

(2) 水源林の公益的機能の評価・検証と管理技術の改良

B. 森林生態系効果把握調査による水源施策の2次的アウトカム（生態系の健全化）の検証

- (1) 課題名 Ba 水源林の整備が森林生態系に及ぼす効果把握—総括—
 (2) 研究期間 平成 25 年度～
 (3) 予算区分 森林環境調査費
 (4) 担当者 山根正伸・大石圭太

(5) 背景

平成 23 年度に開催された、第 1 期かながわ水源環境保全・再生施策（水源施策）の県民会議において、「水源かん養機能に及ぼす森林整備の効果は時間がかかるが、生態系に着目すれば比較的短期間に効果がわかるのではないか」という意見が出された。施策調査専門委員会においても、水源施策の評価に「森林生態系」の視点を取り入れることが検討された。こうした提言を受けて平成 24 年度に学識経験者によるワークショップが 2 回開催され、「森林生態系や生物多様性の評価に関しては、網羅的に調査するのではなく、指標性の高い種群に限った方がよく、代表的な地域で代表種群を選定して行うことが重要である」と指摘された。そこで、平成 25 年度から森林生態系効果把握調査を実施することとした。

(6) 目的

植物や土壌動物など各生物分類群の生物多様性に及ぼす間伐の効果を経分スケール（小仏山地、丹沢山地、箱根外輪山）で明らかにする。そのために、間伐の前後による下層植生の増加と、それに依存する各生物分類群の多様性や各生物間の関係性を評価する（図 1）。

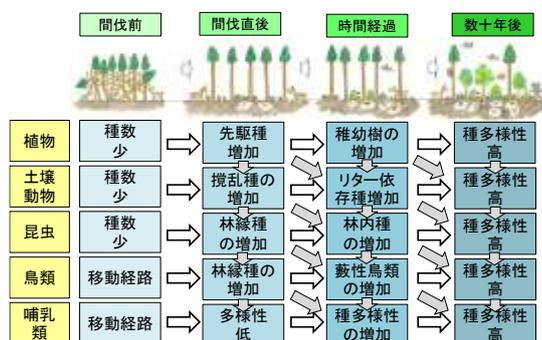


図 1 間伐に伴う林相の変化とそれに関連した生物多様性の変化モデル

(7) 方法

① 調査地の選定

水源地域の森林を、地質やシカの生息状況から 3 エリア（小仏山地、箱根外輪山、丹沢山地）に区分して、エリアごとに林相と整備からの経過年数の異なる計 86 林分（プロット）を選んだ（表 1）。

② 事業計画

第 2 期水源施策期間中は、調査時点において間伐からの経過年数の異なる調査地を複数設定して、間伐からの経過年数と各生物の多様性との関係を把握した。第 3 期以降は第 2 期の同一林分で調査することで 2 時点間の変化、すなわち本来の意味での間伐効果を明らかにすることを目標とする。

また、2 期でのモニタリング調査において植生や昆虫と比較して森林整備の効果が不明瞭な哺乳類

表 1 調査林分数

	スギ		ヒノキ		広葉樹(対照)		小計		計
	間伐前	後	間伐前	後	間伐前	後	間伐前	後	
小仏山地	3	6	3	6	3	6	9	18	27
丹沢山地	4	10(3)	3	10(1)	3	8(2)	10	28(6)	38(6)
箱根外輪山	3	6	3	6	1	2	7	14	21
合計	10	22(3)	9	22(1)	7	16(2)	26	60(6)	86(6)

※（ ）内の数字は植生保護柵内でのプロット数

乳類の調査を強化するため、令和元年度から神奈川県内の高標高の森林を代表するブナ林（丹沢山堂平地区）でも中大型哺乳類と野ネズミの生息状況調査を継続的に実施し、水源施策の整備地と比較する。

表 2 調査のスケジュール

山域	第 2 期水源施策期間					第 3 期水源施策期間				
	H24	H25	H26	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3
小仏山地	予備調査		本調査			追跡調査				
丹沢山地				本調査		補足調査		追跡調査		
箱根外輪山	本調査					追跡調査				
						総合解析		補足調査		補足調査
								総合解析		総合解析

※鳥類調査は H29 に小仏山地と箱根外輪山、H30 に丹沢山地での追跡調査を先行して実施

(8) 令和 3 年度結果の概要

令和 3 年度は、令和元年度から継続している堂平のブナ林における自動撮影カメラによる中大型哺乳類と野ネズミの調査の結果をとりまとめるとともに、令和 2 年度から実施している丹沢山地エリアの 6 地点に絞った野ネズミの生息状況調査を令和 3 年度も継続し 2 年分の結果をとりまとめた。

堂平の中大型哺乳類の調査では、令和元年 10 月の台風の影響で、約半年間、林道が不通となり、管理捕獲の捕獲圧が低下したことで令和元年度と比較して令和 2 年度のシカの撮影頻度が高くなった。その後、林道の復旧とともに管理捕獲の捕獲圧も台風前の水準になったことで、令和 3 年度は令和 2 年度よりもシカの撮影頻度が低下したことが明らかとなり、シカ管理捕獲の効果が自動撮影カメラによる調査でも明らかとなった。また、野ネズミの調査では、全体の捕獲頻度は年変動が激しいものの、植生保護柵外よりも柵内での捕獲頻度が高い傾向は 3 年間の調査で常に変わらなかった。

丹沢山地 6 林分の野ネズミ調査では、全調査期間を通して林床植生が多い地点ほど捕獲頻度が高く、特に広葉樹林と比較して針葉樹人工林でその傾向は顕著であった。このことから、水源林整備による植生回復が小哺乳類の生息にプラスに影響していることを示唆する結果が得られた。また、並行して行った糞を用いた DNA メタバーコーディング手法による採食植物種の同定調査からは、植生が多様な林分では、多様な植物を野ネズミが採食していることもわかった。

