漑、施肥、木材伐採の削減、輪作、 保護区の指定といった活動の実施など、森 林管理の方法改善により、炭素排出の回 避や隔離の強化を目的とするプロジェクト活 動
				VM0048 : 森林減少・劣化による 排出削減 (REDD) v1.0	
	GS : Gold Standard	GS VER : Gold Standard Verified Emission Reduction		植林・再植林（A/R）による GHG排出削減・隔離の方法論	■ 植林・再植林活動によるGHG排出削減を行うプロジェクト活 動
	ART : Architecture for REDD+ Transactions	TREES : The REDD+ Environmental Excellence Standard		TREES 2.0	■ Jurisdictional（管轄レベル）REDD+ ■ 全国規模でREDD+活動（森林破壊抑制等）によるGHG 排出削減、その定量化、監視、報告を行うプロジェクト活動

利用実証対象となる方法論の選定

【日本国内】

- NFIデータや航空機LiDARデータが整備されており、検証や実証をすすめやすいことから、**J-クレジットにて実証を行った。**

【海外】

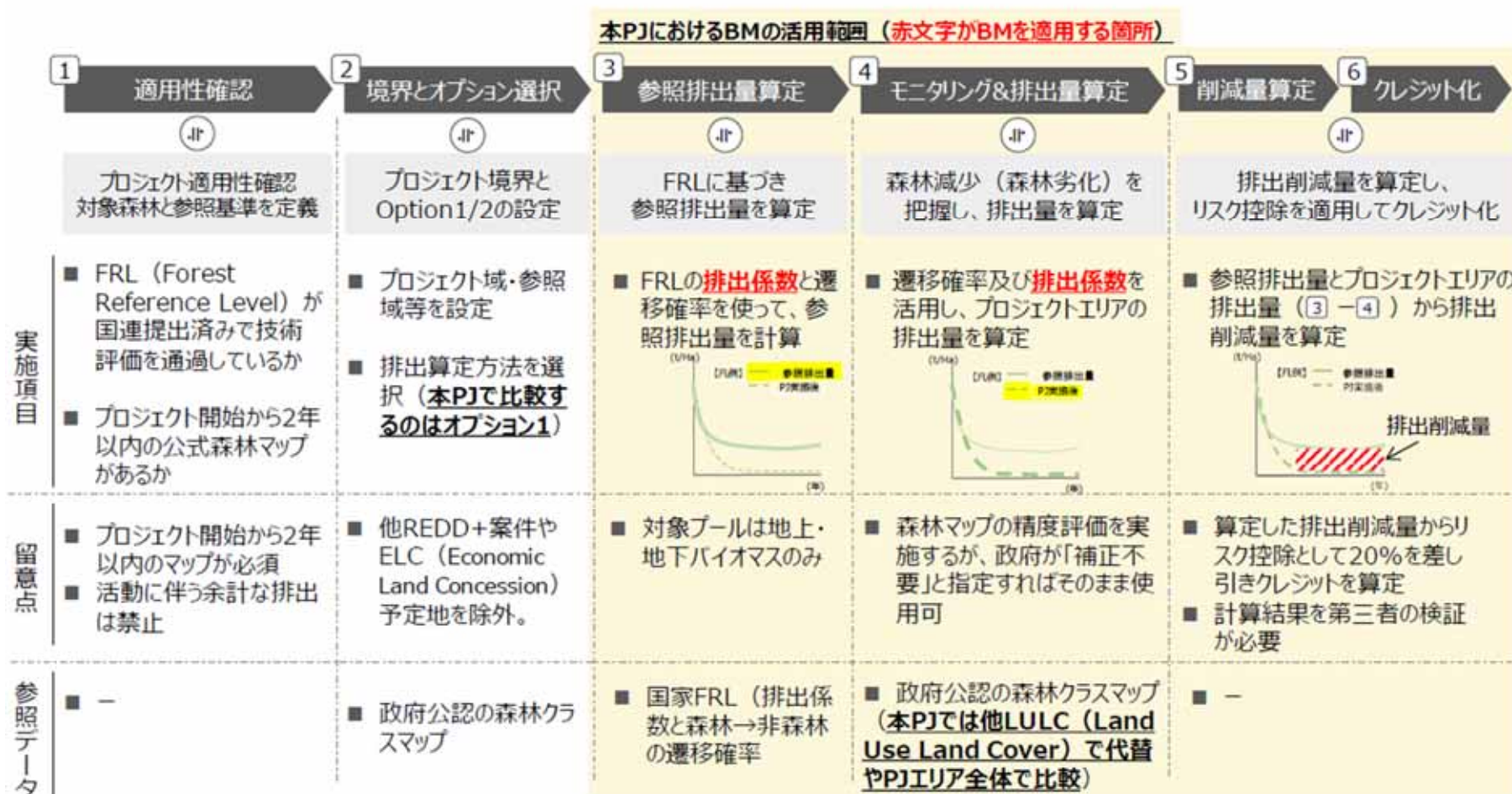
- 世界最大規模であるVCSにおいて、森林クレジットに関する方法論が刷新されたばかりであるため、短期的な改定は見込めない。中長期的には検討の余地あり。
- JCMの方法論開発ガイドラインでは、「炭素プールからの正味CO2排出量のモニタリングは、リモセンと地上調査を組み合わせる実施すべき。最新の衛星観測技術を含む利用可能な最善の技術を活用し、効果的な正味CO2排出量モニタリングシステムを構築することができる」とされており比較的間口が広く設定されている。また、炭素クレジット量の算定に使用するデータセットを、個別具体のプロジェクトを念頭に置いた方法論の中で指定できることから、**JCMを優先的に選定して実証を行った。**

