

ドローンを活用した、デジタルアース環境基盤データとしての絶滅危惧動物の生態調査

渡辺 信¹、松田 一希²、杉田 暁³、福井 弘道³、竹島 喜芳³

¹琉球大学 熱帯生物圏研究センター 西表研究施設、

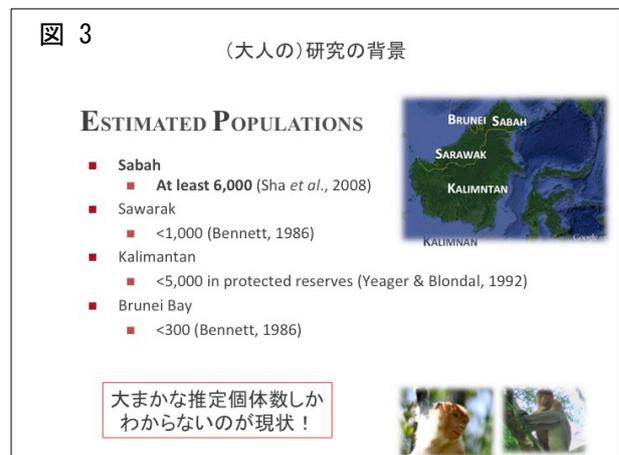
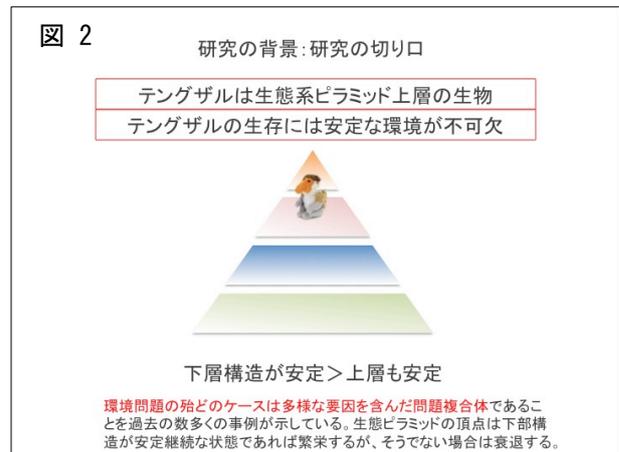
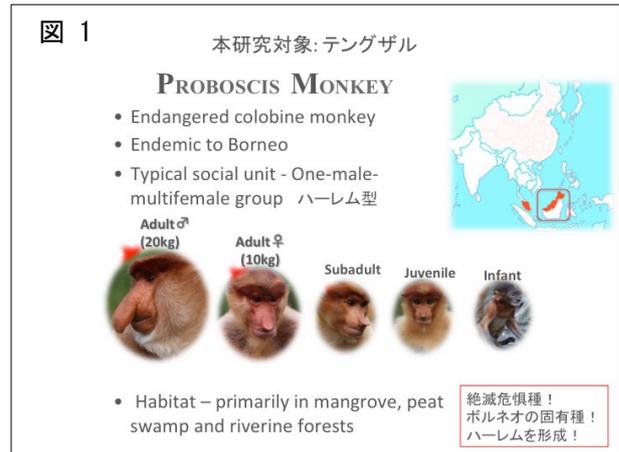
²中部大学 創発学術院 中部高等学術研究所、

