

国際科学技術共同研究推進事業
地球規模課題対応国際科学技術協力プログラム (SATREPS)

研究領域「地球規模の環境課題の解決に資する研究」

研究課題名「アンデス-アマゾンにおける山地森林生態系保全のための
統合型森林管理システムモデルの構築」

採択年度：令和2年（2020年）度/研究期間：5年/

相手国名：ペルー共和国

令和5（2023）年度実施報告書

国際共同研究期間^{*1}

2022年 1月30日から2027年 1月29日まで

JST側研究期間^{*2}

2020年 8月 1日から2026年 3月31日まで

（正式契約移行日 2021年 11月 1日）

*1 R/Dに基づいた協力期間（JICAナレッジサイト等参照）

*2 開始日=暫定契約開始日、終了日=JSTとの正式契約に定めた年度末

研究代表者：平田 泰雅

森林研究・整備機構・研究専門員

I. 国際共同研究の内容 (公開)

1. 当初の研究計画に対する進捗状況

(1) 研究の主なスケジュール

研究題目・活動	暫定期間	1年目	2年目	3年目	4年目	5年目	(JICA)
1. 研究題目1【成果1】「森林の炭素蓄積変化や劣化度合いを加味した時系列の土地利用変化の特定」							
1-1 研究活動1-1【活動1-1】	過去の様々な土地利用に関する長期データと情報の収集						
1-2 研究活動1-2【活動1-2】				機械学習法による土地利用変化の抽出			
1-3 研究活動1-3【活動1-3】				スペースLiDARによる森林の3次元構造モデルの作成		時系列土地利用マップの作成	
1-4 研究活動1-4【活動1-4】							
2. 研究題目2【成果2】「森林減少・森林劣化の定量的な評価技術の開発」							
2-1 研究活動2-1【活動2-1】	調査候補地の選定 現地情報収集		森林炭素、生物多様性の変異の把握				
2-2 研究活動2-2【活動2-2】			回復ポテンシャルの定量化			回復ポテンシャルマップの作成	
2-3 研究活動2-3【活動2-3】							森林管理方針の提案
2-4 研究活動2-4【活動2-4】							
3. 研究題目3【成果3】「火災攪乱後の森林回復プロセスの評価」							
3-1 研究活動3-1【活動3-1】	現地火災情報の収集		火災攪乱強度と森林構造の変化傾向の分析				
3-2 研究活動3-2【活動3-2】					保全手法の開発		
3-3 研究活動3-3【活動3-3】							モニタリング手法の開発
3-4 研究活動3-4【活動3-4】							
4. 研究題目4【成果4】「水資源モデルによるランドスケープ最適化システムの開発」							
4-1 研究活動4-1【活動4-1】	水文・水資源に関するデータと情報の収集						
4-2 研究活動4-2【活動4-2】			水資源供給量と需要量の算定				
4-3 研究活動4-3【活動4-3】				最適化システムの開発			
4-4 研究活動4-4【活動4-4】					システムの対象地域への適用・検証		
4-5 研究活動4-5【活動4-5】							水不足に対する適応策の提案
5. 研究題目5【成果5】「森林保全と生態系サービスの持続的利用のための森林管理システムモデルの開発」							
5-1 研究活動5-1【活動5-1】	調査候補地の選定 現地情報収集					土地利用変化の要因把握と森林管理の地元ニーズ特定	
5-2 研究活動5-2【活動5-2】							シナリオに基づく費用便益分析実施
5-3 研究活動5-3【活動5-3】						森林管理システム提案	
6. 研究題目6【成果6】「森林管理システムの社会実装」							
6-1 研究活動6-1【活動6-1】						シナリオ判断因子の特定と森林管理システムへの組み込み	
6-2 研究活動6-2【活動6-2】						操作マニュアル開発	
6-3 研究活動6-3【活動6-3】						政府職員向けの研修	
6-3 研究活動6-4【活動6-4】						ワークショップ開催	

(2) プロジェクト開始時の構想からの変更点(該当する場合)

COVID-19 のパンデミックにより国際共同研究の開始が大幅に遅れたことにより、国際共同研究期間の5年目はJSTの契約期間終了日以降となった。このため、社会実装に関連する活動の時期を国際共同研究期間に合わせるように調整した。また、現地調査が開始できたのが2年目であったため、調査データの収集が当初計画の通り進んでおらず、活動期間を一部延長した。

2. 計画の実施状況と目標の達成状況 (公開)

(1) プロジェクト全体

・プロジェクト目標の達成状況とインパクト

プロジェクト目標のアンデスアマゾンにおいて地域住民が森林生態系サービスを持続的に保全・利用するための森林管理システムモデルを開発するため、年度計画を前倒しして、森林管理システムモデルの設計を開始した。これによりプロジェクト目標は、社会実装を除いてJST側研究機関内に、また、社会実装については国際共同研究機関内に達成できる見込みである。

今年度に入り様々な規制が緩和されて各研究題目で現地を訪れる機会が増えたことにより、行政機関の地方事務所や町の役場を訪問することができ(写真1-1)、プロジェクトへの理解を得られた。また、調査で訪れた地域コミュニティに対して調査前に同様の説明を行い、地域住民からも水資源の現状や森林保全に対する意見を聞き取ってコミュニケーションを図ってから調査に入るようになっている(写真1-2)。このような手順を踏むことにより、現地での案内や農地へ立ち入りなど地域住民からの協力を得られている。



写真 1-1 森林野生動物庁アバンカイ事務所



写真 1-2 調査前の地域住民への説明

・地球規模課題解決に資する重要性、科学技術・学術上の独創性・新規性(これまでと異なる点について)

アンデスからアマゾンに至る地域は、標高差に応じた異なる環境に対応する多様な生態系を保持している。このような山地生態系は様々な生態系機能を有していて、地域住民の生活と緊密に関連している。一方、アンデスの生態系は人間活動に対して極めて脆弱である。さらに、アンデスは気候変動の影響により温暖化と乾燥化が進むことが懸念されており、森林火災の多発化が山地生態系にダメージを与え、水資源の不足が地域住民の生活に大きな影響を与えることが懸念されている。このような脆弱な生態系を維持し保全するためには、科学的な根拠に基づいて持続的に森林を管理することが重要である。

【令和5年/2023度実施報告書】【240531】

本研究では、AI 技術の一つである機械学習法やアメリカ航空宇宙局（NASA）により国際宇宙ステーションに搭載された LiDAR（センサ名：GEDI）で得られる森林の3次元構造に関するデータを活用することで、山地生態系の把握に適した土地利用の変化を特定する手法を確立する。山岳地での LiDAR データは斜面の影響を受けるため、その課題を解決して土地利用分類の精度の向上を図ることに新規性がある。

また、上流の森林の安定が下流域の住民の生活基盤の安定にも繋がることから、本研究ではアンデスからアマゾンにつながる地域の山地林を調査対象として設定している。本研究が提供する科学的知見に基づいた森林減少や森林劣化、森林火災からの回復プロセスの評価や水資源の利用に関する土地利用形態の最適配置を判定するシステムは、地球規模課題の解決と地域ニーズとの調和を図る持続可能な山地生態系を実現するための森林管理手法の開発に繋がり、山地生態系のみならず、下流域を含めた流域全体の社会の安定にも繋がる波及効果がある。加えて、本研究では、地域住民による森林資源の利用形態や森林生態系機能の活用に関する調査も実施するが、ペルー国内で森林政策を実施するペルー森林野生動物庁と共同で研究を実施することから、その成果がより現実の政策に反映されやすくなる利点がある。また、このような現場の技術者との共同研究の実施は、技術者の能力向上にも寄与し、これらの技術者が本研究で開発する森林管理システムモデルの普及の担い手にもなる。

・研究運営体制、日本人人材の育成(若手、グローバル化対応)等

研究運営体制については、日本側4機関（森林研究・整備機構、千葉大学、九州大学、日本森林技術協会）とペルー側2機関（ラ・モリーナ国立農科大学、ペルー森林野生動物庁）が参画し、それぞれの機関でMOUを締結して研究を進めている。特に、ラ・モリーナ国立農科大学においては、准教授や助教クラスの若手研究者が多く参画している。

研究題目ごとの研究推進のための打合せや議論はペルー渡航中は対面で実施するが、ペルーへの渡航は移動に時間がかかること、日本側とペルー側の大学の先生は授業の関係で日程を合わせるのが難しいことから、オンライン会議で行うことが多い。

予算に関しては、JSTの研究費は各参画機関の代表者が管理している。JICAの海外渡航費については、森林研究・整備機構からの依頼出張となるものの、海外渡航計画は各研究題目責任者が決定することとしている。

日本人人材の育成については、本プロジェクトでこれまで海外での研究経験のない研究者を参画させて、海外研究プロジェクトの立案、相手国機関との共同研究提案のための交渉、共同での研究推進などを経験させることにより、今後、海外研究の提案者として必要なスキルを身につけるよう指導している。また、JICAのSATREPS以外の枠組みで本プロジェクトの参画機関の一つである九州大学へのペルーからの留学生を研究チームに加えることにより、プロジェクトの円滑な推進を図るとともに、研究者としてのスキルを向上させるよう指導を行っている。

・人的交流の構築(留学生、研修等)

留学生については、COVID-19の影響でカウンターパート機関のラ・モリーナ国立農科大学において、国際共同研究期間の1年目に大学院生のプロジェクトへの参画が難しかったため候補者がみつ

からず、SATREPS の枠組みで留学生を招聘することは断念した。また、COVID-19 による制限が影響し、ペルー側研究者の日本への渡航も昨年度は見送ったが、今年度は2名を招聘した。今後は毎年2～3名の研究者を日本に招聘し、研究を加速するとともに、人的ネットワークの強化を図っていく予定である。

(2) 各研究題目

(2-1)研究題目 1:「森林の炭素蓄積変化や劣化度合いを加味した時系列の土地利用変化の特定」

研究グループ A (リーダー：楊 偉) 千葉大学、森林研究・整備機構、日本森林技術協会

①研究題目 1 の当初計画(全体計画)に対する実施状況(カウンターパートへの技術移転状況含む)

今年度は当初計画のうち【活動 1-2】および【活動 1-3】を実施した。

「機械学習法による土地利用変化の抽出【活動 1-2】」については、R3 から R6 年度の計画で、「時系列の衛星データに対して AI の一つである機械学習法 (Random Forest) を用いて対象地域の森林減少、森林劣化や森林火災による土地利用変化を抽出する手法を開発し、現地での検証を行う」こととしており、今年度は計画の3年目に当たる。COVID-19 による渡航制限のため現地でのグランドトゥールズ調査の開始が2年目からとなったが、今年度までに3つの対象地のすべてに対してグランドトゥールズ調査を開始し、試行的に機械学習法 (Random Forest) を用いて土地利用分類を行っていることから、順調に当初計画を進めている。次年度の3つの対象地でのグランドトゥールズ調査データを加えることによって、十分に【活動 1-2】に対する当初計画を達成できる見込みである。