【実施結果詳細】④ 森林カーボンのクレジット算定に係る利用実証

二国間クレジット制度（JCM）における方法論の調査および改定方法の検討

- **二国間クレジット制度（JCM）** 制度における方法論について調査・ヒアリング等を行い、バイオマスマップの検証が可能な国及び既存プロジェクトの検討と適用箇所の絞り込みを行った。
- 検討の結果、カンボジアにおける「JCMKH_005案件のモニタリングレポート」を基にバイオマスマップ及びLULCマップを用いた実証を行った。方法論に定められる排出係数について、バイオマスマップから算出したバイオマス値に置き換え、モニタリングレポートのCO₂削減量と比較し、精度の検証を実施した。

■ JCMカンボジアの方法論を活用してクレジットを算定する手順



JAXA 5. 研究開発成果

【実施結果詳細】④ 森林カーボンクレジット算定に係る利用実証

二国間クレジット制度（JCM）における検証結果

- 1時期のJAXA LULCマップ・バイオマスマップを使ったカーボンクレジット算出・リファレンスとの比較を実施。（手順：①評価領域の設定→②LULCマップ活用ための、LULC森林クラスとリファレンスの森林クラスの対応付け→③森林クラス毎のバイオマスマップ平均からのクレジット計算に必要な要素を抽出するためのフロー整理→④バイオマスマップの特性を加味し、補正処理をかけて再度クレジット量を計算）
- ①～③の検討を実施をした結果、バイオマスからの算出クレジットがリファレンスに対して、約23%程度過小評価となった。
- ①～③ + ④の検討の結果、バイオマスからの算出クレジットがリファレンスに対して、約5.7%程度の過大評価に収まった。

■ 1時期のバイオマスマップとLULCマップからの排出量計算



衛星由来のデータから得られる情報と、モニタリングレポートから引用する情報を上記のように整理

■ ⑤ リファレンスと補正処理を追加したクレジット値の比較

リファレンス

クラス名	EF _i 排出係数[tC/ha]	A _{i,j} 面積[ha]
常緑林 (Evergreen forest)	85.72	56,686
半常緑林 (semi-evergreen forest)	93.19	16,399
落葉樹林 (Deciduous forest)	39.97	8,397
マングローブ林 (mangrove)	66.70	0
再生森林 (Forest regrowth)	42.30	2,228

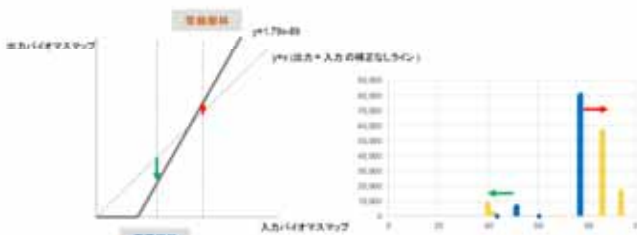
今回算出

クラス名	EF _i 排出係数[tC/ha]	A _{i,j} 面積[ha]
常緑林 (Evergreen forest)	85.65	62,596
半常緑林 (semi-evergreen forest)	85.65	18,068
落葉樹林 (Deciduous forest)	40.31	6861
マングローブ林 (mangrove)	55.99	169
再生森林 (Forest regrowth)	26.61	22