³中部大学 中部高等学術研究所 国際 GIS センター

1. はじめに

テングザルは生物多様性ホットスポットの一つであるマレーシア、ボルネオ島の固有種であり生態ピラミッドで上位に位置する霊長類であるが、絶滅危惧種に指定されている（図 1）。その個体数が減少した主な要因は密猟等による直接的なものではなく生息環境の悪化であると言われており、換言すると人間の経済活動が引き起こした環境問題によるものである。環境問題の殆どのケースは多様な要因を含んだ問題複合体であることが過去の多くの事例で示されている。生態ピラミッドの上部構造は下部構造が安定継続な状態であれば繁栄するが、そうでない場合は衰退する（図 2）。本研究では、テングザルに関わる問題複合体の総体を生態ピラミッドのモデルとして捉え、テングザルが生息する生態系の現状を把握する。そして最終的にはボルネオ島のテングザルとその生存環境の現状を明らかにすることで、対象地域の環境問題複合体の深層構造を解明する糸口を掴み、本問題解決のための方策に資するものである。テングザルは絶滅危惧種であると上述したが、その正確な個体数を把握することは容易ではない。実際は一部の個体数調査に基づき急激な減少傾向にあることが大凡わかっているだけである（図 3）。従来の生息数確認調査は直接的な目視観察に依存しており、熱帯林に紛れこんだ個体の数を把握するだけでも相応のスキルと長時間に及ぶ労力が要求される。また当然ながらテングザルは一日の間にも活動域が移動するため、追跡することも難しい。本研究ではボルネオ島のテングザルとその生息環境の現状を把握するためにドローンを導入した。何故なら本事例では広域のスクリーンショット的なデータ収集が有効且つ不可欠であり、ドローンの機動性を活かせば、数平方キロメートルの範囲を短時間で、いつ、どこで、どれくらいの数が存在するのかを把握することが可能になるからである（Linchant et al. 2015, Bonnin et al. 2015）。

本研究ではドローン空撮から得られるデジタルデータを駆使し、テングザルとその存在環境の現状を文字通り俯瞰することにより、野生生物と人間が永続的に共生可能な方策を探求する。



2. 方法

■研究調査地

研究協力者の松田准教授が常設フィールドとして
いるボルネオマレーシア、サバ州東部、キナバタンガ
ン下流に分布する熱帯林を本研究調査地とした（図
4）。キナバタンガン下流域は生物多様性が高いだけ
でなく、野生生物の個体数密度も高い地域であるこ
とから効率良く観測するのに最適なフィールドである。

（図 5）

■調査期間

2017年11月15日～20日迄の6日間。

■調査機材

小型の汎用ドローン3機を空撮調査に用いた。DJI
社製 Phantom 3 と Phantom4 Pro を日中の空撮に用い、
夜間空撮用に DJI 社製 Phantom 2 のジンバルを改造
し、FLIR 社製赤外線センサー Duo R (160 x 120 pix)
を搭載した（図 6）。Phantom 3 と Phantom4 Pro はフ
ァーストパーソンズビュー (FPV) を利用してドロー
ンから見えるライブ映像をオペレーターの手元の送
信機で確認しながら飛行させることが可能である。し
かし Phantom 2 は FPV 機能が無いため、オペレーター
は機体の飛行状態を直接目で確認しながら飛ばす目
視飛行を行った。

松田准教授が従来実施してきた水上からの観察の
ために小型のモーターボート2隻を使用した。

■調査項目

以下に示す4項目の調査を実施した。

（1）調査区域のドローンマッピング

オペレーターから最大伝送距離2kmの範囲において、
最大地上高度120m、時速18km(5m/s)～36km(10m/s)
の間で無人航空機を飛行させ、スチル写真の撮影を行
った。マッピングは可視光カメラで毎秒1回の自動撮
影を行い、画像データを収集した。Agisoft社製画像ア
プリケーション、Photoscan Pro を用いて得られた写
真データをアライメント、三次元表層モデル (DSM)
とオルソ画像 (Ortho Image)、数値標高モデル (DEM)
を生成し、調査地全体の微地形と植生分布の表層視
覚情報を取得した。

（2）空撮によるテングザルの生息数調査

松田准教授が常設フィールドとしているエリアにお
いて、従来通りのボートからの目視観察とドローン
からのビデオ撮影を同時に実施し、鳥瞰による動画
でテングザルの生息数をどの程度把握できるのかを
検討する目的で空撮を行った。オペレーターから最
大伝送距離500mの範囲において、最大地上高度40
m、時速18km(5m/s)～36km(10m/s)の間で
無人航空機を飛行させ動画撮影を行った（図7、8）。

