

令和 5 年度地球観測技術等調査研究委託事業
「環境音と衛星画像を用いたヒマラヤ山岳地帯の
野生動物保全・犯罪対応の拠点形成」
委託業務成果報告書

令和 6 年 5 月
国立大学法人東京大学

本報告書は、文部科学省の地球観測技術等調査研究委託事業による委託業務として、国立大学法人東京大学が実施した令和5年度「環境音と衛星画像を用いたヒマラヤ山岳地帯の野生動物保全・犯罪対応の拠点形成」の成果を取りまとめたものです。

目次

1	はじめに.....	1
1.1	委託業務の目的.....	1
1.2	業務の方法.....	1
1.2.1	技術開発の業務の方法.....	1
1.2.2	合意形成の業務の方法.....	1
1.2.3	人材教育の業務の方法.....	2
1.2.4	自発的な研究活動等.....	2
1.3	当該年度における委託業務の結果概要.....	2
1.3.1	技術開発の業務の結果概要.....	2
1.3.2	合意形成の業務の結果概要.....	2
1.3.3	人材育成の業務の結果概要.....	3
1.3.4	自発的な研究活動等の結果概要.....	3
2	実施内容.....	3
2.1	技術開発の実施.....	3
2.1.1	背景.....	3
2.1.2	目標.....	5
2.1.3	評価実験.....	6
2.1.4	結果.....	9
2.1.5	議論.....	14
2.2	合意形成の実施.....	15
2.2.1	技術協力要請の起案と内容.....	15
2.2.2	教育科学技術省との合意形成.....	18
2.3	議論.....	20
2.4	人材育成の実施.....	20
2.4.1	専門家の育成.....	20
2.4.2	日本国内の視察とネパールでのシンポジウムでの周知活動.....	21
2.4.3	議論.....	23
2.5	自発的な研究活動等の実施.....	24
3	令和5年度のまとめ.....	27
3.1.1	技術開発の業務のまとめ.....	27
3.1.2	合意形成の業務のまとめ.....	27
3.1.3	人材育成の業務のまとめ.....	27
3.1.4	自発的な研究活動等のまとめ.....	28
4	事業全体のまとめ.....	28
4.1.1	技術開発の業務のまとめ.....	28
4.1.2	合意形成の業務のまとめ.....	28

4.1.3	人材育成の業務のまとめ.....	29
5	添付資料	30

1 はじめに

1.1 委託業務の目的

本業務の目的は、日本の宇宙開発利用によるネパール国内における課題解決の案件形成と、コーディネートを行う経済・GIS人材の育成プログラムの加速である。世界税関機構（WCO）は国際刑事警察機構（ICPO）と連携して、世界各国で発生する野生動物犯罪対応を実施している。業務主任者は、このようなインフラ未整備地域において、野生動物に装着したデバイスを用いた高度なサービスを実現する空間情報技術の研究を行ってきた。本業務では、日本の宇宙開発利用によるネパール国内における課題解決の国際事業推進のための(A)技術開発 (B)合意形成 (C)人材教育を行う。

1.2 業務の方法

令和5年度における実施内容は、以下の通りである。

1.2.1 技術開発の業務の方法

野生動物保全・犯罪対策への活用を目的に、野生動物が発する環境音と生息地の衛星画像を処理するための情報基盤開発を行う。具体的には、日本国内の予備研究成果を用い、野生動物の行動と人の行動が重なりやすい場所の空間条件の整理を行うとともに、ネパール国内の空間データの整備や、データ処理のためのアルゴリズム開発を行う。令和5年度は、アルゴリズムの評価と改良を行う。また、ネパール国内の野生動物保全分野の専門家や、日本国内のリモートセンシング企業との議論を行い、得られた知見を(B)合意形成や(C)人材教育の業務において利活用する。

1.2.2 合意形成の業務の方法

日本の宇宙技術の国際展開を促進するため、ネパール政府関係機関（森林省・財務省・外務省）との合意形成を進める。森林省の所轄組織である The National Trust for Nature Conservation (NTNC) と共同でシナリオ作成・技術協力要請書の取りまとめを行い、上記3省庁からの承認を得ることを目標とする。令和5年度は、令和4年度に得られた成果・利点を用いて NTNC や同3省庁の関係者とのオンサイトミーティングを実施する。また、新型コロナウイルス感染症流行等の状況を踏まえつつ、可能であれば野生動物の生息地内の関連施設の視察も実施する。さらに、ネパール現地に

構築した環境音モニタリングシステムを本事業の終了後も持続的に活用できるよう、関連する組織・団体等との合意形成を行う。

1.2.3 人材教育の業務の方法

持続的な国際共同事業に向けた人文社会分野（貧困経済学）の人材教育として、人文社会分野人材を対象に組織的な教育を行う。令和5年度は、令和4年度に身に付けた空間的思考力を活かし、GIS教材やオンラインツールを用いて、組織的な教育活動を行う。具体的には、令和4年度に現地に構築した環境音モニタリングシステムを用いて、日本・ネパール両国の研究者・学生を対象に、日本の宇宙利用技術を活用するための教育やシンポジウム等によるキャパシティ・ビルディングを実施する。

1.2.4 自発的な研究活動等

自発的な研究活動等に関する実施方針に基づき、所属機関が認めた範囲で自発的な研究活動等を推進する。

1.3 当該年度における委託業務の結果概要

令和5年度における業務の結果概要は、以下の通りである。

1.3.1 技術開発の業務の結果概要

野生動物保全・犯罪対策への活用を目的に、野生動物が発する環境音と生息地の衛星画像を処理するための情報基盤開発を行った。具体的には、日本国内の予備研究成果を用い、野生動物の行動と人の行動が重なりやすい場所の空間条件の整理を行うとともに、ネパール国内の空間データの整備や、データ処理のためのアルゴリズムの評価と改良を行った。また、ネパール国内の野生動物保全分野の専門家や、日本国内のリモートセンシング企業との議論を行い、得られた知見を(B)合意形成や(C)人材教育の業務において利活用した。

1.3.2 合意形成の業務の結果概要

日本の宇宙技術の国際展開を促進するため、ネパール政府関係機関（森林省・財務省・外務省）との合意形成を進めた。森林省の所轄組織である The National Trust for Nature Conservation (NTNC) と共同でシナリオ作成・技術協力要請書の取りまとめを行い、上記3省庁からの承認を得る

ことを目標とした。令和4年度に得られた、野生動物が発する環境音と生息地の衛星画像を処理するための情報基盤開発の成果を用いてNTNCや同3省庁の関係者とのオンサイトミーティングを実施した。結果、教育科学技術省を含めた4省庁から承認を得ることができた。また、新型コロナウイルス感染症流行等の状況を踏まえつつ、野生動物の生息地内の関連施設の視察も実施した。さらに、ネパール現地に構築した環境音モニタリングシステムを本事業の終了後も持続的に活用できるよう、関連する組織・団体等との合意形成を行った。

