

ミャンマーの伝統的林業生態系におけるアジアゾウとの共生の実態と課題

Situation and challenges on coexistence with Asian elephant in traditional forestry ecosystems of Myanmar



溝上 展也
Nobuya Mizoue

本研究では、ミャンマーで160年以上前から集材作業に利用されているアジアゾウの利用の実態や生活・行動様式を明らかにした。ゾウによる集材作業では残存木を避けながら丸太を運搬するため、熱帯林業で問題視されている重機による集材時の残存木への損傷や土壌攪乱は大きくないことがわかり、ゾウを利用することによって他国よりも低インパクトな林業が実現できていることが分かった。林業利用されるアジアゾウは年齢階によって系統的に管理されており、活動期には休息の確保が重要視されている。集材作業に従事するのは早朝の数時間のみであり、集材が終わると休息时间となりリリースされる。GPS軌跡計測の結果、休息時はベースキャンプから数百mの距離にいることがわかった。林業生態系におけるアジアゾウとの共生には、水辺環境と採餌環境が重要であり、これらの長期的な保全が求められる。

This study evaluated activities and moving behavior of Asian elephants that have used for skidding operation since about 160 years ago in Myanmar. Elephants can avoid felling down the residual trees during moving for skidding of logs, and such elephant behavior contributes lower impact forestry as compared with the other tropical countries where machine skidding causes severe residual tree damage and soil disturbance. Elephants used for skidding are managed systematically based on age classes and providing enough rest time during working is considered the one of the most important cares for the elephants. The elephants work only for a few hours in the early morning and they are released into forest after working. GPS tracking revealed that the range of elephant moving during free time is a few hundred meters from the base camp. It is very critical to ensure and conserve water resources and food resources for long-term co-existence with elephants in Myanmar forestry ecosystems.

九州大学大学院農学研究院環境農学部門 教授

Department of Agro-environmental Sciences, Faculty of Agriculture, Kyushu University, Professor

Email : mizoue@agr.kyushu-u.ac.jp

研究の背景と目的

地上最大の陸上哺乳類であるゾウは減少し続けており、特にアジアゾウ (*Elephas maximus*) の減少は著しく、IUCN レッドリストにおいて絶滅危惧種 IB 類に指定されている。アジアゾウは古くより家畜化され、木材の集材・運搬 (図1) やエコツーリズムにおいて利用されてきており、人間生活と深いつながりがある。家畜化アジアゾウの頭数は約 15,000 頭といわれており、野生ゾウ約 50,000 頭と比較しても少なくなく、その適切な利用と保全が求められている。

南・東南アジア諸国ではアジアゾウの林業利用が以前はよくみられたが、それらの実態に関する科学的な記録はほとんど残っていない。現代ではその多くはブルドーザ等の重機利用に置き換わっているが、唯一、ミャンマーではアジアゾウによる約 160 年におよぶ伝統的な林業が国家的に継続されている。長年、ミャンマーの奥地において、ゾウ林業の実態やゾウの行動様式を科学的に調査することは極めて困難であったが、最近では状況が変わってきている。

九州大学森林計画学研究室では、ミャンマー森林局からの留学生とともに、19 世紀後半から始まったミャンマー式林業の持続可能性評価に取り組んできた (例えば、Mon ら, 2012; Khai ら, 2016a)。その中で、ゾウによる集材は周囲の樹木への損傷や土壌攪乱などのインパクトが極めて低い、という作業仮説を得ている (Khai ら, 2016b)。一方で、違法伐採や過度の伐採により、アジアゾウの生育空間としての森林の減少・劣化は著しいことも明らかとなり (Mon ら, 2012; Khai ら, 2016a)、アジアゾウの適切な利用と保全が重要課題となっている。

そこで本研究では、ミャンマーの伝統的な林業地において、GPS テレメトリー (軌跡計測) およびビデオ撮影等に基づき、アジアゾウの利用・行動様式の実態をリアルタイムで定量化し、絶滅の危機に瀕しているアジアゾウの適切な利用と保全に向けた課題を提言することを目的とした。



図1. アジアゾウによる集材

Fig.1. Elephant skidding

研究経過

<ミャンマー式林業による土壌攪乱への影響評価>

調査対象地はミャンマーの伝統的な林業地として有名な Bago 地区と Katha 地区であり、それぞれ 2 か所の林班 (14c と 5C, 45c と 46c) を対象とした (図 2)。小班の作業面積は 136 ~ 280 ha の範囲にあり、伐採強度は 1.1 ~ 2.1 本 / ha の範囲にあった (表 1)。

各林班において、林道 (丸太を土場から林班外へ運搬するためのトラック道)、土場 (丸太を一時的に集積する場所)、集材路 (伐倒された場所から土場まで丸太をゾウによって集めるための道) について、土壌攪乱の面積および面積率を計測・推定した。ここでいう土壌攪乱とは、集材などによる表層土壌 (A0 層) の攪乱のことを指す。林道と土場はブルドーザ利用によって造成された時の土壌攪乱であり、集材路はゾウによって丸太が運搬されたときに

