

REDD+推進にむけた森林リモートセンシング技術研修の設計と実施

～酪農学園大学での研修事例から～

吉村 暢彦*・日野 貴文*・金子 正美*
星野 弘方*・小川 健太*

Designing and implementing a technical training course on forest remote sensing
to promote REDD+

A case study at Rakuno Gakuen University

Nobuhiko YOSHIMURA*, Hino TAKAFUMI*, Masami KANEKO*, Buho HOSHINO* and Kenta OGAWA*
(Accepted 16 July 2015)

1. はじめに

地球規模の問題である気候変動対策について、1995年から国連気候変動枠組条約（UNFCCC）に基づく締約国会議（COP）が毎年開催され、世界各地で対策が取り組まれている。2005年に開催されたCOP11では、途上国の森林減少・劣化に由来する温室効果ガス排出の削減に関して、いわゆる REDD（Reducing from Deforestation and Forest Degradation in Developing Countries）が提案された。COP14以降、REDDは持続可能な森林経営や森林の炭素蓄積の保全と向上等を加えた REDD+へと発展してきた。REDD+の対象活動は、①森林減少による排出削減、②森林劣化による排出削減、③森林炭素ストックの保全、④持続可能な森林管理、⑤植林等の森林炭素ストックの拡大の5つであり、これらの活動の透明性及び正確性が担保するために、MRVと呼ばれる実施状況の測定（Measurement）、報告（Reporting）、検証（Verification）のプロセスの質を向上させ機能させる必要がある¹⁾。

REDD+におけるMRVの各プロセスにおいて、森林面積及び炭素蓄積量の把握やモニタリングが必要不可欠である。そして、UNFCCCに基づき設置された、科学および技術の助言に関する補助機関（SBSTA: Subsidiary Body for Scientific and Technological Advice）は、森林面積等のモニタリングについて、リモートセンシング技術と地上調査を組み合わせるよう明確化している²⁾。このように REDD+においてリモートセンシング技術は非常に重要な役割を担う。リモートセンシング技術

の活用には、衛星画像等のデータの取得や得られたデータの適切な解析、結果の正確な解釈ができる専門技術を持つ人材が必要である。しかし、資金や教育インフラが不十分な途上国においてはリモートセンシングの技術者が不足しており、REDD+ひいては地球規模の気候変動対策の推進のためには、途上国におけるリモートセンシング技術者の育成が急務である³⁾。

現在、REDD+、気候変動対策を推進するため、途上国の森林管理に係る行政官、技術者、研究者等を対象に、先進国等で様々な研修が施されている。日本国内においても、国際協力機構（以降 JICA）や独立行政法人森林総合研究所等で、REDD+に関する様々なテーマ（制度、プロジェクト立案、炭素推定手法、現地調査法、リモートセンシング等）に関する研修が行われている。例えば酪農学園大学では、2011年から、JICAと協力しリモートセンシング技術及びGIS技術に特化した1ヵ月半程度の長期研修を行っている。このような研修の質を維持・向上するには、PDCA（Plan 計画, Do 実行, Check 評価, Action 改善）サイクルに基づき研修実行後の評価と改善が欠かせない。一方で、研修実行後の評価と改善案の提案は、業務報告書や関係者のみで共有されるに留まっており、REDD+に関する同様の研修を立案実行する際に参考となるような整理されたものは少ないのが現状である。

本論文では、今後 REDD+に関して様々な機関で行われるリモートセンシング等の技術研修の継続的な質の向上に資することを目的とし、筆者らが酪農学園大学で設計・実施した REDD+に関する研修

* 酪農学園大学農食環境学群環境共生学類

Department of Environment and Symbiosis Studies, Faculty of Agriculture, Food, and Environmental Sciences, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido, 069-8501, Japan

「REMOTE SENSING OF FOREST RESOURCES」の内容（2013 年から 2014 年に実施した 5 回分）を整理したうえで、このような研修を設計する上での要点及び課題をまとめる。

2. 実施した研修の内容

2.1 研修の目的

地球規模の気候変動対策を実行するため国際的に推進されている REDD+ について、研修員各国の森林資源を、リモートセンシング技術を用いて把握し、GIS 技術を用いてデータベース化するために必要なスキルと知識を習得することを目的としている。各国から派遣された研修員は、研修後それぞれの所属する組織において、森林資源管理システムの構築に向けたアクションを進めることを期待されている。

2.2 参加対象

研修員は JICA を通して各国から募集された。対象者は、各国の森林管理に係る行政官、技術者、研究者であり、アフリカ、アジア、中南米、オセアニア等、熱帯域の国々が対象国である。今回の長期研修の研修員の知識・技術レベルは基礎レベルとし、ほとんど経験のない初級レベルからある程度経験のある中級レベルを対象とした。

ア等、熱帯域の国々が対象国である。今回の長期研修の研修員の知識・技術レベルは基礎レベルとし、ほとんど経験のない初級レベルからある程度経験のある中級レベルを対象とした。

2.3 研修員の人数と出身国

計 5 回の研修の結果、森林減少が近年危惧されている熱帯域を中心に、計 18 カ国 54 人が参加した（図 1）。各回の参加人数は 10 人程度であった。対象者は、森林管理に関わるセクションがほとんどであるが、衛星画像を提供するセクションからの参加もあった（タイ 1 名）。参加者の技術レベルをソフトウェアの使用頻度、経験年数から点数化した（図 2）。リモートセンシングについては、複数種類のソフトがあったためどちらか高頻度に使用もしくは経験年数の長い方を採用した。リモートセンシングについては 2013 年 C コースのレベルが高く、その他のコースはほぼ初級レベルであった。GIS、GPS については、2013 年 A コース（GIS のみ）、C コース、2014 年 B コースでレベル差が大きいことが伺えるが、おおそ初中級レベルであり、本研修の対象者と合致し

