

(2) 水源林の公益的機能の評価・検証と管理技術の改良

E. 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 **Ea 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～令和8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・谷脇 徹**

(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生分スケール(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)。

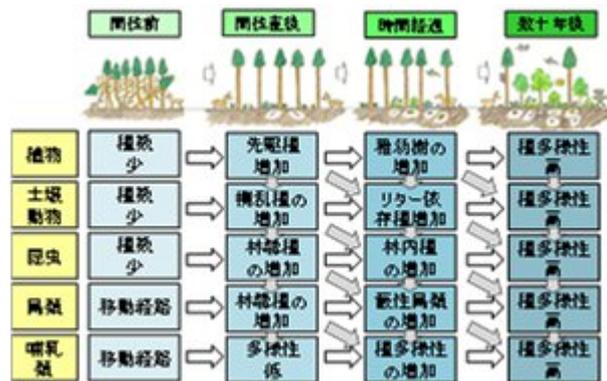


図1 間伐に伴う林相の変化とそれに関連した生物多様性の変化モデル

(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)。

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

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

期間/山域	年度	小仏山地	丹沢山地	箱根外輪山
第2期水源施策期間	H24			
	H25	予備調査		
	H26	本調査		本調査
	H27		本調査	
	H28	補足調査	中間総合解析	
第3期水源施策期間	H29	追跡調査		
	H30			追跡調査
	R1		追跡調査・補足調査	
	R2		補足調査	
	R3		補足調査・中間総合解析	
第4期水源施策期間	R4	追跡調査	補足調査	追跡調査
	R5	補足調査	追跡調査	補足調査
	R6		補足調査・総合解析	
	R7		補足調査・総合解析	
	R8		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4年度結果の概要

令和4年度は、箱根外輪山地区と小仏山地地区に設定した48調査地で、植生、昆虫、中大型哺乳類の3巡目調査を行った。また、両地区の調査地それぞれ6調査地、合計12調査地で野ネズミの生息状況調査を実施した。加えて、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生息状況調査を実施した。

植生調査では、スギ・ヒノキ人工林の平均成立本数が428～806本/haと1巡目調査時点から減少し水源林整備の目標とする600本前後の本数まで低下している地点が多かったが、林床植生の平均植被率は1.2～88.5%、出現種数（小方形区10個の合計）が15～116種/40m²とばらつきがみられた。

林床性昆虫のなかで代表的な昆虫であるハムシ科・ゾウムシ科は、小仏山地では40種96個体、箱根外輪山では38種92個体が捕獲された。種数は地点により異なり、小仏山地が0～6種、箱根外輪山が0～7種であった。

地表性昆虫のなかで代表的な昆虫であるオサムシ科は、小仏山地では27種460個体、箱根外輪山では台風の影響を受けたため2回実施しており、1回目では14種135個体、2回目では15種131個体が捕獲された。種数は地点により異なり、小仏山地が0～10種、箱根外輪山1回目が0～5種、箱根外輪山2回目が0～8種であった。箱根外輪山では2回とも台風の影響により捕獲が大幅に減少したと考えられる。

小仏山地と箱根外輪山とも、1巡目と比較して2巡目のシカの撮影頻度が増加し、中大型哺乳類でシカが最も撮影頻度が高い種となった。また、性比を見ると、雄と比較して定住性が強い雌の割合も2巡目に高くなっており、両地域でシカの分布拡大が進んでいることが示唆された。箱根外輪山の中大型哺乳類全体に占めるシカの割合は、3巡目でさらに高くなった。

野ネズミ調査地の下層植生は林床の植被率よりも低木層の植被率の方が調査地間の差が大きく、低木層の植被率が高い調査地で野ネズミの捕獲頻度が高い傾向がみられた。

2019年9月～2022年12月の堂平での中大型哺乳類の撮影結果を集計したところ、撮影個体数は中大型哺乳類全体の75.6%をシカが占めていた。採餌行動を示すシカの撮影頻度が夏に高い傾向は3年間で共通しており、この時期に調査地周辺のシカによる採食圧が高いと推測されるが、冬でも採餌行動を示す個体は観察され、通年でシカの餌場となっていると考えられた。

