

令和3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4年5月

国立大学法人東京大学

本報告書は、文部科学省の令和３年度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３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.	委託業務の目的.....	5
2.	当該年度における成果の目標及び業務の方法.....	5
a.	技術開発の目標及び業務の方法	5
b.	合意形成の目標及び業務の方法	5
c.	人材教育の目標及び業務の方法	5
d.	自発的な研究活動等	5
3.	実施内容	6
a.	技術開発.....	6
i.	技術開発の目的.....	6
ii.	評価手法	8
iii.	衛星諸元	9
iv.	結果	9
b.	合意形成.....	11
i.	合意形成の目的.....	11
ii.	ネパールの研究機関の基本情報	12
iii.	対象研究機関の業務内容	12
iv.	合意形成の進め方と結果.....	13
c.	人材育成.....	14
i.	人材育成の目的.....	14
ii.	人材育成の成果.....	15
iii.	成果論文の内容	15
iv.	成果論文の要約.....	18
d.	自発的な研究活動.....	18
e.	まとめ	19

i.	技術開発のまとめ	19
ii.	合意形成のまとめ	19
iii.	人材教育のまとめ	20
iv.	自発的な研究活動等のまとめ	20
4.	業務の実施により得られた効果・課題・改善点等	20
a.	効果	20
i.	SDGs との関連	21
b.	課題	21
c.	改善点	21
5.	添付資料	22
a.	ネパール国と政府の基本情報	22
b.	ネパールの日本との関係	22
c.	ネパールの経済成長	23
d.	ネパールの地形	23
e.	山岳生態系とユキヒョウ	24
f.	ユキヒョウとその他の絶滅危惧種と環境問題	25
g.	ネパール政府のユキヒョウの対応と社会的影響	26

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。研究代表者はこのようなインフラ未整備地域における野生動物に装着したデバイスを用い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。研究代表者は1992年からネパール国内のステークホルダーと民間レベルでのつながりがある。2016年にはネパールの人文社会（貧困経済学分野）の研究者を受け入れ日本国内でGIS教育などを実施してきた。本業務では、将来的な国際協力事業の実現に資する「人文社会×宇宙」分野越境人材創造の国際事業を行う。

2. 当該年度における成果の目標及び業務の方法

a. 技術開発の目標及び業務の方法

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う。

b. 合意形成の目標及び業務の方法

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う。

c. 人材教育の目標及び業務の方法

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名の教育を行う。

d. 自発的な研究活動等

日本国内の学生等への教育活動等も行い、周知につながる業務を行う

3. 実施内容

a. 技術開発

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。具体的には、予備研究成果(国内)として、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。屋外設置可能なデータ処理基盤を構築する予定であったが、コロナ禍に伴う半導体不足により注文部品の納期延長が複数回にわたり発生したため、代わりにデータ処理基盤で必要となる通信基盤の準備を実施した。

i. 技術開発の目的

本技術開発の目的は、衛星データを利用して野生動物の生息状況や周囲の人効率的にモニタリングする技術の開発である。野生動物は人里離れた場所に生息しており、地上からでは容易にアクセスしづらい場所に生息している。その一方で、それら野生動物について継続的、長期的にモニタリングする需要が存在する。たとえば、ネパール・アンナプルナ自然保護区(図1)のユキヒョウについては、希少種に対する自然保護の意味合いのみならず、野生動物犯罪に対応する意味からも広域のモニタリングが求められている。日本国内においては、東日本大震災に伴う帰還困難区域内に生息する動物たちの放射線影響や不審者の立ち入りを長期的にモニタリングすることが求められている。ネパールや日本国内であっても同じ空間条件を有している。こういった山岳地域では、一般的に地上のインフラストラクチャが乏しい。すなわち交通網の整備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る。また気象条件が厳しいため、センサーの動作が保証できない。商用電力網や情報通信ネットワークも未整備なため、地上からのアプローチでは対応できない。リモートセンシングを効果的に利用することが不可欠である。ここで、野生動物の行動と人の行動が重なりやすい場所として、立ち入りが困難な場所の道路周辺を設定した。理由は、野生動物の生息地は一般的には人間社会から離れており、そしてそこに立ち入る人の行動は移動しやすい道路等に制限されるからである。そこで本年度は、こうした立ち入りが困難な場所の道路周辺に生息する野生動物の特定するリモートセンシング方法について、日本地球観測衛星サービス株式会社(JE0SS)と議論をおこなった。そして、本年度としてまずはこの空間条件を満たす野生動物個体の観測をおこなうことにした。



図 1: アンナプルナ自然保護区の位置(Kumari et al., 2014)

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高高度（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のため、谷を抜ける風の影響を強く受けて安定的な飛行も難しい。また地形が障害となって電波の捕捉にも限界がある。よって衛星を用いた、より高高度からの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。そのため動物に一旦センサーを装着する必要がある、動物を一旦捕獲する必要がある。人的負荷が高い方法である。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ー、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が見えない。

そこで本研究では合成開口レーダ (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出来るので、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。

ii. 評価手法

以上述べたとおり、本業務における SAR 画像を用いた動物個体の識別では、ground truth を検証しておくことが必須となる。ここでは実際に現地に行き目視で動物の位置を確認する方法で ground truth をとる。しかしながらネパール・アンナプルナ自然保護区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。本研究代表者は高校生時代にネパールでボランティアを行った経験もあり高所滞在経験がある。しかしながら、世界的な COVID-19 の流行のためにネパールを長期訪問することも難しく、また高所順化が不十分なまま高所にいることは安全上のリスクがある。例えば同様に高所にあるすばる望遠鏡（ハワイ・マウナケア山頂、4200 m）では滞在が 14 時間に制限されていることから考えても、不要に高所に滞在することは望ましくない。よって現地調査においては、現地関係者と信頼関係を構築し、現地関係者に大部分の調査を依頼しなくてはならない。このため、本事業のスコープには現地カウンターパートの関係構築も含まれる。これについては 4. b 節で詳述する。そこで迅速な開発のために、本年度は評価検証を福島県浪江町でおこなった。当該地域では東日本大震災に伴う帰還困難区域内に生息する動物たちの放射線影響を長期的にモニタリングすることが求められており、そのため研究代表者らは 2016 年以来、当該地域を対象として調査を継続してきた。研究代表者らは、当該地域内で研究活動を行うために、2016 年にコンテナハウスや衛星通信用のパラボラアンテナなどを搬入し、環境データを取得し続けている。そして当該地域に定期的にシステムメンテナンスのために立ち入ってきた。当該地域は 2011 年以降人の立ち入りが少なく、また過疎地域である事もあり、地表面における SAR 散乱が少ない。とりわけ、本研究で実験地としているエリアは、人の立ち入ることのない牧場であり、バックグラウンドノイズが低く、地表面の影響を見積もりやすい。現地地権者、カウンターパートとの関係も良好であるため、浪江町で試験的に撮影と評価を行った。浪江町での試験的な撮影については、衛星からの撮影と地上側で広域環境音の取得を同時に行う予定であった。しかし、その広域環境音の取得に欠かせない屋外設置可能なデータ処理基盤の設置を断念した。コロナ禍に伴う半導体不足により注文部品の納期延長が複数回にわたり発生したためである。その代わりにデータ処理基盤で必要となる通信基盤（光回線）の準備をすすめ 2022 年 1 月 13 日に作業完了した。以上の理由により、今年度の検証においては、衛星からの撮影時における地上側のデータの同時取得は断念し、現地調査で対応することとなった。

iii. 衛星諸元

本業務では日本地球観測衛星サービス株式会社(JEOSS)から購入した、Xバンド合成開口レーダ(XSAR)画像を用いた動物個体群の識別を行った。JEOSS は ASNARO-2 衛星のプロダクトを提供し、衛星の諸元は表 1 に示すとおりである。

