

踏圧が生態系に及ぼす影響の検討

通事 善則¹・久城 圭²・高柳 清明³

¹正会員 沖縄県八重山郡竹富町 議会事務局 (〒907-8503 沖縄県石垣市美崎町11-1)

E-mail: zen-touji@town.taketomi.okinawa.jp

²株式会社水圏科学コンサルタント 技術部 (〒145-0064 東京都大田区上池台一丁目14-1)

E-mail: kushiro@lasc.co.jp

³株式会社沖縄環境科学研究所 (〒901-2201 沖縄県宜野湾市新城一丁目24-13)

E-mail: oesl@nirai.ne.jp

西表島北部のヒナイ川では、カヤックでの遊覧およびビナイサーラの滝までのトレッキングツアーが行われている。ツアー参加者が集中するカヤックの乗降地は、ほとんど植物が生育できていなかった。植物に対する踏圧の影響は、踏圧の程度が異なると考えられる複数の場所を選択し、植物の生育基盤である土壌硬度の計測値と草本の種類数をもとに相関係数を算出することで把握した。その結果、踏圧の影響はカヤックの乗降地に近いほど強く、土壌硬度と草本の種類数は負の相関関係が強いことを明らかにした。また、当該地周辺の生態系に対する影響を考察した。

Key Words : tourism, trampling, vegetation, soil hardness, ecosystem

1. はじめに

琉球弧最南端に位置する竹富町は亜熱帯海洋性気候に属し、希少な野生生物が生息するなど琉球弧の中でも固有の自然が残され、こうした自然に憧憬した多くの観光客が国内外から訪れる。

観光は竹富町にとって重要な産業である一方で、観光資源である自然環境に対して負荷を与えているのも事実である。西表島の北部にあるヒナイ川では、カヤックでの遊覧と上陸後のトレッキングを組み合わせたツアーが盛んに行われている。カヤックが乗降できる場所は限られ、ツアー客が集中することで踏圧が高まり、植生がほとんど見られなくなった場所が存在する。

ヒナイ川および西田川では、ツアーによる利用実態を把握する目的でカヤック艇数や入域者数の調査が行われている。その結果、本研究前の約2年半におけるヒナイ川への入域者数は、1回(1日)あたり平均75人¹⁾であった。このように入域者数は把握され、踏圧が植生など生態系に与える影響が問題として認識されながらも、定量的に検討された報告はない。

本研究は、踏圧の影響と植生との関係を示すとともに、植生が減少することによる周辺生態系への影響について考察し、当該地の持続可能な利用に資するための提言を行ったものである。

2. 調査内容

(1) 調査場所

西表島は沖縄県内で沖縄島に次ぐ面積(沖縄島: 1,207.87 km², 西表島: 289.28 km²)があり²⁾, 標高400 mを超える古見岳やテドウ山などを含む起伏に富んだ地形にジャングルやマングローブ林などが広がる。現地調査は、西表島北岸の船浦湾に流下するマーレ川およびヒナイ川のカヤック乗降地で行った(図-1)。



図-1 調査場所

(2) 調査地点の設定

2008年9月17日には、現地調査地点を設定するためマーレ川およびヒナイ川のカヤック乗降地周辺で事前踏査を行った。調査地点は、踏圧が高い場所、踏圧の影響が見られない場所およびその中間程度の場所を設定基準とし選定した（表-1）。また、植物相に影響を及ぼすと考えられる水分条件の違いを排除するため、踏圧が高い場所の地盤高を基準とし、オートレベル（AT-G3、（株）ブコン社製）で基準の地盤高から±5cmとなる場所とした。

調査地点は踏圧の高い順にマーレ川がカヤック置き場および乗降地（調査地点No.：M-1、調査面積：42 m²、以下調査地点No. および調査面積のみを示す）、カヤック置き場までのルート近傍（M-2、48 m²）およびコントロール（M-3、42 m²）、ヒナイ川がカヤックの乗降地（H-1、42 m²）、サキシマスオウノキ *Heritiera littoralis* Dryand. がある写真スポット近傍（H-2、64 m²）およびコントロール（H-3、49 m²）とした（図-2）。

表-1 現地調査地点の設定理由

河川名.	地点No.	設定理由
マーレ川	M-1	カヤック置き場および乗降地となっており、踏圧が高い場所
	M-2	カヤック置き場までのルート近傍で、踏圧の影響はみられるが M-1 ほどではない
	M-3	踏圧の影響が見られない
ヒナイ川	H-1	カヤックの乗降地であり、踏圧が高い場所
	H-2	写真撮影スポットであるサキシマスオウノキの近傍で、H-1 ほど踏圧の影響がない
	H-3	踏圧の影響が見られない