生じた土壌攪乱である。

林道については、林班内のすべての林道軌道をレーザ距離計 (TruPulse360R) を用いて計測し、林道の幅については、無作為に抽出した 100 m の区画を 8 ~ 12 箇所選定し、各 100 m 区画において 10 m 毎に、図 3 に示すように 3 段階の定義で林道幅を計測した。そして、林班毎に林道幅の平均値に林道軌道延長を乗ずることで土壌攪乱面積を計算した。土場については、全ての林班についてすべての土場の位置を GPS(Garmin 60CSx) を用いて計測し、5C 以外の 3 つの林班では、土場を多角形近似して TruPulse360R を用いて計測し、土壌攪乱面積を求めた。ゾウ利用による集材路については、45C と 46C の 2 つの林班を対象に、それぞれ全体として 53, 75 か所存在した集材路網から 31, 14 か所の集材路網を無作為に選定し、計測を行った。その際、集材路網を合計 353 の路線区画 (セグメント) に分割し、セグメント毎に TruPulse360R を用いて水平距、垂直距、方位を計測し、路網幅は測距テープを用いて計測して、セグメントの面積の合計値として集材路網の土壌攪乱面積を計算した。そして、集材路網毎の集材 (伐倒) 本数と土壌攪乱面積との関係式を作成し、この関係式と林班毎の伐採強度 (本数 /ha) を用いて、4 つの林班全体の土壌攪乱の面積率を推定した。

以上の計測、推定から得られた結果は、重機集材が行われている他の熱帯諸国での研究結果と比較して、ゾウ集材の効果を相対的に評価した。

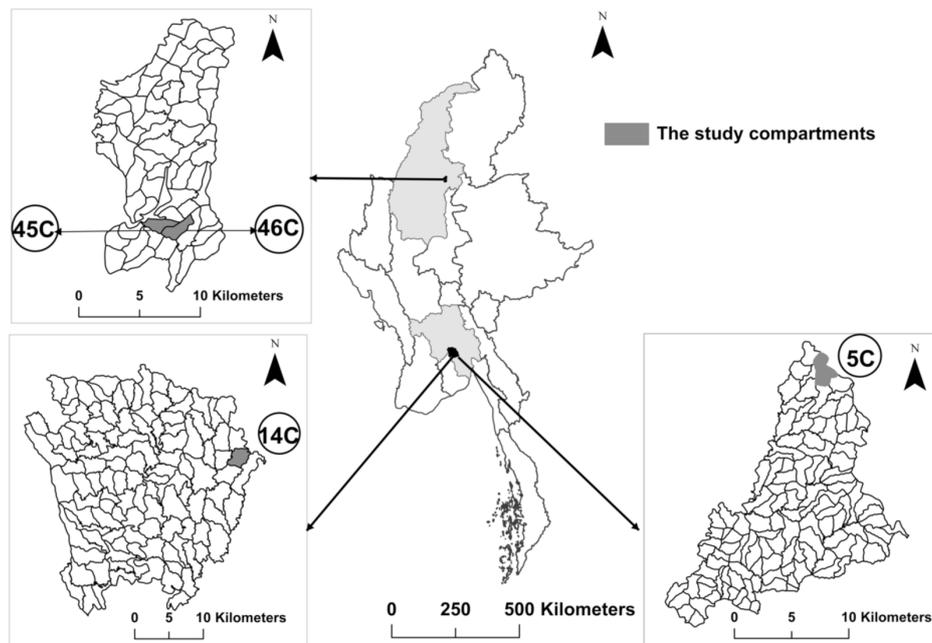


図2. 調査対象地

Fig.2. Locations of field surveys

表1. 調査した林班の概要

Table1. General information of surveyed compartments

Region	Bago area		Katha area	
	Shwelaung Kodukwe	South Zamaye	Pyinde	Pyinde
Reserved Forest				
Compartment	5C	14C	45C	46C
Whole area (ha)	280	622	176	213
Operational area (ha)	280	207	136	213
Soil types	Fluvisols	Fluvisols	Lithosols	Lithosols
Logging intensity				
Tree number (trees ha ⁻¹)	1.6	2.1	1.1	1.5
Log volume (m ³ ha ⁻¹)	5.4	4.3	4.9	5.0



図3. 林道幅の計測

Fig.3. The position for measuring the road width, berm width and debris width

<ミャンマー式林業による残存木への影響評価>

林道や土場の造成時や集材作業に伴い、周辺の残存木が倒されたり、傷が付いたりして損傷を受ける。この周辺残存木への損傷の程度を現地調査と統計モデルにより評価した。

調査対象地は上述のBago地区とKatha地区であり（図2）、それぞれ2か所の林班（14Cと29C, 45Cと46C）を対象とした。残存木の損傷程度の計測箇所として、林道については長さ100mのセグメントを14Cと45Cで8か所、46Cで12か所、無作為に抽出した。土場については、14C, 45Cおよび46Cでそれぞれ26, 17, 31か所の土場について計測した。集材路については、29C, 14C, 45Cと46Cでそれぞれ、48, 38, 174と127セグメントにおいて計測した。各計測箇所において、林道と集材路については両側の端から3mまでの距離内にある残存木を、土場についてはその境界から外側に3mの距離内にある残存木を対象とした（図4）。残存木の損傷程度は既往の研究（Chhengら2015, Khaiら2017）と同様に激害（severe damage）、軽害（slight damage）、損傷なし（no damage）の3区分で評価した。

林道、土場、集材路それぞれで得たデータを用いて、激害（severe damage）、軽害（slight damage）、損傷なし（no damage）の有無を目的変数、残存木の胸高直径（cm, DBH: Diameter at Breast Height）を説明変数とした多項ロジスティック回帰モデルを構築した。また、伐採強度（1haあたりの伐採本数）と土壌攪乱面積との関係を考慮することによって、伐採強度と残存木損傷率との関係を推定し、他国で報告されている事例と比較することで、ゾウ集材による残存木損傷の相対的評価を行った。