（3）ボートからのテングザルの生息数調査



図 5

調査地の様子



図 6

使用機材

小型モーターボート 2隻

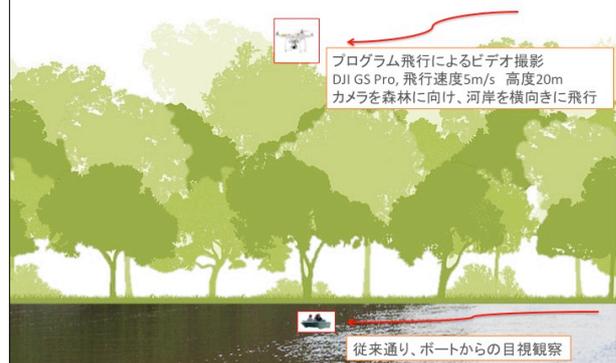
ドローン3機

- DJI Phantom4 Pro
- DJI Phantom3 Professional
- DJI Phantom2 + Zenmuse H4-3D + FLIR Duo R (160 x 120Pix)



図 7

Task(2)ボートからのテングザルの生息数調査
Task(3)ドローン空撮によるテングザルの生息数調査



小型モーターボートをテングザルが生息する河岸に沿って走行させ、双眼鏡と直接目視による個体数確認を行い野帳に記録した(図7)。観察実施時間帯はこれまでの松田准教授の調査結果に基づき、テングザルが河畔に姿を現す確率が高い夕刻5時に開始、2時間弱をかけて調査区域の観察を行った(図9)。

(4) 空撮によるテングザルの夜間生息数調査

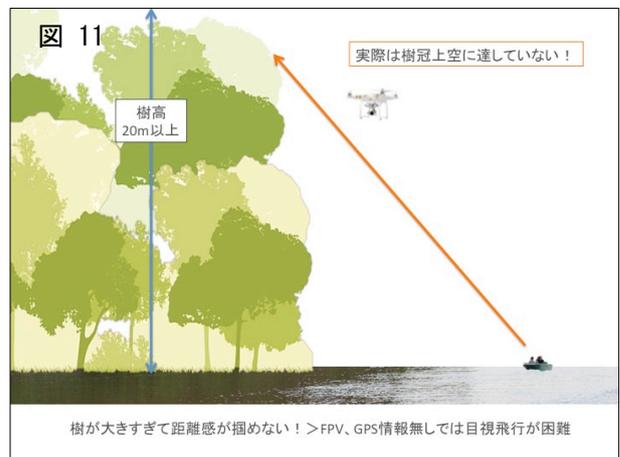
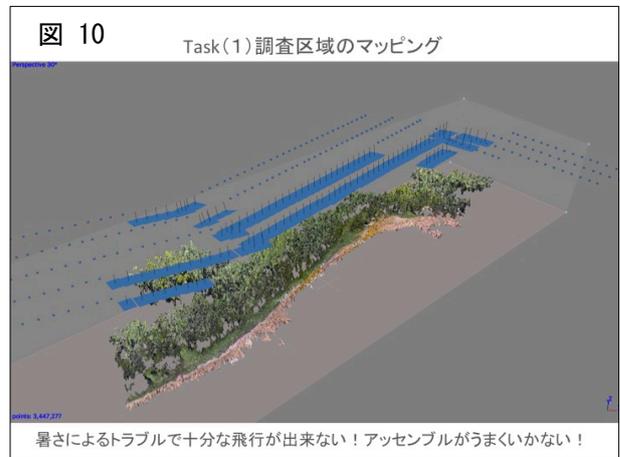
FLIR 社製赤外線センサー FLIR Duo R を搭載した DJI 社製 Phantom 2 を薄暮終了後に飛行させ、地表面の二次元サーマルイメージ動画を撮影し、テングザルの個体数調査への運用可能性を検討した。