1.3.3 人材育成の業務の結果概要

持続的な国際共同事業に向けた人文社会分野（貧困経済学）の人材教育として、人文社会分野人材を対象に組織的な教育を行った。人文社会分野人材が令和4年度に身に付けた空間的思考力を活かせるよう、Geographic Information System教材やオンラインツールを用いて、組織的な教育活動を行った。具体的には、令和4年度に現地に構築した環境音モニタリングシステムを用いて、日本・ネパール両国の研究者・学生を対象に、日本の宇宙利用技術を活用するための授業・政府イベントでの発表・講演によりキャパシティ・ビルディングを実施した。

1.3.4 自発的な研究活動等の結果概要

自発的な研究活動等に関する実施方針に基づき、所属機関が認めた範囲で自発的な研究活動等を推進した。

2 実施内容

2.1 技術開発の実施

2.1.1 背景

野生動物の生息状況を効率的にモニタリングするために、衛星データを利用する技術を開発する必要がある。野生動物は人里離れた場所に生息しており、地上からアクセスすることが難しい場所にも生息しているため、継続的かつ長期的にモニタリングすることが求められている。例えば、ネパールのアンナプルナ自然保護区に生息するユキヒョウについては、希少種の保護だけでなく、野生動物犯罪に対応するためのワイドなモニタリングが必要とされている。しかし、山岳地域では地上のインフラストラクチャーが

乏しいため、センサーを配備しても定期的に回収することが困難であり、気象条件が厳しいためセンサーの動作が保証できないことが問題となる。さらに、商用電力網や情報通信ネットワークが未整備であるため、地上からのアプローチだけでは対応できない。このような状況でリモートセンシングを効果的に活用することが求められる。

リモートセンシングの手段としては、たとえばドローンを利用することが挙げられる。近年の技術的進歩により、ドローンの飛行可能時間は伸びており、また安価であるため様々な状況下において利用されている。その一方で飛行条件が相当制約される。例えばアンナプルナのような標高の高い地域（およそ 4000m 超）での飛行は揚力の低下もあって現実的にはかなり難しい。また急峻な山岳地形では谷を抜ける風の影響を強く受けるため安定的な飛行も難しい。さらに複雑な地形が障害となるため電波の受信にも限界がある。よってドローンのような手法よりもさらに高い高度から観測を行うことができる、衛星によるリモートセンシングを行うことが妥当と考えられる。

衛星による野生動物のモニタリングは、テレメトリによる方法がよく行われている。テレメトリは対象動物に動物装着型センサーを取り付け、そのセンサーから衛星宛にセンサーデータを送信する方法である。この手法は動物に一旦センサーを装着する必要があるため、動物を一旦捕獲する必要があるため、人的負荷が高い。したがって本業務ではこの方法を採用しない。その代わりに直接衛星の画像データを利用して個体数を識別する。

衛星による光学的方法による野生動物個体の認識はほとんど行われたことがない。この方法は地上の支援がほとんど不要で、研究者や地域のコミュニティ、対象動物に負担をかけることが少ない。その一方で、衛星画像の解像度が十分に高くないと地上動物が識別できないため、技術的に困難であった。可視画像による例としては、例えば Yang et al. (2014) が Geo-Eye 1 衛星（50cm 解像度）を用いてアフリカサバンナで哺乳類を検出した研究などがある。しかしながら、可視画像は上空が雲で覆われていると地表を観測することができない。

そこで本研究では合成開口レーダー（SAR）を用いて電波的に地表を観察することで、動物を検出する。本手法は過去にほとんど試みられたことがない。それは SAR の解像度（最大でも 1m 前後）が可視画像（最大 30cm 以下）よりも一般的に劣ることや、SAR で観察した場合の ground truth が検証できないからであ

る。しかしこの方法が可能になると気象条件に拘わらず地表を観察できるので、長期的な観察には適している。そこで本技術開発では、本手法の限界を明らかにし、改善を目指すこととする。



図 0: アンナプルナ自然保護区の位置 (Kumari et al., 2014)

2.1.2 目標

最終的に評価実験を行う予定のネパール・アンナプルナ自然保護区(図 0)はネパールの高地にあるため、実際の現場に日本側の研究者が衛星の通過時刻に合わせて足を運び、現地に滞在することは簡単ではない。本研究で調査を行う動物はその大きさが最大でも 2m 程度であり、必ずしも反射能が高くない。衛星の姿勢を回転させることでアンテナを撮像対象に合わせ高解像度の画像を取得するモードであるスポットライトモードを用いても、地表面からの背景反射などの条件によっては動物を明確に捕らえることができない場合もある。よって昨年度は現場での実用化を見据えた上でより迅速に開発を行うため、日本地球観測衛星サービス株式会社(JE0SS)から購入した X バンド合成開口レーダ(XSAR)画像を用い、動物に装着することを仮定したレーダリフレクタの撮影を行った。その結果コーナリフレクタタイプのレーダリフレクタでは XSAR 撮影を行う衛星に対し顕著な角度依存性が見られることが判った。そのため、本年度は XSAR 画像で認識できる対象の素材や形状の限界を調べ、また同時に XSAR 画像に写る動物由来の輝点をより明確にするための技術開発として、対照度の高い球面・円筒からなるボウルや鍋、円柱等による評価実験を行った。

2.1.3 評価実験

合成開口レーダー(SAR)を用いた衛星画像データは、地球へ照射したマイクロ波の反射波を利用している。昨年度の試行から、コーナリフレクターでは角度依存性が極めて高く、レーダ波が2回反射する角度によっては全くリフレクタがXSAR画像に写らない可能性があることが判った。令和5年にはあるアルミ版のコーナリフレクターを構築して確認した。実用においてはこの点が問題となると考えた。そこで2回反射が成立しやすい条件を考慮し、アルミ製の球面や、円柱を利用し、これらがレーダ波を反射するかどうか確かめた。

本研究では球面のサンプルとして、アルマナイト製ボウル(平底)(図1)を長辺が10cm、15cm、24cm、30cm、45cmの5つのサイズで準備した。また、衛星からのレーダーをより効率的に反射できる形状を調べるため、2種類の丸底の容器(ボウルとタイ鍋)を用意した(図2)。これらは曲率が異なり2回反射の条件が異なる可能性がある。また公園の街灯も利用した。評価実験は、ネパール・アンナプルナ自然保護区と空間・地表面の条件が似ている背景反射が可能な限り小さい天然芝(東京大学柏2キャンパス内天然芝)、多摩川河川敷、駒沢公園で行った。



図 1: 直径が 45cm のアルミボウル。アルマナイト製ボウル（平底）



図2: 用意した2種類の丸底の容器 (ボウルとタイ鍋)

