

令和 6 年 6 月 8 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2018～2023

課題番号：18K06418

研究課題名（和文）音声伝播をもとにした野生動物の生息環境のラピッドアセスメントに関する研究

研究課題名（英文）Rapid assessment on wildlife habitat based on sound propagation

研究代表者

奥田 敏統（Okuda, Toshinori）

広島大学・統合生命科学研究科（総）・特任教授

研究者番号：20214059

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：熱帯雨林のアンブレラ種として、種子繁殖などに貢献しているシロテテナガザル（*Hylobates lar*）に焦点を当て、彼らが個体間で交わす鳴声の発生頻度が森林の垂直方向の要素（林冠高や地形）や林冠面から森林内の微気象の時間的変化と、どのような関係があるかを明らかにすることを目的とした。調査の結果、シロテテナガザルの鳴声は、林冠面で形成される温度の逆転層が顕著になる時間帯に多く発生すること、鳴声が頻発する箇所は空間的には林冠高が高い場所や、尾根筋などの地形に集中することが分かった。またそうした鳴声伝播は冷気を十分に長時間蓄えることができる森林環境で顕著になることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

シロテテナガザルの鳴声は、時間的には温度勾配による林冠面での音のドップラー効果が顕著になる時間帯に多く発生すること、また鳴声伝播は冷気を長時間蓄えることができる森林環境によってもたらされることを示した。これらをもとに、林冠高を鳴声発生場所の代理指標として用いることで、シロテテナガザルの潜在的な生息適地を空間的に示すことができることがわかった。また、こうした代理指標は択伐施業を含めた森林管理の際の生物多様性の保全指針になりうる。いわゆるラピッドアセスメントの際の生物指標として応用可能である。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study was to develop a tool that allows rapid assessment of arboreal animal distributions. In our acoustic triangulation method, we used directional microphones to get the bearing of the callings and placed them atop two canopy towers to study the spatial distribution of calling locations of white-handed gibbon (*Hylobates lar*) in a tropical rain forest, Peninsular Malaysia in relation to three forest vertical components. The calling locations were analyzed in relation to a canopy components (DTM, DSM, Canopy height) from LiDAR data. We found all forest vertical components at the calling locations were significantly higher than the average values over the whole study site. We also gibbon's calls were frequently observed in morning in the morning when the thermal boundary in the canopy surface are evident. These suggest canopy height can be a surrogate index for their habitat quality evaluation.

研究分野：森林生態学

キーワード：熱帯雨林 gibbon 鳴声伝播 林冠 逆転層

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

マレー半島の熱帯林に生息するシロテテナガザル(White-handed gibbon; *Hylobates lar*、以下、シロテテナガザル)の鳴声(めいせい)は、早朝から午前中に集中するが、他の林冠動物の鳴声も概ねこの時間帯に集中する。研究の背景として、動物の鳴声の伝播は森林内部で形成・保持される冷い空気と林冠面の暖気との間で形成される逆転層に深くかかわっているのではないかと考えたことによる。そのメカニズムとして、逆転層形成により音声伝播経路にドップラー効果が影響し、早朝に鳴声を発すれば、より強く、遠方に伝播すると考えた。

熱帯林は樹高 50m以上に発達する林冠木によって構成される林冠層によって覆われる。そのため森林内に夜間に蓄えられた冷気を長時間保持することが可能だが、森林伐採や土地利用転換により、森林構造が崩壊してしまうと、冷気保持機能が劣化、消失してしまう。例えば、農地や伐採や林道建設などにより大きな空隙や開放空間が生じた場合、鳴声伝播に大きな障害が出ると考えた。

研究対象のシロテテナガザルは、森林衰退(減少、劣化)とともに生息地を奪われており、(Geissmann, 1991; Gron, 2010)、本種のアンブレラ種としての生態系内での位置づけ(ニッチ)を考えると、他種への連鎖的な影響や森林内の生物多様性への深刻な影響が危惧される。一方で、自然林への択伐施業の実施に当たっては、近年、木材生産性の持続性のみならず、生物多様性の保全への配慮と、施業法の改良・改善にむけての定量的指針が強く求められているところである。本研究はこうした状況に鑑み、森林管理者に対して、生物多様性を客観的に評価できる代理指標の提案を目指すものであり、シロテテナガザルの鳴声方探の研究はそのモデルとなると考えた。

2. 研究の目的

1) 鳴声が頻発する時間帯と、林冠面で形成される逆転層が顕著になる時間帯との間にどのような関係があるかを明らかにすること、2) 鳴声伝播の視点から、シロテテナガザルにとって棲み心地のよい環境を時空間的に評価できるツールを開発することである。