(3) 植生調査

植生調査は2008年9月18日に行った。調査は、各調査地点において設定した範囲内を踏査し植物相を記録した。記録した植物相は高木層、亜高木層、低木層および草本層に分け種類数を整理した。

各調査地点で確認された種類数はM-1が19、M-2が21、M-3が30、H-1が12、H-2が19、H-3が35、全体では57となり、踏圧の高い調査地点で少なく低い調査地点で多い結果となった。この傾向は、草本層の種類数で見られたが、それ以外の低木層などでは明瞭にならなかった（図-3の棒グラフ）。

(4) 土壌硬度の計測

植生に対する踏圧の影響は、低木層種の実生が堅密化した土壌に定着できないことや、これらが踏みつけによって枯死することなどが考えられている³⁾。踏圧の影響を示す指標として調査項目に選定した土壌硬度は、土壌

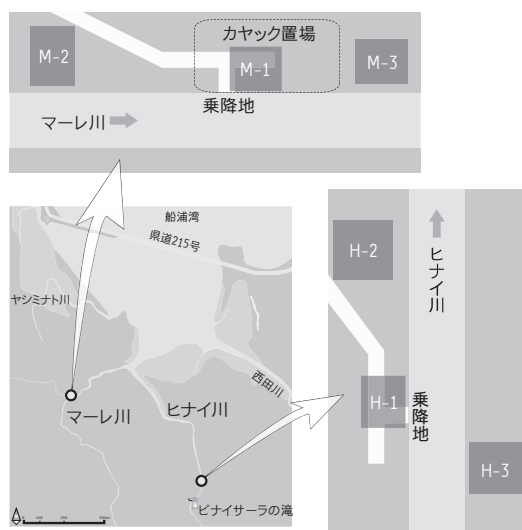


図-2 現地調査地点の模式図

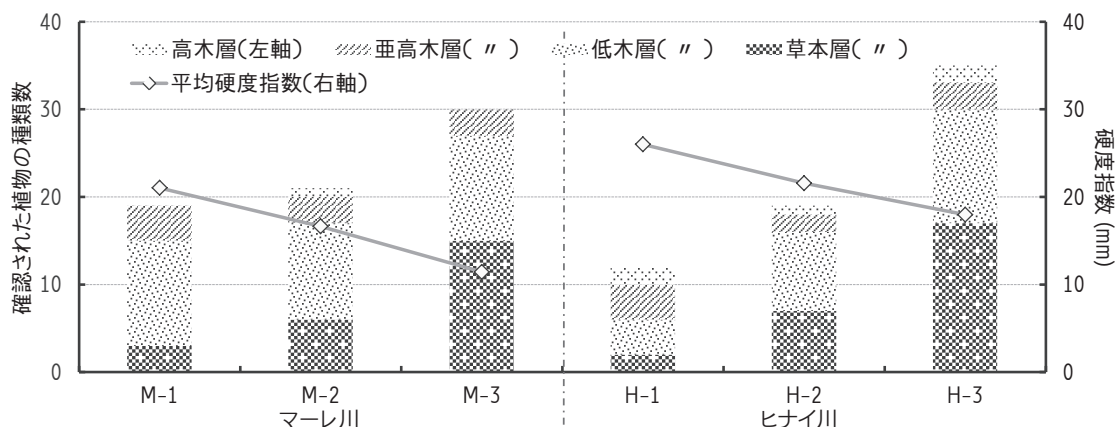


図-3 植生調査における各層の種類数

の生成学的な盤層、緻密層の存在およびその部位を示し、その土壌の生成過程を端的に表現する重要な因子の一つと考えられ、植物の生育を直接支配する土壌の透水性、通気性の多寡をも示唆するもの⁹⁾として位置付けられている。土壌が緊密になると土壌硬度は高まり、根の発生・分化・伸長が阻害されるとともに、土壌容気率が減少し土壌通気不良になるため、作物によっては根の機能が抑えられ生育が阻害される⁹⁾ことがわかっている。

土壌の硬度と植生の発生・生育は密接に関係していることから、植生調査と同時に各調査地点において土壌硬度計（山中式土壌硬度計（標準型）No.351, ㈱藤原製作所製）を土壌面に対し垂直にゆっくり押し込む方法で3回計測し、硬度指数（mm）を読み取った。土壌の硬度指数の計測は植物相調査と同日の2008年9月18日に行った。

