

全世界自然環境保全分野の協力事業の あり方に係る研究（プロジェクト研究）

最 終 報 告 書

別冊 2

自然環境保全分野で活用される 科学的情報基盤

（リモートセンシング技術、地理情報システム、
森林管理情報システム、モニタリングシステム）

2025 年 2 月

独立行政法人
国際協力機構（JICA）

日本工営株式会社

環境
JR
25-008

はじめに

近年、森林(泥炭地・マングローブ林も含む)や生物多様性などに係る自然環境保全分野の協力は、気候変動関連の国際的な動向や民間セクターの関与、Nature-based Solutions(NbS)、グリーンインフラ、Nature Positive といった新たなコンセプトやアプローチへの注目、衛星データやリモートセンシング技術活用の流れなど、多様化・高度化の傾向にある。

例えば気候変動関連では、森林による二酸化炭素の固定・吸収の役割が注目され、緩和策の一つとして REDD+の推進や炭素クレジットの創出・獲得に係る動きが活発である。また REDD+、グリーンインフラや Eco-DRR なども含めて、自然を基盤とした様々な解決策を NbS として捉え、社会における様々な課題解決に対して自然環境が有する機能を活用するとともに、生態系の保護、持続可能な管理、回復を目指すコンセプトとして提唱されている。このように、従来の自然環境保全分野の協力範囲を拡張した対象、取組への対応が求められている。

また、生物多様性の損失に歯止めをかけて自然を増やしていく動きとして Nature Positive の考え方も生まれており、より広い視点で自然環境の保全や回復を目指す動きが増えている。また、対象を広く捉えるランドスケープアプローチも提唱されているなど、自然環境保全分野では、国際的な動向や注目の高まりに連動して新しいコンセプトやアプローチが生まれている。こうした動きに対して民間セクターも関心を高めており、カーボンオフセットや TCFD・TNFD に関連する動きがあり、今後益々民間セクターの参入、関与は増えていくと考えられる。

さらに、技術面での高度化も進んでおり、例えば、広大な自然環境の保全にあたって近年注目されているのが、衛星データやリモートセンシング技術である。これら技術を用いて自然環境をモニタリングすることにより、より効果的・効率的に保全や管理が可能になるとともに、観測したデータに基づいて二酸化炭素の排出量や排出削減量を計算し、上述したような炭素クレジットの創出も可能となっている。これら新たな技術を活用した取組を更に深化させることが重要である。

このように事業対象が多様化し技術面の高度化が進む中で、JICA グローバル・アジェンダ(JGA)「自然環境保全」の目的達成のために JICA が効果的な協力事業を実施していくためには、協力事業に携わる実務者が、過去からの知見と現在の新たな知見を把握し、案件の形成、実施を行うことが必要である。一方、これら知見を個人の努力のみで獲得していくことは容易ではない。

本書は、JICA の自然環境保全分野に携わる実務者(地球環境部、地域部、在外事務所、国内機関)を主な活用対象として想定している。各部門の実務者が案件の形成や実施にあたり基本的に認識しておくべき知見に加えて、より専門的な技術内容や、昨今の当該分野の国際的な動向や他援助機関の取り組みなどを本編及び別冊に含めた。本編は、特に重要な情報や視点が整理されているため通読願いたい。別冊は、「気候変動緩和・適応に対する自然を基盤とする解決策(NbS)の国際的な動向」、「自然環境保全分野で活用される科学的情報基盤」、「自然環境保全分野で注目される生態系」、「9 か国における自然環境保全分野の支援経緯及び成果」の4冊を作成したため、それぞれ関連するトピックや生態系、国・地域の案件を担当する際の参考資料として活用頂きたい。各部門担当者による案件の形成・実施において、特に当該分野に初めて担当するものにとって知見把握の入り口として、本書が活用されることを願っている。なお、主たる利用者は JICA の実務担当者を想定しているが、技術協力プロジェクト等に携わる専門家や開発コンサルタントの方による活用、また、自然環境保全分野への支援や事業実施を検討されている民間企業や団体の方や当該分野に関心を持つ学生や一般の方にとって JICA 協力の内容や国際的な動向について理解の一助となることを期待している。

本書作成は、自然環境保全のナレッジマネジメントネットワーク(KMN)の活動の一環として JICA 地球環境部森林・自然環境保全グループが中心となり、国際協力専門員含む KMN メンバーと共に実施した。作成にあたり、日本工営株式会社に事務局として報告書内容の取りまとめや各種調整の対応をいただいた。また、技術協力プロジェクト等に携わる専門家や開発コンサルタントの方々や、外部有識者の方々に、アンケート回答や意見交換会を通じて、貴重なご意見や情報を頂いた。ご協力頂いた関係者の皆様に感謝申し上げたい。

国際協力機構 地球環境部 森林・自然環境保全グループ
自然環境保全第一チーム課長 浅岡 浩章 (全体総括)

報告書作成関係者リスト

本書は、以下各編の取りまとめ役を中心に、国際協力専門員含む多くのKMNメンバーと共に作成した。報告書内容の執筆は、プロジェクト研究事務局を担ったコンサルタントメンバー（日本工営株式会社）が行った。

1) JICA 内の取りまとめ役

構 成		タイトル	取りまとめ役
本 編		森林・自然環境保全グループ自然環境保全第一チーム課長 浅岡 浩章(全体総括)	
		森林・自然環境保全グループ自然環境保全第一チーム調査役 山中 潤(研究主担当)	
別 冊	別冊 1	気候変動緩和・適応に対する自然を基盤とする解決策(NbS)の国際的な動向	森林・自然環境保全グループ自然環境保全第二チーム主任調査役 上西 美樹(TL) 森林・自然環境保全グループ自然環境保全第一チーム調査役 山中 潤
	別冊 2	自然環境保全分野で活用される科学的情報基盤	森林・自然環境保全グループ 浅岡 浩章(TL) 森林・自然環境保全グループ 山中 潤
	別冊 3	自然環境保全分野で注目される生態系	森林・自然環境保全グループ自然環境保全第一チーム副調査役 片岡 龍之介(TL)
	別冊 4	9 か国における自然環境保全分野の支援経緯及び成果	森林・自然環境保全グループ自然環境保全第一チーム調査役 山中 潤(TL)

*TL：チームリーダー

2) プロジェクト研究事務局

担当業務	担当者
業務主任者/自然環境保全	日本工営(株) 環境技術部 部長代理 浅野 剛史
副業務主任者/気候変動/炭素クレジット動向	日本工営(株) 環境技術部 水野 綾
森林管理/治山/流域保全(1)	日本工営(株) 環境技術部 シニアスペシャリスト 安 洋巳
森林管理/治山/流域保全(2)	日本工営(株) 環境技術部 スペシャリスト 吉岡 弥生
GIS・リモートセンシング活用/森林モニタリング	元日本工営(株) 中央研究所 徳江 義宏
生物多様性保全/沿岸生態系保全及びGIS・リモートセンシング活用/森林モニタリング	日本工営(株) 中央研究所 家根橋 圭佑
民間連携/資金メカニズム	日本工営(株) 環境技術部 角田 一樹
援助動向分析	日本工営(株) 環境技術部 杉浦 恭子

全世界自然環境保全分野の協力事業のあり方に係る研究 (プロジェクト研究)

最終報告書 別冊2

自然環境保全分野で活用される科学的情報基盤 (リモートセンシング技術、地理情報システム、森林管理情報システム、 モニタリングシステム等)

目 次

	頁
第1章 本書の構成	1
1.1 本書の目的	1
1.2 本書の構成	1
1.3 データ収集整理の方針	1
第2章 調査・解析に関する科学的情報基盤	2
2.1 リモートセンシング	2
2.2 生物多様性調査	16
2.2.1 市民科学	16
2.2.2 環境DNA	21
第3章 評価に関する科学的情報基盤	26
3.1 生物分布評価	26
3.2 生息地評価	34
3.3 生物多様性評価	41
第4章 情報共有に関する科学的情報基盤	45
4.1 国家森林モニタリングシステム(NFMS)	45
4.2 国家森林火災情報システム(NFFIS)	71

表リスト

表 2-1	センサーを搭載するプラットフォーム間での得られる情報の特性比較.....	3
表 2-2	商用光学衛星および SAR 衛星データの相場価格.....	6
表 2-3	宇宙技術利用ガイド掲載の主要な光学衛星の例.....	7
表 2-4	主な GIS ソフトウェアの概要.....	8
表 2-5	宇宙技術利用ガイド記載の自然環境保全分野での衛星リモートセンシング適用事例... 10	
表 2-6	「ドローン活用事例集」掲載の自然環境保全分野でのドローン活用事例.....	11
表 2-7	生物多様性の市民参加型調査デジタルプラットフォームの比較表.....	18
表 2-8	環境 DNA 調査と従来調査との違い(淡水魚類・両生類調査の例).....	21
表 3-1	優先的に保全すべき種の選定に係る視点の例.....	26
表 3-2	データタイプ別の種分布推定に適用可能な手法の例.....	28
表 3-3	現在と将来の希少種及び外来種の分布予測図の利活用方法の例.....	30
表 4-1	ケニアにおける NFMS 開発の基本指針.....	53
表 4-2	NFMS の各モニタリング項目とモニタリング方法.....	55
表 4-3	FIP のハードウェア構成要素.....	57
表 4-4	FIP のソフトウェア構成要素.....	58
表 4-5	実施された研修の概要.....	60
表 4-6	ArcGIS Survey123 による情報収集項目の例.....	62
表 4-7	リスク 4 要素に対応した MKFFIS のツール.....	73
表 4-8	MKFFIS の各ツールのデータソース及び解像度.....	74
表 4-9	MKFFIS のデータベース構成要素の詳細.....	75

図リスト

図 2-1	人工衛星によるリモートセンシングのイメージ.....	2
図 2-2	各プラットフォームの特性の比較.....	4
図 2-3	SAR に用いられる観測周波数の種類と特性.....	5
図 2-4	ブラジルにおける JICA 事業での固定翼ドローン活用シーン.....	14
図 2-5	市民参加型生物調査プロジェクト数の推移.....	16
図 2-6	市民参加型調査の特徴を示すレーダーチャート.....	17
図 2-7	環境 DNA 調査と従来調査の特徴(淡水魚類調査の例).....	22
図 2-8	環境 DNA に係る環境省の手引きと環境 DNA 学会のマニュアルとの関係.....	25
図 3-1	重要種の分布推定の流れの例.....	27
図 3-2	SDM による生物分布確率算出のイメージ図.....	28
図 3-3	在・不在データを用いる場合の重要種の分布推定方法例.....	29
図 3-4	SDM 利活用時の課題・留意点.....	31
図 3-5	調査地域の偏り度合(a)と保護区の広さ(b)によるデータ処理の有益さの違い.....	32
図 3-6	国別の Marxan ユーザー数の傾向.....	35
図 3-7	Marxan による保全にかかるコスト計算のイメージ図.....	36
図 3-8	Marxan による優占保全候補地域の選定結果.....	38
図 3-9	絶滅危惧維管束植物の効率的な保全に寄与する地域.....	39
図 3-10	生物多様性の 3 つのレベルの概念図.....	41
図 3-11	推定された木本植物の多様性および個々の植物の個体数の例.....	43
図 3-12	生物多様性評価における種の多様性の考え方と都市への応用のイメージ図.....	44
図 4-1	NFMS のコアとなる要素及び NFMS とデータ収集サイクルとの関係.....	46
図 4-2	NFMS が機能するために必要なアプローチとツール.....	48
図 4-3	IPCC ガイダンスにおける温室効果ガス吸排出量の算出方法の概念図.....	49
図 4-4	NFI と NFM の関係.....	50
図 4-5	プロジェクトで提案された森林資源データベース概念図.....	50

図 4-6	森林資源データベース開発の基本コンセプト.....	51
図 4-7	森林資源データベースに関わるデータ入出力の流れ.....	52
図 4-8	ケニアにおける NFMS 構造のイメージ.....	53
図 4-9	UNFCCC において NFMS に求められる要件.....	54
図 4-10	FIP の構成図	56
図 4-11	森林資源データベース構築までの流れ.....	58
図 4-12	森林モニタリングシステムの全体構成概念と本プロジェクト範囲.....	59
図 4-13	GIS クラウドモジュールが提供する Operations Dashboard for ArcGIS の画面	60
図 4-14	ArcGIS Survey123 のユーザインターフェースの例.....	63
図 4-15	ArcGIS Online に表示されたデータ収集地点のプロット中心	64
図 4-16	現地調査データの解析結果の例	64
図 4-17	PDMS を利用した森林モニタリングのステップ	69
図 4-18	EFFIS のモジュール(2024 年 1 月時点)	72
図 4-19	MKFFIS のデータベースの構成.....	75

別添リスト

別添 1: 参考文献

別添 2: 参考情報

別添 3: 議事録

略 語 表

略語	原文	和訳
AI	Artificial Intelligence	人工知能
API	Application Programming Interface	アプリケーションプログラムインタフェース
AR-CDM	Afforestation and reforestation - Clean Development Mechanism	新規植林・再植林クリーン開発メカニズム
BLM	Boundary Length Modifier	分断化許容度
BTR	Biennial Transparency Report	隔年透明性報告書
BUR	Biennial Update Report	隔年更新報告書
C/P	Counterpart	カウンターパート
CAFI	Central African Forest Initiative	中央アフリカ森林イニシアティブ
CBD	Convention on Biological Diversity	生物多様性条約
CMC	Crisis Management Center	北マケドニア共和国危機管理センター
CMS	Crisis Management System	危機管理システム
COP	Conference of the Parties	締約国会議
CSR	Corporate Social Responsibility	企業の社会的責任
DNA	Deoxyribonucleic Acid	デオキシリボ核酸
DPR	Directorate for Protection and Rescue	保護・救助局
DX	Digital Transformation	デジタルトランスフォーメーション
EC	European Commission	欧州委員会
Eco-DRR	Ecosystem-based Disaster Risk Reduction	生態系を活用した防災・減災
EFFIS	European Forest Fire Information System	欧州森林火災情報システム
ESA	European Space Agency	欧州宇宙機関
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations	国際連合食糧農業機関
FCPF	Forest Carbon Partnership Facility	森林炭素パートナーシップ基金
FIP	Forest Information Platform	森林情報プラットフォーム
FOREST	Forest Data and Information System	森林地域のモニタリング機能・活動を強化するための研究活動
FREL	Forest Reference Emission Levels	森林参照排出レベル
FRL	Forest Reference Levels	森林参照レベル
FWI	Fire Weather Index	ファイアー・ウェザー・インデックス
GBF	Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework	昆明・モンリオール世界生物多様性枠組
GBIF	Global Biodiversity Information Facility	地球規模生物多様性情報機構
GEE	Google Earth Engine	Google Earth Engine

略語	原文	和訳
GFOI	Global Forest Observations Initiative	全球森林観測イニシアティブ
GIS	Geographic Information System	地理情報システム
GLM	Generalized Linear Model	一般化線形モデル
GLMM	Generalized Linear Mixed Model	一般化線形混合モデル
GPS	Global Positioning System	地球測位システム
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis	環境・再生可能天然資源院
IEA	International Energy Agency	国際エネルギー機関
IEMS	Integrated Emergency Management System	統合危機管理システム
IES	Institute for Environment and Sustainability	環境・持続発展研究所
IGES	Institute for Global Environmental Strategies	公益財団法人地球環境戦略研究機関
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change	気候変動に関する政府間パネル
JAXA	Japan Aerospace Exploration Agency	宇宙航空研究開発機構
JICA	Japan International Cooperation Agency	独立行政法人国際協力機構
JJ-FAST	JICA-JAXA Forest Early Warning System in the Tropics	JICA-JAXA 熱帯林早期警戒システム
JRC	Joint Research Center	共同研究センター
LCM	Law on Crisis Management	危機管理法
LiDAR	Light Detection and Ranging	LiDAR
MKFFIS	Macedonian Forest Fire Information System	マケドニア森林火災情報システム
MODIS	The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer	中分解能撮像分光放射計
MRV	Measurement, Monitoring, Verification	測定・報告・検証
NASA	National Aeronautics and Space Administration	アメリカ航空宇宙局
NDVI	Normalized Difference Vegetation Index	正規化植生指標
NFFIS	National Forest Fire Information System	国家森林火災情報システム
NFI	National Forest Inventory	国家森林資源インベントリー
NFM	National Forest Monitoring	国家森林モニタリング
NFMS	National Forest Monitoring System	国家森林モニタリングシステム
NISAR	NASA ISRO Synthetic Aperture Radar	合成開口レーダー搭載の衛星
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development	経済協力開発機構
OSFAC	Central African Satellite Forest Observatory	OSFAC

略語	原文	和訳
PDCA	Plan-Do-Check-Act	PDCA
PDMS	Provincial Deforestation Monitoring System	県森林減少モニタリングシステム
PNG	Papua New Guinea	パプアニューギニア
QA	Quality Assurance	品質保証
QC	Quality Control	品質管理
REDD+	Reducing emissions from deforestation and forest degradation and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries	開発途上国における森林減少・劣化に由来する排出の削減並びに森林保全、持続可能な森林経営及び森林炭素蓄積の増加の役割
SAR	Synthetic Aperture Radar	合成開口レーダー
SATREPS	Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development	地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム
SDB	Satellite Derived Bathymetry	衛星画像を利用した水深推定技術
SDGs	Sustainable Development Goals	持続可能な開発目標
SDM	Species Distribution Models	種分布推定モデル
SICA	(西) Sistema de Integración Centroamericana (英) Central American Integration System	中米統合機構
SNS	Social Networking Service	ソーシャル・ネットワーキング・サービス
Suomi NPP	The Suomi National Polar-orbiting Partnership	アメリカ海洋大気庁が運用する極軌道上周回気象衛星
TFI	Task Force on National Greenhouse Gas Inventories	インベントリータスクフォース
TNFD	Taskforce on Nature-related Financial Disclosures	自然関連財務情報開示タスクフォース
TSU	Technical Support Unit	技術支援ユニット
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	無人航空機
UNDP	United Nations Development Programme	国際連合開発計画
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change	気候変動に関する国際連合枠組条約

第1章 本書の構成

1.1 本書の目的

自然環境保全分野で活用される科学的情報基盤(リモートセンシング技術、地理情報システム(Geographic Information System: GIS)、森林管理情報システム、モニタリングシステムなど)について、今後の協力事業の形成・実施にあたって必要かつ基礎的な情報を取りまとめる。なお本別冊で重点的に記載する科学的情報基盤の範囲は、近年のプロジェクトで多く活用されているリモートセンシング技術、および今後注目される技術である生物多様性評価に関するものを対象とした。

1.2 本書の構成

本書は第2章以降において、以下に示す項目を整理した:

- 1) 自然環境保全分野で活用される科学的情報基盤の基礎的な情報
- 2) 科学的情報基盤の代表的な適用事例、有用な参考情報

巻末別添に、本別冊の参考文献および参考情報を示す。

1.3 データ収集整理の方針

便宜的に、以下に示すように①調査・解析、②評価、③情報共有の3つに分類して、自然環境保全分野の協力事業で活用される科学的情報基盤の概要、期待される効果、課題・留意事項、適用事例、参考情報を整理する。

- ① 動植物や自然環境を対象とした調査および取得した情報の解析時に活用される技術
- ② 動植物や自然環境を対象とした調査により得られた情報の定量的評価を行う際に活用される技術
- ③ 森林減少や森林火災などに関する情報共有に活用される技術

なお、例えばリモートセンシング技術など、2つ以上の分類に重複する技術は、最も目的が近いと思われる分類へ記述する。

文献調査による情報収集・整理を基本とするが、関連する公開資料が限定される情報共有システムに関しては、JICA業務内で当該システムの利用経験を有する専門家へのヒアリング調査も実施し、不足する情報を補足した。

第2章 調査・解析に関する科学的情報基盤

本章では、自然環境保全分野の事業において、主に動植物や自然環境を対象とした調査および取得した情報の解析時に活用される技術について情報を整理した。

2.1 リモートセンシング

(1) 概要

リモートセンシングとは、対象物に直接触れることなく、離れたところから物体の形状や性質などを観測する技術であり、様々なセンサーを用いて、地表面・水面・大気中の様々な物質による太陽光の反射波や、物質そのものからの熱放射、センサーから発射したマイクロ波の反射波などの電磁波を観測し、物体ごとの電磁波の反射・放射特性(分光特性)を利用して、物体の識別を行う¹。人工衛星によるリモートセンシングのイメージを図 2-1に示す。

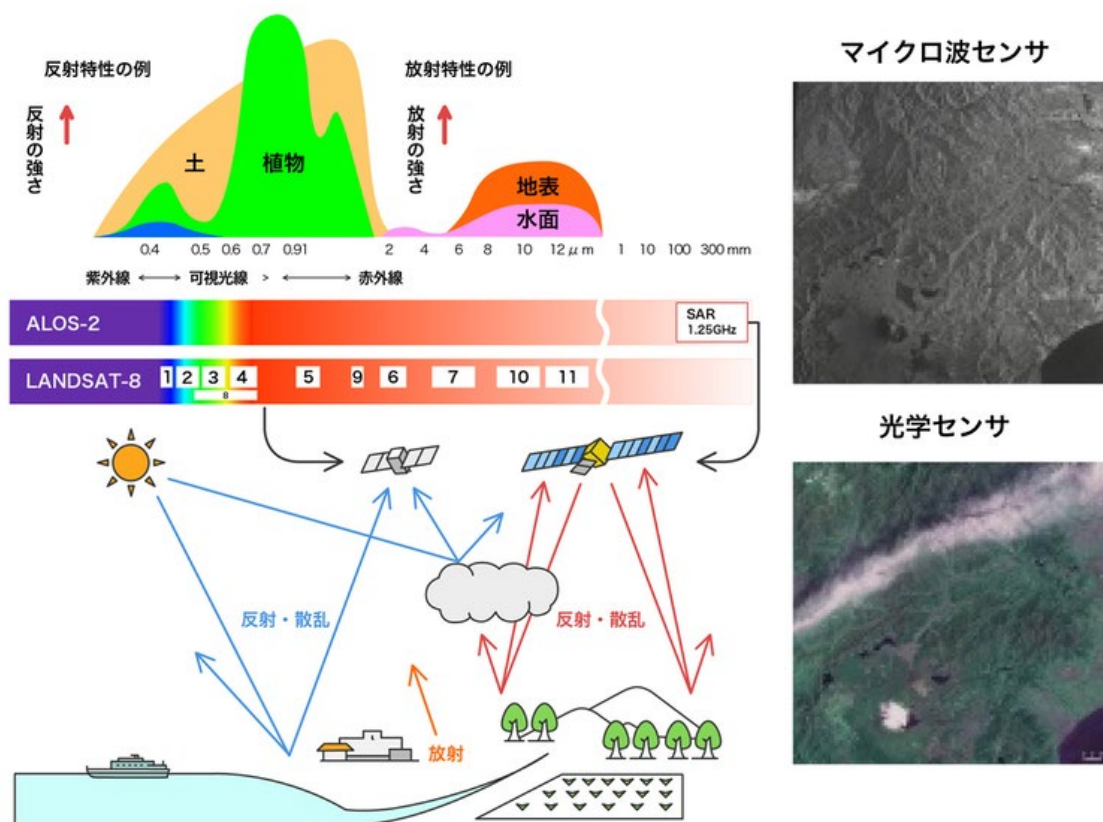


図 2-1 人工衛星によるリモートセンシングのイメージ

出典: RESTEC, <https://www.restec.or.jp/knowledge/sensing/sensing-2.html> (最終アクセス日: 2024-12-25)

センサーを搭載する機体はプラットフォームと呼ばれ、人工衛星、航空機、無人航空機(Unmanned Aerial Vehicle: UAV)などが該当する²。人工衛星は最も広域を撮影できるが、他のプラットフォームと比較して取得できるデータの空間解像度が粗くなる、UAVは空間解像度の高いデータが取得できるが、撮影できる範囲が人工衛星や航空機と比較すると狭くなるなど、プラットフォームによって得

¹ 環境展望台, <https://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=86> (最終アクセス日: 2024-12-25)

² 環境展望台, <https://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=86> (最終アクセス日: 2024-12-25)

られる情報の特性が異なる(表 2-1、図 2-2)。本別冊では、人工衛星をプラットフォームとした場合のリモートセンシング技術を中心に情報を整理した。

表 2-1 センサーを搭載するプラットフォーム間での得られる情報の特性比較

	衛星 広域撮影	衛星 詳細撮影	航空機 広域撮影	航空機 詳細撮影	ドローン	IoTセンサ
観測範囲	1000km ² ~	100km ² ~	30~900km ²	~1km ²	~0.1km ²	0.01km ²
解像度	10m	0.3~1m	0.3~1m	2.5cm	0.5~1cm	~1cm
観測頻度	5日/回	~1日/回	都度	都度	都度	常時
観測に必要な時間	~1sec/km ²	~1sec/km ²	~20h/km ²	day/km ²	30min./km ²	-
抗堪性 (発災時)	◎	◎	△	△	×	×
越境性	◎	◎	×	×	×	×
周期性	○	○	×	×	×	◎
価格 /単位面積	◎	△	×	×	○	◎
最低購入 面積	△ (広い)	△ (広い)	-	-	-	-

備考: 最左列の用語のうち、抗堪性は撮影対象地の環境に影響を受けずに機能を維持する特性、越境性は国境などの境を超えて広範囲を撮影する特性、周期性は一定の時間間隔で撮影する特性を意味する。

出典: 宙畑, <https://sorabatake.jp/7777/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

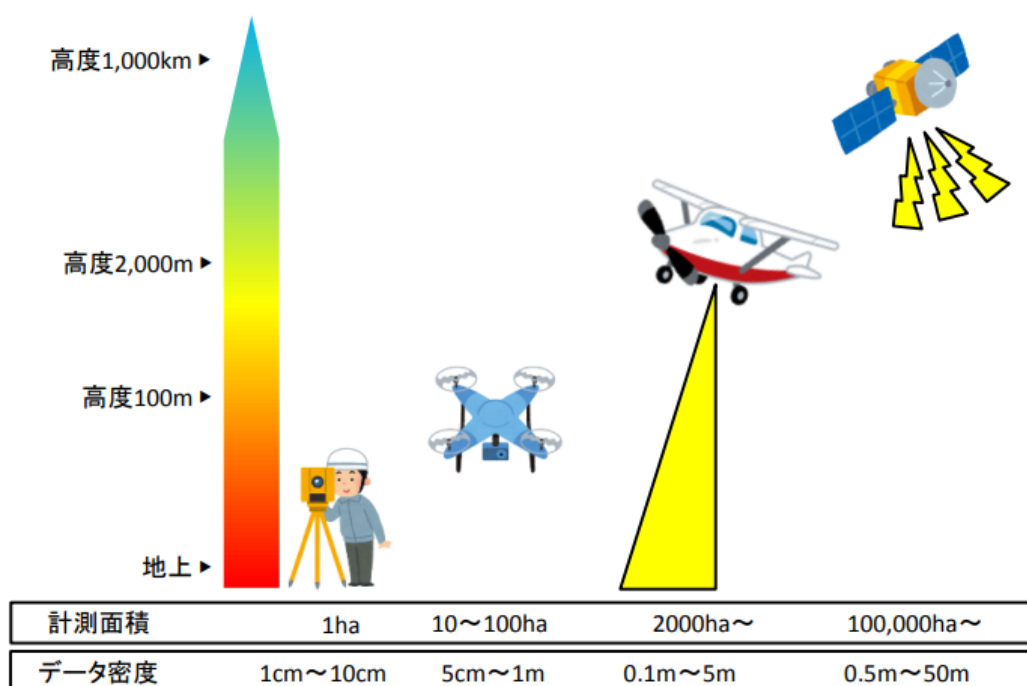


図 2-2 各プラットフォームの特性の比較

出典: 林野庁(2018)『高精度な森林情報の整備・活用のためのリモートセンシング技術やその利用方法等に関する手引き』

センサーは、物質から反射・放射される電磁波を観測する受動型と、電磁波を観測対象に向けて照射し、その反射波を観測する能動型に大別される³。受動型センサーのうち、物体による太陽光の反射波を観測する可視・近赤外センサーは、多くの人工衛星に搭載されており、地表面の土地被覆情報の取得などに利用されている。物体自身から放射される熱赤外線やマイクロ波を観測する熱赤外・マイクロ波センサーは、気象衛星などに搭載されており、地表面や海表面の温度、大気に含まれる水蒸気量などの取得に利用されている。その他、太陽光が観測対象から反射された光を観測するパナクロマティックセンサー、複数波長の光を観測するマルチスペクトルセンサー、超多波長の光を観測するハイパースペクトルセンサーなどがある。

能動型センサーには、可視・近赤外光を使用したライダー(Light Detection and Ranging: LiDAR)や電波を使用したレーダーなどがある。LiDARはセンサーから可視・近赤外線域のレーザー光を照射し、対象物から反射して戻るまでの時間、強度、波長の変化を観測することで、対象物までの距離や状態を高精度に観測するセンサーであり、測量や地形図作成などに利用されている。レーダーは、センサーから可視・近赤外線より遥かに波長の長い電波を照射し、対象物からの反射波の強さや位相で対象の状態を観測するセンサーであり、雲を通過する電波の特性から、可視・近赤外線域では難しい荒天時などであっても観測が可能となっている。レーダーのうち、合成開口レーダー(Synthetic Aperture Radar: SAR)は時系列に電波を照射して受信した結果を適切に処理することで仮想の大きなアンテナを作り出し、遠く離れた場所からでも高解像度の観測を可能としたものであり、人工衛星に搭載したSARは地表面の状態や地形の変化、森林伐採、災害状況の把握などに利用されている⁴。図 2-3にSARに用いられる観測周波数の種類と特性を示す。

³ 環境展望台, <https://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=86> (最終アクセス日: 2024-12-25)

⁴ JAXA, <https://earth.jaxa.jp/ja/eco-knowledge/> (最終アクセス日: 2025-12-25)

図 2-3 SAR に用いられる観測周波数の種類と特性

出典: 宙畑, <https://sorabatake.jp/3364/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

表 2.2 に商用の光学衛星および SAR 衛星データの相場価格を示す。なお、人工衛星データの価格は

表 2-2 商用光学衛星および SAR 衛星データの相場価格

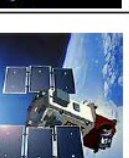
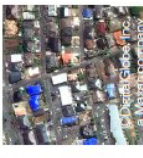
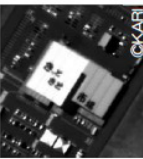
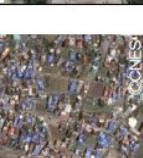
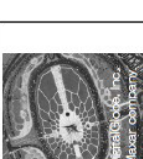
撮影の種類	分解能	最低購入面積	購入単価	km ² 当たりの単価
光学衛星 アーカイブ画像	高解像度: 0.3 – 1 m	25 km ²	6 – 9 万円	2,400 – 3,600 円
	中解像度: 1 – 2 m	25 km ²	2 – 4 万円	800 – 1,600 円
	低解像度: 2 m –	100 km ²	2 – 4 万円	200 – 400 円
光学衛星 スポット撮影	高解像度: 0.3 – 1 m	100 km ²	100 万円 –	10,000 円 –
SAR 衛星 アーカイブ画像	超高解像度: 0.5 m	25 km ²	10 – 20 万円	4,000 – 8,000 円
	高解像度: 1 – 3 m	50 km ²	8 – 16 万円	1,600 – 3,600 円
	中解像度: 3 – 6 m	50 km ²	4 – 8 万円	800 – 1,600 円
	低解像度: 2 m –	100 km ²	4 – 8 万円	400 – 800 円
SAR 衛星 スポット撮影	高解像度: 0.5 – 1 m	100 km ²	100 万円 –	10,000 円 –

備考: 最左列の用語のうち、アーカイブ画像は蓄積されたデータアーカイブの中から画像を取得すること、スポット撮影は特定のエリアの欲しい日付を指定して新たに撮影した画像を取得することを意味する。

出典: SpaceView, <https://www.spaceinsight.earth/satellite-data-price> (最終アクセス日: 2024-12-25)に基づき日本工営作成

2020年3月にJICAが作成した「宇宙技術利用ガイド」の「第4章 主要地球観測衛星一覧表」には、SAR衛星、気象衛星、光学衛星の3つに分類して、主要な地球観測衛星に関する情報がまとめられている。表 2-3に本ガイド記載の主要な光学衛星の例を示す。

表 2-3 宇宙技術利用ガイド掲載の主要な光学衛星の例

衛星名	GeoEye-1	KOMPSAT-3A	IKONOS	Landsatシリーズ	Pleiades 1A/ 1B	QuickBird	WorldView-1
外観							
利用用途	- 商業衛星分野では世界最高分解能を誇る衛星。 41 cmのパンクロマティック画像(白黒)と164 cm解像度のマルチスペクトル画像(カラー)を合成処理し、41 cmのパンシャープン画像(カラー画像)を実現する。	環境、農業および海洋監視のためのGISアプリケーション用に高解像度光学画像ならびに熱赤外画像を取得する。	- 米国政府の規制緩和により、偵察衛星技術を民生用に転用した衛星。 - 最高82 cmという高解像度を有しており、精度の高いパンクロマティック画像の取得。 - 全陸地表面の意図した画像のアーカイブの繰り返し取得が可能と更新	- 現在、Landsat-7が運用している。 - 地球全体の中分解能マルチスペクトル画像ならびに熱赤外画像の取得。 - 全陸地表面の意図した画像のアーカイブの繰り返し取得が可能と更新	1回の撮影範囲が20 km x 20 kmと、他の超高解像度光学衛星に比べて約1.5倍の広さを撮影することができ、北緯40度以上の地域では毎日1 m分解能での撮影が可能となる。	- 偵察衛星技術を民生転用し、商用としては高い空間分解能画像を提供する。 - QuickBird、WorldView-2との3機体制で1日の撮影能力は191万km²(日本の国土の約5倍)である。	商業用高分解能画像衛星で、NexView計画の1号機である。
国産	米国	韓国	米国	米国/USGS	フランス	米国	米国
機関等	DigitalGlobe社	KARI/ASTRUM/DLR	DigitalGlobe社	NASA/USGS	ONES	DigitalGlobe社	DigitalGlobe社
入手先データ提供元	日本スペースイメージング(株)	(株)バスコ	(株)INTTデータ	---	(株)サテライトイメージング(株)	日本スペースイメージング(株) (株)INTTデータ	日本スペースイメージング(株) (株)INTTデータ
観測周期	11日	28日	11日	Landsat-1~3:18日 Landsat-4~8:16日	26日	20日	---
最短撮像日	3日	---	3日	---	5~26日(1機のみ) 4~13日(2機体制)	1~35日	1.7日(1m以下の解像度) 5.9日(50cm解像度)
観測バンド	パンクロ:0.45~0.8 μm マルチ: 青 0.45~0.51 μm 緑 0.51~0.58 μm 赤 0.655~0.69 μm 近赤外 0.78~0.92 μm	パンクロ:0.50~0.90 μm マルチ: 青 0.45~0.52 μm 緑 0.52~0.60 μm 赤 0.632~0.69 μm 近赤外 0.76~0.90 μm TIR: TBD	パンクロ:0.526~0.929 μm マルチ: 青 0.445~0.516 μm 緑 0.505~0.595 μm 赤 0.632~0.698 μm 近赤外 0.757~0.853 μm	Landsat-1~3: VIS, VNIR Landsat-4~5: VIS, VNIR, SWIR, TIR Landsat-7: PAN, VIS, VNIR, SWIR, TIR Landsat-8: PAN, VIS, VNIR, SWIR, TIRS	パンクロ:0.49~0.82 μm マルチ: 青 0.45~0.53 μm 緑 0.51~0.59 μm 赤 0.62~0.70 μm 近赤外 0.775~0.915 μm	パンクロマティック:0.45~0.9 μm マルチ: 青 0.45~0.52 μm 緑 0.52~0.60 μm 赤 0.63~0.69 μm 近赤外 0.76~0.9 μm	0.4~0.9 μm(パンクロ) 0.5m
分解能	パンクロ:0.41 m マルチ:1.64 m	パンクロ:0.8 m マルチ:4 m TIR:5.5 m	パンクロ:0.82m マルチ:3.3m	Landsat-1~3:30m (VIS, VNIR) Landsat-4~5:30m (VIS, VNIR, SWIR, TIR) Landsat-7:15m (PAN), 30m (VIS, VNIR, SWIR, TIR) Landsat-8:15m (PAN), 30m (VIS, VNIR, SWIR, TIRS)	パンクロ:0.7m マルチ:2.8m	パンクロ:0.61m マルチ:2.44m	0.5m
観測幅	15.2km	15km	11.3km	185 km	20km	16.5km	17.6km
参考画像							
	衛星画像から可能な最高の解像度を測定した事例。	0.55mの分解能を誇るサンプル画像	サンフランシスコの街並みを鮮明に撮った様子。	衛星画像により、森林火災の状況を確認。赤い円で囲まれた部分が火災の発生場所。衛星画像は、火災の発生場所を確認するための重要なデータと見なされている。	衛星画像が、Pleiades 1A/1Bの衛星画像と、他の衛星画像とを比較して、火災の発生場所を確認するための重要なデータと見なされている。	衛星画像が、QuickBirdの衛星画像と、他の衛星画像とを比較して、火災の発生場所を確認するための重要なデータと見なされている。	イランのアーザーバード火災の発生場所を確認した様子。

出典: JICA 内部資料(2020)『宇宙技術利用ガイド 第4章 主要地球観測衛星一覧表』に基づき日本工営作成

リモートセンシングによって得られた情報は、広域データとして地理情報システム(Geographic Information System: GIS)で活用される。GISは、コンピュータ上で空間データを収集・取得し、それらをデータベースとして構築・管理・検索・分析・統合・表示・伝達する一連のシステムと定義される⁵。GISで主に行われるのは、地図上での情報の表示(可視化)、複数の情報の重ね合わせ、情報の分析の3点である。GISソフトウェアには多くの種類があるが、自然環境保全分野で利用される代表的なものとしては、ArcGIS、QGIS、Google Earth Pro、ENVI、Tellus OSなどがあげられる。各ソフトウェアの概要を表 2-4に示す。

表 2-4 主な GIS ソフトウェアの概要

ソフトウェア名	提供元	備考
ArcGIS	ESRI 社	最も有名な有償のソフトウェア。 クラウドベースのサービスを提供。 無料トライアル期間有り。
QGIS	QGIS Development Team	最も有名な無償のオープンソースソフトウェア。 パソコン単独で動作する GIS アプリケーション。
Google Earth Pro	Google	高解像度の衛星画像データを含む画像や 3 次元マップを閲覧可能。 GIS データの取り込みや表示に注力しており、解析機能は限定的。 解析は Google Earth Engine の Code Editor で行う方針。
ENVI	L3Harris technologies, inc.	リモートセンシングデータ解析・可視化処理の統合アプリケーション。 光学衛星、航空写真、SAR、LiDAR、ドローンなどのリモートセンシングデータに対して各種処理を行うことが可能。
Tellus OS	株式会社 Tellus	日本初の衛星データプラットフォーム Tellus の提供する GIS 閲覧機能を持ったブラウザベースのサービス。日本を中心とした衛星画像に加え、人の流れの分かる人流データなども搭載。 GIS データの閲覧に特化しており、解析は別途有償で提供される開発環境でプログラミング言語によって行う方針。

出典: 宙畑, <https://sorabatake.jp/16915/> (最終アクセス日: 2024-12-25)および FalcomEye GIS, <https://gisswlabo.com/gisShokai/gisSoftware/gisSoftware.html> (最終アクセス日: 2024-12-25)に基づき日本工営作成

リモートセンシングによって得られた情報を公開するサイトも多く存在する。代表的なサイトには、宇宙航空研究開発機構(JAXA)の運用するEarth-graphy⁶やアメリカ航空宇宙局(National Aeronautics and Space Administration: NASA)の運用するThe Earth Science Data Systems(ESDS)⁷、JAXA、NASA、欧州宇宙機関(European Space Agency: ESA)が共同で運用するEarth Observing Dashboard⁸などがあり、情報にアクセスできるようになっている。

(2) 期待される効果

リモートセンシングは、人工衛星や航空機などをプラットフォームに用いることで、広域の大気や地表の状況を短時間に観測できるという特長がある。また、近年のデータ解析技術の進歩により、リモートセンシングで得られる大量の観測データは、迅速かつ効率的に解析できるようになった。さらに、搭載するセンサーの性能向上や、インターネットをはじめとする情報通信技術の進歩も加わって、リモートセンシングの利用分野は急速に拡大している⁹。今後は、人工衛星の増加により、より高頻度に観測が行えるようになること、デジタルカメラやスマートフォン、ロボットなどを利用して観測対象に近づき、人工衛星よりも高頻度の観測と高い解像度の画像による観測ネットワークが広がっていくこと、データの解析に人工知能(Artificial Intelligence: AI)が利用されることでさらに解析の効率性や精度が向上することなどが期待される。

⁵ 宙畑, <https://sorabatake.jp/16915/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

⁶ JAXA, <https://earth.jaxa.jp/ja/data/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

⁷ NASA, <https://www.earthdata.nasa.gov/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

⁸ Earth Observing Dashboard, <https://eodashboard.org/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

⁹ 環境展望台, <https://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=86> (最終アクセス日: 2024-12-25)

(3) 課題・留意事項

リモートセンシングを活用したJICA事業実施の際には、事業費と持続性の観点から、衛星データやGISデータの解析ソフトが高価である点が課題となりうる。衛星データに関しては、近年、充実してきている無償のデータの活用も含めて検討することで、コストを削減できる可能性がある。また、リモートセンシングを活用する対象範囲の広さに応じて、衛星データやドローン、地上レベルのプラットフォームなどを適切に使い分け、オーバースペックな手法を採用しないことも重要である。解析ソフトに関しては、前述の無償GISソフト(QGISなど)を活用することでコストが抑えられる。しかしながら、有償ソフトは無償ソフトと比較してチュートリアルやアフターサービスが充実している場合が多く、支援対象国に無償GISソフトを扱えるGIS技術者が継続的に確保できないような場合には、有償ソフトにも利点が多い。そのため、状況に応じて適切なソフトを選択する必要がある。

その他の衛星画像に関わる課題・留意事項としては、「宇宙技術利用ガイド 第2章 分野別利用」に、JICA事業で衛星画像を活用する場面で認識された、多くの具体的な報告があげられている。以下に報告された課題・留意事項の例を示す。

- ・ 光学系・SAR衛星共に抽出可能な物質の最小単位は活用する画像データの地上解像度に依存する。
- ・ 光学衛星は観測の可否が天候に左右されるため、新規観測画像を伴う場合には、撮影期間を十分に取っておく必要がある。
- ・ 光学衛星による水中の観測・推定では、水の透明度が悪いと精度が低下する。
- ・ SAR衛星による地形データ作成では、実測やLiDARデータと比較して解像度も精度も劣るため、その点に留意した使い方をする必要がある。
- ・ 地上温度の観測に利用可能な熱赤外波長は、反射強度が低いいため、解像度が低いが、地上で観測した情報と組み合わせることで、高精度化が期待できる。

また、「宇宙技術利用ガイド 第3章 処理別ガイド」には、JICA事業で衛星画像を活用する場面で認識された課題・留意事項に関して、処理別かつ衛星の種類別に多くの具体的な報告があげられている。以下に報告された課題・留意事項の例を示す。