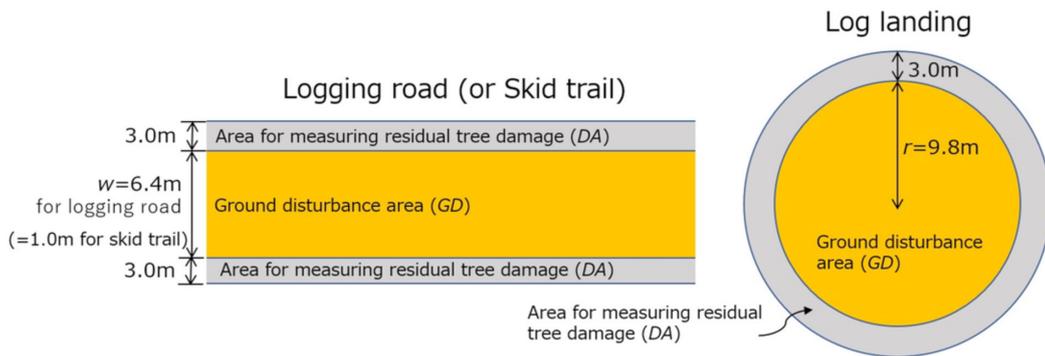


図4. 林道、土場、集材路における周辺残存木損傷の計測箇所(DA, da1)と土壤攪乱箇所(GD, gd1)
 Fig.4. Area delineated for measuring residual tree damage (DA, da1) and ground damage area (GD, gd) along logging road, elephant skid trail and log landing

<集材作業に従事しているアジアゾウの生活様式と行動分析>

ミャンマーで集材利用されているアジアゾウの生活様式については、ミャンマー語で記載された政府刊行物の整理と現地でのゾウ使いへの聞き取り調査によって取りまとめた。

行動分析については、2019年12月23日～27日の5日間、3頭のゾウの首にGPS(Garmin GPSmap 62SJ)を装着し(図5)、約30秒間隔で位置を記録したデータを使用して取りまとめた。なお、2017年および2018年にも同様の計測を実施したが、データの欠損などがみられたためデータ解析には供しなかった。



図5. アジアゾウの首輪にGPSを装着する様子
 Fig.5. Attaching GPS on the collar of a working elephant

研究成果及び考察

<ミャンマー式林業による土壤攪乱への影響評価>

林班内の作業面積に対する土壤攪乱の面積率(%)の平均は林道、土場、集材路でそれぞれ2.1%(n=4)、0.4%(n=3)、0.9%(n=4)であった。このミャンマー択伐方式(MSS: Myanmar Selection System)での調査結果を他国での慣習的な伐採方式(CON: Conventional logging)と他国での低インパクト伐採方式(RIL: Reduced Impact Logging)での報告の平均値と比較すると、林道では、MSS(2.1%, n=4)、CON(2.8%, n=18)、RIL(1.3%, n=9)の間に平均値に有意な差がなかった(図6)。土場においてもMSS(0.4%, n=4)、CON(0.8%, n=12)、RIL(0.5%, n=9)の間に有意差はみられなかった(図6)。一方、集材路については、MSS(0.9%, n=4)、CON(8.5%, n=27)、RIL(5.4%, n=18)の間で有意差が

みられ、ゾウを集材に利用するミャンマー MSS がブルドーザなどの重機を利用する他国の集材とくらべて、著しく土壌攪乱面積率が小さいことが分かった (図 6)。また、土壌攪乱面積率を伐採強度 (ha あたりの伐採本数) との関係でみた場合にも、集材路のみが他国の事例と比較して小さいことが分かった (図 7)。

ゾウ集材による土壌攪乱面積率が他国の機械集材路のそれと比較して著しく低いのは、集材路の延長は前者が 88.4 m/ha、後者が 89.2 m/ha と同等であるのに対して、集材路の幅が前者で平均 1.0 m、後者で平均 5.4 m と、ゾウ集材路の幅がかなり狭いことが理由として挙げられた。ゾウが丸太を運搬する際には残存木を避けながらその隙間を縫うように移動し、その過程でゾウ自体が土壌攪乱を生じさせることはほとんどなく、ゾウによっての引きずられる丸太によって土壌が攪乱される。すなわち、ゾウ集材における土壌攪乱は丸太の大きさに依存しており、丸太幅は最大でも 1 m 程度であることから、このような小さな土壌攪乱となったといえる (図 8)。

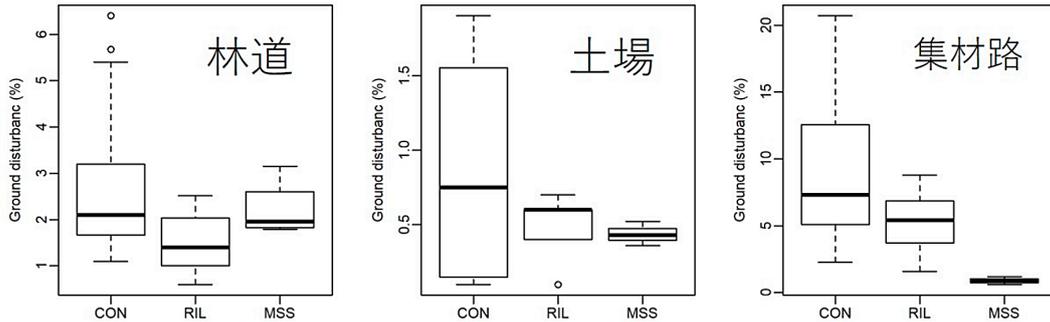


図6. ミャンマー林業方式(MSS)、伝統的伐採方式(CON)と低インパクト伐採方式(RIL)における林道、土場、集材路の土壌攪乱面積率

Fig.6. Ground disturbance (%) of Myanmar Selection System (MSS), Conventional logging (CON) and Rediced-impact logging (RIL) along logging roads, log landings and skid trail