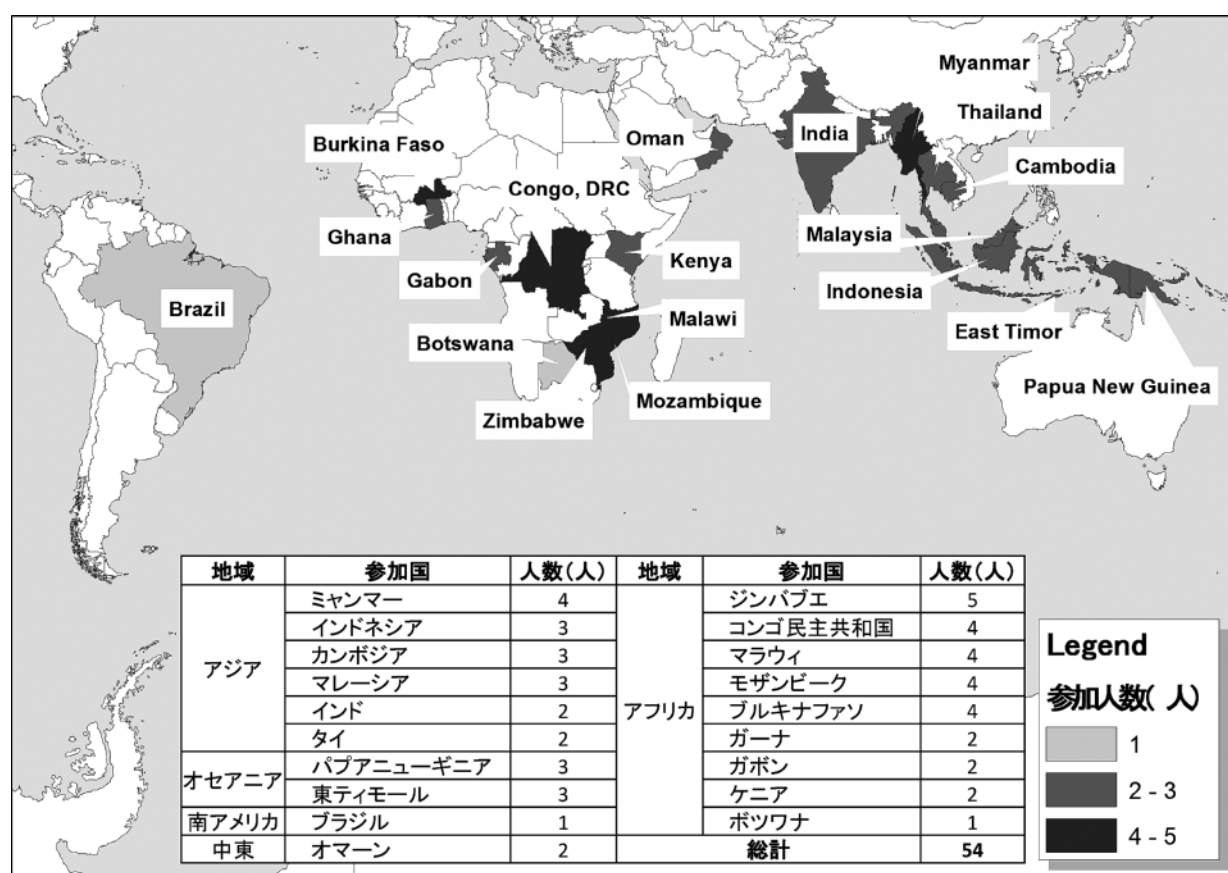


図 1 研修参加国と人数

2013、14 年に行った計 5 回の研修の参加国と人数の合計を示す

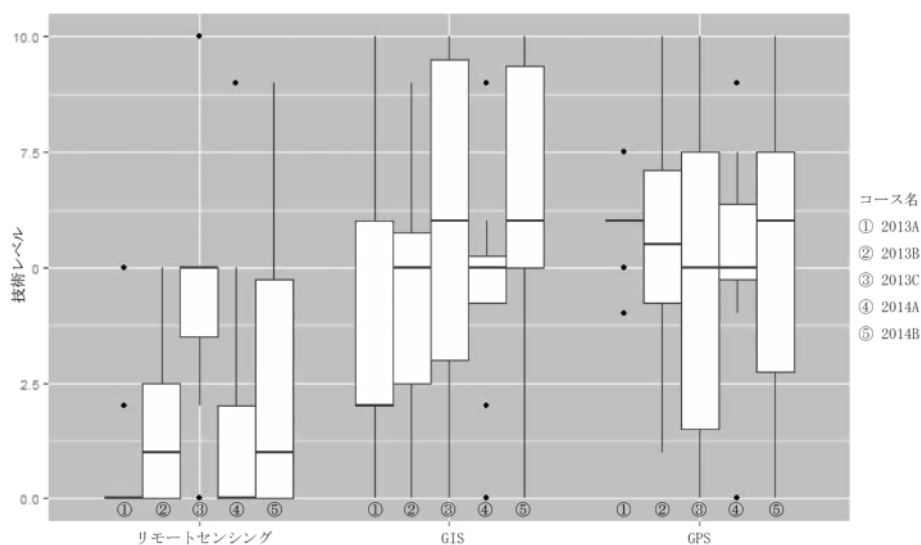


図2 各回の研修員のレベル

経験年数もしくは使用頻度ともに技術レベルを10点満点で集計した。縦軸は点数、横軸は要素技術を表す。箱の中央付近の横線は点数の中央値、箱の横線は、点数の第1四分位数（下側）と第3四分位数（上側）、箱の外側にある上下の横線は、点数の最小値（下側）・最大値（上側）、点は、外れ値