- ・ SAR衛星のLバンドやXバンドを利用した画像分類／判読に関して、森林減少を検知する閾値は樹種や地域によって一定ではない。
- ・ SAR衛星のXバンドを利用した画像分類／判読に関して、特殊な判読技術が必要とされる。
- ・ 1m以下や10m以下などの高分解能の光学衛星画像を利用した画像分類／判読に関して、画像処理時に解像度の高さに起因する分類ノイズが多数発生する。

ドローン活用に関わる課題・留意事項としては、「ドローン活用事例集」において、国によってはドローンの修理対応可能な代理店が不足していること、ドローンの持ち込みに関わる規定などの法令などが未整備であること、があげられている。また、操縦者へのトレーニングの充実や安全面に関するマニュアル策定、バッテリー性能に係る飛行時間の制限から回転翼と固定翼の使い分け、などの必要性も指摘されている。分析面では、高解像度のデータ量が膨大になることから効率的なデータ管理・高性能コンピュータ導入の必要性が指摘されている。本事例集では、ドローン活用の持続性を確保するための効果的な取組として、ドローンに関する国・州レベルの制度が未整備な場合は、C/P機関における安全管理ガイドやユーザーマニュアルを含んだ運用ガイドラインを作成すること、大学・研究機関と連携すること、オープンソースの解析ソフトを普及させることがあげられている。また、ドローンの更なる普及に関しては、調査対象付近のインフラ整備、ソフトウェアアップデートのためのネット状況の改善、民間の測量会社でドローン測量を普及させることなど、外部要因の改善の必要性についても指摘されている。

(4) 適用事例

2020年3月にJICAが作成した「宇宙技術利用ガイド」に記載の、自然環境保全分野における衛星リモートセンシングの活用事例を表 2-5に示す。

表 2-5 宇宙技術利用ガイド記載の自然環境保全分野での衛星リモートセンシング適用事例

目的/情報	衛星活用方法	利用実績
森林資源把握	- 光学系衛星からの土地被覆データや地形図の作成。 - 土地被覆情報や地形データから森林資源量を把握。 - 土地被覆変化情報の森林被覆面積の推移を把握。 - SAR 衛星を使ったマングローブ林分類。 - SAR 衛星画像から分類処理によりマングローブ林を抽出。	- 光学系衛星から土地被覆分類による森林域の把握や被覆変化抽出には多数実績がある。 例えば各国の FRL レポートのもととなる森林被覆データや Activity Data は LANDSAT 衛星等の光学系衛星の画像データが使われている。 - UK 宇宙庁支援の Forest2020 では、パイロットプロジェクトとして、雲が常時発生している海岸域のマングローブ林の画像分類に Sentinel-1 衛星の SAR 画像を活用している。
森林減少	- 森林減少モニタリング。 - 光学系衛星データから森林域を特定し、その増減をモニタリングする。 * 過去からのアーカイブ画像が揃っている LANDSAT 衛星シリーズのデータがよく活用されている。 - SAR 衛星データから、森林減少域を抽出する。	- JICA と JAXA が共同で、ALOS-2(SAR 衛星)からの森林減少把握を JICA-JAXA 熱帯林早期警戒システム(JICA-JAXA Forest Early Warning System in the Tropics: JJ-FAST)として配信中。 プラットフォーム https://www.eorc.jaxa.jp/jjfast/ - メリーランド大学が LANDSAT(光学系衛星)からの森林減少把握を Global Forest Change として配信中。 プラットフォーム https://earthenginepartners.appspot.com/science-2013-global-forest
森林火災	- 光学系衛星による早期検出システム。 - 光学系衛星の熱赤外周波数域データを活用した検知。	- MODIS のプロダクトとして森林火災がある。 - NASA が MODIS と Suomi NPP からの森林火災リアルタイム検出を配信中。 プラットフォーム https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/
生息環境調査 生息域モニタリング	- SAR 衛星からの地形データ活用／光学系衛星からの土地被覆データ活用。 - 地形や土地被覆データをベースとした生物存在場所と物理環境の解析。 - 土地被覆変化抽出による生物存在場所と物理環境の解析。	情報なし。
砂漠化モニタリング	- 光学衛星データからの植生指数による緑化調査。 - 正規化植生指標(Normalized Difference Vegetation Index: NDVI)を時系列でモニタリングしグローバルな砂漠化を把握。	MODIS のプロダクトとして NDVI が生成されている。
Eco-DRR 里山	- 光学系衛星から土地被覆データを作成。 - SAR 衛星/光学系衛星(PRISM 等)から地形データを作成。 - 土地被覆データおよび地形データを Eco-DRR 計画のための基礎情報と	地形データや土地被覆データの作成については、多数実績あり。

目的/情報	衛星活用方法	利用実績
	・ 土地被覆データおよび地形データを里山マスタープランの基礎情報とする。 ・ 減災としてのマングローブ林を土地被覆データから特定/モニタリングする。	
持続的自然資源利用	・ 光学系衛星から土地被覆データを作成。 ・ 土地被覆データを時系列で解析し、自然資源利用の推移を把握。 ・ 土地被覆変化推移から自然資源保護地域を絞り込む。 ・ 時系列で土地被覆変化をモニタリングすることで、持続的自然資源開発後の評価を行う。	・ 光学衛星からの時系列での土地被覆データ作成や、土地被覆変化推移モニタリングの実績はある。
漁業資源の保全・管理	・ 光学衛星画像から放射輝度の強さが異なることを利用して水深を推定。	・ 日本国内においては日本水路協会が日本財団の助成を受けて 2014 年度より日本沿岸への衛星画像を利用した水深推定技術(Satellite Derived Bathymetry: SDB)の実用化に向けた本格的な取組を実施。 ・ イラン国南部沿岸域における環境保全・管理計画に資するためにハビタットマップの作成について支援。 ・ JICA はペルシャ/アラビア湾岸海洋環境保護機構と海洋環境保護を目的に連携。
藻場やサンゴ礁の分布把握	・ 光学衛星画像から放射輝度の強さが異なることを利用して藻場・サンゴ礁を推定。 ・ サンゴ礁マッピング。 ・ 藻場マッピング。	・ 日本国内では、平成 25 年～平成 27 年に瀬戸内海全域を解析、人工衛星画像は 4～5 月の藻場繁茂期から選定。その他、静岡県などで実績がある。
マングローブ林の伐採・保全・植林	・ 光学衛星画像から放射輝度の強さが異なることを利用してマングローブ林を分類。 ・ マングローブ林マッピング。	・ 東南アジア地域熱帯林調査など多数の森林系のプロジェクトで実績あり。
干潟や湿地の把握	・ 光学衛星画像から放射輝度の強さが異なることを利用して干潟・湿地を推定。 ・ 干潟域を時系列で抽出することでモニタリングを行う。 ・ 湿地植生分類。	・ 長崎県干拓事業評価。 ・ 釧路湿原植生マッピング。

出典: JICA 内部資料(2020)『宇宙技術利用ガイド 第2章分野別利用』に基づき日本工営作成

また、2020年3月にJICA自然環境保全タスクフォースが作成した「ドローン活用事例集」に記載の自然環境保全分野におけるドローンの活用事例を表 2-6に示す。

表 2-6 「ドローン活用事例集」掲載の自然環境保全分野でのドローン活用事例

目的/情報	ドローン活用方法	利用実績
森林資源管理	・ 森林伐採現場でのモニタリング手法の確立と普及のための取り組みの	・ プロジェクト名「気候変動対策のための PNG 森林資源情報管理システムの活用に関する能力向上プロジェクト」(PNG 国)

目的/情報	ドローン活用方法	利用実績
	一環として、ドローン撮影画像を自動でオルソ補正し、施業計画と重ね合わせて適切な施業が行われているかを把握する体制を検討。	- ドローンによって取得したデータを自動でオルソ補正し、GIS上で森林施業計画情報と重ねることで、計画どおりに伐採作業が進んでいるか、ルールに基づいた適切な施業が行われているかなどが確認された。
森林被覆状況調査	- 森林再生地の再生状況を把握するために、ドローンを用いた樹冠率および樹冠率算定に必要なデータ取得を実施。 - 衛星画像を使ったGISによる土地利用被覆区分の自動判読の確認・精緻化を行うため、ドローンを用いた土地および森林被覆の現況確認を実施。	- プロジェクト名「持続可能な森林管理及びREDD+支援プロジェクト」(ラオス) - 地上からでは樹冠率の推定が難しいが、ドローンを用いることで、鉛直方向で樹冠の写真を撮影することができるため、樹冠率を正確にかつ効率的に算出することができた。 - プロジェクト名「持続可能な天然資源管理能力向上プロジェクト・フェーズⅡ」(東ティモール国) - ドローン空中写真から作成したオルソ画像は、超高分解能であるため、森林現況を詳細に確認でき、衛星画像の自動分類に真値データとして活用できた。 - 現地踏査では地上から森林現況を確認するため、目視できない範囲の状況はわからないが、ドローン空中写真により周辺の森林状況を詳細に確認することができた。
森林パトロール	エンクローチメント・森林火災・違法伐採等による森林資源変化・土地利用変化の早期発見、効果的・効率的な森林パトロール活動の実現、森林保全契約のより正確な評価および検証、住民への森林保全に対する意識啓発を目的にドローンを導入。	- プロジェクト名「持続的自然資源管理プロジェクト(第一期・第二期)」(ベトナム国) - 特に「効果的・効率的なパトロール活動の実現」について、これまで悪路のために1泊2日で現場を確認する必要のあったケースでもドローンを用いることで約30分～1時間程度で完了できた。 - ドローンによる客観的データを提示することで住民との円滑な合意形成を図ることに貢献した。 - 国立公園職員・レンジャーの森林パトロール等の改善に関するモチベーションが高まった。
苗畑管理	苗畑の輪作計画、重力灌漑計画、点滴灌漑計画の策定をより低コストで正確にできるようにするため、ドローンを用いた基礎情報の生成と提供を実施。	- プロジェクト名「林産品による地方ビジネス開発プロジェクト」(キルギス) - ドローンの活用により高解像度の敷地地図を作成することで、生産区画割、区画ごとの苗木の種類情報管理、輪作計画、重力灌漑計画、点滴灌漑計画が、低コストで高精度に可能となった。
Eco-DRR	既存データの解析より抽出された土壌侵食・地すべり危険箇所を同定するための手法としてドローンを用いた空中写真撮影を実施。	- プロジェクト名「持続的な森林管理を通じた、生態系を活用した防災・減災(Eco DRR)能力向上プロジェクト(第2期)」(北マケドニア共和国) - 現地調査や地上測量を実施する前にドローンを用いて空中写真を撮影し、空中写真から作成された高解像度オルソ画像や詳細地形データを用いて対象地域の状況把握や対策が必要とされる危険箇所の絞り込みを行うことにより、その後の現地調査・地上測量や計画策定までの工程がスムーズに実行できた。
湿地環境調査	対象湿地で分布拡大が問題となっている侵略的外来種のモニタリング	- プロジェクト名「オロメガ湖・ホコタル湖統合的湿地管理プロジェクト(第2期)」(エルサルバドル国) - これまで情報のなかった湿地内の外来植物の分布や

目的/情報	ドローン活用方法	利用実績
	のため、ドローンを用いた自動撮影を実施。	その増減、季節的な森林の変化、植林植草パイロット活動の成果に関して、視覚的な情報が得られた。またオルソ画像を分析することで、植生の分布面積などの定量的データの取得が可能となった。
ブルーカーボンの分布・種構成等把握	・ マングローブ林や海草藻場の分布面積、種構成および生物量を把握するために、ドローンを用いた高解像度マッピングを実施。	・ プロジェクト名「コーラル・トライアングルにおけるブルーカーボン生態系とその多面的サービスの包括的評価と保全戦略」(フィリピン国、インドネシア国) - マングローブや海草藻場の分布は、従来、衛星画像等を利用して調査していたが、通常の衛星画像の場合には空間分解能が不十分で、高解像度の画像は高額のため広域をカバーしづらいといった欠点があった。また、解析エリアを雲が覆う頻度が高く、解析可能な衛星画像に限られる、種構成や生物量の把握は困難といった欠点も存在する。ドローンの活用により、これらの欠点を補うことで、種構成や種ごとの生物量の推定など、従来のリモートセンシング技術ではできなかった新しい解析を、高頻度に迅速かつ手軽に進めることができるようになった。
広報	・ ドローンの手動操縦による広報写真、ビデオの撮影を実施。	・ プロジェクト名「生物多様性保全のための PNG 保護区政策強化プロジェクト」(パプアニューギニア国) - ドローンを手動操縦して広報写真、ビデオの撮影を行い、写真や動画を、地域住民の環境保全意識の向上のために Facebook への投稿や広報媒体(ニュースレター、パンフレット等)へ活用した。また、ドローンで取得した動画を活用して国立公園の動画を作成し、ワークショップ等で関係者へ披露した。

出典: JICA 内部資料(2020)『ドローン活用事例集』に基づき日本工営作成

JICAの自然環境保全事業内における固定翼ドローンの活用例は少ないが、カンボジア国「持続的自然資源管理能力強化プロジェクト」やブラジル国「先進的レーダー衛星及びAI技術を用いたブラジルアマゾンにおける違法森林伐採管理改善プロジェクト」において活用事例が報告されている(図 2-4)。利用が限定的な要因としては、一般に固定翼ドローンは回転翼ドローンと比較して高価であること、離発着に広いスペースが必要なこと、操縦が難しいことなどが考えられる。しかしながら、固定翼ドローンは回転翼ドローンと比較して、高速で飛行可能であり、飛行の効率性が高いために飛行可能時間が長く、積載重量が大きいなど、性能として優れている面も多く、その活用の重要性は本事例集でも複数の事業者から主張されている。



図 2-4 ブラジルにおける JICA 事業での固定翼ドローン活用シーン

出典: JICA, https://www.jica.go.jp/oda/project/1900371/news/1525311_45041.html?wovn=en (最終アクセス日: 2024-12-25)

JICA事業外でも、近年、固定翼ドローンの活用例が見られるようになってきており、例えば、日本の国土交通省水管理・国土保全局は、固定翼ドローンの長距離飛行できるという利点を生かして、河川の巡視への活用を目指した実証実験を行っている。本実験では、あらかじめ設定した25kmの航路を固定翼ドローンによってバッテリーの入れ替えなしで自動航行し、従来4時間かかっていた巡視を25分で完了できることが確認されている。また、巡視の際には3次元点群データおよびオルソ画像の構築に必要な情報が取得できており、今後、平常時の河川管理の効率化や災害直後の迅速な異常個所把握への活用が期待されている¹⁰。森林管理への活用例も見られるようになってきており、例えば、株式会社ジオサーフと国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 瀧氏は、森林作業道路網のデータ化や森林資源量把握への固定翼ドローン活用に関する共同研究を行っている。本研究では、当初、回転翼ドローンで撮影した画像によって行っていた森林作業道の判読について、飛行時間の短さが課題として認識されたことから、回転翼ドローンより長距離・長時間の飛行が可能な固定翼ドローンの導入が実施された。その結果、より広域の森林作業道を林外からでも撮影可能となり、また、取得される情報も良好と評価された。瀧氏らは、固定翼ドローンを林業デジタルトランスフォーメーション(Digital Transformation: DX)の切り札として期待されるものと評価しており、森林資源量把握への活用についても提案している¹¹。

(5) 参考情報

国立研究開発法人国立環境研究所が運営・管理する環境情報メディア「環境展望台」のリモートセンシングに関するウェブサイト¹²では、人工衛星、航空機、車両、船舶など、広範なプラットフォームによるリモートセンシングに関して、技術の概要やセンサーの種類などが簡潔に説明されている。

「さまざまな人が宇宙データを当たり前にする世界を創っていく」というビジョンに基づいて事業活動を行う株式会社Tellusの公式メディアとして、宇宙ビジネスに関する情報発信を行う宙畑¹³では、衛星データや解析方法などに関する最新の情報をわかりやすく整理した記事が無償で多く公開

¹⁰ 国土交通省 水管理・国土保全局, <https://www.mlit.go.jp/river/gijutsu/dx/example/drone.html> (最終アクセス日: 2024-12-25)

¹¹ Geosurf(2021)『ジオの翼 第5回』

¹² 環境展望台, <https://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=86> (最終アクセス日: 2024-12-25)

¹³ 宙畑, <https://sorabatake.jp/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

されており、リモートセンシングに関わる情報のアップデートに有用なサイトとなっている。例えば、SARに関して、「SAR(合成開口レーダ)のキホン～事例、分かること、センサ、衛星、波長～」¹⁴、「干渉SAR(InSAR)とは-分かること、事例、仕組み、読み解き方-」¹⁵、「レーダーの基礎から学ぶSAR(合成開口レーダー)の原理と奇跡【SARデータ解析者への道】」¹⁶などの記事が公開されており、どれも初学者にも理解しやすいよう専門用語には丁寧な説明が付され、理解を的確に補助する図表や写真も多用されている。

GISに関しては、科学研究費補助金基盤研究(A)「GISの標準コアカリキュラムと知識体系を踏まえた実習用オープン教材の開発」プロジェクトにおいて開発された「GIS実習オープン教材¹⁷」に、概要から具体的な解析手順まで、初学者でも順を追って理解できるよう、丁寧にまとめられている。

本別冊で中心の議題とはしなかった、航空機によるリモートセンシングに関する有用な参考文献としては、航空レーザに関して包括的な知見がまとめられた「森林・林業分野における航空レーザ計測積算ハンドブック」¹⁸、航空写真に関しても技術的特徴や利用方法などがまとめられた「高精度な森林情報の整備・活用のためのリモートセンシング技術やその利用方法などに関する手引き」¹⁹があげられる。前者には、森林・林業分野での利活用のニーズが拡大する航空レーザを実際に扱う際に手助けとなる情報が、解説や写真などを豊富に利用して、視覚的に理解しやすい形でまとめられている。後者には、リモートセンシングのプラットフォームの種ごとに技術的特徴や活用の方法がまとめられており、航空写真に関してもデータ取得先や代表的な機器の名称など、詳細な情報まで整理されている。

JICAの内部資料としても、リモートセンシングに関する情報がまとめられている。例えば、2019年2月にJICA地球環境部のインハウスコンサルタントである一般財団法人リモート・センシング技術センターの遠藤氏が衛星・リモートセンシングに関するJICA内勉強会用に作成した資料「JICA 衛星・リモートセンシング勉強会～リモートセンシングを活用した最新の課題解決事例～」には、人工衛星データの基礎知識と共に持続可能な開発目標(Sustainable Development Goals: SDGs)と近未来社会に関連した衛星データの活用により解決が期待される課題が紹介されている。また、2022年5月にJICA地球環境部森林・自然環境グループ 第1チームの横井氏が作成された「リモートセンシング技術の紹介」には、人工衛星、航空機(ドローン含む)、地上計測器といったプラットフォーム別に搭載されるセンサーの概要と活用事例が整理されている。2020年3月にJICAが作成した「宇宙技術利用ガイド」は、前述の2つと比較して専門性の高い内容となるが、分野別の活用情報が利用した衛星やセンサーの詳細情報を含め、包括的に整理されている。

¹⁴ 宙畑, <https://sorabatake.jp/3364/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

¹⁵ 宙畑, <https://sorabatake.jp/4343/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

¹⁶ 宙畑, <https://sorabatake.jp/36124/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

¹⁷ GIS 実習オープン教材, <https://gis-oer.github.io/gitbook/book/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

¹⁸ 一般社団法人日本林野測量協会(2014)『森林・林業分野における航空レーザ計測積算ハンドブック』

¹⁹ 林野庁(2018)『高精度な森林情報の整備・活用のためのリモートセンシング技術やその利用方法等に関する手引き』

2.2 生物多様性調査

2.2.1 市民科学

(1) 概要

人為攪乱や気候変動など、変動する環境下において様々な生物多様性の変化が引き起こされ、生態系サービスの変容が危惧される中で、市民科学は生物の観測や生物多様性の普及啓発を図る上でますます重要なツールとなってきた。Pocock氏らは2017年の論文²⁰の中で、市民参加型生物調査のプロジェクト数は増加を続けており、その増加傾向は近年になってより顕著になっていることを示している(図 2-5)。

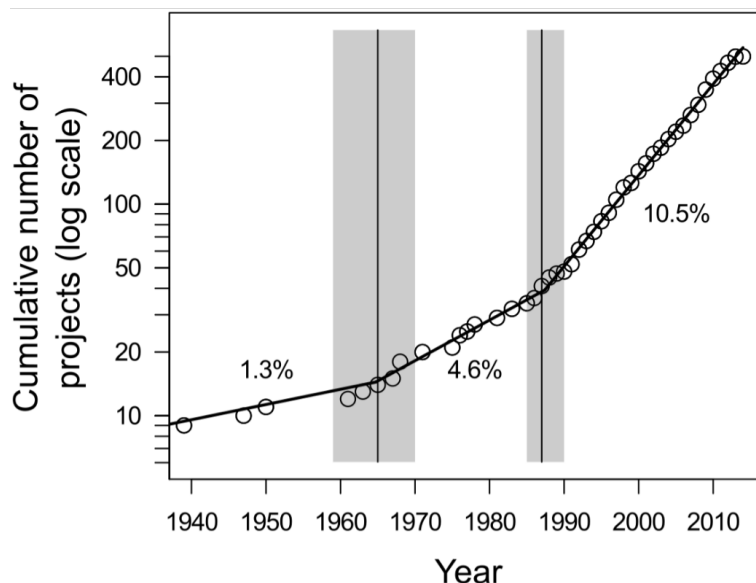


図 2-5 市民参加型生物調査プロジェクト数の推移

出典: Michael J. O. Pocock, John C. Tweddle, Joanna Savage, Lucy D. Robinson and Helen E. Roy (2017) 『The diversity and evolution of ecological and environmental citizen science』 PLoS ONE 12(4): e0172579.

近年のスマートフォンの普及とデジタル技術の革新に伴って、国内でも様々な市民科学デジタルプラットフォームが構築されてきた²¹。大野氏らは2021年の論文²²の中で、市民参加型調査を①参加者が特定の少数で計画的に行うか、不特定多数で自由に行うか、②参加者に求める調査の負担が大きいか、小さいか、③調査対象の生物種が特定の少数か、不特定多数か、の3つの軸で分類し、市民参加型調査の特徴および適切なデザインを検討している(図 2-6)。

²⁰ Michael J. O. Pocock, John C. Tweddle, Joanna Savage, Lucy D. Robinson and Helen E. Roy (2017) 『The diversity and evolution of ecological and environmental citizen science』 PLoS ONE 12(4): e0172579.

²¹ 小出大、辻本翔平、熊谷直喜、池上真木彦、西廣淳(2023) 『リアルとデジタルの好循環を通した市民科学による生物の時空間分布プラットフォーム』 保全生態学研究 28.1 (2023): 2217.

²² 大野ゆかり、森井悠太(2021) 『市民科学のデザイン: 市民参加型調査の多様性と経営論』 日本生態学会誌 71.2 (2021): 65-70.

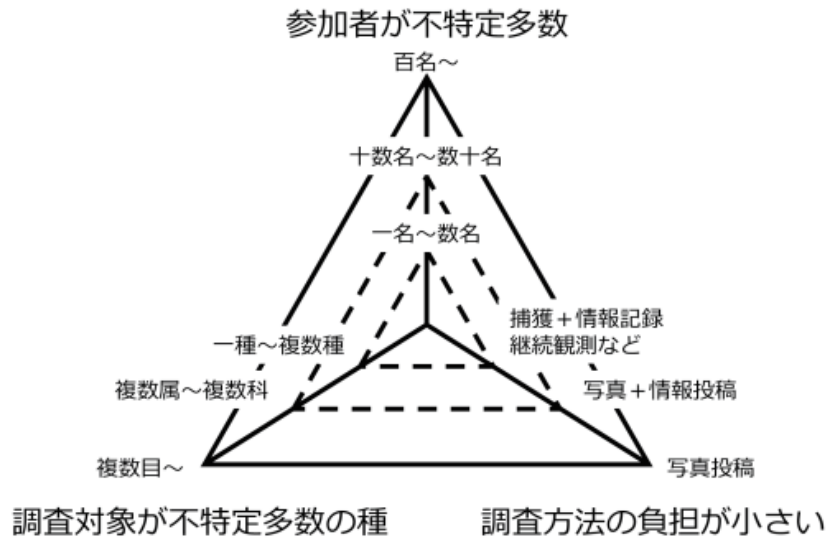


図 2-6 市民参加型調査の特徴を示すレーダーチャート

出典: 大野ゆかり、森井悠太 (2021) 『市民科学のデザイン: 市民参加型調査の多様性と経営論』 日本生態学会誌 71.2 (2021): 65-70.

Pocock氏らは、2017年の論文²³の中で、近年、デジタルカメラの性能向上および携帯電話やスマートフォンでの搭載に伴い、どこでも生物の写真を撮影しやすくなったことなどに伴い、参加者が不特定多数かつ調査方法の負担が小さい市民参加型調査が増えていると考察している。そのような特徴を有する市民参加型調査のデジタルプラットフォームのうち、日本国内で多数の種を対象とした調査に使われる代表的なものとしては、JICA事業においても活用実績のあるiNaturalist²⁴、環境省生物多様性センターが提供するいきものログ、株式会社バイオームが提供するBiomeがあげられる。小出氏らは2023年の論文²⁵の中で、これら3つの比較を行っている(表 2-7)。

²³ Michael J. O. Pocock, John C. Tweddle, Joanna Savage, Lucy D. Robinson and Helen E. Roy (2017) 『The diversity and evolution of ecological and environmental citizen science』 PLoS ONE 12(4): e0172579.

²⁴ iNaturalist, <https://www.inaturalist.org/home> (最終アクセス日: 2024-12-25)

²⁵ 小出大、辻本翔平、熊谷直喜、池上真木彦、西廣淳 (2023) 『リアルとデジタルの好循環を通した市民科学による生物の時空間分布プラットフォーム』 保全生態学研究 28.1 (2023): 2217.

表 2-7 生物多様性の市民参加型調査デジタルプラットフォームの比較表

	iNaturalist	いきものログ	Biome
データ公開	○	△	×
写真による種判別	○	×	○
言語	英語：日本語	日本語	日本語
位置情報入手	○	△：通常 10 km メッシュに集約、ポイントデータは専門家・公的研究機関のみ要問合せ	△：データ提供は要問合せ
品質管理	人工知能+ユーザーによる確認	なし	人工知能+ユーザーによる確認
メタ情報入力	○	○	○
ゲーム性	×	×	○
コミュニケーション	○	×	○
音声データ	○：ただしアプリ起動時に録音するか、別アプリなどでmp3録音後にwebサイトからアップロード	○：ただし外部URLにアップロードした後、位置情報など別途入力が必要	×
画像・音声なしデータ登録	○	○	×
web サイト入力	○	○	×
スマホアプリ	○	△：不具合多い	○
ユーザーによるプロジェクト設立	○	○	×：予算の必要あり
API	○	△：ベータ版	×
解析用Rパッケージ	○	×	×
希少種配慮	△：ユーザーが手動で非公開に設定する必要あり	○	○

出典：小出大、辻本翔平、熊谷直喜、池上真木彦、西廣淳 (2023)『リアルとデジタルの好循環を通した市民科学による生物の時空間分布プラットフォーム』 保全生態学研究 28.1 (2023): 2217.

iNaturalistは、カリフォルニア科学アカデミーが運営する非営利なデジタルプラットフォームであり、グローバルスタンダードなデジタルプラットフォームとして 2008 年のサービス提供開始以来長く全世界的に利用されている。データ取得・参照などを容易にするアプリケーションプログラミングインタフェース(Application Programming Interface: API)の設定や、統計ソフトRで解析する際のパッケージもあるなど、データ解析者にとって利便性が高いツールがあることが特徴となっている。データ公開にも積極的であり、国際的な生物多様性情報のプラットフォームである地球規模生物多様性情報機構(Global Biodiversity Information Facility: GBIF)に、観察日時・場所と写真・音声記録があり、他のユーザーからも種同定結果の承認を得られたデータが登録されるようになっている。なお、詳細な分布情報の公開が乱獲などのリスクを高める希少種などについては、情報の公開範囲を限定するなどの配慮がなされている。いきものログ²⁶は、環境省生物多様性センターが展開する非営利なデジタルプラットフォームで、なんでも登録できる間口の広さが長所となっている。市民科学によるデータだけでなく、専門家による既存の生物分布報告に関してもいくつか収録しており、データの幅広さが特徴となっている。蓄積されたデータは、データ精査の後にGBIFへ登録される予定となっている。Biome²⁷は、株式会社バイオームが展開するデジタルプラットフォームであり、ゲーム性とデジタルプラットフォーム側が提供する様々なプロジェクトの展開が特徴となっている。ここでゲーム性とは、生き物を報告すると分類群ごとにバッジが集められたり、発令されたクエストをユーザーがクリアするとまた別のバッジが集まったり、報告された種のレア度に応じて得られる経験値が異なりレ

²⁶ いきものログ, <https://ikilog.biodic.go.jp/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

²⁷ Biome, <https://biome.co.jp/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

ベルアップを目指していけることなどが該当する。なお、2024年7月現在、Biomeの利用可能範囲は日本国内となっているが、多言語対応や海外向けアプリ開発を通じた世界展開が目指されている²⁸。

(2) 期待される効果

Pocock氏らは2017年の論文²⁹の中で、2000年以前の多くの市民参加型生物調査は、特定の少数の参加者が計画的に大きな負担を担いながら行うものであったが、2000年以降になると不特定多数の参加者が自由に行うものが増え、2010年以降になると調査にあたる市民の負担が小さいものが増えていく点を指摘している。また、その原因は、2000年以降にはインターネットの発達に伴い、ウェブやソーシャル・ネットワーキング・サービス(Social Networking Service: SNS)を通じて不特定多数の市民が参加しやすくなったこと、2010年以降にはデジタルカメラの性能向上および携帯電話やスマートフォンへの搭載に伴い、どこでも生物の写真を撮影しやすくなったことにあると考察している。また、小出氏らは2023年の論文³⁰の中で、専門家ではない市民が調査に参加することによって懸念される種同定精度の低下の問題は、観察した生物の写真や位置情報などを使った機械学習による人工知能判定により改善されてきているとしている。

かかる状況下、生物を捕獲し、時には標本を採集してからデータを作成しなければならなかった従来の負担の大きい生物調査は、不特定多数の市民の力を借りて取得された生物写真からデータを生成するという簡便なものに変化していき、より広範囲で継続的な生態系調査が可能となっていくことが期待される。

(3) 課題・留意事項

市民科学の課題としては、データの質・量に関係するものとして種同定精度、観測バイアス、分布の北限南限や生物の季節的な活動スケジュール(フェノロジー)などいくつかのデータの不足があげられる。また、プロジェクト運営に関係する課題として、市民とのコミュニケーション不足や継続性の担保が指摘されている。種同定精度に関しては、観察した生物の写真や位置情報などを使った機械学習による人工知能判定により改善されてきている³¹。なお、株式会社バイオームの藤木氏らは、同社の提供するBiomeに関して、精度検証の結果、種レベルの誤同定率は9.0-10.6%、属レベルの誤同定率は6.6-7.1%など、類似する取り組みであるiNaturalistと比較して低い精度ではないものの、改善の余地があるとしている³²。市民とのコミュニケーション不足や継続性の担保の課題に関しては、大野氏らが2021年の論文³³の中で、市民参加型調査には最適なデザインが確立されていない点を指摘し、ドラッガーの非営利組織の経営論を応用することが有用である可能性を主張している。本経営論では、非営利組織のミッションには、①機会(ニーズを知り、なすべきことを知ること)、②卓越性(なすべきことが自分に向いていること)、③コミットメント(自分が心底価値を信じ、そのために力を尽くすこと)の三本柱が不可欠であるとされている。また、ボランティアのマネジメントに関しては、大義や情報を共有し、仕事の内容や仕事に関して誰に聞けばよいのかを明確にし、実際に行う仕事の内容はボランティア自身に決めさせ、ボランティアが仕事の成果を感じるようにしなければならない、としている。

その他の課題に関しては、今後データを活用・解析してデータ取得の段階から改善していく方向性が考えられている。種ごとの観測データの見える化や、モデルによる時空間分布予測、個別の市民観

²⁸ Biome, <https://biome.co.jp/news/seriesb-fundraising/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

²⁹ Michael J. O. Pocock, John C. Tweddle, Joanna Savage, Lucy D. Robinson and Helen E. Roy (2017) 『The diversity and evolution of ecological and environmental citizen science』 PLoS ONE 12(4): e0172579.

³⁰ 小出大、辻本翔平、熊谷直喜、池上真木彦、西廣淳(2023)『リアルとデジタルの好循環を通した市民科学による生物の時空間分布プラットフォーム』 保全生態学研究 28.1 (2023): 2217.

³¹ 小出大、辻本翔平、熊谷直喜、池上真木彦、西廣淳(2023)『リアルとデジタルの好循環を通した市民科学による生物の時空間分布プラットフォーム』 保全生態学研究 28.1 (2023): 2217.

³² 藤木庄五郎、龍野瑞甫(2021)『モバイル端末を用いた生物多様性モニタリング手法開発に向けた 市民科学の実践』 日本生態学会誌 71.2 (2021): 85-90.

³³ 大野ゆかり、森井悠太(2021)『市民科学のデザイン：市民参加型調査の多様性と経営論』 日本生態学会誌 71.2 (2021): 65-70.

測データに対する貢献度評価レポートなどを用いれば、既存の課題を改善することが可能と考えられる³⁴。

(4) 適用事例

- ・ アルバニア国ディヴィアカ・カラヴァスタ国立公園における生態系に基づく管理に係る能力開発プロジェクト(<https://libopac.jica.go.jp/images/report/1000052464.pdf>):
プロジェクト開始当初から、ディヴィアカ・カラヴァスタ国立公園における生物多様性モニタリングのためにiNaturalistを導入している。プロジェクト終盤の2024年2月1日時点で1,131種、8,295件の生物情報の取得、侵略的外来種(アカミミガメ)の発見、C/Pや地元の学生による生態系への関心の向上、などが達成されている。C/Pからその有用性が評価され、プロジェクト対象地以外の4つの保護区においても、C/Pによって自発的にiNaturalistの導入が行われている。
- ・ SICA地域における生物多様性の統合的管理と保全に関する能力強化プロジェクト(<https://libopac.jica.go.jp/images/report/12349353.pdf>):
フォンセカ湾の越境保護区に面するエルサルバドル、ホンジュラス、ニカラグアの3カ国において、iNaturalistを共通手法とするコミュニティ生物多様性モニタリングを実施した。事業完了報告書では、参加者の多くがアプリケーションに不慣れな年配者であったことや農業や漁業の現場にはスマートフォンを持ちこまない習慣などが原因となり、全体として観測数は伸び悩んだ。一方で、若年・中堅の自然に興味のある数名は観測数を順調に伸ばしたことから、生物多様性モニタリングの結果をコミュニティ間で共有することで、生物多様性保全に対する意識醸成、共通財産である資源保全の重要性への理解の促進に貢献したと評価している。

(5) 参考情報

- ・ モバイル端末を用いた生物多様性モニタリング手法開発に向けた市民科学の実践(https://www.jstage.jst.go.jp/article/seitai/71/2/71_85/_pdf/-char/ja):
株式会社バイオーム代表取締役の藤木庄五郎氏らが執筆された論文。類似するサービスとしてiNaturalistに関しても記述があり、類似点や違いが示されている。その他、生物多様性モニタリングの今後の発展に向けて、必要な活動に関して、考察されている。
- ・ 市民科学のデザイン: 市民参加型調査の多様性と経営(https://www.jstage.jst.go.jp/article/seitai/71/2/71_65/_pdf/-char/ja):
東北大学の太野ゆかり氏らが執筆された市民科学そのものに関する論文。費用・労働力・時間の制約を乗り越える生物調査手法として、市民参加型調査に着目し、市民参加型調査を成功させるための提言がなされている。
- ・ リアルとデジタルの好循環を通した市民科学による生物の時空間分布プラットフォーム(https://www.jstage.jst.go.jp/article/hozen/28/1/28_2217/_pdf/-char/ja):
国立環境研究所の小出大氏らが執筆された市民参加型生物調査のためのデジタルプラットフォーム比較に関する論文。第3者の目線から幅広い種を調査する日本で主要な市民科学ツールとして、iNaturalist、いきものログ、Biomeの比較を行い、使い分けの方法や改善に向けた課題などを考察している。

³⁴ 小出大、辻本翔平、熊谷直喜、池上真木彦、西廣淳(2023)『リアルとデジタルの好循環を通した市民科学による生物の時空間分布プラットフォーム』 保全生態学研究 28.1 (2023): 2217.

2.2.2 環境 DNA

(1) 概要

環境DNA調査とは、水中などの環境中に含まれる生物由来のデオキシリボ核酸(Deoxyribonucleic Acid: DNA)を分析・検出する技術を用いた生物調査であり、特定の一種を対象に比較的精度よくDNA量の推定も行える「種特異的検出法」と複数の種を対象に種組成をまとめて明らかにできる「網羅的解析法」に分けられる。従来の目視確認、鳴き声確認、捕獲確認などによる生物調査手法と比較して、現地での作業は分析に必要な水などを採取するだけと簡易であるため、広範囲のデータを短期間で効率的に取得可能な手法とされている。また、直接的な捕獲がなく、生息地への立ち入りも少なくなることから、従来手法と比較して、生物や生態系への影響が小さい手法である³⁵。表 2-8および図 2-7に環境DNA調査と従来の生物調査との違いを示す。

表 2-8 環境 DNA 調査と従来調査との違い(淡水魚類・両生類調査の例)

	比較項目	環境 DNA 調査	従来調査
事前準備	調査の実施や生物捕獲の許可申請等	不要 (立入りには注意が必要)	必要に応じて申請等 (立入りには注意が必要)
	調査機材	採水キット (P.41 参照)	漁具、調査用具等
現地調査	調査にかかる労力	1 名×10～20 分程度 ^{※1} (1 地点 1 回当たり)	3 名×2 日 ^{※2} (1 湖沼 3 回地点当たり)
	調査手法	採水 (サンプルの送付)	魚類: 定置網・投網・タモ網等による捕獲 ^{※2} 両生類: 目視、鳴声、タモ網等による捕獲 (夜間調査を含む)
	調査者による精度のばらつき	小さい	大きい
	生物・生息環境への影響	ほとんどない	あり (漁具による殺傷、立入りによる生息環境の踏み荒らし)
分析作業	捕獲個体からの情報	なし	あり (体長、重量等)
	サンプル処理等	メタバーコーディング分析等	—
	種特異的検出法	リアルタイム PCR 分析等	—
	費用 (1 検体当たり)	2～4 万円程度	3～5 万円程度

※1 試行調査(環境省業務)を参照。

※2 モニタリングサイト 1000 湖沼: 淡水魚類調査マニュアル参照。

※3 分析費(判読)が主体となるが、分析会社によって金額は異なる(分析結果の精査は別費用)。目的等に応じて異なるが、一般的には、調査では複数の検体が必要になる場合があることに注意。

種特異的検出では、新たにプライマーを設計する場合は別途、費用が必要になることがある。

※4 魚類調査について、例えば魚類相把握のための調査を民間の調査会社等に依頼した場合。

出典: 生物多様性センター (2024) 『環境 DNA 分析技術を用いた調査手法の手引き(淡水魚類・両生類)』

³⁵ 生物多様性センター(2024) 『環境 DNA 分析技術を用いた調査手法の手引き(淡水魚類・両生類)』



図 2-7 環境 DNA 調査と従来調査の特徴(淡水魚類調査の例)

出典: 生物多様性センター(2024)『環境 DNA 分析技術を用いた調査手法の手引き(淡水魚類・両生類)』

(2) 期待される効果

環境DNA分析は、目視や捕獲などによって行われてきた従来の生物調査に比べて、簡便で感度が高く、生態系への影響が少ない新たな調査方法として、その利用が急速に拡大している³⁶。日本国内においては、環境省生物多様性センターが生物調査に係る人材不足や資金不足といった課題の解決策の一つとして、環境DNA分析技術を用いた調査手法の標準化を進めている³⁷。環境DNA分析は、世界の中でも日本が優位性を有する技術である³⁸ため、JICAの自然環境保全事業においても、本技術の途上国への移転などを通じ、持続性を持った効果的かつ効率的な生物多様性モニタリング体制の構築に寄与することが期待される。

³⁶ 深谷肇一(2022)『マクロ生物調査のための環境 DNA 分析—種の検出と定量およびその他の応用における可能性と課題—』 全国環境研会誌 47 (2022): 159-165.

³⁷ 生物多様性センター, https://www.biodic.go.jp/edna/edna_top.html (最終アクセス日: 2024-12-25)

³⁸ 日経 BizGate, <https://bizgate.nikkei.com/article/DGXZQOLM061EY006032023000000> (最終アクセス日: 2024-12-25)

(3) 課題・留意事項

環境DNA分析は依然として発展途上の技術であり、その応用の可能性を最大限に引き出すためには一層の研究や基盤整備が不可欠である。深谷氏は2022年の論文³⁹の中で、今後の更なる取り組みが望まれる課題として、3つの課題をあげている。

第一に、自然環境下での環境DNAの動態について基礎的な理解を深めることが重要である。具体的には、環境DNAの生成や分解、輸送、状態について、関連する要因やメカニズムを明らかにすることが求められる。環境DNAの性質や振る舞いがよく分からないために、環境DNA分析の結果の解釈に大きな不確実性が残ることは少なくない。環境DNAそのものに対する基礎知識は、環境DNA分析の結果を背景にある生態学的過程と適切に関連付け、信頼性の高い生物多様性評価を実現する上で不可欠である。

第二に、環境DNAの動態や、環境DNA分析に固有の誤差要因などを考慮した、環境DNA分析のためのデータ解析手法の開発が求められる。例えば、環境DNAの濃度分布に水の流れが強く影響する河川や海では、種の分布や個体群サイズを評価するためにDNAの輸送過程を組み込んだ解析が必要になる可能性がある。環境DNA分析と従来の調査手法の欠点を互いに補うために、両者のデータを組み合わせる解析することも有効と考えられる。

第三に、環境DNA分析の基盤となる配列データの充実化が必要である。塩基配列データベースに登録された配列データの豊富さは、地域や分類群などによって大きく異なり、配列データの登録が限られた地域や分類群では環境DNA分析の可能性を十分に活かせない可能性がある。例えば、次世代シーケンサーで決定された環境DNAの配列を既知のDNA配列と照合する環境DNAメタバーコーディングでは、既知の配列情報の利用可能性が結果に大きく影響する。生態系モニタリングなどで環境DNA分析を活用するためには、適用を目指す地域や分類群ごとに配列データの不足を戦略的に解消していくことが重要と考えられる。

同論文の中で述べられている、上述以外の課題としては、環境DNA調査による資源量評価があげられる。一部の先行研究では、種特異的手法によって定量された環境DNA濃度から魚類の個体群サイズが推定されているが、それらの研究では、環境DNA濃度のデータに加えて、体サイズ分布や、対象水域における水の流れ、放出率、分解率などに関する情報が推定のために追加で取得されている。現在のところ、個体群サイズの絶対的な定量を目的とした用途では、環境DNA分析は従来の資源評価手法と比較して必ずしも性能や利便性が高いわけではない。最近では、網羅的手法においても、DNA配列の濃度を定量可能な新しい技術がいくつか提案されているが、環境DNAの濃度計測に基づき種の個体群サイズを確実に推定するためには、野外における様々な生物的・非生物的要因を考慮することが重要である。これは多くの種が関係する場合には一層難しい問題となることが予想され、網羅的手法による種の個体群サイズの評価も今後の課題である。

また、途上国においては分析費用が従来の調査手法と比較して高額となる場合もあり、必ずしも安価な代替手法とはなりえない点に関しても、留意が必要である。

(4) 適用事例

- ・ マラウイ共和国 マラウイ湖国立公園における統合自然資源管理に基づく持続可能な地域開発モデル構築(地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム(Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development: SATREPS)
(https://intnrms-malawi.org/plans/fisheries_resource/):

本プロジェクトは、多様な資源とその利用者が複雑に関わる社会生態系システムの中で、地域の人々の視点に立った資源の統合管理システムを構築し、持続可能な自然資源管理を基盤として環境保全とコミュニティの持続可能な開発を実現することを目指すSATREPS事業(2021年6月～2026年6月)である。プロジェクトは7つの研究題目(水産資源管理、農業資源管理、森林資源管理、観光資源管理、自然保護区管理、生活の質と福利の統合評価手法開発、総括・統合資源管理システム)から構成

³⁹ 深谷肇一(2022)『マクロ生物調査のための環境 DNA 分析—種の検出と定量およびその他の応用における可能性と課題—』 全国環境研会誌 47 (2022): 159-165.