3. 結果

(1) 調査区域のドローンマッピング

調査期間前半の午前9時から午後3時の間にマッピング用空撮を実施したが、当初不具合によりドローンを離陸させることが出来なかった。まずドローン自立飛行用ソフトウェアの一つである Map Pilot を用いて飛行プログラムを作成し、現地でボート上から離陸を試みたが、離陸がキャンセルされ飛行自体が出来なかった。そのため当初予定した40ヘクタールのエリアをカバーする地図を作成することはできなかった。最終的に DJI 社製の純正自立飛行ソフトウェアである DJI GS Pro で再度フライトプログラムを作成し、離陸させることが出来た。Map Pilot で離陸出来なかった原因は、川に浮かぶボートから離陸させる場合、川の流れで離陸地点が揺れ動くため、ホームポイントをソフトウェアが特定することが出来なかった可能性がある。この点に関して DJI GS Pro は冗長性が高く、揺れ動くランディングポイントからの離陸が可能であることを過去のフライトでも確認済みである。また直射光下で離陸を試みると熱帯地域の高温が原因で離陸出来ないと考えられるケースも頻発し、作業の進捗を遅延させた。DJI Phantom シリーズは映像受信用のモニターとしてタブレット端末を使用するが、直射光下で使用すると短時間のうちに端末温度が上昇し、CPU 及びバッテリーの発熱と相まってタブレットに高温エラーが生じるケースも頻発した。

空撮で得られた静止画像から三次元表層モデル(DSM)とオルソ画像(Ortho Image)、数値標高モデル(DEM)を生成し、調査地の微地形と植生分布の表層視覚情報を取得した。しかし隣接する画像間のオーバーラップ率の設定が60%であったため、アライメント出来ない箇所が多く、当初予定していた空撮区域の5分の1程度のマッピングを完了するに止まった(図10)。マッピングにおいては、オーバーラップ率60%でもアライメント可能だが、撮影された熱帯林の樹冠の写真を確認したところ、パターンの類似性が高いため特徴



点の抽出が効率良くできなかつたと考えられたことから、出来るだけ高いオーバーラップ率の設定が必要と考えられた。

(2) 空撮によるテングザルの生息数調査

調査期間中、午後5時から7時の間に2機のドローンを用いてテングザルの生息数調査のためのビデオ空撮を実施した。予め河岸に沿って飛行ルートプログラムし、10m/sec前後の速度でPhantom4 Proを飛行させ動画撮影を行った。この際機体の向きは河岸を捉えるように横向きとし、横方向に機体を移動するように設定した。これと同時にもう一機のPhantom3 Professionalは高度30mのマニュアルコントロールで熱帯林上空を飛行させ、10m/sec前後の飛行速度で、カメラを真下に向けて前進飛行でビデオ撮影を行った。しかし2回目のフライト時に進行方向にあった高木の枝に衝突し、落下、破損した。事故の原因の一つはカメラを下方に向けて飛行したため、前方の障害物を確認出来なかつたこと。二つ目の原因は、前方の障害物をボートから目視でオペレーターが確認していたが、熱帯の大きな樹木によりドローンと樹木との間の遠近感が十分に把握できなかつたことである(図11)。調査期間中は雨天の影響も有り、Phantom4 Proによる自動撮影で調査3回分の動画データを得た。得られた動画を大型のモニターで再生し、サルの観察経験が無い一般人に頭数を確認させたところ、23頭~38頭のテングザルをカウントした。