これまでに十分な解析ができていなかった土壤動物、鳥類、シカを除く哺乳類について、森林整備との関係を解析した。その結果、弱度間伐により開空度が大きく変化しないなかで生じた林床植生の増加は、これまでに判明していた林床植生上の昆虫類や地表性昆虫類だけでなく、ミミズ、地表採食型の鳥類、ノウサギの種数や個体数を増加させ、これら分類群にとっても好ましい生息環境の増加として作用したことが示唆された。

(9) 今後の課題

水源林整備の動物相へのカスケード効果については、林床植生の回復を通じた昆虫相及び鳥類相までの影響が明らかになりつつあるが、年変動や調査時の天候により出現種や個体数の影響を受ける分類群があることが判明したことに加え、高次の分類群への影響はまだ明らかになっていないことから、調査手法（時期、頻度）の改善・見直し、調査地の絞り込み等、試験設計修正について検討し、引き続き 3 巡目の調査を実施する必要がある。また、野ネズミの生息状況調査についても、食性や行動などの調査を加えて、植生回復などの水源林整備効果の具体的な影響をさらに明らかにしていく必要がある。

(2) 水源林の公益的機能の評価・検証と管理技術の改良

B. 森林生態系効果把握調査による水源施策の2次的アウトカム（生態系の健全化）の検証

- (1) 課題名 Bb. 中大型哺乳類
(2) 研究期間 平成25年度～
(3) 予算区分 森林環境調査費
(4) 担当者 大石圭太・山根正伸・雨宮 有
(5) 目的

①背景

- ・丹沢山では、1980年代からニホンジカ（以下、単に「シカ」）が増加し、それらの採食圧により下層植生が著しく衰退した。
- ・丹沢山山頂近くの堂平地区（標高：約1,200m）では、1990年代半ばから植生保護柵が多数設置され、現在では柵内の下層植生は広葉樹の群落高が約3mに達するまでに回復した場所もある。
- ・シカの管理捕獲も10年以上継続して行われており、シカの個体数密度（以下、単に「シカ密度」）は2000年代前半のピーク時の約40頭/km²から約10頭/km²に減少した。

②課題

- ・これまでの年1回の区画法による密度推定では、シカ密度の季節変化や日周活動のデータが不足することが課題となっている。
- ・近年、センサーカメラ本体やSDカード等の記録媒体の性能が向上しており、静止画の撮影から動画の撮影へと調査方法が移行しつつあり、単なる個体数の把握だけでなく、撮影個体の行動を把握することも可能となった。
- ・撮影された動物の種同定や個体数、行動を記録する画像解析において、静止画と比較して動画の解析は1ファイルあたりに要する作業時間が著しく長くなる。

②目的

- ・今後の柵内外の下層植生の盛衰とシカによる採食圧の変化の関係を追跡するための基礎資料とするため、センサーカメラ調査により、中大型哺乳類の生息状況をモニタリングする。
- ・動画の画像解析の作業時間を短縮するための「動画解析支援ツール」を自作し、その有用性を検討する。

(6) 方法

①期間：今回は2019年9月～2021年11月の撮影データを報告

②調査地：清川村に位置する丹沢山山頂近くの堂平地内（約4ha）

③方法

③-1) カメラの設置と撮影

- ・10台の赤外線センサー付き自動撮影カメラを設置
- ・撮影モード：1分間の動画、インターバル：「0秒」

③-2) データ解析

- ・自作した動画解析支援ツールを用いて、中大型哺乳類についての以下の項目を記録
撮影された種、個体数、行動（採餌、歩く、走る、その他）、角の尖数（シカのみ）
- ・5分以内に同種が連続して撮影された場合、身体的特徴から明らかに別個体でない限り同一個体とみなし、2回目以降の撮影は集計から除外した。
- ・機器の不具合等で月ごとに各カメラの稼働日数が異なるため、100カメラ・稼働日（Camera・Day、以下単に「CD」）あたりの撮影個体数を「撮影頻度（個体数/100CD）」とし、月ごとの各中大型哺乳類種の撮影頻度（図-1）およびシカの行動別の撮影頻度（図-2）を算出した。
- ・シカの時刻ごとの撮影個体数をもとに夏と冬の活動日周期を比較した（図-3）。
（2020年5月～2021年11月の動画解析は新日本環境（株）に委託）

(7) 結果の概要

①動画解析支援ツール

- ・自動的に次の動画が再生され、種同定および個体数・行動の記録と同時に自動的に日時及びカメラ ID が記録されるため、手作業による一覧表の作成よりも大幅に作業が効率化された。

②中大型哺乳類全体

- ・全調査期間を通した 4,378CD で、2 目 7 科 10 種の中大型哺乳類を計 7,223 個体確認
- ・シカが最も多く、3,361 個体で中大型哺乳類全体の 76.8% を占めそれ以外では、アナグマ、キツネ、イノシシ、テン、タヌキ、ハクビシン、ツキノワグマ、イタチ、カモシカ（多い順）が確認された（表 1）。
- ・アナグマは冬眠のため、毎年 12 月～4 月の撮影頻度が著しく低く、イノシシは、2020 年 12 月～2021 年 2 月の撮影頻度がその他の期間と比較して著しく高かった（図-1）。

表-1. 堂平の中大型哺乳類の種ごとの撮影個体数

目	科	種	撮影個体数	%
偶蹄	シカ	ニホンジカ	5,547	76.80
食肉	イタチ	アナグマ	842	11.66
食肉	イヌ	キツネ	243	3.36
偶蹄	イノシシ	イノシシ	231	3.20
食肉	イタチ	テン	154	2.13
食肉	イヌ	タヌキ	149	2.06
食肉	ジャコウネコ	ハクビシン	36	0.50
食肉	クマ	ツキノワグマ	12	0.17
食肉	イタチ	イタチ	7	0.10
偶蹄	ウシ	カモシカ	2	0.03
総計			7,223	100.00