表 1: ASNARO-2 衛星諸元

ミッション	X バンド合成開口レーダ
衛星重量	570kg
軌道	太陽同期準回帰軌道
高度	約 505km
軌道傾斜角	約 97.4°

本業務は本衛星のスポットライトモードを用いて行った。スポットライトモードとは、SAR 撮像方法のひとつであり、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り最も詳細な画像を取得できる。本衛星の運用モードには他にも、ストリップマップモードとスキャン SAR モードがある。ストリップマップモードはアンテナの向きを固定し帯状に撮影するモードである。このモードは広範囲を撮影するのに適しており、自然災害や氷河の観測に用いられる。スキャン SAR モードは、進行方向に対し直交する方向へとアンテナの指向を切り替えながら連続観測を行うことで、ストリップマップモードよりも広域の観測を行うことが実現できる。この順で分解能が悪くなるが、観測幅が向上する。

本業務では、動物の大きさが大きくても 2m 程度であり、必ずしも反射能が高くないことから、ストリップマップモードでは識別が難しいと考えられ、スポットライトモードで撮像を行った。本プロジェクトは衛星を占有して利用しているわけではなく、このモードでは衛星の方向を厳密に合わせる必要があるため、他の衛星ユーザの撮影プロジェクトが干渉すると、衛星軌道をずらす必要がある。よって衛星軌道の割当の問題から、撮影時期の調整が必要になった。このため、本業務では 2021 年 10 月から撮像を開始し、14 日周期で対象エリアの撮影を行った。

iv. 結果

2022 年 2 月 11 日午後、ASNARO-2 衛星の撮像時間と合わせて浪江町で現地調査を行った。現地の小丸牧場周辺では複数の牛の個体が観察できた (図 2-3)。



図 2：浪江町小丸牧場（帰還困難区域）



図 3：現地調査時に目視確認した個体の様子（写真：小林博樹）

当日は積雪があったため、県道 253 号線の北側の牧場には行けず、その南側で観察を行った。現地牧場では人が立ち入ることができないため、放牧が行われており、そのため特に地表面には散乱強度の高いものは存在しなかった。ASNARO-2 の（非公開）の撮影結果を（非公開）に示す。撮影方向は北から南であり、画像の範囲は（非公開）である。赤枠に研究対象地域を示した。当該範囲が図 2 に示す解析範囲である。ASNARO-2 は、当該地域を（非公開）週間毎に撮影しているので、（非公開）の撮影結果と（非公開）の撮影結果を差分して（非公開）に示す。黄色で示したピクセルは（非公開）の方が反射が強いもの、青色で示したピクセルは（非公開）の方が反射が強いものである。すなわち黄色のエリアは（非公開）の方が標高が高く、青色の部分はその逆と考えて良い。（非公開）が全体的に黄色みを帯びているのは、（非公開）には積雪があり、（非公開）には積雪がなかったためである。差分したところいくつかの輝点があられ、現地観察と比較して、これが（非公開）を表しているものと判断づけることができた。

b. 合意形成

i. 合意形成の目的

本合意形成の目的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である。研究代表者が学術協定を事前に締結したネパール国内の研究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。

ii. ネパールの研究機関の基本情報

まずネパールの国内全体の研究機関の状況について述べる。ネパールでの研究活動は、主に大学や研究機関で行われている。ネパールにはこれまでに 13 校の大学が開校されており、それぞれが積極的に研究活動を行っている。1959 年設立のトリブワン大学、1986 年設立のネパールサンスクリット大学、1991 年設立のカトマンズ大学、1994 年設立のプルバンチャル大学、1997 年設立のボカラ大学、2005 年設立のルンビニ仏教大学、2010 年設立のファーウェスタン大学、2010 年設立のミッドウェスト大学、2010 年設立の農林大学、2016 年設立のネパールオープン大学、2017 年に設立されたラジャルシ・ジャナク大学、これらの大学は連邦政府の議会法によって設立された。現在運営されている 2 校の州立大学は、州議会によって承認された法律によって設立された。マンモハン工科大学は 2019 年に第一州によって設立され、ガンダキ大学は 2019 年にガンダキ州によって設立された。他の 2 校の連邦大学、すなわちマダンバンドリ科学技術大学とネパール大学も設立の過程にある。

政府所有の研究機関とは別に、ネパールはいくつかの半政府組織としての研究開発団体を主催している。自然保護のためのナショナルトラスト (NTNC) は、ネパールの環境・自然保護研究を主導する半政府系研究機関の代表的な例である。1982 年に議会法により自治権をもつ非営利機関として設立された。ネパールの首相がこの組織の後援者である。理事会は 15 名の構成員から成る。後援者により指名された議長 1 名、議長により指名されたネパール政府の現事務次官 3 名。そしてネパール政府の様々な部門、政府、および非政府組織の代表者から議長により指名された 3 名、国際機関の代表者または国際的に高く評価されている人物から議長により指名された 4 名。そして理事長が推薦し機関に関係があると認められた人物 3 名と、理事長が会員幹事として指名した者 1 名で構成されている。会員幹事は、理事会によって承認された計画、プログラム、および予算の実行に責任を持ち、組織の日常的な管理と経営の主導者としての任務がある。

1982 年に設立された自然保護のためのナショナルトラスト法は、トラストが野生生物と自然遺産の保全、促進、管理に取り組み、国立公園と保護区の開発に必要な行動計画を策定し、野生生物と自然遺産の科学的調査および研究を行うことを義務付けている。そこで NTNC は、野生生物や天然資源に関連する問題で援助を求めるために外国機関や国際機関に連絡する権限を与えられている。NTNC は、ネパール政府との対応についてはいかなる場合も、森林環境省国立公園・野生生物保護局 (DNPWC) と連絡を取る必要がある。

iii. 対象研究機関の業務内容

研究代表者が学術協定を事前に締結したネパール国内の研究機関である NTNC の業務について述べる。最先端技術により、NTNC は野生生物の違法密猟の抑制、クリーンエネルギーの促進、統合保全・開発計画の導入で政府を支援してきた。その活動は、コミュニティの参加を最大化す