されている⁴⁰。水産資源管理に関する研究題目では、マラウイにおいて国などの公的統計制度や科学的モニタリングが十分に確立していない背景から、地域の住民や研究者が参加した低コストかつ実地的な「参加型資源モニタリング手法」の開発が進められている。その活動の一つとして、重要水産魚種の資源量に関する環境DNAを用いた分析および分析に係る機材供与や技術移転が実施されている⁴¹。

(5) 参考情報

- ・ 環境DNA調査・実験マニュアル Ver.2.2

(https://ednasociety.org/wp-content/uploads/2022/06/eDNA_manual_ver2_2.pdf):

2020年4月に環境DNA学会によって発行された、環境DNA調査および実験を行う技術者および研究者向けのマニュアル。環境DNAの取り扱いの標準化を目的に標準的な調査および実験方法が示されている。内容は、調査地点の選定、採水およびろ過、DNAの抽出、分析、MiFishメタバーコーディング(魚類のDNAを増幅し、環境中に存在する複数の魚種を同時に検出する手法)から構成される。

- ・ 環境DNA分析技術を用いた調査手法の手引き(淡水魚類・両生類)

(https://www.biodic.go.jp/edna/reports/mifish_anphi_tebiki1.pdf):

2024年5月に環境省生物多様性センターによって発行された、環境DNA調査の導入を検討している地方行政機関や保全団体向けの手引き。上述の「環境DNA調査・実験マニュアル Ver.2.2」に準拠しつつ、環境DNAを利用した淡水魚類・両生類の調査実施にあたっての基礎的な情報や環境DNA調査特有の情報、分析結果の判読・精査についての情報が掲載されている。本書と「環境DNA調査・実験マニュアル Ver.2.2」との関係を図 2-8に示す。

- ・ モニタリングサイト1000 調査マニュアル (<https://www.biodic.go.jp/moni1000/manual/index.html>):

環境省 生物多様性センターによって発行された動植物調査に関するマニュアル類がダウンロードできるウェブサイト。高山帯、森林・草原、里地、湖沼・湿原、磯・干潟・アマモ場・藻場、サンゴ礁の各生態系における調査マニュアルの他、ガンカモ、ウミガメ、シギ・チドリ、海鳥に関しては種別の調査マニュアルも整備されている。公開されているマニュアルのうち、「モニタリングサイト1000 陸水域調査 湖沼：淡水魚類調査マニュアル」⁴²には、環境DNA分析に関して、今後、生物モニタリングの効率化や簡略化に変革をもたらす技術と記載されている。

- ・ 河川水辺の国勢調査基本調査マニュアル (<https://www.nilim.go.jp/lab/fbg/ksnkankyo/kijunrui.html>):

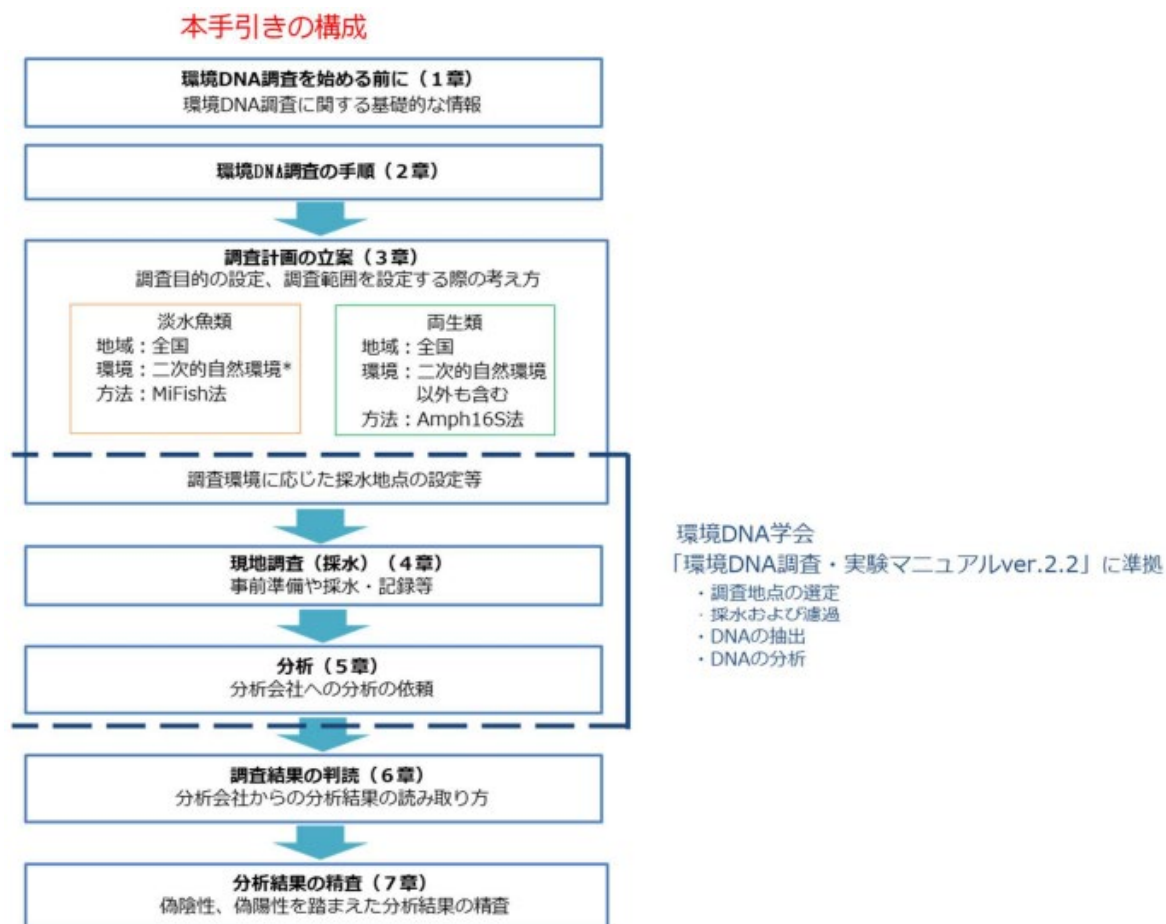
国土交通省によって発行された河川とダム湖における動植物調査に関するマニュアル類がダウンロードできるウェブサイト。河川とダム湖のそれぞれについて、植物、魚類、鳥類など、分類ごとの調査マニュアルが整備されている。最新のマニュアル(2016年度版)には環境DNAに関する記載はないが、国土交通省では河川水辺の国勢調査に関連した検討として、2020年から環境DNAを用いた河川生物把握の可能性に関する調査が開始されている。また、2025年度までに環境DNA調査を導入した河川水辺の国勢調査のマニュアル作成が計画されている⁴³。

⁴⁰ JST(2022)『マラウイ湖国立公園における統合自然資源管理に基づく持続可能な地域開発モデル構築 令和4(2022)年度実施報告書』

⁴¹ JST-JICA SATREPS マラウイ湖国立公園における統合自然資源管理に基づく持続可能な地域開発モデル構築(IntNRMS プロジェクト), <https://intnrms-malawi.org/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

⁴² 環境省 生物多様性センター (2020)『モニタリングサイト1000 陸水域調査 湖沼：淡水魚類調査マニュアル』

⁴³ 国土交通省 (2021)『河川水辺の国勢調査の現状と今後の方向性について』



※人が手を加えることで維持、管理されてきた自然環境のこと。里地里山（集落を取り巻く農地、二次林と人工林、草原等で構成される地域）やその地域にある河川や湿原のほか、水田、ため池や水路等の人間の働きかけを通じて形成された水系を含みます。なお、本手引きの淡水魚類に関する部分では、大規模河川を対象としていません。

図 2-8 環境 DNA に係る環境省の手引きと環境 DNA 学会のマニュアルとの関係

出典：生物多様性センター（2024）『環境 DNA 分析技術を用いた調査手法の手引き(淡水魚類・両生類)』

第3章 評価に関する科学的情報基盤

本章では、自然環境保全分野の事業において、動植物や自然環境を対象とした調査により得られた情報の定量的評価を行う際に活用される技術について情報を整理した。

3.1 生物分布評価

(1) 概要

生物多様性の現状評価や保護区の設定、保護政策の決定や開発による影響の評価など、生物多様性保全のためには、様々な場面で生物の分布情報が必要とされる。特に優先的に分布情報の把握が必要とされる生物は、絶滅の恐れが高い種や地域住民の関心が高い種などである。環境省が2012年に作成した「我が国の絶滅のおそれのある野生生物の保全に関する点検とりまとめ報告書」⁴⁴では、地域特性、事業特性に応じて優先的に保全すべき種を選定する際の参考として、表 3-1の情報が示されている。

表 3-1 優先的に保全すべき種の選定に係る視点の例

① 種の存続の困難さによる視点
・ レッドリストのランクに基づく、特に絶滅のおそれの高い種
・ 急激な生息・生育環境の悪化等により、緊急の対策を要すると判断される種
② 保全対策効果による視点
・ その保全によって分布域内の生態系全体の保全にも効果がある種
・ 認知度又は地域住民等の関心が高く国や地域の象徴となる種
・ その保全が他の絶滅危惧種の保全にも効果がある種
③ その他の視点
・ かつては広域的に普通に見られていたが、近年、全国的に減少傾向にある種
・ 分布範囲や個体の行動範囲が行政区分の境を跨いで広域に及ぶ種
・ 特に重要な生態系がみられる地域に分布する種

出典：環境省 (2013)『環境影響評価における生物多様性保全に係る空間・地理情報の把握活用手法 暫定案 第3章』に基づき日本工営作成

検討対象範囲を含む重要種の比較的新しい分布図など、必要な情報が整備されている場合には、生物多様性保全の活動にそれらを活用することができる。しかしながら、多くの場合、十分な情報は整備されておらず、そのような場面では、評価対象生物の限定的な確認位置データと植生、地形、地質などの物理データなどを重ね合わせることにによる分布範囲の推定や統計学に基づいて場所ごとの生物分布確率を算出する種分布推定モデル(Species Distribution Models: SDM)による推定が行われる。どのような手法に基づいて分布を推定するかは事業者の判断によるが、環境省が2013年に公表した「環境影響評価における生物多様性保全に係る空間・地理情報の把握活用手法 暫定案」⁴⁵では、①重要性の高い種への影響が想定される場合、②事業影響との関係で重大な影響になりそうな場合(対象種の重要性はそれほど高くないが、生息場所が広く改変されるような場合)、③地域特性によって影響が重大となる場合(対象種の重要性はそれほど高くないが、地域で残された生息場所が改変されてしまうような場合)には、SDMの適用が望ましいとされている。

⁴⁴ 環境省(2012)『我が国の絶滅のおそれのある野生生物の保全に関する点検とりまとめ報告書』

⁴⁵ 環境省(2013)『環境影響評価における生物多様性保全に係る空間・地理情報の把握活用手法 暫定案 第3章』

図 3-1に重要種を評価対象とした場合の分布推定の流れの例を、図 3-2にSDMによる生物分布確率算出のイメージを示す。なお、SDMでは場所ごとの生物分布確率を、実際の生物分布の有無と環境条件の間の関係を適当な関数(統計モデル)に当てはめることによって算出する⁴⁶。

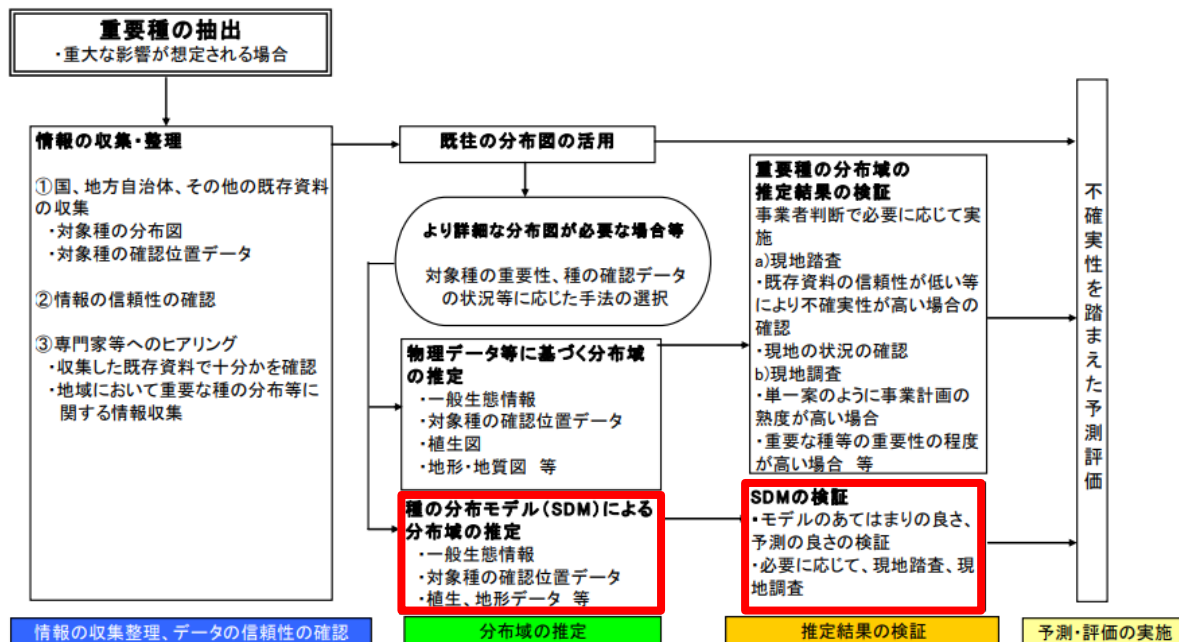


図 3-1 重要種の分布推定の流れの例

出典：環境省(2013)『環境影響評価における生物多様性保全に係る空間・地理情報の把握活用手法 暫定案 第3章』に基づき日本工営作成

⁴⁶ 気候変動適応情報プラットフォーム, [生物種分布モデル SDM の概念の解説資料](#) (最終アクセス日: 2024-12-25)

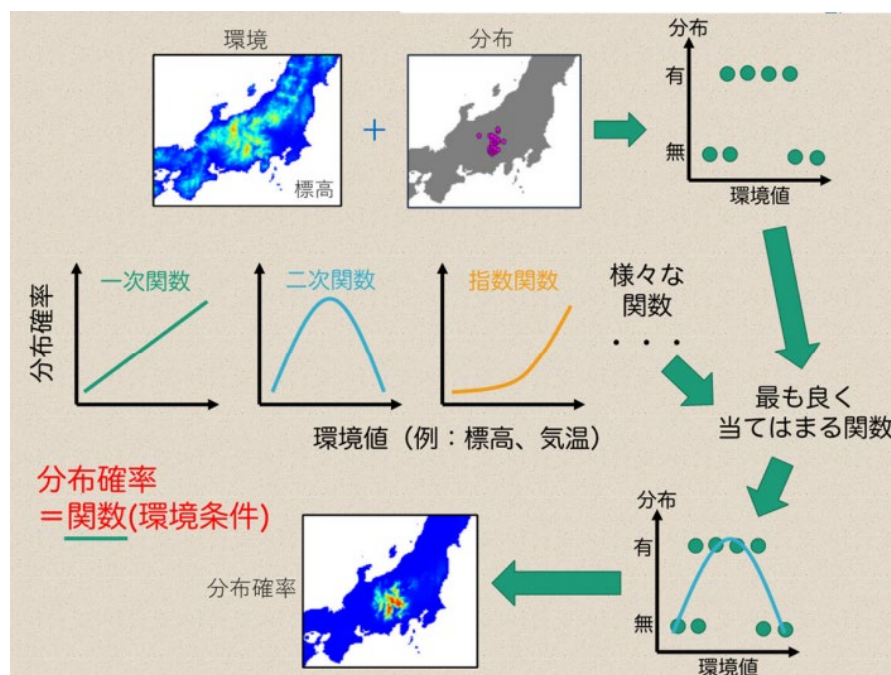


図 3-2 SDM による生物分布確率算出のイメージ図

出典: 気候変動適応情報プラットフォーム, https://adaptation-platform.nies.go.jp/map/open_sdm.html (最終アクセス日: 2024-12-25)

SDMに適用される手法には多くの種類があるが、Wintleら(2005)⁴⁷は使用するデータタイプに応じて、①在・不在データ(確認・未確認地のデータ)、②在のみデータ(確認地のデータ)、③カテゴリカルデータ(出現の程度をランク分けしたデータ)、④アバンダンスデータ(確認個体数のデータ)の4タイプに区分している(表 3-2)。

表 3-2 データタイプ別の種分布推定に適用可能な手法の例

データのタイプ		適用可能な手法例
在データのみのみ	在データ・偽不在データ	DOMAIN, ENFA 等
	在データ・不在データ	最大エントロピー法
	カテゴリカルデータ	一般化線形モデル(GLM)、一般化加法モデル(GAM) 等
	アバンダンスデータ	

注: 入れ子構造になっているデータタイプは、より上位のデータタイプに変換すれば利用可能であることを示している。最大エントロピー法は在データのみの場合だけでなく、偽不在データも用いた推定が可能であることを示す。

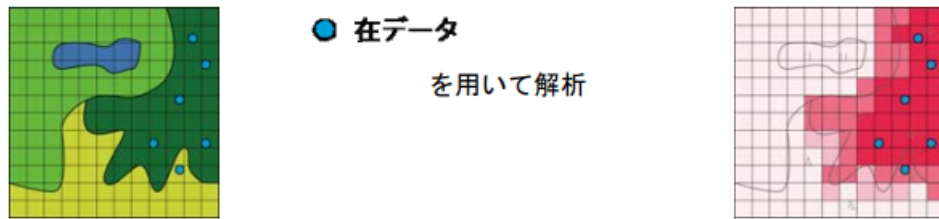
出典: 環境省 (2013)『環境影響評価における生物多様性保全に係る空間・地理情報の把握活用手法 暫定案 第3章』

在・不在データ(在のみデータを含む)を利用した場合の種分布推定方法の例を、図 3-3に示す。同図で図 3-3図 3-3 在・不在データを用いる場合の重要種の分布推定方法は用いるデータによって、SDMによる種の分布域の推定結果が変わる事が示されている。なお、図中の偽不在データとは、現地調査において対象種が不在であることが確認された場所(不在データ)とは異なり、対象種が見つからない範囲から選定される意図的に不在であることにした地点のデータである。また、一般に在デ

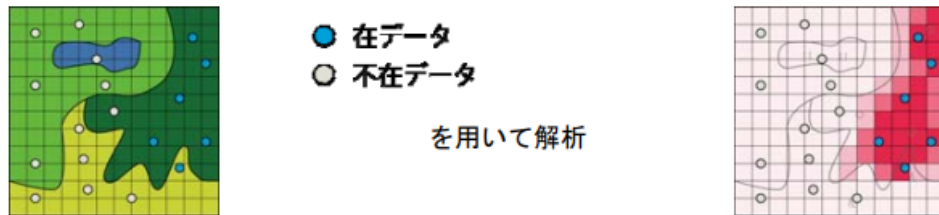
⁴⁷ Brendan A. Wintle, Jane Elith and Joanne M. Potts(2005)『Fauna habitat modelling and mapping: a review and case study in the Lower Hunter Central Coast region of NSW』 Austral Ecology, 30(7), 719-738.

ータのみを用いる場合と比較して、不在データや無作為抽出などによる偽不在データ、追加で実施した現地調査データを加えた場合の方が推定精度は高くなると考えられている⁴⁸。

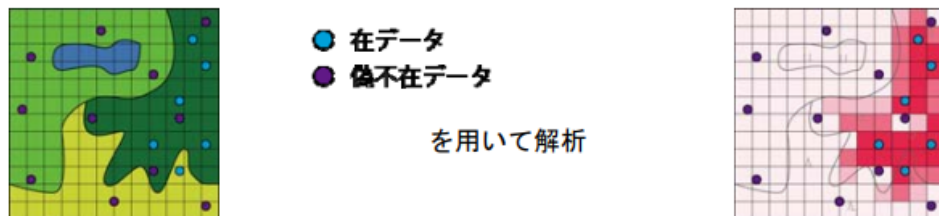
対応例① 少数の在データのみを使ったSDMの手法で出現ポテンシャルを推定



対応例② 在データ、不在データで分布域を推定



対応例③ 在データ、偽不在データで分布域を推定



対応例④ 在データ、不在データで推定（不在データも記録しながら新たな在データを追加）

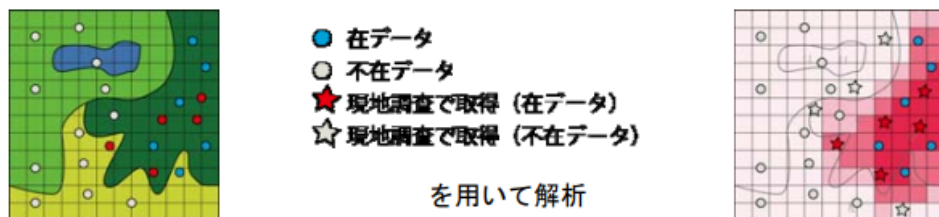


図 3-3 在・不在データを用いる場合の重要種の分布推定方法例

出典：環境省（2013）『環境影響評価における生物多様性保全に係る空間・地理情報の把握活用手法 暫定案 第3章』

近年、世界的によく採用されているSDMとして、不在データの準備を必要とせず、少ない分布データ数からでも比較的精度の高いモデルが構築でき、適度にモデルの複雑さが調整され、予測能力が比較的高いMaxEnt⁴⁹があげられる。また、より多くの人々がSDMを活用しやすい環境とするため、Wallace⁵⁰やその和訳版であるオープンSDM⁵¹など、MaxEntをプログラミングではなくマウス操作で利用できるプラットフォームの無償提供も行われている⁵²。

⁴⁸ 環境省（2013）『環境影響評価における生物多様性保全に係る空間・地理情報の把握活用手法 暫定案 第3章』

⁴⁹ American Museum of Natural History, https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/ (最終アクセス日: 2024-12-25)

⁵⁰ Wallace, <https://wallaceecomod.github.io/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

⁵¹ 気候変動適応情報プラットフォーム, https://adaptation-platform.nies.go.jp/map/open_sdm.html (最終アクセス日: 2024-12-25)

⁵² 気候変動適応情報プラットフォーム, [生物種分布モデル SDM の概念の解説資料](#) (最終アクセス日: 2024-12-25)

(2) 期待される効果

SDMによる推定結果は当たったり外れたりする不確実性を持ったものであるが、その点を認識しつつ使うことで、希少種の保護・保全や、将来的な気候変動に対する生物多様性の保持、生物資源の管理や、外来種対策などの活動において、その効果と効率の増大が期待される。表 3-3に気候変動適応情報プラットフォームが公表する「生物種分布モデルSDMの概念の解説資料」⁵³で示された、SDMを用いて作成した現在と将来の希少種および外来種の分布予測図に関する利活用方法の例を示す。

表 3-3 現在と将来の希少種及び外来種の分布予測図の利活用方法の例

	現在分布なし	現在分布あり
将来分布なし	✓ 基本的に対象外 ✓ (分布辺縁部でモニタリング) D	保護 (例: 希少種) ✓ 気候変動以外の分布阻害要因を除去 ✓ 維持のための管理 駆除 (例: 外来種) ✓ 消失過程のモニタリング ✓ 消失を助長する管理 B
将来分布あり	保護 ✓ 積極的な導入・定着のための管理 ✓ 侵入過程のモニタリング 駆除 ✓ 侵入防止措置 C	保護 ✓ 保護区に設定して人為的な攪乱などを除去 ✓ 長期的に保護 駆除 ✓ 集中的な駆除 ✓ 予算と効果のバランス検討 A

出典: 気候変動適応情報プラットフォーム(不明)『生物種分布モデル SDM の概念の解説資料』

まず、希少種の分布予測図に関して、現在も将来も分布がないと推定される場所(D)は基本的には想定の対象外となるが、分布辺縁部において予備的にモニタリングをしておくことは考えられる。反対に、現在も将来も分布があると推定される場所(A)は、安定的に分布が維持される場所と推定されるため、積極的に保護区に設定して長期的な保護を図ることなどが考えられる。現在は分布があるが将来的に消失すると推定される場所(B)では、将来変化を引き起こす気候変動以外のマイナス要因を除去するなどして地域個体群の維持を図ることなどが考えられる。最後に、現在は分布がないが、将来的に分布が形成されると推定される場所(C)では、侵入の妨げとなる他生物などの除外や侵入過程のモニタリングを行うことなどが考えられる。

次に、外来種の分布予測図に関して、現在も将来も分布がないと推定される場所(D)は基本的には想定の対象外となるが、分布辺縁部において予備的にモニタリングをしておくという考え方はありうる。反対に、現在も将来も分布があると推定される場所(A)は、分布の中心地であるため、集中的な駆除を予算と効果のバランスを考慮しながら検討する必要がある。現在は分布があるが将来的に消失すると推定される場所(B)では、本当に消失していくかモニタリングをすることなどが考えられる。最後に現在は分布がないが、将来的に分布が形成されると推定される場所(C)では、侵入個体の駆除などによる侵入防止措置の実施が考えられる。なお、表 3-3では単純化のために分布の有無で表現されているが、実際には確率の高低による対応の違いも想定しておく必要がある。

⁵³ 気候変動適応情報プラットフォーム, [生物種分布モデル SDM の概念の解説資料](#) (最終アクセス日: 2024-12-25)

(3) 課題・留意事項

気候変動適応情報プラットフォームの公開する「生物種分布モデルSDMの概念の解説資料」⁵⁴には、SDMを利用する際の課題・留意事項として、以下の点があげられている。

- (ア) 対象種の全ての分布域のうち、一部だけを調査して得られたデータを使って種分布モデルを構築した場合、実際の分布域とモデル上の推定分布域に大きなギャップが生じる。
- (イ) 移入されてから時間の経っていない外来種を予測対象とした場合、環境条件的に生息できる場所の隅々まで分布が行き渡っていない状況のため、分布が拡大する余地のある部分において現実的な分布域とモデル上の推定分布域にギャップが生じる。
- (ウ) 将来的な分布変化を予測する際、一般的なSDMでは種の移動分散スピードは十分に考慮できないため、現在の分布域からある程度散布・分散可能な範囲に予測領域を絞って予測結果を使うなどの処理が必要となる。
- (エ) 移動分散スピードが対象種と対象種の分布決定に強く影響する他種で大きく異なる場合には、他種における将来分布予測も実施し、対象種の将来分布推定時の検討材料とする必要がある。

上述の課題・留意事項を図 3-4に図示する。

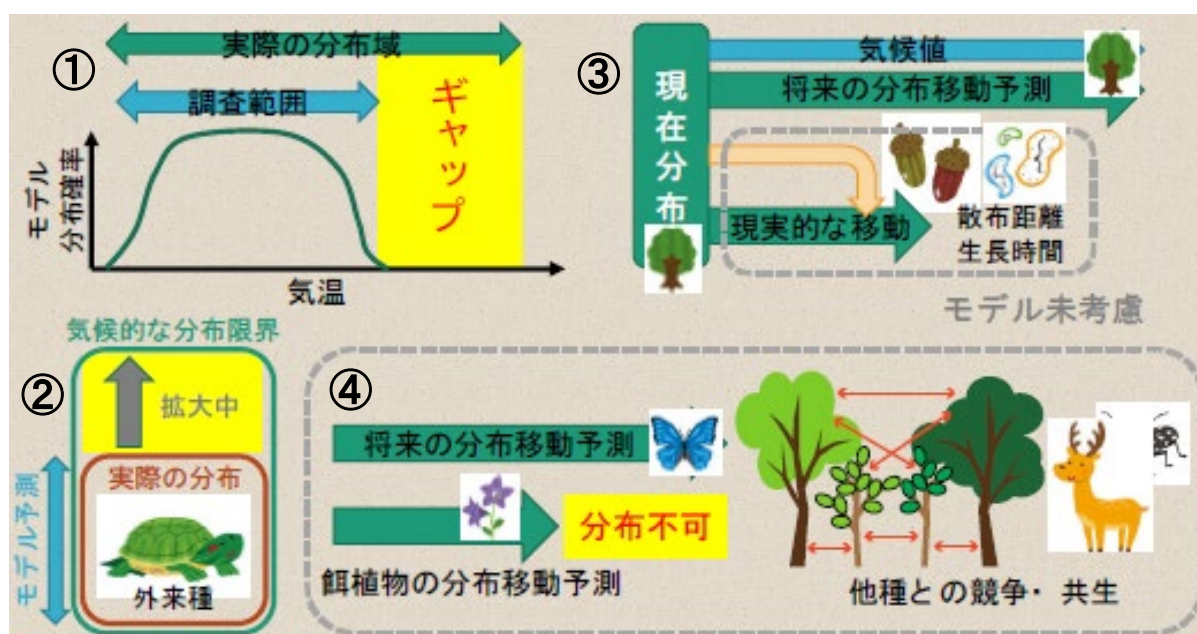


図 3-4 SDM 利活用時の課題・留意点

出典: 気候変動適応情報プラットフォーム (不明)『生物種分布モデル SDM の概念の解説資料』に基づき日本工営作成

その他の留意事項として、国立研究開発法人 国立環境研究所 生物・生態系環境研究センターの石濱らは、SDMの有効性に関しての研究⁵⁵の結果、「データの偏りが大きい」、「保護区が広くない」などの条件を満たす場合にのみ、SDMが有益であることを示している(図 3-5)。

⁵⁴ 気候変動適応情報プラットフォーム, [生物種分布モデル SDM の概念の解説資料](#) (最終アクセス日: 2024-12-25)

⁵⁵ Fumiko Ishihama, Akio Takenaka, Hiroyuki Yokomizo, Taku Kadoya(2019) 『Evaluation of the ecological niche model approach in spatial conservation prioritization』 PLOS ONE 14(12): e0226971.

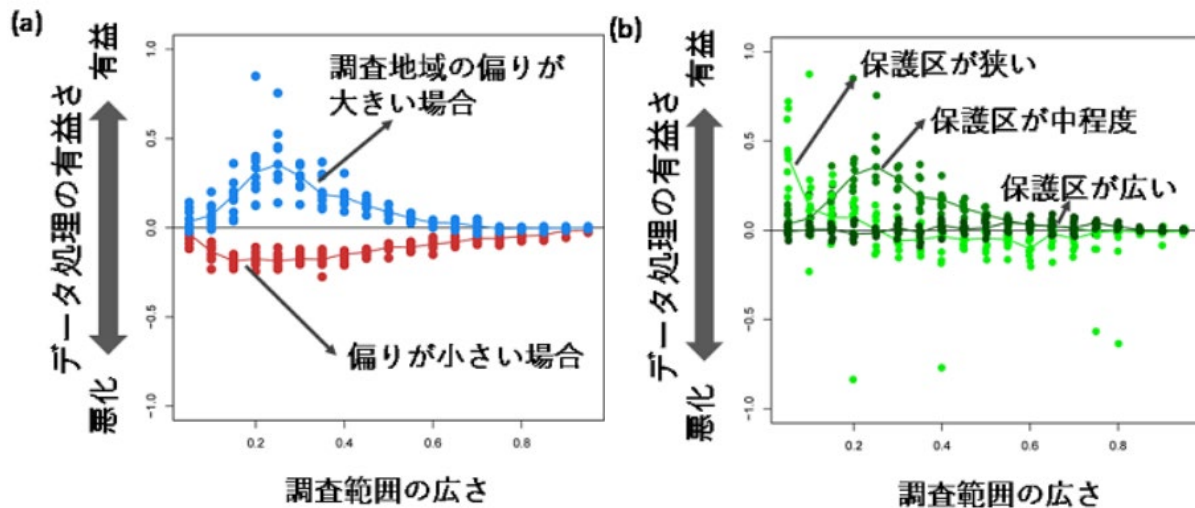


図 3-5 調査地域の偏り度合(a)と保護区の広さ(b)によるデータ処理の有益さの違い

出典: 国立環境研究所, <https://www.nies.go.jp/whatsnew/20200110/20200110.html> (最終アクセス日: 2024-12-25)

(a)は調査地域の偏り(解析対象となるデータの取得場所の偏り)が大きい場合にSDMが有益であること、(b)は保護区が広くないときにSDMが最も有益になることを示している。また、SDMの有益さは、調査範囲の広さによっても変わり、調査範囲が狭い～中程度のときにSDMが有益であることがわかる。なお、(a)は保護区の広さは中程度(全域の5%の面積)、(b)は調査範囲の偏りが大きい場合の結果を示している。なお、本研究では、より多くの種が含まれている保護区がよい保護区であるという設定で分析が行われている。

今後、SDMを導入する際には、上述の課題・留意事項を踏まえながら、適正に利活用を進めていくことが重要である。

(4) 適用事例

SDMを効率的な調査や効果的な調査の実現に役立てている事例が見られる。例をあげると、Guisanら(2006)⁵⁶は、事前にSDMで分布域を推定したことにより、野外調査の時間を約7割短縮することができたことを報告している。また、Oleasら(2014)⁵⁷は、既往の希少植物の生育地のデータを用いて作成したSDMにより生育可能性の高い場所を推定し、その場所の現地調査を行うことで、新たに3カ所の生育地を発見できたことを報告している。

日本国内においてもSDMの実務での利活用事例が存在する。例えば、琉球大学発のグリーンテック・スタートアップ企業である株式会社シンク・ネイチャーは、学術論文、標本、郷土史などの記録から構築した日本最大の生物多様性ビッグデータをSDMに活用することで、行政機関向けの生物多様性保全政策の立案サポートや企業向けの企業の社会的責任(Corporate Social Responsibility: CSR)活動の効果検証、生物多様性に配慮した事業の提案などに役立つ、高精度の種分布推定図を作成している⁵⁸。

⁵⁶ Antoine Guisan, Oliver Broennimann, Robin Engler, Mathias Vust, Nigel G. Yoccoz, Anthony Lehmann, Niklaus E. Zimmermann(2006) 『Using niche-based models to improve the sampling of rare species』 Conservation biology, Vol. 20(2): 501-511.

⁵⁷ Nora H. Oleas, Alan W. Meerow, Kenneth J. Feeley, Jennifer Gebelein and Javier Francisco Ortega(2014) 『Using species distribution models as a tool to discover new populations of *Phaedranassa brevifolia* Meerow, 1987 (Liliopsida: Amaryllidaceae) in Northern Ecuador』 Check List, Vol.10(3): 689-691

⁵⁸ ThinkNature, <https://think-nature.jp/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

(5) 参考情報

- ・気候変動適応情報プラットフォーム、生物種分布モデルSDMの概念の解説資料

(https://adaptation-platform.nies.go.jp/map/pdf/open_sdm/02_about.pdf):

非専門家であっても簡易に理解できるレベルでSDMの基本的な概念や考え方をまとめた資料。スライド資料の横に説明を補記する形で構成されている。SDMを学ぶ際の入門書として適している。

- ・環境影響評価における生物多様性保全に係る空間・地理情報の把握活用手法 暫定案 第3章(環境省)(http://assess.env.go.jp/files/0_db/seika/0169_05/h24_05a-4.pdf):

環境影響評価において把握が必要となる重要種の分布情報に関して、SDM以外の手法も含め、候補となる手法の概要や検討の手順などを網羅的にまとめた資料。SDMと他の簡易な手法との使い分けなど、実際に重要種などの分布推定を行う際に役立つ情報が多く掲載されている。

- ・株式会社シンク・ネイチャー(<https://think-nature.jp/>):

琉球大学発のグリーンテック・スタートアップ企業のウェブサイト。主な事業内容は、自然資本ビッグデータを活用した自然の持続的利用に関する分析、評価、ソリューションのコンサルティングや支援であり、SDMを用いた日本全国の生物分布推定も実施している。

- ・久保拓弥(2012)『データ解析のための統計モデリング入門』岩波書店:

数理モデルによる表現・説明に精通していない読者を想定し、線形モデルやR⁵⁹による解析プログラミングに関して、例題解決を通じて説明した書籍。統計モデルのうち、線形モデル、一般化線形モデル(Generalized Linear Model: GLM)、一般化線形混合モデル(Generalized Linear Mixed Model: GLMM)、階層ベイズモデルを解説の対象に含んでいる。本書の材料となった大学の講義資料(<https://kuboweb.github.io/-kubo/ce/EesLecture2008.html#toc2>)や要点をスライドにまとめたもの(<https://kuboweb.github.io/-kubo/stat/2015/jssp/kubo2015jssp.pdf>)はインターネット上で公開されている。

⁵⁹ R Core Team, <https://www.R-project.org/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

3.2 生息地評価

(1) 概要

2022年12月に開催された生物多様性条約締約国会議15(CBD COP15: Convention on Biological Diversity Conference of the Parties 15)第二部で採択された生物多様性に関する世界目標「昆明・モンテリオール生物多様性枠組」(GBF: Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework)には、2030年までに緊急に取り組む短期目標の1つとして、陸域と海域のそれぞれ30%以上を効果的な保全および管理下に置くことを目指す「30by30」が盛り込まれた⁶⁰。この目標を達成し、効果的な生物多様性保全に繋げるため、緊急かつ実行力のある保護区など設定の必要性が高まっている。生物多様性保全にとって重要な場所を戦略的に保護するためには、効果的・効率的な生物多様性の保全計画が重要とされる⁶¹。一般に、生息地管理には、生態学的な視点と併せて社会的・経済学的な視点が求められるが、これらの利害はときに相反する⁶²。また、人的・経済的資源の制限などから、多くの場合、候補地の全てを保全することは難しく、優先順位を付けて保全・管理する地域を選択する必要がある。

保護区などの優先順位付けにおいて、世界的によく利用されているモデルとして、Marxan⁶³があげられる(図 3-6)。Marxanは、2004年にオーストラリアのグレートバリアリーフに位置する海洋公園内に生物多様性保全を目的とした禁漁区域を計画する際、開発・活用されたツールである⁶⁴。本ツールは、社会的・経済的な要因・コストも考慮しながら、客観的かつ現実的な計画を提示することができるため、グレートバリアリーフでの禁漁区域の大幅拡大に際して、利害関係者の合意形成に大きく寄与したとされている⁶⁵。

⁶⁰ 環境省, <https://policies.env.go.jp/nature/biodiversity/30by30alliance/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

⁶¹ Margules CR, Pressey RL(2000) 『Systematic conservation planning』 Nature 405:243-253.

⁶² A.P. Dobson, J.P. Rodriguez, and D.S. Wilcove(1997) 『Geographic distribution of endangered species in the United States』 Science 275:550-553

⁶³ MARXAN, <https://marxanplanning.org/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

⁶⁴ Fernandes, Leanne, et al.(2005) 『Establishing representative no - take areas in the Great Barrier Reef: large - scale implementation of theory on marine protected areas』 Conservation biology 19.6 (2005): 1733-1744.

⁶⁵ Ball, Ian R. et al.(2009) 『Marxan and relatives: software for spatial conservation prioritisation』 Spatial conservation prioritisation: Quantitative methods and computational tools 14 (2009): 185-196.

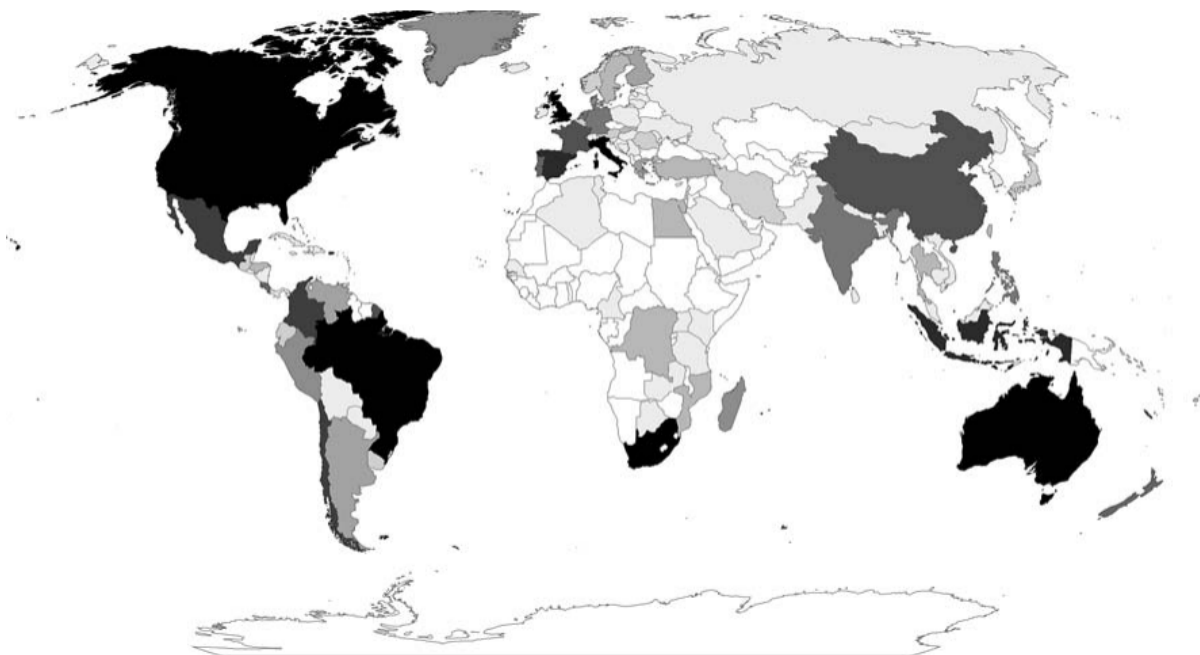


図 3-6 国別の Marxan ユーザー数の傾向

備考: Marxan のユーザー数に関して、黒色に近づくほど多く、白色に近づくほど少ないことを示す。

出典: Iran R. Ball, Hugh P. Possingham, and Matthew E. Watts (2009) 『Marxan and relatives: software for spatial conservation prioritisation』 Spatial conservation prioritisation: Quantitative methods and computational tools 14 (2009): 185-196.

Marxanでは、相補性という「他の地域で保全されていない対象生物や生息地タイプが含まれる地域を、優先的に候補地に選定していくことで、より少ないコストで保全目標を達成するという考え方」⁶⁶に基づいて、優先的に保護していくべき地域を選定する。具体的には、利用者が設定した保全対象と保全目標、および保全にかかるコストに関する情報を基に、最小限に近いコストで保全目標を達成することのできる優占保全候補地域の組み合わせを相補的に選定する。図 3-7にMarxanによる保全にかかるコスト計算のイメージを示す⁶⁷。

⁶⁶ Margules CR, and Pressey RL (2000) 『Systematic conservation planning.』 Nature 405:243-253.