「スペース LiDAR による森林の3次元構造モデルの作成【活動 1-3】」については、R3 から R6 年度の計画で、「土地利用分類精度を向上させるため、国際宇宙ステーションに搭載される LiDAR を用いて森林の3次元構造把握のためのモデルを作成する。この結果の検証データを現地でのドローンによる空撮で取得する。ここで作成された3次元構造を把握するモデルを用いて、森林の炭素蓄積と劣化度合いを広域評価する」こととしており、今年度は計画の3年目に当たる。国際共同研究開始後に、日本政府により中国製ドローンの購入が規制されたため、供与機材の導入が遅れている。このため、カウンターパート機関の他のプロジェクトのドローンを借りてデータの取得を行っているが、検証に十分なデータを取得できていない。国際宇宙ステーション搭載 LiDAR による森林の3次元構造のモデルの開発は順調に進んでおり、森林の炭素蓄積と劣化度合いを広域評価は計画期間内に実施可能であるが、ドローンによるモデルの検証データの取得については、供与機材の導入時期が確定していないことから、R7 年度までかかる可能性がある。

カウンターパートへの技術移転については、機械学習法を用いた土地利用分類のためのグランドトゥールズ調査の方法を、ペルー野生動物庁の地方事務所の職員に指導した。また、グランドトゥールズ調査の結果から森林の炭素蓄積を計算する方法をカウンターパートに移転した。さらに、フリーの GIS ソフトである QGIS のプラグインを用いて、ランダムフォレストという機械学習法による土地利用分類を行う方法をカウンターパートと共有した。

②研究題目 1 の当該年度の目標の達成状況と成果

今年度は、「衛星データによる土地利用分類およびその変化を検証するためのデータをグランドトゥールズ調査により収集する。国際宇宙ステーションに搭載されている LiDAR を用いて森林の3次元構造把握のためのモデルのプロトタイプを作成する」ことを目標としている。

【令和5年/2023度実施報告書】【240531】

土地利用分類およびその変化を検証するためのデータの収集については、今年度3回の現地調査を実施した。特に、COVID-19の制約と治安悪化のため調査が遅れていたプーノ州サン・ファン・デル・オロ地区において、11月に1回目のグランドトゥルース調査を28地点で実施した。その結果、今年度までに3つの対象地で取得したグランドトゥルースデータは、合計で157地点でのデータとなった（表2-1-1）。今後、それぞれの対象地では、分類クラスの数 considering、100箇所以上の地点でのグランドトゥルース調査を実施する予定である。

表2-1-1. 対象地における土地利用別グランドトゥルース調査地点数

土地利用クラス	アプリマック州	クスコ州	プーノ州
森林	11	14	12
プランテーション	2	2	1
農地	11	14	11
灌木地	26	5	4
草地	22	7	0
湿原	2	5	0
その他	5	3	0
合計	79	50	28

国際宇宙ステーション搭載 LiDAR を用いた森林の3次元構造モデルのプロトタイプの作成については、土地利用分類結果から得られた対象地の森林域のデータを用いて、前処理を行った GEDI のデータから森林域の観測データを抽出し、異なる環境の森林での観測結果を比較した（図2-1-1）。その結果、農地などが周辺にある比較的劣化したと考えられる孤立した森林は観測データのパーセンタイルに対する観測高が直線的な関係を示すのに対して、アクセスの難しい原生的な森林では、樹頂とその樹冠周辺の部分の高さの差が大きいと考えられる曲線を示した。また、地形の影響が観測高のマイナスの部分に現れていると考えられた。

アンデス-アマゾン地域における土地利用分類において、「森林」と「灌木」のクラスでは反射スペクトル特性が類似しており分類が難しい。これは、「灌木」は森林ではないが、木本植物が多く生育していて反射スペクトル特性が森林と類似していること、樹高が3~5mになるが、森林も10m程度の樹高しかない森林が多くテクスチャが類似していることが原因と考えられる。ただし、2つのクラスでは高さに明確な差があるため、宇宙ステーション搭載の LiDAR から得られる高さ方向の情報をを用いることで、分類精度の改善が期待できる。

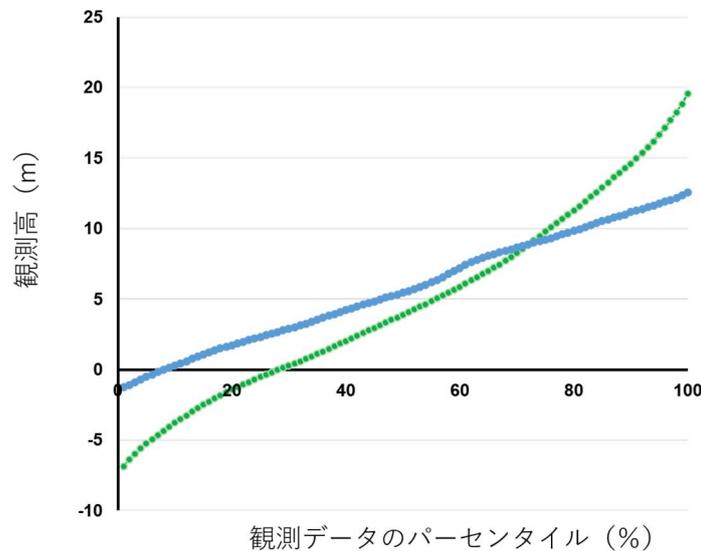


図 2-1-1. GEDI の観測データのパーセンタイルと観測高との関係
(緑：原生林に近い森林、青：孤立して劣化の進んだ森林)

③研究題目 1 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

計画通りに進捗し、想定されていなかった新たな展開はなかった。

④研究題目 1 の研究のねらい(参考)

衛星データを利用した 3 次元構造モデルによる森林炭素蓄積量の推定を行うとともに、森林の炭素蓄積変化や劣化度合いを加味した時系列の土地利用変化を特定する手法を開発する。

⑤研究題目 1 の研究実施方法(参考)

人工林、天然林、農地、草地など土地利用、土地利用変化に影響する森林減少や森林劣化、森林火災のデータ・情報を収集する。時系列の衛星データに対して機械学習法を用いた土地利用変化を抽出する手法、及び、国際宇宙ステーションに搭載される LiDAR を用いて森林の 3 次元構造把握のためのモデルを作成する手法を開発する。開発された手法を用いて、研究題目 2 から研究題目 5 で用いるための時系列での土地利用マップを作成する。

(2-2)研究題目 2:「森林減少・森林劣化の定量的な評価技術の開発」

研究グループ B (リーダー：宮本和樹) 森林研究・整備機構、日本森林技術協会

①研究題目 2 の当初計画(全体計画)に対する実施状況(カウンターパートへの技術移転状況含む)

今年度は当初計画のうち【活動 2-1】および【活動 2-2】を実施した。

「炭素蓄積、森林構造と生物多様性の変異の把握【活動 2-1】」については、R2 (暫定期間) から R6 年度の計画で、「地上調査データから、森林劣化の指標となる森林の特徴(炭素蓄積量や樹木の指標種など)を抽出し、炭素蓄積と多様性の点から森林劣化レベルを 3 つ以上に区分する。得られた森林劣化レベルのデータと研究題目 1 で得られるリモートセンシングデータ(衛星や LiDAR)を用いて両者の関係式を作成する。これにより森林劣化レベルを広域に評価する。また、過去と現在の森林劣化レベルの違いから森林の回復ポテンシャルを評価し、3 つ以上の段階に区分する」としており、今年度は計画の 4 年目に当たる。今年度までに 3 つの対象地すべてにおいて地上多点調査を開始す

るとともに、アプリマック州とクスコ州では外部業務委託を活用することでデータ収集の効率を高めた。プーノ州では今年度から調査を開始したため R7 年度まで調査が必要な可能性があるが、全体としては地上調査データの蓄積は概ね順調に進んでおり、【活動 2-1】の計画は十分に達成される見込みである。

「森林の回復ポテンシャルの定量化【活動 2-2】」については、R3 から R6 年度の計画で、「地上調査データから、森林劣化の指標となる森林の特徴（炭素蓄積量や樹木の指標種など）を抽出し、炭素蓄積と多様性の点から森林劣化レベルを 3 つ以上に区分する。得られた森林劣化レベルのデータと研究題目 1 で得られるリモートセンシングデータ（衛星や LiDAR）を用いて両者の関係式を作成する。これにより森林劣化レベルを広域に評価する。また、過去と現在の森林劣化レベルの違いから森林の回復ポテンシャルを評価し、3 つ以上の段階に区分する」こととしており、今年度は計画の 3 年目に当たる。森林の回復ポテンシャルを評価するための準備段階として、地上調査データと衛星データを用いて両者の関係式を作成し、現在の森林劣化レベルを広域評価する手法のプロトタイプを作成した。この手法を用いて、異なる時点間の森林劣化レベルの変化（すなわち回復ポテンシャル）を評価することが可能となったことから、【活動 2-2】の計画についても十分に達成される見込みである。

カウンターパートへの技術移転については、相手方機関訪問時およびカウンターパートの本邦出張時（2024 年 1 月実施）のミーティングにより、地上調査データと衛星データから関係式を作成し、森林劣化レベルの広域評価を実施するための方法について情報共有を行った。

②研究題目 2 の当該年度の目標の達成状況と成果

今年度は、「炭素蓄積、森林構造と生物多様性の変異の把握と回復ポテンシャルの評価のため、伐採や断片化など人為攪乱の程度が異なる森林で多点地上調査を継続して行う。また、森林のサイズ分布や種組成など森林劣化からの回復の兆候を示す指標を抽出し、森林劣化レベル判定の精緻化を行う。これらのデータに基づき異なる森林劣化レベルの森林構造とリモートセンシングデータとの関係を調べる」ことを目標としている。

伐採や断片化など人為攪乱の程度が異なる森林での多点地上調査については、アプリマック州ウワニパカ地区とクスコ州ヤナティレ地区に続き、プーノ州サン・ファン・デル・オロ地区においても多点調査を実施し、3 州すべてにおいて現地調査データの取得を開始することができた。これまでのところ、外部委託も含めアプリマック州 27 地点、クスコ州 19 地点、プーノ州 9 地点の多点調査データを取得している。これとは別に過去のプロジェクトにおいてクスコ州で取得したデータが少なくとも 21 地点分について利用可能である。さらに、カウンターパート機関のひとつであるペルー森林野生動物庁からペルー国家森林インベントリー（NFI）のうち、本プロジェクトの対象地 3 州で取得したデータを利用できることとなった。以上のように本研究の地上調査データに加え他プロジェクト等のデータセットも活用しつつ、森林劣化に伴う森林炭素蓄積と群集組成の変異に関する解析を進めている。

森林劣化レベル判定の精緻化については、林冠部の閉鎖度合いと攪乱に依存する先駆種の優占度合いを考慮した現場での簡易な森林劣化レベル判定の有効性を確認するため、現場で判定した森林劣化レベル（図 2-2-1）と実際の毎木調査データから推定された地上部現存量との対応関係を調べた。その結果、ばらつきが大きいものの両者の間には有意な負の相関がみられ、概ね対応していること