2019～2022年の堂平での野ネズミの捕獲頻度は年により変動が激しかったが、植生保護柵内で野ネズミの捕獲頻度が高いという傾向は4年間で共通していた。

(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、2巡目までの調査結果の解析から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できていない。このため、引き続き丹沢地区の3巡目の調査を実施するとともに、天候により昆虫調査のデータ取得が不十分であった箱根外輪山地区での補足調査が必要である。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

E 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 Eb. 植物(林床植生・林分構造)

(2) 研究期間 平成25年度～令和8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) 目的

水源林整備が森林生態系に及ぼす影響を明らかにする一環として、平成26年度に箱根外輪山地区と小仏地区に設定した48調査地で、林床植生、更新木および林分構造に関する3巡目調査を実施しそれぞれの変化を分析するとともに、昆虫相および哺乳類相との関係を分析するための資料を整理する。

(6) 方法

ア 林床植生調査

各調査地点に設定した20m×20mのコドラート内において、2m×2m枠10個の小植生調査枠を含むおよそ10m×10mの範囲において、その範囲の緯度経度、方位、傾斜、標高、上層植生の植被率、種名と被度を記録した。2m×2mの各小植生調査枠枠では、およそ高さ1.5m以下を草本層として、全体の植被率と出現種の被度、ササの最大稈長(cm)を測定した。

イ 更新木調査

2m×2mの小植生調査枠で高木性樹木の稚幼樹を測定対象として樹種名とテープナンバーを記録し、樹高(鉛直高)を1cm単位で測定した。

ウ 光環境調査

20m×20mのコドラートの四隅(黄杭)と中心杭(赤杭)で、地上高さ1mの地点で魚眼レンズ付デジタルカメラにより天空写真を撮影した。また、地上高さ2mの地点でVRカメラを用いて360度画像を撮影した。

エ 林分構造調査

20m×20mコドラート内の樹高1.5m以上の立ち木についてマーキングを行い、樹種と胸高直径、樹高、通直・枯損状況を記録、測定した。胸高直径はノグスや直径巻尺等を用いて、樹高1.2mの位置で直径もしくは周囲長を1mm単位で測定した。

オ 調査時期など

以上の調査は、日本工営都市空間株式会社に調査業務を委託し、2022年7月11日～8月20日、及び2022年7月11日～9月14日の期間に実施した。

(7) 結果の概要

ア 林床植生調査

出現種数(小方形区10個の合計)は、15～116種/40m²で、植物種数は全体で430種が確認された。平均植被率は、1.2～88.5%と幅があった(表1)。

イ 更新木調査

更新木本数(小方形区10個の合計)は、0～154本/40m²で、平均樹高は9.7～63.4cmであった。

ウ 光環境調査

平均開空率は6.2～12.8%であった。

エ 林分構造調査

スギ・ヒノキ人工林では平均成立本数が 428～806 本/ha、平均胸高直径（DBH）は 9.9～18.1cm、平均樹高が 8.0～14.2mであった。同じく広葉樹は、3356～4050 本/ha、6.8～9.1cm、平均胸高直径は 6.0～7.2mであった（表 2）。

表 1 3 巡目の箱根外輪山地区、小仏地区の林床植生植被率(%)の総括表

地区	林種	地点数	平均	sd	最大	最小
小仏	広葉樹林	9	29.1	16.9	58.2	1.3
小仏	針葉樹林	18	40.9	26.0	98.4	13.0
箱根	広葉樹林	3	48.2	22.4	69.1	24.6
箱根	針葉樹林	18	88.5	25.3	137.6	30.1