⁶⁷ 松葉史紗子、赤坂宗光、宮下直(2015)『Marxan による効率的な保全計画: その原理と適用事例』 保全生態学研究, 20(1), 35-47.

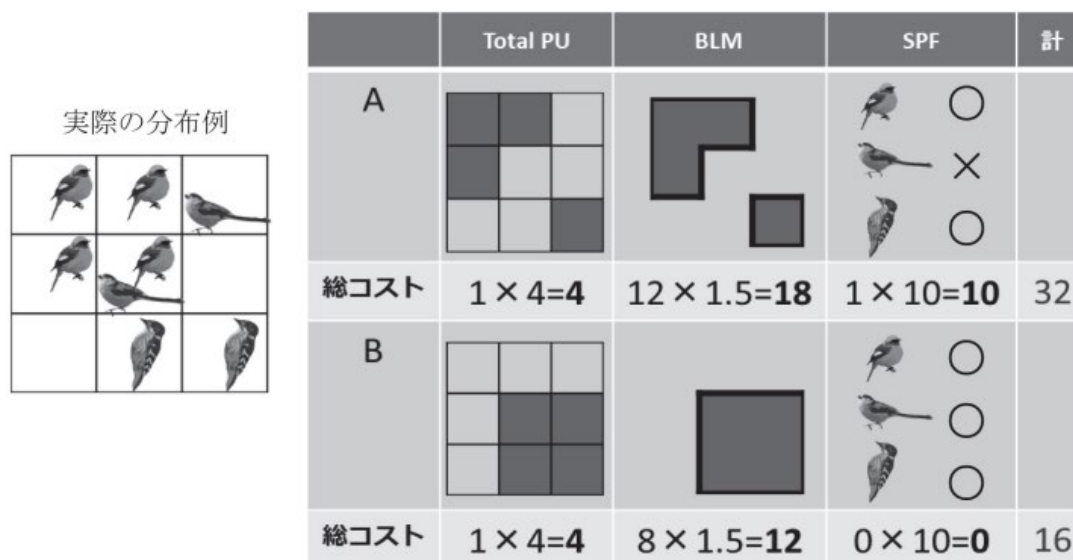


図 3-7 Marxan による保全にかかるコスト計算のイメージ図

備考: Total PU は Total Planning Units の略であり、候補地となった地点数を示す。BLM は Boundary Length Modifier の略であり、選択する地点間の分断化の程度を調整するために用いられる。SPF は Species Penalty Factor の略であり、各保全対象の保全優先度合いを設定するために用いられる。

出典: 松葉史紗子、赤坂宗光、宮下直(2015)『Marxan による効率的な保全計画: その原理と適用事例』保全生態学研究, 20(1), 35-47.

(2) 期待される効果

Marxanは、定量的な保全目標やコストを適切に設定することができれば、優先保全地域を空間明示的に特定することができるため、本ツールの導入により、保全管理の予算や人的資源の配分の効率化が期待される。なお、Marxanの予測結果は、利用者が独自の考えに基づいて指定する設定値にある程度左右されるため、恣意性を完全に排除することは難しい。しかしながら、1つの最適解ではなく、いくつかの差異的に近いと考えられる案を提示することで、利害関係者や意思決定者の間の円滑な合意形成に寄与することが期待される⁶⁸。

(3) 課題・留意事項

Marxanに関わる技術的な課題として、松葉氏らは2015年の論文⁶⁹の中で、保全対象種が新たな保護区設定により実際に有効に保全されるかどうかは、利用者が使用データの特性や保全対象種に関する生態学的な知見を熟知しているかにかかっている点を指摘している。また、Marxan自体の課題として、保全対象種が複数存在する場合に、種ごとに異なる生息地の分断化許容度(Boundary Length Modifier: BLM)を設定できない点を指摘している。また、同論文で指摘された留意事項として、Marxanは、コストを最小化する最適な保全候補地域の組み合わせを選択するのではなく、最適に近い組み合わせを選択している点があげられる。なお、これは、考える組み合わせの数が検討対象箇所数の増加に応じて膨大になるため、計算量の問題から最適解にたどり着くことが難しい場面があること、利害関係者間の合意形成を行う上では、一つの最適解を提示するよりも複数の最適に近い組み合わせを提示する方が有効とされていることなどに起因する。

最後に、Marxanは、①解析対象地全体で生物の分布や状態が明らかになっていること、②保全対象ごとに設定された保全目標が実際にその対象の保全に十分な効果を持っていることの二つを前提と

⁶⁸ 松葉史紗子、赤坂宗光、宮下直(2015)『Marxan による効率的な保全計画: その原理と適用事例』保全生態学研究, 20(1), 35-47.

⁶⁹ 松葉史紗子、赤坂宗光、宮下直(2015)『Marxan による効率的な保全計画: その原理と適用事例』保全生態学研究, 20(1), 35-47.

して、優占保全候補地域を選定する。しかしながら、①に関して、調査に充てられる資源の制限などから、十分な分布情報が揃っている場合が少ないことは課題である。また、立地的な条件などから調査データの偏りが生じやすい点も課題である。②に関して、保全活動がどの程度保全対象の保全に効果を発揮しているかは、通常、長期にわたるモニタリング情報がないと判断できない。従って、実務実装の場においては、選定した保全候補地域が効率的に目標を達成できているかをモニタリングし、必要に応じて計画を見直すといった順応的な管理が求められる点にも留意が必要である⁷⁰。

(4) 適用事例

Marxanの実務への適用事例として、Marxan ウェブサイト⁷¹では2024年9月11日時点で、陸域・海域含め、世界中から27つの好事例が紹介されている。例えば、「National planning in Guyana」⁷²というタイトルで、開発途上国における森林減少・劣化に由来する排出の削減並びに森林保全、持続可能な森林経営および森林炭素蓄積の増加の役割(Reducing emissions from deforestation and forest degradation and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in developing countries: REDD+)事業の履行や愛知目標で設定された目標である陸域の17%の保護区化に向け、希少な動植物を最低限のコストで達成可能な新たな保護区の計画にMarxanが活用された事例が紹介されている(図 3-8)。

⁷⁰ 角谷拓、赤坂宗光、竹中明夫(2014)『相補性解析による効率的な保全に寄与する地域の地図化』 景観生態学, 19(2), 111-119.

⁷¹ Marxan, <https://marxansolutions.org/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

⁷² Marxan, <https://marxansolutions.org/community/national-planning-in-guyana/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

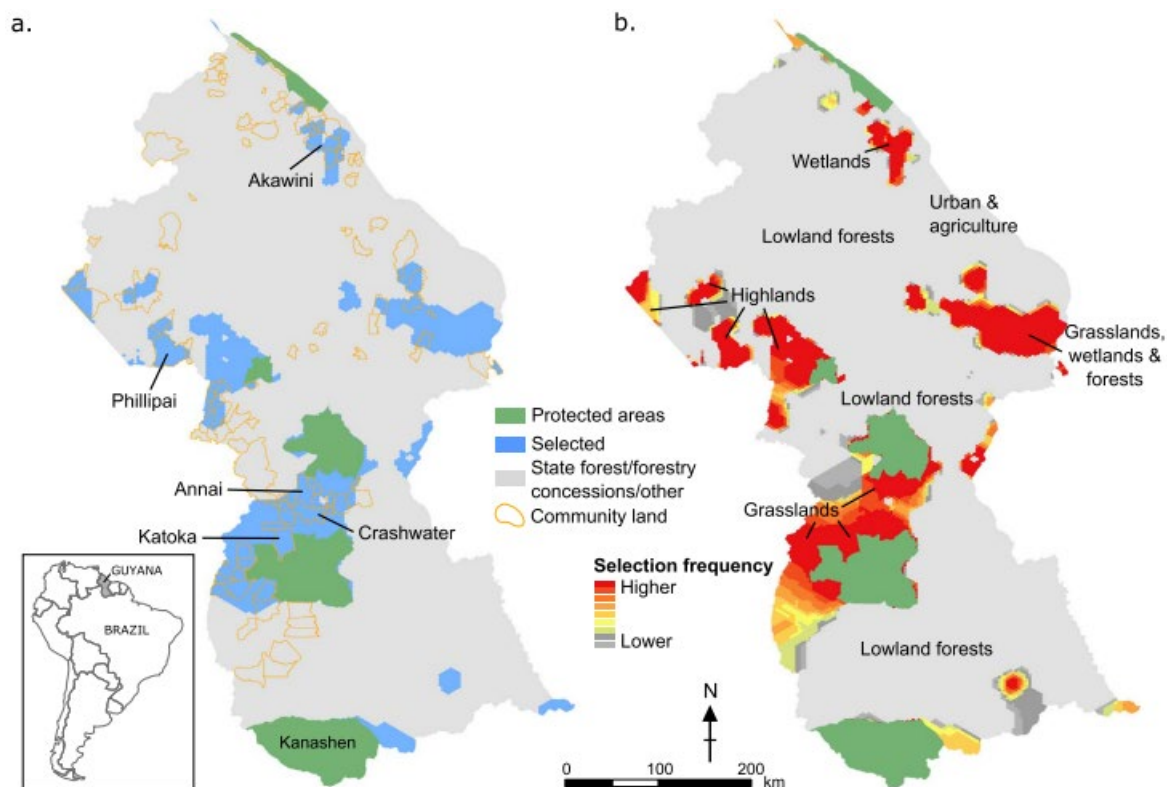


図 3-8 Marxan による優先保全候補地域の選定結果

備考: 左図は優先保全候補地域の選定結果を示しており、緑色は現状の保護区、青色は選定された保全候補地域を示す。右図は Marxan による解析を 100 回行った結果、優先保全候補地域として選定された回数を示しており、濃い赤色は最も多く選ばれたことを、灰色は選ばれた回数が最も少なかったことを示す。

出典: Bicknell, Jake E., et al. (2017) 『Designing protected area networks that translate international conservation commitments into national action.』 *Biological Conservation* 214: 168-175.

日本国内における適用事例としては、2011年度から環境省が実施した生物多様性評価の地図化事業があげられる。本事業では、既存の科学的情報などを空間的に分析・評価することで、全国の生物多様性の状況を評価、およびその結果の地図化が行われた。事業内では、絶滅危惧種に指定されている維管束植物を対象に、相補性解析の結果に基づく、効率的な保全に寄与する地域の地図化が行われた(図 3-9)。本事例は、日本において全国規模で相補性解析を実施・公表した国内初の画期的な事例であるが、保全目標の精緻化、保全にかかるコストの定量化など、多くの課題も抱えている⁷³。同じく、2011年度から環境省が実施した「生物多様性の観点から重要度の高い海域」の抽出事業においても、Marxanによる相補性解析が実施された。なお、本選定プロセスは、Marxanのみでなく、より抽出基準に合致する要素が重なる場所(複数の重要種が生息する場所など)を特定する手法も組み合わせで行われた。具体的には、場所ごとに抽出基準への合致度を5段階で評価した結果、最も合致度が高いとされた地点、およびMarxanによる相補性解析で優先保全候補地域に選定された地点の双方が「生物多様性の観点から重要度の高い海域」として選定された⁷⁴。

研究レベルで注目すべき適用事例としては、将来的な気候変動のシナリオをMarxanに組み込んだ Loyola氏らによる南米の大西洋岸森林に生息する両生類を対象とした研究⁷⁵や、将来的な農地転用のリスクをコストとしてMarxanに組み込んだSmith氏らによる南アフリカのマピウイタランド地域に生

⁷³ 角谷拓、赤坂宗光、竹中明夫(2014)『相補性解析による効率的な保全に寄与する地域の地図化』 *景観生態学*, 19(2), 111-119.

⁷⁴ 環境省, <https://www.env.go.jp/nature/biodic/kaiyo-hozen/kaiiki/kaiiki/kaiseiki.html> (最終アクセス日: 2024-12-25)

⁷⁵ Rafael D. Loyola, Priscila Lemes, João Carlos Nabout, Joaquim Trindade-Filho, Máira Dalía Sagnori, Ricardo Dobrovolski, and José Alexandre F. Diniz-Filho (2013) 『A straightforward conceptual approach for evaluating spatial conservation priorities under climate change』 *Biodiversity and Conservation* 22:483-495.

息・生育する動植物を対象とした研究⁷⁶などがあげられる。その他、松葉らは2015年の論文⁷⁷の中で、保全対象として生態系サービスを対象とした研究や生息域外で育成された絶滅危惧種の再導入・再生地を検討した研究、侵略的外来種の駆除の優先候補地域を検討した研究などを事例として紹介している。

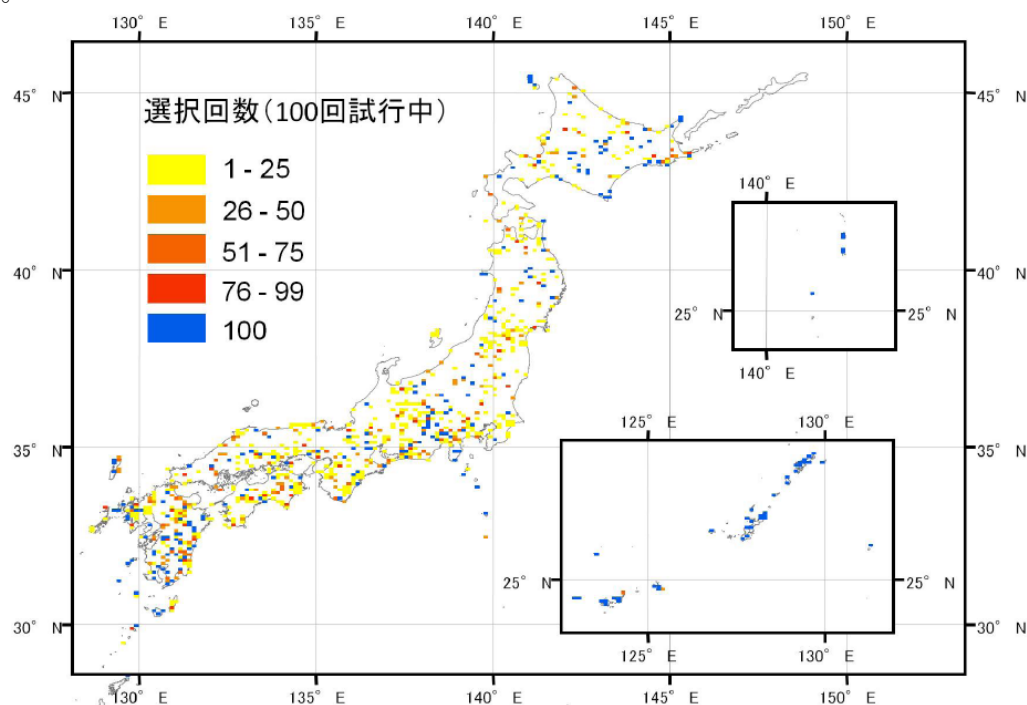


図 3-9 絶滅危惧維管束植物の効率的な保全に寄与する地域

備考: 選択回数は、対象とした維管束植物 1,219 分類群全てを最低 1 か所で保全するという目標下で相補性解析を 100 回試行した結果、優占保全候補地域として選ばれた回数を表す。

出典: 角谷拓、赤坂宗光、竹中明夫(2014)『相補性解析による効率的な保全に寄与する地域の地図化』景観生態学, 19(2), 111-119.

同じく、2011年度から環境省が実施した「生物多様性の観点から重要度の高い海域」の抽出事業においても、Marxanによる相補性解析が実施された。なお、本選定プロセスは、Marxanのみでなく、より抽出基準に合致する要素が重なる場所(複数の重要種が生息する場所など)を特定する手法も組み合わせで行われた。具体的には、場所ごとに抽出基準への合致度を5段階で評価した結果、最も合致度が高いとされた地点およびMarxanによる相補性解析で優占保全候補地域に選定された地点の双方を「生物多様性の観点から重要度の高い海域」として選定することが行われた⁷⁸。

(5) 参考情報

・ Marxan, Informing Conservation Decisions Globally (The University of Queensland) (<http://www.uq.edu.au/marxan/index.html>):

無料の登録を行うことで、Marxanのダウンロードが行えるウェブサイト。ソフトウェアのマニュアル、操作手順を仕様画面とともに解説した資料、過去のワークショップで使用された教材などもダウンロードすることができる。

⁷⁶ Smith RJ. et al. (2008) 『Designing a transfrontier conservation landscape for the Maputaland center of endemism using biodiversity, economic and threat data』 Biological Conservation 141:2127-2138.

⁷⁷ 松葉史紗子、赤坂宗光、宮下直(2015)『Marxan による効率的な保全計画: その原理と適用事例』保全生態学研究, 20(1), 35-47.

⁷⁸ 環境省, <https://www.env.go.jp/nature/biodic/kaiyo-hozen/kaiiki/kaiiki/kaiseiki.html> (最終アクセス日: 2024-12-25)

・松葉史紗子、赤坂宗光、宮下(2015)『Marxan による効率的な保全計画: その原理と適用事例』保全生態学研究, 20(1), 35-47.:

Marxanの基本的な仕組みについての解説、既存の多様な適用事例の整理、課題や留意事項の提示を行っている論文。特にMarxanの基本的な仕組みに関して、概念図などを利用してわかりやすく説明しており、初学者がMarxanについて学ぶための導入として有用な文献。

・角谷拓、赤坂宗光、竹中明夫(2014)『相補性解析による効率的な保全に寄与する地域の地図化』景観生態学, 19(2), 111-119.:

Marxanに限らず、相補性解析全般に関して、相補性の概念から詳しく解説した論文。相補性解析の理解や相補性解析実施に当たっての課題・留意事項の把握に有用な文献。

・久保田康裕、楠本聞太郎、藤沼潤一、塩野貴之(2017)『生物多様性の保全科学: システム化保全計画の概念と手法の概要.』日本生態学会誌』 67.3: 267-286.:

保全優先地域などを選定する際に有用なソフトウェアとして、Marxanの他にZonationについても簡易に解説している論文。日本語でZonationを解説した資料はほとんどなく、Marxan以外の類似したソフトウェアに関して簡易に学ぶことができる貴重な文献。なお、論文の著者はZonationを、メタ個体群や種数面積関係の概念に基づいて空間的な保全優先地域の順位付けが可能な効用関数を実装している点などで評価している。

3.3 生物多様性評価

(1) 概要

生物多様性条約における生物多様性の定義は、「すべての生物の間に違いがあること」であり、生態系の多様性、種間(種)の多様性、種内(遺伝子)の多様性という3つのレベルがあるとされている。また、生態系の多様性とは、干潟、サンゴ礁、森林、湿原、河川など、様々な生態系がそれぞれの地域に形成されていること、種の多様性とは、様々な動植物、菌類、バクテリアなどが生息・生育していること、遺伝子の多様性とは、同じ種であっても、個体や個体群の間に遺伝子レベルでは違いがあることとされている⁷⁹。



図 3-10 生物多様性の3つのレベルの概念図

出典: 国立科学博物館, <https://www.kahaku.go.jp/event/2010/tayousei/info.html> (最終アクセス日: 2024-12-25)

生物多様性は、食料、水、気候の安定など、人間社会が自然から得る「生態系サービス」と呼ばれる恵みの源であり、生態系サービスを持続的に享受していくためには、その適切な評価が必要となる。しかしながら、生物多様性の構成要素や在り方は場所によって異なり、気候変動対策における二酸化炭素のように画一的な評価指標を定めることが容易ではない。かかる状況下、様々な生物多様性の評価手法が考案されているが、本節では、1950年代から長きに渡り検討が進められている「多様度指数」に関する情報を整理した。

多様度指数とは、群集組成の複雑さ(種の多様性)や地点全体の多様性(生態系の多様性)の定量評価を目的に作成された指数である。例えば、群集内でその種の個体数が全体の総個体数に占める割合が高い種(“優占種”とする)と低い種(“希少種”とする)に分けた時、希少種も優占種も同等に一種ずつと数えた場合には「種数」という多様度指数が得られる。一方、最も割合の高い種(最優占種)のみに注目し、割合が二位以下の種を一切考慮しない場合には「最優占種占有率の逆数」という多様度指数が得られる。一般によく使われるシャノンの多様度指数とシンプソンの多様度指数は、それらの中間に当たり、優占種と希少種それぞれに重み付けをして、多様度を評価している。なお、シャノンの多様度指数はシンプソンの多様度指数と比較して、希少種の重みを高くした指数であるため、より希少種も考慮した評価を行いたい場合に妥当な多様度指数とされる。ただし、希少種は調査での見落としが多い種となるため、種数やシャノンの多様度指数など、希少種の重みを高くした多様度指数は信頼性が劣る場合がある点に留意が必要である⁸⁰。

複数の多様度指数を統一的に理解する方法としては、Renyiの多様度プロファイルがあげられる。本プロファイルでは、優占種と希少種の重み付けを変化させることによって一連の多様度指数を作成することが可能であり、重みを調整する感度パラメータを q 、種数を S 、群集を構成する種を多い順

⁷⁹ 環境省(2023)『生物多様性国家戦略 2023-2030』

⁸⁰ 高田宜武、手塚尚明(2016)『干潟漁場における多様度指数』 海洋と生物, 38(227), 633-640.

に並べて*i*番目の個体数が総個体数に占める割合を p_i とした時、多様度指数 qD は以下の式で求められる。

Renyi の多様度プロファイル: ${}^qD = (\sum p_i^q)^{1/(1-q)}$

種数: ${}^0D = S$

シャノン多様度の指数: ${}^1D = \exp(-\sum p_i \log(p_i))$

シンプソン多様度の逆数: ${}^2D = 1 / \sum p_i^2$

最優占種占有率の逆数: ${}^\infty D = 1/p_1$

上述の多様度指数(種数、シャノンの多様度指数、シンプソンの多様度指数、最優占種占有率の逆数)は、群集調査を行った地点ごとの生物の多様度を示す指数である。一方、地点全体の多様度を示す代表的な指数としては、 $\alpha \cdot \beta \cdot \gamma$ 多様度指数があげられる。各多様度指数は、地点数を N 、地点 j での i 番目の種の割合を p_{ij} 、他の記号をRenyiの多様度プロファイルと同じ扱いとした時、以下の式で求められる。なお、 α 多様度をその地域内の各地点の多様度、 β 多様度は地域内のユニークな群集の数、 γ 多様度はある地域全体の多様度を表す⁸¹。

α 多様度: ${}^qD_\alpha = (\sum (\sum p_{ij}^q) / N)^{1/(1-q)}$, ただし ${}^1D_\alpha = \exp(-\sum (\sum p_{ij} \log(p_{ij})) / N)$

β 多様度: ${}^qD_\beta = {}^qD_\gamma / {}^qD_\alpha$

γ 多様度: ${}^qD_\gamma = (\sum (\sum_j p_{ij} / N)^q)^{1/(1-q)}$, ただし ${}^1D_\gamma = \exp(-\sum (\sum_j p_{ij} / N) \log(\sum_j p_{ij} / N))$

(2) 期待される効果

生物多様性の保全活動は、数値目標を設定しやすい植林本数や面積などのアウトプットで評価されることが多く、標準化された定量評価手法が存在しない生物多様性への影響(アウトカム)を評価した事例は少ない⁸²。他方、昨今、ネイチャーポジティブの流れの中で、自然関連財務情報開示タスクフォース(Taskforce on Nature-related Financial Disclosures: TNFD)など企業などによる自然資本への影響・依存を定量評価・公開する必要性が高まっている。JICAも2023年12月よりTNFDの議論を支援するTNFDフォーラムに参加するなど、積極的な姿勢を表明している⁸³ことから、今後のJICA事業においてはアウトカムの評価が重要度を増すことが考えられる。その際、本章で整理した多様度指数の活用などによる、アウトカムの定量的な評価の実現が期待される。

(3) 課題・留意事項

多様度指数には様々なものがあるが、それぞれ異なる特徴を有している。例えば、一般によく利用されるシャノンの多様度指数とシンプソンの多様度指数を比較すると、シンプソンの多様度指数の方が優占種に重きをおいた指数であるため、希少種ではなく多く見られる種に注目した評価の場合には、シャノンの多様度指数よりも適切な多様度指数となると考えられる。

国立研究開発法人 水産研究・教育機構 日本海区水産研究所の高田氏は、2019年に開催したシンポジウム⁸⁴において、多様度指数が干潟の漁場管理の評価指標として広く活用されるためには、利用者が指数の性質をよく理解し、管理目的に相応しい指数を選択する必要があると述べている。また、複数の指数を計算して比較を行うこと、指数に何らかの変動があった際には、解析元のデータに立ち返って原因を探索することの重要性を主張している。

⁸¹ 国立研究開発法人 水産研究・教育機構 日本海区水産研究所, <https://jsnfri.fra.affrc.go.jp/gunshu/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

⁸² 西田高志(2011)『工場周辺水域の生物多様性評価の取り組み』紙バ技協誌 65.10 (2011): 1027-1030.

⁸³ JICA, https://www.jica.go.jp/about/organization/environment/1528954_21922.html (最終アクセス日: 2024-12-25)

⁸⁴ 高田宜武(2019)『5. 干潟の生物多様性評価指標』日本水産学会誌 85.2 (2019): 219-219.

信州大学の中村氏は、2000年に発行された論文⁸⁵の中で、実際の業務の中で多様度指数などの群集構造の解析手法が活用されるための課題として、調査手法の統一化や妥当性を持った統計的解析手法の開発などをあげている。

(4) 適用事例

国立研究開発法人 国立環境研究所 生物・生態系環境研究センターの深谷氏らは、2020年に発行された論文⁸⁶の中で、日本の自然林に分布する1,200種以上の木本植物の個体数について、日本全土をカバーする約10km四方のグリッドごとに推定している。また、推定結果を用いてグリッドごとにシャノンの多様度指数を計算し、琉球大学理学部と株式会社シンク・ネイチャーが共同開発した「日本の生物多様性地図化プロジェクト」⁸⁷において、種数や情報充足度などの情報と共に公開している(図3-11)。

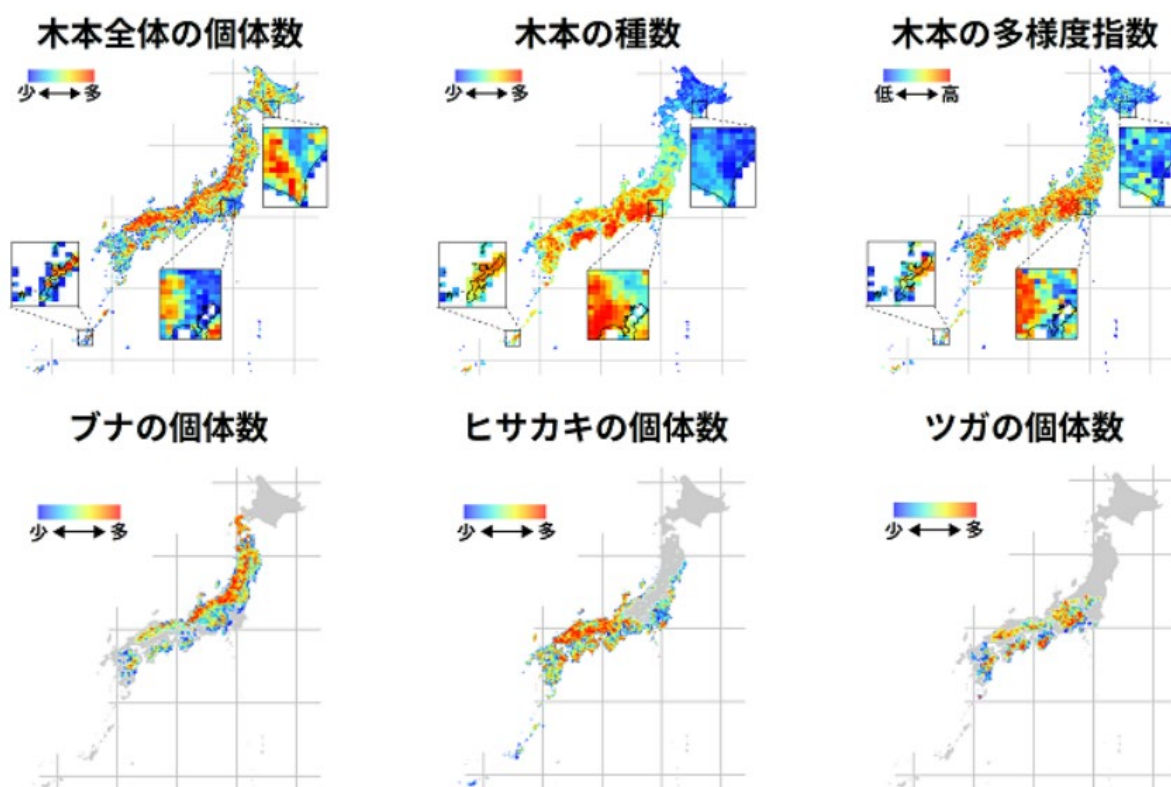


図 3-11 推定された木本植物の多様性および個々の植物の個体数の例

出典: 国立環境研究所, <https://www.nies.go.jp/whatsnew/20200514/20200514.html> (最終アクセス日: 2024-12-25)

民間企業においても、自社や業界の事業活動による生物多様性への影響を定量評価するため、多様度指数を用いた例が見られる。例えば、株式会社日本紙パルプ研究所の西田氏は、2011年に発行された論文⁸⁸の中で、工場周辺水域における魚類などの調査結果を用いてシンプソンの多様度指数を計算し、工場が周辺水域に与える影響を定量的に評価している。

⁸⁵ 中村寛志(2020)『生物群集の解析手法と環境アセスメント』 Diss. Shinshu University Library.

⁸⁶ Keiichi Fukaya, Buntarou Kusumoto, Takayuki Shiono, Junichi Fujinuma, and Yasuhiro Kubota(2020)『Integrating multiple sources of ecological data to unveil macroscale species abundance』 Nature communications 11.1 : 1695.

⁸⁷ ThinkNature, <https://biodiversity-map.thinknature-japan.com/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

⁸⁸ 西田高志(2011)『工場周辺水域の生物多様性評価の取り組み』 紙パ技協誌 65.10 (2011): 1027-1030.

多様度指数を生物多様性の評価以外の目的に活用した事例も見られる。例えば、東京大学先端科学技術研究センターの吉村氏らは、2022年に発行された論文⁸⁹の中で、小売店の数と種類の豊富さからシャノンの多様度指数を計算し、都市多様性の評価に活用している(図 3-12)。その結果、都市内の小売店の多様度が高いほど、小売店や飲食店の売り上げが高いことを定量的に示している。

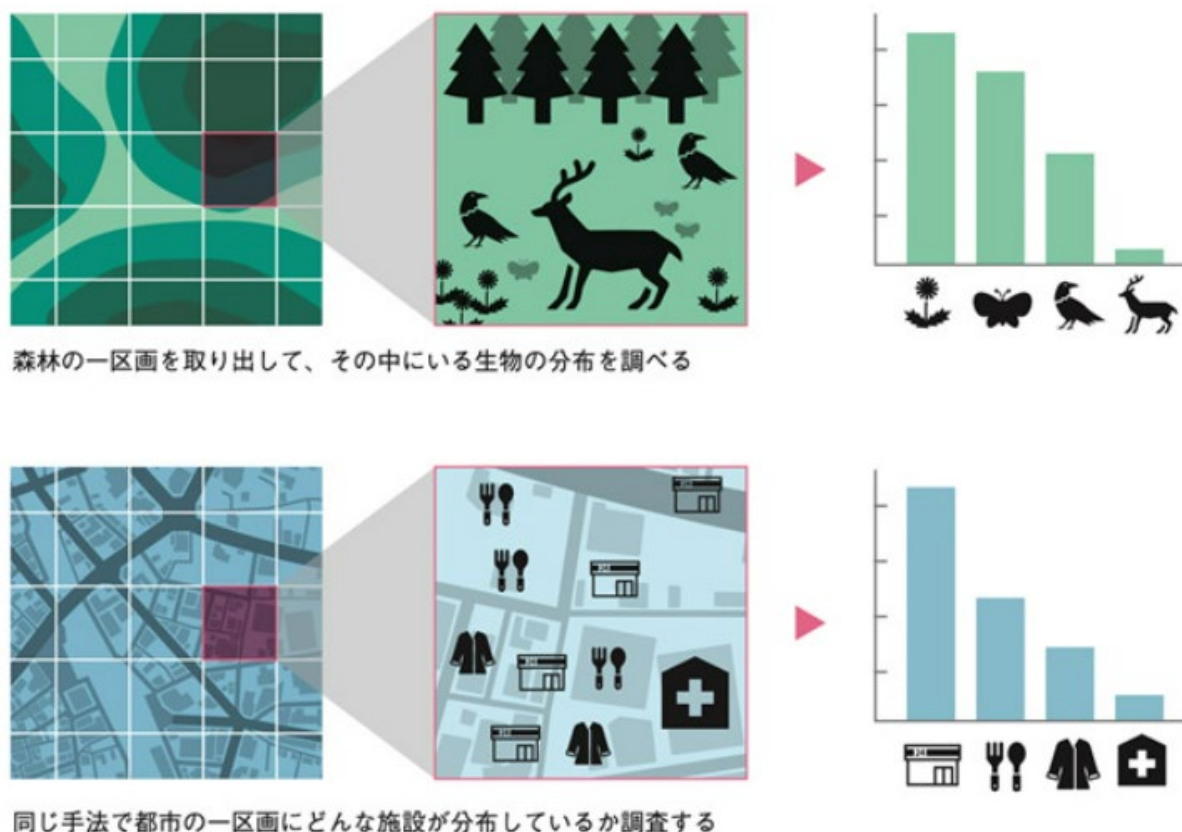


図 3-12 生物多様性評価における種の多様性の考え方と都市への応用のイメージ図

出典: 東京大学 先端科学技術研究センター, <https://www.rcast.u-tokyo.ac.jp/ja/news/release/20211208.html> (最終アクセス日: 2024-12-25)

(5) 参考情報

・国立研究開発法人 水産研究・教育機構 日本海区水産研究所「Rによる群集組成の解析」ホームページ(<https://jsnfri.fra.affrc.go.jp/gunshu/>):

群集データの解析方法の解説と、利用者がデータをアップロードすることによって画面上で結果を得ることのできる計算ページを提供するウェブサイト。指数の計算を、無償で容易に各指数の特徴を理解しながらマウス操作のみで行えるため、実用性が高い。

・中村寛志. 生物群集の解析手法と環境アセスメント. Diss. Shinshu University Library, 2000.:

多様度指数で主な解析対象となる生物群集の構造に関して、主な解析手法を網羅的に解説した論文。論文の著者は、本論文内で提案したグループ別RI指数の開発およびそれを活用した実績などから、2012年度日本環境動物昆虫学会賞を受賞している。そのため、論文内の記載は学術的に高い評価を受けた信頼度の高いものと考えられる。

⁸⁹ Yuji Yoshimura, Yusuke Kumakoshi, Sebastiano Milardo, Paolo Santi, Juan Murillo Arias, Hideki Koizumi, and Carlo Ratti(2022)『Revisiting Jane Jacobs: quantifying urban diversity』 Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science 49.4: 1228-1244.

第4章 情報共有に関する科学的情報基盤

本章では、自然環境保全分野の事業において、森林減少や森林火災などに関する情報共有に活用される技術について情報を整理した。

4.1 国家森林モニタリングシステム(NFMS)

(1) 概要

1) 導入に至った背景経緯

REDD+(Reducing Emissions from Deforestation and forest Degradation and the role of conservation, sustainable management of forests and enhancement of forest carbon stocks in Developing countries)は、途上国の森林保全活動を通して、温室効果ガスの排出削減・吸収増加を進める温暖化緩和活動の一つである。活動に当たってのルールは、2010年の気候変動枠組条約COPで合意されたカンクン合意や2013年の同条約COPで合意されたワルシャワ枠組を中心に形成されている。

カンクン合意では、途上国に国家戦略あるいは行動計画、森林参照(排出)レベル(Forest Reference Emission Levels: FREL/ Forest Reference Levels: FRL)、セーフガードのための情報システム、および国家森林モニタリングシステム(National Forest Monitoring System: NFMS)などの策定・作成が求められた。このうちNFMSとは、国・準国レベルでの森林からの温室効果ガス吸排出量を観測するシステムであり、最新の気候変動に関する政府間パネル(Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC)のガイダンスに準拠し、リモートセンシングと地上調査の組合せから吸排出量を推定することが求められている⁹⁰。なお国によっては、吸排出量の推定のみならず、森林減少検知システムやその他システム・データベースも含めた森林モニタリング全般のシステムをNFMSと呼称している場合もある。図4-1にNFMSのコアとなる要素およびNFMSとデータ収集サイクルとの関係を示す。

⁹⁰ 松本光朗(2017)『2. REDD+ の仕組み』写真測量とリモートセンシング 56(5), 177-180.

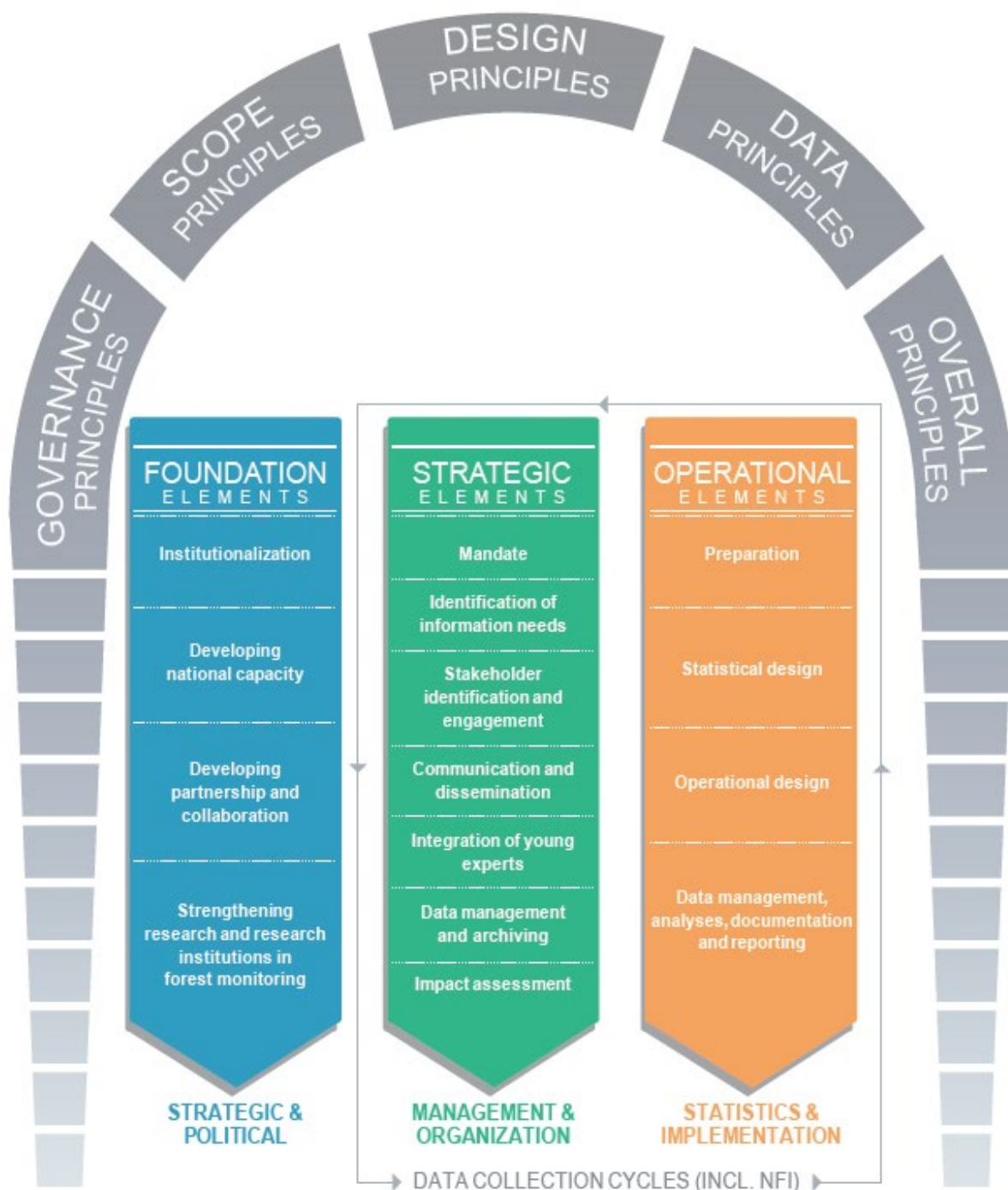


図 4-1 NFMS のコアとなる要素及び NFMS とデータ収集サイクルとの関係

出典: FAO(2017) 『Voluntary Guidelines on National Forest Monitoring』

図 4-1の基礎要素(Foundation Elements)は、NFMSが実装される組織的および技術的な枠組の条件を指している。これには、NFMSの制度化、国家能力の開発、森林モニタリング分野の国立研究機関の強化、国内および国際的なパートナーシップの確立などの活動が含まれる。これらの活動は、その後の技術的な実装作業の礎の準備に当たるため、森林モニタリングシステムの運用と持続可能性の確保にとって非常に重要なものであり、慎重な計画と十分な時間が必要とされている。

戦略的要素(Strategic Elements)は、NFMS内のデータ収集活動のための組織的および計画的な行動を指している。これには、情報ニーズの特定、ステークホルダーと役割の特定、広報、データ管理、インパクト評価などの活動が含まれる。なお、特定の科学技術に関連した活動は含まれない。

運用要素(Operational Elements)は、最適なデータ収集・分析のための計画的な行動を指している。これには、リモートセンシングデータなど収集に係る技術的側面からの検討・最適化、品質保証および管理のための検討・最適化、データ収集の準備と実行、特定のターゲットグループに焦点を絞ったレポートの作成などが含まれる⁹¹。

2) 期待される効果

2024年4月に実施した国際航業株式会社 原口氏と小出氏へのヒアリング結果⁹²によると、REDD+の開始に伴い、REDD+に必須であるNFMSの構築が各国で進み、森林参照レベル(Forest Reference Level: FRL)でレポートニングされるようになって以降、各国からより信頼性の高い情報が得られるようになり、情報の精度が上がった。また、正確な情報が収集されるようになったことで、課題がより明確になり、次に起こすべきアクションも明確になった。今後、さらに多くの国でNFMSの構築が進むことで、さらに多くの信頼性の高い情報が得られ、世界中で課題と次に起こすべきアクションがより明確になることが期待される。

また、ケニアを対象としたJICA事業「持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント)」⁹³で開発されたNFMSでは、ケニア側の要望を受け、モニタリング項目の1つにREDD+およびAR-CDMプロジェクトが組み込まれている。調査項目に関して収集された各プロジェクトの情報は、位置情報と共にFIPに掲載されることとなるため、プロジェクト運営の透明性の確保が期待される。また、ケニア国内の森林関係のプロジェクト活動がNFMSに集約されることで、温室効果ガス削減による成果払いの重複防止も期待される。他国のNFMSにおいても、NFMSのモニタリング項目にREDD+や関連プロジェクトを組み込むことで、プロジェクト運営の透明性確保や温室効果ガス削減による成果払いの重複防止が期待されると考えられる。

3) 技術(システム)の原理、仕組

図 4-2にNFMSが機能するために必要なアプローチとツールを示す。

⁹¹ FAO (2017) 『Voluntary Guidelines on National Forest Monitoring』

⁹² 本業務内で実施。ヒアリング議事録は別添資料として報告書に付する。

⁹³ JICA (2021) 『ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント) 業務完了報告書』