表1 研修における各フェーズの目標と内容

フェーズ	目 標	内 容
知識フェーズ	①自国の森林管理に関する現状と課題を整理する ②REDD+と関係する様々な背景情報、リモートセンシングの役割について知識を得る	1) カントリーレポート発表会 2) 気候変動の基礎知識や現状と IPCC における議論 3) REDD+の仕組みや最新の動向 4) リモートセンシング技術の役割と活用事例 5) REDD+と生物多様性 6) GIS, リモートソフトウェア, 衛星画像等の動向 7) 情報公開に関する事柄等
技術フェーズ	③リモートセンシングの基礎的な理論及び技術について理解する ④森林を対象としたリモートセンシングの活用に関する知識と手法を習得する ⑤森林を対象とし、GIS, GPSを実際に活用するための知識と手法を習得する	1) 理論 2) 衛星画像等の入手と事前処理 3) 画像処理（土地被覆分類・変化抽出） 4) グラントゥールス等現地調査 5) 炭素蓄積量の推定等の解析 6) データベース
プランニングフェーズ	⑥課題解決に向けた帰国後のアクションプランを作成する	1) アクションプランの作成 2) フィールドトリップ 3) 地域づくり等のプロジェクト事例の紹介

ていた。

3. 設計した研修プログラム

研修プログラムの内容は毎回、前回の研修員からのフィードバック等に基づいて改善を行っている。ここでは最新のプログラムである2014年のBコースを例に紹介する。

3.1 体系

研修の体系を表1に示す。前述の研修の目的を達成するために、まず6つの目標を設定し、これらを

知識の習得や課題の整理に重点をおいた知識フェーズ（目標①、②）、技術の習得に重点をおいた技術フェーズ（目標③、④、⑤）、帰国後のアクションを考えるプランニングフェーズ（目標⑥）の3フェーズに分け、研修内容及びスケジュールを組み立てた（表2）。次に、各フェーズの詳細を説明する。

3.2 知識フェーズ

目標①について、それぞれの国の現状を報告する「カントリーレポート発表会」を行った。発表会に向けて発表資料を作成することで自国の現状を再認識

表2 研修内容及びスケジュール

2014 年の B コースの日程表を最近の例として挙げる。

日付	時刻	形態	研修内容	ねらい	目標
9/ 4(木)	9:30~15:00		プログラムオリエンテーション等	研修員自己紹介, 関係者紹介, 本研修案件目標, 単元目標, 成果確認	
9/ 5(金)	9:30~16:00	講義	地球温暖化問題と REDD	森林リモートセンシング活用の背景となる地球温暖化や REDD についての科学的知見を得る	2
9/ 6(土)	9:30~16:00		IPCC による科学的知見		
9/ 9(火)	9:30~12:00	見学	国土地理院視察	日本の測量システムと地球地図プロジェクトを知る	2
	13:00~14:30		JAXA 筑波宇宙センター視察	日本の宇宙開発技術を知る	2
9/10(水)	9:30~16:00	講義	REDD+におけるリモートセンシング活用・炭素推定モデル 森林モニタリングデータベースの事例紹介	REDD+におけるリモートセンシングの活用やデータベースの事例を知る	2
9/11(木)	9:30~16:00	講義	GIS, リモートセンシングソフトウェア及び人工衛星の最新動向	モバイル端末をつかったデータ収集とシームレス収集等 ArcGIS や ENVI に関するソフトウェアと人工衛星技術の最新動向を知る	2
9/12(金)	9:30~11:30	講義	生物多様性と REDD	森林を多角的に見る視点を獲得	2
	13:00~15:00		OpenstreetMAP	無料のデータ共有システムの最新動向を知る	2
9/16(火)	9:30~16:00	講義	オリエンテーション&キャンパスツアー アクションプランのガイダンス	アクションプランの考え方に学ぶ。 野生動物管理や水質保全等関連する研究を知る	2
9/17(水)	9:30~12:00	講義	カントリーレポート	他の国の状況を知る	1
	13:00~16:00	演習	GIS・リモートセンシングソフトの基礎	本研修で使用するソフトウェアの確認と練習	3, 5
9/18(木)	9:30~16:00	演習	リモートセンシング演習 基礎知識	リモートセンシングの基礎知識及び, 様々な衛星画像データの特徴を知る	3
9/19(金)	9:30~16:00	演習	リモートセンシング演習 分光特性の把握 地上観測データを用いた NDVI の計算	地上観測により分光特性を学ぶ	3, 4
9/22(月)	9:30~16:00	演習	リモートセンシング演習 画像分類 (教師無, 教師付き分類 (Maximum likelihood 法))	画像分類技術を学ぶ	3, 4
9/24(水)	9:30~12:00	演習	リモートセンシング演習 教師付き分類 (Maximum likelihood 法), 分類精度を検証	画像分類技術を学ぶ	3, 4
9/25(木)	9:30~12:00	演習	リモートセンシング演習 様々な教師付分類 (Maximum likelihood 法以外) と画像分類の練習	様々な教師付分類の手法を学ぶ	3, 4
9/26(金)	9:30~12:00	演習	グランドトゥールズ GPS を用いたグランドトゥールズ	GPS 技術と GPS データのグラウンドトゥールズデータとして活用方法を学ぶ	3, 4, 5
9/29(月)	9:30~12:00	演習	リモートセンシング演習 変化抽出	変化抽出の技術を学ぶ	3, 4, 5
9/30(火)	8:30~15:00	演習	GIS 演習 面積集計, 土地利用の変化集計	ArcGIS を用いたデータ集計技術を学ぶ	3, 4, 5
	15:00~16:00	講義	北海道でのカーボンクレジットの事例	ローカル版カーボントレードの事例を知る	6
10/ 1(水)	8:30~17:00	視察	フィールドトリップ 下川町 カーボンクレジットの取組と FSC 認証の森林の見学	森林を活用した地域づくりを学ぶ	6
10/ 2(木)	9:00~15:00	視察	フィールドトリップ 北海道大学名寄・雨竜演習林見学	北海道の森林タイプや様々な研究を知り視野を広げる	6
10/ 3(金)	9:30~16:00	講義	リモートセンシング演習 リモートセンシング技術のレビューと応用例	リモートセンシングの最先端研究を知る	3, 4
10/ 6(月)	9:30~16:00	演習	リモートセンシング演習 UAV を用いた観測とデータ処理	UAV の基礎知識及び観測技術, モザイク画像作成, 幾何補正等データ処理を学ぶ	3, 4
10/ 7(火)	9:30~12:00	演習	リモートセンシング演習 UAV を用いた観測とデータ処理	Point Cloud の可視化技術を学ぶ	3, 4
	13:00~16:00		リモートセンシング演習 SAR データの基礎	マイクロ波を利用したリモートセンシングの基礎と応用を学ぶ	3, 4
10/ 8(水)	9:30~12:00	演習	リモートセンシング演習 SAR データの基礎	マイクロ波を利用したリモートセンシングの基礎と応用を学ぶ	3, 4
10/ 9(木)	9:30~12:00	演習	リモートセンシング演習 SAR データの基礎	光学衛星画像と併用した土地被覆図の作成技術の確認	3, 4
	13:00~16:00		グランドトゥールズ 樹木の炭素貯留量推定の考え方 野生動物の森林被害の対策方法の紹介	樹木の炭素貯留量推定, 野生動物により森林被害について学ぶ	3, 4, 5
10/10(金)	9:30~12:00	演習	GIS 演習 InVEST モデル	InVEST モデルによる炭素収支の計算を理解する	4, 5
	13:00~16:00	講義	JICA の REDD+プロジェクトの紹介	JICA が行っている REDD+プロジェクトの事例を知る	6
10/14(火)	9:30~12:00	演習	GIS 演習 InVEST モデル	InVEST モデルによる炭素収支の計算を理解する	4, 5
10/15(水)	9:30~12:00	演習	GIS 演習 InVEST モデル	InVEST モデルによる炭素収支の計算を理解する	4, 5
	13:00~16:00		学校訪問	北海道の中学生との交流	
10/16(木)	9:30~16:00	演習	データベーステクニック	衛星画像データのデータベース化を学ぶ	4, 5
10/17(金)	9:00~16:00	演習	アクションプラン作成と発表会	帰国後のアクションを考える	6
10/20(月)					
10/21(火)					