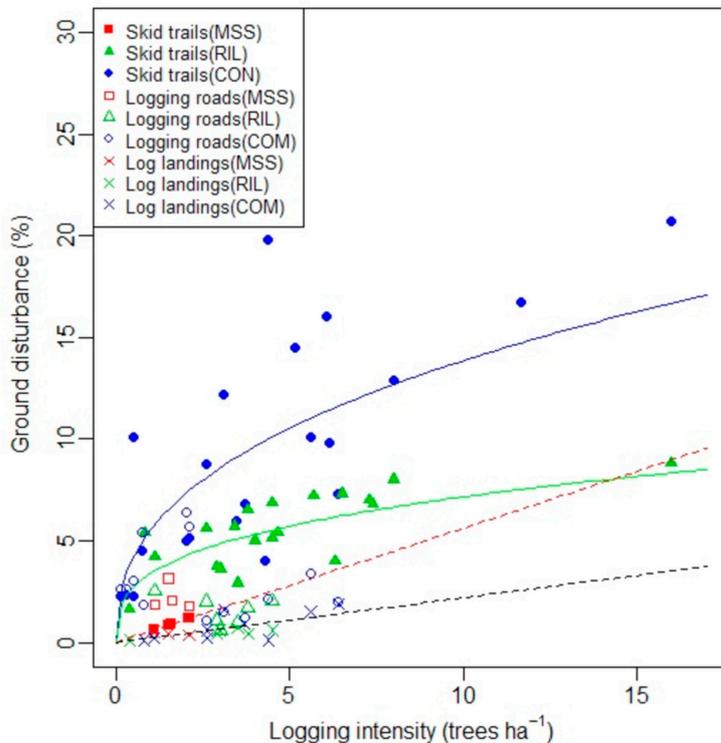


図7. 土壌攪乱面積率と伐採強度との関係

Fig.7. Relationships between ground disturbance (%) and logging intensity (trees/ha)



図8. ゾウによる集材で生じた土壌攪乱 (集材路幅は平均1.0 m)

Fig.8. Ground disturbance caused by elephant skidding, with the mean width of skid trails being 1.0 m

<ミャンマー式林業による残存木への影響評価>

残存木の損傷評価の調査面積は、林道、土場、集材路でそれぞれ、1.68, 1.62, 4.97 ha となり、調査本数は、458, 654, 458 本であった。樹木の直径 (DBH) 毎に残存木の損傷程度の割合をみると、林道と土場では、激害 (severe damage) は小さいサイズ (DBH) の樹木で多く、サイズの増加とともに激害は減少し、一方、軽害 (slight damage) は増加する傾向にあった。集材路については、サイズ依存性はみられず、激害はわずかでほとんどが軽害であった。損傷なし (no damage) の樹木の割合はサイズ依存性が顕著でなく、林道、土場、集材路、それぞれで約 80, 50, 80% の割合であった (図 9, 図 10)。構築した多項ロジステック回帰モデルの予測値でも上記の同様の傾向がよみとれた (図 11)。

林道、土場、集材路のなかでは、残存木の損傷確率が最も大きかったのは土場であった。これは、林道や集材路は路線にそった一方向の動きが多いのに対して、土場では丸太を集積するために丸太の方向を変えたり、運搬トラックが旋回するなど、より複雑な作業が必要となるため、残存木損傷確率も大きくなったと考えられる。