ることにより環境を保護しながら、人間のニーズを満たすことを目的としている。NTNC はネパール国内で最も優秀な野生生物科学者を有するという評判を誇り、野生生物を取り巻く問題を管理する有能な人材が揃っている。NTNC はまた、自然保護の分野における政策を策定するための政府シンクタンクとしても考えられている。自然保護の分野での実績と長い歴史のために、世界銀行、アジア開発銀行、国連開発計画、国連環境計画などの多国間ドナーもこの組織を支援している。NTNC は、国内で唯一の国立動物園である中央動物園の管理を担当している。政府は NTNC に、アンナプルナ、マナスル、ガウリシャンカル の 3 つの保護地域の管理を委託した。ネパール最大の保護地域であるアンナプルナ保護地域プロジェクト (ACAP) は、1226 種の顕花植物、105 種の哺乳類、518 種の鳥類、40 種の爬虫類、23 種の両生類の故郷である。世界で最も標高の高い場所にある淡水湖であるティリコ湖は同アンナプルナの保護地区のマナンにある。国内で人気のあるトレッキングの目的地の 1 つであるため、観光関連の活動を通して地元住民の経済が活性化されている。地元住民の経済的向上に目を向けつつ、マナンの地元住民と協力して、自然、社会文化的、経済的側面を考慮しながら、NTNC は統合的アプローチでマナンの保全活動を推進している。

iv. 合意形成の進め方と結果

研究代表者は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、NTNC 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。具体的には、対象研究機関の業務が直面する技術的な課題を工学的な観点から整理し、日本の宇宙開発を利用することでどのように貢献できるかのシナリオを効果として作成した（詳細を“4. 業務の実施により得られた効果・課題・改善点等”で効果として述べる）。そして将来的な ODA 等の国際協力も見据えて責任官庁（森林省）から日本政府宛の技術協力要請書が毎年度発出されるに至るレベルを目標として良好な関係性を構築し維持するコーディネーター業務を行った。まず本事業の開始以前の経緯から説明する。研究代表者らは、2019 年に NTNC の当時の事務局長とともにアンナプルナ自然保護区内のマナン地域を訪問した。この訪問は、ネパールの自然保護のために日本の高度な宇宙開発利用の必要性を実際にネパール側に理解してもらうきっかけとなった。そして NTNC と東京大学の両機関が公式に共同研究を行えるよう、2020 年に学術交流協定 (MOU) の締結を決定した。本事業の開始後の 2021 年後半に NTNC の事務局長が引退したが東京大学と NTNC の業務は適切に引き継がれることとなった。実際、NTNC からの協力は引退に関係なく今後も継続することを表明したメールを東京大学側の研究代表者らは受け取った。また同事務局長は研究代表者を NTNC の会員幹事に紹介し、その会員幹事は NTNC と研究代表者との共同研究協力に最高水準のコミットメントを表明した。その後、共同研究の進捗状況を正式に追跡調査するため、研究代表者らは、NTNC の会員幹事や科学者と公式な会議をオンラインで行った。会議では両当事者がプロジェクトの成功実現のために最善を尽くすことを誓い、非常に友好的に終了した。また NTNC は、研究代表

者と連携し、日本の宇宙航空科学技術をネパールの自然保護に活用することを確約し、ネパール政府内における合意形成の作業に必要なあらゆる支援やコーディネート業務を約束した。会員幹事はまた、研究代表者と NTNC の間のあらゆる通信に係わるフォーカルパーソンとして活動する 2 名の科学者を非公式に割り当てた。そして地元住民から寄せられた意見を踏まえ、日本の宇宙開発がマナンのアンナプルナ保全地域プロジェクト (ACAP) においてどのように役立つか聞き取りを行い、そして野生動物保全の将来シナリオの作成や情報発信に向けた議論を行った（詳細を“4. 業務の実施により得られた効果・課題・改善点等”で効果として述べる）。この会議はまた、NTNC 側からネパール政府側の様々な省庁にむけて承認プロセスを開始するよう効果的なコーディネート作業を促した。実際に NTNC は、2022 年 3 月 14 日に日本の宇宙航空科学技術の利用に向けて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（図 4）。そして次の合意形成としてネパール政府側の財務省 (MoF) との合意形成に進んだ。以上が将来的な ODA 等の国際協力も見据えて責任官庁（森林省）から日本政府宛の技術協力要請書が毎年度発出されるに至るレベルを目標として良好な関係性を構築し維持するコーディネーター業務の内容と成果である。

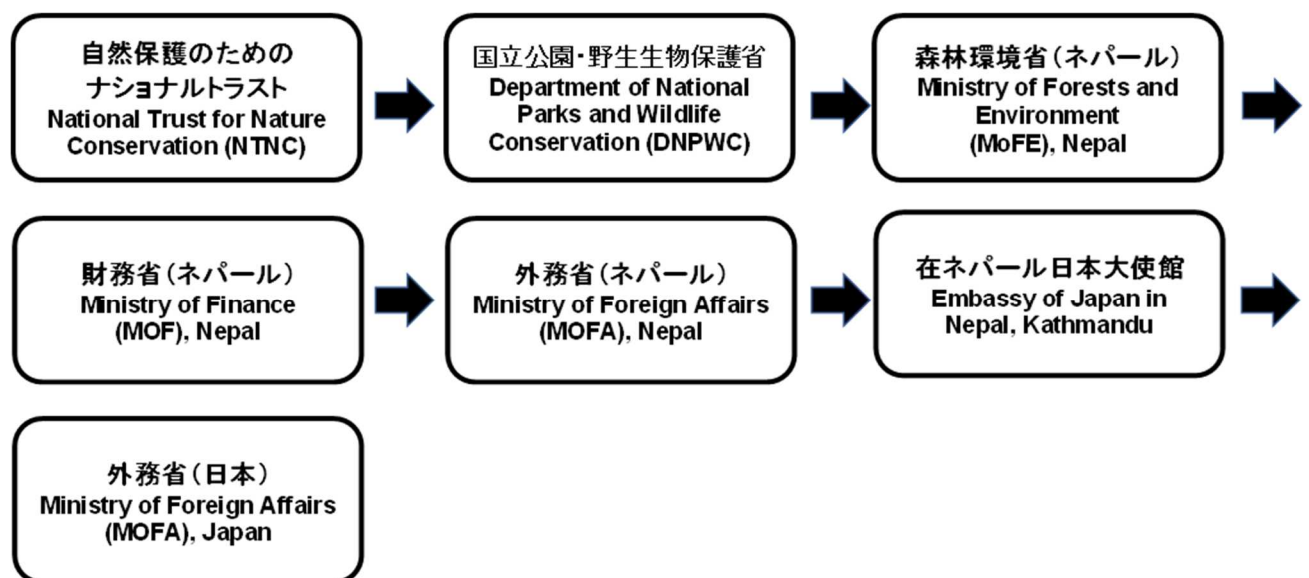


図 4：技術協力要請の承認フローチャート

c. 人材育成

i. 人材育成の目的

本人材育成の目的は国際共同事業に向けた専門家 1 名の教育である。研究代表者の兼務先である東京大学空間情報科学研究センターが公開している GIS（地理情報システム）の教材等を用いて実施した。持続的な国際共同事業に向けた人文社会分野の人材教育として、人文社会分野人材を対象に研究代表者の兼任先の GIS 教材である ArcGIS Online を用いて専門家 1 名の教育を行った。本事業の最終目標として (A) 技術開発で述べた日本国内のリモートセンシング企業の担当