目標の数字は, 研修の各フェーズの目標と対応している

できるとともに、他の国からの研修員の発表を聞くことで、他国の現状も知ることができる。発表会は公開で行っており、酪農学園大学の学生・院生にも世界の森林を中心とした環境問題の現状について学び意見交換する機会にした。目標②については、REDD+の仕組みやリモートセンシング技術の役割及び活用事例に加え、気候変動に関する基礎知識、IPCC(気候変動に関する政府間パネル, Intergovernmental Panel on Climate Change)における最新の議論等を紹介した。

3.3 技術フェーズ

REDD-plus Cookbook³⁾等を参考にし、目標③、④については、1) 理論、2) 衛星画像等の入手と事前処理、3) 画像処理(土地被覆分類・変化抽出)、4) グラントゥールス等現地調査を、目標⑤については、5) 炭素蓄積量の推定等の解析、6) データベースを主なテーマとした。研修で使用したソフトウェアは、ESRI社のArcGIS、Exelis社のENVIといった高機能な有償ソフトを主とした。パデュー大学が作成したフリーソフトであるMultiSpecも紹介した。ArcGISは世界で最も多く使用されているGISのソフトウェアで、近年リモートセンシングの基礎的な機能も充実しつつあり、リモートセンシングからGISまで総合的に学ぶのに適している。ENVIはリモートセンシング専用のソフトウェアであり、高度な画像分類手法等、数多くの機能が搭載されており、高度な技術を学ぶのに適している。

(1) 理論

光学センサーやマイクロ波センサーの特性と活用するうえでの要点、分類やNDVI等の指数の計算方法、変化抽出手法、炭素貯留量の評価方法等、REDD+に深く関係する技術について理論を紹介した。特に衛星画像データが、地上のどのような状況を表しているか解釈することはリモートセンシングを学ぶ上で非常に重要である。この点をより実感を持って学べるように、フィールドにて樹木、土、水等の地物の放射を計測し、分光特性についての感覚を得るトレーニングを行った。

(2) 衛星画像等の入手と事前処理について

光学衛星としては、運用年数が長く時系列変化の把握に適するランドサット衛星が有名であるが、マイクロ波データもALOS PALSAR画像(25m解像度)がJAXAから無料で公開されている。研修では、研修員が帰国後すぐに活用できるように、主にこれ

らを使用した。また、有償ではあるが中分解能のALOS AVNIR-2, PRISM, 高分解能のWorldview2等も用いた。事前処理については、反射率への変換、大気補正といった衛星画像の値を調整する処理や、複数画像の結合、特定の地域の切り抜き等のデータベース作成に関する処理を行った。衛星画像だけでなく、近年注目を集めている技術であるUAV(Unmanned Aerial Vehicle)による航空写真撮影の方法や撮影された複数枚の画像の結合方法、3次元データの作成等、解析前の事前処理についても紹介した。

(3) 画像処理(画像分類・変化抽出)

画像分類については、教師無、教師付分類の各種手法についての理論とArcGISやENVI等での実際の操作を学んだ。分類手法については、最尤法等の一般的な手法や、サポートベクターマシン等の機会学習理論を用いた手法を紹介した。同一画像で様々な手法を試行し、それぞれから得られた結果を比較することで利点や欠点の理解を促した。デモデータの画像を用いて、手順を確認しながら分類処理全体の流れに対する理解を深める時間と、自国の画像を取得し、自分で分類できるよう練習する時間を設けた。分類精度の検証や、分類のための教師データの作成について、統計理論も含めたサンプリング方法や、精度検証方法等を紹介した。実際には現地調査も必要になるため、後述するグラントゥールス等現地調査とも併せて行った。基本的な分類処理を習得した後は応用として、マイクロ波リモートセンシングの理論や画像の特徴、光学センサー画像との組み合わせによる、雲の除去等、土地被覆分類図の精度向上のための手法を学んだ。