3. 研究の方法

3.1 調査場所

マレーシア、ネグリセンピラン州のパゾ保護林を調査地とした。本研究では、学術参考林として保全されているパゾ保護林のうち、人的攪乱が入っていない自然林と、1950年代に択伐施業を受け、その後天然更新過程にある択伐二次林(後述、以下“択伐二次林”)を研究対象とした。また、森林伐採や、農地への土地利用転換などによる影響も明らかにするため、森林内の林冠空隙場所や、オイルパームのプランテーションなどにおいても、温度環境の時間的変化をしらべた。

3.2 調査方法

シロテテナガザルの鳴声発生場所の抽出については、パゾ保護林内の2か所に敷設している林冠観測用のタワーの頂上部で観測したデータをもとにした。その際、超指向性マイクロフ

オンとフィールドレコーダーを用いて、鳴声入力が増大になる方角を2つのタワーの頂上部で測定した(音声方探)。またシロテテナガザルの鳴声発生時間も記録した。調査地としては、自然林および択伐二次林、およびオイルパームプランテーションの一部を含む約520haを対象とした。

鳴声場所の森林構造を分析するため、調査地を対象に2011年に取得したLiDARデータを用いた。このLiDARデータより、林冠表面高(DSM)、地盤高(DTM)を抽出し、両者の差から林冠高(CPH)を算出した。また、DTMをもとに調査地を20m四方のグリッドに刻み、それぞれの矩形内の地形を地面の凹凸度から評価した。凹凸度算出に当たってはCI指数(Convex Index, Yamakura et al 1995)を用いて、それぞれの矩形を尾根、谷、斜面の3タイプに類型化した。これらの4要素(DSM, DTM, CPH, CI)とシロテテナガザルの鳴声発生場所との関連性を分析した。

鳴声発生時の大気中の温度(林冠面での逆転層の形成)と鳴声頻度との関係については、タワーに温度ロガー(HOBO社製、UA-002-64)を地上から10mごとにタワーの頂上部まで設置し、鳴声方探の観測日に合わせて、2~3日間継続計測を行った。また林冠空隙場所やオイルパームプランテーションについては、ドローンやバルーンに係留用のロープ装着し、地上から10m毎に高さ100mまで温度計測を行った。

4. 研究成果

シロテテナガザルの鳴声場所は地形(CI)や林冠高(CPH)と高い関連性があることが分かった(Okuda et al 2022で発表済み)。パソの保護林は中心部分が伐採などの影響をうけていない自然林であるが、それを取り囲むように択伐二次林が広がる。択伐二次林と自然林との鳴声の発生個所を比べると圧倒的に自然林側での発生頻度が高いことがわかった。

自然林を囲むように成立・分布している択伐二次林は1950年代後半にMalayan Uniform System(MUS)により択伐をうけ、その後、天然更新途上にある森林である(logged forest: 択伐二次林)(Manokaran et al 1998, Okuda et al 2003, 2019, 2021)。地上部の現存量(TAGB)は内側の自然林のTAGBとほぼ同じレベルまでに回復したが(Okuda et al 2021)、林冠高の回復は遅れている(Okuda et al 2019)。この原因は、択伐後約50年間、間伐などの処理を行わなかったために小径木が密生したことによると考えられている(Okuda et al 2019)。また、択伐二次林では林冠高の垂直的な不均質性が極めて低く(=林冠面が自然林に比べて平滑)、林冠を移動しながら生活するシロテテナガザルにとっては、「棲みづらい」空間となっていることも考えられる。なお、オイルパームプランテーションでの鳴声場所は、全く抽出できなかった。これはそもそもシロテテナガザルにとって、採餌できる食べ物が少ないこと、オイルパーム果房の収穫作業に頻繁に人や運搬車両がいること、狩猟の対象となる危険性が高いことなどに加えて、択伐二次林と同様に、オイルパームの樹体とプランテーションの外相(相観、physiognomy)が生息場所、移動経路としては物理的に適さないことなどが指摘できる。

また、DTMと鳴声発生場所との関係分析から、シロテテナガザルの鳴声場所は調査地内の尾根筋に集中することが分かった(Okuda et al 2022)。これまでの先行研究や本課題