者と直接の実務業務が行えることを目指した。そのためにはまず本年度は上記で述べた教材を用いて空間的思考を身に付けて、予備研究成果(国内)で実施した福島県の立入禁止区域対象の研究成果をオンラインで解説することとした。理解を深めるために ArcGIS Online のチュートリアルをもちいることとした。国際協力分野の外国人研究者を雇用して実施する予定であったが、コロナ禍に伴う日本の水際対策強化の影響で渡航の予定が立たなかった。特例として令和4年 1 月 1 日付けで海外在住(ネパール)のまま着任した。そして、上記で述べた教材と福島県の立入禁止区域対象の研究成果を例にしてオンラインのやりとりを行い、ネパール国内への応用にむけた整理・議論をおこない論文としてとりまとめた。

ii. 人材育成の成果

2021 年度の主な人材育成成果の 1 つは、2022 年の Human-Computer Conference (HCII2022)での論文の受理であった。当初スウェーデンのヨーテボリで開催される予定であったこの会議は、2022 年 6 月 26 日から 7 月 1 日までバーチャルモードで開催されることになっている。「ネパール、ヒマラヤ地域の野生動物のための参加型センシングプラットフォームの概念」は、HCII2022 の会議議事録の Lecture Notes in Computer Science (LNCS) 13326 の第 25 巻に掲載が受理された。HCII 2022 のすべての会議議事録は、著名なシュプリンガー出版社を通じて出版される。

この会議論文は、下徳大祐専門職員、ティアン・ユアン大学院生、ラクシュミ・クマール・パラジュリ特任准教授(本業務により雇用された専門家)、および小林博樹教授(研究代表者)の共著である。会議中、この論文は、下徳大祐専門職員によって” Ambient and Civic Computing” というセッションタイトルでオンラインで発表される。論文執筆は、著者、特に大学院生がアカデミックライティングに必要なステップを学ぶ機会となり、教育の観点からも重要な部分であった。

iii. 成果論文の内容

タイトルが示すように、この原稿は基本的に日本からネパールの人里離れた丘陵地帯への技術移転の可能性を議論したコンセプトペーパーであった。この 12 ページの原稿は、要約、キーワード、序論、方法、結果、考察、謝辞、参考文献のセクションに分かれている。序論のセクションでは、比較的新しい学問分野としての Human-Computer-Biosphere Interaction (HCBI) の概念 (Kobayashi et al., 2009) が説明されている。また、HCBI のリモートセンシングコンセプトが、手付かずの自然に物理的な破壊を引き起こすことなく自然保護にどのように使用できるかを強調している。野生動物のリモートセンシングに基づく研究は、ネパールでよく見られる地すべり、地震、洪水などの自然災害時に動物数を研究し、動物を保護するための適切な介入戦略を考案することにも役立つ。方法のセクションでは、野生生物調査を実施するためのさまざまな方法が説明されている。

視覚ベースの調査では、カメラトラップは動物を識別するための一般的な方法の1つとして説明された。この方法は比較的単純で簡単ではあるが、バッテリー寿命が限られており、葉や小枝の動きによってカメラのシャッターが誤ってトリガーされる可能性があるため、この方法の絶対的信頼性に関しては懸念がある。この見出しでは、画像は目視検査によって手動で分析することも、深層学習支援機械学習手法によって自動的に分析できることについても説明した。この論文では、動物集団を研究するための他の方法として音響調査が議論された。密林では視界不良になり、カメラトラップを設置する際に問題が起こることがある。このような状況では、音響（サウンドベース）調査が役立つ可能性がある。データストレージの面では、音響ベースの調査はカメラトラップよりもデータの消費量が少ないため、小動物、特に鳥の研究には適しているかもしれない。第三に、そして重要なことに、衛星画像調査は野生生物を研究するための最も高性能な方法の1つといわれている。衛星を利用した調査では、画像は表面電磁波の反射から作成される

結果のセクションでは、まず、日本のHCVI 関連プロジェクトのいくつかについて議論した。例えば、研究代表者の研究(Kobayashi et al., 2018)では、福島県浪江市からライブ音を継続的に取得している。これは立入禁止の核放射線の被爆地域であるため、遠隔から音を聞く機会は、リスナーが物理的に立入禁止区域にいるという感覚を提供することができる。同様に、別の研究では、Saito et al. (2015)はサイバーフォレストのライブサウンドシステムを使用して、日本中部の森林鳥の数をリモートで数えた。次に、ネパールにおけるテクノロジーを基盤とした会話の取り組みのいくつかについて議論した。ネパールでは、カメラ追跡、無線付き首輪、GPS(全地球測位システム)、地理情報システム(GIS)が野生生物の研究に使用されている。2012年から2017年にかけて、ネパール東部のカンチェンジュンガ保護区の4頭のユキヒョウを対象に、最初の最先端技術による無線付き首輪、衛星テレメトリ研究が行われた。2019年、シェイ・ボクスンド国立公園のドルパ地区とムグー地区のさらに2頭のユキヒョウに無線付き首輪が装着された。2021年には、同じエリアでさらに他の2頭のユキヒョウに首輪が装着され、無線付き首輪を装着した動物の総数は8頭となった。

考察の部分では、先端技術の利用が生態学的保全を含むネパールの全体的な発展にどのように役立つかについて議論した。2015年のネパールの情報通信技術(ICT)政策も、環境および資源管理のためにICTを使用する必要性について言及している。環境管理に関しては、地すべり、洪水などの自然災害を予測するための早期警報システムの設置が重要になる可能性がある。ネパールは2025年までに900万トンの二酸化炭素(CO₂)排出量を削減し、世界銀行から温室効果ガス排出量取引購入協定(ERPA)を通じて4,500万米ドルの奨励金を受け取ることを目指しており、生態学的保全のための先端技術の使用はネパールの状況では特に有益である。これはネパールが先端技術の利用を通じて経済的利益を得ることが可能であるという明確な例である。

実際、ある国に他の国から新しい技術を輸入する場合には、持続可能性の問題が大きな関心と

なる。確かに、政府はまず新技術の導入から所有権を取得し、新技術を完全に持続可能にする法的支援のための適切な計画、政策、法的枠組みを考案すべきである。しかし、政府の取り組みだけでは完全な成功は得られない。技術が使われる地域の住民の積極的な参加が必要であろう。そのため、これまでも現地のニーズを把握し研究者への信頼を得るために、話し合いや交流が行われてきた。実際、生態学的保全に関連して、地元の保護ボランティアが SMART パトロールのためのさまざまな技術の提供を受けることができれば、動物の違法な密猟と戦うための十分な装備が整うであろう。同様に、彼らはまた、様々な技術の操作方法について他の地元住民を教育することができる。地域レベルでの新技術導入のもう一つの効果的な方法は、新しい技術、その運用原則、および地域の教育カリキュラムにおけるさまざまな状況での利用の説明である。実際、自然保護のためのナショナルトラスト (NTNC) は、マナンの地元住民と非常に緊密に協力しており、地元住民がこの生態系保護の必要性を認識することができるような教育カリキュラムをも考案している。このようなカリキュラムを通して様々な異なる技術に関しての情報も学べるかもしれない。