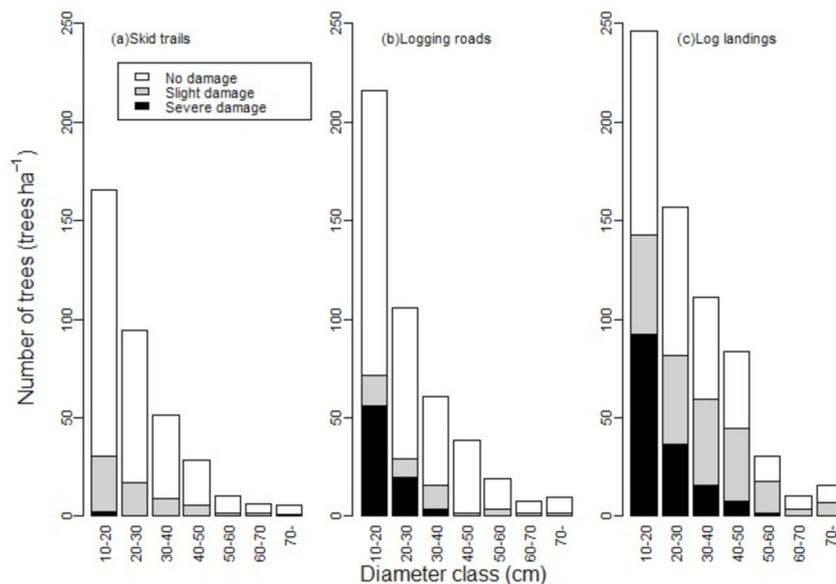


図9. 残存木損傷程度の胸高直径(DBH)階毎の頻度分布

Fig.9. Frequency of residual tree damage for each diameter (DBH) class

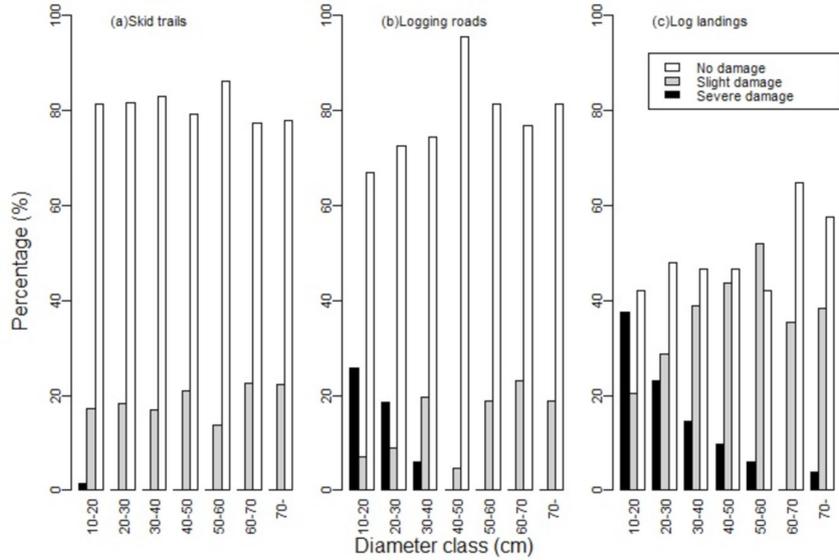


図10. 残存木損傷程度の胸高直径(DBH)階毎の比率(%)

Fig.10. Percentage of residual tree damage for each diameter (DBH) class

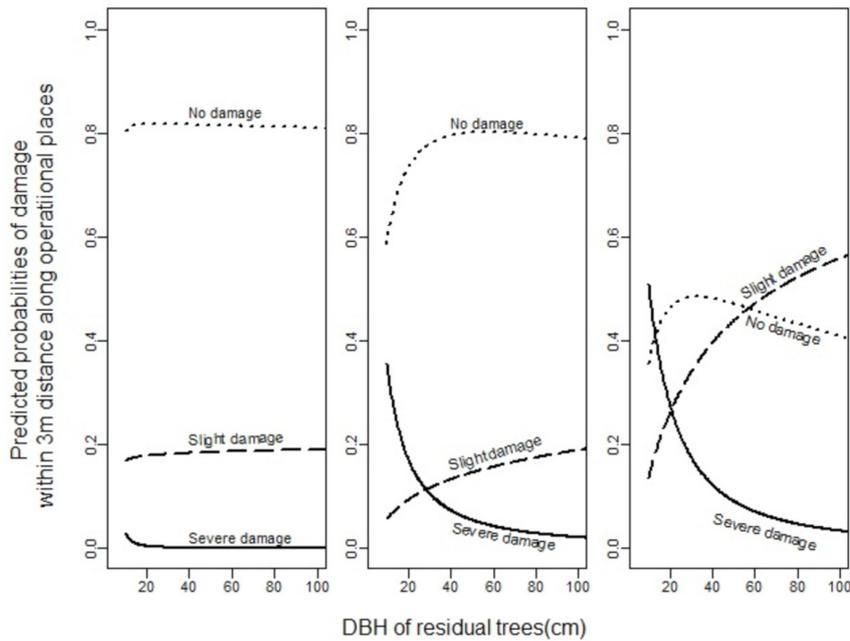


図11. 多項ロジスティック回帰モデルによる残存木損傷程度確率の予測

Fig.11. Prediction of residual tree damage probabilities using the multinomial regression models.

激害と軽害を合わせた ha 当たりの全損傷率 (%) と伐採強度 (ha 当たりの伐採本数) との関係を見ると、全損傷率の増加の傾きが一番大きいのは伐倒時に生じる損傷で、次に集材路で、土場と林道では相対的に低位であった (図 12)。本研究で得られた伐倒時の損傷率と伐採強度との関係式は、他国で報告されているデータの傾向と同等であったが、集材路については、他国で報告されている値よりも小さい傾向にあることが分かった (図 12)。これは、ミャンマーでのゾウによる集材作業では、ゾウは残存木を避けるように丸太を運搬する一方で、他国で実施されている重機利用の集材では残存木を避けて走行することは困難であるためと考えられる。また、図 12 で示した伐倒、集材、土場、林道、それぞれの値を積算し、すべての作業による残存木損傷合計と伐採強度との関係を見ると、レ

ビュー論文で報告された世界の熱帯林平均よりも小さいことがわかった (図 13)。その積算値を激害と軽害で分けてみると、軽害については、伐倒と集材でほぼ同じ値であるが、集材に伴う激害はほとんどゼロに近いのに対して、伐倒に伴う激害については、軽害と同等の量があることがわかった (図 13)。すなわち、ゾウ集材では残存木を避けるように丸太を運搬するために、残存木の倒壊などの激害がほとんどみられず、この点が残存木の倒壊を避けることが困難な重機集材と大きく異なる点であるといえる。また、このゾウ集材によって激害が生じないことが、ミャンマーでの残存木損傷合計が世界の熱帯林平均よりも小さい原因となっていると考えられた。