2.1.4 結果

アルミボウル（平底、球形）（図 3, 4）、タイ鍋（図 5, 6）は SAR 画像には輝点が現れなかった。一方、駒沢公園の街灯（図 7, 8）は SAR 画像確認することができた。このことから、金属性の物体で鉛直方向に線対称な形状（円柱や球体）を持ち、かつ高さがあるもの（地面と棒が平で直交している組み合わせが多いもの）は SAR 画像に輝点が表れやすいと考えた。その一方で、タイ鍋やボウルなどの球形をしていても、真球でなければ角度依存性が強く出るものと考えられた。



図 3: 東京大学柏 2 キャンパスの天然芝に並ぶアルミボウル

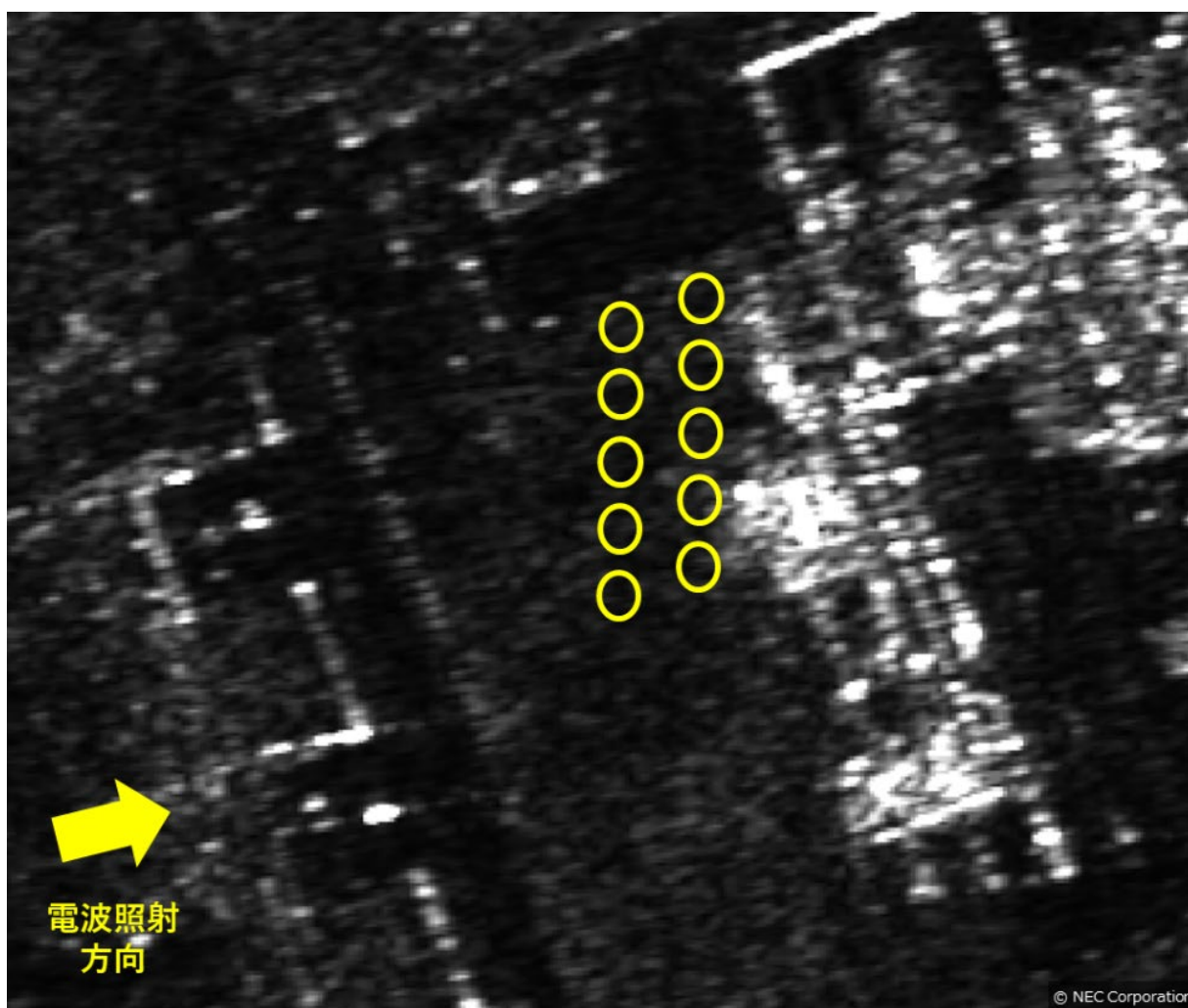


図 4: 東京大学柏 2 キャンパスの天然芝の XSAR 画像(下)。芝生に並ぶアルミボウルの輝点は見えない



図 5: 多摩川河川敷に設置した 2 種類の丸底の容器 (ボウルとタイ鍋)