が示された（図 2-2-2）。このことから、現場レベルでの簡易な森林劣化レベル判定の有効性が示された。

Degradation levels

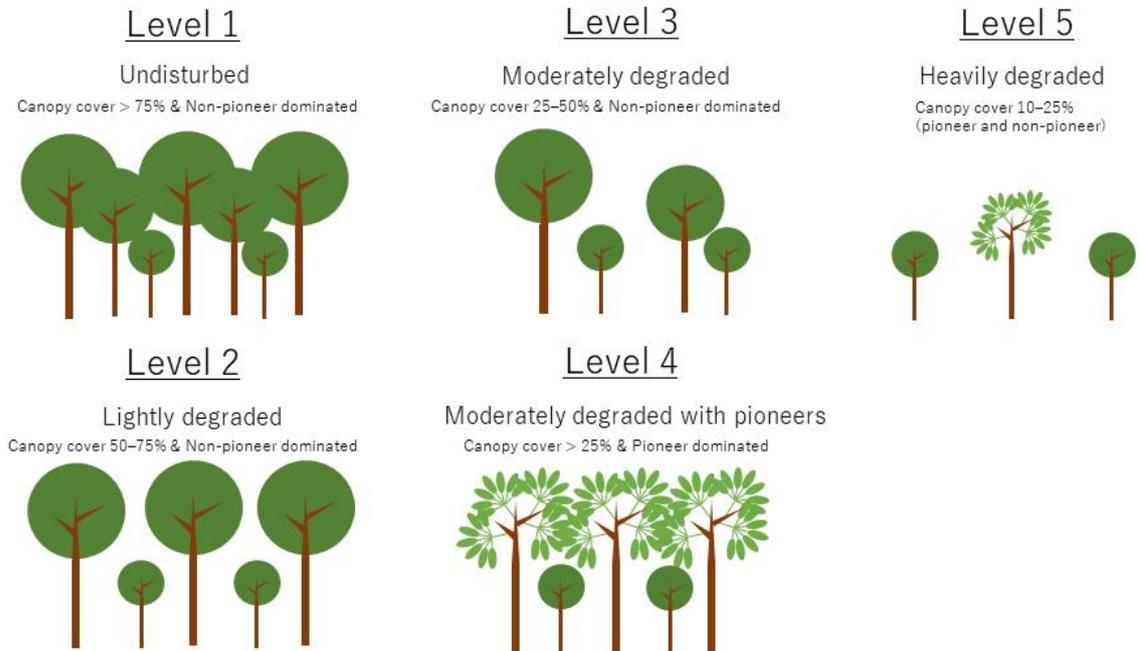


図 2-2-1. 林冠部の被覆度と先駆種の優先度に基づく簡易な森林劣化レベル判定

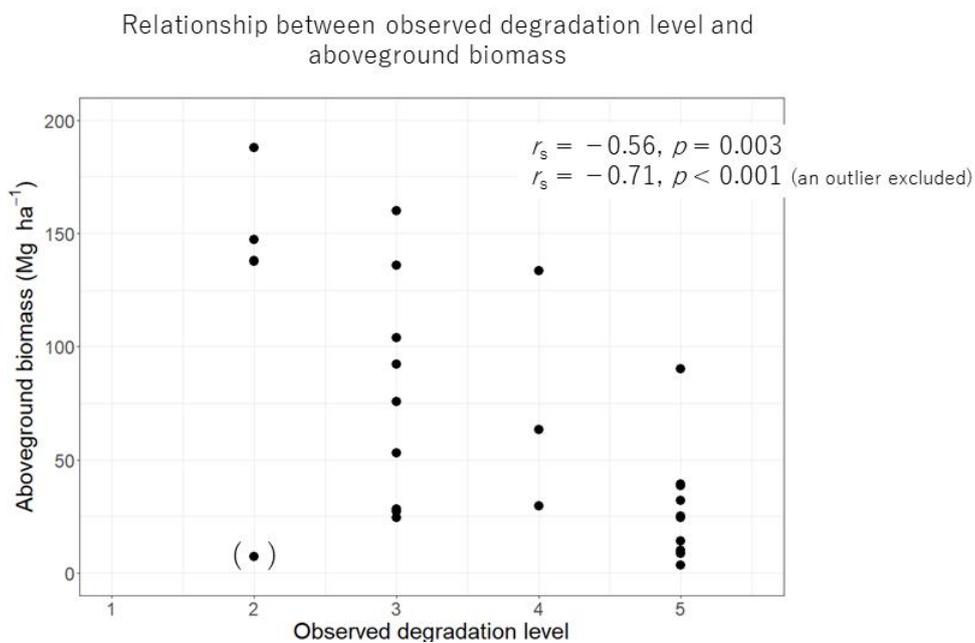


図 2-2-2. 簡易な森林劣化レベル判定と地上部現存量との関係

異なる森林劣化レベルの森林構造とリモートセンシングデータとの関係については、これまで得られた多点調査データから得られた地上部現存量と群集組成に基づく原生林度（NMDS 第 1 軸スコア）を応答変数、衛星データ（ランドサット）から得られる各種バンドとそれらの組み合わせで計算される正規化植生指数（NMDI）などの指数を説明変数として関係式のプロトタイプを作成した。このプロトタイプに基づき森林の現存量と群集組成にもとづく原生林度からなる森林劣化レベルを衛星データから広域予測するための手法的なアプローチが定まった。ウアニパカ地区において、現時点で得られたデータを用いて群集組成を予想するモデルを作成したところ、赤色バンド、短波赤外、正規化植生指数（NDVI）、正規化水分指数（NDWI）が、地上部現存量を予測するモデルでは緑色バンド、短波赤外、正規化燃焼率（NBR）、NDWI を説明変数として含むモデルがそれぞれ選択された（図 2-2-3）。他の地区でも順次モデルの作成を進めている。今後、この式を時系列の衛星データに適用することにより、森林劣化レベルの変化を評価することができるようになり、森林劣化からの回復ポテンシャルの評価が可能となる。

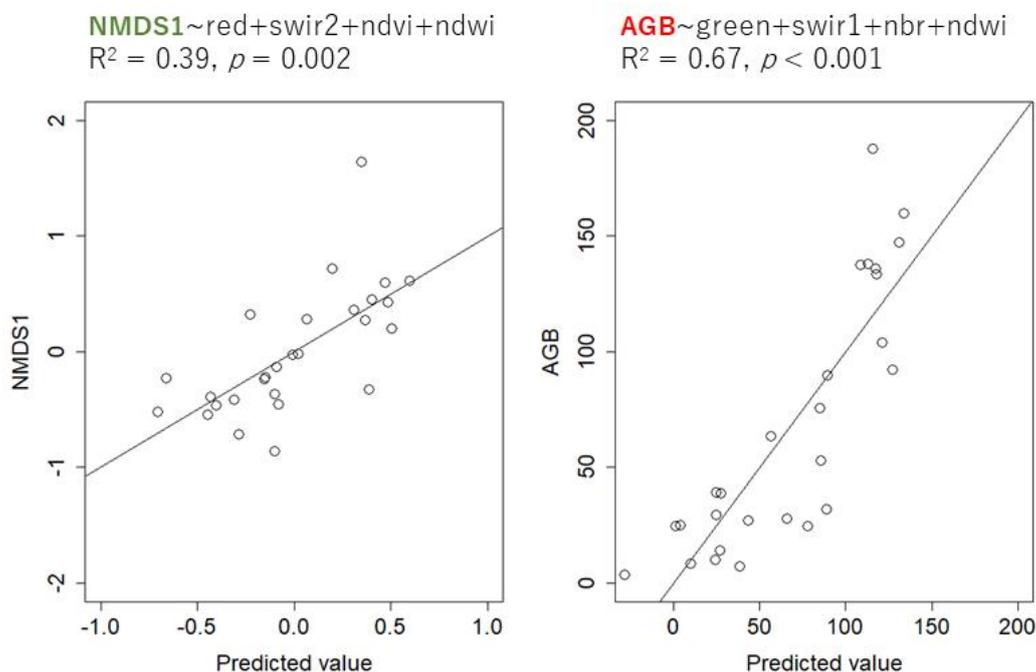


図 2-2-3. 衛星データを説明変数として樹木群集組成の指標（NMDS 第 1 軸スコア）と地上部現存量（AGB）を予測するための統計モデルの予測値と実測値との関係（ウアニパカ地区）

③研究題目 2 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

計画通りに進捗し、想定されていなかった新たな展開はなかった。

④研究題目 2 の研究のねらい(参考)

森林炭素蓄積と生物多様性（主に植物種の多様性）に着目し、森林減少と森林劣化を定量化する技術を開発する。

⑤研究題目 2 の研究実施方法(参考)

多点地上調査により森林劣化の指標となる森林構造や種組成から森林劣化レベルを区分する。地上調査による森林劣化レベル区分と研究題目 1 から提供されるリモートセンシングデータを用いて森林の回復ポテンシャルの広域評価マップを作成する。これに基づき対象地域における森林管理方

針を提案する。

(2-3)研究題目 3:「火災攪乱後の森林回復プロセスの評価」

研究グループC (リーダー:佐藤保) 森林研究・整備機構、日本森林技術協会

①研究題目 3 の当初計画(全体計画)に対する実施状況(カウンターパートへの技術移転状況含む)

今年度は当初計画のうち【活動 3-2】および【活動 3-3】を実施した。

「火災攪乱強度と森林構造の変化傾向の分析【活動 3-2】」については、R3 から R5 年度の計画で、「火災攪乱の頻度と強度が異なる森林の比較により、消失する種群、あるいは増加する種群を抽出して森林構造の変化パターンならびに回復過程の違いを明らかにする。更にこれら森林構造の変化が炭素固定能や水保全機能などの諸機能に及ぼす影響を評価する」としており、今年度は計画の最終年度に当たる。R5 年度は、アプリマック州ウアニパカ地区とクスコ州ヤナティレ地区の森林構造の変化パターンを明らかにし、これら変化が水保全機能に及ぼす影響にまで考察を進めることができたが、プーノ州での現地調査が未実施であり、プロジェクトのすべての調査対象地を網羅する傾向を把握するには至っていない。そのため、R6 年度においても追加的に現地調査を実施する必要がある。なお、その際には【活動 3-3】の森林保全手法開発にも援用できるデータを同時に取得する予定であり、R6 年度内には当初計画を達成できる見込みである。

「火災履歴マップを用いた森林保全手法の開発【活動 3-3】」については、R4 から R7 年度の計画で、「【活動 3-2】で得られた森林火災の履歴と森林構造の変化パターンの分析結果から、森林火災発生空間的な分布パターンを明らかにするとともに、森林火災に対する脆弱な場所を抽出し、優先して保全する条件やその手法を検討し、地域に適した森林保全策を提案する」こととしており、今年度は計画の3年目に当たる。R5 年度は、ウアニパカ地区とヤナティレ地区を対象に火災リスクマップの試作に取り掛かったが、精緻化に向けて検討すべき事項が明らかになるなど、森林保全手法の開発という目標に対して順調に進展しており、十分に当初の計画を達成できる見込みである。

カウンターパートへの技術移転については、森林火災跡地での土壌の撥水性に関する測定方法の技術移転が行われ、大学実験室内で学生および実験助手による潜在的な撥水性の測定も可能となり、ペルー側から日本側への測定結果のデータ共有も行われている。