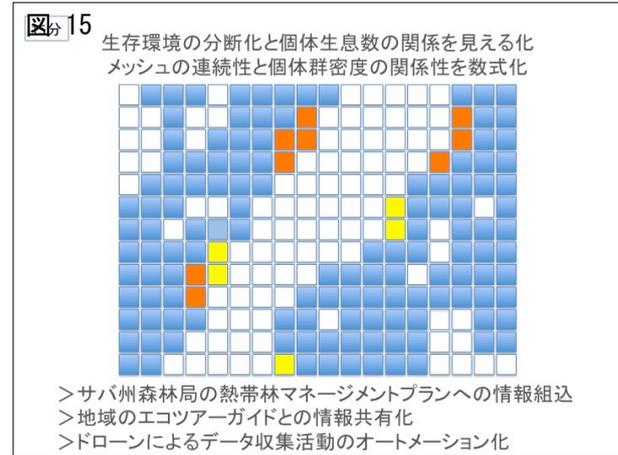
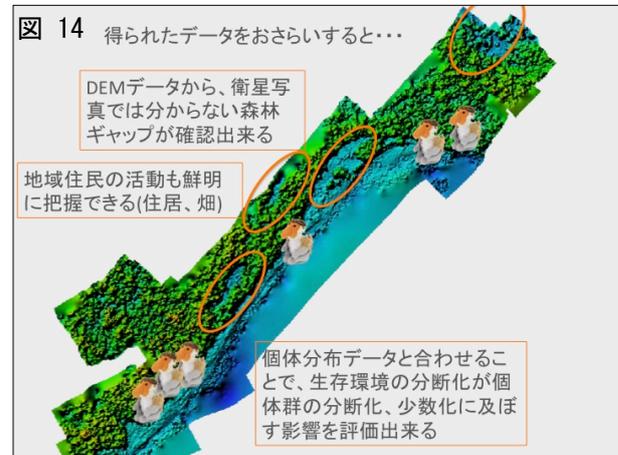
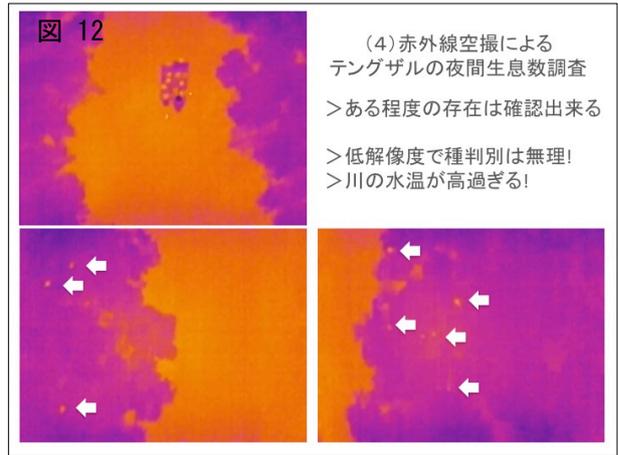
(3) ボートからのテングザルの生息数調査

調査期間中の午後5時から午後7時過ぎまで、共同研究者の松田准教授が従来通りの手法に従ってボート上から観察を行った(図9)。長年松田准教授のアシスタントを務める地元のガイドが、ボートの操作を兼ねて観察を補助した。ドローンの調査を中止した雨天時もボート上からの観察は実施した。テングザルの目撃地点はGPS座標データを記録した。その結果、調査期間中は概ね一日当たり30頭以上、最高で66頭のテングザルを確認した。

(4) 空撮によるテングザルの夜間生息数調査

調査開始初日の日没後に、赤外線カメラで熱帯林の二次元サーマルイメージ動画を撮影し、赤外線カメラの有用性を検討するデータを取得した(図12)。

松田准教授が常設フィールドとしているエリアの河岸から20mの幅を視野に捉えるようにドローンを河畔林上空に移動させ、離着陸地点であるボートから上流と下流に200m程度それぞれ赤外線動画を撮りながら飛行させた。飛行はFPVを使用しない目視飛行で、ドローンの前方灯と後方灯を目印に飛行させた。赤外線カメラの解像度が低いため、種判別可能



な映像は得られなかったが、樹冠に止まる大型動物の位置を把握することは出来た（図 12）。しかし川の水温が予想以上に高く、大型動物や人間の体温に近いサーマルイメージで表示されるため、河岸近傍の川と重なる区域で大型動物の存在を見極めるのは困難であった（図 12）。