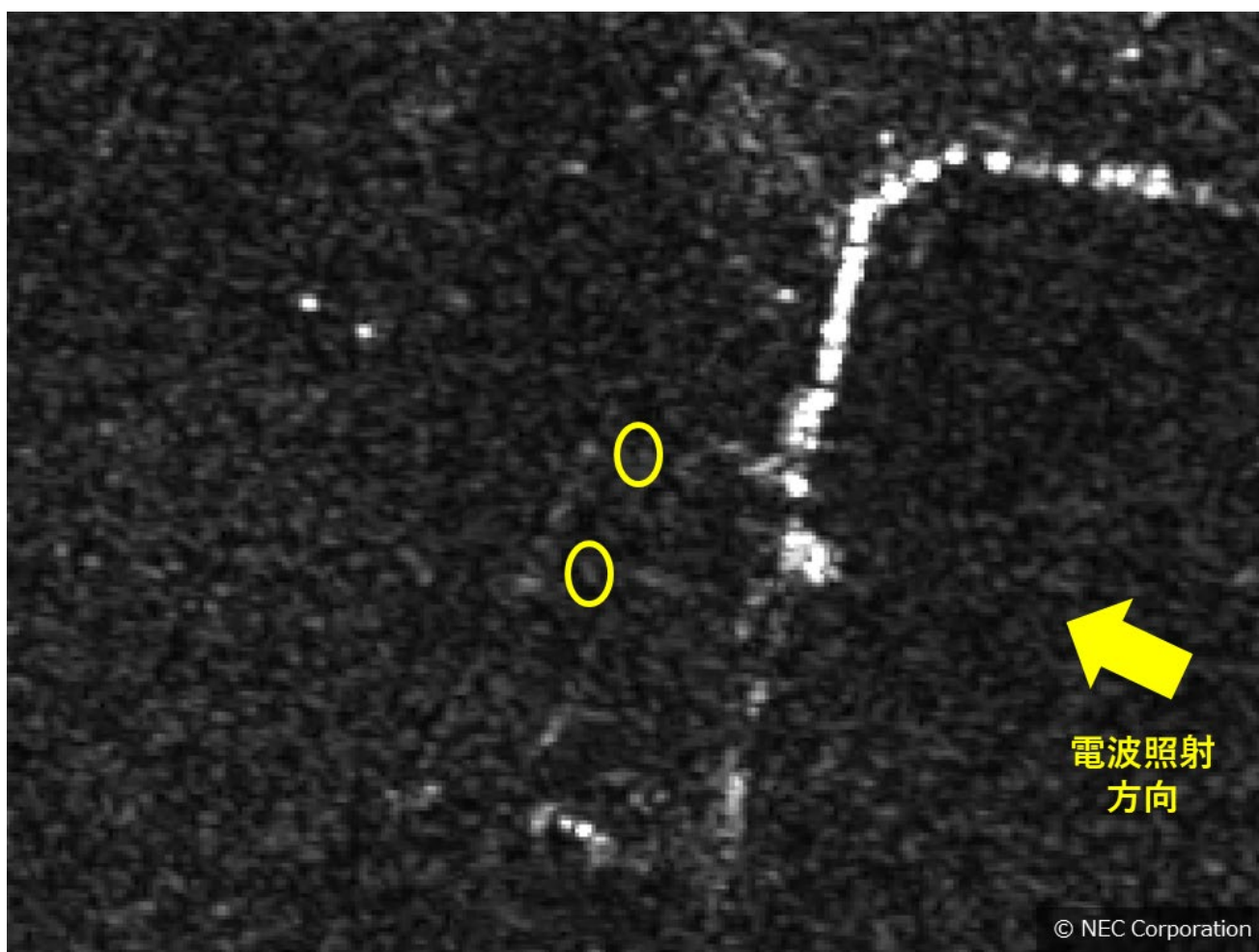


図 6: 多摩川河川敷の XSAR 画像(下)。河川敷に並ぶボウルとタイ鍋の輝点は見えない



図 7: 駒沢公園の街灯 A と街灯 B

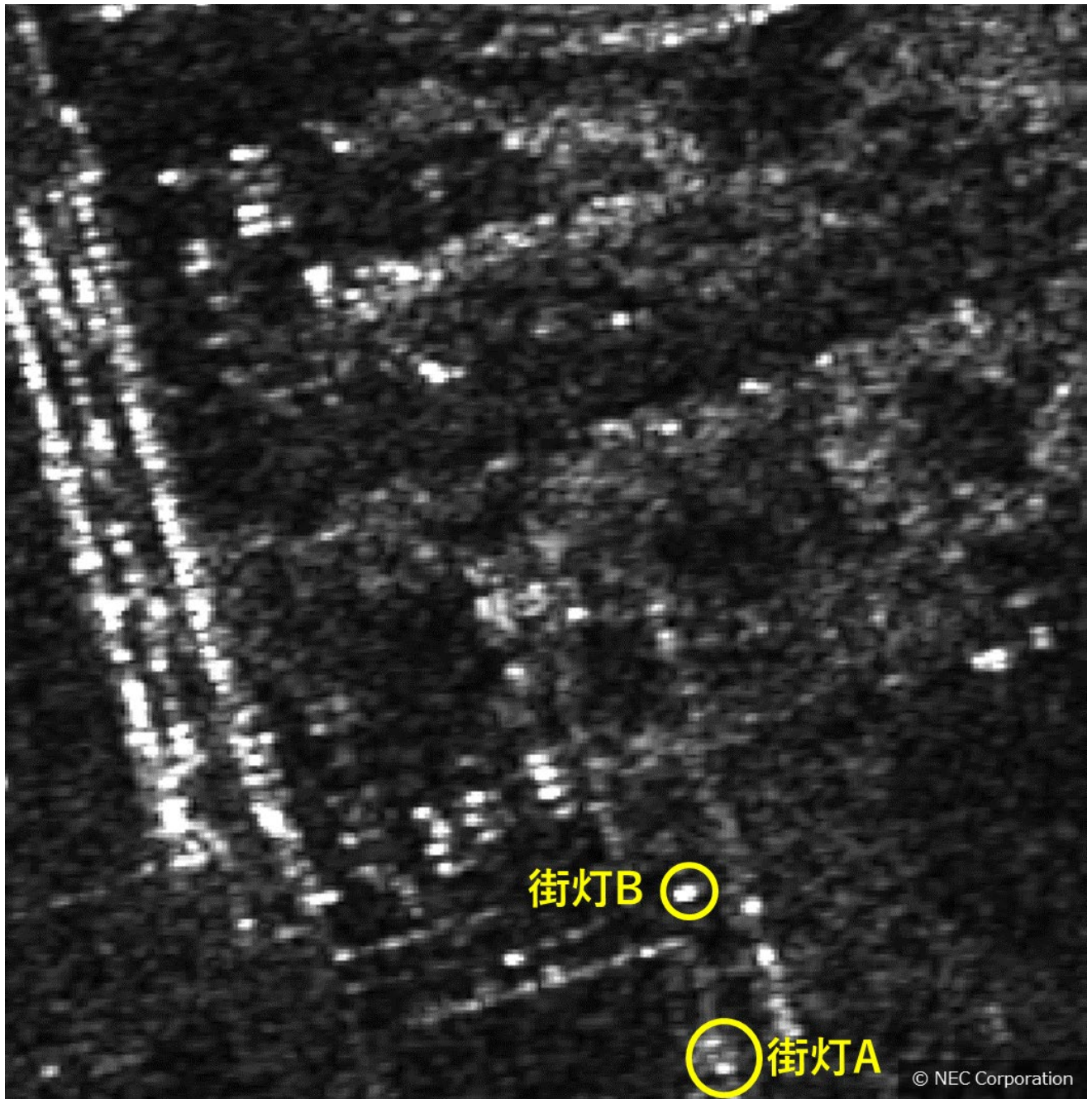


図 8: 駒沢公園の XSAR 画像(下)。街灯 A と街灯 B の輝点が見える

2.1.5 議論

X バンドのレーダ波を利用した SAR 衛星画像を利用した今回の撮像計画では、撮像担当者との議論の結果、波長の $1/10$ 程度であれば映る可能性があるとのことであった。すなわち公称解像度 1 m を超えて、 30 cm 程度が解像限界ではないかとのことであった。その一方この限界値に達するには、対象物の形状、方向が重要であることが判った。現に街灯のかさの面積は $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ もないはずであるが、十分に認識できるターゲットとして映っている。



図 9：捕獲織で捕獲した熊を回収する様子。 獲物が中に入って扉の網が落ちている様子がわかる。

(写真：<https://www3.nhk.or.jp/lnews/kobe/20231115/2020023779.html>)