②研究題目 3 の当該年度の目標の達成状況と成果

今年度は、「火災攪乱履歴の異なる森林の比較により、消失する種群、あるいは増加する種群を抽出して森林構造の変化パターンならびに回復過程の違いを明らかにする。更にこれら森林構造の変化が炭素固定能や水保全機能などの諸機能に及ぼす影響を評価する。森林火災の履歴と森林構造の変化パターンの分析結果から、森林火災発生の空間的な分布パターンを明らかにする」ことを目標としている。

火災攪乱履歴による森林構造の変化パターンならびに回復過程の違いの解明については、ウアニパカ地区とヤナティレ地区を対象に火災攪乱後の経過年数が異なる地点において植生調査を実施した。ウアニパカ地区の調査結果からは、森林火災後の経過年数が浅い場所では、明るい環境のため、*Tagetes* 属や *Lupinus* 属が広く優占するが、森林火災後の経過年数が増えとこれらの優占度が減少する傾向があらためて認められた。一方、ヤナティレ地区では、ウアニパカ地区で火災跡地での指標植物でもある *Lupinus* 属の種がほとんど見られず、代わりに *Vernonanthura* 属の種が火災跡地に優

占する傾向が見られた。また、ワラビ (*Pteridium aquilinum*) が当地でも分布しており、火災跡地で優占度を増していることから、指標種となることが確かめられた。ウアニパカ地区に比べてヤナティレ地区の標高は若干低く、傾斜がきついことから放牧地としての土地利用も少ない印象を受けたが、これら環境要因や土地利用形態の違いが指標種の構成に影響を及ぼしている可能性がある。

森林構造の変化が炭素固定能や水保全機能などの諸機能に及ぼす影響評価については、上述の植生調査と同地区を対象に森林火災からの経過年数と土壌の物理性および化学性の関係を求めるための野外測定を行なった。ヤナティレ地区では、火災からの植生の回復に同調して、土壌 pH (表層 5 cm) の低下が見られた。これは、火災からの土壌の化学性の回復に伴って、木本性の植物が回復してきていることを示している。また、土壌が水を弾く強さを示す指標である撥水性に関しては、火災からの植生の回復に同調して、回復が高いと撥水性が高い傾向が見られた。ウアニパカ地区においても同様の傾向が見られ、土壌の撥水性は、火災からの下層植生の回復傾向の指標として利用できることが明らかになった。

火災からの経過年数と土壌水分、透水係数の関係をみると、ウアニパカ、ヤナティレ両地区ともに、撥水性の高い試験地で土壌水分が高い傾向が見られた。さらに、土壌水分が高いサイトでは、透水係数が低い傾向が見られた。これは、降雨から一定の時間が経過した乾季の土壌水分は、土壌が水を保持する保水性を示していることになる。そのため、土壌水分の高い土壌では、水が土壌を浸透する速さである透水係数が低くなったと考えられる。研究題目 4 においては、モデル計算による広域の土壌水分 (TWI) を算出することから、土壌の物理性の変化に関するデータは、火災からの回復可能性の高い森林を抽出することに役立てられそうである。

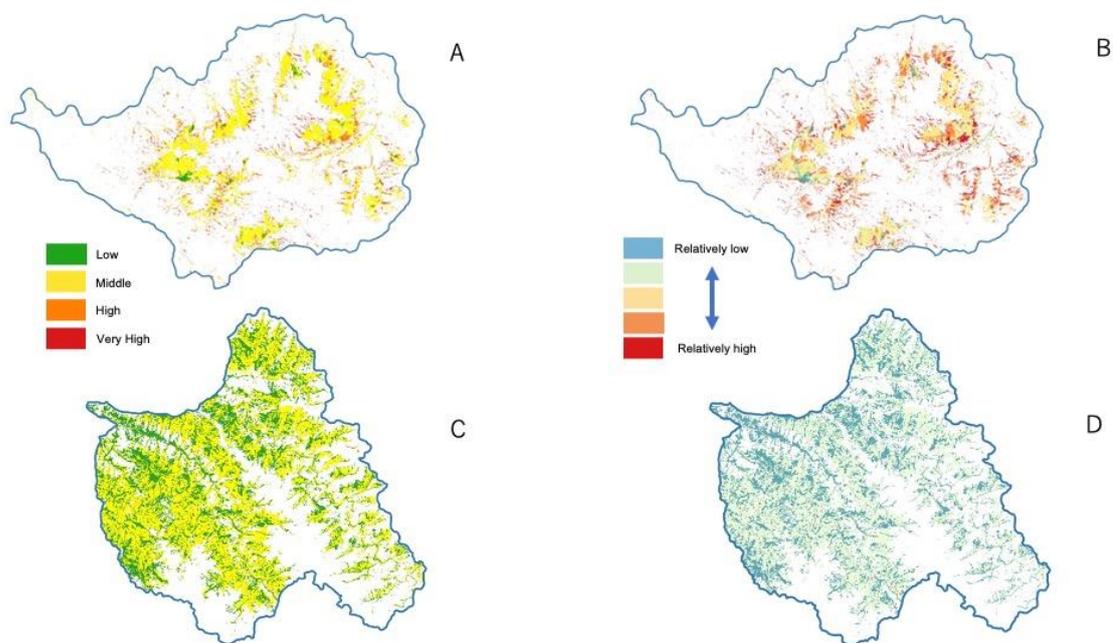


図 2-3-1. 調査対象地区の試作火災リスクマップ

A: 森林域だけを抜き出したウアニパカ地区のリスクマップ ; B: リスク評価を細分化したウアニパカ地区のマップ ; C: 森林域だけを抜き出したヤナティレ地区のリスクマップ ; D: リスク評価を細分化したヤナティレ地区のマップ

森林火災発生空間的な分布パターンの解明については、国家予測防災減災センター（Centro Nacional de Estimación y Reducción del Riesgo de Desastres: CENEPRED）が作成している森林火災リスクマップの作成方法を参考にし、アプリマック州とクスコ州のそれぞれの調査地区を対象にした火災リスクマップの試作を行った。具体的には、対象地域を 100m 間隔のメッシュに分割し、各メッシュ内の 6 つの要因（土地タイプ、斜面傾斜、気候タイプ、日射量、MODIS HotSpot の密度、火災発生点の密度）を対象にして、それぞれの要因で森林火災に対するリスククラスを 5 段階で評価した。リスククラスの数値が大きいほど、火災のリスクが高くなることを示しており、例えば斜面傾斜では急傾斜な場所ほど火災リスクが高くなることを示している。最終的に森林火災に対する各要因に重み付けを行い、リスククラスを乗じることで点数を算出し、それら 6 つの要因の総和を持って火災リスクを 4 段階で評価した。

上記の方法をもとにウアニパカ地区とヤナティレ地区を対象に 100m メッシュ単位で 4 段階の火災リスク評価の地図化し、森林域だけを抜き出したものが図 2-3-1 となる。両地区ともに森林域の火災リスクが中程度のレベルを示すことに変化はないが、中程度のリスクレベルをさらに細かい数値（約 0.2 刻み）で分類してみると、森林内においても場所による違いが見て取れる（図 2-3-1B および D）。このようなリスク評価の違いをもとに、地域に応じた保全策を考えることが可能になるであろう。例えば、火災リスクの高い場所では火災発生の監視を強化する対策を立てるのは当然のこととして、周辺を高リスクに囲まれた中程度のリスクの場所を減らさない対策を講じるなど具体的な案を考えることが可能になる。

③研究題目 3 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

計画通りに進捗し、想定されていなかった新たな展開はなかった。

④研究題目 3 の研究のねらい(参考)

火災攪乱に対する森林の脆弱性を評価することで地域に適した森林保全策を開発する。

⑤研究題目 3 の研究実施方法(参考)

火災の発生傾向を明らかにするために過去 10 年間の森林火災の情報を収集する。多点調査により、森林構造の変化パターンならびに回復過程の違いを明らかにする。これら開発した技術をもとに森林火災に脆弱な場所を抽出し、優先して保全する条件やその手法を提案するとともに、火災の影響を長期間にわたり評価する簡便なモニタリング手法を開発する。

(2-4)研究題目 4:「水資源モデルによるランドスケープ最適化システムの開発」

研究グループ D（リーダー：玉井幸治）森林研究・整備機構、日本森林技術協会

①研究題目 4 の当初計画(全体計画)に対する実施状況(カウンターパートへの技術移転状況含む)

今年度は当初計画のうち【活動 4-2】、【活動 4-3】、【活動 4-4】を実施した。

「水資源モデルによる水資源供給量と需要量の算定【活動 4-2】」については、R3 から R5 年度の計画で、「研究題目 1～3 による成果と活動 4-1 で収集したデータや情報を用いて、対象地域における森林域からの水資源供給量と非森林域における水資源需要量の分布を水資源モデルによって算定する」としており、今年度は計画の最終年度に当たる。水資源モデルは、水資源供給量や需要量の他にも、森林流域からの河川流出量や土壌含水率も合わせて算定する。水資源モデルをペルーにおける広域な森林流域への適用が妥当であることを確認するため、ペルー国内における広域な森林流域からの

流出量観測データと水資源モデルによる流出量計算データを比較し、水資源モデルによる河川流出量の算定は妥当であることを確認した。水資源需要量分布の算定はまだ完了していないが、次年度の早い段階での達成が見込まれている。そのため【活動 4-2】に対する当初計画を次年度の早い段階には達成できる見込みである。

「**ランドスケープ最適化システムの開発【活動 4-3】**」については、R4 から R6 年度の計画で、「水資源量供給量と水資源需要量の分布を算定した結果に基づき、水資源管理に最適な土地利用配置を判定するシステムを開発する」こととしており、今年度は計画の 2 年目に当たる。現地調査とカウンターパートとのディスカッションに基づいてシステムの設計を完了した。今後、システムの構築を実施する。【活動 4-2】による水資源需要量が次年度の早い段階で算定される見込みであることから、【活動 4-3】に対する当初計画を達成できる見込みである。

「**最適化システムのモデル流域への適用と検証【活動 4-4】**」については、R5 から R7 年度の計画で、「開発した水資源管理に最適な土地利用配置判定システムを対象地域に適用し、現地調査によって検証する。不具合が明らかになった場合にはシステムを改善する」こととしており、今年度は計画の 1 年目に当たる。日本における森林の水資源供給機能と他の機能を両立させる森林管理手法の事例をカウンターパートと共有した。また、モデルによる表層土壌含水率の計算値と比較して水資源供給量を算定する水資源モデルの対象地域への適用性を確認するため、対象地域での土壌含水率の観測を実施した。最適化システムのモデル流域への適用についてもカウンターパートとディスカッションを実施しており、【活動 4-4】に対する当初計画を達成できる見込みである。

カウンターパートへの技術移転については、水資源モデルによる流出量の計算と検証のための森林流域からの流出量観測値の収集・整理、最適化システムの設計とモデル流域への適用について、オンラインも含めてカウンターパートとのディスカッションを実施した。

②研究題目 4 の当該年度の目標の達成状況と成果

今年度は、「対象流域における森林域からの水資源供給量と非森林域における水資源需要量の分布を水資源モデルによって算定する。また、水資源量供給量と水資源需要量の分布を算定した結果に基づき、水資源管理に最適な土地利用配置を判定するシステムのプロトタイプを開発し、開発した水資源管理に最適な土地利用配置判定システムを対象流域に適用する」ことを目標としている。