考察のセクションでは、新しい技術を受け入れるための地元住民の参加は、その技術の採用が地元住民に経済的利益をもたらすことができる場合にのみ有効になるかもしれない、ということについても議論されている。例えば、テクノロジーはその地域のエコツーリズムを促進し、農村地域でこれまで実践されてきた従来の農業活動の近代化に役立つはずである。同様に、野生生物保護地区に近い農村部の地元住民は、経済活動のために家畜に依存している。ヤギ、ヤクなどの家畜は牛乳、チーズ、肉などに使用されている。もしも野生動物が地元の集落に侵入し家畜を殺した場合、当然のことながら、大きな経済的損失のゆえに地元の人々は野生生物保護に対して非常に否定的な感情を持つことになる。この新技術が、野生動物が居住地を侵食したときに警報システムとして機能することができれば、家畜の損失を大幅に最小限に抑えることができる。この特定の状況では、地元住民は、新しい技術が実際に彼らの経済活動に役立っていると確信することができる。同様に、質の高い観光を促進するために、保護地区のカメラシステムは、ユキヒョウがカメラトラップによって検出されたときに技術が観光ガイドに警告(またはメッセージを送信)するいくつかのメカニズムと組み合わせることができる。

アンナプルナ自然保護区にあるマナン地域の多くの観光客は、ユキヒョウが見つかるのが困難で絶滅の危機に瀕しているが美しい動物であるため、ユキヒョウを見たいという大きな願望を持っている。しかし、マナン地域全体のユキヒョウの数は非常に少なく(数では 20 未満)、生息地は困難な景観にあるため、観光客がマナンへの訪問中にユキヒョウに遭遇することは非常に難しい。この点で、ユキヒョウが検出されたときにカメラシステムが観光ガイドに警告することができれば、観光客が自分の目でユキヒョウを見る機会を大幅に増やすことができる。実際、観光ガイドは、ユキヒョウを見る機会があれば、観光客から適正な金額を請求することができる。このように、地元の農家や観光ガイドは、新しい技術が彼らの経済活動と結びついていると感じるかもし

れない。最終的に、地元の人々は新しい技術に対する重要性和所有権を感じ始め、これは地方レベルでの新規技術の持続可能性に役立つであろう。

iv. 成果論文の要約

要約すると、我々の論文(下徳ら)は、特定の側面に焦点を当てることなく、生態学的保全のための日本からネパールへの技術移転のビジョンと可能性について GIS の観点から議論した。全体的なコンセプトとビジョンを具体化するために、NTNC や地元住民を含む利害関係者と定期的に議論している。もちろん、この新しい技術はネパールの生態学的保全に役立つだけでなく、インフラ開発、教育研究活動、ネパールの体系的な都市化計画にも関連することである。「ヒマラヤ地域の野生動物のための参加型センシングプラットフォームの概念」と題されたこの論文は、2022 年 2 月に掲載が受理され、まもなく公開される予定である。

d. 自発的な研究活動

本活動の目的は日本国内の学生等への教育活動等も行い周知に繋げることである。研究代表者が大学院の正規授業(単位制)を立ち上げて、学生 5 名対象の教材として用いることで達成した。

東日本大震災が発生してから時間が経過するとともに、被災地の現状を伝えるメディアが少なくなり、正確な情報や新しい情報に触れる機会が少なくなっている。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、震災の記憶が薄らぐことで疎外感を感じている人も少なくない。今回の震災をローカルな問題として矮小化するのではなく、日本全体の問題として取り組んでいく必要があるものの、現状は被災市町村レベルの問題になってしまっている。この震災はすでに解決したものではなく、現在も進行形で問題があるということを改めて地域外の人々へと発信していくことが必要である。しかし、現在の状況において、被災地自信で現状を発信していくのは、人的・資金的問題において難しさがある。

そこで研究代表者が大学院の正規授業(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した。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、思考・概念を組み立て、それを様々な媒体で表現する行為のすべてを含む。研究代表者らは同プログラムで「情報環境デザインスタジオ」を開講した(図 5)。

iii. 人材教育のまとめ

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

iv. 自発的な研究活動等のまとめ

日本国内の学生等への教育活動等も行い、周知につながる業務をおこなった。研究代表者が大学院の正規授業（単位制）を立ち上げて、学生 5 名対象の教材として用いることで達成した。

4. 業務の実施により得られた効果・課題・改善点等

a. 効果

本事業の実施により日本の宇宙科学技術、情報通信技術、学术交流がネパールの生態保全にどのように役立つかがよりわかってきた。NTNC の科学者やマナンの地元住民から寄せられた意見を踏まえ、マナンのアンナプルナ保全地域プロジェクト (ACAP) においてどのように役立つか、下記に示す。

1. ビデオカメラ付き首輪と衛星ラジオテレメトリを使用して、ユキヒョウの局所のおよび長距離移動に関する最新かつ高解像度のデータを取得できるため、ユキヒョウの縄張りの範囲と生息地使用の推定値が得られる。
2. カメラトラップと環境音情報を使用して、種個体数を科学的に推定し、ユキヒョウ保護区の音の乱れが大きいサウンドスケープを特定することができる。
3. 無人航空機 (UAV) などの最先端な監視アプローチを採用することにより、ユキヒョウの密猟を最小限に抑える。
4. ユキヒョウ研究のための光検出および測距 (LIDAR) 技術などの遠隔測量方法のパイロットテスト。
5. ユキヒョウが人間の集落の近くに現れたときの早期予測と警告システムを考案することにより、人間と野生生物の衝突を最小限に抑える。
6. 生態系を保護し、ユキヒョウの生息地を妨げないトレッキングコースを設置することにより、エコツーリズムを促進し、地元住民の経済的地位を高める。
7. 保護官、地元住民、市民科学者が最先端な機器を使用する能力を育成する。
8. 中央ユキヒョウ保護計画を策定する。
9. ネパールの研究者や学生のための国際的な学術コースやトレーニングを実施する。
10. ネパールに最先端の空間情報処理インフラを整備し、ネパールと日本の研究者が連携し、最

先端の世界トップクラスの研究を行う。

11. 技術の有効性と効率に応じて、ネパールのさまざまな地域の他の動物種の保全に更に適用することができる。また、森林火災現場のマッピングや、森林火災を軽減するための高度な技術イメージングによる効果的な方法の考案にも使用できる。
12. 地球規模では、山岳生態系で取得したデータは、ヒマラヤ山脈の温度上昇の程度、ひいては生態圏の温度上昇の間接的な指標として利用することができる。

i. SDGs との関連

マナンの景観保全に日本の技術を導入することで、次の持続可能な開発目標 (SDGs) で設定された目標 2.3 と 15.4 の達成にも貢献できる。

SDGs ターゲット 2.3:2030 年までに、土地、その他の生産資源及び投入財、知識、金融サービス、市場及び付加価値及び非農業雇用の機会への安全かつ平等なアクセスを通じたものを含め、小規模食料生産者、特に女性、先住民族、家族農家、牧畜民及び漁業者の農業生産性及び所得を倍増させる。