捕獲檻とは野生動物を捕獲する場合に用いられる箱状の檻のことで、餌を使って箱の中に獲物を引き寄せて、獲物が中に入ると扉が落ちて物理的に捕獲するものである（図 9）。数メートル間隔に金属製の柱を打ち込み、それに網を張って建てられている。今回の実験から、この様な柱からなる建造物については、XSAR 上に映る可能性があることが判った。このことから、動物によって倒伏された柱を検出するために本件手法が利用できる可能性があることが判った。

2.2 合意形成の実施

2.2.1 技術協力要請の起案と内容

ネパール政府森林省の所轄組織である自然保護のためのナショナルトラスト（NTNC）と共同でシナリオ作成・技術協力要請書の取りまとめを行い、ネパール政府関係機関（森林省・財務省・外務省）からの承認を得ることを目指した。技術協力要請は、ネパールにおける持続可能な自然保護の実現と地元住民の生活促進に向けた日本の宇宙航空科学技術のニーズを考慮し、NTNC が起草した。ネパールにおける人間と自然の調和のとれた共存を達成し、違法な野生生物の殺害と野生生物犯罪を最小限に抑えるための日本の宇宙技術の展開、および自然資源管理のための ICT の使用を強化するためのネパールの研究者と保全事業担当者の能力構築に焦点を当てた。特に、GPS 無線付き首輪、衛星

画像、カメラトラップ、環境音センサー、早期警報センサー、および人工知能（AI）ベースのモバイルアプリケーションなどの技術は、ネパールでの人間と動物の対立や違法な密猟を減らすのに有用である。令和4年度に得られた、野生動物が発する環境音と生息地の衛星画像を処理するための情報基盤開発の成果を用いて NTNC や同3省庁の関係者とのオンサイトミーティングを実施した。

人間と野生生物が調和して共存することは、持続可能な生態系を維持するために不可欠である。しかし、自然および人為的な要因により、野生生物の生息地には大きな圧力がかかり、人間と野生動物の間で継続的な衝突が発生している。ネパールの場合、農地の必要性和人間の定住地の拡大により、森林が伐採され野生生物の生息地が縮小している。さらに、外来の侵略的植物種の急速な増加が森林内の既存の野生動物の食糧源と競合している。これらの要因により、特に猿などの野生動物が人間の定住地に侵入し、食料や水を求めて農地を襲うことを余儀なくされている。さらに、人間の社会環境の拡大により野生動物と人間の定住地との距離が徐々に近づいているため、猿が農地に侵入しやすい。

一方、ネパールではリスザル（マカク・マレーシアーナ）、アッサムザル（マカク・アッサムエンシス）、ハヌマンラングール（シムノピテクス・エンテルス）が見られ、アッサムザルは IUCN のレッドリストで近危急種として記載されている。これらの猿は、米、小麦、トウモロコシ、野菜、果物などの農作物を略奪するだけでなく、家屋を襲撃し、人間に身体的な傷害を負わせることもある。ネパールの場合、猿による作物の被害の実際のデータは体系的には利用できないが、一研究論文によると、一世帯当たり約 700 ドルに上ることがあると報告されている (Baral et al., 2021)。ネパールの丘陵地域の農民の約 70% が、猿による作物の略奪や被害に苦しんでいると推定されている (Ghimirey, 2012)。猿による作物の被害は、地元の農民が生計を立てるのを困難にし、その結果、農村から都市部に移住する農民が増えている。農業を主な職業とする人々の数の急速な減少は、最終的に国の持続可能な発展と繁栄に深刻な影響を与える。したがって、ネパールの連邦、州、地方政府が猿が作物に与える被害を緩和するための対策を講じることが喫緊の課題である。

ネパールでは自足農業が主要な生計源であるため、地元の農民は猿による作物の略奪に強く反撃している。彼らは時には猿を毒殺したり、銃やスリングショットなどの他の武器を使用して殺した

りし、農地の近くの木に死骸を吊るして野生動物を寄せ付けないようにしている。しかし、これは地元の人々にとってさらなる法的な複雑さを引き起こす課題がある。ネパール政府の国立公園および野生生物保護法（2019 年）によると、野生動物を殺すことは、野生動物が即座に身体的な損害や生命の危険をもたらす場合を除いて違法である。したがって、人間と野生生物の衝突に対処する適切な技術的介入を考案することが、地方コミュニティにおいて深刻な必要性である。しかし、このような試みは一般的に限られた効果しか示さず、技術的な介入の有効性は一時的である。たとえば、一部の地域では、地方政府が大きな音を出すだけで発砲しない驚嚇銃を住民に提供している。この音はしばらくの間猿を追い払うのに効果的だが、猿はすぐにその音に慣れ、驚嚇銃が害を持たないことをすぐに学ぶため効果が無くなる問題がある。

一方、野生動物と人間の定住地との間に物理的な境界を作るために電気柵を設置することも持続可能な解決策ではない。それは感電による人間や野生生物の深刻な傷害、あるいは死につながる可能性がある。猿による作物の被害が国全体で深刻な懸念となっているため、国立公園および野生生物保護局（DNPWC）が最近公表した野生生物被害補償ガイドライン 2080 年は、以前に補償の対象となっていた 14 種類の他の動物種に猿による被害を含めるように、2013 年の野生生物被害補償ガイドライン（2017 年の第 2 次修正と 2018 年の第 3 次修正を含む）を改訂した。しかし、補償額は被害の大きさに比べて小さく、農民に対する一時的な救済措置にとどまる。したがって、ネパール政府が宇宙開発利用や情報通信技術を利用する必要がある。リモートセンシングや GPS 衛星首輪、人工知能（AI）に基づく画像認識システムなど、これらのツールを使用して猿を監視し、彼らが農作物に与える被害を減らすことができる。

さらに、猿による作物の被害に影響を与える可能性がある要因に関する体系的な研究が必要となる。それには、作物の栽培パターン、地形、縄張り行動、気候条件、季節的および昼夜の変動、地元の態度、および猿の性別、年齢などの身体的特性が含まれる。こうした体系的な研究は猿が作物に与える被害を緩和するための適切な政策措置を策定するためにも必要である。

現在の技術協力要請は、以下の国家開発計画と一致している。

- ネパール政府、国立計画委員会による持続可能な開発のための自然保護国家戦略フレームワーク（2015-2030 年）
 - セクター活動 1.14：人間と野生動物の紛争を減らす
 - セクター活動 2.28：人間と野生動物の紛争を解決する
- ネパール政府、教育科学技術省による 2019 年の国立科学技術・イノベーション政策
 - 政策 7.6：持続可能な自然資源の利用と保護のための科学的研究、新興および適切な技術の開発と利用

2.2.2 教育科学技術省との合意形成

令和 4 年度に得られた、野生動物が発する環境音と生息地の衛星画像を処理するための情報基盤開発の成果を用いて NTNC や同 3 省庁の関係者とのオンサイトミーティングを実施した。その結果、教育科学技術省を含めた 4 省庁から承認を得ることができた。