水資源モデルによる水資源供給量と水資源需要量の分布の算定については、ペルー国内における広域な森林流域からの流出量観測データと水資源モデルによる流出量計算データを比較した。文献を元に設定したパラメータを用いて行った計算結果を観測値と比較したところ、両者の降水量に対する流出量の応答特性に類似性が見られ、水資源モデルの広域な森林流域への適用は妥当であることを確認した（図 2-4-1）。

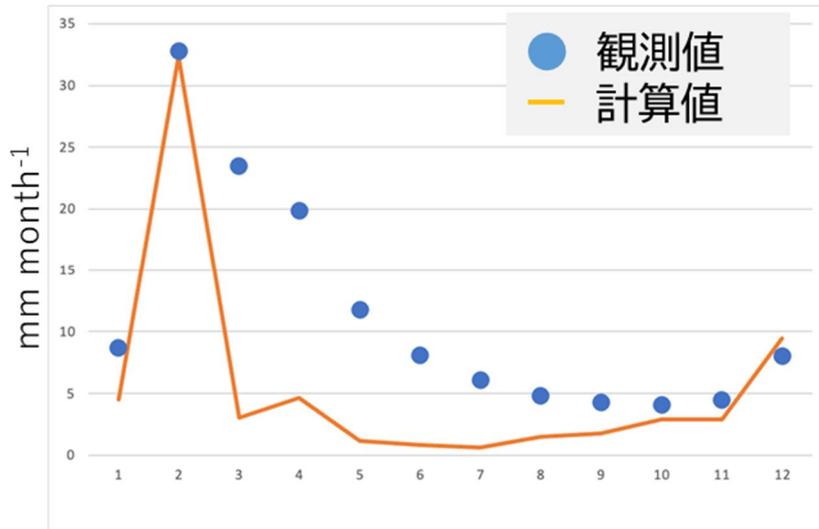


図 2-4-1 河川流出量観測値による水資源モデルの検証
 アプリマック州ウアニパカ地区に近接した流出量の観測データのある流域での
 月流出量観測値とモデル計算値の比較

水資源管理に最適な土地利用配置を判定するシステムのプロトタイプの開発については、カウンターパートとのディスカッションにより、自然条件からの情報だけではなく、現地での土地管理の状況、利害関係といった社会条件からの情報にも対応した「最適」な土地利用の判定を、現地の行政機関や現地住民などが行う際の支援システムとすることにした。いくつかの森林タイプでの水資源供給量と農地である場合の水資源需要量のマップを作成し、現地の行政機関や現地住民などの考える森林管理での、水資源供給量と水資源需要量の比較を容易に行えるような設計とした（図 2-4-2）。

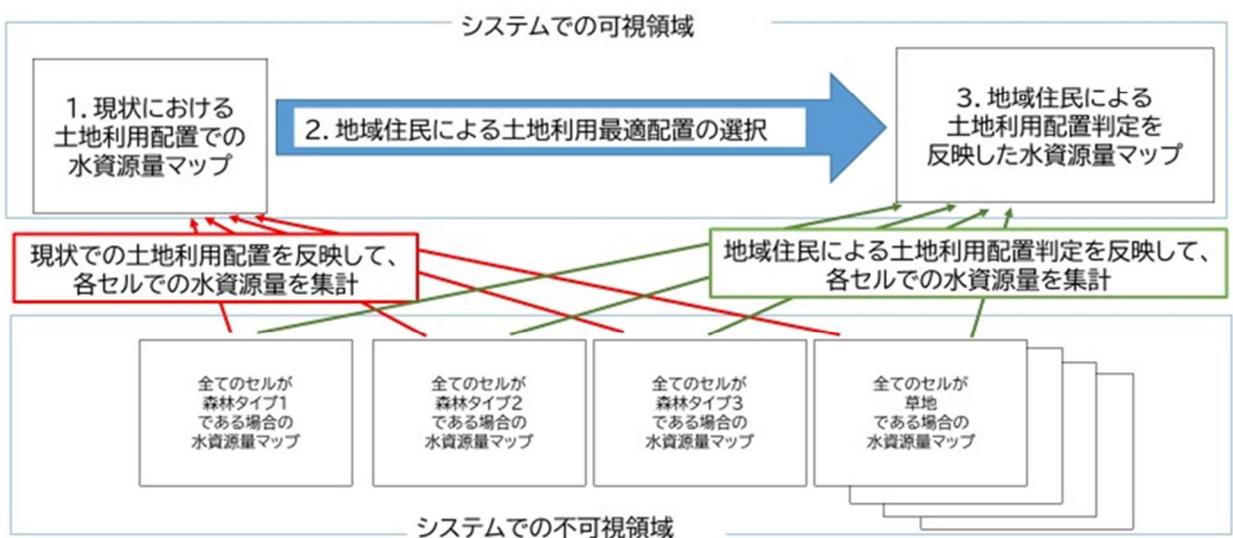


図 2-4-2 土地利用最適配置を地域住民が判定するシステムのアウトライン

土地利用配置判定システムの対象流域への適用については、対象流域内における水資源モデルによる算定値の分布の妥当性を確認するための準備を行った。水文特性（降水、蒸発散、不飽和層の土壌水、飽和層の地下水）のうち現地での短時間での観測が唯一可能である表層土壌層含水率の多点観測をクスコ州ヤナティレ地区とプーノ州サンファンドロ地区の対象地周辺において実施した（図 2-4-3）。また水資源モデルによる対象流域内の相対的な土壌乾燥度の分布が算定可能であることを確認した（図 2-4-4）。次年度以降に、水資源モデルによって算定される土壌乾燥度と表層土壌含水率の観測値を比較し、対象流域内における水資源モデルによる算定値の分布の妥当性を確認する。

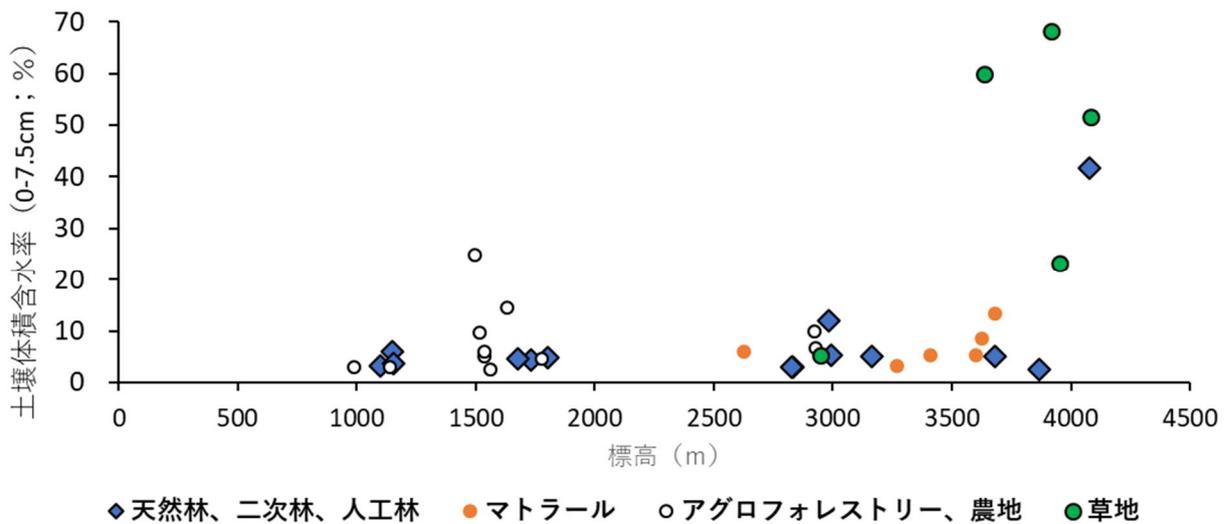


図 2-4-3 対象流域における表層土壌含水率の観測結果（クスコ州の例）

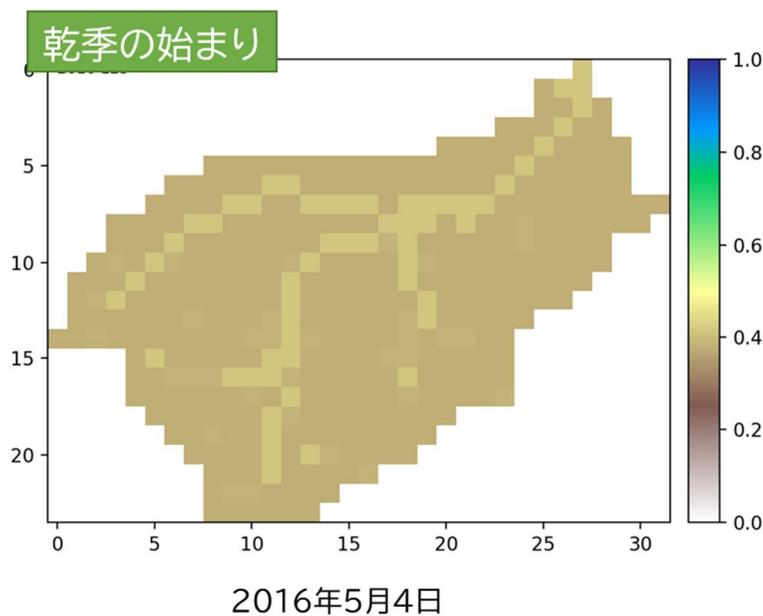


図 2-4-4 水資源モデルによって算定された対象流域内における相対的な土壌乾燥度の分布図の例

③研究題目 4 の当初計画では想定されていなかった新たな展開

概ね計画通りに進捗し、想定されていなかった新たな展開はなかった。

④研究題目 4 の研究のねらい(参考)

対象地域の水循環特性を反映した水資源モデルを基盤として、水資源管理に最適な土地利用配置を判定するシステムを開発する。

⑤研究題目 4 の研究実施方法(参考)

研究題目 1~3 から得られる成果とモデル計算のために収集したデータや情報を用いて、対象地域における森林域からの水資源供給量と非森林域における水資源需要量を水資源モデルにより算定する。対象地域においてシステムの検証を行い、水資源の最適利用における土地利用配置の試算を通じて水不足を解決するための適応策を提案する。

(2-5)研究題目 5:「森林保全と生態系サービスの持続的利用のための森林管理システムモデルの開発」

研究グループ E (リーダー: 百村帝彦) 九州大学、森林研究・整備機構、千葉大学、日本森林技術協会

①研究題目 5 の当初計画(全体計画)に対する実施状況(カウンターパートへの技術移転状況含む)

今年度は当初計画のうち【活動 5-1】および【活動 5-2】を実施した。

「土地利用変化の要因把握および森林管理における地元のニーズの特定と方法論の開発【活動 5-1】」については、R2 (暫定期間) から R7 年度の計画で、「現地調査に基づき、地域住民の土地森林利用の実態から、森林減少・劣化など土地利用変化の要因を明らかにする。また森林利用における地域住民のニーズを把握する。さらに森林資源など、利用されている生態系サービスを明らかにするとともに、費用便益分析など経済的評価のための方法を検討/開発する。土地利用変化要因把握については研究題目 1~4 の成果を参考に、地域住民のニーズ把握については成果 6 と連携する」としており、今年度は計画の 4 年目に当たる。今年度は、研究対象地であるアプリマック州ウアニパカ地区およびクスコ州ヤナティレ地区において、土地や森林の利用実態の調査をペルー側カウンターパートとともに行った。ヤナティレ地区においては、①アクセスの良さ、②集落の集合具合、③地方行政の推薦から、「コルカ小地区」を調査地として選定するとともに、コルカ小地区の 10 のコミュニティを対象とした予備アンケート調査を実施し、社会経済状況の概要を把握した。次年度以降、コルカ小地区を対象とした世帯調査を実施する。また引き続き、ウアニパカ地区およびサンファンデオロ地区の調査対象地の選定・予備調査および世帯調査を実施する予定であるが、これら業務を完了するには次年度から R7 年度まで要するとみられる。