森林減少の要因等の特定に役立つと考えられる森林の変化抽出については、NDVI(正規化植生指数)を2時期の画像について計算し、これらを組み合わせ配色することで変化を確認する方法と、土地被覆図を2時期分作成し、これらを比較する方法を学んだ。後者については、研究分野を中心に全世界で利用されている統計解析フリーソフトR(R Development Core Team)を用いた統計処理を加えた。例えば森林減少と農地の増加の関係といった、土地被覆のカテゴリ間関係性も分析した。

(4) グラントゥールス等現地調査

土地被覆図作成や精度検証のための現地情報の取得技術として、GISを用いた調査地点のデータの作成方法、調査地点や背景画像のGPSへの入出力方

法、GPS やカメラを用いた現況の記録方法等を大学に隣接する野幌森林公園内等を用いて実習した。炭素蓄積量の把握のための森林調査も適宜行い、樹高や胸高直径の計測方法等を紹介した。

(5) 炭素蓄積量の推定等の解析

土地被覆図と、土地被覆（森林）タイプ毎に現地調査から求められた炭素蓄積量の原単位を掛け合わせて地域全体の炭素蓄積量を計算する方法を紹介した。この方法は、スタンフォード大学が開発した無料の生態系サービスの評価モデルである InVEST モデルに実装されており、リモートセンシングにより求めた各国の土地被覆図を用いて実際に炭素蓄積量を計算した。

炭素蓄積の原単位については、研修員それぞれの国の現状に則した値を現地調査から算出しなければならず、実習内では、これを用いることはできない。今回は、リモートセンシングや GIS を用いた算出法の習得に力点を置き、炭素蓄積の原単位については IPCC が提示している大陸毎の値等を用いた。ただし、本研修では原単位の算出方法の理論を学ぶ時間も設け、アロメトリー式の紹介や、現地調査の方法、ガスクロマトグラフィ等炭素蓄積量の計算に必要な機材の見学等を行うとともに、隣接する野幌森林公園にて、胸高直径や樹高等を計測し、実際にアロメトリー式を用いた計算も行った。

前述の InVEST モデルには、炭素蓄積だけでなく、生物多様性評価、木材生産、景観、土砂流出防止、水質浄化等、様々な生態系サービスを評価するモデルが実装されており、炭素貯留だけでなく、他の生態系サービスについても視野が広がるよう概略を紹介した。

(6) データベース

国レベルの森林データベースの作成については、データベース構築に関する専門的な知識が必要であり、本研修の範囲を超えるものが多い。そこで本研

修では、衛星画像データや、前述の現地調査の写真、GPS データ、帳簿データ等の情報を、GIS を用いてデータベース化する方法に焦点を絞り紹介した。具体的には、多時期で広範囲の衛星画像を ArcGIS で整理、蓄積する方法や、現地調査の写真データや帳簿データを、GPS データ等の位置情報と関連付けて、空間的に整理する方法である。これらは、REDD+において国家レベルのデータベースを作成する際にも活用可能な手法である。

3.4 プランニングフェーズ

知識フェーズ、技術フェーズで得られた知識、技術を総合し帰国後のアクションプランを作成する。目標⑥に該当するプランニングに必要な項目や考え方を紹介し、また作成過程で、助言を行うことでプランニング能力を高めた。本研修では、森林資源管理が進んだ際の視点として、地域住民の生活と森林保全の両立のヒントを得るために、フィールドトリップも行った。星野リゾート・トマムにおける雲海や洞爺湖におけるジオパーク等の気象や地形等を活かした観光開発事例、釧路湿原周辺域における湿原保全と地域産業の両立に向けた取り組み、下川町における森林資源を最大限に活かした地域づくりを見学した。

4. 研修の評価

研修の終了後、研修員に対してアンケートを行い、研修を評価した。まず研修全体を評価するために、まず、研修プログラムのデザインに関して、コース設計が適切であったか、次に、研修内容の有益性に関して、帰国後に役に立つかを問うた(表3、表4)。さらに、研修内容について、「特に有益であったコンテンツ」、「必要ではなかったコンテンツ」、「扱われなかったが、含むべきコンテンツ」を問うた。研修内容については自由記載であったため、何について言及しているかを要約、分類し件数等を集計した。

研修プログラムのデザインに関しては、研修員の

表3 研修プログラムのデザインに関する評価

コース名	2013A		2013B		2013C		2014A		2014B		全体	
評価	人数 (人)	割合 (%)	人数 (人)	割合 (%)	人数 (人)	割合 (%)	人数 (人)	割合 (%)	人数 (人)	割合 (%)	人数 (人)	割合 (%)
4	6	54.5	10	90.9	4	50.0	10	100.0	8	66.7	38	73.1
3	3	27.3	1	9.1	4	50.0	0	0.0	4	33.3	12	23.1
2	2	18.2	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	2	3.8
1	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
総計	11	100.0	11	100.0	8	100.0	10	100.0	12	100.0	52	100.0

とても適切である：4、適切である：3、適切ではない：2、まったく適切でない：1
各コース、全体について、評価毎の人数と割合を示している、N=52

表4 研修内容の有益性に関する評価

コース名	2013A		2013B		2013C		2014A		2014B		全体	
評価	人数 (人)	割合 (%)	人数 (人)	割合 (%)	人数 (人)	割合 (%)	人数 (人)	割合 (%)	人数 (人)	割合 (%)	人数 (%)	割合 (%)
A	8	72.7	9	75.0	4	50.0	10	100.0	8	66.7	39	73.6
B	3	27.3	3	25.0	4	50.0	0	0.0	2	16.7	12	22.6
C	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	2	16.7	2	3.8
D	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0
総計	11	100.0	12	100.0	8	100.0	10	100.0	12	100.0	53	100.0