ネパール政府研究機関の中で、ネパール科学技術アカデミー（NAST）はネパールにおける科学技術研究の中心的な機関である。教育科学技術省を所管とする。1982 年に議会法によって設立され、首相が学長として機関の総長を務める。現職の教育・科学技術大臣が副学長を務め、日々の行政機能において執行決定を行う権限を持つ最高経営責任者である。NAST には、科学部門と技術部門の 2 つの主要な部門がある。科学部門は主に分子生物技術、生物資源、環境研究、分子研究、物理科学、天然物化学の分野で研究を行う。技術部門は、太陽エネルギー、材料科学とナノテクノロジー、バイオエネルギー、風力エネルギー、水力発電、計器分野で研究を行う。技術部門は、海外からの技術導入と技術移転にも積極的に関与している。



図 10: 令和 3 年に研究代表者が NAST を訪問した時の様子。

NAST と研究代表者の所属機関は令和 3 年に MOU を締結した(図 10)。今年度の NAST と研究代表者の最初の会議は、令和 4 年 5 月にカトマンズで実施した。東京大学側から研究代表者とプロジェクト准教授、NAST の技術紹介学部長が出席した。両者は、令和 3 年の MOU の締結が 2 つの機関間の持続的な協力を促進することを再確認した。NAST からの参加者は、最近、日本の大学との協力でネパール初のナノサテライトを開発したと述べた。NAST は、空間イメージングの結果を都市計画、生物多様性、代替エネルギーに利用したいと述べた。2 回目の会議は令和 4 年 5 月にカトマンズの NAST キャンパスで開催された。会議には、東京大学側から 3 人の研究者と NAST 側から技術紹介部門の責任者が参加した。会議では、日本の宇宙航空科学技術を用いて両機関が地理空間イメージング研究で協力できる 2 つの潜在的なプロジェクトについて議論された。3 回目の会議は令和 4 年 7 月にカトマンズで行われた。そして、NTNC が起案した技術協力要請書に教育科学技術省に 8 月 30 日に承認がおりた。以上により、ネパール政府関係機関の 4 省庁（森林省・財務省・外務省・教育科学技術省）

との合意形成が実現した。その後、令和 4 年 12 月には業務協力者である世界銀行のバブラムニラウ氏が来日し取りまとめを実施した。令和 5 年 1 月にはカトマンズにて NAST の関係者と改めて打ち合わせを行い、本事業に関する取りまとめを実施した。

2.3 議論

日本の宇宙航空科学技術は、ネパールの野生動物のモニタリングに広く利用される。まず、宇宙航空科学技術を使用して国立公園や保護区の詳細な衛星地図を作成する。同様に、ネパールのサル関連の問題を制御するために技術が展開される一部の選択された地域の詳細な地図も作成する。サルは群れで移動するため、群れの中で選択されたサルの動きをリアルタイムで追跡することで、大量のサルの動きを追跡することができる。サルの位置情報は、サルに装着された GPS 首輪を用いて取得する。リアルタイムの位置情報は、衛星を通じてカトマンズの NAST 本部の処理施設に中継する。その後、NAST 本部から農場の農民にモバイルアプリを通じてサルのリアルタイムの位置情報を警報情報として通知する。この方法により、農民はサルが農地に入る前に対応することができる。

環境音情報も、動物の位置をリアルタイムで追跡するための有用な情報である。サルが頻繁に通る場所にはマイクを設置することが可能で、4 省庁（森林省・財務省・外務省・教育科学技術省）に加えて、地方自治体と協力して行うことができる。マイクによって録音した音は、インターネットを通じてリアルタイムでされ、上で述べたモバイルアプリに警報情報として通知できる。

ネパールで現在採用されている技術の効果に関する定量的なデータはないが、業務協力者との会話を通じて、従来の技術が人間と動物との衝突、動物関連の犯罪を約 25%減少させたと報告された。日本の宇宙航空科学技術野生動物による作物の損害や野生動物関連の犯罪を約 50%減少させると意見があった。これは、本研究で述べている環境音と衛星画像の組み合わせによって達成される。

2.4 人材育成の実施

2.4.1 専門家の育成

持続可能な国際共同事業に向けた人文社会分野（貧困経済学）の人材教育として、人文社会分野人材を対象に専門家 1 名の教育を実施した。ネパールとの研究協力を促進するため、令和 3 年 1 月 1

日学際的な研究背景と日本、ヨーロッパ、アメリカでの豊富な研究経験を有するネパール人研究者が採用された。ただし、当該専門家 1 名については、国際協力分野の外国人研究者を雇用しているものの、新型コロナウイルス感染症の流行の影響で渡航の予定が立たず、特例として令和 4 年 1 月 1 日付で海外在住（ネパール）のまま着任した。COVID-19 の影響により、研究者は 6 月までネパールで働いていた。研究者はネパールで活動しながらも、研究代表者のグループとネパールの間の提携促進に努め、また、ネパールの様々な研究者を結びつけた。ネパールからの研究者の採用は、ネパールとの提携を大きく前進させた。6 月に来日した後、研究室メンバーとの定期的な交流により恩恵を受けた。研究者は、空間技術や GIS の有用性を理解し、生態学に関連するさまざまな側面を理解することができた。このように、外国人研究者の採用は、ネパールと日本の国際協力の分野を大きく前進させた。

2.4.2 日本国内の視察とネパールでのシンポジウムでの周知活動

研究代表者らはまず国内事例の視察として宮崎県諸塚村（令和 5 年 4 月）と京都市動物園（令和 5 年 5 月）に視察した。研究代表者らの以前の研究成果が同村に導入されているからである。どのように利活用されているかを確認することができた。京都市動物園では研究推進員 工藤宏美と打ち合わせを行い、研究活動の打ち合わせを行った。

研究代表者は令和 4 年 5 月 28 日にネパール山岳アカデミー（Nepal Mountain Academy）に招待され、日本の宇宙航空科学に関する講演を行った。このアカデミーはネパールの文化観光航空省が所管する重要な高等教育機関であり、その教育活動は、主に山岳環境と関連する科学分野の教育に特化している。講演には、アカデミーの学生、議長、事務局長、その他多数の高官が出席した。この場で、ICT（情報通信技術）と宇宙航空科学技術を活用して、山岳地帯の生態系や環境の研究をさらに進めるための国際協力の可能性について議論が行われた。研究代表者の研究活動は同アカデミーの教育プログラムに非常に役立つと評価され、将来の技術協力プロジェクトでアカデミーをパートナー機関として考慮してほしいと提案された。また、研究代表者は、ネパールと日本が共有する地形的特徴を指摘し、日本の先進的な保全技術や野生動物保護のアプローチがネパールの自然保護にも適用可能であると強調した。