③シカの撮影頻度の推移

2020 年の春から増加傾向にあり、2020 年 9～11 月は 2019 年の同時期と比較して約 2 倍であった（図-1）。これは、2021 年 10 月に発生した台風 19 号の被害で約半年間林道が不通となり、管理捕獲による捕獲圧が著しく下がっていたことが原因である可能性がある。その後、2021 年は 2020 年と比較してやや減少しており、これは林道の復旧に伴って捕獲圧が台風以前の水準に戻った効果が現れたことを示唆する。

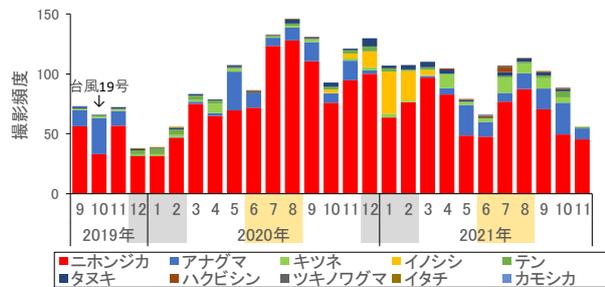


図-1 月ごとの各中大型哺乳類種の撮影頻度

*撮影頻度は 100CD あたりの撮影個体数

④シカの行動

撮影されたシカの 61.2% は鼻先で地面を探索する採餌行動がみられ、シカの行動からも堂平におけるシカの採食圧の高さを裏付ける結果が得られた。しかし、繁殖期である秋には、採餌行動を示すことなく移動する個体の割合が高く、交尾相手の探索等で移動が活発になったと考えられる。

⑤シカの日周活動

一般的にシカの日周活動は薄明薄暮に活発になることが知られており、今回も 3～12 月はこのような傾向を示し、正午前後にはほとんど撮影されなかった。中でも 7～8 月が最もこのような傾向が顕著に示された。これに対して、1～2 月は夜間よりも日中の撮影個体数の方が多かった。今回示された夏と冬で異なる活動時間は、調査地周辺での人の活動の季節変化や気象条件等が要因として考えられ、堂平における管理捕獲の実施計画を立てるうえでの良い指針になると考えられる。

(8) 課題

動画データからのシカ密度の分析精度を向上させるため、一定面積内における滞在時間を用いて確率的に密度を推定する REST 法の適用について検討する。また、REST 法では動画の解析により多くの労力を要することから、センサーカメラの活用には解析動画の絞り込みや動画判定などさらなる省力化が必要である。

(9) 成果公表 なし

(2) 水源林の公益的機能の評価・検証と管理技術の改良

B. 森林生態系効果把握調査による水源施策の2次的アウトカム（生態系の健全化）の検証

- (1) 課題名 Bc.小哺乳類（1）水源地域ブナ林の生息状況
(2) 研究期間 平成25年度～
(3) 予算区分 森林環境調査費
(4) 担当者 大石圭太・山根正伸

(5) 目的

水源林整備が生物多様性へ及ぼす波及効果に関して、前述のように、水源林整備は林床植被率や植生多様性を高める効果があり（Bb）、その効果で昆虫類の多様性が向上すること（Bd）が分かってきたが、栄養段階高次に位置する哺乳類への効果は未解明である。その中で、森林性野ネズミであるアカネズミ（図-1）とヒメネズミ（図-2）は、森林環境の変化に敏感に反応し、小型で個体数密度が高く、サンプリング効率に優れるため、指標動物として最適である。

そこで、水源地域に指定されている丹沢山堂平地内のブナ林において、これら2種の森林性野ネズミの生息状況を調べ、植生保護柵の設置による下層植生の回復・発達が森林性野ネズミの生態に及ぼす効果を調べた。



図-1 アカネズミ



図-2 ヒメネズミ

(6) 方法

①調査期間

2019～2020年の9月と10月、2021年7月、9月、10月の計7回

②調査地

丹沢山山頂に近い堂平地内のブナ林において、植生保護柵の内外にまたがるよう2箇所の捕獲プロット（SiteA,B）を設け（図-3）、計50個（柵外：32個、柵内：18個）のシャーマントラップを10m間隔の格子状に設置した。図-4のように、本調査地はSiteAとBともに柵外と比較して柵内の植生が著しく発達している。



図-3. 調査地概略

③方法

1回につき3～10夜連続の標識再捕獲調査を実施した。トラップには誘因用の餌としてヒマワリの種20～30個を入れ、断熱シートを巻いた。寒い時期（10月）には保温用に綿等を入れ、罠を枯葉で被った。捕獲された個体の捕獲位置、種を記録し、捕獲地点に放逐した（なお、今回は結果に示していないが、マイクロチップを用いて個体識別を施し、個体識別番号、性、体重、繁殖状態、その他身体的特徴も記録している）。なお、2019年9、10月、2020年9月、2021年7月を直営で実施し、2020年10月を新日本環境調査(株)、2021年9、10月を(株)CTIリードに委託して実施した。



図-4 各サイトの柵内外の下層植生状況
(写真内の割合は各トラップ周辺の林床植被率の平均値を示す)

④データ解析

アカネズミとヒメネズミの捕獲頻度を100トラップナイトあたりの捕獲回数（捕獲頻度）で評価し、表-1の変数を用いた一般化線形モデルにより植生保護柵の効果を評価した。

表-1. 一般化線形モデルに用いた変数

変数	尺度
目的変数	捕獲個体数
Offset	有効トラップナイト数
ランダム変数	年
説明変数	植生保護柵
	ネズミ種
	サイト

なお、アカネズミとヒメネズミは主食であるブナ科堅果の豊凶等の要因により、生息個体数の年変動が激しいことが知られているため、調査年をランダム変数とした。

(7) 結果の概要

全調査期間を通じた1,645トラップナイトで、アカネズミが79回、ヒメネズミが101回捕獲された。その他の小哺乳類では、スミスネズミとヒミズが4回ずつ捕獲された。図-5のようにSiteA,Bともに柵外よりも柵内の捕獲頻度が高く、柵の有意な正の効果が認められた。