A：はい、業務に直接的に活用することができる、B：直接的に活用することはできないが業務に応用できる、C：直接的に活用、応用することはできないが、参考になる、D：いいえ、役にたたない

各コース、全体について、評価毎の人数と割合を示している、N=53



図3 特に有益であったコンテンツ

図中の数字は言及された件数を示す。文字サイズ、面積は件数に対応しているが、面積については、上位のカテゴリーの件数によって重み付けされている。

73.1%が適切であると評価しており、また、研修内容の有益性に関しても、A（はい、業務に直接的に活用できる）が73.6%であり、研修全体の評価は高かった。前述した、研修目的、研修目標、研修の期

間、研修スケジュール等研修全体のデザインは適切で、研修員の業務に役立つ内容であったことが分かった。

「特に有益であったコンテンツ」は480件、「必要

ではなかったコンテンツ」は5件であり、提供した内容に不要なものはほとんどなかった。「扱われなかったが、含むべきコンテンツ」は19件であり、おむね必要な内容を網羅できていた。

4.1 有益であったと評価されたコンテンツ

各フェーズで「特に有益であったコンテンツ」(図3)を集計すると、技術フェーズ326件と知識フェーズ117件、プランニングフェーズ37件であり、技術フェーズで最も関心を集めた。全体として関心を集めたのは、技術フェーズの「リモートセンシングにおけるピクセルベースの画像分類技術」(53件)と「GPSを用いたグラントゥールス(現地調査)」(53件)、「知識フェーズのREDD+に関する知識」(45件)であった。

これらは、REDD+の主旨や制度の理解と、衛星画像から森林面積域の把握及び精度検証、森林のバイオマス推定に資するデータの計測といったREDD+におけるリモートセンシング活用の根幹となる部分であり、基礎から中級レベルの研修として、最も重要な内容が研修全体として関心を集めたといえる。

(1) 知識フェーズ

知識フェーズでは、「REDD+に関する知識」、「GIS・RSの活用事例」、「GIS・RSのトレンド」が特に有益として多く挙げられた。最も件数が多かったのは「REDD+に関する知識」である。ここでは、REDD+の前提となる気候変動やIPCC等の国際的な動向、REDD+の枠組み等が主なキーワードとして挙げられたが、同時に「REDD+と生物多様性」も挙げられた。国によっては森林管理セクターに野生生物管理が含まれる、あるいは持続可能省のような包括的な省庁に森林管理と野生動物管理の両方が属するなど、関連するテーマとして理解され易かったことも要因として考えられる。

GIS・リモートセンシングの活用事例について、キーワードとして挙げたのは「森林モニタリングシステム」、「アマゾンのプロジェクト」、「マイクロ波リモートセンシングの活用事例」であった。森林モニタリングシステムは今後、REDD+対象国で構築が求められおり、また、アマゾンでのプロジェクトもREDD+の先駆的な存在であることから参考事例として重要であったと考えられる。マイクロ波リモートセンシングの活用については、技術フェーズでも有益として挙げられており、今後期待される技術であることが伺える。

(2) 技術フェーズ

技術フェーズでは、「グラントゥールス」、「ピクセルベースの画像分類」が特に有益として多く挙げられた。しかし、技術フェーズとして多く時間を割いたのは、ピクセルベースの画像分類やGISソフトウェアを用いた地図操作、炭素蓄積量の計算等であり、グラントゥールスには、あまり力点をおいていなかった。グラントゥールスへの関心が想定よりも高かったことが伺える。グラントゥールスに関係して、GPSとカメラを用いた位置情報付の写真による現地調査法や既存GPSに画像分類結果等の画像データを組み込み現地で確認する技術が有益として挙げられた。

ピクセルベースの画像分類技術については、「教師付分類」がキーワードとして多く挙げられた。分類方法に関しては、機会学習理論を用いた手法も紹介したが、これについては有益として挙げられなかった。これらは、初中級レベルの内容としては多少難易度が高かったと推測される。知識フェーズを中心に紹介した「オブジェクトベース分類」は、人間の目と脳による画像認識に近い柔軟な分類が可能な分類手法で近年注目されているが、他の基礎的な分類手法を中心に学んだため、キーワードとしての件数は少なかった。

技術フェーズで次に件数が多かったのは、「リモートセンシングの理論と基礎操作」と「InVESTモデル等を用いた炭素蓄積量等GISでの集計と解析」であった。前者は画像分類を行うための理論的背景やソフトウェアの基礎操作であり、後者は、画像分類で得られた土地被覆分類等をREDD+の文脈で活用していくために必要な解析であり、他の技術フェーズで有益と評価された項目も含めるとリモートセンシング技術をREDD+に活用する一連の技術が評価されたことになる。ただし、大気補正や反射率の計算等の「衛星画像の事前処理」や「精度検証」といった重要ではあるが若干難易度が高い部分については、あまり支持されなかった。

森林地域の「変化抽出」もREDD+として重要な技術であるが、前述の技術に比べると有益と評価された件数が若干少なくなっている。これは、変化抽出が分類技術を習熟したうえでの技術であり、基礎技術に比べると学習の優先順位が低くなったことによると考えられる。

近年、雲の多い熱帯域の観測技術として、雲を透過するマイクロ波を用いたリモートセンシングが注目を集めているが、技術フェーズでは「SARデータの利用」(SAR: Synthetic Aperture Radar)とし

てキーワードが挙げられており、難易度の高い技術であるが注目の高さが伺える。また、データに関しては、「無料データの取得方法」にも一定程度の関心が得られた。特に ALOS PALSAR 画像等が公開されていることを知らなかった研修員も多く、限られた予算で事業を実施するための情報として、関心を得られたと考えられる。