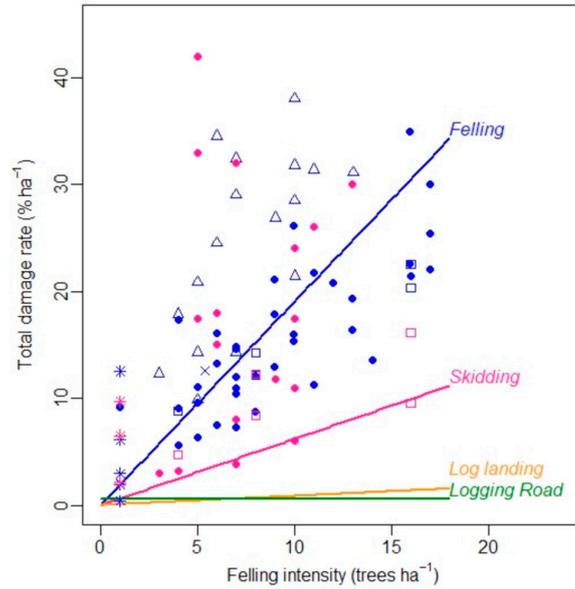


図12. 伐倒、林道、土場、集材路作業に伴う残存木被害率(%/ha)と伐採強度(trees/ha)と関係
 Fig.12. Relationships between residual tree damage rate (%/ha) for felling, logging roads, log-landings and skid trails, and felling intensity(trees/ha)

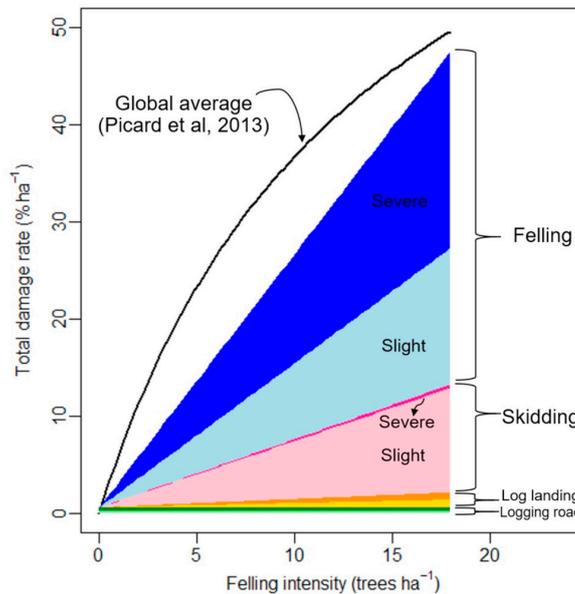


図13. 伐倒、林道、土場、集材路作業に伴う残存木への激害(severe damage)と軽害(slight damage)の被害率(%/ha)の積算値と伐採強度(trees/ha)との関係
 Fig.13. Cumulative values of severe and slight damage rates to residual trees (%/ha) caused in felling, logging roads, log-landings and skid trails in relation to felling intensity(trees/ha)

<集材作業に従事するアジアゾウの生活・行動様式>

アジアゾウは年齢によって4つの段階に区分されて管理されている

1～4才：幼少期 Calves at heel (CAH)

5～18才：研修期 Training calves (TC)

18～60才：成熟期 Full growth (FG)

60才～：引退

調教が実施されるのは4才の時であり、一頭について一名の担当者が割り当てられ、言葉やジェスチャーによる基本的な指示を習得する。この時期の調教が終わると研修期(TC)に入り、集材キャンプ地までの食料など物資の輸送を担当し、基本的な動作を習得していく。そして18才以降に成熟期に入り、集材作業のための指示を習得していく。そして、60才になると引退となり、老後のための食住と医療が保証されている。

活動のスケジュールについては、まず年単位では集材作業は6月16日開催に開始され2月15日には終了することが厳格に定められている。伝統的には運材は河川を利用して行われていたため水量の多い雨季に実施する必然性があった。また、ゾウ集材が実施される期間は林班内に設営されたエレファントキャンプでの滞在生活となる。そのキャンプ生活のためには水場の確保が必要であることから、その意味においても雨季のみの集材作業となる。また、2月の中旬以降から4月にかけては気温も高くなり乾季に移行していくので、集材作業の終了日は2月15日と定められている。また、8か月の集材期間中、10月の1週間は休業となる。週単位の活動スケジュールについては、3日間勤務で翌日1日休養日となる。日毎のスケジュールとしては、集材作業は早朝から午前10時までに実施され、午前10時から夕方まではエレファントキャンプでの休息となる。そして、夕方以降はフリーに放たれ、早朝にゾウ使いによってエレファントキャンプに戻されて、再び集材作業が開始される。

図14は3頭のゾウに装着したGPSで記録された5日間の行動軌跡である。赤色の軌跡が早朝から午前10時ぐらまでの集材作業時の軌跡で、青色が集材作業時間以外のフリーの時間帯である。フリーの時間帯におけるエレファントキャンプサイトからの平均距離は0.172 km から 0.364 km であり3頭間では有意な差がみられたが、フリーの状態になってもキャンプサイトに比較的近い位置で移動していることがわかった(図15)。一方、集材作業時間におけるキャンプサイトまでの平均距離は1.365 km～1.372 kmの範囲にあり、3頭間で差はみられなかった(図15)。このときの3頭の行動軌跡もほぼ同じであり(図14)、これは3頭が同じ場所で集材作業に従事していたからである。1時間当たりの移動距離はフリー時間帯、集材作業時間帯で、それぞれ、0.622～0.655 km、1.522～1.629 km であり、集材作業時間帯の方が移動距離が2倍以上であることが分かった(図16)。野生ゾウでの1時間当たりの移動距離は範囲0.010 から 1.500 km があると報告されており(Leightyら, 2009)、本研究でのフリー時間帯の値はこの範囲内にあり、集材作業時間帯では野生ゾウの上限値に近い値であることが分かった。