SDGs ターゲット 15.4:2030 年までに、持続可能な開発に不可欠な利益を提供する山岳生態系の能力を強化するため、生物多様性を含む山岳生態系の保全を確保する。

b. 課題

技術開発において屋外設置可能なデータ処理基盤を構築する予定であったが、コロナ禍に伴う半導体不足により注文部品の納期延長が複数回にわたり発生した。代わりにデータ処理基盤で必要となる通信基盤の準備を実施することで解決した。

人材教育において国際協力分野の外国人研究者を雇用して実施する予定であったが、コロナ禍に伴う日本の水際対策強化の影響で渡航の予定が立たなかった。特例として令和4年1月1日付けで海外在住（ネパール）のまま着任することで解決した

c. 改善点

該当なし

5. 添付資料

a. ネパール国と政府の基本情報

ネパールは丘陵地帯の内陸国であり、北は中国、東、西、南はインドと国境を接している。面積は 147181 平方キロメートルで、2021 年の国勢調査では人口は約 3,000 万人であった。ネパールは 2008 年にネパール連邦民主共和国への移行を宣言、240 年続いたシャー君主制に終止符を打った。2015 年の憲法制定会議による憲法公布は、ネパールの中央集権的な統治構造から地方分権的な連邦制度への移行への道を開いた。ネパールには現在、第一州、マデシュ州、バグマティ州、ガンダキ州、ルンビニ州、カルナリ州、スドゥパシュチム州の 7 つの州と 753 の地方自治体が設置されている。3 層構造の政府システムは、1 つの連邦政府、7 つの州政府、753 の地方自治体からなっている。3 層それぞれのレベルで独自の法律を導入する権利を持ち、明確に定義された役割を持っている。中央政府は最高レベルの権威と権力を享受し、その後に州政府と地方政府が続く。例えば、連邦政府だけが外国政府に対応する権限を持っている。同様に、人工衛星を用いた先端技術研究、国立公園の保全、野生動物保護区に関する事項は、連邦政府の管轄下にある。州および地方レベルに関連する事項は、州および地方政府によって管理されている。例えば、州立大学や州の国有林の管理は州政府が運営している。地方レベルでの災害救援活動、出生証明書、死亡証明書、婚姻証明書などの住民登録は、地方自治体によって管理されている。

b. ネパールの日本との関係

ネパールの政治体制や政権移行にかかわらず、ネパールと日本の関係は、政府レベルと国民レベルの両方で常に、非常に温かく友好的である。1956 年 9 月の外交関係樹立以来、日・ネパールの要人による二国間の上層部の訪問が何度か行われてきた。例えば、1960 年と 1970 年のマヘンドラ国王とラトナ女王両陛下閣下の公式訪問、1978 年、1983 年、1985 年のビレンドラ国王とアイシュワリヤ王妃、1998 年のギリヤ・プラサド・コイララ首相、2019 年のビディヤ・デヴィ・バンダリ大統領、1960 年の明仁皇太子と美智子皇太子妃のネパール公式訪問、および 1970 年の常陸宮ご夫妻、1997 年の秋篠宮ご夫妻、2000 年の森喜朗首相の公式訪問が行われた。二国間関係を一層強化するため、1965 年に在日ネパール大使館、1968 年に在ネパール日本国大使館が設立された。

日本はまた、ネパールの開発努力に重要な役割を果たした。我が国は、ネパールに対し技術協力、無償資金協力、円借款(譲許的融資)等の形で政府開発援助(ODA)を供与してきた。ODA はネパールの JICA 事務所を通じて実施されており、JICA ネパールが発行する小冊子には、ネパールの開発支援のための 3 つの重点分野が明記されている。トリブバン国際空港近代化計画、シンズリ道路建設計画、カトマンズ-バクタプール間道路改修計画、カトマンズ盆地都市交通改善プ

ロジェクトは、JICA ネパール

(https://www.jica.go.jp/nepal/english/office/others/c8h0vm00009vyd39-att/brochure_02.pdf) が重点分野 1 に掲げるインフラ・制度整備を主眼とする主要プロジェクトである。JICA が重点分野 2 である平和の定着と民主主義への移行を柱に支援してきたプロジェクトには、メディア能力強化、選挙管理委員会への支援、ネパールにおけるモニタリング評価システム強化などがある。JICA は、農村貧困削減の重点分野 3 の下、ネパールの学校保健・栄養改善プロジェクト、トリブバン大学教育病院、国立結核センター、カンティ小児病院、園芸開発プロジェクト、ジャナカプール地区農業開発プロジェクトなどを支援してきた。

c. ネパールの経済成長

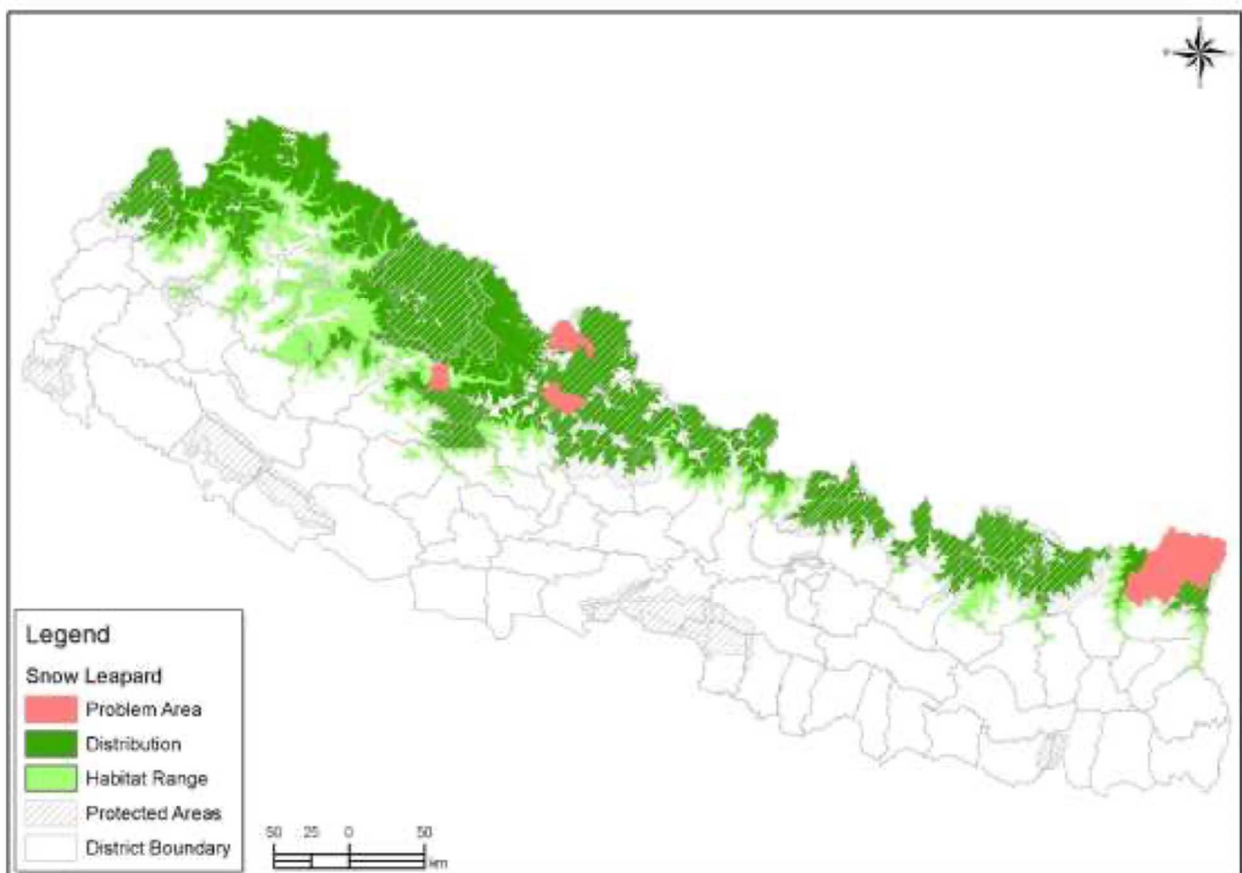
ネパールは社会経済的側面において着実な進歩を遂げてきた。世界銀行のデータによると、一人当たりの所得は 2000 年の 229 米ドルから 2020 年には 1155 米ドルに増加した。同様に、ユネスコ統計研究所によると、15 歳以上の識字率は 2001 年には 48.6%に過ぎなかったが、2018 年には 67.9%に増加している。このデータは、サンプリングプールが 15 歳から 24 歳の年齢層のみであると、更に注目に値する。2018 年、この年齢層の全体的な識字率は 92.4%で、男性人口の識字率は 94%、女性人口の識字率は 90.9%であった。これらの教育を受けた若い世代の国民はネパールの将来の発展の柱となるであろう。技術の急速な世界的進歩に伴い、ネパールが全体的な発展を支援するために最新の現代技術を受け入れることも重要になる。最新の技術ツールは、災害予測、復旧・救援などのネパールのあらゆる分野、例えば生態学的保全、野生動物管理、農業、安全な飲料水へのアクセス、疾病監視、保健システム管理、インフラ開発、などで使用できる。