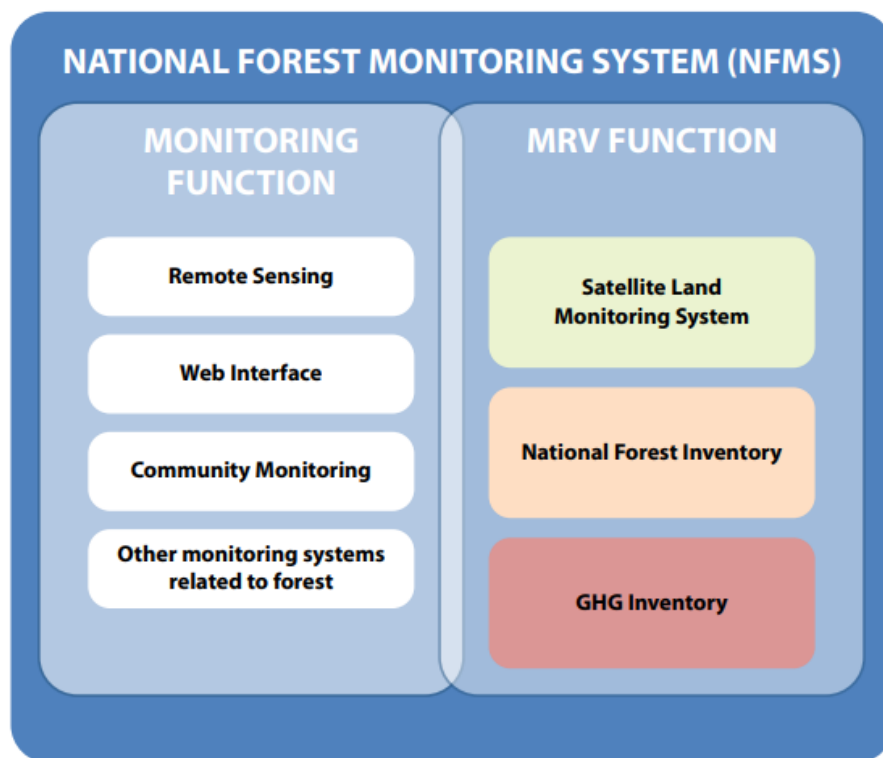


図 4-2 NFMS が機能するために必要なアプローチとツール

出典: UN-REDD Programme (2013) 『National Forest Monitoring Systems: Monitoring and Measurement, Reporting and Verification (M & MRV) in the context of REDD+ Activities』

図 4-2のMRV(Measurement, Monitoring, Verification)に関して、NFMSでは、リモートセンシングと地上調査の組合せから、最新のIPCCのガイダンスに準拠して、森林からの温室効果ガス吸排出量を推定することが求められている。図 4-3にIPCCのガイダンスにおける温室効果ガス吸排出量の算出方法の概念図を示す。なお、Activity Dataとは、特定の期間における人間活動の結果として発生する温室効果ガスの吸排出規模のデータであり、REDD+ではリモートセンシングなどを活用し、土地被覆・森林利用の変化などの分析を通じた把握が求められている。また、Emission Factorとは、特定の場所における特定の温室効果ガスの平均排出率、または平均炭素蓄積率を示す係数であり、REDD+では地上調査なども通じた国家森林インベントリー作成による把握が求められている⁹⁴。

⁹⁴ UN-REDD Programme(2013) 『National Forest Monitoring Systems: Monitoring and Measurement, Reporting and Verification (M & MRV) in the context of REDD+ Activities』

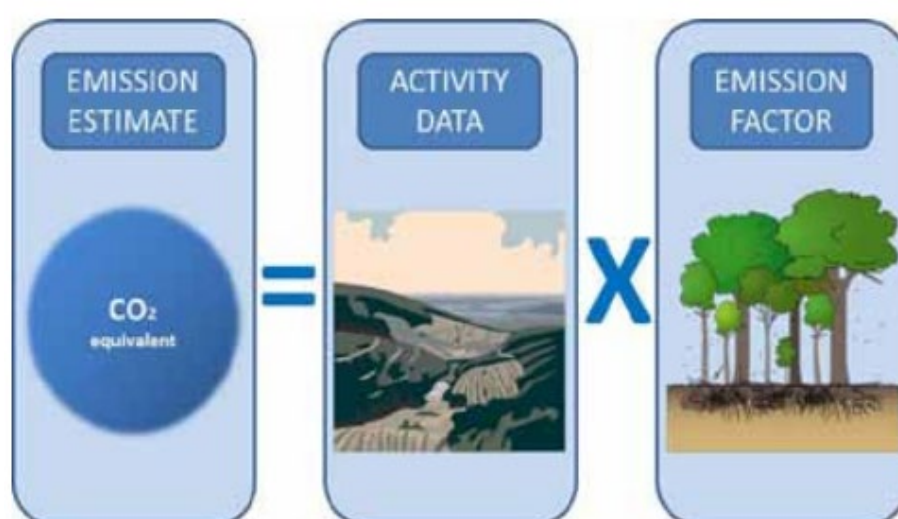


図 4-3 IPCC ガイダンスにおける温室効果ガス吸排出量の算出方法の概念図

出典: UN-REDD Programme (2013) 『National Forest Monitoring Systems: Monitoring and Measurement, Reporting and Verification (M & MRV) in the context of REDD+ Activities』

定量的には、 C_t をある時点 t における炭素蓄積合計(t -C)、 A_i を i 番目の森林タイプの占める面積(ha)、 C_i を i 番目の森林タイプがもつ単位面積当たりの炭素蓄積(t -C/ha)、 ΔC を吸排出量(t -C/年)、 C_{t2} 、 C_{t1} をそれぞれ時点、 t_2 、 t_1 (年)における合計炭素蓄積(t -C)とした時、REDD+での温室効果ガスの吸排出量は、以下の式で推定される⁹⁵。

$$C_t = \sum_{i=1}^n (A_i \times C_i)$$

$$\Delta C = \frac{C_{t_2} - C_{t_1}}{t_2 - t_1}$$

REDD+を含め、気候変動に関する国際連合枠組条約(United Nations Framework Convention on Climate Change: UNFCCC)での緩和活動の評価では、測定・報告・検証(Measurement, Monitoring, Verification: MRV)が求められている。また、ワルシャワ枠組において、MRVのデータや情報は、途上国の隔年更新報告書(Biennial Update Report: BUR)⁹⁶および技術附属書を通じて提出し、技術専門家チームによる技術分析を受けることとされている⁹⁷。

MRVの機能のうち、国家森林資源インベントリー(National Forest Inventory: NFI)と国家森林モニタリング(National Forest Monitoring: NFM)との関係を図 4-4に示す。NFIは、特定の時点における森林の特性を推定するために、フィールドインベントリーやリモートセンシングなど、多数のデータソースから収集した森林資源に関する情報を編集・分析する技術的プロセスを意味する。一方、NFMは、データの評価、判定、解釈、報告などを含む、より包括的なプロセスを意味しており、このプロセスを繰り返すことで時間の経過に伴う森林資源の変化と傾向のモニタリングが可能となる。なお、実情として、多くの国において、NFIという単語はNFMのプロセス全体を表すことにも使われている⁹⁸。

⁹⁵ 森林総合研究所 REDD 研究開発センター (2012) 『REDD+ Cookbook』

⁹⁶ 2025 年以降は BUR の代わりに隔年透明性報告書(Biennial Transparency Report: BTR)の提出が求められる予定。

⁹⁷ 松本光朗(2017) 『2. REDD+の仕組み』 写真測量とリモートセンシング, 56(5), 177-180.

⁹⁸ FAO(2017) 『Voluntary Guidelines on National Forest Monitoring』

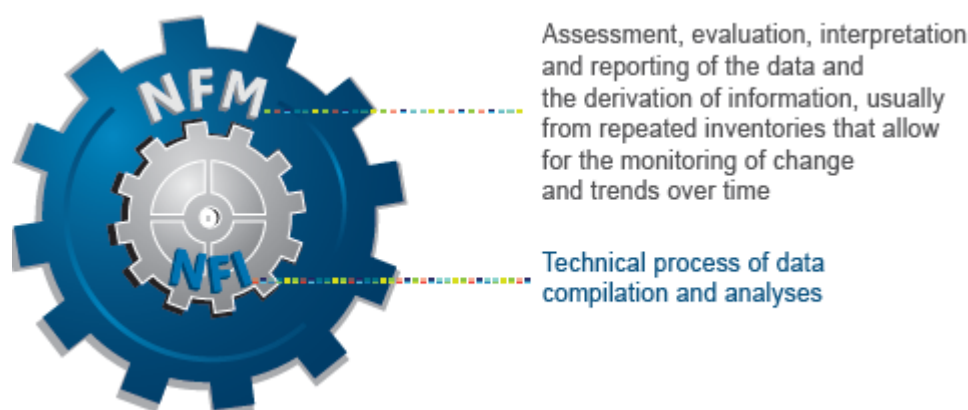


図 4-4 NFI と NFM の関係

出典: FAO(2017)『Voluntary Guidelines on National Forest Monitoring』

4) データベースの構成

＜コンゴ民主共和国の事例＞

コンゴ民主共和国を対象としたJICA事業「持続可能な森林経営及びREDDプラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト」⁹⁹では、プロジェクト完了以降にUNFCCC事務局へのNFMS提出を目指すコンゴ民主共和国に対して、NFMSの中核を成すNFIのシステム構築などの支援が実施された。プロジェクトで提案されたMicrosoft Accessを活用したNFIに関するデータベースである森林資源データベースの概念図を図 4-5に示す。

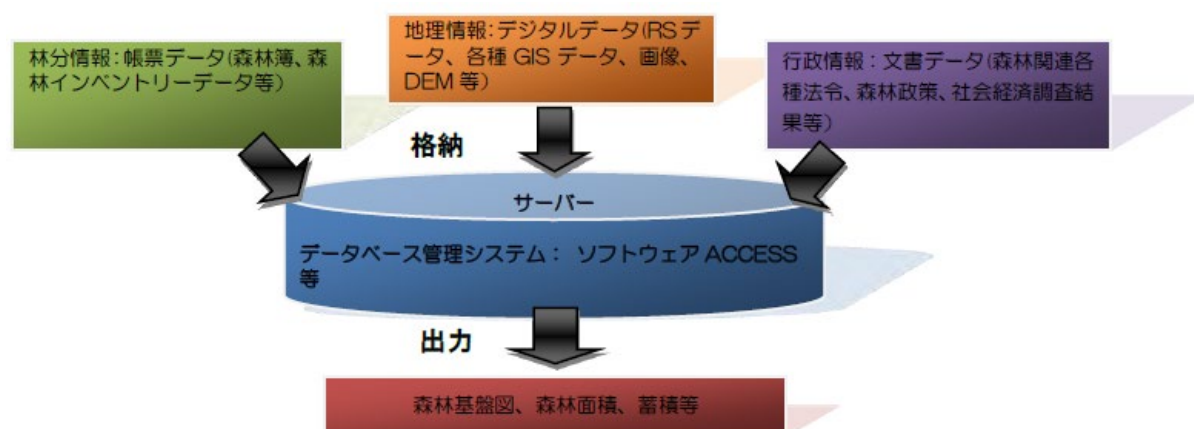


図 4-5 プロジェクトで提案された森林資源データベース概念図

出典: JICA(2018)『コンゴ民主共和国持続可能な森林経営及び REDD プラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト ファイナルレポート』

プロジェクトで提案されたNFIデータベースの基本的な設計方針は、以下の通りである。

- a) 基本方針
 - ・ 国家森林インベントリーの調査結果を格納するシステムとする。
 - ・ 引き渡し後はC/Pの職員で運用可能なシステムとする。
 - ・ 可能な限り基本操作を容易に習得できるシステムとする。
 - ・ C/Pのデジタル環境に即したシステムとする。
- b) 主な入力データ

⁹⁹ JICA(2018)『コンゴ民主共和国持続可能な森林経営及び REDD プラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト ファイナルレポート』

- ・ 森林区分図
- ・ 森林インベントリー調査野帳(写真、地球測位システム(Global Positioning System: GPS)データ含む)
- ・ 地理情報(行政界、道路図など)
- ・ 材積・バイオマス算出式
- c) 主な出力データ
 - ・ 森林インベントリー調査データ
 - ・ 森林インベントリー調査プロット位置図
 - ・ 材積、バイオマス集計値
- d) 主な機能
 - ・ データの入力、閲覧、選択、抽出、出力などの操作を可能とする。
 - ・ ユーザー管理(制限)を可能とする。

上記の方針を踏まえた、本プロジェクトの森林資源データベース開発の基本コンセプトを図 4-6に示す。

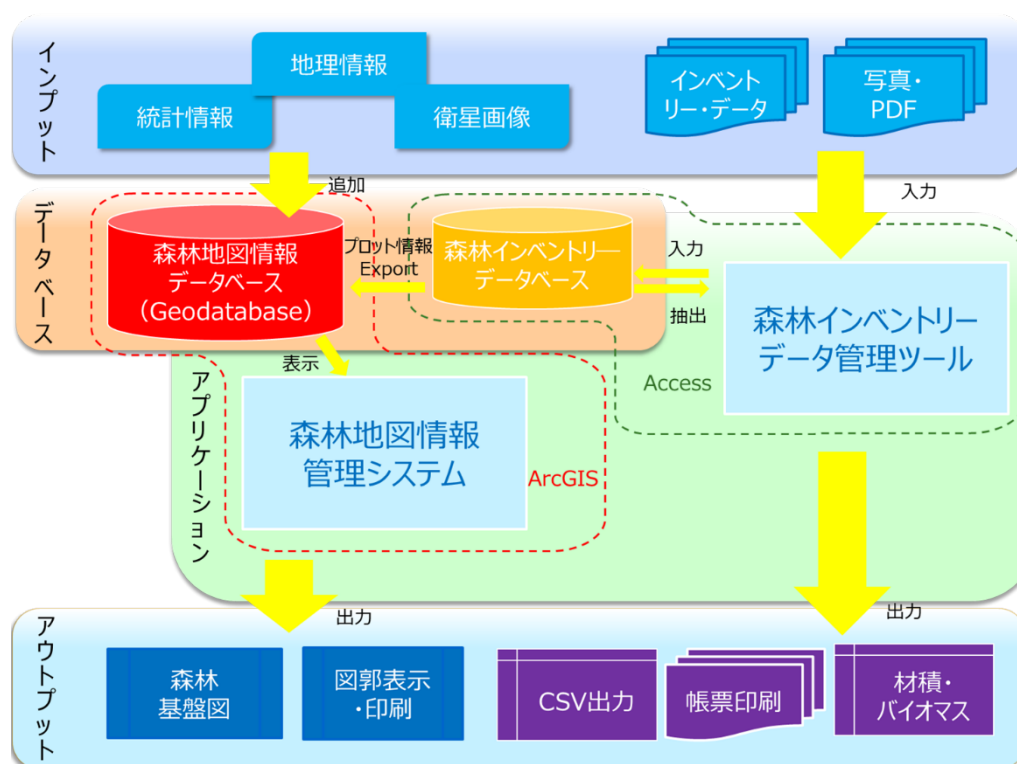


図 4-6 森林資源データベース開発の基本コンセプト

出典: JICA(2018)『コンゴ民主共和国持続可能な森林経営及び REDD プラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト ファイナルレポート』図 5-35 に基づき日本工営作成

森林資源データベースには、森林インベントリーデータベース(以下、森林インベントリーDB)と森林地図情報データベース(以下、森林地図情報DB)の二つのデータベースが含まれる。森林インベントリーDBは、インベントリー調査で得られたデータと樹種一覧表や樹種別比重表といった情報を格納するためのAccessデータベースである。森林地図情報DBは、各種の図面や衛星画像などの地理情報に、インベントリープロット情報を加えたGISデータセットである。両データベースには、それぞれデータを操作するためのアプリケーションが存在する。一つは、森林インベントリーDBへのデータ入出力を行うためのAccessカスタムインターフェース「森林インベントリーデータ管理ツール」、もう一つは、森林地図情報DBに格納されたデータを利用するためのESRI社 ArcGIS Desktopで構成され

た「森林地図情報管理システム」である。図 4-7に森林資源データベースに関わるデータ入出力の流れを示す。

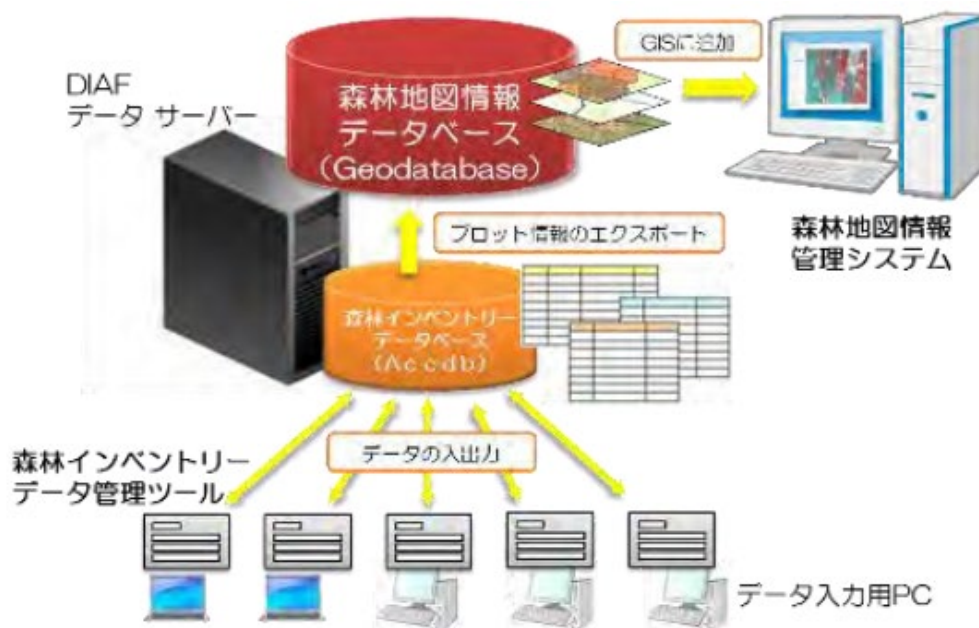


図 4-7 森林資源データベースに関わるデータ入出力の流れ

出典: JICA(2018)『コンゴ民主共和国持続可能な森林経営及び REDD プラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト ファイナルレポート』

データ入出力の手順は、以下のとおりである。

- (1) データ入力用PCにインストールされた「森林インベントリーデータ管理ツール」を用いて、インベントリー調査データを「森林インベントリーDB」に入力する。
- (2) 「森林インベントリーDB」に入力されたインベントリーデータをサーバーの森林データベースにエクスポートする。
- (3) インベントリー調査データのプロット位置情報からポイントデータを作成し、「森林地図情報管理システム」にインポートし、GIS上で利用可能な状態にする。

なお、C/P機関では、各プロジェクトのデータを、一つのデータサーバーで一元管理する方針を取っており、本プロジェクトのデータ格納場所もこれに準拠することとされた。

<ケニアの事例>

ケニアを対象としたJICA事業「持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント)」¹⁰⁰では、ケニアのNFMS構築全体の支援が行われた。ケニアにおけるNFMS開発にあたっての基本指針を表 4-1、NFMSの構造のイメージを図 4-8に示す。

¹⁰⁰ JICA(2021)『ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント) 業務完了報告書』

表 4-1 ケニアにおける NFMS 開発の基本指針

目的	1) 森林管理における正確で透明性のあるデータと情報を収集・保存する 2) ケニアにおける REDD+の実施と持続可能な森林管理に貢献するために、必要な情報を関連する森林のステークホルダーと共有する 3) 国際機関への報告や、他国への説明責任を果たすため情報を利活用する
基本設定	1) 森林定義：森林とされる最小の面積は 0.5 ha、森林被覆率は 15%以上、樹高は 2m (成木) 2) 対象 REDD+活動：1. 森林減少対策、2. 森林劣化対策、3. 持続可能な森林管理、4. 森林増強 3) 対象カーボンプール：地上部バイオマス、地下部バイオマス 4) スケール：国家 5) 対象温室効果ガス：二酸化炭素
構造	●モニタリング機能 下記項目のモニタリング - 森林被覆図/森林被覆変化 (活動データ) - 森林における炭素蓄積量 (排出係数) - 森林変化モニタリング - 政策及び措置 (PaMs) - 生物多様性 - REDD+及び AR-CDM 等の森林炭素関連プロジェクト ●データマネジメント機能 モニタリング機能により収集された情報やデータを格納し、REDD +を含む森林管理を実施するための情報を提供するデータベース
NFMS 文書	NFMS の継続的な実施、運営、管理のため、その目的や構造、各機能の詳細について文書化された。

出典: JICA(2021)『ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント) 業務完了報告書』

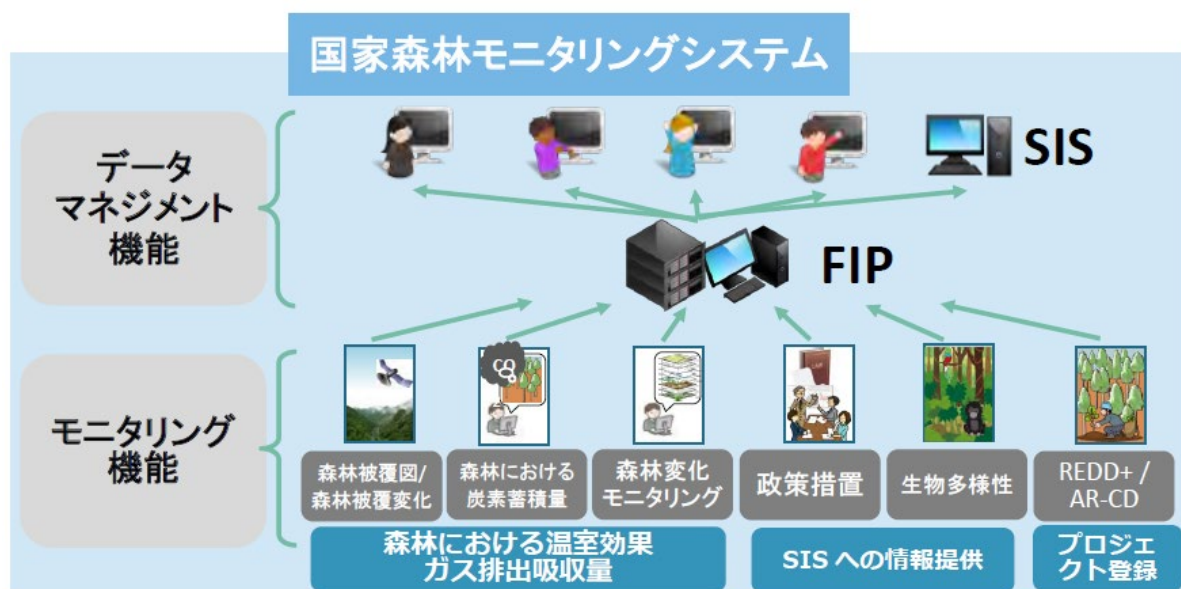


図 4-8 ケニアにおける NFMS 構造のイメージ

出典: JICA(2021)『ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント) 業務完了報告書』

ケニアのNFMSは、モニタリング機能とデータ管理機能の2つの機能で構成されていた。前者のモニタリング機能は、UNFCCCにおいて示されている構築要件(図 4-9)などを参照しつつ、C/P協議および関係者協議などを通じて、NFMSで取り組むモニタリング項目について検討が行われた。その結果、ケニア側から新たに要請された事項(政策および措置(Policy and Measures: PaMs)、生物多様性、REDD+および新規植林・再植林クリーン開発メカニズム(Afforestation and reforestation - Clean Development Mechanism: AR-CDM)をモニタリング項目に組み入れ、1)活動データのための森林被覆とその変化、2)排出係数のための森林炭素ストック、3)準リアルタイムでの森林被覆変化、4)政策および措置、5)生物多様性、6)REDD+とAR-CDMプロジェクトの6つのモニタリングで構成されることとなった(表 4-2)。

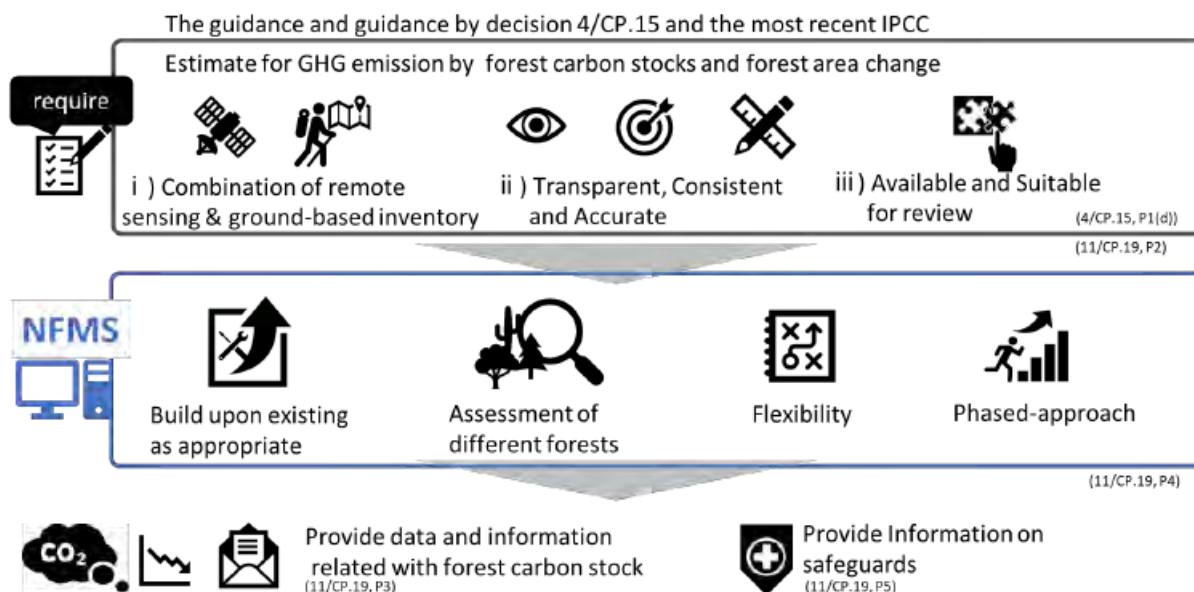


図 4-9 UNFCCC において NFMS に求められる要件

出典: JICA(2021)『ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント) 業務完了報告書』

表 4-2 NFMS の各モニタリング項目とモニタリング方法

項目	方法	概要
森林被覆図 /森林被覆 変化(活動 データ)	光学衛星画像の Wall to Wall 解析 によって作成され る土地被覆/土地 利用図	【解析方法】 ピクセルベース分類 【土地被-覆/土地利用分類】 森林3タイプ(天然林)と被覆率による3層化の9分類と、森林 1タイプ(プランテーション)の合計10分類 非森林4分類 【検出方法】 Wall to Wall,教師付き分類と2014年土地被覆/土地利用図を基に したConditional Probability Networkのハイブリッド 森林区域の抽出に、フィルタリング処理とゾーニング処理 【ADアプローチ】 IPCC アプローチ3
森林における炭素蓄積 量(排出係 数)	国家森林インベン トリー(NFI)	【サンプリングデザイン】 層化無作為抽出法:SLEEK層化別(10種類の森林タイプ)に無 作為抽出。クラスターの位置は1km×1kmの格子点からランダムに 選択する(1km²グリッド) 【クラスターデザイン】 IC-FRAによるクラスター方式(1クラスター当たり6プロットある いは4プロット) 【プロットの形】 円形 【調査項目】 樹種、胸高直径、その他確認できる情報(病気や枝折の有無等) 【バイオマス量への変換】 各森林タイプ別に選定したアロメトリー式の適用。その他、FRL 設定に準ずる。 【炭素係数】 IPCC2006のデフォルト値の適用。その他、FRL設定に準ずる。
森林変化モ ニタリング	既存の森林減少検 知システム及び現 地ツール	既存の森林減少エリアの検出システム(JJ-FAST及びNRTFAS) を利用した、ケニア国内の森林減少区域の抽出。 抽出された森林減少区域において、担当区域職員が現地ツール (Survey123)を用いて現地を踏査、報告。
政策及び措 置	ドラフト NRS に 基づくモニタリ ング	ケニア国 NRS ドラフトで示された戦略的、投資的分野ごとの各 施策に対してモニタリング指標を示す。具体的なモニタリング手 法については今後の検討事項である。
生物多様性	国家森林インベン トリー(NFI)デ ータの活用	NFIにおけるプロット調査項目を活用したモニタリング。 【樹木データ】: 樹種、成立本数、胸高直径及び樹高、健全度な ど 【生物多様性データ】: 哺乳類、鳥類、爬虫類、昆虫類、菌類など
REDD+ 及 びAR-CDM 等森林炭素 プロジェクト	ケニア国内で実施 される REDD+関 連プロジェクトの 情報収集	各プロジェクトの情報を収集するとともに、同プロジェクト情報 とプロジェクトエリアをFIPのGIS機能で表示。 ケニア国内のプロジェクト活動をモニタリングするとともに、炭 素排出量の削減による成果支払いの二重払い等を防ぐ。

出典: JICA(2021)『ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント) 業
務完了報告書』

後者のデータ管理機能は、本事業で開発された1)森林参照レベル(FRL)、2)測定・報告・検証(MRV)、
3)セーフガード情報システム、4)森林被覆変化モニタリング、5)国家REDD+戦略および関連情報、6)
森林管理情報、7)REDD+およびAR-CDMプロジェクト情報、8)その他関連データの8つの要素で構成

される森林情報プラットフォーム(Forest Information Platform: FIP)がその役割を果たすこととなった。本事業では、FIPの設計・実装が行われ、FIP上で地図や文書などの各種データを効果的に表示する方法について、検討・改善が実施された。構築されたFIPの構成図を図 4-10に示す。

森林情報プラットフォーム(概念設計)

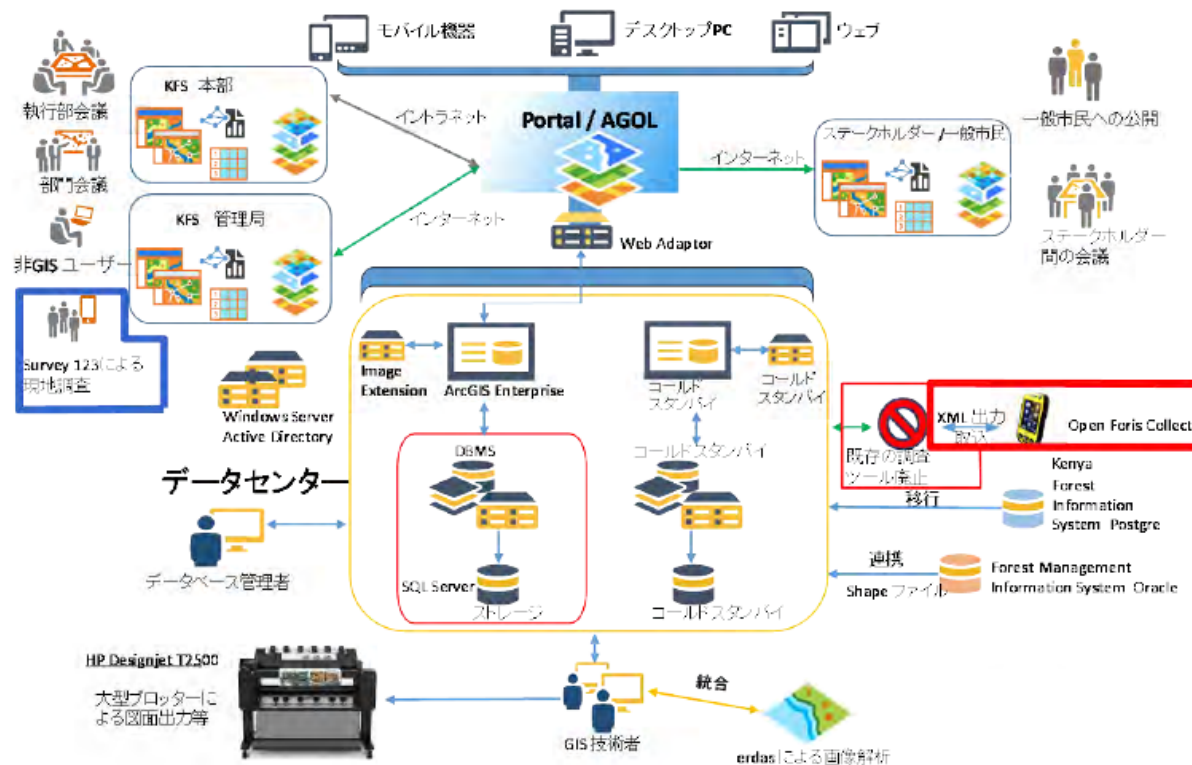


図 4-10 FIP の構成図

出典: JICA(2021)『ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント) 業務完了報告書』

ケニアにおけるFIPの構成は、システム操作におけるセキュリティと持続性について考慮されたものであり、データベースはデータセンターに保存され、データベース管理システムを備えたストレージはバックアップデバイスとソフトウェアにより保管・復元が可能なものとした。また、既存のデータセットをFIPに移行する必要があるため、FIPサーバ機は既存の機器と連携した冗長構成をとるものとした。サーバソフトウェアとしては、ArcGIS EnterpriseおよびMS-SQL Serverが導入され、本局や管理オフィスだけでなく現地調査員を含む全てにベンダーサポートを含めた堅牢なデータベースアクセスが提供された。さらに、GISデータベースの情報とコンテンツを保護するため、クラウドGISサービスであるArcGIS Online上のコンテンツ(GISデータ、画像)についてはユーザーを限定して直接操作可能な権限を付与することが可能なものとした。

FIPのハードウェアの構成は、PCサーバー、ストレージ、バックアップテープマガジンドライブ、PCワークステーションおよびその他の周辺機器をベースに設計された。なお、本事業では、新たに調達する機器に加え、既存の機器を主にバックアップの機材として利用する事とした。ソフトウェアの構成は、C/Pに対するソフトウェアベンダーによるサポートおよびトレーニングを可能とするため、商用のソフトウェアを基本に設計された。表 4-3にFIPのハードウェアの構成要素、表 4-4にソフトウェアの構成要素を示す。

表 4-3 FIP のハードウェア構成要素

Item	Specification
新規サーバ: GIS サーバ	- CPU: Intel® Xeon®E5-2640 v4 2.4GHz for 10 core, - Memory: 32 GB - HardDisk: 8 x SAS 3.84TB, or more, RAID 6 - Rack type 2U server * Including VMware vSphere Standard
新規サーバ: SQL データベース	- CPU: Intel® Xeon®E5-2640 v4 2.4GHz for 10 core, - Memory: 32 GB - HardDisk: 8 x SAS 3.84TB, or more, RAID 6 - Rack type 2U server * Including VMware vSphere Standard
新規データサーバ	- CPU: 1 x Intel® Xeon® E5-26xx v3 series, 1.9GHz, or more - Memory: 32 GB - HardDisk: 24 x SAS 2TB or more, RAID 6 - Rack type 2U server
新規バックアップ機器 HPE MSL2024 0-Drive Tape Library (AK379A)	- Support Tape: LTO-5, LTO-6,LTO-7 - Tape Slot: 24 - Capacity: 320TB (Compress) - Rack type 2U
新規バックアップ機器 HPE MSL2024 0-Drive Tape Library (AK379A)	- Support Tape: LTO-5, LTO-6,LTO-7 - Tape Slot: 24 - Capacity: 320TB (Compress) - Rack type 2U
新規 GIS 処理・画像処理用 PC ワークステーション 6 台	- OS: Windows 10 Pro Edition 64 bit (English) - CPU: Intel® Xeon® Processor ES-1620, 3.7GHz Turbo or higher, 12M L3, 5.86GT/s or higher - Memory: 16 GB or more - HardDisk: at least 2TB totally, SATA (No RAID) or more - DVD Super Multi Drive - Graphic Card: 1G NVIDIA Quadro K600 (1DP and 1DVI) (1DP-DVI and 1DVI-VGA adapter) or higher - Wireless network USB adopter (support 11n/11a/11g/11b) - 29inch Wide Monitor - Microsoft Office 2016 (Home & Business) - Security software (24 months) - System Recovery media - Auto Ranging (100V- 240V) - UPS 650 (650VA - 400 Watts), Input 230V / Output 230V
新規現地調査用ノート PC 2 台	- OS: Windows 10 Pro Edition 64 bit (English) - CPU: Intel® Core i7® series Processor - Memory: 16 GB or more - HardDisk: at least 1TB

出典: JICA(2021)『ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント) 業務完了報告書』

表 4-4 FIP のソフトウェア構成要素

ソフトウェア	仕様
空間情報データベース管理ソフトウェア	ESRI ArcGIS for Server Enterprise Standard, Portal for ArcGIS Level1
画像サーバソフトウェア	ESRI ArcGIS image Extension for Server Enterprise
GIS クラウドサーバソフトウェア	ESRI ArcGIS Online Organization Plan Level 1 + additional 5 named user
管理者用 GIS ソフトウェア (PC 版)	ESRI ArcGIS for desktop advanced 10.4 with spatial analyst, 3D analyst, geostatistics analyst, publisher
運用者用 GIS ソフトウェア (PC 版) 3 セット	ESRI ArcGIS for desktop standard 10.4 with spatial analyst, 3D analyst, geostatistics analyst, publisher
リモートセンシングソフトウェア (PC 版)	ERDAS IMAGINE 2016 version
データベースサーバソフトウェア	Microsoft SQL SERVER 2016 or Higher + 5 USER CALS

出典: JICA(2021)『ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント) 業務完了報告書』

5) 構築・利用、運用・維持管理の方法、またその工夫点

＜コンゴ民主共和国の事例＞

コンゴ民主共和国を対象としたJICA事業「持続可能な森林経営及びREDD+促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト」¹⁰¹では、図 4-11に示す流れで森林資源データベースが構築された。構築の際には、C/P職員を「エンドユーザー」としてとらえ、使用ソフトウェアをカスタマイズする構築作業そのものは基本的に日本人専門家が主体となっており、構築されたデータベースの運用および保守をC/P機関の技術者に委ねることとされた(図 4-12)。

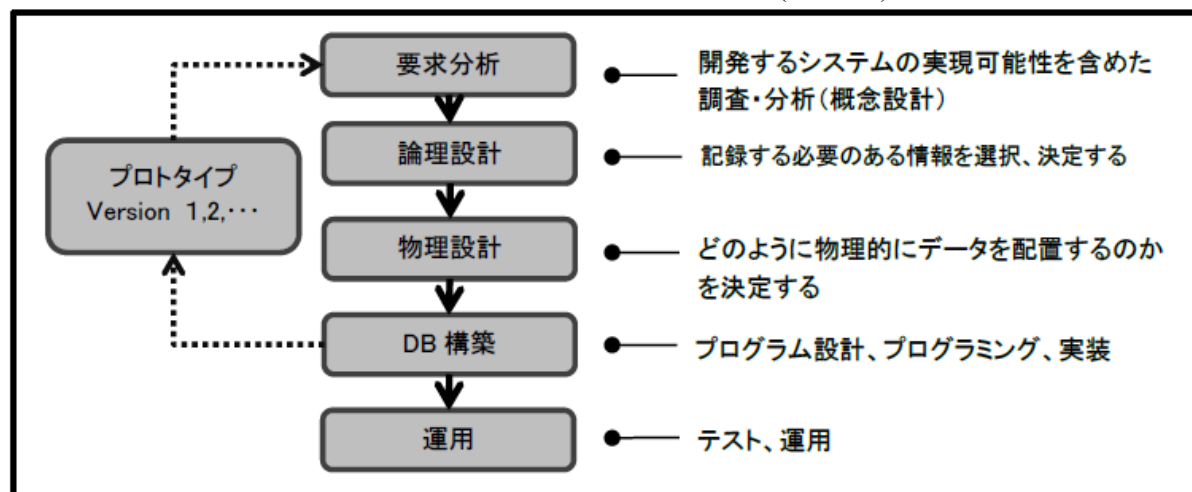


図 4-11 森林資源データベース構築までの流れ

出典: JICA(2018)『コンゴ民主共和国持続可能な森林経営及び REDD プラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト ファイナルレポート』

¹⁰¹ JICA(2018)『コンゴ民主共和国持続可能な森林経営及び REDD プラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト ファイナルレポート』

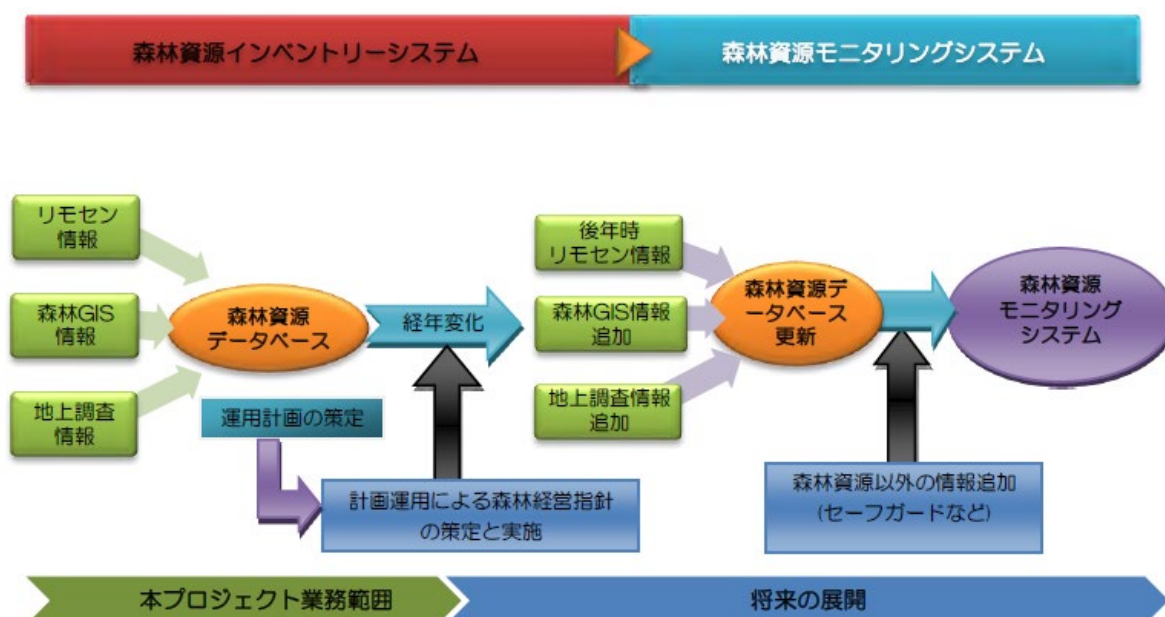


図 4-12 森林モニタリングシステムの全体構成概念と本プロジェクト範囲

出典: JICA(2018)『コンゴ民主共和国持続可能な森林経営及び REDD プラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト ファイナルレポート』

＜ケニアの事例＞

ケニアを対象としたJICA事業「持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント)」¹⁰²で開発された森林情報プラットフォーム(FIP)のソフトウェアは、大きくGISポータルモジュールとGISクラウドモジュールの2つによって構成される。

GISポータルモジュールは、FIP上におけるGISデータの利用に関するユーザーインターフェイスを提供するモジュールであり、空間情報データベースソフトウェアおよびその管理機能、イメージサーバソフトウェア、データベースサーバソフトウェア、そしてHTTPサーバ(C/P既存のWebサーバもしくはその再構築)によって構成される。本モジュールはC/P内で利用するGISのメインゲートウェイとして機能しており、イメージサーバは画像のキャッシュデータを作成し、インターネットアクセスが難しいフィールドにおいても衛星画像などを利用できる環境を提供している。