	リファレンス [tCO ₂]	今回算出 [tCO ₂]	差分 [tCO ₂]	誤差率 (差分/リファレンス)	補正なし (参考) [tCO ₂]
参照排出量	559,960	560,281	-321	-0.06%	513,244
排出量	281,536	266,052	15,484	5.5%	298,984
年間排出削減量	222,739	235,383	-12,644	-5.7%	171,408

排出係数の補正を行った結果、誤差の減少傾向を確認

バイオマスマップでは高AGBの常緑樹林がリファレンスより過小評価され、低AGBの落葉樹林がリファレンスより過大評価されている傾向があるため、補正を行う。



カンボジアのデータを元に樹種の特性の差傾向を持つ補正処理を考案した。
※常緑樹林、落葉樹林の2樹種から補正ラインを算出したが、サンプルが少ないため、他の地域で応用する際は不整合が生じる可能性がある。

5. 研究開発成果

【実施結果詳細】④森林カーボンクレジット算定に係る利用実証

各ステークホルダーとの連携

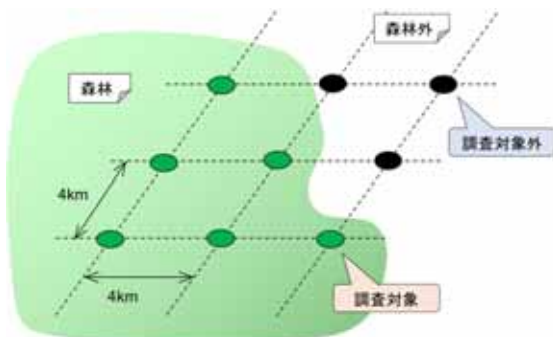
- 方法論の改定並びに方法論における利用には各ステークホルダーとの相当程度の交渉が必要となる。日本国内においては林野庁殿、海外政府機関においては森林の地理空間情報を保有している、もしくはJCMに関心を持つカンボジア、タイ、フィリピンとの連携を進めた。また、本事業の将来的な社会実装も見込み、民間事業者との連携も実施した。

林野庁との連携

- ・ バイオマスマップを用いた森林資源量把握とカーボンクレジット利用を目的に林野庁殿との新規の協定を締結。
- ・ 非公開の森林生態系多様性基礎調査(NFI, National Forest Inventory)データ等を提供頂き、バイオマスマップの精度検証に貢献。
- ・ 現在、限定地域での検証に留まっているため、今後も日本全域及び複数時期（AGBの差分変化）についての検証を行い意見交換を行っていく予定。

森林生態系多様性基礎調査
(National Forest Inventory)

国土全域に4km間隔の格子点を想定し、そのうち森林に該当する地点を調査対象として、立木調査等を実施する標本調査。



林野庁ウェブサイトより作成

海外政府機関との連携

- ・ 以下の海外政府機関と意見交換を実施。将来的なJCMクレジットの開発を目指して連携を検討した。
- ・ バイオマスマップの精度評価用の航空機LiDARデータ、NFIデータ、現地計測データ等の入手について調整を実施。

相手国	実施状況
カンボジア	・ カンボジア環境省GDEKIとの協議 ・ JICA（カンボジアオフィス）との協議 ・ 在カンボジア日本大使館との協議 ・ 環境大臣との協議 ・ 日カンボジア経済共創交流シンポジウム参加
タイ	・ GISTDAとの協議
フィリピン	・ フィリピン国家測量・資源情報庁（NAMRIA）、フィリピン環境天然資源省（DENR）との協議

民間事業者等との連携

- ・ 自社森林を保有かつカーボンクレジットの発行経験のある民間事業者への意見交換を実施。各社の取り組み状況等について情報交換を行い、将来的なバイオマスマップの利用や検証地の拡大に向けた連携について検討した。
- ・ 海外の格付機関及び事務局等との意見交換を実施した。方法論に限らず、カーボンクレジット市場における第三者認証や格付での利用についても意見交換を実施した。