最後に、先端技術として、ドローンを用いた観測もキーワードとして挙げられたが、件数はそれほど多くなかった。空中写真撮影を高頻度で行え、3 次元のデータを計測できるという利点はあるが、撮影範囲が狭いことや、高価であることから、まだ自国での活用を検討しにくかったと考えられる。

(3) プラニングフェーズ

プラニングフェーズでは、「フィールドトリップ」や、酪農学園大学等がマレーシアで行っている地域づくりのプロジェクト、北海道や日本におけるカーボンのクレジットに関する取り組み等「REDD+以外のプロジェクト事例」が有益とされた。フィールドトリップは、「アクションプランのアイデアとなった」等、アクションプラン作成に資する情報となったようだ。アクションプランの作成については、アクションプランの考え方や助言等のガイダンスが有益とされた。

4.2 必要でなかったと評価されたコンテンツ

有益なコンテンツに対して件数は少ないが、5 つコンテンツが研修員から必要性が低いと指摘された。これらは、研修員全体の需要を満たしていたと思われるが、特定の研修員の自国の知識・技術レベ

ルや森林管理体制にとっては必要性が低かったと思われる。必要性が低いとされたコンテンツは、「オブジェクトベース分類」、「SAR に関する科学的で難しい講義」、「知識フェーズでの多すぎる事例」、「フィールドトリップ」、「オリエンテーション／キャンパスツアー」の 5 つ（いずれも 1 件）であった。「オブジェクトベース分類」についてはこれ以上高価なソフトを購入できないという理由であったが、使用する技術は国により異なり、他の国では重要な技術ともなり得る。「SAR に関する科学的で難しい講義」については、研修員それぞれの知識量によるが、SAR はその理解に高度な物理、数学の知識が必要であり理解が難しかったと考えられる。また、「知識フェーズでの多すぎる事例」、「オリエンテーション／キャンパスツアー」、「フィールドトリップ」は、持続可能な森林管理に密接に関係するテーマと考え行なった野生動物管理・水質保全の研究紹介及び、地域産業と自然保護の両立に関する視察に対する意見であった。REDD+ 及び森林管理の対象範囲に対する認識は、研修員によって異なるため、特に英語が苦手な研修員には意図が十分に伝わらず、これらが分野外として認識されたと思われる。

4.3 扱われなかったが含むべきと評価されたコンテンツ

扱われなかったが、含むべきコンテンツについて、フェーズ毎に整理した（表 5）。知識フェーズでは、自主的なカーボンマーケットや、CDM における他の炭素蓄積量の評価方法、セーフガード等、制度設計に関する部分が多く挙げられた。今回は、技術研修であったため、これらについてあまり深く取り上

表 5 扱われなかったが含むべきコンテンツ

フェーズ	コース名	内 容	件数
知識フェーズ	2013A	自主的なカーボンマーケットの事例	2
		CDM の他の炭素評価手法	1
		REDD+の+の内容	1
	2014B	MRV に関する国際的な手法	1
		REDD+のセーフガード	1
技術フェーズ	2013A, 2013C	SAR 及び LiDAR	2
	2013A, 2014B	他の GIS モデル	2
	2013C, 2014A	データベース	2
	2013A	GIS_Python	1
		リモートセンシングテクニック DataFusion	1
		WebGIS	1
	2013B	GIS やリモートセンシングを用いた流域管理	1
		様々なリモートセンシングソフトウェア	1
		森林劣化の問題	1
プラニングフェーズ	2013C	地域コミュニティとの交流	1

げなかったが、関心の高い研修員には充分ではなかったと考えられる。

技術フェーズでは、データベース、SAR 及び LiDAR (Light Detection and Ranging)、GIS モデル等が挙げられた。これらについては、一つの技術やモデルの説明から他のモデルへの関心が生まれた結果であると考えている。

プランニングフェーズでは、フィールドトリップについて、「地域コミュニティとの交流」が挙げられた。「事例を当事者から聞くだけでなく、地域住民が実際どのように受けとめているかを知りたい」という趣旨であるが、これは環境教育に関心があり、自国で取組を行っている研修員から出されたものである。

5. ま と め

アンケートの結果から、今回設計し実施した研修は、REDD+推進に向けたリモートセンシングの活用のための知識や技術を網羅的に提示し、研修員の業務に役立つ内容であったと評価できる。

前述したアンケートにおける各フェーズで有益とされたコンテンツの結果をみると、知識フェーズでは、「REDD+に関する知識」、「GIS・リモートセンシングの活用事例」、「GIS・リモートセンシングのトレンド」が有益とされた。技術フェーズでは、まず、「グランドトゥールース」、「ピクセルベースの画像分類」が有益とされ、次に「リモートセンシングの理論と基礎操作」や「InVEST モデル等を用いた炭素蓄積量等 GIS での集計と解析」が有益とされた。これらは、リモートセンシング技術を REDD+に活用するための中心的一連の知識及び技術といえる。

一方で、上記に関連する技術であるが、変化抽出や衛星画像の事前処理等の技術については、前者に比べると有益とされた件数は少なかった。このような技術は、基礎技術を学んだうえでの発展的内容と捉えることができ、基礎技術を充分に行ったうえで取り組むと良い内容であると考ええる。

以上の結果から、基礎レベルの研修として、中心的一連の知識及び技術を学べるよう設計することが研修員にとって有益であるといえる。

ただし、本研修では、約1ヵ月程度の期間をかけて技術フェーズを行っているが、リモートセンシングやGISの初学者にとっては、基礎技術を確実に習得し、発展技術を学ぶためには「期間が足りない」との指摘が多くみられ、研修を1、2週間程度延長できれば、発展技術まで確実に習得できると考えられる。