図 11 :研究代表者がチトワン国立公園で開催されたアジア野犬保護の国際会議にした時の様子

令和 4 年 6 月 2 日には、研究代表者がチトワン国立公園で開催されたアジア野犬保護の国際会議において、新しい野生動物モニタリング技術についての講演を行った(図 11)。この会議は、国際自然保護団体とネパール政府が共同で主催し、アジア地域からの野生動物保護に関する専門家や保全官が集まった。このイベントで研究代表者は、福島での研究成果を共有し、データサイエンスと国際協力の重要性を強調した。さらに、会議の一環としてスクラファンタ国立公園を訪問し、現地の保全官との間で野生動物犯罪対策や国境を越えた動物の移動についての情報交換を行った。

最後に、研究代表者は令和 4 年 6 月 23 日と 24 日に開催されたデジタルネパールコンクレーブ 2023 にて生物多様性保全のための ICT と宇宙航空科学技術の利用について「Trends and Issues of ICT for Collecting and Utilizing Regional Ecological Data」と題した講演(キーノートセッション)を行った(図 12)。このイベントの主催はネパールの ICT 分野の発展を目指す ICT ファンデーションネパールである。またネパールの複数の政府機関がどうイベントを支援している。同イベントにはネパール

政府の重要な人物が出席し、生物多様性保全における技術の重要性についての意識を高める機会となった。研究代表者は、これらの技術がどのようにして保全活動を強化し、効率化できるかについて具体的な例を示し、参加者との間で有益な議論を展開した。このようにして、研究代表者の活動は、ネパール国内外の専門家との連携を深め、ネパールの自然保護活動に貢献することを目指した。



図 12::研究代表者がデジタルネパールコンクレーブ 2023 での講演で感謝状を受ける時の様子

2.4.3 議論

研究代表者は複数の学問分野の研究者が連携して社会問題に取り組むことを目指している。社会問題は複数の異なる専門分野にまたがる性質を持つことが多く、複数の分野からの複数の研究者が連携して取り組む必要がある。ネパールの生物多様性保全のための日本の宇宙航空科学技術の必要性については研究代表者の研究グループに以前に所属していたネパールのポスドクフェローとの議論の後に初めて着想を得たものである。経済学のバックグラウンドがあったポスドクフェローは、空間情報研究で用いられる研究方法論について学ぶ機会があった。このようにして、研究代表者とポスドクフェローの両方が、保全には生態学的側面だけでなく、技術的および経済的側面もあるこ

とに気づいた。令和 5 年度は、令和 4 年度に身に付けた空間的思考力を活かし、GIS 教材やオンラインツールを用いて、対象地域における野生動物調査のデータ処理及びシナリオ形成を行った。

GIS 研究ツールは、研究代表者の専門技術の 1 つであり、このツールは研究代表者の研究グループで研究者や学生によって頻繁に使用されている。学生たちは、生態学的研究のための GIS ツールの使用方法を学んでいる。さらに、NTNC の研究者の中には、GIS ツールに既に精通している者もいる。ネパールでは、衛星画像で取得したデータに GIS ツールを使用することができる。NTNC はこれを使用して、研究を行っている保護地区の衛星地図を作成することができる。動物犯罪の対象となることが多いサイやゾウなどの主要な動物種の生息地を GIS マップに挿入することが可能であり、これはパトロール活動を実施し、密猟を最小限に抑えるのに有用である。カトマンズの NTNC や NAST の本部には、リアルタイムのデジタルな生態音響情報の中継システムがないため、国内の遠隔地では野生生物犯罪の正確な規模は不明である。したがって、宇宙技術は遠隔地のヒマラヤ地域の生物多様性保全に非常に有用である。また、種の発生と土地利用パターンに関する時系列データの作成にも有用である。動物種と植生パターンの関連性もマッピングできる。このようなデータは、計画的な都市化の構築や森林伐採などの環境変化の監視に役立つ。このようにして、人間の活動による生態学的変化を究明することができる。

2.5 自発的な研究活動等の実施

本活動の目的は、日本国内の学生等に対する教育活動を通じた周知の促進である。研究代表者が大学院の正規授業（単位制）を立ち上げて、「統合環境デザイン論」と「情報環境デザインスタジオ」を実施した。2023 年度は学生 56 名（51+5）名対象の教材として活用したことにより、目的を達成した。特に今年度は受講生が東日本大震災・原子力災害伝承館を見学した（図 13）。

東日本大震災からの時間経過とともに、被災地の現状を伝えるメディアが減少し、正確な情報や新しい情報に触れる機会が減少している。地域住民も不安を抱えており、浪江町住民懇談会の記録には、「世界中の人々に原発事故の悲惨さや放射線の正しい知識を広めて欲しい。そうすれば偏見やいじめはなくなるだろう」との声がある。地域住民の中には、被災地の現状を伝えるメディアが少なくなり、震災の記憶が薄れることで疎外感を感じている人も多い。この震災をローカルな問題とし

て縮小するのではなく、日本全体の問題として取り組む必要があるが、現状は被災市町村レベルの問題になってしまっている。このような状況下において、震災の問題が未解決であることを改めて地域外の人々に発信することが必要である。しかし、現在の状況では、被災地自身で現状を発信することは、人的・資金的問題において困難がある。

研究代表者は、プロジェクトの成果物として大学院の正規授業（単位制）を立ち上げた。この授業は、東京大学大学院新領域創成科学研究科環境学研究系に設置された、専攻横断型のデザイン教育プログラムの一環として実施された。このプログラムは、従来の「形を創り出す」行為にとどまらず、環境学が抱える諸課題の解決に向けた思考や概念を組み立て、それを様々な媒体で表現する行為の全てを含んでいる。研究代表者らは、同プログラムの一環として「情報環境デザインスタジオ」を開講した（図 14）。アメリカ・ドイツからの研究者も来日して浪江町の現状を学んだ（図 15）。



図 13: 情報環境デザインスタジオの受講生が東日本大震災・原子力災害伝承館を見学した時の様子

3 令和 5 年度のまとめ

3.1.1 技術開発の業務のまとめ

野生動物保全・犯罪対策への活用を目的に、野生動物が発する環境音と生息地の衛星画像を処理するための情報基盤開発を行った。具体的には、日本国内の予備研究成果を用い、野生動物の行動と人の行動が重なりやすい場所の空間条件の整理を行うとともに、ネパール国内の空間データの整備や、データ処理のためのアルゴリズムの評価と改良を行った。また、ネパール国内の野生動物保全分野の専門家や、日本国内のリモートセンシング企業との議論を行い、得られた知見を(B)合意形成や(C)人材教育の業務において利活用した。(C)人材教育の業務において利活用した。