これらの結果により、植生保護柵の設置による植生の回復・発達の効果で森林性野ネズミの生息を促すことが出来ることが示唆される。

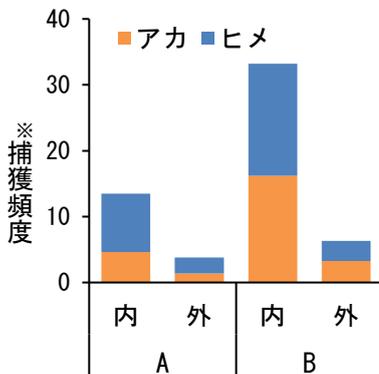


図-5 各サイトの柵内外のアカネズミとヒメネズミの捕獲頻度

※捕獲頻度：100トラップナイトあたりの捕獲回数

表-2. 一般化線形モデルによる解析結果

説明変数	結果	有意水準
植生保護柵	柵内 > 柵外	p < 0.001
ネズミ種	アカネズミ ≒ ヒメネズミ	p > 0.1
サイト	B > A	p < 0.001

(8) 今後の課題

森林性野ネズミの生息数は主要な餌であるブナ科堅果の豊凶や気候等の要因により、年次変動が激しいことが知られている。そのため、今後も継続的に標識再捕獲調査を実施し、それらの年次変動も考慮して植生回復の効果を明らかにしていく必要がある。

(9) 成果の発表

大石圭太、山根正伸 丹沢山地ブナ林における森林性野ネズミの生息に対する植生保護柵の効果. 第132回日本森林学会大会 府中市（オンライン開催） 2021年3月 口頭発表

(2) 水源林の公益的機能の評価・検証と管理技術の改良

B. 森林生態系効果把握調査による水源施策の2次的アウトカム（生態系の健全化）の検証

- (1) 課題名 Bd.小哺乳類(2)水源林整備地の生息状況
- (2) 研究期間 平成25年度～
- (3) 予算区分 森林環境調査費
- (4) 担当者 大石圭太・山根正伸

(5) 目的

水源林整備による下層植生の発達・回復の森林性野ネズミへの効果について、前述のように、植生保護柵の効果により野ネズミが増加することが示唆された。

本項では、丹沢山地エリアの水源林整備地のうち、スギまたはヒノキの人工林および広葉樹林において、アカネズミとヒメネズミの生息状況を調べ、間伐施業による下層植生の回復・発達が森林性野ネズミの生態に及ぼす効果を調べた。

(6) 方法

①調査期間

2020～2021年の6～11月にかけて約2ヶ月おきに年3回（6月下旬～7月上旬、8月下旬～9月上旬、10月下旬～11月上旬、計6回）

②調査地

丹沢山地エリアの水源林整備地のスギまたはヒノキ人工林27林分と広葉樹林の11林分それぞれの中から林床植被率が極端に異なる3林分（計6林分）を選び、調査地とした（表-1）。各林分に25個（5×5）ずつのシャーマン式生け捕り用トラップ（8×23×9cm）を10m間隔の格子状に設置し、1回につ

き5～10夜連続の標識再捕獲調査を実施した。

表-1. 各調査地の下層植生状況

林相	調査地名	林床植被率(%)	下層植生状況	変数
スギ or ヒノキ人工林	St.1	20	疎	1
	St.2	57	中間	2
	St.3	91	密	3
広葉樹林	St.4	1	疎	1
	St.5	47	中間	2
	St.6	84	密	3



図-1 水源林整備地の下層植生状況

②方法

前述のブナ林での調査と同様の方法で、1回につき5～10夜連続の標識再捕獲調査を実施した。なお、2020年度は(一財)自然環境研究センター、2021年度は(株)CTIに委託して実施した。

③データ解析

アカネズミとヒメネズミの捕獲頻度を100トラップナイトあたりの捕獲回数で評価し、表-2の変数を用いた一般化線形モデルにより2種の野ネズミの生息に対する下層植生の効果を評価した。

表-2. 一般化線形モデルに用いた変数

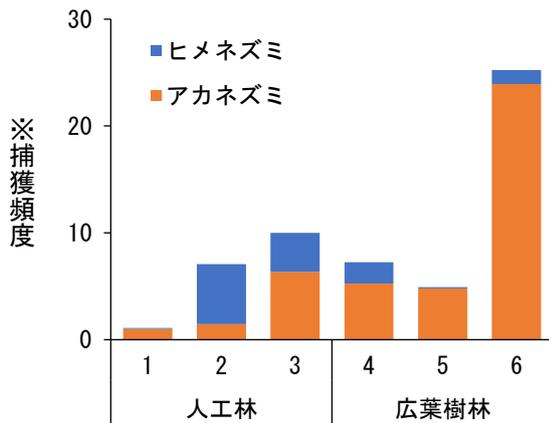
変数	尺度
目的変数	捕獲個体数
Offset	有効トラップナイト数
ランダム変数	年
説明変数	下層植生の発達
	ネズミ種
	調査時期
	林相

2020年、2021年	類別
疎(1)、中間(2)、密(3)	順序
アカネズミ、ヒメネズミ	類別
6月、8月、10月	類別
人工林、広葉樹林	類別

(7) 結果の概要

全調査期間を通して、6,057トラップナイトでアカネズミが延べ408回、ヒメネズミが129回捕獲された。その他の小哺乳類では、ヒミズとジネズミがそれぞれ1回ずつ捕獲された。アカネズミとヒメネズミを合わせた捕獲頻度は、人工林では林床植被率が高い林分ほど高く、広葉樹林でも下層植生が最も発達したSt.6が全6林分で最も高く(図-2)、下層植生の発達とアカネズミとヒメネズミの捕獲個体数との間に有意な正の効果がみられた(表-2)。