d. ネパールの地形

ネパールのユニークな地形は、さまざまな風景、動植物が存在するための豊かな活動の場を提供している。海拔から 61 メートルの最低高度から最高高度 8848 メートル（エベレスト山）まで、さまざまな気候条件、樹木、野生動物が国内に蔓延している。ネパール自体には、エベレスト山、カンチェンジュンガ山、ローツェ山、マカルー山、チョーオユー山、ダウラギリ山、マナスル山、アンナプルナ山の 8 つの山があり、これらの山は 8000 メートルを超える高さであるため、ネパールは間違いなく山岳生態系を研究するのに理想的な場所の 1 つである。山岳生態系は私たちの生物圏の重要な要素であり、健全な山岳生態系の存在は世界中の人々の生存、健康、幸福に不可欠である。特に山岳生態系の研究は、地球温暖化の観点からも重要である。世界全体が地球村の様相を呈する今、山岳生態系を適切に研究し山岳地帯で起きている課題に取り組まなければ、持続可能な発展は難しいであろう。

e. 山岳生態系とユキヒョウ

山岳生態系を研究する一つの方法は、ユキヒョウを山岳生態系の間接的なバロメーターとして使用することである。ユキヒョウは見つけるのが困難な動物であり、ネパール、中国、ブータン、アフガニスタン、パキスタン、モンゴル、ロシア、インド、カザフスタン、キルギス共和国、タジキスタン、ウズベキスタンの12カ国で選択的に発見されている。ユキヒョウは主に標高3000～5000メートルの周辺に生息している。世界自然保護基金（WWF）は、世界には約4000頭のユキヒョウがいると推定している。国立公園野生生物保護省(DNPWC)の2076/2077年(英語暦年では2020年に相当)の報告書は、ネパールのユキヒョウの数を約301～400頭と推定している。ネパールでは、ランタン国立公園、シェイ・フォクスンド国立公園、アピ・ナンバ自然保護区、ドルパタン狩猟保護区、アンナプルナ自然保護区、マナスル保護地域、サガルマタ国立公園、マカルー・バルン国立公園、カンチェンジュンガ保護地域などの国立保護区を含む高丘陵地帯とヒマラヤ山脈で発見されている(図6)。ユキヒョウは通常ひっそりと生息しているが縄張り意識の強い動物であり、生息範囲は11～37平方キロメートルである。



(説明文 Snow Leopard : ユキヒョウ Problem area : 問題領域 Distribution : 分布 Habitat Range : 生息域 Protected Areas : 保護地域 District Boundary : 管轄区域)
図6:ユキヒョウの分布と生息域 (出典:DNPWC- 国立公園・野生動物保全局-2017年)

これらの動物は環境のわずかな変化にも非常に脆弱であるため、山岳生態系の指標種とも呼ばれている。温度、湿度のわずかな変化でさえ、この動物の生存に脅威を与える可能性がある。国際自然保護連合(IUCN)の絶滅危惧種のレッドリストは、ユキヒョウを危急種としてリストアップしており、その個体数は徐々に減少している。研究者らは、個体数減少は、気候変動と地球温暖化による生息地の喪失に起因する可能性があると考えている。数の減少とユキヒョウの生息地の喪失は、食物連鎖と生態学的ピラミッドに不均衡を生み出すため、世界の生態系に深刻な脅威をもたらす。これらの理由から、生態学者は、これらの動物を保護し、同時に生態系全体を保護するためにユキヒョウに関する徹底的な研究が緊急に必要であると感じている。ユキヒョウの生息状況、生息地、食物、行動範囲、人間を含む他の動物との関りについてより理解を深めることは、これらの重要な動物を保護する助けとなる。このような困難な地形や寒い気温の中で研究者が実際に現場で研究を行うことは非常に困難であるため、これらの動物に関する情報を遠隔で提供できる最新の現代技術を使用することは避けられない。

f. ユキヒョウとその他の絶滅危惧種と環境問題

ユキヒョウの保護は高地の生態系を理解する上で最重要だが、ネパールに生息する絶滅危惧種に指定されているレッサーパンダ、ベンガルトラ、ヒマラヤジャコウジカ、南アジアリバーイルカ、アジアゾウ、インドセンザンコウなどの他の動物を研究するためにも先端研究は重要である。哺乳類以外にも、ネパールだけに生息するタテジマヤブチメドリの研究も興味深く、このような科学的かつ体系的な方法でその独特な行動パターンと生息嗜好を明らかにすることは重要である。地理的領域の観点からは、ネパールは世界の陸地の 0.1%でしかない。しかし世界で見られる野生動物の約 1%はネパールに生息している。自然保護のためのナショナルトラスト (NTNC)-自然保護団体-のウェブサイトによると、ネパールではこれまでに哺乳類 208 種、鳥類 867 種、爬虫類 123 種、淡水魚 230 種、蝶 651 種が記録されている。ネパールは、これらの多種多様な野生生物を研究するユニークな可能性を提供しており、技術の使用はネパールにとっても、個体数を推定し適切な保全戦略を考案するうえでも有用であろう。