「地域住民による森林利用を含む複数の森林管理シナリオに基づく費用便益分析の実施【活動 5-2】」については、R4 から R7 年度の計画で、「地域住民による森林利用を優先した場合や森林保全策を優先した場合など、複数の森林管理シナリオを策定する。森林管理シナリオごとの費用便益分析(コンジャンクション法など)を行い、定量的な評価を行う」こととしており、今年度は計画の 2 年目に当たる。今年度は、現地調査とペルー側カウンターパートと具体的な議論を通じて、定量的な評価を行うための質問票や方法論に関する方向性が固まり、次年度より本調査を開始する予定である。

ただし、次年度に実施予定の調査はコンジョイント法の経験などの専門性を必要とするものであり、実際の調査を行う業者選定が難航している。そのため、本調査は次年度から R7 年度にまたがる可能性がある。

カウンターパートへの技術移転については、現地調査実施の前に、ペルー側カウンターパートと調査内容について事前にオンラインでも議論を行い、共通認識を持つとともに、調査方針や調査内容の検討を重ねている。

②研究題目 5 の当該年度の目標の達成状況と成果

今年度は、「対象となる調査地を選定し、地域住民による土地・森林利用の実態について、予備的なアンケート調査を実施する。また森林資源など、利用されている生態系サービスに対して、コンジョイント分析など経済的評価のための方法を検討／開発し、定量的な評価を試行する」ことを目標としている。

地域住民による土地・森林利用の実態に関する予備アンケート調査の実施については、今年度、アプリアマック州ウアニパカ地区およびクスコ州ヤナティレ地区において予備アンケート調査を行い、両地区における土地・森林利用形態が、ヤナティレ地区で 6 パターン、ウアニパカ地区で 5 パターンに区分 (stratification) されることが分かった。これは想定 (2～3 パターン) より多く、これらの区分を考慮した上で、本調査を実施する小地区を選定する必要があることが分かった。

昨年度からの調査を含め、対象とする 3 地区に見られる土地・森林利用の実態が分かった。現存する森林は、自然林として疎林や二次林が多くみられる。また人工林としてマツやユーカリの植林地があるが、それらは薪として自家消費もしくは薪や材としての販売利用が主としたものであった。またこれらの地区では作物栽培のデマンドが非常に高く、作物の栽培が可能な土地は、基本的に農地としての利用が優先される状況にあった。農地として利用できない急傾斜地や崖地は、疎林や草地として維持されていることが多かった。また集落によっては、山頂部において、共有林や共有牧草が存在する場合もある。これらは農耕に適した土地でなく、森林や牧草地として残された土地である。集落から数時間かかる遠隔地で、ほとんどの人が足を踏み入れることがなく、管理もされていない。このように、消極的な観点から共有林となっている場合も存在する。

また、対象地の土地所有形態は、森林を含むほぼすべての土地が個人単位の私有地であり、「posesión」または「título」といういずれかの土地所有権を取得していた。このため、見かけ上は天然林、二次林や疎林であっても、個人の農地として登録されていることがほとんどである。また植林地も、個人に所有権が付与されている農地において行われている場合がほとんどであるが、植林地には森林管理計画の策定が義務付けられている。一方、農民共同体 (Comunidades Campesinas) として認定された集落においては集団的土地所有権が集落に対して付与されており、私有地は基本的に存在しない。

次年度は、上記の項目に留意した上で、本調査における世帯調査の質問票を修正・完成させることになる。

生態系サービスに対する経済的評価のための方法の検討・開発・定量評価については、9 月と 11 月の現地調査から、森林管理シナリオを構築する上で評価すべきと考えられる森林に係る便益として、生物多様性、火災リスク、水利用の他に、材木の利用価値が重要であることを確認した。一方で、先行研究にてその重要性が指摘される NTFP (Non-Timber Forest Products) の利用に関しては、調

査地においては限定的であることも判明した。また、これらを保全する上での費用に関しては、森林の農地利用の制限に対する機会費用のみならず、アグロフォレストリー採用のための費用、コミュニティ内での共同作業に対する負担の増加に係る費用など多岐に渡り、住民毎に異なることが判明した。複数の森林管理シナリオそれぞれに対して、住民毎に考えられうる対策を最適化し、その費用を地域住民それぞれが納得のできる精度で算出することが不可能であると判明したため、個々の住民には森林が住民に与える便益のみを提示することにした。

これら現地調査の結果を踏まえてこれら現地調査の結果を踏まえて、環境経済学アプローチによる生態系サービスの評価枠組を検討し、構築した。評価に際しては、1) 評価すべき森林に係わる便益が複数であること、2) 生物多様性といった非利用価値を含むため、コンジョイント分析を用いて便益の推計を行うこととした。具体的には、生態系サービスに関するシナリオ・オプションを組み合わせたオプション2つと特段の対策を取らないケース(BAU)を示し、どれが良いかを尋ねる。1回答者に対して5-10回程度聞き、支払意思額(WTP: Willingness to pay)を導出する。分析にあたり、回答者の選好の多様性を考慮に入れるため、選好パラメータが確率的に変動することを想定することとした(混合ロジットモデル)。導出した支払意思額は先行研究(Johanson et al. 2015)にならい、地図情報と結び付けることが出来るものにした。また、実施予定の本調査の結果を模したダミーデータを作成し、評価枠組を実行するためのプログラムの動作確認も行った。

③研究題目5の当初計画では想定されていなかった新たな展開

当初計画では、「統合型森林管理システムモデルの開発【活動5-3】」について、各研究題目からシステムモデルに入力するデータセットが提供され始めてから、R6年度より開発を始めることを想定していたが、今年度7月に実施された年次報告会において、委員の先生や有識者の方々から、森林管理システムモデルの具体像を、早急に明らかにするようアドバイスをいただいた。これを受けて、森林管理システムモデルに実装する機能やデータ群を明らかにし、システム設計を開始した。具体的に実装する機能としては、①現状の見える化、②シナリオ作成の判断材料となる統計量の算出、③住民の選択するシナリオに基づく将来予測、④住民の選択するシナリオに基づくゾーニング/森林管理を実装し、住民によるシナリオ選択や保全対策の実施に役立てる。そのため各研究課題からシステムモデルへの入力データとしては、研究題目1から衛星画像、土地利用マップ、森林炭素蓄積マップ、研究題目2から森林劣化レベルマップ、回復ポテンシャルマップ、研究題目3から火災頻度マップ、火災リスクマップ、研究題目4から降水量マップ、水資源マップを想定している。



図 2-5-1 森林管理システムモデルの設計

④研究題目 5 の研究のねらい(参考)

水資源利用、炭素蓄積量、生物多様性などの生態系サービスによる恩恵を地元の要望に合わせた形で発揮できる管理シナリオを科学的根拠に基づいて提供する森林管理システムモデルを構築する。

⑤研究題目 5 の研究実施方法(参考)

研究題目 1~4 の成果から森林劣化からの回復ポテンシャル、森林火災リスク、水資源分析を考慮した場合の最適森林配置を空間的に把握できるようにする。現地調査から森林減少・劣化、保全のドライバーやステークホルダーを特定し、森林利用・保全に関する費用便益分析と、森林から得られる生態系サービスの便益を定量的に比較分析するツールを作成する。これらを統合した森林管理システムモデルを開発し、有効性を評価する。

(2-6)研究題目 6:「森林管理システムの社会実装」

研究グループ F (リーダー: 河原孝行) 日本森林技術協会、森林研究・整備機構、九州大学

①研究題目 6 の当初計画(全体計画)に対する実施状況(カウンターパートへの技術移転状況含む)

今年度は当初計画のうち【活動 6-1】および【活動 6-2】を実施した。

「森林管理システムのシナリオ選択に必要な因子の特定方法開発【活動 6-1】」については、R3 から R7 年度の計画で、「【活動 5-1】と連携し、土地利用に関するシナリオを判断する因子を特定する方法を開発し、地域住民の賢明なシナリオ選択を促進する」としており、今年度は計画の 3 年目に当たる。開発にあたり、【活動 5-1 と連携して現地調査を行い、その結果、森林管理シナリオを構築する上で評価すべきと考えられる森林に係る便益として、生物多様性、火災リスク、水利用の他に、材木の利用価値が重要であることを確認した。その上で、これらの便益を組み合わせたシナリオを作成するための統計量として火災リスクに関連した劣化クラス別火災頻度や水利用可能量を示した流域

別水資源量、木材資源量などを定量的に算出することとした。これらの情報を【活動 5-1】に引き渡しつつ、研究題目 5 で行うコンジョイント分析によって地域住民が森林から得られる便益のうち、どこをどの程度重視しているか明らかにし、その結果を用いてシナリオ選択に必要な因子を特定する方法の開発を研究題目 6 で行うこととした。この特定方法の実施についてはコンジョイント分析の成果が得られる R7 年度に行うものとするが、R6 年度はその前段として地域住民へのプレワークショップを開催し森林から得られる便益に係る知見共有しつつ、【活動 5-2】コンジョイント分析に必要な住民の生態系サービスによせる意識確認を行う予定としており、【活動 6-1】は当初計画を達成できる見込みである。

「森林管理システムの操作マニュアル開発【活動 6-2】」については、R5 から R7 年度の計画で、「政府職員及び地域住民向けの森林管理システムモデルの操作マニュアルを開発し、適切な利用を促進することとしており、今年度は計画の 1 年目に当たる。マニュアルの開発に先立って、森林管理システムの全体像及び具備すべき機能の検討を行い、マニュアル開発に手戻りがないように企図した。なお、計画の 1 年目では森林管理システムモデルの操作マニュアルの全体構成や項目出しを企図していたが、項目出しについては R6 年度まで作業が遅れる見込みである。

カウンターパートへの技術移転については、オンライン会議により情報共有を図っており、研究題目 5 とともにシステムの枠組みについて整理・協議を進めている。特に社会実装に向けた現状課題の整理と今後のスケジュールについてのオンライン協議を行い、以下のように整理した。

【現状の課題】

- ・ システムが完全に実装される前に社会実装の取り組みを進める必要性
- ・ ワークショップのコンテンツの明確

【対応策】

- ・ 試行的なワークショップを 2024/2025 年に開催する
- ・ ワークショップのコンテンツは、エコシステムサービスのみならず火災や水資源管理、気候変動など幅広い内容を含むべき
- ・ 最大 3 時間とし、平易な言葉での説明が必要
- ・ ペルー森林野生動物庁の地方事務所が招待状の発出や開催を行う
- ・ 3 つのサイトで 3 回の WS を開催するかについては予算次第とし、ペルー森林野生動物庁が必要なコスト計算を行うと同時に A4 で 1 枚程度の資料準備を行う