これらの結果により、間伐等の森林整備によって下層植生の回復・発達を促すことで、森林性野ネズミの生息を促すことができると考えられる。



ネズミとヒメネズミの捕獲頻度

*捕獲頻度：100トラップナイトあたりの捕獲回数

表-2. 一般化線形モデルによる解析結果

説明変数	結果	有意水準
下層植生の発達	+	p<0.001
ネズミ種	アカネズミ > ヒメネズミ	p<0.001
調査時期	6月 > 8月 ≒ 10月	p<0.001
林相	広葉樹林 > 人工林	p<0.001

(8) 今後の課題

森林性野ネズミの生息数は主要な餌であるブナ科堅果の豊凶や気候等の要因により、年次変動が激しいことが知られている。そのため、今後も継続的に標識再捕獲調査を実施し、それらの年次変動も考慮して植生回復の効果を明らかにしていく必要がある。

(9) 成果の発表

大石圭太 研究最前線 森林生態系に対する水源林整備効果の把握調査～森林性野ネズミを指標として～. 緑の斜面第74号、神奈川県森林協会 2021年7月

(2) 水源林の公益的機能の評価・検証と管理技術の改良

B. 森林生態系効果把握調査による水源施策の2次的アウトカム（生態系の健全化）の検証

- (1) 課題名 Be.小哺乳類(3)食性
- (2) 研究期間 平成25年度～
- (3) 予算区分 森林環境調査費
- (4) 担当者 大石圭太・山根正伸
- (5) 目的

アカネズミとヒメネズミの生息個体数だけでなく、調査地の植生の餌場としての利用状況を明らかにし、森林整備や生息環境の詳細な効果を評価するため、標識再捕獲調査の際に罠内に排泄された糞を用いたDNAメタバーコーディング解析により、2種の餌植物を明らかにした。昨年度の報告では、人工林においては下層植生が発達した地点ほど餌となる植物種数が多く、森林整備の効果で下層植生が発達することで野ネズミの餌場としての生息環境が改善することが期待される結果が得られた。本年度は、丹沢地域の高標高の森林を代表するブナ林での調査結果も合わせて示し、水源林整備地の針葉樹人工林（以下単に「人工林」）、低地広葉樹林（標高800m以下、以下単に「広葉樹林」）、水源地域のブナ林（標高約1,200m、以下単に「ブナ林」）の2種の野ネズミの植物食性を明かにする。

(6) 方法

①調査地とサンプリング期間

- ・人工林と広葉樹林：2020～2021年の6～11月（詳細はBd参照）
- ・ブナ林：2019～2021年の7～10月（詳細はBc参照）

②方法

②-1) 糞便のサンプリング

標識再捕獲調査（Bc, Bd）の際に、罠内に排泄された糞便のサンプリングを行った。ただし、複数個体の糞便や排泄されて1日以上経過した糞便が混入することを防ぐため、各トラップの最初の捕獲時のみサンプリングを実施した。プラスチック製のストロー（径5mm）を長さ4～5cmほどに斜めに切断して作成した匙（図-1）で、極力植物片が付着していないものを掬い取り、糞便が付着した匙ごとビニール製の密閉袋に入れた。採取した糞便は、解析まで-20℃で保存した。

②DNAメタバーコーディング解析

糞便サンプルを凍結粉砕し、各種溶液を用いてDNAを抽出した。DNA解析では、陸生植物用に開発されたプライマーを用いた2 step tailed PCR法により、葉緑体rbcL領域（334bp）を増幅し、各サンプルのライブラリーを作製した。BLAST検索により各ライブラリーに含まれる塩基配列と相同性の高い植物種の候補をNCBI（The National Center for Biotechnology Information）のデータベースから検索し、各サンプルから検出された生物種候補を抽出し、そのリード数を算出した。なお、DNAメタバーコーディング解析は生物技研(株)に委託して実施された。

③餌植物種の決定とリード数の取扱い

各サンプルから検出された塩基配列のうち、100リード未満の配列はデータの信頼性が低いため、解析から除外した。本調査地に生育していないヒマワリの塩基配列は誘因用に罠に入れた種子由来と判断し、解析から除外した。各塩基配列の植物種を決定する際に複数の植物種がトップターゲットとして候補にあがった場合には、ブナ林では2016年度に、人工林と広葉樹林では2019年度に実施された植生調査で記録された種を優先的に採用した。植生調査で出現した種も複数あった場合には属または科の特定に留めた（例：コナラ属の一種）。また、これ



図-1 糞の採取に用いたストローで作成した匙

ら種の特定に至らなかった塩基配列が同一の属または科に複数あった場合、トップターゲットの種の候補から明らかに別種と判断される場合には区別して種数をカウントした(例:バラ属の一種①,バラ属の一種②、表-1)。同一サンプル内のリード数は食べた量の指標となるが、DNA濃度やPCRによる増幅率がサンプルごとに異なるため、サンプル間でリード数を直接比較することはできない。そこで、各サンプルのリード数を一律に100として換算した各植物種のリード数を食べた量の指標とし、ヒノキ科、ブナ科、ブナ科とヒノキ科以外の高木(その他高木)、低木、草本(シダ類以外)、シダ類の区分ごとの割合を算出した(図-2)。

(7) 結果の概要

合計190サンプルの糞便の各サンプルの総リード数の平均値は22,260.5±11,882.5(SD)リード(450~50,452リード)であった。このうち181サンプルから、65科111属142種のヒマワリ以外の維管束植物が検出された(100リード未満の配列を除く)。

広葉樹林のアカネズミが植物性の餌の約5割をブナ科に依存していたのと比較して、いずれの林分のヒメネズミ及び人工林のアカネズミはいずれもブナ科が占める割合が2割未満であった(図-2)。

各サンプルから検出された餌植物の種数は、ブナ林では2.9±1.9種と全調査地の中で最も少なかった。また、広葉樹林では3.4~4.1%であったのと比較して、人工林では3.4~7.1種と調査地ごとの差が大きく、特に、下層植生が発達したSt.3は7.1±4.0種と突出していた(表-1)。