6. まとめ

- 本研究は、2023年7月に文部科学省から公募された宇宙開発利用加速化戦略プログラム（スターダストプログラム）のプロジェクトとして「カーボンニュートラルの実現に向けた森林バイオマス推定手法の確立と戦略的実装」が採択され、2025年度末にすべての研究開発を完了した。

No.	目的	成果
1	炭素収支に係る高精度な算定手法の確立に向けた、衛星搭載のLバンド合成開口レーダ（SAR）観測やGHG観測、光学衛星など <u>様々な衛星データを組み合わせた森林バイオマス推定と炭素収支算定手法の研究開発を実施する</u> 。また、気候変動研究において不確実性の一つといわれる水田や湿地などを対象とした炭素吸排出量算定手法についても検討する。（欧州宇宙機関（ESA）が作成した全球森林バイオマスマップ（精度:88 Mg/ha RMSE）を上回る精度の森林バイオマスマップを作成する。）	航空機搭載 SAR（Pi-SAR-L2）に対して、多偏波・多周波同時観測機能の追加（Pi-SAR-L3）及び航空機搭載 GHG/SIF 観測装置を整備し、<u>世界初のSAR/GHG/SIF同時観測を実施した</u>。 また、Lバンド合成開口レーダ（SAR）観測、GHG観測、光学衛星など様々なデータを組み合わせて、<u>欧州宇宙機関(ESA)が作成した全球森林バイオマスマップ（精度:88 Mg/ha RMSE）を上回る精度のバイオマスマップを開発した</u>。 本研究開発では、精度検証地域が限定的であったため、今後は日本全国や海外複数地点と言ったより広域での精度検証を進める。
2	カーボンのクレジット市場への参入促進のため、環境省や林野庁等とも連携し、J-クレジット等の既存制度における <u>方法論の新設・改訂のための実証事業を実施する</u> 。	関連機関や制度運用事務局等とのヒアリングを実施し、<u>国内J-クレジット制度及び二国間クレジット制度（JCM）についてバイオマスマップを用いた利用実証を実施した</u>。 方法論の改定並びに方法論における利用には各ステークホルダーとの連携及び相当程度の調整が必要であるため、林野庁を始めとする国内機関、JCMパートナー国の候補である海外政府機関、将来的な社会実装を見込んだ民間事業者との連携も引きつづき実施していく。

- 本研究開発で獲得した技術は、我が国のネットゼロの実現及び森林経営・管理の効率化に貢献する技術であるとともに、国際的枠組みにおける日本の官民衛星データの標準化や高精度な算定手法の確立を通して、国内民間企業によるカーボンのクレジット市場への参入・価値創出を推進し、将来的な国内外の自然系クレジット市場の獲得が期待されるものである。

JAXA 7. 今後の展望

- 方法論やMRV手法の改定・新設には、相手国や事務局調整が必要であり、提案～審査～改定までに相当程度の期間を要することから、本事業で得られた成果に留まることなく、L-SAR観測の取り組みを継続し、JAXAにおける「重点テーマ 自然資本の把握とクレジット創出」にて引き続き社会実装に臨む。
- 引き続き、林野庁、海外政府機関、民間事業者と連携し、我が国の手法が国際標準として活用されることを目指し、社会実装と便益の獲得を進める。

本事業成果を活用し、重点テーマにて便益獲得を目指す。

自然資本の把握とクレジット創出：便益とアクション（1 / 4）

獲得を目指す便益（リターン）とアプローチの概要

日本の官民衛星データを利用し、自然系クレジット市場を国内外で獲得する。そのため、日本の官民衛星データを利用し、我が国のネットゼロの実現に資する森林におけるバイオマス量や自然資本を把握する効果的な手法を確立し、我が国の民間企業が当該サービスを世界に先駆けて展開する。