これらのコミュニケーションを行いつつ、ワークショップの開催を通じた社会実装のノウハウについて、日本側の持つ知見を共有した。

②研究題目 6 の当該年度の目標の達成状況と成果

今年度は、「収集した情報から、土地利用に関するシナリオを判断する因子を特定する方法を開発するとともに、政府職員及び地域住民向けの森林管理システムモデルの操作マニュアルの項目を整理する。また、研究題目 5 と連携し、森林管理システムモデルに実装する機能やデータ群を明らかにし、システム設計に着手する」ことを目標としている。

土地利用に関するシナリオを判断する因子を特定する方法の開発については、森林管理システムモデルの具体像を早急に明らかにするために、研究題目 5 と連携して森林管理システムモデルの全体設計を見直し、実装する機能（各種統計量の算出機能や将来予測機能）、それに必要なデータ群を明ら

かにした。森林管理システムモデルの流れとしては、各研究題目から得られる主題図からシナリオ作成の判断材料となる統計量を研究題目5に引き渡し、コンジョイント分析を行うこととした。土地利用に関するシナリオを判断する因子は、【活動5-1】のコンジョイント分析から得られるであろう「住民が持つ生態系サービスへの認知度や期待度」を元に特定することができると考えた。また今年度は【活動5-1】と連携して現地調査を行い、森林から得られる便益に関する地域住民の意識調査を聞き取ることができ、シナリオを判断する因子の参考情報として整理した。その結果、地域住民における水資源への関心度の高さや森林火災への懸念について理解することができた。これらの成果から土地利用に関するシナリオを判断する因子を特定する方法については、今年度計画通りに手法開発を行うことができた。

森林管理システムモデルの操作マニュアルの項目の整理については、マニュアルの項目整理に必要な前提として、森林管理システムの全体像を明らかにすることができた。具体的には現状の見える化を主たる機能として有した住民向けのシステムと、住民の選択するシナリオに基づく将来予測を行う機能を有した行政向けシステムの2つを開発すると整理した。一方、操作マニュアルの項目出しについては作業がR6年度までずれ込むこととなった。

森林管理システムモデルのシステム設計については、マニュアル作成の観点から研究題目5と連携して森林管理システムモデルに実装する機能やデータ群を明らかにした。具体的には(2-5)③に記載したとおりである。

③研究題目6の当初計画では想定されていなかった新たな展開

カウンターパートとの協議により、地域住民に森林管理システムモデルを利用してもらうためには、最終年度に森林管理システムモデルが完成した状態でワークショップを開催するのではなく、早い段階から森林保全の意義や水資源の需要と供給の関係など森林管理システムモデルを利用するために必要となる知識を深めるためのワークショップを開催する必要があるという認識に至った。そこで、当初計画ではR8年度（国際共同研究期間の最終年度）に実施する予定であった「**地域住民への森林管理システム利用ワークショップを通じた社会実装【活動6-4】**」を今年度から開始した。今年度は、次年度に開催予定の「森林管理の重要性に関する啓発ワークショップ」に関して、開催準備のために10月に現地調査を行い、現地関係者と協議によりプログラム案を作成した。

④研究題目6の研究のねらい(参考)

研究題目1~5により開発した森林管理システムモデルを地域住民が土地利用に関する意思決定に活用できるように社会実装する。

⑤研究題目6の研究実施方法(参考)

地域社会ニーズと、政策ニーズを把握し、土地利用シナリオの判断因子を特定する。森林管理システムモデルを使用する政府職員ならびに地域住民向けの操作マニュアルを作成する。ファシリテーター育成を含んだ政府職員に対する森林管理システムモデルの研修計画の策定、研修機材の調達、研修の実施を行う。地域住民に対し森林管理システムモデルの利用方法を学ぶワークショップを開催し、社会実装に繋げる。

II. 今後のプロジェクトの進め方、およびプロジェクト/上位目標達成の見通し (公開)

2022年8月に現地調査が開始されたが、COVID-19の影響で対象地域の選定が遅れたことにより、

森林管理システムモデルの開発に必要な各種データの収集の遅れやシステムモデルにより生態系サービスを有効に活用する対象地でのコミュニティからの聞き取り調査の遅れが生じている。そこで JICA の在外強化費を用いて、現地コンサルタントに調査業務を一部委託することとした。研究題目 2「森林減少・森林劣化の定量的な評価技術の開発」における多点調査及び研究題目 5「森林保全と生態系サービスの持続的利用のための森林管理システムモデルの開発」における地域コミュニティへの聞き取り調査は時間と労力がかかる調査であり、予算の許す範囲で業務委託を実施する。研究題目 4「水資源モデルによるランドスケープ最適化システムの開発」については、水資源モデルの検証のため、多点での土壌水分に関する調査が必要であるが、研究題目 1「森林の炭素蓄積変化や劣化度合いを加味した時系列の土地利用変化の特定」のグラントゥールス調査と合同で実施することにより、効率的に調査地点を増やすように努める。

プロジェクト目標達成の見通しについては、JST 側研究期間内に社会実装までの目標を達成することは難しいものの、国際共同研究期間内の達成は十分に可能であると考えられる。但し、その前提条件としては、ペルー国内の政治情勢の安定化が必要となる。日本側研究者は大学の講義や他の研究課題の推進、その他の運營業務との兼ね合いで可能な渡航時期が限定される。ペルーの政治情勢が安定化せず、渡航や現地調査が再び制約されると、予定通りに研究計画を推進することが難しくなる。

「アンデスアマゾンの 3 つの対象地域において、森林管理システムモデルを適切に適用することで、山林生態系の保全と持続可能な利用が強化される」という上位目標に向けては、どのような森林管理システムモデルが山林生態系の保全と持続可能な利用のために必要とされているのかということについてカウンターパート機関、日本側研究者間で議論を重ねてきているものの、地域のコミュニティへのアクセスを開始したばかりであり、地域コミュニティを含むステークホルダーとの森林管理システムモデルに関する議論が十分でない。ステークホルダーが森林管理システムモデルの開発に参加して意見を反映させることにより、その後の社会実装への効果が期待できることから、ステークホルダー参加型による森林管理システムモデルの開発の仕組みを早急に構築していくよう努める。

Ⅲ. 国際共同研究実施上の課題とそれを克服するための工夫、教訓など（公開）

・プロジェクト全体の現状と課題、相手国側研究機関の状況と問題点、プロジェクト関連分野の現状と課題。当該課題や問題点を解決するために取り組んだ事項。

すでに記述してきているとおり、プロジェクトは COVID-19 のパンデミックの影響によって JST 側研究期間と国際共同研究期間とがずれて実施されている。このことが研究計画にも影響を与えており、さらに、JST の予算の中で人件費を受けている研究者の国際共同研究期間最終年度の参画を難しくしている。この状況を緩和するため、森林管理システムモデルの開発を前倒しで開始した。

相手国側研究機関については、プロジェクトへの積極的な関与が見られるものの、COVID-19 による半導体不足やサプライチェーンの寸断などの影響を受けて、機材の供与が大幅に遅れている。このため、森林管理システムモデルの開発に必要な調査、データ解析等に支障を来している。供与機材の遅れについては、現地調整員が機材調達に避ける時間を増やすように工夫する。

プロジェクトに関連する情報としては、カウンターパート機関の一つであるペルー森林野生動物

庁が森林火災情報を提供しており、プロジェクトでの利用が可能である。また、国家森林インベントリによる全国での森林調査が進んできており、本プロジェクトの研究題目 2 および研究題目 3 のプロット調査との互換性があるかどうか検討する必要がある。

・諸手続の遅延や実施に関する交渉の難航など、進捗の遅れた事例があれば、その内容、解決プロセス、結果。類似プロジェクト、類似分野への今後の活動実施にあたっての教訓、提言等。

COVID-19 のパンデミックにより詳細計画策定調査が対象国で実施できなかったことが、研究計画や供与機材の導入計画の細部において齟齬を生じさせる原因となっている。我が国とペルーとの時差によりオンラインでの協議時間に制約があり、また、1 日の協議時間を十分に取れないことから協議日数を増やすこととなり、このことが主要なメンバー全員が常に協議に参加することを難しくする要因となった。このため詳細計画策定調査後ミニッツへの署名までに、非常に長い時間を要することになり、このことが国際共同研究期間と JST 側研究期間の大きなずれにつながった。また、供与機材の仕様についても、結果的には十分に詰められておらず、このことが供与機材の導入の遅れに拍車をかけている。

COVID-19 のパンデミックにより急速にオンライン会議システムが進展したものの、多くの関係者で協議が必要な会議については、対面での会議を実施して、その場で細部を詰めないと非常に非効率であるという教訓を得た。

IV. 社会実装に向けた取り組み（研究成果の社会還元）（公開）

- ・ プロジェクト終了後、カウンターパートのみで必要な現地のデータが収集で済むようにするため、調査方法および機材の使い方に関する技術移転を行っている。
- ・ プロジェクト終了後、カウンターパートのみで必要な土地利用分類図を作成できるように、フリーで利用可能な Google Earth Engine と QGIS での作業フローとデータ処理アルゴリズムを考えている。
- ・ 森林管理システムモデルの導入の素地をつくるため、行政機関の地方事務所や町の役場、地域住民に対してアンデス-アマゾンにおける山地森林生態系保全の必要性とプロジェクトの意義を説明している。
- ・ 2023 年 11 月 15 日に関連する NGO や行政、大学、一般を対象に、本プロジェクトの広報普及のためのセミナーをリマ市で開催した。

V. 日本のプレゼンスの向上（公開）

- ・ 相手国の国際協力庁から 2023 年に大きな問題となったエルニーニョ現象の水資源への影響を本プロジェクトで開発するモデルを用いて評価することを期待されている。
- ・ 現地調査等で地域コミュニティをはじめとするステークホルダーに配布するための本プロジェクトの概要を記したパンフレットを作成した。

以上

VI. 成果発表等

(1) 論文発表等【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 原著論文(相手国側研究チームとの共著)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)