これらのことから、これら2種の野ネズミは潜在的には幅広い植物種を餌として利用できるジェネラリストであり、生息環境に応じて柔軟に餌を変化させ、人工林の下層植生も餌資源として利用でき、間伐や植生保護柵の設置等の森林整備で下層植生を発達させることは野ネズミの餌環境改善に結び付くと考えられる。

(8) 今後の課題

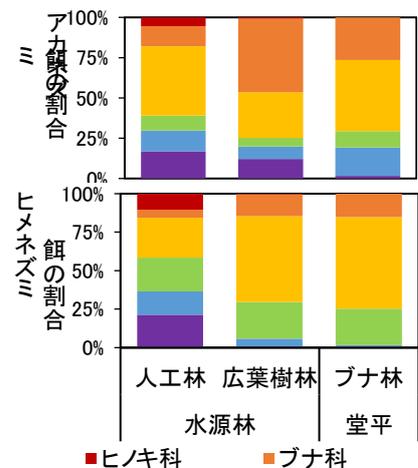
- ・種子の場合、高木種であれば、高木層から供給されると考えられるが、アカネズミとヒメネズミの餌としては新芽や根の可能性もあり、その場合、高木種でも高木層からの供給とは限らず、その場合には高木種であっても下層植生の中で利用されている可能性がある。そのため、各植物種の生活環の季節性も考慮した下層植生の利用可能性を評価する必要がある。
- ・アカネズミとヒメネズミは雑食性のため、植物食だけでなく、動物性の餌も含めた植生を明らかにする必要がある。

(9) 成果の発表

大石圭太 DNAメタバーコーディング解析による森林性野ネズミの食性調査. 関中林試連情報第45号、関東・中部林業試験研究機関連絡協議会 2021年3月
大石圭太 研究最前線 森林生態系に対する水源林整備効果の把握調査～森林性野ネズミを指標として～. 緑の斜面第74号、神奈川県森林協会 2021年7月

図-2 アカネズミとヒメネズミの糞から検出された餌植物の割合

*餌の割合は各サンプルのリード数を一律に100として換算した値を積算して算出した。



地区	林相	調査地名	下層植生状況		餌植物種数 (平均±SD)	n
			植被率 (%)	出現種数		
水源林整備地 (丹沢エリア)	人工林	St.1	20	28	4.7±2.8	9
		St.2	57	48	4.5±2.5	34
		St.3	91	68	7.1±4.0	43
	広葉樹林	St.4	1	29	3.4±2.1	17
		St.5	47	44	3.7±2.0	15
		St.6	84	53	4.1±2.3	27
水源地域ブナ林(堂平)	ブナ林		41	-	2.9±1.9	36

表-1 各調査地の下層植生状況と各サンプルからの餌植物種の平均検出数

(2) 水源林の公益的機能の評価・検証と管理技術の改良

B. 森林生態系効果把握調査による水源施策の2次的アウトカム（生態系の健全化）の検証

- (1) 課題名 Bf. 小型哺乳類 (4) 自動追跡装置の開発
(2) 研究期間 平成 25 年度～
(3) 予算区分 森林環境調査費
(4) 担当者 大石圭太・山根正伸・丸井祐二・雨宮有

(5) 目的

森林性野ネズミの行動圏を調査するため、2019 年度から小型・軽量で送信電力が弱い野ネズミに装着する発信機からの電気信号を精度よく受信し定位できる自動追跡装置の開発を行っており、本年度は、昨年度のループアンテナを採用した追跡システムの野外試験の際に生じた利得方位の偏りを検証するため、電波暗室での性能試験を行った。また、より短い時間間隔で精度よく追跡できることが期待される新たな「アレイアンテナを用いた電子スキャン方式」による受信システムの技術開発を行った。

(6) 方法

①ループアンテナを用いた追跡装置

①-1) 野外試験

- ・2021 年 8 月 19 日に保全センター敷地内の畑にて実施した。
- ・小型追跡機器設置地点を囲うように 3 地点 (33~43m) から三角測量を実施した (図-1)。

①-2) 電波暗室での特性試験

- ・2021 年 11 月 17 日に (地独) 神奈川県立産業技術総合研究所の電波暗室にて試験を行った。
- ・試作した 5 本のアンテナ全てを自動追跡装置に順次接続していき、小型追跡機器から 3m の距離で位相を計測した (図-2)。

②アレイアンテナを用いた電子スキャン方式の開発

ソフトウェア無線機やラズパイ 4、GPS 受信キット等の COTS (Commercial Off-The-Shelf) 製品を組み合わせた装置を用い、以下の工程で性能を検証した。

- ・4 チャンネル (4 素子) のアレイアンテナで受信した信号の周波数と位相を同期
- ・同期した位相を MUSIC (Multiple Signal Classification) アルゴリズムで処理し、方位測定

(7) ■結果の概要

①ループアンテナを用いた追跡装置

①-1) 野外試験

- ・観測された方位をそのまま用いた三角測量では、位置精度に数十m単位の誤差が生じた。
- ・ここから 3 地点の計測地点のうちの 1 地点の方位のずれ (-45°) をアンテナ特性とみなし、各地点での計測結果を一律で -45° 補正したところ、位置精度に大幅な改善がみられ、誤差は数m以内に収まった (図-1)。
- ・このことから、電波の環境ノイズを全て除去したうえでのアンテナ特性を事前に把握しておく必要があることが明らかとなり、以下の電波暗室での特性試験を実施した。