GISクラウドモジュールは、フィールド調査員やC/Pなどの限定されたユーザーにアクセスインターフェイスを提供している。本モジュールは、GISクラウドサーバソフトウェア、管理者用GISデスクトップソフトウェア、そして運用者用GISデスクトップソフトウェアによって構成されており、ArcGIS Onlineを通じて登録されたステークホルダーのみがArcGISユーザーライセンスを利用し、GISデータセットに安全にアクセスできるようになっている。本モジュールのクラウドサービスの管理者機能には他の用途も存在しており、例えば、Operations Dashboard for ArcGISの利用により、デスクトップ用のGISソフトウェアによる統計分析を直感的なグラフィックを用いて結果表示することが可能となっている(図 4-13)。

¹⁰² JICA(2021)『ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント) 業務完了報告書』



図 4-13 GIS クラウドモジュールが提供する Operations Dashboard for ArcGIS の画面

出典: JICA(2021)『ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント) 業務完了報告書』

6) 研修などの人材育成の取組、その工夫点

コンゴ民主共和国を対象としたJICA事業「持続可能な森林経営及びREDDプラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト」¹⁰³では、表 4-5に示す研修が実施された。

表 4-5 実施された研修の概要

分野	研修テーマ	対象者 人数	研修実施方法
リモートセンシング	ERDAS IMAGINE を使用したALOS オルソパパンシャープン処理の手順	地理情報課職員7名（環プロ無償ソフトコンポーネントにて実施したTA1を受講した職員）	環プロ無償により供与された衛星画像および画像解析ソフトウェアを活用し、2012/12/12～12/14の3日間の日程で実施。研修は、1日間の座学及びTA1復習と2日間の実習から構成。
森林GIS/DB	GISソフトの基本操作のレビューと森林インベントリーをサポートするための技術	地理情報課技術者12名（1名は1日のみ出席。環プロ無償ソフトコンポーネントにて実施したTA2を受講した職員5名を含む。）	DIAFにて2013/3/20～3/22の3日間に実施。GISソフト（ArcGIS10）の基本操作をレビューした後、森林インベントリーに必要な地理情報の分析方法を指導。
森林インベントリー	FAOの森林インベントリー手法に基づき現地作業の方法および手順（現 Mai-Ndombe 州 Nioki において実施）	森林インベントリー課技術者10名	Niokiの木材コンセッション（SODEFOR社）の施設を活用し、2013/1/23～2/2の10泊11日の日程で実施。研修は2日間の座学と7日の実地研修（2日は移動日）。

出典: JICA(2018)『コンゴ民主共和国持続可能な森林経営及び REDD プラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト ファイナルレポート』

¹⁰³ JICA(2018)『コンゴ民主共和国持続可能な森林経営及び REDD プラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト ファイナルレポート』

本事業の実施にあたっては、C/Pが体系的な能力を備えられるよう、Off-JTとOJTを有機的に組み合わせ、研修で学んだ知識・技術を実践することで、より深い理解を促し、柔軟な対応力と技術の定着を目指す工夫が行われてきた。以下に、具体的な工夫点を示す。

- ・ 森林インベントリーの現地調査後に毎回、活動の報告会、技術面の分析と改善、現地出張中の困難・解決のための意見交換を行った。DBチームが森林インベントリー野帳で見つけたエラーをインベントリーチームにフィードバックし、エラーへの気づきと改善を行った。
- ・ 森林インベントリーデータを用いて、アロメトリー式を用いたバイオマス計算の研修を行い、フィールドで収集するデータがどのように処理されるかを理解させ、森林インベントリーにかかる体系的な技術の習得を促した。
- ・ リモートセンシング解析にかかるグラントゥルース(現地確認調査)をC/Pと共同で行い、リモートセンシングで分類した結果を現地で確認し、解析技術と精度を高めた。

上記の工夫などの結果、以下のような成果が得られたとされている。

- ・ 現在、C/Pと国際連合食糧農業機関(Food and Agriculture Organization of the United Nations: FAO)がNFMS最終化プログラム内で実施しているNFIの森林インベントリーチームの中核メンバーは、JICAプロジェクトで育成した、旧バンドゥンドゥ州で実施した森林インベントリーに参加したメンバーである。NFIチームのチームリーダー10名のうち、7名はバンドゥンドゥ森林インベントリーチームのメンバーである。
- ・ C/Pの地理情報課は、DIAF-JICAプロジェクトが技術移転してきた手法を用いて、REDD+の基礎情報となる全国の森林・土地被覆区分マップを自力で作成した。なお、JICAはこの活動に対し、リモートセンシング解析マニュアルを提供した他、全国のLandsatモザイク画像の提供、リモートセンシング解析ソフトの貸与、進捗管理に対する技術支援を行った。

7) 他の技術との組み合わせによる有用な適用事例

ケニアを対象としたJICA事業「持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント)」¹⁰⁴で開発されたNFMSには、表 4-2に示す6つのモニタリング項目(森林被覆図／森林被覆変化、森林における炭素蓄積量、森林変化モニタリング、政策および措置、生物多様性、REDD+およびAR-CDM等森林炭素プロジェクト)が設定された。そのうち、森林変化モニタリングはArcGIS Survey123と呼ばれるツールを利用して行うように計画された。

ESRIホームページ¹⁰⁵によると、ArcGIS Survey123はシンプルかつ直感的な調査票でGISデータを収集できるアプリであり、現地調査の準備、実施、集計作業の効率向上に寄与するものである。Survey123 WebアプリやSurvey123 Connectデスクトップアプリを使用して調査票をチェックシートのような形式で作成でき、GISの知見を持たないユーザーであっても直感的に操作・データ収集できる点、マルチデバイスに対応しており、あらゆる端末・環境からデータを送信することができる点、回答をリアルタイムに集計・分析できる点などが特徴である。収集されたデータはWebアプリ上ですぐに確認でき、集計されたデータをもとに自動的にグラフが生成される。また、調査レポートの出力やリアルタイムでのArcGISでの使用も可能となっている。

「ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント)」¹⁰⁶では、NFIをベースとした現地調査ツールのプロトタイプがSurvey123を基に作成されている。プロトタイプの使い勝手(GPSによる位置取得や樹種、胸高直径の入力など)やユーザーインターフェイスのレイアウトなどは、森林インベントリー調査において検証されている。表 4-6に本調査ツールに実装された収集項目を、図 4-14にユーザーインターフェイスを示す。

¹⁰⁴ JICA(2021)『ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント) 業務完了報告書』

¹⁰⁵ ESRI ジャパン, <https://www.esri.jp/products/survey123/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

¹⁰⁶ JICA(2021)『ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント) 業務完了報告書』

表 4-6 ArcGIS Survey123 による情報収集項目の例

項目		内容
Group ID		調査グループ ID
Date		調査日時
GPS Coordination		プロット中心 (GPS 取得)
Cluster No.		クラスター番号
Plot No.		プロット番号
County Name		カウンティ名称
Canopy Cover		キャノピーカバー率 (パーセント, デンシオメータで計測)
	Center	キャノピーカバー率 (中央)
	North	キャノピーカバー率 (中央から北へ 15m)
	South	キャノピーカバー率 (中央から北へ 15m)
	East	キャノピーカバー率 (中央から北へ 15m)
	West	キャノピーカバー率 (中央から北へ 15m)
Trees		樹木インベントリー (全種類)
	Radius(DBH)	中心からの距離 (0m - 2m, 2m - 5m, 5m - 10m, 10 m- 15m)
	Tree No.	樹木番号 (連番)
	Stem No.	幹番号 (フォーク状の樹木)
	Species Name	樹種名称 (リスト選択)
	Any Other Species	樹種名称 (リストに無い樹木)
	DBH	胸高直径 (mm、地上 130cm 地点)
	Height	樹高 (m、5 本毎に計測)

出典: JICA(2021)『ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント) 業務完了報告書』

The image displays two screenshots of the ArcGIS Survey123 mobile application interface. The left screenshot shows the 'FIELD TRAINING' screen with fields for Group ID, Date, GPS Coordinates (0.269°S 36.078°E ± 11.5 m), Cluster NO., Plot No., County Name (Nakuru), Forest Strata, and Canopy Cover (Centre, North, South). The right screenshot shows the 'Trees' section with fields for Radius(DBH), Tree No., Stem No., Species Name, Any Other Species(Not in the list), DBH (CM), and Height 1(M). Both screens have a green header and a green footer with a checkmark icon.

図 4-14 ArcGIS Survey123 のユーザーインターフェースの例

出典: JICA(2021)『ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント) 業務完了報告書』

収集された現地調査データは、プロットが中心がポイントデータとして、樹種や胸高直径などのデータを取得した各樹木の情報がテーブルデータとしてArcGIS Onlineサーバに格納され(図 4-15)、管理者はこれらのデータを使用して解析処理を行うこととなる(図 4-16)。

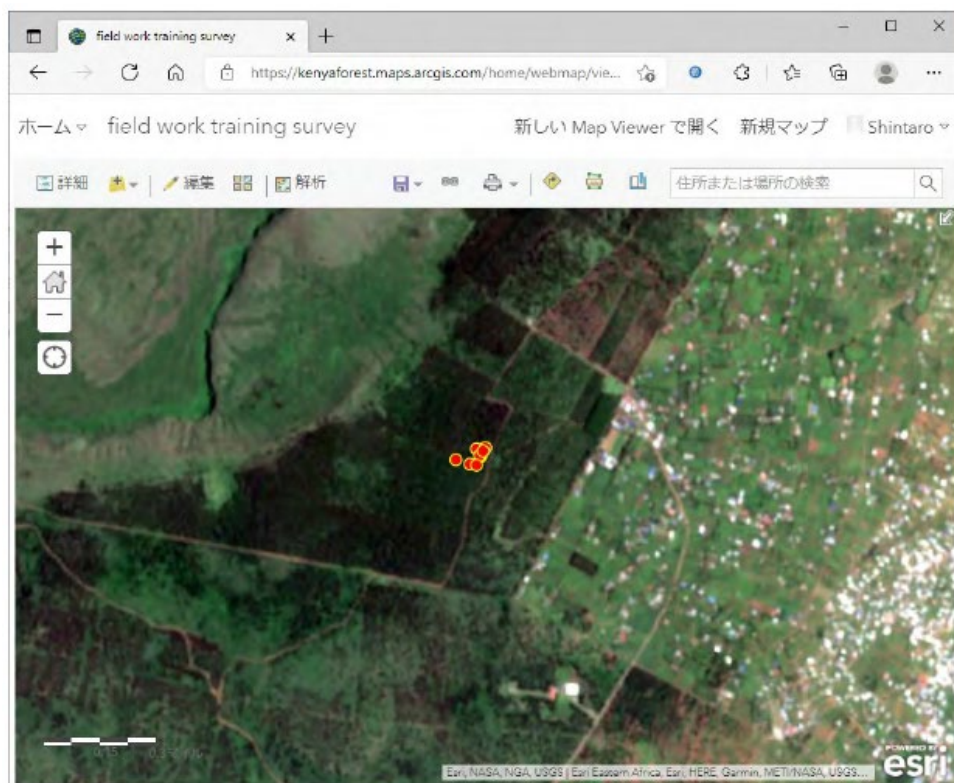


図 4-15 ArcGIS Online に表示されたデータ収集地点のプロット中心

出典: JICA(2021)『ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント) 業務完了報告書』

		胸高直径 実測値		樹高 実測値		推定高		材積		地上 バイオマス		ha 当り 材積		ha 当り地上 バイオマス	
		Radius (cm)	Tree ID	Stem	DBH (cm)	Height (m)	Est H (m)	Vol (m ³)	AGB (kg)	Vol/ha (m ³)	AGB/ha (t)				
1	Object	Radius_4	1		56	1 group	9.888754	0.012178043	11.0102359	0.103188827	8.761660794				
2	13	radius_3	2		194	1 group	10.38145	0.153433913	130.5365772	0.051188045	16.62043244				
3	14	radius_3	3		276	1 group	10.44316	0.312399369	26.55240555	0.025140838	33.26750067				
4	15	radius_3	4		80	1 group	10.09245	0.025365086	22.55240555	0.309637509	2.868915354				
5	16	radius_2	5		153	1 group	10.32622	0.094925805	81.69585785	0.330952442	2.600459883				
6	17	radius_2	6		223	1 group	10.4084	0.203260779	171.7644453	0.15455971	5.467432022				
7	18	radius_2	7		118	9.2 1 group	9.2	0.050305067	43.95881914	0.624508209	1.399252651				
8	19	radius_2	8		103	1 group	10.20092	0.04249852	37.28771792	0.739224028	1.186904907				
9	20	radius_2	9		104	1 group	10.20458	0.043343268	38.0109311	0.724816753	1.209925497				
10	21	radius_1	10		202	1 group	10.38965	0.166480517	141.3590657	0.424589232	1.999821686	3.6984			
11	22	radius_1	11		286	1 group	10.44829	0.335611824	280.2141942	0.210617833	3.964219906	173.08			
12	23	radius_1	12		282	1 group	10.44628	0.326227022	272.563956	0.216676824	3.855991176	83.203			
13	24	radius_3	1		289	1 group	9.696914	0.318045397	265.8902104	0.024694531	33.85419147				
14	25	radius_3	2		54	1 group	9.159357	0.010488476	9.516741348	0.748820128	1.211709086				
15	26	radius_3	3		69	6.8 1 group	6.8	0.012713554	11.48252881	0.617764463	1.462000907				
16	27	radius_3	3												

図 4-16 現地調査データの解析結果の例

出典: JICA(2021)『ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント) 業務完了報告書』

(2) 課題・留意事項

1) 人材育成に関して

コンゴ民主共和国を対象としたJICA事業「持続可能な森林経営及びREDDプラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト」¹⁰⁷では、NFMSを機能させる役割を担うコンゴ民主共和国のC/P側の技術者に関して、森林インベントリーやリモートセンシング解析の作業に参画するだけでなく、妥当性のある方法論の検討、予算作成、スケジュール管理、リポーティング、品質管理(Quality Control: QC)・品質保証(Quality Assurance: QA)、PDCA(Plan-Do-Check-Act)サイクルの適用など、幅広く柔軟に対応できる能力の習得が課題としてあげられている。また、今後の協力にあたって、C/Pの能力の現状を見極め、段階的に高めていくことを意識して進める必要性が指摘されている。さらに、きめ細かい能力向上を行うことが、C/Pとの信頼関係の構築にもつながり、円滑かつ効果的なプロジェクトの実施に寄与する点も指摘されている。

2) 革新的な技術の活用に関して

近年、クラウドコンピューティング技術が開発され、大量のデータを迅速に処理することが可能になってきた。衛星画像解析の分野においても、Googleが提供するGoogle Earth Engine(GEE)と呼ばれる画像処理モジュールが利用され始めた。このモジュールの最大の特徴はLandsat衛星やSentinel衛星といった無料衛星画像を利用し、大量の画像データを極めて高速に処理することができる点にある。「コンゴ民主共和国持続可能な森林経営及びREDDプラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト」では、ローカルのデスクトップパソコンに衛星画像を格納し、オブジェクト分類を採用した商用ソフトウェアで画像解析する手法が採用されたが、データ処理に時間を要することや、商用ソフトウェアが有償であることなどの課題が報告されている。また、GEEを用いることでデータ処理速度を飛躍的に向上させ、森林減少・劣化などを効率的に把握できる可能性について言及されている。なお、その際の留意点として、GEEによる解析は従来のオブジェクト分類ではなく、ピクセルベースによる森林変化解析となる点があげられている。今後、このような革新的な技術を用いることで、隔年若しくは毎年の頻度で森林変化解析が行われることが期待される。

3) コストに関して

コンゴ民主共和国を対象とした「コンゴ民主共和国持続可能な森林経営及びREDDプラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト」のC/Pは財政基盤が非常に脆弱であり、事務所のランニングコスト(賃貸料、光熱費、修繕など)や車両用燃料などもドナーの支援に頼っているのが実情である。また、C/P職員には、C/P機関に登録してはいるが、公務員定数の関係で公務員とは認定されず、給与を得ていないスタッフがいる。彼らは、プロジェクトがある時に各ドナーからの支援を得て業務に従事する形をとっている。スタッフにかかる経費はC/Pが負担すべきものだが、現実には難しい場面が報告されている。C/Pとしては、予算問題はコンゴ民主共和国政府の公務員省(Ministère de la Fonction Publique)が対応すべき問題であり、C/P機関単体では解決できないと主張している。

この問題は、技術者の定着の支障になるとともにモチベーションを低下させ、プロジェクトによる技術移転の効果を妨げるものである。今後、プロジェクトを実施する場合もこの問題の存在は理解しておく必要がある。なお、他のドナーは、プロジェクトにC/Pを参加させるために、給与ではなくプライム(手当て)という名目で支払いを行っている。

¹⁰⁷ JICA(2018)『コンゴ民主共和国持続可能な森林経営及びREDDプラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト ファイナルレポート』

(3) 適用事例

- 持続可能な森林経営及びREDDプラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト¹⁰⁸(対象国: コンゴ民主共和国):

2012年7月から2018年2月にかけてコンゴ民主共和国を対象として実施されたプロジェクト。「国家森林モニタリングシステム(NFMS)の運用により、REDD+が実施され、持続的森林管理が促進される」を上位目標、「持続的森林管理とREDD+実施のための国家森林モニタリングシステム(NFMS)が構築され運用される」をプロジェクト目標、「成果1: 旧バンドゥンドゥ州(パイロット州)の森林基盤図が作成される、成果2: 国家森林資源インベントリーの地上調査手法と手順が開発される、成果3: 国家森林資源データベースが構築される、成果4: 国家森林資源モニタリングシステム(NFMS)が設計され、その運用計画が策定される、成果5: 基本森林参照排出レベル(FREL)設定方法論を森林インベントリーシステム手順書に記述する」を期待される成果に設定して事業が実施された。その結果、以下の成果が得られた。

- ・ 旧バンドゥンドゥ州の森林基盤図およびその作成に必要な森林区分図が作成され、その方法に関してC/Pに技術移転が達成された。
- ・ 国家森林資源インベントリーの地上調査手法が開発・実行され、森林インベントリー技術手順書がC/Pとの協議を経て、完成された。
- ・ 森林インベントリーデータベースと森林地図情報データベースから構成される国家森林資源データベースが構築され、その技術手順書およびマニュアルがC/Pとの協議を経て、完成された。
- ・ プロジェクト期間中にFAOがコンゴ民主共和国のNFMS最終化プログラムを開始したことなどを受け、旧バンドゥンドゥ州のサブナショナルレベルでのNFMSの方法論およびデータを国レベルのNFMSにインプットする方針に切り替え、旧バンドゥンドゥ州での森林モニタリングシステム構築の経験・知見を活かして、技術的なプレゼンテーションや提案を通じてコンゴ民主共和国におけるNFMS構築に貢献した。
- ・ 事業内で算出した活動度データと排出係数からFRELを設定し、その方法をC/Pとの協議を経て、技術手順書に取りまとめた。また、研修を通じたC/Pの能力向上や国際会議での情報発信を行った。

- 持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント)¹⁰⁹(対象国: ケニア):

2016年6月から2021年10月にかけてケニアを対象として実施されたプロジェクト。「ケニアにおける森林率10%達成に向けて、持続的な森林管理が促進される」を上位目標、「中央およびカウンティ政府の持続的森林管理のための能力が強化される」をプロジェクト目標、「成果1: 中央レベルにおける森林関連政策・戦略の実施・モニタリング能力が強化される、成果2: 森林普及活動の実施を通じ、政府部門、民間部門およびNGOs/CBOs(コミュニティ主体の組織)の乾燥・半乾燥地における植林推進の能力が向上する、成果3: C/PにおけるREDD+の準備段階活動および持続的森林管理のための森林モニタリングに関する技術的な能力が強化される、成果4: C/Pにおける耐乾性林木育種のための能力が改良される、成果5: C/Pにおける地域協力のための能力がサブサハラアフリカ地域における気候変動・旱魃のレジリエンス強化のための知識およびグッド・プラクティスの共有を通して強化される」を期待される成果に設定して事業が実施された。なお、REDD+準備段階コンポーネントは、上述のうち、REDD+準備段階の実施支援部分を主に担当するものであり、森林モニタリングのための体制整備を目的に、過去の成果を活用したNFMSやFRLの構築や活動を通じたC/P機関の能力強化が実施された。その結果、以下の成果が得られた。

- ・ 活動データのための森林被覆と森林被覆変化および排出係数のための森林炭素ストックなどの森林モニタリングの方法論が開発され、データ管理機能の構造、NFMS運営の実施体制やカレンダーなどの情報と共に文書化された。

¹⁰⁸ JICA(2018)『コンゴ民主共和国持続可能な森林経営及びREDD プラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト ファイナルレポート』

¹⁰⁹ JICA(2021)『ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント) 業務完了報告書』

- ・ NFMSのデータ管理機能として森林情報プラットフォーム(FIP)の運用環境が強化され、その運用と管理に関する組織体制がC/P内に設立された。FIPに関係するステークホルダー全てが参加する上位組織については、将来設置される予定となった。
- ・ 関係者との協議を通じFRL(森林参照レベル)が設定され、ケニア政府からUNFCCCへ提出された。その後、UNFCCCによる技術評価結果に基づく修正が行われ、再提出された。
- ・ 2020年版土地被覆/土地利用図のドラフト版が作成された。

(4) 参考情報

1) 導入内容について詳細がわかる資料

- ・ コンゴ民主共和国 持続可能な森林経営及びREDDプラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト ファイナルレポート
(https://libopac.jica.go.jp/images/report/12304093_01.pdf)
- ・ コンゴ民主共和国 国家森林モニタリングシステム運用・REDD+パイロットプロジェクト 事業事前評価表(https://www2.jica.go.jp/ja/evaluation/pdf/2017_1602285_1_s.pdf)
- ・ ケニア国 持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント) 業務完了報告書(https://libopac.jica.go.jp/images/report/12364006_01.pdf)
- ・ モザンビーク国 REDD+モニタリングのための持続可能な森林資源情報プラットフォーム整備プロジェクト 業務完了報告書(https://libopac.jica.go.jp/images/report/12308474_01.pdf)
- ・ モザンビーク国 持続可能な森林管理・REDD+プロジェクト 事業事前評価表
(https://www2.jica.go.jp/ja/evaluation/pdf/2018_1700398_1_s.pdf)

2) おすすめの情報源

- ・ 松本光朗(2017)『2. REDD+ の仕組み』写真測量とリモートセンシング, 56(5), 177-180.
- ・ FAO(2017)『Voluntary Guidelines on National Forest Monitoring』

3) 他ドナーなどの類似事例

以下にコンゴ民主共和国 国家森林モニタリングシステム運用・REDD+パイロットプロジェクト 事業事前評価表¹¹⁰およびモザンビーク国 持続可能な森林管理・REDD+プロジェクト 事業事前評価表¹¹¹から抜粋した、他ドナーなどの類似事例を示す。

＜コンゴ民主共和国の事例＞

2010年以降、世界銀行の「森林炭素パートナーシップ基金(Forest Carbon Partnership Facility: FCPF)」の枠組の下、REDD準備計画策定、UNREDDの支援による国家REDD+戦略および投資計画の策定、世界銀行支援によるマインドンベ・プログラムなど、複数の国際機関や二国間ドナーなどがREDD+に関する支援を行っている。2016年からは、ノルウェーなどが拠出する中央アフリカ森林イニシアティブ(Central African Forest Initiative: CAFI)基金による国家REDD+戦略投資計画の実施プログラムが開始されており、2017年1月からは本資金を獲得したFAOがドナーとなり、「コンゴ民主共和国における国家森林モニタリングシステム(NFMS)の最終化及び実施プログラム(10百万ドル、2017年～2022年)」が実施されている。

コンゴ民主共和国においては、CAFI資金を活用してNFMS構築・運用に係る一連のプロセスを支援するFAOに対し、JICAは旧バンドゥンドゥ州で開発した森林モニタリング手法や人材育成の成果を基に、ワルシャワ枠組で規定される、「当該国にとって適切、かつ、透明性があり堅牢なNFMS」と

¹¹⁰ JICA(2017)『コンゴ民主共和国 国家森林モニタリングシステム運用・REDD+パイロットプロジェクト 事業事前評価表』

¹¹¹ JICA(2018)『モザンビーク国 持続可能な森林管理・REDD+プロジェクト 事業事前評価表』

するための支援を行っている。なお、これには、「JICA-JAXA熱帯林早期警戒システム(JJ-FAST)」のNFMSへの統合(NFMSのモニタリング機能の強化)が含まれている。

その他のドナーによる活動としては、森林地図作成などの方法論の共通化促進を目指すFCPFの支援によるマインドンベ・プログラム、キサンガニ大学、Wildlife Conservation Society (WCS)、WWF、Central African Satellite Forest Observatory (OSFAC)などによるREDD+関連事業(MRVやREDD+パイロット事業など)があげられる。

＜モザンビーク国の事例＞

モザンビークにおいては、世界銀行やフランス開発庁(Afd)など多くの機関が森林保全や気候変動対策の取組を支援している。特に、気候変動・REDD+の実施にあたっては、日本も主要資金拠出国であり、世界銀行が運営する森林カーボンパートナーシップ基金(FCPF)によるREDD+準備フェーズおよび森林投資プログラム(FIP)による実施段階の支援が行われている。以下に、モザンビークにおける主な他ドナーによる支援活動を示す。

- (1) FCPF準備資金および追加資金支援(ドナー: 世界銀行)
- (2) 実施期間: 2014～2018年
- (3) 実施予算: 8.8百万ドル
- (4) 支援内容: 国家REDD+戦略策定、森林ガバナンスの強化、全国のFREL/FRL、8州の森林インベントリー実施など
- (5) National Forest Monitoring and Information System for a transparent and truthful REDD-plus(ドナー: FAO)
- (6) 実施期間: 2014～2017年
- (7) 実施予算: 5百万ドル
- (8) 支援内容: 全国レベルの森林モニタリングツールの開発や人材育成

(5) その他備考

1) IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories

IPCC国別温室効果ガスインベントリープログラムは1991年に設立された、①国別温室効果ガス排出／吸収量の計算／報告に関する手法およびソフトウェアの開発／改訂、②IPCC参加各国およびUNFCCC批准国に対する上記手法の広範な使用促進、を目的としたプログラムである。設立当初は、IPCC作業部会I、経済協力開発機構(Organisation for Economic Co-operation and Development: OECD)および国際エネルギー機関(International Energy Agency: IEA)が運営を行っていたが、その後、1998年にIPCCインベントリータスクフォース(Task Force on National Greenhouse Gas Inventories: TFI)を設置し、同業務を引き継ぐことが決定された。その際、タスクフォース事務局受け入れに関する日本政府からの申し出が了承され、1999年より公益財団法人地球環境戦略研究機関(Institute for Global Environmental Strategies: IGES)内に技術支援ユニット(Technical Support Unit: TSU)が設置された¹¹²。TFIのウェブサイト¹¹³では、REDD+の上位文書にあたる「IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use」¹¹⁴が公開されている。

2) Methods and Guidance from the Global Forest Observations Initiative

全球森林観測イニシアチブ(Global Forest Observations Initiative: GFOI)は、UNFCCCのREDD+の推進および各国における森林監視のサポートを目的とした、オーストラリア、ノルウェー、アメリカ合衆国、地球観測衛星委員会、FAOがリードするプロジェクトである。GFOIは、持続的な衛星データの提供と利用を推進し、衛星データの入手、供給の調整、手法・ガイダンスの作成、研究開発および

¹¹² 環境省, https://www.env.go.jp/earth/ondanka/ipccinfo/IPCCgaiyo/detail/ipcc_tfi.html (最終アクセス日: 2024-12-25)

¹¹³ IPCC, <https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/> (最終アクセス日: 2024-12-25)

¹¹⁴ IPCC (2019) 『IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use』

キャパシティー・ビルディングを行っている¹¹⁵。2020年6月には「Methods and Guidance from the Global Forest Observations Initiative Edition 3.0」¹¹⁶が発行され、森林の温室効果ガス収支評価のためのリモートセンシングと地上観測の統合について、手法とガイダンスが紹介されている。

3) 森林減少モニタリングシステム

県森林減少モニタリングシステム(Provincial Deforestation Monitoring System: PDMS)は、2024年12月現在、実施中のJICA事業「ラオス国効果的なREDD+資金活用に向けた持続的森林管理能力強化プロジェクト」(協力期間: 2022/2/2 - 2027/1/31)で開発された森林モニタリングツールである。PDMSは、衛星情報に基づく準リアルタイムの土地利用変化の監視と現地踏査を組み合わせたシステムであり、モニタリング対象の森林で発生した0.2ha以上の森林減少地を検出できるように設計されている。PDMSを利用した森林モニタリングのステップを図 4-17に示す。



図 4-17 PDMS を利用した森林モニタリングのステップ

出典: JICA(2024)『効果的な REDD+資金活用に向けた持続的森林管理能力強化プロジェクト ニュースレター第4号』

PDMSを利用した森林モニタリングでは、まず、県の森林官によって、衛星画像解析による森林減少地の特定が実施される。具体的には、①Google Earth Engine上でのSentinel-2 衛星画像(MSI Level-2A: 空間解像度 10m、観測頻度 5日ごと)の機械学習による半自動解析による0.2ha以上の森林減少地の検出、②高空間解像度の衛星画像(NICFI Planet月次画像)の目視確認による森林減少発生有無の検証、③特定した森林減少地点情報を郡森林官へメールで送付、がノートパソコン上のWebアプリケーションで実行される。次に、郡の森林官によって、森林減少地を現況踏査が実施される。具体的には、①メールで受領した森林減少地点データをタブレット端末上の地図アプリで表示し、森林減少地点に出張、②村人と共に現況を確認し、タブレット端末(またはスマートフォン)上の調査票アプリを用いて必要な情報(調査日時、森林減少発生地点、転用目的、面積など)を入力、必要に応じて違反者へ勧告・指導、が実行される。最後に、中央政府の関係部局によって、森林減少モニタリング結果の取りまとめや報告が実施される。具体的には、現地で記録され、中央政府のサーバに半自動送信・保管されたデータについて、必要に応じて、関係部局による集計、報告書の作成が実行される。

ラオスにおけるPDMSの取組は、森林伐採地を正確に特定できる点、簡易に調査結果を記録・報告できる点、違反者への行政指導や罰金の徴収などに実際に活用できる点などから、高い評価を受けて

¹¹⁵ 国立環境研究所 地球環境研究センター, <https://www.cger.nies.go.jp/cgernews/201407/284005.html> (最終アクセス日: 2024-12-25)

¹¹⁶ GFOI(2020)『Methods and Guidance from the Global Forest Observations Initiative Edition 3.0』

いる¹¹⁷。その結果、ラオス農林省によって、PDMSは公式な森林モニタリングツールとして承認されている¹¹⁸。

同様のシステムによる森林減少モニタリングは、ベトナムにおいてもJICA事業「持続的自然資源管理プロジェクト」¹¹⁹の中で現場からの森林変化報告の漏れを減らすための仕組みとして導入されている。本システムは、ベトナムにおいてもカウンターパートから高い評価を受けており、今後、他国への更なる展開が期待される。

¹¹⁷ JICA(2024)『ラオス国効果的な REDD+資金活用に向けた持続的森林管理能力強化プロジェクト ニューズレター 第4号』

¹¹⁸ JICA, https://www.jica.go.jp/oda/project/201904177/news/1543811_48903.html (最終アクセス日: 2024-12-25)

¹¹⁹ JICA (2021)『ベトナム国持続的自然資源管理プロジェクト 業務完了報告書 (全体)』

4.2 国家森林火災情報システム(NFFIS)

(1) 概要

1) 導入に至った背景経緯

国家森林火災情報システム(National Forest Fire Information System: NFFIS)とは、国家の森林火災予防・管理技術の研究・開発・応用に係わる共通ICTインフラである。2024年4月に実施した国際航業株式会社 森川氏へのヒアリング結果¹²⁰によると、これまでにNFFIS関連の支援が行われてきたバルカン地域全体で、自然災害のうち、森林火災は最も大きな課題であり、情報をまとめるシステムが求められていた。具体例をあげると、過去にJICAがNFFISの整備を支援した「マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクト」の対象地北マケドニアでは、2007年に大規模な森林火災が発生し、GISを活用した災害モニタリング・予防・早期警戒の重要性が強く認識された結果、約550万ディナール(約9万ユーロ、約990万円)の政府予算を確保して、2007年12月に森林火災リスク・対策の管理用として新たなGISシステムが導入された。「マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクト」では、本GISシステムを発展させる形でNFFISが整備された¹²¹。

2) 期待される効果

NFFISの整備を通じて、主に森林火災を対象とした防災・減災の能力強化が期待される。既にMKFFIS(Macedonian Forest Fire Information System)の構築をJICAが支援した北マケドニアでは、MKFFISの整備を通じて、森林火災を中心とした災害に対応できる体制が構築され、防災・減災の能力強化が行われたとして、北マケドニア政府から高い評価を受けている¹²²。また、2024年4月に実施した国際航業株式会社 森川氏へのヒアリング結果¹²³によると、MKFFIS整備によって関係者が揃って同じ情報を見られることができるようになったことが大きな成果であるとされており、他国においてもMKFFISにより同様の効果が期待される。

3) 技術(システム)の原理、仕組

NFFISの原理や仕組を理解するうえで認識しておくべき事例として、欧州森林火災情報システム(European Forest Fire Information System: EFFIS)があげられる。EFFISは、EUが1980年代以降、重視してきた森林地域のモニタリング機能・活動を強化するための研究活動Forest Data and Information System(FOREST)の中核を成すプロジェクトで、森林火災予防・管理技術の研究・開発・応用に関わる共通ICTインフラである。2000年に稼働したEFFISは、森林火災研究を行う欧州委員会(European Commission: EC)の「共同研究センター(Joint Research Center: JRC)」の科学・技術的なソフトインフラとウェブ・ベース・プラットフォームの提供によって構成されている。創設以来、EFFISのウェブ・ベース・プラットフォームは拡張を続け、現在、すべての欧州諸国に公開されている。また、FAO Silva-Mediterraneaとの合意の下に、EU非加盟の地中海諸国にも拡張されている。なお、国際会議などでは度々、EU未加盟の地中海諸国によるEFFISネットワークへの参加・有効活用、および各国の森林火災データベースや火災危険予測システム構築の際のEFFISとの整合性確保などの重要性が指摘されている¹²⁴。図 4-18に2024年1月時点でのEFFISのモジュールを示す。

¹²⁰ 本業務内で実施。ヒアリング議事録は別添資料として報告書に付する。

¹²¹ JICA(2011)『マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクト 詳細計画策定調査報告書』

¹²² JICA, <https://www.jica.go.jp/Resource/project/montenegro/001/outline/index.html> (最終アクセス日: 2024-12-25)

¹²³ 本業務内で実施。ヒアリング議事録は別添資料として報告書に付する。

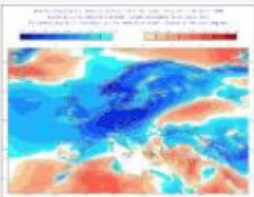
¹²⁴ JICA(2011)『マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクト 詳細計画策定調査報告書』

Applications



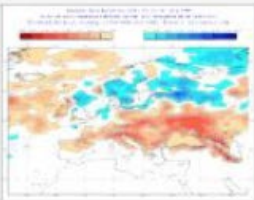
Current Situation

The most up to date information on the current fire season in Europe and in the Mediterranean area. This includes today meteorological fire danger maps and forecast up to 6 days, daily updated maps of hot spots and fire perimeters.



Long-term monthly fire weather forecast

Monthly forecast of temperature and rainfall anomalies that are expected to prevail over European and Mediterranean areas.



Long-term seasonal fire weather forecast

Seasonal forecast of temperature and rainfall anomalies that are expected to prevail over European and Mediterranean areas.



Fire News

A selection of news from the press on wildland fires in Europe updated daily by the EFFIS team. News can be browsed for specific countries selected by the user from the news map.



Data and services

Country totals (burnt areas & number of fires) per year, as published in the Forest Fires in Europe, North Africa and Middle East reports.



Fire History

Build customized maps of historical fire incidence querying the European Fire Database on number of fires, burned area and average fire size of selected years.

図 4-18 EFFIS のモジュール(2024 年 1 月時点)

出典: COPERNICUS(2018) 『User Guide to EFFIS applications』

北マケドニアにおけるJICAの森林火災危機管理能力向上プロジェクトでは、EFFISをモデルとして、北マケドニア独自のNFFISであるマケドニア森林火災情報システム(Macedonian Forest Fire Information System: MKFFIS)が構築された。MKFFISは、北マケドニア共和国危機管理センター(CMC)と関連する

組織の間で、森林火災リスク情報を共有することを目的に構築されたGISであり、リスクを構成する4つの要素(①hazard(現象としての危険度)、②exposure(露出)、③vulnerability(脆弱性)、④capacity and measures(対処能力・手段))全てをカバーした個別危険度評価ツールを有することが最大の特徴とされている(表 4-7)。なお、他の火災情報システムに関して、EFFISや日本の「林野火災発見・通報サポートシステム」、カナダのシステムは、現象としての危険度、脆弱性のみをカバーしており、インドネシアのシステムは現象としての危険度のみをカバーしている¹²⁵。

表 4-7 リスク4要素に対応した MKFFIS のツール

	リスク要素	個別危険度評価ツール
森林火災 リスク	現象としての危険度, hazard	①ホットスポット・マップ ⑤火災履歴図
	露出, exposure	④森林植生図 ⑧森林火災被害額表
	脆弱性, vulnerability	②植生乾燥度マップ ③ファイアー・ウェザー・インデックス (FWI) マップ
	対処能力・手段, capacity and measures	⑥地形図等 ⑦消火リソース表

出典: 佐藤英章(2013)『マケドニア森林火災情報システム (MKFFIS)』 海外の森林と林業, 87, 20.

MKFFISの各ツールを生成するためのデータソースおよび解像度を表 4-8に示す。

¹²⁵ 佐藤英章 (2013)『マケドニア森林火災情報システム (MKFFIS)』 海外の森林と林業, 87, 20.

表 4-8 MKFFIS の各ツールのデータソース及び解像度

個別危険度評価 ツール	必要なデータ	データ供給元	時間分解能 空間分解能
①ホットスポット・ マップ	MSG-SEVIRI の熱赤外 バンド (-IR039*, -IR108*, -PRO*)	ftp://ftp.eumetsat.int/ pub/OPS/out/simon/ FIRE/	15 分毎 3 km×3 km
	Terra/Aqua-MODIS の熱赤外バンド (MOD14*, MYD14*)	ftp://nrt2.modaps. eosdis.nasa.gov	6 時間毎又は 12 時 間毎 1 km×1 km
②植生乾燥度マップ	Terra/Aqua-MODIS で実測する水分指数, 植生指数	NASA	8 日間毎
③ファイアー・ウェ ザー・インデックス (FWI) マップ	温度, 湿度, 風速, 雨量	水気象庁 (21 箇所に 設置された自動気象観 測装置)	1 日毎
④森林植生図	森林簿, 森林管理図	森林公社	1 年毎
⑤火災履歴図	火災報告	森林公社, 危機管理セ ンター	火災事案毎
⑥地形図等	デジタル地図	地理院	
⑦消火リソース表	消火機材, 消火人員	森林公社, 保護救援庁, 消防署等	
⑧森林火災被害額表	立木・木材価格表, 被害木の材積	森林公社	火災事案毎

出典: 佐藤英章 (2013) 『マケドニア森林火災情報システム (MKFFIS)』 海外の森林と林業, 87, 20.