表 2 3 巡目の箱根外輪山地区、小仏地区の林分構造調査の総括表

地区	林相	地点数	成立本数				平均DBH				平均樹高			
			平均	sd	最大	最小	平均	sd	最大	最小	平均	sd	最大	最小
小仏	スギ	9	428	150	675	250	9.9	4.8	18.3	5.5	8.0	2.8	12.6	5.5
小仏	ヒノキ	9	806	268	1275	500	17.4	7.6	26.6	5.4	14.2	5.8	22.6	5.2
小仏	広葉樹	9	3356	1374	4875	1025	6.8	3.5	15.0	3.1	6.0	2.3	11.3	3.5
箱根	スギ	9	478	103	625	300	18.1	8.8	28.3	6.2	13.5	5.9	20.8	6.0
箱根	ヒノキ	9	514	128	675	300	12.3	5.3	20.2	3.6	9.0	3.1	13.4	3.9
箱根	広葉樹	3	4050	2638	6875	1650	9.1	3.8	12.9	5.3	7.2	1.9	8.4	5.1

(8) 今後の課題

令和 5 年度は丹沢地区に設定した調査地における 3 巡目調査を実施し、今年度実施した地区と併せた総合解析を行う。

(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

E 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** Ec. 昆虫の種多様性に対する間伐の効果
(2) **研究期間** 平成 25 年度～令和 8 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、そこに生息する昆虫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（丹沢山地、小仏山地、箱根外輪山）における 3 巡目の調査として、今年度は小仏山地 27 地点と箱根外輪山 21 地点において、林床性昆虫と地表性昆虫の調査を行った。

林床性昆虫調査は、捕虫網を用いて 20m×20m のコドラートを対象に 15 分間スウィーピングを行い、持ち帰ったサンプルをソーティングして、ハムシ科およびゾウムシ科等の種ごとの個体数を計測した。調査期間は 2022 年 6 月 19 日～21 日であった。

地表性昆虫調査は、ピットホールトラップとしてプラスチックカップ 20 個を 5m 間隔 10 列×2 行で 20m×20m コドラートを横断するように設置し、1 週間後に持ち帰ったサンプルをソーティングして、オサムシ科等の種ごとの個体数を計測した。調査期間は小仏山地が 2022 年 9 月 15 日～22 日であり、箱根山地は 9 月 14 日～21 日としたが台風による影響（カップの土砂流入や水没（図 1）、浮き上がりなど）が大きかったため、9 月 21 日～9 月 28 日に再度実施したがまたも台風による影響を受けた。



図 1 カップの土砂流入や水没の状況

(7) 結果の概要

林床性昆虫のなかで代表的な昆虫であるハムシ科・ゾウムシ科は、小仏山地では 40 種 96 個体、箱根外輪山では 38 種 92 個体が捕獲された。種数は地点により異なり、小仏山地が 0～6 種、箱根外輪山が 0～7 種であった（図 2）。

地表性昆虫のなかで代表的な昆虫であるオサムシ科は、小仏山地では 27 種 460 個体、箱根外輪山 1 回目では 14 種 135 個体、2 回目では 15 種 131 個体が捕獲された。種数は地点により異なり、小仏山地が 0～10 種、箱根外輪山 1 回目が 0～5 種、箱根外輪山 2 回目が 0～8 種であった（図 3）。箱根外輪山では台風の影響により捕獲が大幅に減少したと考えられる。

(8) 今後の課題

各種昆虫の生息状況には林床植生との関係が考えられることから、2022 年度に実施した植生調査委託の結果との解析を行う。次年度には丹沢山地における 3 巡目調査と、箱根外輪山での地表性昆虫の再調査を行う必要がある。3 地域での 3 巡目調査データが揃った段階で、1 巡目からの間伐による林床植生の経年変化に応じた昆虫群集の経年変化を解析する。