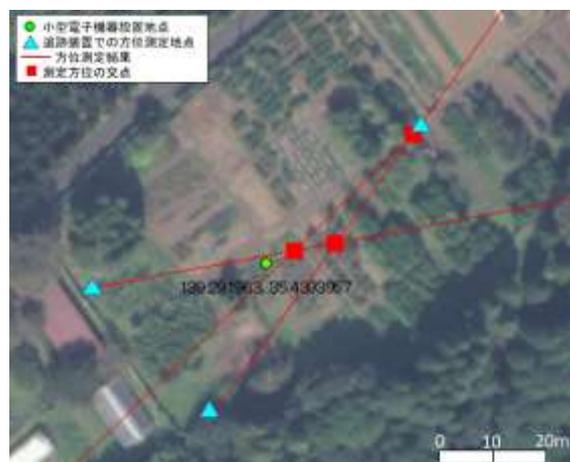


図-1 ループアンテナによる野外試験結果

①-2) 電波暗室での特性試験

- 5本のアンテナはほぼ一律に -15° のずれが生じていることが明らかとなった(図-3)。
- しかし、野外での試験で明らかとなった -45° のずれは、それぞれの地点の電波の環境ノイズの影響も加わっており、野ネズミの追跡調査でのこのシステムの実用は困難であることが明らかとなり、新たなシステムである以下の「アレイアンテナを用いた電子スキャン方式」を開発していく必要がある。



図-2 電波暗室でのループアンテナの特性試験

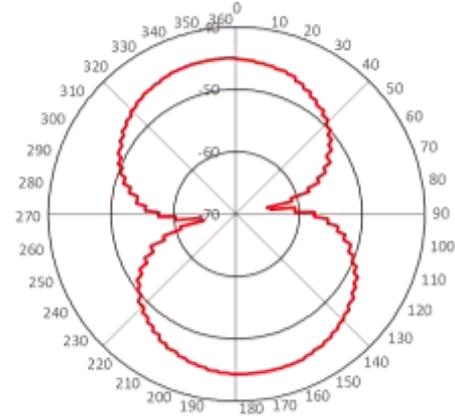


図-3 電波暗室でのループアンテナの位相

②アレイアンテナを用いた電子スキャン方式の開発

- 今回、性能を検証したアレイアンテナを用いた追跡装置(図-4)の構造の概要は図-5のとおりである。
- COTS製品で構成した場合のアレイアンテナ信号処理の課題等が明確となり、処理方法の方針やその場合の現実可能な性能が把握できた。
- 現時点で見込まれる性能は、方位角推定誤差が約 1° 、GPS測位誤差が約50cmであることが明らかとなった。

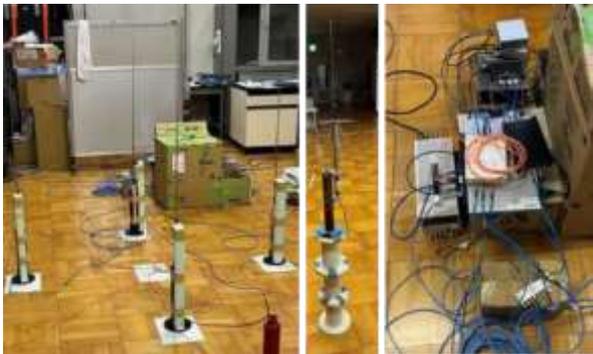


図-4 アレイアンテナを用いた電子スキャン方式を採用した追跡装置試験機(COTS製品)

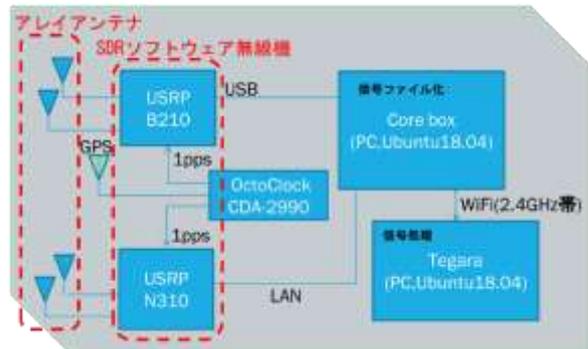


図-5 アレイアンテナを用いた電子スキャン方式を採用した追跡装置試験機の構造概略

(8) ■今後の課題

- 本研究では、4素子アンテナを用いたが、2021年に発売されたKrakenSDRは5素子のアンテナによる計測が可能で、さらなる性能の向上とコストダウンが見込めることから、これらの性能試験を実施していく必要がある。
- 実際の調査で用いるHolohil製の小型電子機器と林内の現地での実環境における評価を進める必要がある。

(9) ■成果の発表 なし

(2) 水源林の公益的機能の評価・検証と管理技術の改良

① B 森林生態系効果把握調査による水源施策の2次的アウトカム（生態系の健全化）の検証

- (1) 課題名 Bg 土壌動物・鳥類・哺乳類の種多様性に対する間伐の効果
(2) 研究期間 平成25年度～
(3) 予算区分 森林環境調査費
(4) 担当者 谷脇 徹・大石圭太・山根正伸

(5) 目的

神奈川県の水源地の森林エリア（スギ林・ヒノキ林・広葉樹林）で行われている間伐が林床植生の増加を通じて、そこに生息する土壌動物、鳥類および哺乳類の生息状況に及ぼす影響を評価することを目的とした。

(6) 方法

3地域（小仏、箱根、丹沢）における2巡目の調査結果が出そろったので、これまでに十分な解析ができていなかった土壌動物、鳥類、シカを除く哺乳類について、森林整備との関係を解析した。具体的には、間伐により植被率および植物種数が増加しているとの知見が得られているので、このことを踏まえて各種分類群の種数および個体数との関係について解析した。

なお、土壌動物はササラダニとミミズを対象としている。ササラダニは20m×20mコドラート内の5m×5m区画から採取した2リットルの落葉落枝、朽木、表層土などをツルグレン装置で抽出したものである。ミミズは20m×20mコドラート内の25cm×25cm区画の深さ10cmまでの土壌に含まれるミミズを採取したものである。鳥類は初夏に30分ずつ各地点を観察し、20m×20mコドラート内に滞在した鳥類の種ごと個体数を記録したものである。鳥類は採食場所（樹冠、樹幹、飛翔、藪、地表）により、5つの機能群に分類した。哺乳類は2台の自動撮影カメラで夏と冬に90日以上撮影して得られた結果である。