4) データベースの構成(例: 使用するソフト、クラウド、スタンドアローン)

MKFFISのデータベースの構成を図 4-19に示す。マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクトの詳細計画策定調査報告書作成時点で、プロジェクトのC/PであるCMCには6台のサーバーがあり、その内の1つがGIS対応、1つがデータベース用となっている。CMC本部内のLAN(イントラネット)によって、これらの情報は本部内でのみ共有可能となっており、CMCの地方センターや関連省庁・機関からCMCのデータ(イントラネット)へのアクセスはできない。また、国際連合開発計画(United Nations Development Programme: UNDP)プロジェクトによって、上記GISシステムへのデータ入力を簡素化するためのソフトウェア(Custom developed desktop application for entry of spatial and attribute data into the geo-database)が作成されている。さらに2010年5月には、JICA開発調査の成果品の一つである105面の二万五千分の一GIS地図データがGISシステムに導入されている¹²⁶。

¹²⁶ JICA(2011) 『マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクト 詳細計画策定調査報告書』

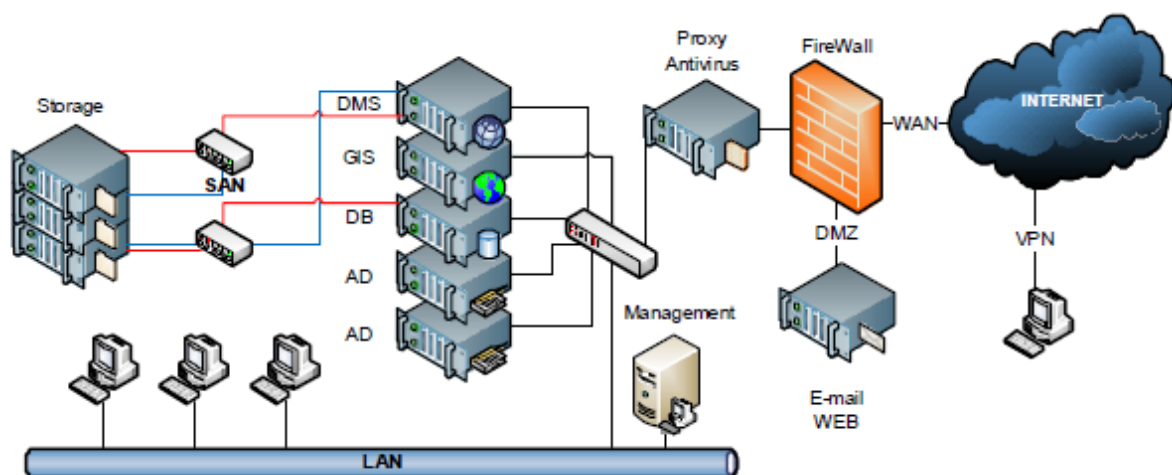


図 4-19 MKFFIS のデータベースの構成

出典: JICA(2011)『マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクト 詳細計画策定調査報告書』報告書

データベース構成要素の詳細を表 4-9に示す。

表 4-9 MKFFIS のデータベース構成要素の詳細

区分	内容	商品名	仕様
ハードウェア 構成要素	GIS 用サーバ	Fujitsu Siemens Primergy RX200-S3	2xCPU Intel Xeon Dual Core 2.33 GHz、4GB DDR2、2x73GB SAS (RAID1)
	データベースサーバ	Fujitsu Siemens Primergy RX200-S3	2xCPU Intel Xeon Dual Core 2.33 GHz、4GB DDR2、2x73GB SAS (RAID1)
	ストレージ	Fujitsu Siemens FibreCat SX80	5x146GB SAS (RAID5) - dedicated 223 GB for geo-database
	テープライブラリ	Fujitsu Siemens FibreCat TX10	—
	ファイアウォール	SonicWall PRO 2040	—
	文書管理システム用サーバ	Fujitsu Siemens Primergy RX300-S3	2xCPU Intel Xeon Quad Core 1.86 GHz、4GB DDR2、2x73GB SAS (RAID1)
	WEB・メール用サーバ	Fujitsu Siemens Primergy RX200-S3	2xCPU Intel Xeon Quad Core 1.86 GHz、2GB DDR2、4x73GB SAS (RAID5)
	アクティブディレクトリ用サーバ(2 台)	IBM Xseries 100	Dual Core 3.0Ghz、1 GHz、80GB HDD
ソフトウェア 構成要素 (サーバ側)	マイクロソフトウィンドウズサーバ	Microsoft Windows Server 2003 R2 Standard Edition	—
	GIS ソフト	ArcGIS Server Enterprise Standard v.9.3	—
	マイクロソフト SQL サーバ	Microsoft SQL Server 2005 Workgroup Edition	—
ソフトウェア	マイクロソフトウィンド	Microsoft Windows XP Professional	

区分	内容	商品名	仕様
構成要素(クライアント側)	ウズサーバ		
	GIS ソフト	ArcEditor 9.3 (1 User Concurrent License) + ArcGis Extension 3D Analyst	
	自己開発ソフトウェア	Custom developed data viewer web-based application	
		Custom developed desktop application for entry of spatial and attribute data into the geo-database	

出典: JICA(2011)『マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクト 詳細計画策定調査報告書』に基づき日本工営作成

5) 利用方法、運用・維持管理の方法、またその工夫点

MMFFISのツールのうち、ホットスポット・マップでは、地表面から反射される熱赤外エネルギーの高い地点をホットスポットとして表示している。また、ファイアー・ウェザー・インデックスマップでは、仮に着火した場合の延焼しやすさを自動気象観測装置で計測した正午の温度、湿度、風速、雨量の値から1日1回計算されるファイアー・ウェザー・インデックス(Fire Weather Index: FWI)で示している。MKFFISにおいて、森林火災リスクが高いと判定される地区は、ホットスポットとして表示されている、FWI値が高い、火災履歴が多い、森林植生が針葉樹、植生乾燥度が高い、アクセスが困難、などに多く当てはまる場所である。以下に、ホットスポットが現れている警報フェーズ、ホットスポットが現れていない通常フェーズの二つのケースに関して、MKFFISの開発者が想定した使い方を「マケドニア森林火災情報システム(MKFFIS)」¹²⁷から抜粋して示す。

＜ホットスポットが現れている警報フェーズにおける使い方＞

ホットスポットが現れている場合は、警報フェーズであり、CMCなどは関連機関に、ホットスポットの緯度経度情報、ホットスポットのある林班番号を通知する。緯度経度情報は、MKFFISの画面上でカーソルをホットスポット上に移動させると画面左下に表示される。林班番号は、「(植生図)ー(森林公社森林管理区)」の欄にチェックを入れる则表示される。

もう一つのフェーズホットスポットが現れている警報フェーズとしては、すでに火災であることが確認済のホットスポットが、同一箇所に2日間以上表示され続けている場合も考えられる。これは、大規模森林火災が発生していることを意味しており、この場合には、CMCなどは、消火機材・消火人員の移動・再配備を検討する必要がある。この場合には、消火のために現地にアクセスすることが安全かどうかについて、また、安全であると判断される場合には、どのような経路で火災の起こっている場所にアクセスすべきかについて、地形図などを用いて検討する必要がある。火災の起こっている場所へのアクセスを検討する際に用いるべき有用な情報は、風速、風向であり、これらの情報は、MKFFIS画面のAWS Data Overviewなどに表示される。

＜ホットスポットが現れていない通常フェーズにおける使い方＞

ホットスポットが現れていない通常フェーズにおいては、森林公社地方管区署の職員が、森林火災パトロールを行うフェーズである。したがって、パトロールを行うべき地区の優先順位づけを、森林公社地方管区職員がどのように行うべきか、ということが問題となる。パトロールを行うべき地区の優先順位づけは、各個別危険度評価ツールを重ねあわせることにより行うことが可能である。①ホットスポットマップの次に重要な個別危険度評価ツールは、②植生乾燥度マップと③Fire Weather Index(FWI)マップであるため、まず、②と③を重ね合わせるべきであると考えられる。複数のマップを重ね合わせて同時に見るためには、各マップの透明度を調整する。パトロールを行うべき地区をさらに絞り込みたい場合には、④森林植生図を重ね、それよりもさらに絞り込みたい場合には、さらに⑤火災履歴図を重ねることが適当であると考えられる。

¹²⁷ 佐藤英章(2013)『マケドニア森林火災情報システム (MKFFIS)』 海外の森林と林業, 87, 20.

6) 研修などの人材育成の取組、その工夫点

マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクトにおいては、詳細計画策定調査報告書¹²⁸作成時点で、ITセクションの職員3名、ユーザー部門(オペレーションおよびオペレーション・ロジスティクス部)の職員1名向けにGIS関連の初歩的な研修とIT監理に係わる研修が実施された。

7) 他の技術との組み合わせによる有用な適用事例

NFFISは森林火災を対象としたシステムであるが、他の自然災害への対策にも活用できる拡張性を有している。実際に拡張した例をあげると、2013年3月に完成した北マケドニアのNFFISであるMKFFIS(ver.1)では、一部地域における地震、洪水、地すべり、雪崩、落石などの危険を地図上に表現することが試行された¹²⁹。また、2025年2月現在実施中の西バルカン2か国における事業「国家 森林火災情報システム(NFFIS)と生態系を活用した防災・減災(Eco-DRR)による災害リスク削減のための能力強化プロジェクト」¹³⁰においても、コソボとモンテネグロを対象に、洪水などの災害に対しても効果のある拡張性を持つNFFISの開発が進められている。

(2) 課題・留意事項

1) ハードウェア・ソフトウェアに関して

「マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクト」¹³¹チームによるC/PであるCMCのITセクションへのヒアリング結果によると、MFFISのハードウェアおよびソフトウェアに関する課題として、以下のものがあげられている。

- a) JICA開発調査の成果品である地図情報を入力・保管したことなどによって、既存の225GBのストレージ容量がほぼ限界に来ている。下記(b)の地図情報や機能拡張のためのソフトウェアの導入などのために、ストレージ容量の追加が必要。
- b) 北マケドニアの約50%を占める地域については、GIS地図情報(JICA開発調査の成果品)がGISシステムに導入されておらず背景地図が空白となっている。同地図情報の導入(購入)が必要。
- c) GISソフトウェアのライセンス数不足(1ライセンスのみ)により、データ入力の作業能力が低い。GISソフトウェアの追加購入などにより、データ入力の作業能力の向上が必要。
- d) ArcGIS関連ソフトウェアのバージョン・アップと機能拡張(より広範な用途のソフトウェアの導入)が必要。
- e) UNDPプロジェクトで開発したカスタム仕様のデータ入力ソフトの機能拡張と操作性改善が必要。

2) GIS システム改善・拡張に関して

「マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクト」チームによるC/PであるCMCのITセクションへのヒアリング結果によると、MFFISのGISシステム改善・拡張に関する課題として、以下のものがあげられている。

- a) 統合GISシステム/データベースの設計・構築・運用、
- b) 地方センターでの関連機材(ハード、関連アプリケーション・ソフト(ライセンス))整備によるデータ入力の可能化、

¹²⁸ JICA(2011)『マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクト 詳細計画策定調査報告書』

¹²⁹ JICA(2011)『マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクト 詳細計画策定調査報告書』

¹³⁰ JICA, <https://www.jica.go.jp/Resource/project/montenegro/001/index.html> (最終アクセス日: 2024-12-25)

¹³¹ JICA(2011)『マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクト 詳細計画策定調査報告書』

- c) ウェブサイトの強化と森林火災情報・早期警戒に係わる情報のインターネットを通じた公開、
- d) ハザードマップの作成とウェブ上での公開(地方ユーザーの利用拡大による防災意識向上)、
- e) シミュレーションやモデリングなどのより高度な分析ツールの導入。

3) 人材育成に関して

「マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクト」チームによるC/PであるCMCのITセクションへのヒアリング結果によると、MFFISのGISシステムに係わる人的能力向上(教育・訓練)に関する課題として、以下のものがあげられている。

- a) これまで、ITセクションの職員3名、ユーザー部門(オペレーションおよびオペレーション・ロジスティクス部)の職員1名がGIS関連の初歩的な研修とIT監理に係わる研修を受けたが、これら人材に対するより高度なGIS関連の研修が必要。
- b) ユーザー部門のより多くの職員にGISシステムへのデータ入力に係わる研修が必要。
ハザードマップ作成の基礎的概念、同作成ソフトウェア、同作成実務に係わるSpatial analysis分野のGIS研修が必要。

(3) 適用事例

- ・ 森林火災危機管理能力向上プロジェクト¹³²(対象国: 北マケドニア共和国):

国土面積の約38%を森林地帯が占める北マケドニアでは、森林火災の多発が問題となっていたことから、2005年に危機管理センターが設立され、災害情報の蓄積・分析、関係各機関との連携・調整などが開始された。しかしながら、GIS運用能力の不足や情報集約体制の未確立など、課題が多く、改善が必要な状況であった。かかる状況下、JICAは同センターにおける森林火災の予防・早期警戒についての情報収集能力・発信力、関係者間の調整能力の強化を目的とし、「森林火災危機管理能力向上プロジェクト」を実施した。その結果、森林火災の予防・早期警戒を通じて、大規模森林火災の抑制への寄与が達成された。

- ・ 西バルカン地域国家森林火災情報システム(NFFIS)とEco-DRRによる災害リスク削減のための能力強化プロジェクト¹³³(対象国: コソボ共和国):

国土面積の約45%を森林地帯が占めるコソボでは、特に夏季(乾燥期)に頻発する森林火災が問題となっている。また、同国では死亡など人的被害が大きい災害として、疫病の発生(37%)に続き雪崩災害(27%)があげられるなど、雪崩も大きな社会問題となっている。かかる状況下、JICAは同国において、森林火災のみならず雪崩などの災害に対しても効果のある拡張性を持つNFFISを開発・運用すること、および森林の多様な機能を利用した「生態系を活用した防災・減災(Eco-DRR)」を展示的に試行することを目的とし、「西バルカン地域国家森林火災情報システム(NFFIS)とEco-DRRによる災害リスク削減のための能力強化プロジェクト」を実施中である。本事業は、2021年3月から2026年2月の協力期間が計画されており、事業を通じて森林火災およびその他自然災害の防災・減災にかかる政府関係者の能力強化を図り、同国における統合危機管理システム(IEMS)の強化を達成することが目指されている。

- ・ 西バルカン地域国家森林火災情報システム(NFFIS)とEco-DRRによる災害リスク削減のための能力強化プロジェクト¹³⁴(対象国: モンテネグロ):

国土面積の約53%を森林地帯が占めるモンテネグロでは、特に乾燥期(夏季および冬季)における森林火災の頻発が問題となっている。また、同国では自然災害の発生件数として暴風被害が約1割を占めており、海岸林の保全なども重要なものとなっている。かかる状況下、JICAは同国において、森林火災のみならず暴風などの災害に対しても効果のある拡張性を持つNFFISを開発・運用すること、および森林の多様な機能を利用した「生態系を活用した防災・減災(Eco-DRR)」を展示的に試行する

¹³² JICA(2011)『マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクト 詳細計画策定調査報告書』

¹³³ JICA, <https://www.jica.go.jp/oda/project/1900443/index.html> (最終アクセス日: 2024-12-25)

¹³⁴ JICA, <https://www.jica.go.jp/oda/project/1900386/index.html> (最終アクセス日: 2024-12-25)

ことを目的とし、「西バルカン地域国家森林火災情報システム(NFFIS)とEco-DRRによる災害リスク削減のための能力強化プロジェクト」を実施中である。本事業は、2021年3月から2026年2月の協力期間が計画されており、事業を通じて森林火災およびその他自然災害の防災・減災にかかる政府関係者の能力強化を図り、同国における統合危機管理システムの強化を達成することが目指されている。

(4) 参考情報

1) 導入内容について詳細がわかる資料

- ・ インドネシア共和国 森林火災予防計画 終了時評価報告書
(https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11616950_01.pdf)
- ・ マケドニア旧ユーゴスラビア共和国 森林火災危機管理能力向上プロジェクト 詳細計画策定調査報告書(https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12068433_01.pdf)
- ・ マケドニア旧ユーゴスラビア共和国 森林火災危機管理能力向上プロジェクト 終了時評価調査報告書(<https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12238739.pdf>)
- ・ 西バルカン地域 国家森林火災情報システム(NFFIS)とEco-DRRによる災害リスク削減のための能力強化プロジェクト 事業事前評価表
(https://www2.jica.go.jp/ja/evaluation/pdf/2020_1900386_1_s.pdf)

2) おすすめの情報源

- ・ 佐藤英章(2013)『マケドニア森林火災情報システム (MKFFIS)』 海外の森林と林業, 87, 20.
- ・ EFFIS ウェブサイト(<https://forest-fire.emergency.copernicus.eu/>)
- ・ インドネシア国 森林火災監視・即応システム普及促進事業 業務完了報告書
(<https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/1000041253.pdf>)

3) 他ドナーなどの類似事例

以下にマケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクト 詳細計画策定調査報告書¹³⁵から抜粋した、他ドナーなどの類似事例を示す。

・ 森林火災への国家対応能力強化プロジェクト(ドナー: FAO)

FAOにより実施された北マケドニアの森林火災予防・管理に関わる能力向上を目的としたプロジェクトである。以下にプロジェクトの概要を示す。

- a) 目標: 「森林火災管理を担当する国家管理・実施機関の能力向上」
- b) 成果:
 - i. 法制度レビューを含めた国家森林火災管理計画が策定される。
 - ii. 国民意識の啓発と教育に係わるプログラムが開発・実施される。認知度向上に係わる研修コースが組織される。
 - iii. 主要関係機関の森林管理スタッフが火災管理手法とデータ収集の計画・運用を含めた「体系的な森林火災管理」活動に関する研修を受ける。
- c) 実施期間: 2008年10月～2010年9月(2年間)
- d) FAO投入コスト: 340,000 USD
- e) 主な投入(FAO):
 - i. 国際専門家(計2名): 一貫森林火災管理1名(4回のミッション計2MM)、森林火災管理・制御1名(4回のミッション計2MM)
 - ii. FAO職員(専門家)派遣による技術支援: 森林保護オフィサー1名(1週間の出張2回)と法律オフィサー1名(1週間の出張2回)

¹³⁵ JICA(2011)『マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクト 詳細計画策定調査報告書』

- iii. 北マケドニア専門家(計4名): 森林火災法制度(2MM)、参加型火災管理(6MM)、森林火災管理・制御(3MM)、認知度向上(6MM)
 - iv. プロジェクト支援スタッフ: 1名(12MM)
 - v. 旅費
 - vi. 認知度向上に係わる資料および「森林管理ボランティア・ガイドライン(FAO作成)」のマケドニア語への翻訳に係わる経費
 - vii. 資機材(一部、防火装備を含む)
 - viii. 研修費: 8回の国内研修(各回20名程度)と最終ワークショップ(50名)とポルトガルへの2名の研修
 - ix. その他一般プロジェクト経費
- f) 実施体制:
- i. 実施機関は農業・森林・水経済省。同省高官を北マケドニア側プロジェクト調整員とする(Mr. Vojo Gogovski、State Advisor for Forestry and Hunting)。
 - ii. プロジェクトの調整に係わるステアリング・コミッティーを形成する。主な参加省庁・機関は以下の通り。
 - Ministry of Interior
 - Public Enterprise “Macedonian Forests” (森林公社)
 - National Association of the Owners of Private Forests
 - CMC
 - Ministry of Environment and Physical Planning
 - Ministry of Local Self Governance
 - Ministry of Defense
 - MAEFA
 - University “St. Cyril and Methodius”
 - 他にプロジェクト雇用の北マケドニア専門家(コンサルタント)4名
- プロジェクト開始後の関係者による分析の結果、当該プロジェクトに含まれない森林火災管理能力向上に関わる北マケドニアの重要課題として次の4つが指摘されている。
- a) 火災予防にかかわる国家的な認知度向上キャンペーン(FAO職員(専門家)のスコピエへの派遣)
 - b) 火災危険度レイティング・システムと予測(同分野の北マケドニア専門家1-4名のイタリア National Interagency Fire Centerおよび地域センターへの派遣・研修)
 - c) 航空マネジメント(イタリア人専門家の北マケドニア Directorate for Protection and Rescue: DPR)への派遣・航空(機材)マネジメントに係わる技術移転)
 - d) 国家的調整機関のマネジメント(CMC、DPR、森林公社、農業・森林・水経済省関係者2-4名のイタリア National Interagency Fire Centerへの派遣・研修)

なお、JICAマケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクトの調査団とFAOプロジェクト関係者との面談において、森林火災リスクアセスメントに有益な情報・データの統合GISシステム/データベースでの蓄積や有効活用についてはFAO側で対応できていない重要課題であり、CMCを実施機関としてJICAが当該技術協力を行うことは妥当かつ重要であるとの言質が得られた。

・ 危機管理センターの能力強化プロジェクト(ドナー: UNDP)

UNDPにより実施された、北マケドニアの「危機管理法(Law on Crisis Management: LCM)」に基づく「危機管理システム(CMS)」の現状把握と改善課題を明らかにすること、CMCの中央・地方の組織の実施能力向上、国民のCMSに係わる認知度向上を目的としたプロジェクトである。以下にプロジェクトの概要を示す。

- a) 目標: 「自然災害、人工的災害、突発的危機に対する調整の取れたタイムリーなセクター横断的な国家対応が強化される」
- b) 成果:
 - i. CMS上の能力強化ニーズの把握
 - ii. ジェンダー配慮の国家危機管理計画の策定

- iii. CMCの災害モニタリング能力向上
 - iv. CMC地方センターを通じた地方政府・コミュニティの能力向上
 - v. CMSとその参加重要性に係わる)国民認知度の向上
 - c) 実施期間: 2008年4月～2009年12月(2年間弱)
 - d) UNDP投入コスト: 日本政府拠出金(JWIDF/Partnership fund)20万ドル、UNDP BCPR資金10万USDの、合計 300,000 USD
 - e) 主な投入(UNDP):
 - i. 北マケドニア専門家: プロジェクト・マネージャー1名
 - ii. プロジェクト支援スタッフ: 1名
 - iii. 旅費、資料作成、資機材購入、研修などに係わる経費
 - iv. その他一般プロジェクト経費
 - f) 実施体制:
 - i. 実施機関はCMC
 - ii. プロジェクトの調整に係わるプロジェクト・ボードを形成する。主な参加者(予定)は、CMC長官、UNDP代表、JICA代表、必要に応じてUNDP BCPR代表、その他関係機関の代表。
- 同プロジェクトはCMCの災害対策全般にわたる基礎的能力向上を図ろうとしたものであり、森林火災予防・早期警戒面での直接的な能力向上支援を狙ったものではない。しかしながら、災害リスク軽減に関連して次のような一定の成果を出しており、JICAマケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクトを開始する上での基盤を形成していると考えられることから、当該プロジェクトの成果とUNDPの動向には今後も十分に留意する必要があるとみなされていた。以下に、他の留意すべき活動内容を示す。
- ・ プロジェクト活動の中で、JICA開発調査によって作成され旧測地局が保有していた105面のGIS地図を、CMCのGISシステムに導入した。これにより、CMCでは発生・通報された災害・事故情報(イベント情報)の位置データをCMC本部で入力し、それをオペレーションセンターで表示またはCMC職員に情報提供できるようになった。
 - ・ CMCが導入し2008年初頭から稼動していたGISシステムに関して、データ簡易入力のカスタム・アプリケーションを開発・導入し、上記GIS地図導入とのリンクを図ることで、CMCにおける災害モニタリングの質を向上させた。
 - ・ Strumica、Veles、Kichevoの3地方都市における地震、洪水、地滑り、雪崩、落石、森林火災などの各種災害の危険を地図上に表現しようと試みた結果を、同地域のCMC、DPR 地方センターや関係機関に配布して啓蒙活動を行った。
 - ・ Strumica、Veles、Kichevoの3地方都市でCMC、DPR、森林公社地方支部、地方政府などを始めとする関係者のネットワーキング活動を行い、地方部での情報共有・調整に係わる基盤形成を図った。
 - ・ Strumica、Veles、Kichevoの3地方都市の学校教育現場で災害リスクとその対応に係わる認知度向上・啓蒙の活動を行い、避難訓練などを実施した。

別添1 参考文献

別添1: 参考文献

別冊2を作成する上で引用、または参考とした文献リストを以下に示す。

No.	資料名/参考箇所	発行年	発行元/著者	収集元/ URL	形式 (PDF 等)	取得/ アクセス月
1	環境展望台 HP, リモートセンシング	2019	国立環境研究所	https://tenbou.nies.go.jp/science/description/detail.php?id=86	HP	2024.7
2	宙畑 HP, 衛星データも IoT の一つ? 航空機・ドローンとの比較と事例紹介	2019	Tellus	https://sorabatake.jp/7777/	HP	2024.7
3	宙畑 HP, SAR (合成開口レーダ) のキホン～事例、分かること、センサ、衛星、波長～	2024	Tellus	https://sorabatake.jp/3364/	HP	2024.12
4	Spaceview HP, 人工衛星データの価格相場について	不明	Spaceview	https://www.spaceinsight.earth/satellite-data-price	HP	2024.12
5	宇宙技術利用ガイド	2020	JICA	JICA 内部資料	PDF	2024.7
6	GIS (地理空間情報システム) とは～基本とできること、活用事例、GIS データ、ソフト～	2023	Tellus	https://sorabatake.jp/16915/	HP	2024.7
7	FalcomEye GIS HP	2023	GIS SOFT LABO	https://gisswlabo.com/gisShokai/gisSoftware/gisSoftware.html	HP	2024.7
8	JAXA HP, JAXA データ提供サービス	不明	JAXA	https://earth.jaxa.jp/ja/data/	HP	2024.7
9	NASA HP, Earth Data	2024	NASA	https://www.earthdata.nasa.gov/	HP	2024.7
10	Earth Observing Dashboard	2024	NASA, ESA, JAXA	https://eodashboard.org/	HP	2024.7
11	ドローン活用事例集	2020	JICA	JICA 内部資料	PDF	2024.7
12	ODA 見える化サイト, 先進的レーダー衛星及び AI 技術を用いたブラジルアマゾンにおける違法森林伐採管理改善プロジェクト	2023	JICA	https://www.jica.go.jp/oda/project/1900371/news/1525311_45041.html?wovn=en	HP	2024.12
13	国土交通省 水管理・国土保全局 DX HP	不明	国土交通省 水管理・国土保全局	https://www.mlit.go.jp/river/gijutsu/dx/example/drone.html	HP	2024.7
14	ジオの翼 第 5 回	2021	Geosurf	https://www.geosurf.net/wp/wp-content/uploads/2021/08/76_050-051_geo_tsubasa.pdf	PDF	2024.7
15	宙畑 HP, 干渉 SAR (InSAR) とは-分かること、事例、仕組み、読み解き方-	2019	Tellus	https://sorabatake.jp/4343/	HP	2024.12

No.	資料名/参考箇所	発行年	発行元/著者	収集元/ URL	形式 (PDF 等)	取得/ アクセス月
16	宙畑 HP, レーダーの基礎から学ぶ SAR(合成開口レーダー)の原理と奇跡【SAR データ解析者への道】	2024	Tellus	https://sorabatake.jp/36124/	HP	2024.12
17	JICA 衛星・リモートセンシング勉強会～リモートセンシングを活用した最新の課題解決事例～	2019	JICA	JICA 内部資料	PDF	2024.7
18	リモートセンシング技術の紹介	2022	JICA	JICA 内部資料	PDF	2024.7
19	The diversity and evolution of ecological and environmental citizen science	2017	Pocock MJO et al.	PLoS ONE 12(4): e0172579.	論文	2024.7
20	iNaturalist HP	不明	iNaturalist	https://www.inaturalist.org/home	HP	2024.7
21	いきものログ HP	2024	環境省, 生物多様性センター	https://ikilog.biodic.go.jp/	HP	2024.7
22	Biome HP	2024	株式会社バイオーム	https://biome.co.jp/	HP	2024.7
23	Biome HP, シリーズBラウンドとして総額 3.3 億円の資金調達を実施いたしました	2023	株式会社バイオーム	https://biome.co.jp/news/seriesb-fundraising/	HP	2024.7
24	生物多様性センター HP, 環境 DNA 調査	2024	生物多様性センター	https://www.biodic.go.jp/edna/edna_top.html	HP	2024.7
25	日経 BizGate HP, 世界の海洋生物保全 「環境 DNA」活用で日本がリード	2023	日本経済新聞社	https://bizgate.nikkei.com/article/DGXZQOLM061EY006032023000000	HP	2024.7
26	マラウイ湖国立公園における統合自然資源管理に基づく持続可能な地域開発モデル構築令和 4(2022)年度実施報告書	2022	JST	https://www.jst.go.jp/global/kadai/pdf/r0103_r4.pdf	PDF	2024.7
27	JST-JICA SATREPS マラウイ湖国立公園における統合自然資源管理に基づく持続可能な地域開発モデル構築(IntNRMS プロジェクト) HP	2021	IntNRMS プロジェクト	https://intnrms-malawi.org/	HP	2024.7
28	我が国の絶滅のおそれのある野生生物の保全に関する点検とりまとめ報告書	2012	環境省	https://www.env.go.jp/council/former2013/13wild/y130-21/ref01_1.pdf	PDF	2024.7
29	生物種分布モデル SDM の概念の解説資料	不明	国立環境研究所	https://adaptation-platform.nies.go.jp/map/pdf/open_sdm/02_about.pdf	PDF	2024.7
30	Fauna habitat modelling and mapping: a review	2005	Wintle, B. A. et	Austral Ecology, 30(7), 719-738.	PDF	2024.7

No.	資料名/参考箇所	発行年	発行元/著者	収集元/ URL	形式 (PDF 等)	取得/ アクセス月
	and case study in the Lower Hunter Central Coast region of NSW		al.			
31	Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1)	2024	Steven J. et al.	https://biodiversityinformatics.amnh.org/open_source/maxent/	HP	2024.7
32	Wallace Ecological Modeling App	2018	Kass, J. M.	https://wallacecomod.github.io/	HP	2024.7
33	気候変動適応情報プラットフォーム, 生き物の分布推定ツール オープン SDM	2023	国立環境研究所	https://adaptation-platform.nies.go.jp/map/open_sdm.html	HP	2024.7
34	Evaluation of the ecological niche model approach in spatial conservation prioritization	2019	Ishihama F et al.	https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0226971&type=printable	論文	2024.7
35	限られた生物分布データから、よりよい保護区を選定ー環境情報を利用したデータ処理が有益となる条件を明らかにー	2020	国立環境研究所	https://www.nies.go.jp/whatsnew/20200110/20200110.html	HP	2024.9
36	Using niche-based models to improve the sampling of rare species	2006	Guisan A. et al.	Conservation biology, Vol. 20(2): 501-511.	論文	2024.9
37	Using species distribution models as a tool to discover new populations of <i>Phaedranassa brevifolia</i> Meerow, 1987 (Liliopsida: Amaryllidaceae) in Northern Ecuador	2014	Oleas N. et al.	Check List, Vol.10(3):689-691	論文	2024.9
38	R: A language and environment for statistical computing	2024	R Core Team	https://www.r-project.org/	HP	2024.12
39	30by30 HP	不明	環境省	https://policies.env.go.jp/nature/biodiversity/30by30alliance/	HP	2024.9
40	Systematic conservation planning.	2020	Margules CR, Pressey RL	Nature 405:243-253.	論文	2024.9
41	Geographic distribution of endangered species in the United States.	1997	Dobson AP. et al.	Science 275:550-553	論文	2024.9
42	Marxan HP	不明	Marxan	https://marxanplanning.org/	HP	2024.9
43	Establishing representative no-take areas in the Great Barrier Reef: large-scale implementation of theory on marine protected areas.	2005	Fernandes, Leanne, et al.	Conservation biology 19.6 (2005): 1733-1744.	論文	2024.9
44	Marxan and relatives: software for spatial conservation prioritisation.	2009	Ball, Ian R. et al.	Spatial conservation prioritisation: Quantitative methods and computational tools 14 (2009): 185-196.	論文	2024.9
45	Designing protected area networks that translate	2017	Bicknell, Jake	Biological Conservation 214: 168-175.	論文	2024.9

No.	資料名/参考箇所	発行年	発行元/著者	収集元/ URL	形式 (PDF 等)	取得/ アクセス月
	international conservation commitments into national action.		E. et al.			
46	Marxan HP, National planning in Guyana	2017	Marxan	https://marxansolutions.org/community/national-planning-in-guyana/	HP	2024.9
47	生物多様性の関連から重要度の高い海域	不明	環境省	https://www.env.go.jp/nature/biodic/kaiyo-hozen/kaiiki/kaiiki/kaiseki.html	HP	2024.9
48	A straightforward conceptual approach for evaluating spatial conservation priorities under climate change	2013	Loyola RD. et al.	Biodiversity and Conservation 22:483-495.	論文	2024.9
49	Designing a transfrontier conservation landscape for the Maputaland center of endemism using biodiversity, economic and threat data	2008	Smith RJ. et al.	Biological Conservation 141:2127-2138.	論文	2024.9
50	生物多様性の保全科学: システム化保全計画の概念と手法の概要	2017	久保田康裕, et al.	日本生態学会誌 67.3: 267-286.	論文	2024.9
51	国立科学博物館 HP	不明	国立科学博物館	https://www.kahaku.go.jp/event/2010/tayousei/info.html	HP	2024.9
52	生物多様性国家戦略 2023-2030	2023	環境省	https://www.biodic.go.jp/biodiversity/about/initiatives6/files/1_2023-2030text.pdf	PDF	2024.9
53	干潟漁場における多様度指数	2016	高田宜武, 手塚尚明	海洋と生物, 38 (227), 633-640.	論文	2024.9
54	工場周辺水域の生物多様性評価の取り組み	2011	西田高志	紙パ技協誌 65.10 (2011): 1027-1030.	論文	2024.9
55	JICA HP, サステナビリティ関連の外部イニシアティブへの参加	2024	JICA	https://www.jica.go.jp/about/organization/environment/1528954_21922.html	HP	2024.9
56	5. 干潟の生物多様性の評価指標	2019	高田宜武	日本水産学会誌 85.2 (2019): 219-219.	論文	2024.9
57	国立環境研究所 HP, 生物多様性ビッグデータで日本全土の木本植物の個体数を推定	2020	国立環境研究所	https://www.nies.go.jp/whatsnew/20200514/20200514.html	HP	2024.9
58	Integrating multiple sources of ecological data to unveil macroscale species abundance	2020	Fukaya, Keiichi, et al.	Nature communications 11.1 : 1695.	論文	2024.9
59	日本の生物多様性地図化プロジェクト	2024	ThinkNature	https://biodiversity-map.thinknature-japan.com/	HP	2024.9
60	Revisiting Jane Jacobs: quantifying urban diversity	2022	Yoshimura, Yuji. et al.	Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science 49.4 : 1228-1244.	論文	2024.9

No.	資料名/参考箇所	発行年	発行元/著者	収集元/ URL	形式 (PDF 等)	取得/ アクセス月
61	東京大学 先端科学技術研究センターHP	2021	東京大学 先端 科学技術研究 センター	https://www.rcast.u-tokyo.ac.jp/ja/news/release/20211208.html	HP	2024.9
62	2. REDD+ の仕組み	2017	松本光朗	写真測量とリモートセンシング 56(5), 177-180.	論文	2024.9
63	REDD+ Cookbook	2012	森林総合研究 所 REDD 研究 開発センター	https://redd.ffpri.affrc.go.jp/pub_db/publications/cookbook/_img/cookbook_ja.pdf	PDF	2024.9
64	ESRI ホームページ、ArcGIS Survey123	2024	ESRI	https://www.esri.com/products/survey123/	HP	2024.10
65	コンゴ民主共和国 国家森林モニタリングシステム運用・REDD+パイロットプロジェクト 事業事前評価表	2017	JICA	https://www2.jica.go.jp/ja/evaluation/pdf/2017_1602285_1_s.pdf	PDF	2024.10
66	モザンビーク国 持続可能な森林管理・REDD+プロジェクト 事業事前評価表	2018	JICA	https://www2.jica.go.jp/ja/evaluation/pdf/2018_1700398_1_s.pdf	PDF	2024.10
67	IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Volume 4 Agriculture, Forestry and Other Land Use	2019	IPCC	https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2019rf/vol4.html	PDF	2024.10
68	ラオス国効果的な REDD+資金活用に向けた持続的森林管理能力強化プロジェクト ニューズレター第4号	2024	JICA	https://www.jica.go.jp/oda/project/201904177/news/_icsFiles/afiel_dfile/2024/06/25/newsletter_04.pdf	PDF	2024.12
69	国立環境研究所 地球環境研究センター HP	2014	国立環境研究 所	https://www.cger.nies.go.jp/cgernews/201407/284005.html	HP	2024.12
70	Methods and Guidance from the Global Forest Observations Initiative Edition 3.0	2020	GFOI	https://www.researchgate.net/profile/Sandro-Federici/publication/345842783	PDF	2024.12
71	ベトナム国持続的自然資源管理プロジェクト業務完了報告書 (全体)	2021	JICA	https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12357232.pdf	PDF	2024.12
72	JICA HP、西バルカン地域国家森林火災情報システム(NFFIS)と Eco-DRR による災害リスク削減のための能力強化プロジェクト	不明	JICA	https://www.jica.go.jp/Resource/project/montenegro/001/outline/index.html	HP	2024.10
73	User Guide to EFFIS applications	2018	Copernicus	https://effis-gwis-cms.s3.eu-west-1.amazonaws.com/effis/reports-and-publications/effis-related-publications/effis-userguide-23.pdf	PDF	2024.10
74	NASA HP, NISAR	2024	NASA	https://nisar.jpl.nasa.gov/news/121/powerful-new-us-indian-satellite-will-track-earths-changing-surface/	HP	2024.12

No.	資料名/参考箇所	発行年	発行元/著者	収集会/ URL	形式 (PDF 等)	取得/ アクセス月
75	RESTEC HP, NISAR	2024	RESTEC	https://www.restec.or.jp/satellite/nisar.html	HP	2024.12
76	高精度な森林情報の整備・活用のためのリモートセンシング技術やその利用方法等に関する手引き	2018	林野庁	https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/smartforest/attach/pdf/smart_forestry-20.pdf	PDF	2024.12
77	地球観測衛星の基礎知識	不明	JAXA	https://earth.jaxa.jp/files/co/EO_Basic_knowledge.pdf	PDF	2024.7
78	GIS 実習オープン教材	不明	GIS Open Educational Resources WG, CC BY-NC-SA 4.0	https://gis-oer.github.io/gitbook/book/	HP	2024.7
79	森林・林業分野における航空レーザ計測積算ハンドブック	2014	一般社団法人日本林野測量協会	https://rinsokyo.sakura.ne.jp/html/handbook-h26.pdf	PDF	2024.12
80	リアルとデジタルの好循環を通した市民科学による生物の時空間分布プラットフォーム.	2023	小出大, et al.	保全生態学研究 28.1 (2023): 2217.	論文	2024.7
81	モバイル端末を用いた生物多様性モニタリング手法開発に向けた 市民科学の実践.	2021	藤木庄五郎, 龍野瑞甫	日本生態学会誌 71.2 (2021): 85-90.	論文	2024.7
82	市民科学のデザイン: 市民参加型調査の多様性と経営論.	2021	大野ゆかり, 森井悠太	日本生態学会誌 71.2 (2021): 65-70.	論文	2024.7
83	環境 DNA 分析技術を用いた調査手法の手引き(淡水魚類・両生類)	2024	生物多様性センター	https://www.biodic.go.jp/edna/reports/mifish_anphi_tebiki1.pdf	PDF	2024.7
84	マクロ生物調査のための環境 DNA 分析一種の検出と定量およびその他の応用における可能性と課題一	2022	深谷肇一	全国環境研会誌 47 (2022): 159-165.	論文	2024.7
85	環境 DNA 調査・実験マニュアル Ver.2.2	2020	環境 DNA 学会	https://ednasociety.org/wp-content/uploads/2022/06/eDNA_manual_ver2_2.pdf	PDF	2024.7
86	データ解析のための統計モデリング入門	2012	久保拓弥	岩波書店	書籍	2024.12
87	環境影響評価における生物多様性保全に係る空間・地理情報の把握活用手法 暫定案第 3 章	2013	環境省	http://assess.env.go.jp/files/0_db/seika/0169_05/h24_05a-4.pdf	PDF	2024.7
88	Marxan による効率的な保全計画: その原理と適用事例	2015	松葉史紗子 et al.	保全生態学研究, 20(1), 35-47.	論文	2024.9

No.	資料名/参考箇所	発行年	発行元/著者	収集元/ URL	形式 (PDF 等)	取得/ アクセス月
89	相補性解析による効率的な保全に寄与する地域の地図化	2014	角谷拓 et al.	景観生態学, 19(2), 111-119.	論文	2024.9
90	R による群集組成の解析 HP	2018	国立研究開発法人 水産研究・教育機構 日本海区水産研究所	https://jsnfri.fra.affrc.go.jp/gunshu/	HP	2024.9
91	生物群集の解析手法と環境アセスメント	2000	中村寛志	Diss. Shinshu University Library	論文	2024.9
92	Voluntary Guidelines on National Forest Monitoring	2017	FAO	https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d020c63f-2e61-4b1c-a238-4b8c49d0833a/content	PDF	2024.9
93	National Forest Monitoring Systems: Monitoring and Measurement, Reporting and Verification (M & MRV) in the context of REDD+ Activities	2013	UN-REDD Programme	https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/bd12c9b1-7b5a-4e20-9e62-736bf33575d9/content	PDF	2024.9
94	ケニア国持続的森林管理のための能力開発プロジェクト(REDD+準備段階コンポーネント)業務完了報告書	2021	JICA	https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12364006_01.pdf	PDF	2024.9
95	コンゴ民主共和国持続可能な森林経営及び REDD プラス促進のための国家森林モニタリングシステム強化プロジェクト ファイナルレポート	2018	JICA	https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12304093_01.pdf	PDF	2024.9
96	マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクト 詳細計画策定調査報告書	2011	JICA	https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/12068433_01.pdf	PDF	2024.10
97	マケドニア森林火災情報システム (MKFFIS)	2013	佐藤英章	海外の森林と林業, 87, 20.	論文	2024.9
98	モニタリングサイト 1000 陸水域調査 湖沼:淡水魚類調査マニュアル	2020	環境省 生物多様性センター	https://www.biodic.go.jp/moni1000/manual/LakeFreshwaterfishes_manual_ver2.pdf	PDF	2025.1
99	河川水辺の国勢調査の現状と今後の方向性について	2021	国土交通省	https://www.rfc.or.jp/sozai/result/ivent/R3/houkokukai/7.houkokukai2021.pdf	PDF	2025.1

別 添 2 参 考 情 報

別添2: 参考情報

「別添 1: 参考文献」の中から、特に重要だと考えられる資料の概要を以下に示す。

No.	資料名/参考箇所	発行年	発行元/著者	収集元/ URL	形式 (PDF 等)	取得/ アクセス月
1	高精度な森林情報の整備・活用のためのリモートセンシング技術やその利用方法等に関する手引き	2018	林野庁	https://www.rinya.maff.go.jp/j/keikaku/smartforest/attach/pdf/smart_forestry-20.pdf	PDF	2024.12
キーワード		目的・内容			活用例	
☐ リモートセンシング ☐ 森林情報 ☐ 人工衛星 ☐ 航空機 ☐ UAV		☐ 森林情報の取得にリモートセンシング技術を導入した先進事例や既存の実証成果などがまとめられた手引き。 ☐ 背景情報となるリモートセンシングの概要に関しても、要点が丁寧に説明されている。 ☐ リモートセンシングのプラットフォームの種類ごとに技術的特徴や活用の方法がまとめられており、データ取得先や代表的な機器の名称など、詳細な情報まで整理されている。			☐ 個別分野の知識獲得 ☐ 個別ツール・手法の知識獲得	

No.	資料名/参考箇所	発行年	発行元/著者	収集元/ URL	形式 (PDF 等)	取得/ アクセス月
2	市民科学のデザイン: 市民参加型調査の多様性と経営論.	2021	大野ゆかり, 森井悠太	日本生態学会誌 71.2 (2021): 65-70.	論文	2024.7
キーワード		目的・内容			活用例	
☐ 市民参加型調査 ☐ 生物調査 ☐ 調査デザイン		☐ 東北大学の大野ゆかり氏らが執筆された市民科学そのものに関する論文。 ☐ 費用・労働力・時間の制約を乗り越える生物調査手法として、市民参加型調査に着目されており、論文の終盤では、市民参加型調査を成功させるための具体的な提言がなされている。			☐ 個別分野の知識獲得 ☐ 個別課題の知識獲得 ☐ 個別ツール・手法の知識獲得	

No.	資料名/参考箇所	発行年	発行元/著者	収集元/ URL	形式 (PDF 等)	取得/ アクセス月
3	環境 DNA 分析技術を用いた調査手法の手引き(淡水魚類・両生類)	2024	生物多様性センター	https://www.biodic.go.jp/edna/reports/mifish_anphi_tebiki1.pdf	PDF	2024.7
キーワード		目的・内容			活用例	
☐ 環境 DNA ☐ 生物調査 ☐ 淡水域		☐ 環境省 生物多様性センターが作成した環境 DNA 調査の導入を検討している地方行政機関や保全団体向けの手引き。 ☐ 現地調査や分析の手法については、2020 年 4 月に環境 DNA 学会が発行した「環境 DNA 調			☐ 個別分野の知識獲得 ☐ 個別ツール・手法の知識獲得	

No.	資料名/参考箇所	発行年	発行元/著者	収集元/ URL	形式 (PDF 等)	取得/ アクセス月
	☐ 希少種保全 ☐ 外来種対策		☐ 査・実験マニュアル Ver.2.2」に準拠されている。 ☐ 環境 DNA を利用した淡水魚類・両生類の調査実施にあたっての基礎的な情報や環境 DNA 調査特有の情報、分析結果の判読・精査についての情報が掲載されている。			

No.	資料名/参考箇所	発行年	発行元/著者	収集元/ URL	形式 (PDF 等)	取得/ アクセス月
4	環境影響評価における生物多様性保全に係る空間・地理情報の把握活用手法 暫定案 第3章	2013	環境省	http://assess.env.go.jp/files/0_db/seika/0169_05/h24_05a-4.pdf	PDF	2024.7
キーワード		目的・内容			活用例	
☐ 種分布推定 ☐ SDM ☐ 環境影響評価 ☐ 希少種保全 ☐ 外来種対策		☐ 環境影響評価において把握が必要となる希少種などの分布情報に関して、SDM 以外の手法も含め、候補となる手法の概要や検討の手順などが網羅的にまとめられた資料。 ☐ SDM と他の簡易な手法との使い分けの考え方など、実際に希少種などの分布推定を行う際に役立つ情報が多く掲載されている。			☐ 個別分野の知識獲得 ☐ 個別課題の知識獲得 ☐ 個別ツール・手法の知識獲得	