以上のことから、集材利用されているミャンマーのアジアゾウは夜間にかけてフリーな状態で放たれるものの、ベースキャンプからの距離は平均で数百mと比較的近い位置で移動していることがわかった。ベースキャンプは林班内の沢沿いに設置されるため、水場に近く、さらにはベースキャンプ周辺を含め伐採地内にはゾウの主食となる竹の資源が豊富にあるため、採餌活動が容易であることもアジアゾウとの共生が可能となっている理由と考えられた。

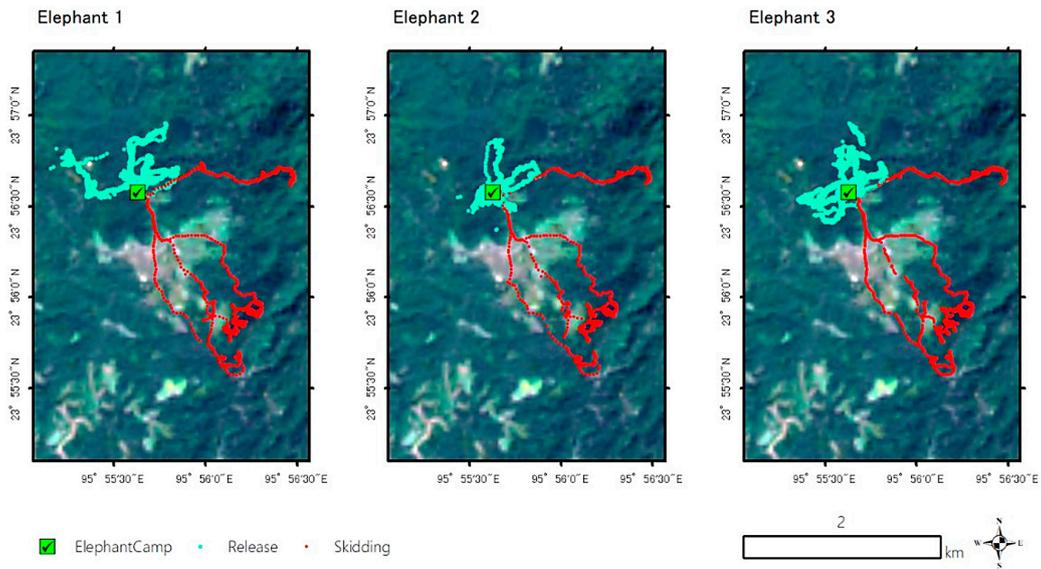


図14. 3頭のアジアゾウの5日間のフリー時間と集材作業従事時間におけるGPS軌跡
 Fig.14. GPS tracking during free and working time in 5 days for 3 elephants.

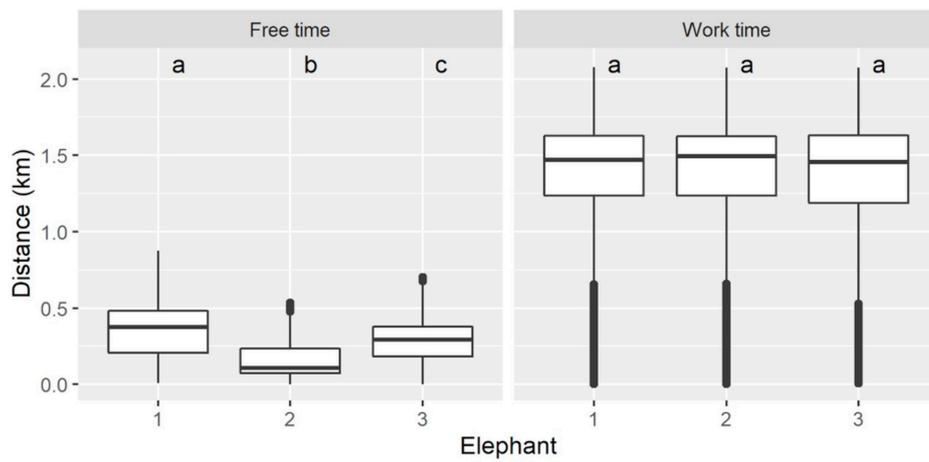


図15. フリータイム時と集材作業時におけるエレファントキャンプサイトとの距離
 Fig.15. Distance between a elephant camping site and moving places for free and work times.