の調査地内で「高径で突出木層に到達する樹木は尾根部に集中すること」が分かっており、地形との林冠木、突出木の関連を明瞭に示す結果となった。

シロテテナガザルの鳴声の発生時間を雨季(12月)、乾季(2~3月、7~8月)の三時期で観測したところ、いずれの時期も、早朝(夜明け)~11時ころまでに集中することが分かった。このことに加えて、林冠上部から林冠表面にかけて形成される温度勾配との関連性について調べたところ、シロテテナガザルの鳴声が高頻度で発生する時間帯には逆転層が形成されていることがわかった。また、森林内の林冠ギャップ(半径50m程度)では、こうした温度の垂直分布が、朝の早い時間帯で不明瞭となること、オイルパームのプランテーションで同様の観測では、自然林でみられるような温度勾配は全く見られず、午前9時ころには、地表面から林冠表面温度の方が、林冠上部よりも高温となることが分かった。そのため、オイルパームの林冠層での鳴声があったとしても、ドップラー効果による音声伝播の増幅は期待できないことが分かった。

さらに、DTM, DSM, CH, CIを変量として、シロテテナガザルの鳴声からみた適地を多変量解析(主成分分析、PCA)により評価した。そして、林冠高や林冠表面高(DSM)の寄与率が高い主成分軸の値をもとにした空間マップ、地盤高の寄与率が高い主成分軸をもとにした空間マップをそれぞれ作成した。これらのマップを比較したところ、択伐二次林に比べて自然林の方が、鳴声の潜在的適地として抽出できる場所が多いことがわかった(Okuda et al 2022)。一方、DTM(地盤高)だけを考えれば、択伐二次林やオイルパームプランテーションの中にも潜在的な適地が多いこともわかった(Okuda et al 2022)。以上のことから、林冠高などの森林の垂直方向のパラメータを代理指標として用いることで、択伐施業を含めた森林管理の際の生物多様性の保全指針になりうると考えられた。また、本調査地に限らず、アンブレラ種としてのシロテテナガザルの潜在的な生息環境の推定は、森林保全の状態を俯瞰するための、ラピッドアセスメントの指標ツールとして有効であると考えられた。

なお、本研究では、上記のシロテテナガザルの鳴声に関する調査に加え、林冠高を素早く正確に評価するためのツール開発もおこなった。これには、ドローン装着型のLiDAR(DJI社製L1)を用いた。ドローン装着型LiDARは照射光ビームのエネルギーが小さく、熱帯雨林のような閉鎖林冠下で地盤高の三次元構造が正確に再現できるかどうか、これまでの予備調査結果で課題となっていたことが背景にある。調査の結果、ドローンLiDARでは林冠層によるビームの遮断はあるものの、有人機によるLiDAR計測と同程度の精度の高いDTM構築が可能であることが分かった(熱帯生態学会 2024にて発表予定)。以上のことから、ドローン空撮により本研究が代理指標として提案している林冠高をはじめとする森林構造のデータが、継続的かつ、高頻度で取得でき、その結果、ラピッドアセスメントのオンデマンド展開に少なからず寄与するものと思われる。

引用文献

- Geissmann, T., 1991. Sympatry between white-handed gibbon (*Hylobates lar*) and pileated gibbons (*H. pileatus*) in southeastern Thailand. *Primates* 32: 357–363.
- Gron, K., 2010. Lar gibbon *Hylobates lar* (On-line). Primate Info Net. Accessed Dec 31 2021 via http://pin.primate.wisc.edu/factsheets/entry/lar_gibbon.