硬度指数の平均値はM-1が21.0 mm（標準偏差 $\sigma = 1.1$ ）, M-2が16.6 mm（ $\sigma = 2.1$ ）, M-3が11.4 mm（ $\sigma = 1.9$ ）, H-1が26.0 mm（ $\sigma = 1.8$ ）, H-2が21.6 mm（ $\sigma = 3.7$ ）, H-3が18.0 mm（ $\sigma = 2.2$ ）であった（図-3の折れ線グラフ）。

(5) 草本層の種類数と土壌の硬度指数との関係

実生の段階では木本も踏圧の影響を受けるが、木本に比べ成長後の草丈が低い草本は、踏圧にさらされる機会が多くなる。そこで、各調査地点における1m²あたりの草本層の種類数と同じ調査地点の硬度指数により、その関係の有意性をスピアマンの順位相関係数により検定した。検定には、統計ソフトR version 3.0.1を使用した。

その結果、草本層の種類数と土壌の硬度指数には、強い負の相関が認められた（図-4, $\rho = -0.886$, $p < 0.05$ ）。

(6) 植生と昆虫類との関係

植生と昆虫類との関係は、植生調査で確認された全57種類を対象に、摂食や宿主として利用している昆虫類の種類数を既存資料^{6,7)}により把握した。

その結果、90種類の昆虫類が確認され、カミキリムシ科Cerambycidaeに属する種類数が最も多く24であった。

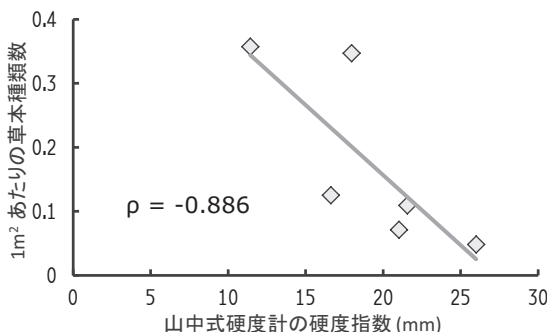


図-4 1m²あたりの草本層種類数と土壌の硬度指数の関係

昆虫類に利用されていると判断できた植物の種類数は24で、そのうち摂食利用が21種類、宿主としての利用が17種類であった。スダジイ *Castanopsis sieboldii* は17種類の昆虫類に利用され、次いでクロヨナ *Pongamia pinnata* (L.) Pierre およびアカメガシワ *Mallotus japonicus* (L.f.) Müll. Arg. の9種類となり、多くの昆虫類が植生に依存していることがわかる。この数値は既存資料に記載されているものであり、実際はさらに多くの昆虫類のほか、様々な生物が利用していると考えられる。

3. 考察

(1) 植生に対する影響

本研究で強い負の相関が認められた草本層の種類数と硬度指数の関係は、根本ら³⁾のコナラ *Quercus serrate* 二次林における草本層の植被率および出現種数と土壌硬度についての研究でも認められる。一方で、群落の種組成に単純化が認められる草原の登山道周辺においては、踏圧の影響が必ずしも種多様性の保全に負の影響を持つとはいえないとする佐々木ら⁸⁾の研究がある。対象とした場所や気候、環境条件などが異なるため、こうした研究結果と本研究の結果を単純に比較することはできないが、ヒナイ川の周辺は草本から木本まで生育しており、本研究の結果が根本らの研究結果に近いと考えて差し支えないであろう。

(2) 周辺生態系への影響

西表島における生態系の最上位に位置するイリオモテヤマネコ *Prionailurus bengalensis iriomotensis* の糞中に含まれる生物片の出現頻度を調べた研究で、本種はほぼ通年でトカゲ属 *Eumeces* などの爬虫類を摂食し、11月から1月に鳥類のシロハラ *Turdus pollicus*, 9月から12月までは昆虫類のマダラコウロギ *Cardiodactylus novaeguineae* の摂食頻度が高くなっている⁹⁾。イリオモテヤマネコは、季節に応じ鳥類および昆虫類といった様々な動物をうまく餌として利用していることがわかる。一方、イリオモテヤマネコの餌にもなるシロハラの12月から1月における主な餌は、半分以上をヤスデ類 *Diplopoda*, 甲虫類 *Coleoptera*, アリ類 *Formicidae* およびムカデ類 *Chilopoda* が占め¹⁰⁾（糞塊中における出現頻度）、土壌動物がシロハラにとって重要な餌となっている。同様にイリオモテヤマネコの餌となるキノボリトカゲ *Japalura polygonata* は、木の幹にとまり視野に入る餌動物や、地面で比較的大きな餌動物を捕らえることが多い¹¹⁾とされ、植生や土壌動物を利用している。