(9) 成果の発表

なし

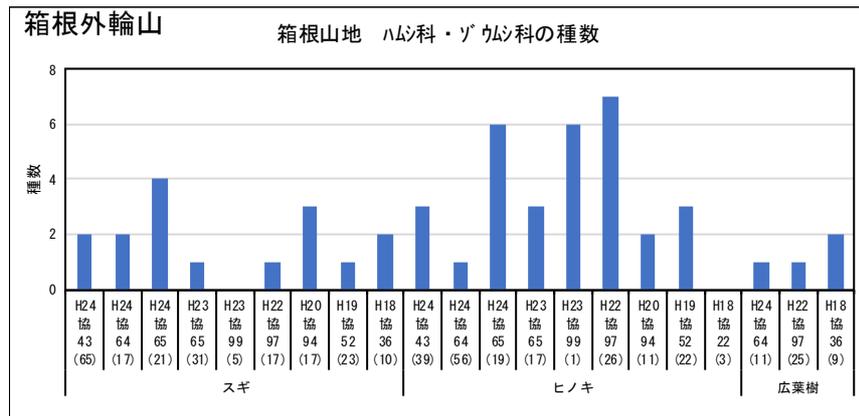
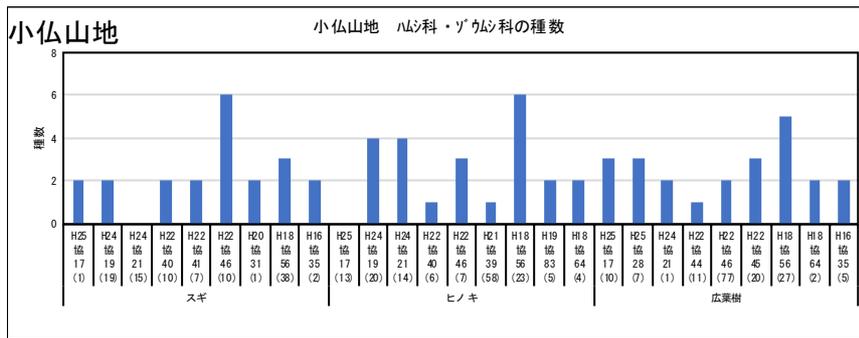


図2 小仏山地（上）と箱根外輪山（下）のハムシ科・ゾウムシ科の食草・食樹別の確認種数

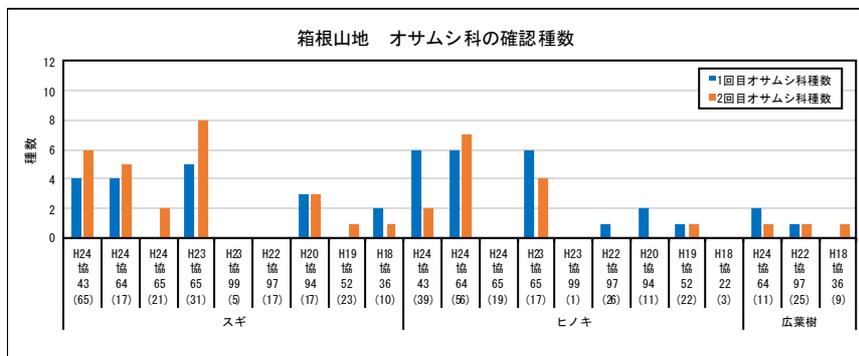
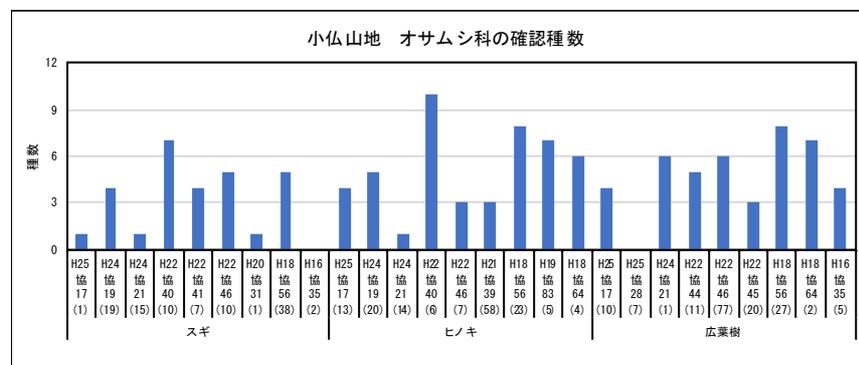


図3 小仏山地（上）と箱根外輪山（下）のオサムシ科の確認種数

(2) 水源林の公益的機能の評価・検証と管理技術の改良

E. 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** Ed. 中大型哺乳類（1）水源林整備地
(2) **研究期間** 平成25年度～令和8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・谷脇 徹