4. 考察

近年、ドローンを野生生物調査に導入する試みが進められている。その動機は鳥瞰、俯瞰による視野の広さに加え、画像センサーの高精細化と多様化にあり、地上からの調査では不可能な視点を与えてくれる（Hagson 2018）。本研究調査ではドローンによる鳥瞰観察の有用性を確認することが出来た。今後飛行ルート、飛行高度、飛行速度、カメラアングル、撮影設定をより工夫することで更に観測効率を高めることが可能である。今回は僅か一週間程度の調査期間であったが、本研究調査地では多くの鳥類、大型哺乳類、昆虫類を確認出来たことから、当該調査地がボルネオの他の地域と比較しても生物多様性と生物密度が高いことを確認出来た。しかしこの調査地で長年テングザルの観察を続けてきた松田准教授によると、テングザルの集団間の流動性は低下してきており、群れ構成の変遷が以前よりも小さくなってきているとの指摘がある。残念ながら今回の目的の一つである調査エリア全域のマッピングを完了することは出来なかったが（図 10）、松田准教授の言葉を裏付けるように、現地滞在中の直接観察とドローンで俯瞰した動画と静止画像から、調査区域の熱帯林は予想より分断化が進み、脆弱化しつつある状況が確認出来た。また今回得られた一部のマッピング情報からも、テングザルが安全に移動可能な森林帯や夜間に滞在する河畔林が、オイルパームプランテーション以外にも小さな開墾等を含む人間活動によって断片化している様子が確認出来た（データが完全で無いため割愛：イメージ概略図 14）。これらの情報は衛星画像から得られるものとは明らかに異なり、低空で飛行するドローンだからこそ得られるものであった（Bonnin et al. 2018）。次の調査機会が得られた際は、①まず調査区域のマッピングを完遂し、②夕刻の空撮モニタリングデータを追加すると同時に③ボート上からのモニタリングデータも追加、④得られたモニタリングデータを GPS 座標に基づき作成したマップ上にプロットする。そして得られたデータから熱帯林の連続性或いは断片化とテングザルの分布との関係を解析する（図 15）。

今回の現地調査では熱帯林でドローン調査を完遂するために考慮すべき様々な事象を経験することが出来た。今後の課題として、熱帯特有の高温高湿環境でドローンの精密機械部品を正常に機能させるために①常にドローン本体、コントローラー、予備バッテリーの遮光環境を確保し、②結露を引き起こさないように急激な温度変化を避けるための工夫を施す。またボート上から確実に安全に離着陸させるために、③ホームポイントや IMU 等の設定確認、④異常発生時の帰還方法として GPS に依存しない ATTI モード及びホームロック機能を駆使するための鍛錬が必要である。更に熱帯林の樹木の高さによる遠近感の錯覚を起こさないよう、⑤FPV と GPS データを利用できる機体のみ使用することが望ましい。また赤外線によるモニタリング調査は、使用するセンサーの解像度でデータ精度が決まるため、より高い解像度のセンサーを入手することが望ましい（図 13）。

取得したデータを解析し、調査地の基本地形、植生、対象種の面積当たり生存数、生物多様性を明らかにする。

5. まとめ

現地の人々の生活道路や高効率な収入源であるオイルパーム植林地が開拓されることで分断化される森林は、テングザルの個々の集団を孤立させ、長期的には遺伝学的な問題に直面する可能性もあることが示唆された。人間のための空間と野生生物のための空間（森林の連続性、若しくは緑の回廊）のバランスを如何に保つか、人間とテングザルをはじめとする野生生物との共生に必要であることが示唆された。

6. 謝辞

本研究は中部大学問題複合体を対象とするデジタルアース共同利用・共同研究 IDEAS201718 の助成を受けたものです。ボルネオ・マレーシアにおける調査はマレーシア・サバ州森林局の全面協力を受けて実施された共同研究調査です。

参考文献・データ

- [Jarrod C. Hodgson](#) et al. (2018) Drones count wildlife more accurately and precisely than humans. British Ecological Society; <https://doi.org/10.1111/2041-210X.12974>
- Linchant et al. (2015) Are unmanned aircraft systems (UASs) the future of wildlife monitoring? A review of accomplishments and challenges. Mammal Review, 45, 239- 252. <https://doi.org/10.1111/mam.12046>
- [Noémie Bonnin](#) et al. (2015) Locating chimpanzee nests and identifying fruiting trees with an unmanned aerial vehicle. American Journal of Primatology; DOI: 10.1002/ajp.22446
- [Noémie Bonnin](#) et al. (2018) Assessment of Chimpanzee Nest Detectability in Drone-Acquired Images. Drones 2(2), 17; <https://doi.org/10.3390/drones2020017>