亜熱帯照葉樹林の林床には、形態レベルの同定で403種もの土壌性節足動物が確認¹²⁾されており、貧毛類など

を含めれば、さらに多くの土壌動物が存在していると考えられる。本研究で確認した植生を利用する90種類の昆虫類以外に、西表島にも土壌動物や、生活史の中で植生に依存している多くの生物が生息しているのは自明である。

西表島の豊かな植生は昆虫類や土壌動物など多くの生物を育み、それらが餌として高次の消費者を支えている。他種との相互作用なしに生息する種は存在しない¹³⁾とされていることから、植生環境の荒廃は、分解者や生産者から高次消費者まで多岐にわたる生物群に影響を及ぼすことになる。

4. 今後の持続可能な利用に向けた提言

2013年3月には新たな八重山諸島の玄関口として南ぬ島（ばいぬしま）石垣空港が開港し、今後西表島を訪れる観光客も増加するものと思われる。西表島の自然を持続可能な形で利用していくには、実現性のある取り組みやルールづくりが必要である。

西表島カヌー組合は、竹富町などと交わした利用協定で入域者数の自主的な制限を設けている。こうしたルールを順守するのももちろんであるが、さらに進んだ自然環境の維持・保全策を講じなければならない。立入禁止とし踏圧を抑制することは、植生の量的・質的復元の双方に効果がある¹⁴⁾とされるが、ツアーに利用している当該地の現状を踏まえると現実的でない。今後、当該地を利用しながら自然環境の量的・質的低下を防ぎ、維持・回復を図るには、カヤックの乗降地に栈橋を設置することで踏圧の影響や拡大を抑制し、植生を含めた環境の分断をこれ以上増やさないためトレッキングルートの複線化防止（固定化）が必要である。また、水質汚濁防止のためのトイレ設置や、無秩序な事業行為を防ぐための監視体制の構築、環境修復や維持・保全のための資金を徴収する仕組み（入域税など）の導入なども検討に値する。

ヒナイ川流域を含め、船浦湾周辺ではこれまでも様々な調査研究が行われてきた。本研究の対象地では、西表森林生態系保全センター（旧西表森林環境保全ふれあいセンター）がカヌーツアー等の利用実態調査を経時的に行っている¹⁵⁾。しかし、それ以外は調査実施者の研究対象に偏重した単発的な調査（例えば中村ら¹⁶⁾や沖縄県教育委員会¹⁷⁾など）にとどまり、系統的行われている調査は皆無といつてよい。系統的な調査は問題の原因や所在を明確にし、課題に対して科学的根拠に裏付けられた解決方策を導き出すため必要であり、実施しなければならない。

当該地を利用する事業者や所管官公庁などの利害関係者は協力し、自然環境の維持・保全の意識を高め、理解

を深めるための普及啓発活動などを行うべきである。そのためには自然系調査研究機関の交流、連携強化を図るため1998年に設置された自然系調査研究機関連絡会議（NORNAC : Network of Organizations for Research on Nature Conservation）¹⁸⁾などと協力・連携することも重要である。

5. おわりに

本研究では踏圧による植生への影響から、高次消費者まで広く生態系に与える影響を考察し、その結果と当該地の現状を踏まえ、今後の持続可能な利用に向けた提言を行った。これまでの保全生態学は問題解決型のアプローチが主流であったが、今後はまだ認識されていない問題を発掘し、新たな提言を行うためにも幅広い生物分類群に目を配ることが非常に重要¹⁹⁾とされている。本論では、そうした意味からも当該地に通底する問題を定量的に示し、生態系全体から見ればわずかではあるが課題解決に向け一考するための情報提起ができたと考えている。

西表島を含めた沖縄や琉球弧は、我が国が世界に誇る固有の豊かな自然資源の宝庫であり、人類共通の資産である。この資産を後世に残し伝えていくためには、俯瞰的な視座で広い視野を持ち、考え、まず一步を踏み出すことが重要である。我々には、その一步を地道に積み重ねていく努力が求められている。

6. 要約

本研究の要約は以下のとおりである。

- ◆ 植生調査では全体で57種類が確認され、最も多いM-3で35種類、最小がH-1の11種類であった
- ◆ 土壌の硬度指数は、H-1が26.0 mmで最も高く、M-3が11.4 mmで最も低い
- ◆ 植生の種類数と土壌の硬度指数には強い負の相関関係があり（ $\rho = -0.886$, $p < 0.05$ ），こうした結果はほかの研究でも認められる
- ◆ 植生調査で確認された57種類のうち、既存資料から24種類の植物を90種類の昆虫類が利用していると判断された
- ◆ 植生が分解者から高次消費者まで広く生態系を支えており、当該地全体の自然環境を保全する上で植生環境の荒廃を防止することが重要
- ◆ 持続可能な利用を推進するため、実現性のある取り組みやルールの策定が必要
- ◆ 現況を正しく認識し評価するため、生態系に関する系統的な調査の必要性が示唆される