(5) 目的

本課題では、水源林整備地における中大型哺乳類相の出現頻度を把握し、水源林整備による中長期スケールでの植生変化にともない、中大型哺乳類相の生息状況がどう変化していくのか把握するための時系列データの蓄積を目的としており、2022年度は2013年度から4～6年間隔で実施している調査の3回目の夏期調査を小仏山地と箱根外輪山で実施し、2地域の夏の中大型哺乳類各種の撮影頻度を3時点で比較した。特にニホンジカ（以下、シカ）については、定着の初期は分散性の高い雄の比率が高く、その後、定着が進むにつれて定住性の高い雌の割合が高くなるため、性比についても地域間・時点間で比較した。

(6) 方法

①カメラの設置と撮影

2014年、2020年、2022年に小仏山地と箱根外輪山の2地域の水源林整備地の計48地点において、センサーカメラを用いたモニタリング調査を実施した。調査時期は7月～10月の連続する90日間以上とし、各林分に2台の赤外線センサー付き自動撮影カメラを設置した。カメラの設置方法は、立木に約1.5mの高さで固定し、撮影画面上で空（樹木を含む）と地面の面積割合がおおむね2：8になるようアングルを調整した。センサーの感度は中程度としたが、動物が映っていない撮影（空打ち）が多い状況が続く場合には感度を落とす等、適宜調整した。撮影モードは3連写とし、3連写で1回の撮影とみなして中大型哺乳類の各種の撮影個体数を集計した。カメラの点検と撮影データの回収は概ね1ヶ月に1回の頻度で行った。

②動画解析とデータ解析

PCの画面に撮影画像を映し、撮影された種の同定を行い、1回の撮影ごとに調査地名、カメラ番号、日時、撮影された種、撮影個体数等を記録した。哺乳類の和名や学名は原則的に世界哺乳類標準和名（川田ほか2018）に準じた。ただし、「キツネ」と「イヌ」の和名については便宜的にそのまま総称を用いることとした。シカについては、角の有無や尖数、体サイズや体つき等から性齢が判別できた個体を「成獣雄」、「成獣雌」、「幼獣」に区別して記録した。ただし、5分以内に同じカメラで同種が連続して撮影された場合には、身体的特徴から明らかに別個体でない限りは同一個体とみなし、何回撮影されても1回の撮影とみなした。なお、撮影された哺乳類の中で、コウモリ類、ムササビ、ネズミ類、リス類といった飛翔性や樹上性、小型の哺乳類は検出漏れが多いと推測されるため、解析から除外した。

調査地ごとに2台のカメラで撮影された個体数を合算し、100Camera・Day（カメラ数・稼働日数、以下CD）あたりに換算した撮影頻度を算出した。

なお、本年度は中外テクノス(株)に委託しての調査を実施した。

(7) 結果の概要

全調査期間を通して、27,758.5CDで4目11科15種の中大型哺乳類が7,810個体撮影され、シカ、タヌキ、アナグマ、イノシシの順に撮影頻度が高かった（表-1）。小仏山地では15種全てが撮影されたが、箱根外輪山では1～3巡目ともニホンザル、ツキノワグマ、イヌが撮

影されなかった（表-1）。

小仏山地と箱根外輪山とも、1巡目と比較して2巡目のシカの撮影頻度が増加し、中大型哺乳類でシカが最も撮影頻度が高い種となり、特に箱根外輪山の増加が著しかった（図-1）。3巡目の中大型哺乳類全体の撮影個体数に占めるシカの割合は、小仏山地では2巡目とほぼ同程度であったが、箱根外輪山ではさらに高くなった（2巡目：66%→3巡目：77%、図-1）。

また、箱根外輪山と小仏山地とも1巡目から2巡目に成獣に占める雌の割合が高くなっており、特に箱根外輪山でこの傾向が顕著で（図-1）、6年間でシカの定着が急速に進んだと考えられる。3巡目の雌の割合は箱根外輪山と小仏山地ともに2巡目と同程度であった（図-1）。