(7) 結果の概要

土壌動物のうち、ミミズでは植被率が高いと種数、個体数とも増加する傾向が認められた（図1）。ただし、1巡目より2巡目のほうが種数、個体数とも減少し、年変動の影響を強く受けていた。ミミズと植物種数との関係は明瞭ではなかった。ササラダニについては、植被率、植物種数との関係は認められず、地表の有機物量など他の要因との関係を検討する必要がある。

鳥類のうち、地表採食型では植物種数が多いと種数、個体数とも増加する傾向が認められた（図2）。この傾向はやや弱いながら植被率でも認められた。鳥類の他の機能群では植被率、植物種数との関係は認められなかった。

哺乳類のうち、ノウサギでは植被率、植物種数が多いと冬の撮影頻度が増加する傾向が認められた（図3）。この傾向はやや弱いながら夏でも認められた。他の哺乳類では植被率、植物種数との関係は認められなかった。

以上、弱度間伐により開空度が大きく変化しないなかで生じた林床植生の増加は、これまでに判明していた林床植生上の昆虫類や地表性昆虫類だけでなく、ミミズ、地表採食型の鳥類、ノウサギにとっても好ましい生息環境の増加として作用したことが示唆された。

(8) 今後の課題

2巡目までの調査結果で影響が検出された分類群を中心に総合的な解析を行うとともに、調査対象種や調査手法などの見直しを行って3巡目調査を進め、調査結果が得られたタイミングで再解析を行う。

(9) 成果の発表

なし

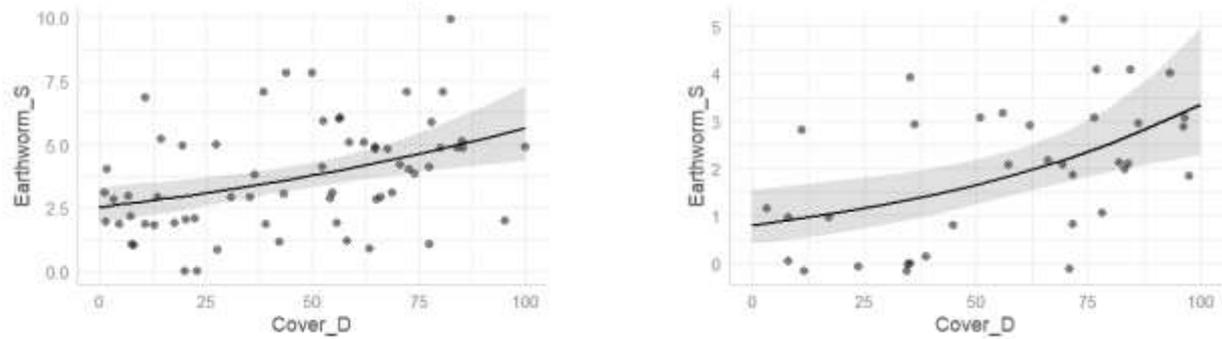


図1 植被率とミミズ種数の関係 (左1巡目、右2巡目 (小仏・箱根のみ))

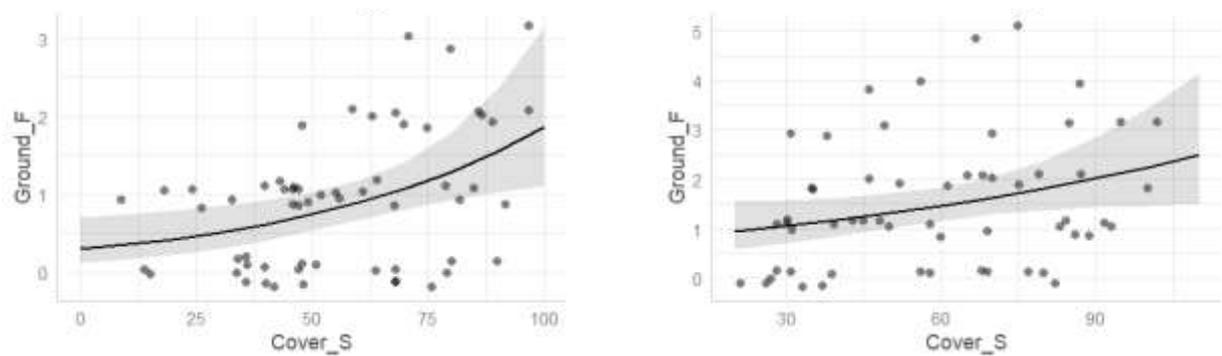


図2 植物種数と地表採食型の鳥類種数の関係 (左1巡目、右2巡目)

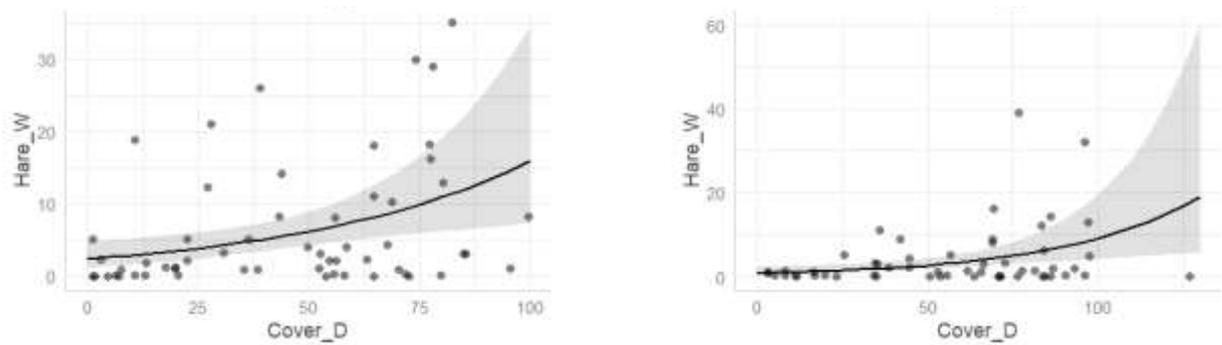


図3 植被率と冬期のノウサギ撮影頻度の関係 (左1巡目、右2巡目)