- Manokaran, N., 1998. Effects, 34 years later, of selective logging in the lowland dipterocarp forest at Pasoh, Peninsular Malaysia, and implications on present day logging in the hill forests. In: Lee, S. S., May, D. Y., Gauld, I. D., Bishop, J. (Eds.), Conservation, Management and Development of Forest Resources. Forest Research Institute of Malaysia, Kepong, pp. 41–60.
- Okuda, T., Suzuki, M., Adachi, N., Yoshida, K., Niiyama, K., Nur Supardi, M. N., Manokaran, N., Mazlan, H., 2003. Logging history and its impact on forest structure and species composition in the Pasoh Forest Reserve: Implication for the sustainable management of natural resources and landscapes. In Okuda, T., Niiyama, K., Thomas, S. C. and Ashton, P. S. (eds.). Pasoh: Ecology of a Rainforest in South East Asia, Springer, Tokyo, pp. 15–34.
- Okuda, T., Yamada, T., Hosaka, T., Miyasaku, N., Hashim, M., Lau, M. S. A., Saw, L. G., 2019. Canopy height recovery after selective logging in a lowland tropical rain forest. *Forest Ecol. Manage.* 442, 117–123. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.03.045>
- Okuda, T., Shima, K., Yamada, T., Hosaka, T., Niiyama, K., Kosugi, Y., Yoneda, T., Hashim, M., Quah, E. S., Saw, L. G., 2021. Spatiotemporal changes in biomass after selective logging in a lowland tropical rainforest in Peninsular Malaysia. *Tropics* 30, 11–23, doi:10.3759/tropics.MS20-03
- Okuda T., Matsubara H., Yamada, T., Chew, C.D., Lau, A.M.S., Paska J., Nishizaki, H., Nur Omar S. U. S., Zakaria M.H. 2022. Spatial distribution of white-handed gibbon calls in relation to forest vertical components, Malaysia, from a perspective of forest management. *Global Ecology and Management.* 38, e02245.
- Yamakura, T., Kanzaki, M., Itoh, A., Ohkubo T., Ogino, K., Chai, E. O. K., Lee, H. S., Ashton, P. S., 1995. Topography of a large-scale research plot established within a tropical rain forest at Lambir, Sarawak *Tropics* 5, 41–56.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計10件（うち査読付論文 10件／うち国際共著 9件／うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Okuda T., Matsubara H., Yamada, T., Chew, C.D., Lau, A.M.S., Paska J., Nishizaki, H., Nur Omar S. U. S., Zakaria M.H.	4. 巻 38
2. 論文標題 Spatial distribution of white-handed gibbon calls in relation to forest vertical components, Malaysia, from a perspective of forest management	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Global Ecology and Management	6. 最初と最後の頁 e02245
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.gecco.2022.e02245	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Mon S.M., Yamada, T. and Okuda, T.	4. 巻 18
2. 論文標題 Livelihood diversification: Is it a measure to control the forest encroachment problem? A case study in a state-owned reserved forest of southern Shan state, Myanmar	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Hikobia	6. 最初と最後の頁 221, 229
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Mon S.M., Okuda, T., Yamada, T. Thant A.M, Shin T., Chew, W.C., Mandal M.S.H., Shigematsu C.	4. 巻 31
2. 論文標題 Can commercialization of non-timber forest product (NTFP) reduce deforestation in Myanmar?	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Tropics	6. 最初と最後の頁 81, 93
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する
1. 著者名 Chew, W.C., Okuda, T., Mon S.M., Mandal M.S.H., Shigematsu C., Shin T., Thant A.M.	4. 巻 31
2. 論文標題 Spatial and temporal analysis of commercialized NTFP production in four administrative regions in Myanmar	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Tropics	6. 最初と最後の頁 95,109
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 該当する

1. 著者名 Mandal M.S.H. Okuda, T., Mon S.M., Chew, W.C., Shigematsu C., Thant A.M.	4. 巻 31
2. 論文標題 Habitat suitability mapping for a high-value non-timber forest products-A case study of <i>Rauvolfia serpentina</i>	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Tropics	6. 最初と最後の頁 111,133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Okuda T., Yamada T., Hiratsuka M., Fujikawa K., Ishizuka M., Hlaing E.E. S., Thant A.M.	4. 巻 31
2. 論文標題 Introduction to "Role of Non-Timber Forest Products (NTFP) for local benefit and forest resource sustainment in Myanmar"	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Tropics	6. 最初と最後の頁 65, 67
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Schepaschenko D, Chave J, Phillips OL, Lewis SL, Davies SJ, Rejou-Mechain M, Sist P, Scipal K, Perger C, Herault, B, Labriere N, Hofhansl F, Affum-Baffoe K, Aleinikov A, Alonso A, Aman C, Araujo-Murakami A, Armston J, Arroyo L, Okuda T (共同研究者他64名)	4. 巻 6
2. 論文標題 The Forest Observation System, building a global reference dataset for remote sensing of forest biomass	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific data	6. 最初と最後の頁 198,208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41597-019-0196-1	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Okuda, T., Yamada, T., Hosaka T., Miyasaku, N., Hashim, M., Lau M.S. A., Saw L.G	4. 巻 442
2. 論文標題 Canopy height recovery after selective logging in a lowland tropical rain forest	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Forest Ecol. Manage.	6. 最初と最後の頁 117-123
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.foreco.2019.03.045	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Shigematsu, C., Chew, W.C. Okuda T., Yamada T.	4. 巻 18
2. 論文標題 Vegetation mapping and its spatial accuracy based on drone multispectral images of secondary vegetation in southwestern Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Hikobia	6. 最初と最後の頁 131-144
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Lau, A. M. S., Chen, W. Okuda, T., Sim, H. L., Tam, T. H. Chew, W. C.	4. 巻 -
2. 論文標題 Performance Analysis of Forest Canopy Height Model Generated from UAV and InSAR	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 J. Advanced Geospatial Science and Technology	6. 最初と最後の頁 in press
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計1件

1. 著者名 奥田敏統 (一部)	4. 発行年 2020年
2. 出版社 丸善	5. 総ページ数 700
3. 書名 森林学の百科事典	

〔産業財産権〕

〔その他〕

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------