(8) 今後の課題

- 栄養段階の高次に位置する中大型哺乳類に対する水源林整備の効果は、現段階では、ほとんどの種で確認できていないため、さらなる長期スケールでのモニタリング調査が必要である。また、全地域の全調査地を同時に通年で調査して季節変化を調べる必要がある。
- 本調査地よりも極端に異なる森林整備を施した環境勾配が大きい実験プロットで調査することで、哺乳類への森林整備の効果が見出せる可能性がある。

(9) 成果の発表

大石圭太・山根正伸・谷脇徹・田村淳（2023）神奈川県の水源地整備地における中大型哺乳類の種構成とニホンジカの生息状況．神自環境セ報．17:69-79

表-1 各中大型哺乳類種の撮影頻度（撮影個体数/100CD）

区分	目	科	種	学名	箱根	小仏	全体	
在来種	偶蹄	シカ	ニホンジカ	<i>Cervus nippon</i>	17.7	6.9	11.8	
	食肉	イヌ	タヌキ	<i>Nyctereutes procyonoides</i>	4.3	5.1	4.7	
	食肉	イタチ	アナグマ	<i>Meles anakuma</i>	1.4	6.4	4.2	
	偶蹄	イノシシ	イノシシ	<i>Sus scrofa</i>	3.8	2.0	2.8	
	霊長	オナガザル	ニホンザル	<i>Macaca fuscata</i>		2.1	1.1	
	食肉	イタチ	ニホンテン	<i>Martes melampus</i>	0.3	1.0	0.7	
	兔形	ウサギ	ニホンノウサギ	<i>Lepus brachyurus</i>	0.5	0.6	0.6	
	食肉	イタチ	ニホンイタチ	<i>Mustela itatsi</i>	0.04	0.2	0.1	
	食肉	イヌ	キツネ	<i>Vulpes vulpes</i>	0.01	0.2	0.1	
	偶蹄	ウシ	ニホンカモシカ	<i>Capricornis crispus</i>	0.01	0.1	0.1	
	食肉	クマ	ツキノワグマ	<i>Ursus thibetanus</i>		0.1	0.1	
	外来種	食肉	ジャコウネコ	ハクビシン	<i>Paguma larvata</i>	1.6	1.4	1.5
		食肉	アライグマ	アライグマ	<i>Procyon lotor</i>	0.01	0.5	0.3
食肉		ネコ	イエネコ	<i>Felis catus</i>	0.1	0.4	0.2	
食肉		イヌ	イヌ	<i>Canis lupus</i>		0.02	0.01	