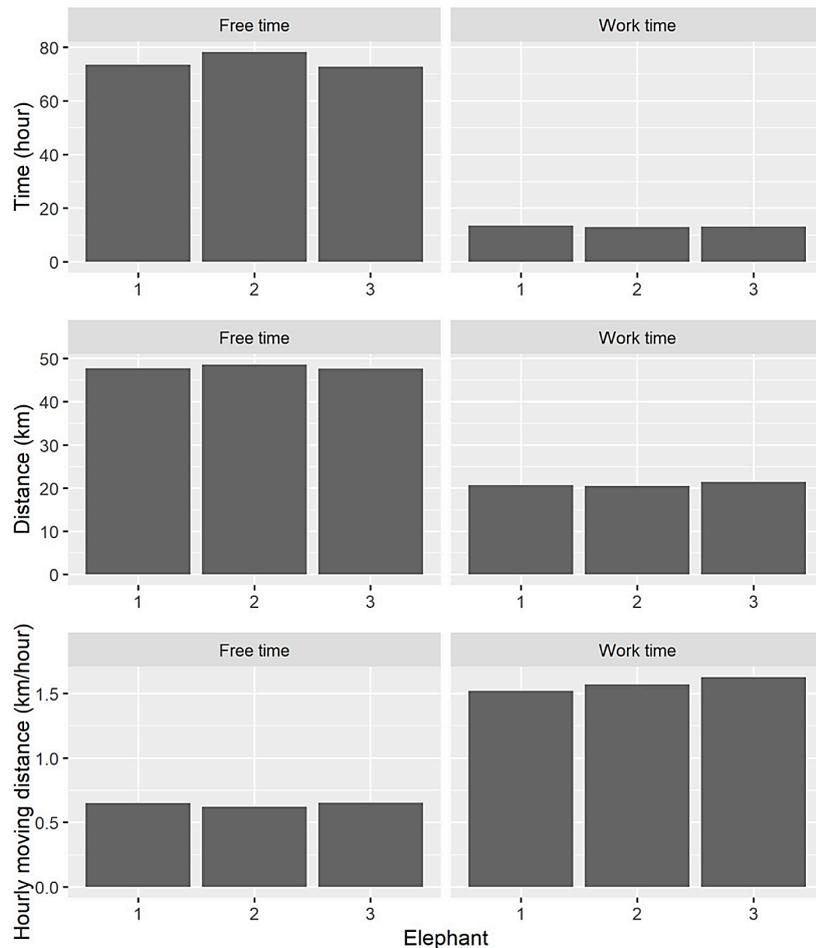


図16. 3頭のゾウの集材作業時(work time)と休息時(free time)におけるGPS計測時間 (上段), 移動総距離 (中段) および1時間当たりの移動距離

Fig.16. GPS tracking time (hours), total moving distance (km) and hourly moving distance (km/hour) for work and free time of three measured elephants

今後の展望

絶滅危惧種のアジアゾウ (*Elephas maximus*) の約 3 割は木材の集材・運搬やエコツーリズム等に利用されている家畜化ゾウである。ミャンマーでは 160 年以上前からアジアゾウを集材作業に利用しているが、その利用の実態や生活・行動様式は十分に明らかにされていない。本研究では、まず、アジアゾウによる集材が林地や残存木に与えるインパクトを他国で一般的な重機集材と比較して評価した。その結果、集材作業によって生じる土壌攪乱や残存木損傷は、伐倒時や林道・土場沿いでは他国の報告例と同程度であったのに対して、ゾウ利用する集材作業では極めて低いことがわかった。ゾウは残存木を避けながら丸太を運搬するため、熱帯林業で問題視されている重機集材時の残存木への大きな損傷はほとんどないことが分かり、ゾウを利用することによって他国よりも低インパクトな林業が実現できていることが示唆された。林業利用されるアジアゾウは年齢によって系統的に管理されており、年間、週間、一日の各スケジュールにおいて休息の確保が重要視されている。集材作業に従事するのは早朝の数時間であり、集材が終わると休息时间となりリリースされる。GPS 軌跡計測の結果、休息時はベースキャンプから数百 m の距離にいることがわかり、時間あたりの移動距離は野生ゾウと同等であることがわかった。林業生態系におけるアジアゾウとの共生には、水辺環境と採餌環境が重要であり、これらの長期的な保全が求められる。

謝辞

本研究を進めるあたり、ミャンマー森林局 (Forest Department) およびミャンマー木材公社 (Myanmar Timber Enterprise) には多くの協力を得た。

引用文献

- [1]T.C. Khai, N. Mizoue, T. Kajisa, T.Ota and S. Yoshida, 2016a. *Global Ecology and Conservation*, 7: 132-140.
- [2]T.C. Khai, N. Mizoue, T. Kajisa, T.Ota and S. Yoshida, 2016b. *International Forestry Review*, 18(3): 296-305.
- [3]S.M., Mon, N. Mizoue, N.Z.Htun, T. Kajisa and S. Yoshida, 2012. *Forest Ecology and Management*, 267: 190-198.
- [4]Z.C. Win, N. Mizoue, T. Ota, T. Kajisa, S. Yoshida, T.N. Oo and H.O. Ma, 2018. *Journal of Forest Planning*, 23(1): 1-8.
- [5]K. Chheng, N. Mizoue, S. Khorn, D. Kao and N.Sasaki, 2015. *Forest Ecology and Management*, 356: 285-292.
- [6]T.C. Khai, N. Mizoue, T. Kajisa, T.Ota and S. Yoshida, 2017. *Journal of Forest Research*, 22(3): 185-190.

本助成研究にかかわる成果

〔論文発表〕

1. T. Ota, O.S. Ahmed, S.T. Minn, T.C. Khai, N. Mizoue and S. Yoshida, 2019. Estimating selective logging in tropical forests using repeated digital aerial photography from an unmanned aerial vehicle. *For. Ecol. Manage.*, 433: 162-169.

〔口頭／ポスター発表〕

1. 溝上, Minn, 太田, 吉田. ミャンマーの伝統的林業生態系におけるアジアゾウの行動パターン. 第129回日本森林学会大会. 高知大学, 2018.3.27.
2. 溝上, Win, 太田, Khai, Saung, Minn. ミャンマーの伝統的林業生態系における森林劣化の現状と課題. 第130回日本森林学会大会. 新潟コンベンションセンター「朱鷺メッセ」, 2019.3.20.
3. 溝上, Win, Dana, 太田, 加治佐, 吉田. 許容伐採量についての再検討—主にミャンマーやカンボジアでの事例について—. 第73回九州森林学会大会. 長崎ウエスレヤン大学, 2017.10.28.