論文数 0 件
 うち国内誌 0 件
 うち国際誌 0 件
 公開すべきでない論文 0 件

② 原著論文(上記①以外)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ～おわりのページ	DOIコード	国内誌/ 国際誌の別	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項(分野トップレベル雑誌への掲載など、 特筆すべき論文の場合、ここに明記ください。)
2022	Akinori Kitsuki, Shunsuke Managi, Importance Weighting in Subjective Well-Being Measures: Using Marginal Utilities as Weights for Domain Satisfaction, Journal of Happiness Studies, 2023, 24, 3, 1101-1120	https://doi.org/10.1007/s10902-023-00636-4	国際誌	発表済	
2022	Hirofumi Kurokawa, Kengo Igei, Akinori Kitsuki, Kenichi Kurita, Shunsuke Managi, Makiko Nakamuro, Akira Sakano, Improvement impact of nudges incorporated in environmental education on students' environmental knowledge, attitudes, and behaviors, Journal of Environmental Management, 2023, Vol 325, Part B, 116612	https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116612	国際誌	発表済	
2022	Akinori Kitsuki, Shunsuke Managi, Toward a multidimensional indicator of resident-oriented sustainable development: The case of slum areas in Mumbai, Frontiers in Sustainability, 2022, 3, 907821	https://doi.org/10.3389/frsu.2022.907821	国際誌	発表済	
2022	Murad Ahmed Farukh, Kamona Rani, Sayed Mohammed Nashif, Rimi Khatun, Lotifa Tamanna Toma, Kimihiko Hyakumura and Kazi Kamrul Islam, Carbon Stock Mapping Utilizing Accumulated Volume of Sequestered Carbon at Bangladesh Agricultural University, Bangladesh, Sustainability, 2023, 15(5): 4300	https://doi.org/10.3390/su15054300	国際誌	発表済	
2023	Aoife Bennett, Anne Larson, Alejandra Zamora Ríos, Iliana Monterroso, Gamarra Sheila, Forty-year multi-scale land cover change and political ecology data reveal a dynamic and regenerative process of forests in Peruvian Indigenous Territories, Global Environmental Change, 2023, 81, 102695.	https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2023.102695	国際誌	発表済	
2023	Makoto Ehara, Toshiya Matsuura, Hao Gong, Heng Sokh, Chivin Leng, Hong Narith Choeng, Rida Sem, Hisako Nomura, Ikutaro Tsuyama, Tetsuya Matsui, Kimihiko Hyakumura, Where do people vulnerable to deforestation live? Triaging forest conservation interventions for sustainable non-timber forest products, Land Use Policy, 2023, 131, 106637	https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0264837723001035?via=ihub	国際誌	発表済	

論文数 6 件
 うち国内誌 0 件
 うち国際誌 6 件
 公開すべきでない論文 0 件

③その他の著作物(相手国側研究チームとの共著)(総説、書籍など)

年度	著者名,タイトル,掲載誌名,巻数,号数,頁,年		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項

著作物数 0 件
公開すべきでない著作物 0 件

④その他の著作物(上記③以外)(総説、書籍など)

年度	著者名,論文名,掲載誌名,出版年,巻数,号数,はじめ-おわりのページ		出版物の種類	発表済 /in press /acceptedの別	特記事項
2021	Tamotsu Sato, Forest conservation is not just about carbon stocks – perspectives from forest ecology and field research, A Better World, 2022, Volume 8, 47-49.		書籍	発表済	

著作物数 1 件
公開すべきでない著作物 0 件

⑤研修コースや開発されたマニュアル等

年度	研修コース概要(コース目的、対象、参加資格等)、研修実施数と修了者数	開発したテキスト・マニュアル類	特記事項

VI. 成果発表等

(2) 学会発表【研究開始～現在の全期間】(公開)

① 学会発表(相手国側研究チームと連名)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2021	国内学会	宮本和樹、佐藤保、Alexs ARANA, Gabriel CLOSTRE, Christian ROHNER、アンデスアマゾン地域の攪乱を受けた山地林における森林構造と種組成の特性、第69回日本生態学会大会、オンライン、3月15日	ポスター発表
2022	国内学会	宮本和樹(森林総合研究所)・佐藤保(森林総合研究所)・今村直広(森林総合研究所北海道支所)・Alexs Arana(ペルー国家森林野生生物庁)・Christian Rohner(ペルー国家森林野生生物庁)・Sonia Palacios(ラモリーナ大学)・Juan Carlos Ocana(ラモリーナ大学)・Sara Terrerros(ラモリーナ大学)・Carlo Reyes(ラモリーナ大学)、人為攪乱の程度が異なるペルー山地林における森林構造と群集組成、第134回日本森林学会大会、鳥取(オンライン)、3月25-27日	ポスター発表
2023	国内学会	宮本和樹(森林総合研究所)、平田泰雅(森林総合研究所)、楊偉(千葉大)、佐藤保(森林総合研究所)、Sonia Palacios(ラモリーナ国立農科大)、Juan Carlos Ocana(ラモリーナ国立農科大)、Alexs Arana(ペルー国家森林野生生物庁)、Ricardo de la Cruz(ペルー国家森林野生生物庁)、アンデスアマゾン地域の山地林における森林劣化評価、第71回日本生態学会大会(横浜国立大学/オンライン)、3月16日	口頭発表

招待講演 0 件
口頭発表 1 件
ポスター発表 2 件

② 学会発表(上記①以外)(国際会議発表及び主要な国内学会発表)

年度	国内/ 国際の別	発表者(所属)、タイトル、学会名、場所、月日等	招待講演 /口頭発表 /ポスター発表の別
2021	国内学会	今村直広(森林研究・整備機構)、佐藤保(森林研究・整備機構)、宮本和樹(森林研究・整備機構)、南米地域における森林火災が表層土壌に及ぼす影響__文献レビュー、第133回日本森林学会大会、オンライン、3月27日	ポスター発表
2021	国際学会	楊偉(千葉大学)、楊子平(千葉大学)、Land-cover mapping in the Andean-Amazon area using Sentinel-2 time-series data based on Google Earth Engine、AGU Fall meeting 2021、オンライン、13-17 December 2021	ポスター発表
2022	国際学会	楊偉(千葉大学)、Monitoring of Land-Use/Land-Cover Change in the Peruvian Andes-Amazon based on Spatiotemporal Fusion of Multiple Satellite Data、AGU Fall Meeting、オンライン、2022/12/12-16	ポスター発表
2022	国内学会	佐藤保、今村直広、宮本和樹、戸田美紀(森林研究・整備機構 森林総合研究所)、ペルー山岳地域での森林火災の発生傾向〜クスコ、アブリマック、プーノ各州での統計データによる分析〜、日本熱帯生態学会第32回年次大会、名古屋大学、6月18日	口頭発表
2022	国際学会	玉井幸治(森林総合研究所)、FOREST MANAGEMENT METHOD FOR THE WATER RESOURCE CONSERVATION FUNCTION OF FORESTS:EXAMPLE FOR DETERMINING THE LOCATION AND AREA OF TREES CUT DOWN、12th International Conference on Sustainable Development and Planning、オンライン、2022/6/8-10	口頭発表

招待講演 0 件
口頭発表 2 件
ポスター発表 3 件

VI. 成果発表等

(3) 特許出願【研究開始～現在の全期間】(公開)

①国内出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する外国出願※
No.1													
No.2													
No.3													

国内特許出願数 0 件

公開すべきでない特許出願数 0 件

②外国出願

	出願番号	出願日	発明の名称	出願人	知的財産権の種類、出願国等	相手国側研究メンバーの共同発明者への参加の有無	登録番号 (未登録は空欄)	登録日 (未登録は空欄)	出願特許の状況	関連する論文のDOI	発明者	発明者所属機関	関連する国内出願※
No.1													
No.2													
No.3													

外国特許出願数 0 件

公開すべきでない特許出願数 0 件

VI. 成果発表等

(4) 受賞等【研究開始～現在の全期間】(公開)

①受賞

年度	受賞日	賞の名称	業績名等 (「〇〇の開発」など)	受賞者	主催団体	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項

0 件

②マスコミ(新聞・TV等)報道

年度	掲載日	掲載媒体名	タイトル/見出し等	掲載面	プロジェクトとの関係 (選択)	特記事項

0 件

VI. 成果発表等

(5) ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等の活動【研究開始～現在の全期間】(公開)

① ワークショップ・セミナー・シンポジウム・アウトリーチ等

年度	開催日	名称	場所 (開催国)	参加人数 (相手国からの招聘者数)	公開/ 非公開の別	概要
2022	8月2日	SATREPS実施計画の具体化に向けた 会合	森林総合研究所	15(0)	非公開	研究対象地の選定調査を受けた各研究題目に おける実施計画の検討
2022	1月24日	年度報告会	オンライン	16(0)	非公開	各研究題目での最初の現地調査結果を踏まえ た年度報告会
2023	7月10日	SATREPS実施計画の具体化に向けた 会合	九州大学(オン ライン有)	11(0)	非公開	各研究題目からのインプットデータを踏まえた 森林管理システムモデルの設計会議
2023	11月15日	プロジェクト普及のためのワークショッ プ	リマ(ペルー共 和国)	35(28)	公開	プロジェクトの活動の紹介と有識者を招いた ディスカッション

4 件

② 合同調整委員会(JCC)開催記録(開催日、議題、出席人数、協議概要等)

年度	開催日	議題	出席人数	概要
2022	7月20日	関係機関への進捗状況の説明	29名	プロジェクトの概要、進捗状況、年度計画の説明と質疑応答、ミニッツ署名
2023	6月14日	関係機関への進捗状況の説明	30名	プロジェクトの概要、進捗状況、年度計画の説明と質疑応答、ミニッツ署名

2 件

成果目標シート

研究課題名	アンデスアマゾンにおける山地森林生態系保全のための統合型森林管理システムモデルの構築
研究代表者名 (所属機関)	平田 泰雅 (国立研究開発法人 森林研究・整備機構 森林総合研究所 研究ディレクター)
研究期間	R2採択 (令和2年6月1日～令和8年3月31日)
相手国名／主要相手国研究機関	ペルー共和国／ラ・モリーナ国立農科大学、森林野生動物庁
関連するSDGs	目標 15. 陸域生態系の保護、回復、持続可能な利用の推進、持続可能な森林の経営、砂漠化への対処、ならびに土地の劣化の阻止・回復及び生物多様性の損失を阻止する 目標 13. 気候変動及びその影響を軽減するための緊急対策を講じる 目標 6. すべての人々の水と衛生の利用可能性と持続可能な管理を確保する

成果の波及効果

日本政府、社会、産業への貢献	<ul style="list-style-type: none"> ・地球規模の気候変動による森林火災、水資源問題への活用 ・日本政府のSDGsへの貢献
科学技術の発展	<ul style="list-style-type: none"> ・山地生態系、水資源の保全のための手法開発 ・日本が開発中の国際宇宙ステーション (ISS) 搭載 LiDARへのフィードバック
知財の獲得、国際標準化の推進、遺伝資源へのアクセス等	<ul style="list-style-type: none"> ・衛星を利用した3次元森林生態系モニタリング ・コベネフィット型森林管理システム
世界で活躍できる日本人人材の育成	<ul style="list-style-type: none"> ・国際共同研究の遂行や国際誌、国際学会での成果発表により、国際的に活躍可能な日本側の若手研究者を育成
技術及び人的ネットワークの構築	<ul style="list-style-type: none"> ・アメリカ航空宇宙局 (NASA) との国際宇宙ステーション搭載LiDAR観測に関するネットワークの構築
成果物 (提言書、論文、プログラム、マニュアル、データなど)	<ul style="list-style-type: none"> ・LiDARによる森林生態系の3次元構造モデル ・劣化、火災からの回復ポテンシャルマップ ・コベネフィット型森林管理システムの教育・普及プログラム

上位目標

アンデスアマゾンの3つの対象地域において、森林管理システムモデルを適切に適用することで、山林生態系の保全と持続可能な利用が強化される

教育プログラム・社会普及プログラムにより山地森林生態系保全の価値に対する認識を高め、開発した森林管理システムが活用される

プロジェクト目標

アンデスアマゾンにおいて地域住民が森林生態系サービスを持続的に保全・利用するための森林管理システムモデルが開発される