No.	資料名/参考箇所	発行年	発行元/著者	収集元/ URL	形式 (PDF 等)	取得/ アクセス月
5	Marxan による効率的な保全計画: その原理と適用事例	2015	松葉史紗子 et al.	保全生態学研究, 20(1), 35-47.	論文	2024.9
キーワード		目的・内容			活用例	
☐ Marxan ☐ 相補性解析 ☐ 生息地評価 ☐ 優先保護区		☐ Marxan の基本的な仕組みについての解説、既存の多様な適用事例の整理、課題や留意事項の提示が行われている論文。 ☐ 特に Marxan の基本的な仕組みに関して、概念図などを利用したわかりやすい解説がなされており、初学者が Marxan について学ぶための導入に適した資料である。			☐ 個別分野の知識獲得 ☐ 個別ツール・手法の知識獲得	

No.	資料名/参考箇所	発行年	発行元/著者	収集元/ URL	形式 (PDF 等)	取得/ アクセス月
6	R による群集組成の解析 HP	2018	国立研究開発法人 水産研究・教育機構 日本海区水産	https://jsnfri.fra.affrc.go.jp/gunshu/	HP	2024.9

No.	資料名/参考箇所	発行年	発行元/著者	収集元/ URL	形式 (PDF 等)	取得/ アクセス月
			研究所			
キーワード		目的・内容			活用例	
☐ 多様度指数 ☐ 生物多様性 ☐ ヒル指数 ☐ α β γ 多様性		☐ 国立研究開発法人 水産研究・教育機構 日本海区水産研究所が提供する、利用者がデータをアップロードすることによって画面上で複数の多様度指数を計算できるウェブページ。 ☐ 各多様度指数の概要についても、ウェブページ内で丁寧に要点を絞った解説がなされている。 ☐ 指数の計算を、無償で容易に各指数の特徴を理解しながらマウス操作のみで行えるため、実用性が高い。			☐ 個別分野の知識獲得 ☐ 個別ツール・手法の知識獲得	

No.	資料名/参考箇所	発行年	発行元/著者	収集元/ URL	形式 (PDF 等)	取得/ アクセス月
7	Voluntary Guidelines on National Forest Monitoring	2017	FAO	https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/d020c63f-2e61-4b1c-a238-4b8c49d0833a/content	PDF	2024.9
キーワード		目的・内容			活用例	
☐ NFMS ☐ 政策立案 ☐ NFI ☐ MRV		☐ 政策立案者による NFMS の構築と運用を支援する目的で作成された自主的ガイドライン。 ☐ 森林管理をめぐる背景や NFMS に関する基本事項について説明する Part A と Foundation、Strategic、Operational のエレメントごとに NFMS の構築・運用に役立つ情報がまとめられた Part B から構成される。 ☐ NFMS の構造や仕組み、NFI と NFM の関係性などについて、多くの図表を用いた視覚的に分かりやすい解説がなされている。			☐ 個別分野の知識獲得 ☐ 個別ツール・手法の知識獲得	

No.	資料名/参考箇所	発行年	発行元/著者	収集元/ URL	形式 (PDF 等)	取得/ アクセス月
8	マケドニア森林火災情報システム (MKFFIS)	2013	佐藤英章	海外の森林と林業, 87, 20.	論文	2024.9
キーワード		目的・内容			活用例	
☐ NFFIS ☐ MKFFIS ☐ 森林火災 ☐ リスク 4 要素		☐ MKFFIS に関して、ツールの詳細や特徴、使い方、今後の展望がまとめられた資料。 ☐ 各ツールのデータソースや空間分解能など、NFFIS 構築を検討する際に必要となる情報が表に整理され、簡潔に示されている。 ☐ NFFIS 全体における MKFFIS の特徴を知ること、NFFIS 自体の概要も学習することができる。			☐ 個別分野の知識獲得 ☐ 個別課題の知識獲得	

別添3 議事録

別添3: 議事録

「第4章 情報共有に関する科学的情報基盤」の情報収集を目的として実施したヒアリングの議事録を以下に示す。

面談メモ

議題	別冊2 自然環境保全分野で活用される科学的情報基盤に係るヒアリング	
日時	2024年3月14日(木) 11:00~12:15 (JST)	
場所	オンライン(Teams)	
参考資料	別冊2目次案、質問項目票	
出席者 (敬称略)	(株) 天地人 伊藤拓弥	日本工営 徳江義宏
	日本工営 水野綾	日本工営 角田一樹
	日本工営 家根橋圭佑	
記録者	日本工営 家根橋圭佑、角田一樹	

■ 協議概要

☆ 質問票へのご回答に関して（議論順ではなく、質問票項目ごとに順番変更）

(1) 概要

① ペルー案件で導入に至った背景経緯

- ✓ （家根橋）伊藤様ら実施中のペルーアマゾン技術協力プロジェクトにおいて、JJ-FAST の実装、GEE を活用した Sentinel 1,2 ツールの導入、Forest Fire Monitoring 改良支援に至った背景経緯をご教示頂きたい。
- ✓ （伊藤様）JJ-FAST の導入先は、環境省の組織 PNCB で、REDD+や UNFCCC MRV での使用が目的である。Landsat を活用したモニタリングシステム(GeoBosques)は既にあったが、雨季でもモニタリング可能な JJ-FAST の導入の要望がカウンターパート側からあり、技術協力プロジェクトのフェーズ1で GeoBosques のプラットフォーム上に JJ-FAST データを表示する機能を付与した。
- ✓ （伊藤様）Sentinel 1,2 ツールの導入先は農業灌漑省の林野庁(SERFOR)であり、目的は現場の違法な森林伐採等のモニタリングである。最初は森林伐採の通報に対し、その地点の証拠となる衛星画像を取る目的で導入された。同作業は元々SERFOR 職員が手作業で行っていたが、処理効率を向上するため、Google Earth Engine (GEE)を活用したツール導入を行った。当初目的の通報後（事後）の検証という活用に加え、フェーズ2では地方職員らの利用を促進し、能動的に本ツールを用いて違法な森林伐採の検知を行い、伐採面積の拡大予防の措置も支援する予定。
- ✓ Sentinel 1 はレーダー、Sentinel 2 は光学衛星を搭載しており、組み合わせることで伐採候補地の早期発見と見逃しを減らすことが可能となり、より精度の高い森林モニタリングが可能となる。同システムでは森林伐採箇所の予測は行っていないが、衛星画像（光学+レーダー）の解析から森林減少をとらえ、伐採の可能性のある場所（伐採以外に災害等で被覆変化したところも含む）の検出は行っている。
- ✓ （伊藤様）Sentinel 1,2 ツールでは、GEE を活用している。GEE では全てクラウド上で作業できるため、データをダウンロードしての作業は必要ない。そのため、解析用のハイスペック PC や有料の解析ソフトウェアも必要ない。
- ✓ （伊藤様）Forest Fire Monitoring も林野庁向けのシステムであり、現在は NASA のシステムを活用したアラート (Foco de Calor)及び、森林火災地面積のモニタリング機能があるが、フェーズ2では、ペルーの気象情報（風、気温、雨）を用いて、消防隊が消火活動に向かう優先度の高い場所を特定する機能の追加を予定している。本システムは、森林火災の発生に関するリスク評価・予測を行うシステムではなく、火災後の対処やモニタリングのため。森林火災発生リスクを評価するシステムは、環境省のシステム内にあるが、本プロジェクトでは同システムの改良支援は予定されていない。なお林野庁も環境省も元データは気象庁 (SENAMHI) のデータである。

- ② 技術（システム）の原理、仕組みについて
 - ✓ （伊藤様）前述の通り。
 - ✓ （伊藤様）本案件フェーズ1 報告書に、JJ-FAST の実装についての記載があるので、適宜、参照していただきたい。
 - ③ データベースの構成（例：クラウド型、スタンドアロン型）など
 - ✓ （水野）JICA は、クラウド型かサーバー型のどちらが良いかの検討材料を要望されている。地方ユーザーの通信速度の課題への対応を含め、ご見解を伺いたい。
 - ✓ （伊藤様）Sentinel1,2 ツールはクラウド型であり、GEE で動かしている。インターネット速度が制限されていると、クラウドでもスタンドアロンでもシステムの開発自体は難しく、どちらが良いとは言えない。通信環境の悪い地方での利用促進支援として、今後、データ容量を絞ったデータをダウンロードできるようにすること、ダウンロードしたデータや現場で取った GIS データを QGIS で活用するためのプラグイン機能を開発すること等を行う予定である。
 - ✓ （伊藤様）Forest Fire Monitoring については、地方ユーザー向けの改良を想定していない。
 - ④ 利用方法、運用・維持管理の方法、またその工夫点
 - ✓ （家根橋）③の地方のネット環境への対策以外で、工夫している点は何か。
 - ✓ （伊藤様）開発当初は無償で利用が可能であった GEE を使うことで、コストがかからないようにした。
 - ⑤ 研修などの人材育成の取組、その工夫点
 - ✓ （伊藤様）GEE を扱える人材がいないので、フォローが必要と考えている。また、開発・改良したシステムの原理や使用方法是伝えられるが、プログラミングについては専門の人材が必要である。環境省にはプログラマーがいるが、林野庁にはいない。現在は、プロジェクトの傭人がプログラミングを行なっている状況であるが、今後もカウンターパートは、プログラム自体は外部人材を活用することが考えられる。ただし、システムの開発・実践・改良プロセスを監督する人材の能力強化は活動を通じて行っている。プロジェクトでは開発システムのユーザー、特に地方政府職員ら等については、リモセンや GIS の素養を持った人材がある程度いるため、研修等を実施し、システムを理解して使ってもらっている。
 - ✓ （水野）方法論作成時の人材育成の工夫点は何か。
 - ✓ （伊藤様）人が入れ替わることもあるので、C/P 自身が研修などの内容についてしっかりとしたマニュアル等資料を残し、継承していくことが重要である。
 - ⑥ 他の技術との組み合わせによる有用な適用事例（ドローンや Survey 123 等）
 - ✓ （伊藤様）GIS を使える人材は、地方にもいて、日本よりも多いくらいの印象である。本案件や他ドナーからドローンの提供があり、それを使用して、地上からのアクセスが悪い場所の確認、地図作成等が実施されている。
 - ✓ （伊藤様）Sentinel1,2 tool 開発時には、航空写真により伐採検知結果の検証を行った。また、Landsat による既存の森林減少検知システム（GeoBosques）との比較検証もおこなった。
- (2) 期待される効果
- ✓ （家根橋）ツール導入による効果として、伐採の検知力が上がった等の成果はあるか。
 - ✓ （伊藤様）ツール開発はフェーズ1 で完了したが、運用が開始されたのは最近のため、効果は評価できていない。また改良は作業中。前フェーズで開発した Sentinel ツールについては、特に Sentinel 1（レーダー）を活用した森林変状検知システムの精度について検証し、学会での報告も行った（論文 URL：[Sentinel-1 data to support monitoring deforestation in tropical humid forests | Vargas | Open Science Journal \(osjournal.org\)](https://osjournal.org/Vargas)）。Sentinel 2（光学衛星）の精度については、C/P と方法論を開発した際に結果をまとめ、内部報告・説明用の資料（JICA 内部資料：Deforestation Detection using Sentinel 2 – Google Earth Engine Tool with Aerial Photographs.）とした。なお、該当の内部資料は一般公開はされていない。
 - ✓ （水野）Sentinel1,2 ツールにより、中央政府がこれまで手作業で行っていた、森林伐採・火災の検地・確認、森林伐採の報告書作成を自動化できた点は、生産性向上に寄与したと考えられるが、報告書作成件数等の数値での効果は評価されていない。

(3) 課題・留意事項

① システム導入にかかるコスト

- ✓ (家根橋) システム開発にかかったコストについてご教示頂きたい。
- ✓ (伊藤様) 非契約での稼働や他社員による国内からのサポートではなく、自らが現地にアサインされているタイミングで、現地傭人と共同で作業した MM が全投入である。

(4) 適用事例 (実際に技術が導入された案件、特徴、課題。今後、他の場所で導入していく上での課題、展望)

- ✓ (伊藤様) 本案件は、ペルーでのみ実施中。国内向けのものだが、プロジェクト内でアマゾン地域の他国(ブラジル、ボリビア)への紹介を予定しており、また他国からの事例収集も行っている。

(5) 参考情報 (導入内容について詳細がわかる資料)

- ✓ (伊藤様) ペルーでは、森林火災システムや Sentinel 1,2 については下記 Web ページを参照している。

<https://sniffs.serfor.gob.pe/monitoreo/sami/index.html>

他の国も同様のサイトを有しており、ブラジルは以下のものなどを公開している。

<http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/downloads/>

<http://www.obt.inpe.br/OBT/assuntos/programas/amazonia/prodes>

以下に示す NOAA の森林火災情報などもシステム構築時によく利用されるものである (SERFOR のシステムもデータ源泉として利用している)。

<https://www.earthdata.nasa.gov/topics/human-dimensions/natural-hazards/wildfires>

<https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:24hrs;@0.0,0.0,3.0z>

- ✓ (家根橋) 専門分野が異なる人が勉強する際の情報源をご教頂きたい。
- ✓ (伊藤様) リモートセンシングについて分かりやすく整理したサイトは、下記の通りである。
 - ・リモートセンシング入門知識編

[https://www.tellusxdp.com/ja/user-](https://www.tellusxdp.com/ja/user-guide/?utm_source=tellus&utm_medium=referral&utm_campaign=github2)

[guide/?utm_source=tellus&utm_medium=referral&utm_campaign=github2](https://www.tellusxdp.com/ja/user-guide/?utm_source=tellus&utm_medium=referral&utm_campaign=github2)

・リモートセンシング入門処理編

<https://tellusxdp.github.io/start-python-with-tellus/index.html>

- ✓ (家根橋) 他ドナーの類似業務はあるか。
- ✓ (伊藤様) アマゾン対象案件は多い。例えば、環境省の Geobosques は、アメリカのメリーランド大学の方法論をペルー版に適用したシステムで、開発資金は NORAD と GIZ が支援したと理解。また、アメリカの Planet 社による衛星画像の提供、CAF によるドローン提供、USAID による木材流通モニタリングの DX 化などが行われている。

(6) その他

- ✓ (家根橋) 最後に、JICA 案件全般でのリモートセンシング技術の課題や今後の展望などについてお聞かせいただきたい。
- ✓ (伊藤様) ペルーは日本よりも GIS の技術が浸透していて、扱える人が多い印象である。技術研修は必要だが、基礎はある状態のため、基礎的な支援よりもその後のサービスの構築が重要であると考え。
- ✓ (伊藤様) 2024 年度中に JAXA の ALOS-4 やインドと米国の NISAR (NASA ISRO Synthetic Aperture Radar) といった、JJ-FAST と同じ L バンド帯の合成開口レーダを搭載した衛星が打ち上げられ、データの提供が開始される予定であることなど、今後、森林モニタリングに利用可能なデータが増える。こうした先の展望を見越して、案件やサービスを考えることが可能と考える。
- ✓ (水野) 本分野において、他ドナーにない、JICA/日本技術の優位性はあるか。
- ✓ (伊藤様) ALOS-4 はある程度まで無償でデータ提供されるという話もあり、無償提供されれば優位性(競争性)があると期待する。また、インドと米国が打ち上げ予定の衛星 (NISAR : L バンド レーダーセンサ搭載) では、日本に既に JJ-FAST で多くの経験がある分、L-band レーダー衛星データの活用には JICA に優位性があると考え。

以上

面談メモ

議題	別冊2 自然環境保全分野で活用される科学的情報基盤に係るヒアリング	
日時	2024年4月4日(木) 16:00~17:10 (JST)	
場所	オンライン(Teams)	
参考資料	別冊2 目次案、質問項目票	
出席者 (敬称略)	国際航業(株) 原口正道	国際航業(株) 小出隆広
	JICA 浅岡浩章	JICA 山中潤
	JICA 片田美穂	JICA 片岡龍之介
	日本工営 浅野剛史	日本工営 水野綾
	日本工営 家根橋圭佑	日本工営 角田一樹
記録者	日本工営 家根橋圭佑、角田一樹	

■ 協議概要

☆ 質問票に関して(議論順ではなく、質問票項目ごとに順番変更)

(1) 概要

① NFMS の導入に至った背景経緯

- ✓ (家根橋) NFMS 導入に至った背景経緯についてご教示頂きたい。
- ✓ (小出様) ペルー案件は直接 NFMS を対象としたものではなく、ペルー政府よりレーダー衛星技術を用いて森林伐採対策をしたいという要望を受けて、当該技術開発を行なったものである。本事業の前に、ブラジルにおける PALSAR を使用した森林伐採の観測技術の開発を行った事業があり、それが一定程度の成功を収めたので、ペルーに展開されたと理解している。アマゾン地域では、雨季の光学衛星での観測が難しく、その時期の違法伐採の検出が困難である。ペルーでは、環境省が行う光学衛星 Landsat を用いた観測を補完する目的でレーダー衛星のデータが使用された。

② 技術(システム)の原理、仕組みについて

- ✓ (家根橋) NFMS の原理、仕組みについて知っておくべき情報をご教示頂きたい。
- ✓ (原口様) JICA の集団研修(酪農学園受託、国際航業で数コマ対応)で使用した資料があるため、後ほど共有する。REDD+で必要とされている4つの項目の一つが、NFMS である。NFMS の定義のうち、広義の NFMS は、モニタリング機能と MRV 機能を含む。MRV の中に衛星土地モニタリングシステムや地上インベントリ調査、温室効果ガス排出量計算がある。モニタリング機能としては、透明性確保のためのウェブ情報公開や、その他森林関連モニタリングに位置づけられる早期警報システム等があり、これらは政策・対策のトラックに用いられるが直接 MRV に用いない。エリアの推定は地図作成だけでは不確実性が高いため、近年のトレンドとしては、サンプリング調査による統計的な推定、又はそれとマップとの併用である。

③ データベースの構成(例:使用するソフト、クラウド、スタンドアローン)など

- ✓ (家根橋) NFMS のデータベースの構成についてご教示頂きたい。
- ✓ (原口様) NFMS のデータ管理は、クラウドサービス利用とオンプレミス(自社運用)サーバーの運用どちらで行っている国もある。クラウド管理は、機器の故障・拡張性の良さやバックアップやウイルス被害に強いという利点があるが、データの保存容量と通信量に応じた費用が発生するため、途上国ではプロジェクト終了後にサービス料を払い続けることがなされず維持されない例もあり、レガシーシステムに位置づけられるスタンドアローンのサーバー管理に戻っている国・事例もある(国家のデータをクラウドに置くことに理解・懸念が示されることもある)。最近では、エンジニア以外の人でも使いやすいように、設計や変更にある程度の知識が必要なリレーショナルデータベースではなく、CSV のような正規化していないテキストファイルを蓄積することが多い印象である。

④ 利用方法、運用・維持管理の方法、またその工夫点

- ✓ (家根橋) NFMS の利用方法、運用・維持管理の方法、工夫点についてご教示頂きたい。
- ✓ (原口様) 最近は複雑なことをユーザーに要求しないユーザーフレンドリーな形での運用がト

- レンドとなっている。トップページのダッシュボードに一覧表・リンクを表示したり、データをアップロードするだけで使用できるような簡単な仕組みを作ったりしている事例が見られる。
- ✓ (小出様) 予算的な問題から高価な有償ソフトから無償ソフトへ移行するトレンドがある。しかし、プロジェクト終了後にシステム変更、機能追加に対応できる人がいないなどの問題も多く、アフターサポートを受けられるという点で、有料ソフトにもメリットがあるため、相手国の状況を見極める必要がある。
 - ⑤ 研修などの人材育成の取組、その工夫点
 - ✓ (家根橋) NFMS に係る人材育成の取組、工夫についてご教示頂きたい。
 - ✓ (小出様) プロジェクトで開発する技術は、展開しやすさの点では無償ソフトウェアの方に分がある。開発自体は商用ソフトの方が行いやすいことが多いが、開発された技術が無償ソフトでも再現できるようにアレンジし、それを解説するマニュアルを整理している。
 - ✓ (原口様) 研修においては、動画を使用することがトレンドであるが、動画はドキュメントと比較して再編集が難しく、内容が古くなりやすいことが問題である。技術の進化が日進月歩であるためマニュアルそのものがツールの更新についていけず、古くなりがちな点も課題である。
 - ⑥ 他の技術との組み合わせによる有用な適用事例(ドローンや Survey 123 等)
 - ✓ (家根橋) NFMS と他の技術の組み合わせによる有用な事例があれば、ご教示頂きたい。
 - ✓ (小出様) 現地検証にドローンや航空機を使っている。森林減少が起こった時に証拠写真を撮るといったアイデアは出ているが、実際にルールを作って、運用するところまでは至っていない。見つけた後の対応についても議論が進んでいない。モニタリングをする人の安全性(違反者からの攻撃を受ける等)確保も課題である。
 - ✓ (原口様) ラオスでは、タブレットベースで情報を収集し、ダッシュボードで情報共有するという一連の流れができています。しかし、タブレット等のツールは千差万別で、スタンダードとなっているものはない。FAO は Open Foris シリーズでインベントリーに特化したツール(Collect、Collect Mobele、その統合・クラウド版の Arena など)を開発しているが、マップ機能がそれほど強くないなどの理由で、FAO が支援している国以外ではあまり使われていない。今年 3 月 25 日に FAO は、Google と共同開発した新たなツール(Ground)をリリースしている。その他、NASA が打ち上げた GEDI と呼ばれる衛星 LiDAR のデータを米メリーランド大学が解析して 2019-2020 年の全世界の樹冠高データが公開されている。このような全球レベルのデータを各国レベルでキャリブレーションを行って、どう利用していくかが今後の課題となっている。日本も近いうちに衛星 LiDAR (MOLI) の打ち上げを予定しており、また航空機 LiDAR の整備が世界の中でも進んでいるため、その強みを生かすことで GEDI のようなサービスの利活用を優位に進められる可能性がある。
 - (2) 期待される効果
 - ✓ (家根橋) プロジェクトを通じて得られた NFMS の効果についてご教示頂きたい。
 - ✓ (小出様) NFMS に限った話ではないが、モバイルなどの技術を使うと、データの透明性、信頼性が確保される。また、紙ベースよりは、正確性が上がる。
 - ✓ (原口様) REDD+ が開始される前は、全世界の森林の増減を知るための情報は 5 年ごとの国別の報告を取り纏めた FAO のレポート(FRA: Forest Resource Assessment) だけであり、情報の信頼性も低い国もあった。各国で NFMS の構築が進み、森林参照レベル(Forest Reference Level: FRL) でレポーティングされるようになって以降、各国からより信頼性の高い情報が得られるようになり、情報の精度が上がった。また、正確な情報が収集されるようになったことで、課題がより明確になり、次に起こすべきアクションも明確になった。デジタルツールで効率性が改善している面はあると思うが、どちらかというとこれまで十分にできていなかったことができるようになったため、実際には新たな仕事が増えている面もある。
 - (3) 課題・留意事項
 - ① 案件構成、技術を導入する上での課題・留意点
 - ✓ (家根橋) 案件形成時の技術導入の課題や留意点をご教示頂きたい。
 - ✓ (小出様) 現在は、Landsat のような定期的に長期間データが蓄積されているものを使用するこ

- とが主流であるが、新しい技術の出現に伴い、案件開始当初に想定されていた従来の方法が陳腐化することもある。必要に応じて案件実施中でもデザインを修正し、新しい技術を柔軟に取り入れていけるようにしておくのが良い。
- ✓ (原口様) 森林・土地利用変化の面積の推定においては、マップベースだけでなくサンプルベースでも検証を行うことが必要である。現時点でも地上調査が推奨されているが、地上でのアクセス等の理由でサンプリングポイントが偏ることを避けるため、超高分解能衛星データの代理利用も併用されている。その際、高価な商用衛星データを独自に購入するのではなく、無料で利用可能な衛星データも活用することが多い。
 - ✓ (小出様) ペルーで精度検証する際、航空機で現場を空撮し、検証データとして利用した。航空機は空間解像度の高い画像を撮影でき、雲の下での観測もできる可能性がある一方、衛星を使うとより広い範囲で検証できるというメリットがある。予算との兼ね合いもあるため、バランスを取った最適な手段を工夫する必要がある。
 - ✓ (原口様) 森林劣化のような一時的に森林が攪乱されるがすぐ再生もされるような現象に対しては、ある時期だけの高分解能衛星ではむしろ不十分で、観測頻度の多い時間分解能が高い情報をもとに検証することもトレンドとなっている。ノルウェー政府支援の NICFI というプログラムにおいて、プログラム参加者は Planet 社の小型衛星群の高頻度観測のデータを無償で利用できる状況となっていることもあり、森林劣化や森林火災では Planet を活用した検証が増えている印象である。
- ② 案件での導入のコスト
- ✓ (家根様) データベース構築に必要なコストを調べている。JICA 契約の中の人件費、機材費、再委託費、ローカルスタッフ費以外で、現れてこないような持ち出しの人件費等のコストがあればご教示頂きたい。
 - ✓ (小出様) 現地では現地ではしかできない作業を行うことを優先するため、技術開発の一部を日本において持ち出しで作業をすることもありますが、そういったコストの可視化は難しい。
 - ✓ (原口様) 例えば、PNG ではホテル代が高いので、専門家の滞在自体に多くのコストがかかっているが、現在は現地にいなくてもできる作業も多くなっているため、システム構築に直接関連しないところでの費用に関しては、改善の余地がある（以前のように費用はかからない）と感じている。また、現在はリモセンの処理はクラウド上で行うことが主流であるため、以前のようにハイスペックな PC が不要であったり、無償の GIS ソフトの性能が上がったりと、資機材にかかる導入コストは減らすことが可能（以前のように費用はかからない）となっている。
 - ✓ (小出様) インターネットが無償提供されるデータであっても、目的に応じてコストの支払いが必要となる場合があるが、実際には意識されず、コストの支払いなく使用されているケースもある印象である。以前は買い切りのソフトウェアが多く、プロジェクトで調達したものを終了後にも使い続けることができるが多かったが、現在はサブスクリプション形式のものが多くなっており、プロジェクト終了後すぐに相手国政府機関の支払いが発生するケースが増えている。
- (4) 適用事例（実際に技術が導入された案件、特徴、課題。今後、他の場所で導入していく上での課題、展望）
- ✓ (家根様) NFMS の他国での使用事例、他ドナー基金を活用してスケールアップした事例があれば、ご教示頂きたい。
 - ✓ (小出様) ペルーにおいては必ずしも NFMS を直接支援したわけではなく、やや周辺の技術の支援だったこともあり、それを他ドナーがスケールアップしたというような連携に関しては把握できていない。JICA の支援を考える際、ペルーには多くのドナーが入っているため、他ドナーとの棲み分けが難しい点である。
 - ✓ (原口様) NFMS は MRV とモニタリングシステムを含めたものと捉えることが一般的であるが、JICA が FRL や REDD+成果などのレポート提出を直接支援したプロジェクトはラオスとベトナムくらいではないかと思う。ラオスでは世界銀行（FCPF 炭素基金）の MMR（Measurement, Monitoring and Reporting）も JICA が支援した。ブラジルやインドネシアといった当初から能力や体制がある国では、既存のシステムを進化させて活用していることが多い。既存のものがなかった国では、開発パートナーが開発したシステムを採用し、最新の知見に基づいた新しい方法で

データを整理し、報告している事例が出てきている。既存データがない方が、新しいシステムや方法論を採用することで一貫性を保った報告がしやすい面もある。

(5) 参考情報（導入内容について詳細がわかる資料）

- ✓ （家根橋）その他参考資料があれば、情報共有いただきたい。
- ✓ （原口様）必ずしも情報が更新されていないが、参考になる資料は把握しているので、それを整理して4月中旬を目途に回答する。

(6) その他

- ✓ （家根橋）本分野に専門性がない JICA 職員の方向けの参考資料、他ドナーの優れた事例などあれば、情報共有いただきたい。
- ✓ （原口様）こちらも4月中旬を目途に回答する。
- ✓ （家根橋）JICA 案件として、NFMS の展望についてご教示頂きたい。
- ✓ （小出様）ブラジルのような先進的な国で得られた知見を一般化して、他国へ展開することを検討できないかと考える。
- ✓ （原口様）NFMS の定義については、COP の決議やモダリティに準じるとすれば、NFI も含めるべきである。ただ、今回の調査ヒアリングの内容を鑑みると必ずしも NFI をカバーしていないように思うので、報告書内で前提条件を整理しておいた方がよい。今後の展望としては、森林セクターでは REDD+ の支援を通じて森林セクターを中心とした情報は充実してきたため、それらを農業（例：認証取得・サプライチェーンのトレーサビリティ）や生物多様性のモニタリングやレポートなど、他セクターで活用していくことが考えられる。また、前述の通り、データの信頼性に関しては引き続き課題はあるが、今後は GEDI 等のデータを活用した3次元情報（ボリューム）が揃ってくるため、その活用も考えられる。その他、最近 REDD（※+を含まない、ひいては、カーボン・オフセットそのものについて）は、世の中からグリーンウォッシュとして批判されるリスクも増えていることもあって、AR（Afforestation & Reforestation、つまり新規植林・再植林）の Removal のクレジットの価値が高まって来ているので、今後は質の高い・価値の高い温暖化対策を如何に実現・証明していくかを検討することも重要となってくるであろう。

以上

面談メモ

議題	別冊 2 自然環境保全分野で活用される科学的情報基盤に係るヒアリング	
日 時	2024 年 4 月 4 日(木) 10:00~11:00 (JST)	
場所	オンライン(Teams)	
参考資料	質問項目票	
出席者 (敬称略)	国際航業(株) 森川悠太	JICA 山中潤
	JICA 片岡龍之介	日本工営 浅野剛史
	日本工営 水野綾	日本工営 家根橋圭佑
	日本工営 角田一樹	
記録者	日本工営 家根橋圭佑、角田一樹	

■ 協議概要

◇ NFFIS に関する質問票に関して(議論順ではなく、質問票項目ごとに順番変更)

(1) 概要

① 導入に至った背景経緯

- ✓ (家根橋) NFFIS 導入に至った背景をご教示頂きたい。
- ✓ (森川様) マケドニアの森林火災情報システムは MKFFIS、コソボは NFFIS、モンテネグロは MEFFIS と呼称しているが基本的には同様の機能を持つシステムである。導入の背景の詳細は、報告書に記載の通りである。背景経緯の概略としては、まず、バルカン地域全体で森林火災が課題としてあった。マケドニアでも自然災害の中で森林火災が最も大きな課題としてあり、情報を纏めるシステムが求められていた。そこで防災やテロに対応している CMC (Crisis Management Center) を C/P としたプロジェクトが 2011 年に開始され、私は 2012 年から短期専門家として参入した。
- ✓ (家根橋) 事前に送付させて頂いた質問項目表の備考欄に記載した欧州森林火災情報システム(EFFIS)と MKFFIS はどちらが先に誕生したものか。
- ✓ (森川様) 当時から EFFIS もあり、同じような時期に誕生したと思われる。どちらかがどちらかを基に作られたという関係性ではない。
- ✓ (浅野) マケドニア案件は、それ以降に続く案件群と地域協力の始まりとなった案件だが、そもそもなぜ西バルカン地域を対象としたかなど、経緯について何かご存知か。
- ✓ (森川様) 最初から地域協力を想定していたものでなく、結果的にそのように発展しただけと認識している。マケドニアのプロジェクトが 2014 年に終了し、その後に NFFIS をテーマとした第 3 国研修を開催した際、周辺国が本システムに関心を持ち、要請書が上がり、他の西バルカン地域へ展開される結果となった。

② 技術(システム)の原理、仕組みについて

- ✓ (家根橋) MKFFIS の原理、仕組みについて教示頂きたい。
- ✓ (森川様) MKFFIS は 2012~2014 年にマケドニアの森林火災を対象に、システム開発が行われた。2018-2023 年のプロジェクトで機能が拡張され、他の災害にも対応できるようなシステムとなった。そのため、現在、実態に合った名称への変更が検討されている。現地ではすでに、災害発生時に、どこで災害が起き、どこにリソースがあるのかを可視化するためにシステムが活用されている。日本語の名称は早期警報となっているが、早期警報だけでなく、災害登録やアフターフォローの情報提供なども対象としている。

③ データベースの構成(例:使用するソフト、クラウド、スタンドアローン)など

- ✓ (家根橋) MKFFIS のデータベースの構成について教示頂きたい。
- ✓ (森川様) データベースの構成に詳しい他の短期専門家から事前に情報を収集した。
(以下、収集した情報)

「WebGIS として GeoServer を使用、データ処理には QGIS/ArcGIS 等を利用している。最終的な構成については別紙 PPT (添付 1) を参照。システムは自国の自動気象観測装置(AWS: Automatic Weather Station)に直接/間接的にアクセスし、データを取得するため、国外に置かれるクラウド

ドではなく国内に設置するオンプレミスを選択している。コソボでは、政府情報センターに設置することで、より強固なセキュリティを確保している。

モンテネグロは政府ネットワークがハッキング被害からの立て直し中であること、ネットワーク制限によりスピードを確保できないなどの理由で、いったん政府ネットワーク外にサーバを構築（データセンターサービスは利用せず、C/P 内に確保したサーバールームから直接サービスを提供）している。今後、政府ネットワークにどう取り込んでいくかが課題。サーバ構成はマケドニアを先例としているが、時代の技術に合わせ 1 台の強力なサーバに複数の仮想マシンを役割別に構築している（マケドニアは複数の実機）。このサーバを同一構成で 2 台導入し、ロードバランサーを使ったアクセス負荷のコントロールと同時に相互をバックアップシステムとして稼働させている。ストレージは 1 台の大型ストレージに RAID10 を構成し、データアクセスの高速化とミラーリングによるバックアップを実現させている。」

④ 利用方法、運用・維持管理の方法、またその工夫点

- ✓ （家根橋）NFFIS の利用方法、運用・維持管理、工夫点についてご教示頂きたい。
- ✓ （森川様）MKFFIS は森林火災以外の他の災害においても活用されている。早期警報の情報源は、Hot Spot（世界的に公開されている火災位置情報）、Fire Weather Index（AWS を基にした火災発生時の燃え広がりやすさ）、植生乾燥度マップ（衛星を使用し、乾燥度合いを表示）の 3 種類である。工夫点は、2014 年のマケドニアの長期専門家の報告書に詳述されていると思われる。当時と比べ、現在はオープンデータが充実してきているので、それらを活用することで、より安価で迅速にシステム開発ができるようになり、維持管理も安価で効率的に行えると考える。

⑤ 研修などの人材育成の取組、その工夫点

- ✓ （家根橋）研修などの人材育成の取組、工夫点について、ご教示頂きたい。
- ✓ （森川様）マケドニアの第一フェーズ時点では、現地に GIS を使える人材が少なかったため、GIS の研修が必要だった。現在は、特に若い人はある程度、GIS を使える人材がいる。その時々ニーズに合った研修を行うべきと考える。マケドニアでは、ToT (Training of Trainers) スタイルで C/P の CMC に研修を行なった。その後、CMC が地方の CMC に研修を行った。その結果、C/P に技術が身に付き、日本側の労力も削減できた。コソボとモンテネグロでも同様の方法で研修を実施予定である。その他、コソボ政府には既存の研修プログラムや研修場所があるため、そこに NFFIS の研修を組み込むことで、ルーティン化していくことを目指している。

⑥ 他の技術との組み合わせによる有用な適用事例

- ✓ （家根橋）NFFIS のシステムに必要な情報取得の際など、活用した他の科学技術があればご教示頂きたい。
- ✓ （森川様）マケドニアでは主に Eco-DRR のコンポーネントにおいて、ドローンを活用し、取得した最新の解像度が高い情報を MKFFIS で活用した。赤外線カメラについても、モンテネグロで開発できそうな業者を見つけ、JICA へ提案を行ったが、予算の制約で実施できなかった。技術的には、赤外線カメラを活用して、熱検知でアラートを鳴らすシステムを作るとは、実現可能と考える。

(2) 期待される効果

- ✓ （家根橋）NFFIS の導入によって得られた効果についてご教示頂きたい。
- ✓ （森川様）マケドニアでは、関係者が揃って同じ情報を見られることができるようになったことが大きな成果である。また、紙ベースの情報が電子化されたこと、GIS の研修を通じて、GIS への理解が高まり、その知見が他分野においても活用されたことも副次的な効果である。

(3) 課題・留意事項

① 案件構成、技術を導入する上での課題・留意点

- ✓ （家根橋）NFFIS 関連の案件での課題や留意点についてご教示頂きたい。
- ✓ （森川様）Fire Weather Index にはいろいろな種類があるが、コソボではカナダのモデルをベースとして開発した。他国のモデルを現地にアジャストしていく際、既存の火災データがあれば行いやすいが、多くの途上国ではそれが無いことが課題の一つである。また、作成した指標のパラメータは数年に一度は精度検証をして調整し、精度向上を図ることが望ましいが、金銭的、時間的

な問題で出来ていないことも課題である。

マケドニアで上手くいった理由としては、能力のある IT 担当の存在があったと考えている。コソボ、モンテネグロにおいても、現地政府に事前に IT 担当の配置を強く要請している。なお、マケドニアでは民間の開発業者と保守契約を結び、運用と維持管理を外注している。このように、民間活用のために必要な予算を確保することも重要である。

- ✓ (浅野) 政府の体制が脆弱な中でシステムの継続性を担保する方法はあるか。
- ✓ (森川様) まず、技プロの C/P 内で人材を育てることが理想的ではあるが、実際は難しい状況も多い。そのような場合には、IT に強い他部門で一括管理する方法もある。例えば、コソボでは当初 EMA にサーバを設置したが、技術不足だったため、中央政府の IT 部門にサーバを移した。その他、民間の活用も考える方法である。なお、民間活用のためには、予算確保が重要である。それに関連して、予算を下げるため、無償のソフトやオープンデータを活用してシステムを構築することも持続性確保の上で、重要である。
- ✓ (浅野) EU などの外部資金活用の可能性はあるか。
- ✓ (森川様) システムの拡張については、その可能性を検討中である。運用、維持管理については議論になっていない。マケドニアは自国で出来ていた。コソボ・モンテネグロは、システムの拡張と併せて運用、維持管理への外部資金活用を検討する可能性はある。

② 案件での導入のコスト

- ✓ (家根橋) 導入コストを現地以外での非契約稼働等のコストも含めてご教示頂きたい。
- ✓ (森川様) コソボとモンテネグロの案件の再委託費、機材費、人件費(システム開発主担当の 1 期と 2 期)は、下記の通り。国内稼働はなく、基本的には再委託先が中心で実施した。現地で防災に詳しい大学教授等を雇用し、アドバイスを受けたコストは以下に含まれず、追加で発生している。

NFFIS コスト	(円)
再委託費(開発)	41,072,550
機材	22,630,755
人件費	29,843,160
合計	93,546,464

※コソボとモンテネグロ 2 カ国分

人件費は NFFIS 開発担当(3 号)の人件費の 1 期と 2 期の合計
運用が主となる 3 期は含まない。

(4) 適用事例(実際に技術が導入された案件、特徴、課題。今後、他の場所で導入していく上での課題、展望)

- ✓ (家根橋) 今後の他の場所での導入可能性とその際の課題や展望についてご教示頂きたい。
- ✓ (森川様) アルバニアとボスニア・ヘルツェゴビナでの案件など、これから始まる案件では、10 年以上前のマケドニア案件開始時と異なり、既に類似のシステムが多くある。それらとの棲み分けと地域単位での取組が重要である。また、バルカン諸国には、小さいながらもしっかりとネットワークを持った災害担当組織があり、それが NFFIS の運用成功の要因と考えている。
- ✓ (浅野) CMC は実働部隊を持たず、情報提供や関係機関の調整を主な役割としている小さな組織である。現在西バルカンで行われている JICA の各プロジェクトは、現場での森林火災対策や、Eco-DRR による災害復旧などへも活動の範囲を広げている。今後も CMC を中心 C/P として問題ないか。
- ✓ (森川様) バルカン諸国の CMC に相当する組織の規模は小さいが、しっかりとネットワークを有しており、それを活用することで NFFIS の運用がうまくいっている。国間の横のつながりもあるので、バルカン地域では同じようなスタイルで進めて良いと考える。

(5) 参考情報(導入内容について詳細がわかる資料)

- ✓ (家根橋) NFFIS 導入について、報告書作成時に勉強すべき資料があれば教示頂きたい。
- ✓ (森川様) システムが体系的にわかる資料は、列記されている下記資料でおおよそ網羅していると考えている。

- ・インドネシア共和国森林火災予防計画終了時評価報告書
- ・マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクト詳細計画策定調査報告書
- ・マケドニア旧ユーゴスラビア共和国森林火災危機管理能力向上プロジェクト終了時評価調査報告書
- ・西バルカン地域国家森林火災情報システム (NFFIS) と Eco-DRR による災害リスク削減のための能力強化プロジェクト HP
- ・マケドニア森林火災情報システム (MKFFIS) (マケドニア森林火災情報システム (MKFFIS) (jst.go.jp))
- ・EFFIS HP (EFFIS - Welcome to EFFIS (europa.eu))
- ・インドネシア国 森林火災監視・即応システム普及促進事業 業務完了報告書

(6) その他

- ✓ (家根橋) JICA の本分野に専門性がない方にとって分かりやすい資料があれば、ご教示頂きたい。
- ✓ (森川様) 資料ではなく、システム自体を見てもらうことが、最も重要と考える。マケドニアは報告書の URL よりアクセス可能、コソボとモンテネグロは、下記の通り。分かりやすく整理した資料についても作成し、4 月中旬までに送付する。
 - ・コソボ：<https://www.meffis.me/>
 - ・モンテネグロ：<https://nffis.rks-gov.net/en/>
- ✓ (家根橋) 他ドナーによる類似の活動があれば、ご教示頂きたい。
- ✓ (森川様) 既出の EFFIS の他、世界版の EFFIS 的なものである GWS¹³⁶ (Global Wildfire System)、UN の災害情報データベースである DesInventar¹³⁷などがある。
- ✓ (家根橋) 最後に、NFFIS の課題や展望についてご教示頂きたい。
- ✓ (森川様) JICA から期待されていることとして地域協力の促進があるが、今後バルカン 5 カ国の NFFIS が出来上がる中で、それら 5 システムを連携させることを検討するなどで期待に応えていきたい。現状、国ごとに作っている Fire Weather Index について、AWS から離れた国境付近ではデータが少ないため、精度が悪くなっている。例えばこの点に関して、国境を越えた場所付近にある隣国の AWS を活用することで精度が上がることを期待される。この点に関しては、今年夏の実現を目指して、既に JICA の協力実績のあるマケドニア、モンテネグロ、コソボの 3 カ国で協議を進めている。
- ✓ (浅野) NFFIS は統合火災管理の一連の要素の中で、特に準備(Readiness)のための活動と考えるが、その後は対応(Response) や回復(Recovery)などの活動がある。バルカン地域で JICA 協力の将来の出口戦略として、どのようなことが考えられるか。
- ✓ (森川様) NFFIS は森林火災予防に貢献しているが、回復にどの程度貢献できるかは正確にはわかっていない。今後、NFFIS に記録されている火災エリアの情報及び地形や植生などの情報を活用することで、回復させるべきポテンシャルエリアを明らかにし、土壌流出が起こらないよう植林をする、といった使い方も検討している。Response の部分は他ドナーなどが多く取り組んでいるし、参入し難い印象だが、Recovery のところは Eco-DRR コンポーネントでの経験を活かし、存在感を発揮できる部分ではないかと考える。

以上

¹³⁶ <https://gwis.jrc.ec.europa.eu/>

¹³⁷ <https://www.desinventar.net/DesInventar/profiletab.jsp?countrycode=mne&continue=y>

添付 1. サーバ構成について