数十年前まで、ネパールは大部分が農業、農村社会であった。しかし、近年、ネパールは徐々に都市社会（図 7）へと変貌しつつある。ネパールにおいて高度な衛星画像ツールの導入は、体系的な都市化計画を考案するためにも重要である。蔓延する都市化は、緑や森林に悪影響を及ぼし、汚染も増大させている。同様に、過失、娯楽、あるいは農民による家畜用の牧草の成長促進のために故意に火を放つことによる森林火災も、一般で起こりうるネパールで生態学的破壊を引き起こすことである。森林火災による動物の被害の大きさは、WWF が約 30 億の野生生物の損失を推定したオーストラリアでの 2019 年後半から 2020 年初頭に発生した山火事から理解すること

ができる。また、森林火災の煙による PM2.5 粒子の大気中への放出は、大気汚染を引き起こすだけでなく、重篤な肺疾患にもつながる。



図 7: カトマンズ盆地の広がる都市化

衛星画像やリモートセンシング技術を用いた自然保護の課題は多岐にわたるが、我々は特にユキヒョウの研究に関心がある。先に述べたように、ユキヒョウは山岳生態系において最も重要な指標動物の一つである。また、私たちは 2017 年に当時の NTNC 事務局長とともにマナンを訪問した。この訪問により、ユキヒョウの保護状況と空間イメージング技術導入の必要性への理解が深まった。地元住民との信頼関係を築くためにも重要であった。また、ネパール 2015 の情報通信技術（ICT）政策でも環境や資源保全に ICT を活用することが重視されており、日本の技術を自然保護に活用する取り組みはタイムリーである。森林環境省（2017 年に行動計画が発表されたときは森林土壌保全省と呼ばれていた）が提唱したネパールのユキヒョウ保護行動計画（2017-2021）は、研究とモニタリングに最先端技術を適用する必要性について言及している。この行動計画は、カメラトラップ調査、GPS 衛星テレメトリ、非侵襲的遺伝子解析を使用して、個体数、密集状態、個体群構造、ユキヒョウの獲物および生息地を理解するための研究を追求することを研究者および学術機関に奨励している。

g. ネパール政府のユキヒョウの対応と社会的影響

ネパール政府は衛星テレメトリ研究の重要性を認識し、2013 年 11 月にネパール東部のカンチェンジュンガ保護地域でオスのユキヒョウを対象とした初の衛星首輪の研究を実施した。2015 年 5 月にカンチェンジュンガ保護地域のオスのユキヒョウで 2 回目の首輪研究、2016 年 5 月にメスのユキヒョウで 3 回目、2017 年 5 月にメスのユキヒョウで 4 回目が実施された。その後、2019 年、DNPWC は WWF ネパール、NTNC、その他の市民科学者と協力して、シェイ・ポクスンド国立公園の 2 頭のユキヒョウに GPS 首輪を付けた。2021 年には、シェイ・ポクスンド国立公園でさらに 2 頭のオスのユキヒョウに首輪を付けた。これらにより、研究者は、ユキヒョウの生息地の評価、縄張りの大きさ、土地利用範囲、および行動パターンを研究する機会となった。

人間と野生生物の対立も、野生生物の数の減少の大きな原因の 1 つである。ネパールではユキヒョウ保護地区周辺の地元住民にとり、日々の生活必需品を家畜に依存している。人間の集落の

近くのユキヒョウは、ヤギ、ヒツジ、ヤクなどの家畜を捕食する。これらの動物は乳や肉製品のために飼育されている。さらに、山岳地帯には自動車道がないため、ヤクや羊はトレッカーのための物資を輸送する代替手段として役立ち、それが地元住民の収入源となっている。したがって、これらの動物がユキヒョウによって殺されると、地元住民に大きな経済的損失となる。そのため、家畜を保護するために、農民はユキヒョウが人間の集落に近づいたときに殺す手段をとっている。このような報復的な殺害は、ユキヒョウの保護には大きな問題である。安全な家畜囲いを建設するための政府から地元住民への支援、ユキヒョウによる家畜の損失を補償するための地元住民のための保険制度を考案することは、ユキヒョウの報復的な殺害をある程度減らすことができるが、ユキヒョウと地元住民の両方を保護するためにはより高度な技術的アプローチが必要である。この点で、衛星テレメトリ研究は有用かもしれない。GPS 首輪付きのユキヒョウが人間集落に近づくと、保護ボランティアはユキヒョウが彼らの集落近辺にいることを地元住民に警告することができ、地元住民はユキヒョウから自分たちの動物を守るためのより良い準備をすることができるであろう。

ユキヒョウは毛皮、皮、骨の違法取引の目的からも殺されている。ユキヒョウ保護区の一部で実施されているコミュニティの密猟防止活動をさらに支援するために、高度技術モニタリングの使用は密猟活動を制御するのにさらに効果的であることが証明されるであろう。このプロジェクトはまた、地域社会を保護活動に関与させ、彼らの最先端科学ツールのノウハウを強化することもできる。この研究は、山岳生態系に関する科学的知見の向上に加え、ユキヒョウ保護区周辺の持続可能な生計支援にも役立つ可能性がある。科学的ツールの採用は、家畜の損失を最小限に抑え、持続可能な牧畜主義の実践を促進することができる。同様に、ユキヒョウによる家畜の継続的な殺戮のために地元の人々が自分たちの生計手段が安全で安全ではないと感じるならば、地元の人々は雇用機会を求めて主に都市部で他の場所に移動することに頼る可能性さえある。これは、その地域の人間の居住地を完全に失うリスクをもたらし、その結果、その特定の地域の先住民族の歴史が一掃されることさえある。したがって、ユキヒョウを保護しながら自給自足農家に力を与えることは、保全と社会経済的観点からも重要である。

ネパールの経済は主に観光産業に支えられている。一般的にネパールの観光部門は、観光客が山のトレッキング、観光、登山に来て、地元住民が食べ物や宿泊施設を提供するホテルの運営を通じて収入を得るなど、主に伝統的な方法で運営されている。しかし、近年では、高所得観光客の集客を目的としてエコツーリズムやアグリツーリズムの概念も高まっている。ユキヒョウ保護区では、エコツーリズムの概念を促進して、主な収入源が家畜である地元住民の社会経済的基準を高めることができる。最先端技術の使用は、ユキヒョウの自然生息地への観光客の侵入を防ぐことができる。観光客はユキヒョウに何の影響もない管理されたビュースポットからユキヒョウを直接見ることができる。ユキヒョウは個体数が少なく、人目を避け単独行動をとる性質のため

に、遭遇する可能性は単に純粹に運の問題である。時には、1ヶ月のたゆまない努力の結果でさえ、ユキヒョウを直接見る幸運にはみまわれないかもしれない。しかし、地理空間追跡技術は、リアルタイムでユキヒョウの位置を観光客に正確に知らせることができ、それによって観光客がユキヒョウの生息地に大きな混乱を引き起こすことなく、合理的な待ち時間枠でユキヒョウを見る機会を提供する。