今後、特にニーズが高まると考えられるのは「マイクロ波リモートセンシング」であり、この利活用に関する研修については充実させる必要がある。さらに、理論の説明等は、研修員の物理学や数学の知識が少なくても理解できるように、図等を多用し視覚的理解を促していく必要がある。

プランニングフェーズでは、フィールドトリップや、参考となる他のプロジェクトの事例が有益とされた。これに関しては、「扱われなかったが含むべきコンテンツ」として、「地域コミュニティとの交流」が挙げられた。研修員が地域の事例について直接住民から意見を聞くことができる機会となり、また地域住民にとっても外部の視点を取り入れることができる等、双方にメリットのある取組みと考えられる。昨今、地方創生に注目が集まっており、それにも貢献できるアイデアである。

「扱われなかったが含むべきコンテンツ」として、森林劣化に関する言及があったが、これについては森林劣化とは何かという定義からスタートする必要があるが、REDD+の国際会議においてはまだ議論中である。しかし、技術面では様々な手法が開発されつつあり、技術研修として、これらの手法に関して有用性等を紹介し、研修員の対応の幅を広げておく必要があると考えている。これについて、LiDAR は一つのキーワードとなると考えられる。

知識フェーズで REDD+と生物多様性の関係に関して有益として挙げられたが、研修員の業務の範囲は森林だけに留まらないことがある。例えば、ブルキナファソの研修員は、「GIS やリモートセンシングを用いた流域管理について知りたい」という意見について、「森林管理と洪水対策が密接に関係する」と指摘した。研修の設計は REDD+という枠組みを基本として行われるが、実際の対策を考慮すると前述のように様々な分野を想定に入れる必要があり、より実践的な内容を提供するための課題である。InVEST モデルは本来、生態系サービス評価のモデルであり、炭素以外にも、生物多様性や水質浄化、土砂流出防止、景観等様々なサービスを評価でき、将来の土地利用の在り方を検討するのに適している。2013 年の C コースでは、「異なるシナリオの分析に有効である」(インドネシアの研修員)、「異なるシナリオの分析により、REDD+プロジェクトの活動に関する良好な計画を立案できる」(ブラジルの研修員)という意見が挙げられる等、土地利用の管理という大きな視点において、研修員の多様なニーズに対応できるものであり、技術研修としてはこのようなモデルをニーズに併せて柔軟に紹介していくこと

で、より実践的な内容に改善できると考えられる。

最後に、無料データの取得についても、研修上有益であるとされたが、研修員が帰国後に高額なソフトウェアを買えない状況等も考慮し、商用ソフトやデータに依存せず、無料のデータやフリーソフトウェアの活用についても研修で伝えていく必要があると考えている。

本論文は、今後 REDD+に関して様々な機関で行われるリモートセンシング等の技術研修の継続的な質の向上に資することを目的としている。前述したプログラム設計上の要点や課題が参考となり、同様の研修がより効果的に実行され、さらには REDD+が目指す途上国における気候変動対策が進むことを切望する。

謝 辞

本研修には、これまで世界各国から 54 名の研修員が参加したが、研修中、研修後に様々なフィードバックを頂いた。また、研修の運営、進行には JICA スタッフ、コーディネーター、酪農学園大学の学生、職員の皆様に多大なるサポートを頂いた。講師を引

き受けて頂いた皆様、フィールドトリップにご対応頂いた地域の皆様には、研修員のニーズに対応頂くため多忙な中、様々なリクエストに対応頂いた。本論文執筆にあたり、酪農学園大学非常勤講師（北海道大学文学研究科専門研究員）の川村真也氏には様々な助言を頂いた。ここに重ねて御礼申し上げる。

引用文献

- 1) 国際航業株式会社：転換期を迎える環境ビジネス 概説 REDD+, アスキー書籍, 東京, 2013.
- 2) SBSTA31: Draft decision, http://unfccc.int/files/na/application/pdf/cop15_ddc_auv.pdf (2015.6.10), 2009.
- 3) UN-REDD: Role of satellite remote sensing in REDD Issues Paper, http://www.unredd.net/index.php?option=com_docman&view=list&slug=mrv-94&Itemid=134 (2015.6.10).
- 4) (編)平田泰雅, 鷹尾 元, 佐藤 保, 鳥山淳平: REDD-plus Cookbook, 独立行政法人森林総合研究所 REDD 研究開発センター, 2012.

Abstract

A training course on forest remote sensing for participants from developing countries has been conducted by Rakuno Gakuen University since 2011. This course is intended to build capacity to support REDD+ framework. To make a reference on remote sensing training for REDD+, we have evaluated and summarized our course which was held in 2013 and 2014.

As a result, it was rated as comprehensive and appropriate design, and also useful for participant's current work. The contents which were evaluated as useful were 'Basic knowledge of REDD+', 'Applications of GIS or Remote Sensing for Forest management in the context of REDD+', 'Latest trend of GIS or Remote Sensing' in the knowledge phase. In the technical phase, 'Ground Truth', 'Pixel base classification' were the most useful while 'Basic theory and operation of Remote Sensing', 'Calculate and Analyze carbon stock using InVEST model under GIS' next.

It is considered that it is important for beginner and intermediate participants to design the course to learn sequential technologies toward estimating carbon stock, e.g. the aforementioned items.

On the other hands, some points are expected to be improved in the design.

At first, although international discussion about definition of degradation has been continued, technologies to measure it have been improved. Therefore, LiDAR would be one of the key technologies for the future training course.

Secondly, the completed training courses were focused on forest. However, in order to conserve forests in the respective countries of participants, it needs to cover various fields not only for forestry but also biodiversity, flood management, local communities' involvement, and so on. InVEST model has various models to evaluate ecosystem services, e.g. biodiversity, prevention of landslides. Introducing various models similar to InVEST model could answer various requests from participants in order for them to make better land use management.

Lastly, Free GIS, Remote sensing software and data have to be taken into account as potential contents.