- ◆ 関係諸機関との連携や、意識高揚と理解深化のための活動が重要

参考文献

- 1) 西表森林環境保全ふれあいセンター：年報「いりおもて」，2008.
- 2) 国土地理院：平成 24 年全国都道府県市区町村別面積調，島面積，pp.9, 2011.
- 3) 根本淳，養父志乃夫：武蔵野台地におけるコナラ二次林の林床植生と土壌硬度の関係，ランドスケープ研究 60 (5)，pp. 531-534, 1997.
- 4) 山中金次郎，松尾憲一：土壌硬度に関する研究（第 1 報），土壌硬度と含水量との関係，日本土壌肥科学雑誌，pp. 343-347, 1962.
- 5) 渡辺和之，児玉敏夫：土壌の物理性と作物の生育および収量との関係（第 1 報），作物の初期生育におよぼす土壌の粗密の影響，日本作物学会紀事 33，pp. 409-413, 1965.
- 6) 東清二：沖縄昆虫野外観察図鑑，第 1～4 巻，沖縄出版，1987.
- 7) 東清二：沖縄昆虫野外観察図鑑，第 5～6 巻，沖縄出版，1996.
- 8) 佐々木雄大，大澤雅彦：兵庫県お多福山草原登山道における人為踏圧下の群落構造と種多様性，日本草地学会誌 51 (3)，pp. 251-256, 2005.
- 9) Sakaguchi, N. and Ono, Y. : Seasonal change in the food habits of the Iriomote cat *Felis iriomotensis*, *Ecological Research*, Vol. 9, pp. 167-174, 1994.
- 10) 関伸一：照葉樹林で越冬するシロハラ (*Turdus palli-*
dus) の生態，日本林学会第 109 回大会講演要旨集，pp. 393-394, 1998.
- 11) 田中聡：ヨナグニキノポリトカゲの生態について，与那国島総合調査報告書，沖縄県立博物館・美術館別刷，pp. 13-22.
- 12) Karasawa, S., Beaulieu, F., Sasaki, T., Bonato, L., Hagino, Y., Hayashi, M., Itoh R., Kishimoto, T., Nakamura, O., Nomura, S., Nunomura, N., Sakayori, H., Sawada, Y., Suma, Y., Tanaka, S., Tanabe, T., Tanikawa, A. and Hijii, N. : Bird's nest ferns as reservoirs of soil arthropod biodiversity in a Japanese subtropical rainforest, *Edaphologia*, No.83, pp. 11-30, 2008.
- 13) 杉浦真治：種間相互作用の島嶼生物地理，日本生態学会誌 62，pp. 313-316, 2012.
- 14) 根本淳，中島敦司，中尾史郎，山田宏之，養父志乃夫：都市近郊コナラ (*Quercus serrata* Thunb.) 二次林における踏圧裸地化した林床植生の復元過程，日本緑化工学会誌 30 (1)，pp. 127-132, 2004.
- 15) 西表森林生態系保全センター：年報「いりおもて」，2013.
- 16) 中村建作，瀬戸浩二：西表島船浦湾奥部におけるマングローブ環境の特徴，LAGUNA 12，pp. 1-14, 2005.
- 17) 沖縄県教育委員会：沖縄県天然記念物調査シリーズ第 25 集，西表島天然記念物緊急調査報告書 III (動物)，1985.
- 18) 竹原真里，鏑雅哉：環境省生物多様性センターの取り組み，日本生態学会誌 62，pp. 401-406, 2012.
- 19) 山道真人，長谷川真理子：「保全生態学研究」の掲載論文に見られる研究対象の偏り，保全生態学研究 17，pp. 199-210, 2012.

(2013. 7. 19 受付)

EXAMINATION ON HOW TREKKING AFFECTS THE ECOSYSTEM

Yoshinori TOJI, Kei KUSHIRO, Kiyooki TAKAYANAGI

Sightseeing tours by kayaks along the Hinai river in the North of Iriomotesima island and trekking tours en route to the Pinaisara water fall attract many tourists. Scarce plants were found in the places where tourists using kayaks gathered. Trampling effects on plants were determined in compliance with the correlation coefficient between measurement of the soil hardness fundamental for plant growth and the number of plant species at several places where a degree of trampling seemed different. The result showed that sampling effects were more prominent the closer to the boarding places and verified that soil hardness negatively correlated to the number of plant species. Also effects on ecosystem were considered.