背景

ネットゼロ実現のためのインベントリ等にかかる我が国の取組

- 我が国を含む世界の125カ国・1地域の多くが、2050年までにカーボンニュートラルの実現を表明している。各国では排出規制や吸収量の拡大に関する様々な施策が展開されている。
- 我が国では環境省・産構審合同会合での議論を経て、NDC（国別削減目標）のベースとなる地球温暖化対策計画が2025年2月に閣議決定され、主な対策・施策として、森林、ブルーカーボンその他の吸収源確保が位置付けられている。
- 森林吸収量のインベントリ算定方法について、従来の林木成長モデルを使った間接推計から、地上での森林資源標本調査（NFI）による直接推計へ移行する予定。衛星測量については、算定精度向上の観点から補完的利用への可能性も期待されるところ。
- 農水省は、地球温暖化対策計画において、農地からのメタンガス抑制を掲げており、欧米のグローバル・メタン・プレッジなどを通じて、引き続き我が国としてリーダーシップの発揮を目指している。

産業界におけるクレジット市場の拡大

- 従来の官主導の排出削減等の取り組みだけではネットゼロの実現は難しいことから、2024年のCOP29において、パリ協定第6条の市場メカニズムの完全運用化が合意され、カーボンクレジット市場の拡大、クレジット算定のための情報把握の重要性が急速に高まっている。
- カーボンクレジットの需要拡大が見込まれている中、国内では特に、自然系・吸収系のJ-クレジットの創出拡大が企図されており、国外では、二国間クレジット制度（JCM）及びボランタリクレジット市場の有効活用を通じた経済的便益の拡大が期待されている。

クレジット市場における課題と衛星に期待される役割

- 特に自然系・吸収系の方法論では、クレジットの信頼性を担保する上で固有の課題も存在するため、信頼性確保のためクレジットのプロジェクトモニタリングが長期的に可能な衛星データの活用が期待されている。しかしながら、現状の衛星バイオマスマップの精度が高くないことから、観測季節や森林樹種・植生構成の違いによる散乱メカニズムの影響なども踏まえたアルゴリズムの改良が求められている。
- 世界では人口増加とともに水稲栽培面積も増加する中、適切な水管理下での持続的な稲作として、水田の中干延長・間断灌漑によるメタン排出の削減及びそのクレジット化が期待されている。なお、ボランタリクレジットについては、J-クレジットやJCMなどの成果を活かしつつ、民間主体での方法論反映への取り組みが進められている。

便益共創に向けたパートナー機関

- ・農林水産省・林野庁
- ・民間（小型コンステ、クレジットビジネス事業者）など

便益（リターン）獲得に向けたアクション

- 森林にかかるクレジット市場獲得に向けたアクション**
 - ◆ **我が国企業等の国内外クレジット制度での衛星データ利用の実装と市場の獲得支援**
 - ボランタリクレジット制度やJ-クレジット制度への衛星データの利活用拡大を目指し、バイオマス量や炭素蓄積変化量の推定、土地利用変化のモニタリング等、制度運用に不可欠な各プロセスに關し、既存のガイドライン・方法論に基づき、JAXAの衛星データが活用できるよう、JAXAが開発するバイオマスマップの精度を向上させる。
 - 上記を踏まえ、ボランタリクレジットの方法論において、民間企業等が我が国初の衛星バイオマスマップの利用を認証・発行主体に働きかけるとともに、クレジット発行における衛星データ利用のサービスを行う。また、林野庁とJAXAが連携して、J-クレジットへの適用方策を検討する。
 - 民間企業とJAXAが協力し、土地被覆などの多様な衛星データを活用した自然資本にかかるクレジット創出の統合ソリューションを開発することで、クレジット制度における我が国発のソリューションの優位性を向上し、市場を拡大する。
 - ボランタリクレジットの結果など踏まえ、JCMへの展開を進める。
 - ◆ **国内における森林等の自然資本把握手法の確立**
 - 森林吸収量のインベントリ算定方法の変更に多頭並進、衛星データを補完的に組み合わせることで、土地利用変化のモニタリングを含めた森林吸収量の算定手法の効率化・高度化についての貢献をする。林野庁とJAXAが連携して検討を行い、我が国のインベントリ算定に係る衛星データの実利用化を目指す。
- 水田からのメタン排出低減にかかるクレジット制度での衛星データ利用に向けたアクション**
 - 水田の中干期間延長・間断灌漑によるメタン発生抑制の方法について、JAXA、民間および関係機関が共同で衛星データ利用手法の研究開発、検証を実施し、方法論への適用、およびクレジット取引での利用を推進する。
- 国際市場獲得に必要となる衛星データの配布に向けたアクション**
 - 上記にかかる国際市場獲得のために必要となる衛星データの配布方針（無償・有償）を策定する。