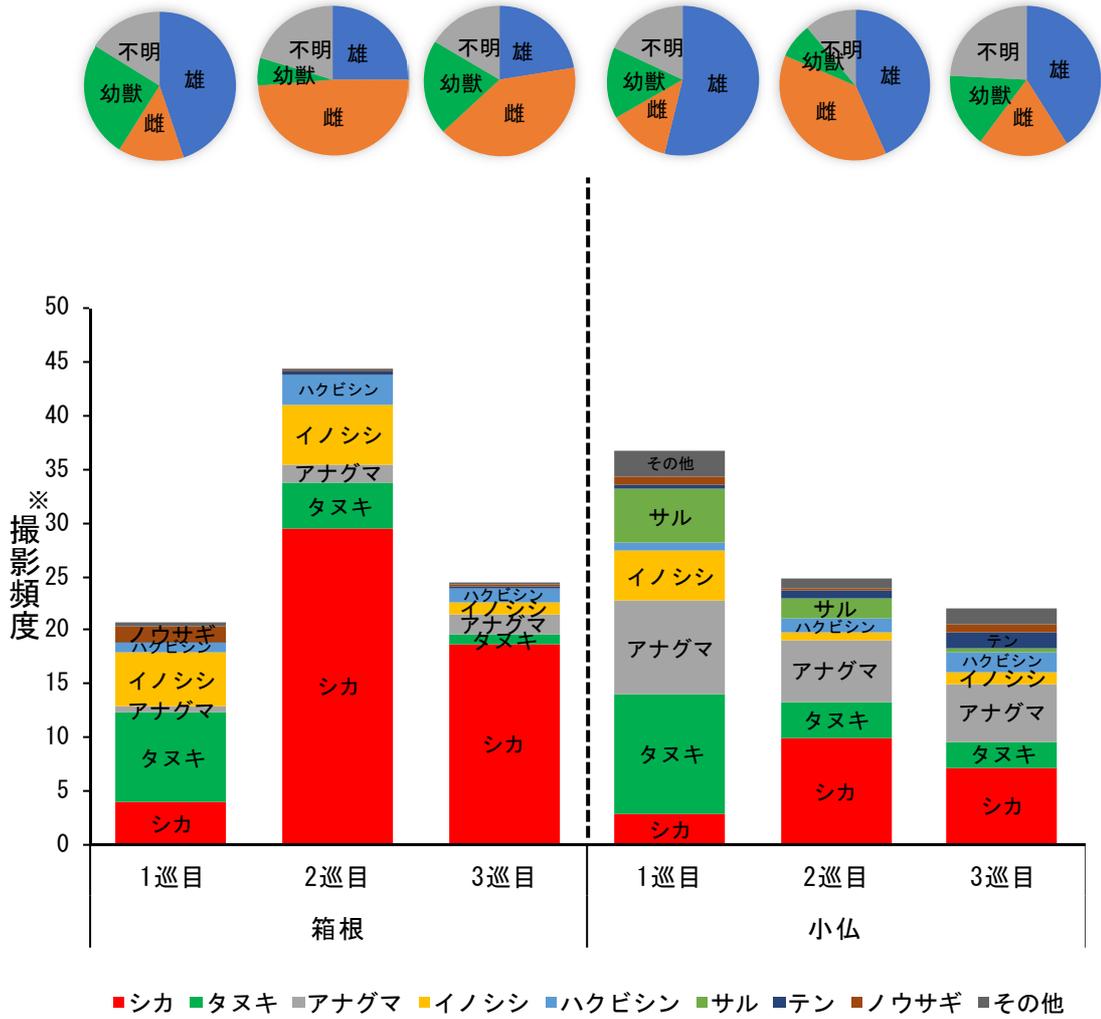


図-1 地域ごと・時点ごとの中大型哺乳類の撮影頻度(棒グラフ)とシカの性比(円グラフ)

2) 水源林の公益的機能の評価・検証と管理技術の改良

E. 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** Ee. 中大型哺乳類 (2) 水源地域ブナ林
- (2) **研究期間** 平成 25 年度～令和 8 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

本研究では、シカの管理捕獲に関わる基礎資料を得るため、2003 年から管理捕獲が継続して実施されている丹沢山堂平地区において、赤外線センサー付き自動撮影カメラを設置し、シカの月ごとおよび時間帯ごとの撮影頻度を算出した。また、撮影された動画から採餌等の行動の撮影頻度を記録した。シカ以外に撮影された中大型哺乳類の撮影頻度についても基礎資料として併せて報告する。

(6) 方法

①カメラの設置と撮影

調査は、2019 年 9 月～2022 年 11 月に、丹沢山の堂平地区（神奈川県愛甲郡清川村、標高約 1,200m）のブナ林で行った。獣道を通過する動物を狙って撮影するよう、10 台の赤外線センサー付き自動撮影カメラ（以下、カメラ）を設置した。カメラの設置方法は、立木に約 1.5m の高さで固定し、撮影画面上で空（樹木を含む）と地面の面積割合がおおむね 2:8 になるようアングルを調整した。撮影モードは 1 分間の動画撮影とし、次の撮影までのインターバルは「0 秒」とした。センサーの感度は中程度としたが、空打ちが多い状況が続く場合には感度を落とす等、適宜調整した。電池および記録媒体は約 1～3 ヶ月おきに交換した。

②動画解析とデータ解析

PC の画面上で自作の動画解析プログラムにより撮影動画を再生し、撮影された種の同定を行い、1 回の撮影ごとに、カメラ番号、日時、撮影された種、撮影個体数等を記録した。5 分以内に同種が連続して撮影された場合には、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、何回撮影されても 1 回の撮影とみなした。なお、撮影された哺乳類の中で、コウモリ類、ネズミ類、リス類といった飛翔性や樹上性、小型の哺乳類は検出漏れが多いと推測されるため、解析から除外した。