3.1.2 合意形成の業務のまとめ

日本の宇宙技術の国際展開を促進するため、ネパール政府関係機関（森林省・財務省・外務省）との合意形成を進めた。森林省の所轄組織である The National Trust for Nature Conservation (NTNC) と共同でシナリオ作成・技術協力要請書の取りまとめを行い、上記 3 省庁からの承認を得ることを目標とした。令和 4 年度に得られた、野生動物が発する環境音と生息地の衛星画像を処理するための情報基盤開発の成果を用いて NTNC や同 3 省庁の関係者とのオンサイトミーティングを実施した。結果、教育科学技術省を含めた 4 省庁から承認を得ることができた。また、新型コロナウイルス感染症流行等の状況を踏まえつつ、野生動物の生息地内の関連施設の視察も実施した。さらに、ネパール現地に構築した環境音モニタリングシステムを本事業の終了後も持続的に活用できるよう、関連する組織・団体等との合意形成を行った。

3.1.3 人材育成の業務のまとめ

持続的な国際共同事業に向けた人文社会分野（貧困経済学）の人材教育として、人文社会分野人材を対象に組織的な教育を行った。人文社会分野人材が令和 4 年度に身に付けた空間的思考力を活かせるよう、Geographic Information System 教材やオンラインツールを用いて、組織的な教育活動を行った。具体的には、令和 4 年度に現地に構築した環境音モニタリングシステムを用いて、日本・ネパール両国の研究者・学生を対象に、日本の宇宙利用技術を活用するための授業・政府イベントでの発表・講演によりキャパシティ・ビルディングを実施した。

3.1.4 自発的な研究活動等のまとめ

自発的な研究活動等に関する実施方針に基づき、所属機関が認めた範囲で自発的な研究活動等を推進した。

4 事業全体のまとめ

4.1.1 技術開発の業務のまとめ

野生動物保全・犯罪対応のため、野生動物が発する環境音と生息地の衛星画像を処理する情報基盤開発として、予備研究成果(国内)と空間条件の整理、空間データの整備と処理環境整備を行った。

令和3年度は、立ち入りが困難な場所を対象に、野生動物の行動と人の行動が重なりやすい場所の空間条件を整理して、その特定方法と効率的なモニタリング方法について文献調査、データ取得を実施した。ネパール国内での利用に向け専門家や日本国内のリモートセンシングの企業との議論を行った。

令和4年度は、令和3年度に取得した野生動物生息地域の衛星撮影データと地上データとの比較検証を行い、基礎的な解析アルゴリズムを構築した。また、ネパール国内の野生動物保全分野の専門家や、日本国内のリモートセンシング企業との議論を行い、当該分野の知見を深めた。

令和5年度は、日本国内の予備研究成果を用い、野生動物の行動と人の行動が重なりやすい場所の空間条件の整理を行うとともに、ネパール国内の空間データの整備や、データ処理のためのアルゴリズムの評価と改良を行った。また、ネパール国内の野生動物保全分野の専門家や、日本国内のリモートセンシング企業との議論を行い、得られた知見を(B)合意形成や(C)人材教育の業務において利活用した。

4.1.2 合意形成の業務のまとめ

日本の宇宙技術の国際展開を促進するため、ネパール政府関係機関（森林省・財務省・外務省）との合意形成を進めた。

令和3年度は、ネパール現地において日本の宇宙開発利用のための政府関係機関との合意形成として、学術協定を締結したネパール国内機関を対象にシナリオ作成と技術協力要請書を用いて合意

形成に向けた協議を行った。令和 3 年 3 月 14 日にネパール政府側の森林環境省 (MoFE) の正式な承認を既に得た。

令和 4 年度は、ヒマラヤ山岳地帯の野生動物のモニタリングを宇宙技術を利用することにより得られる成果・利点やその指標を定量的・定性的にまとめた。NTNC や同 3 省庁の関係者とのオンラインミーティングを実施した。また、新型コロナウイルス感染症流行等の状況を踏まえつつ、現地調査等も実施した。

令和 5 年度は、森林省の所轄組織である The National Trust for Nature Conservation (NTNC) と共同でシナリオ作成・技術協力要請書の取りまとめを行い、上記 3 省庁からの承認を得ることを目標とした。令和 4 年度に得られた、野生動物が発する環境音と生息地の衛星画像を処理するための情報基盤開発の成果を用いて NTNC や同 3 省庁の関係者とのオンサイトミーティングを実施した。結果、教育科学技術省を含めた 4 省庁から承認を得ることができた。また、新型コロナウイルス感染症流行等の状況を踏まえつつ、野生動物の生息地内の関連施設の視察も実施した。さらに、ネパール現地に構築した環境音モニタリングシステムを本事業の終了後も持続的に活用できるよう、関連する組織・団体等との合意形成を行った。

4.1.3 人材育成の業務のまとめ

持続的な国際共同事業に向けた人文社会分野（貧困経済学）の人材教育として、人文社会分野人材を対象に組織的な教育を行った。

令和 3 年度は、持続的な国際共同事業に向けた人材教育として、人文社会分野人材（国際協力）を対象に研究代表者の兼任先の GIS 教材を用いて専門家 1 名の教育を行った。実際にモニタリングを実施することを想定したシナリオを検討し、その成果論文が情報学分野の国際会議に採択された。

令和 4 年度は、持続的な国際共同事業に向けた人材教育として、人文社会分野人材（国際協力）を対象に研究代表者の兼任先の GIS 教材を用いて専門家 1 名の教育を行った。実際にモニタリングを実施することを想定したシステムを実装し、その成果論文が情報学分野の国際会議に採択された。ネパール側主催のシンポジウムでの招待講演の依頼をうけ、現地にて 100 名程度の対象に本事業の講演を行った。

令和 5 年度は、人文社会分野人材が令和 4 年度に身に付けた空間的思考力を活かせるよう、Geographic Information System 教材やオンラインツールを用いて、組織的な教育活動を行った。具体的には、令和 4 年度に現地に構築した環境音モニタリングシステムを用いて、日本・ネパール両国の研究者・学生を対象に、日本の宇宙利用技術を活用するための授業・政府イベントでの発表・講演によりキャパシティ・ビルディングを実施した。

5 添付資料

学会等発表実績

委託業務題目「環境音と衛星画像を用いたヒマラヤ山岳地帯の野生動物保全・犯罪対応の拠点形成」

機関名 東京大学

1. 学会等における口頭・ポスター発表

発表した成果（発表題目、口頭・ポスター発表の別）	発表者氏名	発表した場所（学会等名）	発表した時期	国内・外の別
Animal wearable IoT and Wearable Computing(口頭)	小林博樹	ネパール(Nepal Mountain Academy)	令和4年5月	国外
New wildlife monitoring technology(口頭)	小林博樹	ネパール(アジア野犬保護の国際会議)	令和4年6月	国外
Trends and Issues of ICT for Collecting and Utilizing Regional Ecological Data(口頭)	小林博樹	ネパール(デジタルネパールコンクレーブ 2023)	令和4年6月	国外