シカについては撮影個体の行動についても記録した。地面に鼻先を近づけて地表を探っている「採餌」、カメラの前を歩行または走って通り過ぎていく「素通り」、および「その他」の行動別に撮影個体数を算出した。

設置した 10 台のカメラで撮影された個体数を合算し、100Camera・Day（カメラ数・稼働日数、以下 CD）あたりに換算した撮影頻度を算出した。

なお、2019 年 9 月～2020 年 5 月の動画は直営で解析し、2020 年 5 月～2022 年 11 月の動画は新日本環境調査(株)に委託して解析を行った。

(7) 結果の概要

①シカの撮影頻度

全調査期間を通した 11,491.5CD でシカは 7,443 個体撮影された。月ごとのシカの撮影頻度は 8.2～127.7（撮影個体数/100CD）で推移した（図-1）。時間帯ごとの撮影頻度は、3～12 月では、概ね毎年同じ傾向を示し、日の出と日の入り前後の薄明薄暮の時間帯がピークで、正午前後の撮影はほとんどなかった。これに対して、1～2 月では日中の撮影頻度が高かった。これらの結果は本調査地周辺での管理捕獲の実施に適した時期・時間帯の判断材料になると考えられ

る。

「採餌」行動が観察された個体数は全撮影個体数の 58.2%を占め、採餌が最も多く記録された行動であった。次いで「素通り」が 38.4%、「その他」が 3.4%記録された。月ごとの採餌の撮影頻度は 2.1~102.3 と変動が激しかったが、特に 2020 年 7~9 月は採餌の撮影頻度が最も高く（図-1）、調査期間中の調査地点ではこの時期にシカによる採食圧が最も高かったと推測される。また、採餌行動を示す個体は夏だけでなく冬にも観察され、通年で調査地点を餌場として利用していたと考えられる。

②中大型哺乳類各種の撮影頻度

本研究全体で 3 目 8 科 12 種の中大型哺乳類が計 9,849 個体撮影された。撮影頻度はシカが最も高く、中大型哺乳類全体の 75.6%を占め、撮影頻度は 64.8（撮影個体数/100CD）であった（表-1）。その他、アナグマ、イノシシ、キツネ、ニホンテンの撮影頻度が高かった（表-1）。

(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、解析動画の絞り込みや動画判定などを自動的に実行するプログラムを導入して更に省力化していくことが重要である。

(9) 成果公表

大石圭太・雨宮 有・山根正伸（2023）丹沢山地堂平地区のブナ林におけるニホンジカの採餌行動と中大型哺乳類の撮影記録。神自環保セ報 17:81-84

表 1 各中大型哺乳類種の撮影状況

目	科	種	学名	撮影個体数	*撮影頻度	%
偶蹄	シカ	ニホンジカ	<i>Cervus nippon</i>	7,443	64.77	75.57
食肉	イタチ	アナグマ	<i>Meles anakuma</i>	1,176	10.23	11.94
偶蹄	イノシシ	イノシシ	<i>Sus scrofa</i>	376	3.27	3.82
食肉	イヌ	キツネ	<i>Vulpes vulpes</i>	370	3.22	3.76
食肉	イタチ	ニホンテン	<i>Martes melampus</i>	207	1.80	2.10
食肉	イヌ	タヌキ	<i>Nyctereutes procyonoides</i>	195	1.70	1.98
食肉	ジャコウネコ	ハクビシン	<i>Paguma larvata</i>	43	0.37	0.44
食肉	クマ	ツキノワグマ	<i>Ursus thibetanus</i>	19	0.17	0.19
食肉	イタチ	ニホンイタチ	<i>Mustela itatsi</i>	7	0.06	0.07
偶蹄	ウシ	ニホンカモシカ	<i>Capricornis crispus</i>	6	0.05	0.06
食肉	イヌ	イヌ	<i>Canis lupus</i>	4	0.03	0.04
兔形	ウサギ	ニホンノウサギ	<i>Lepus brachyurus</i>	3	0.03	0.03
計				9,849	85.71	100.00

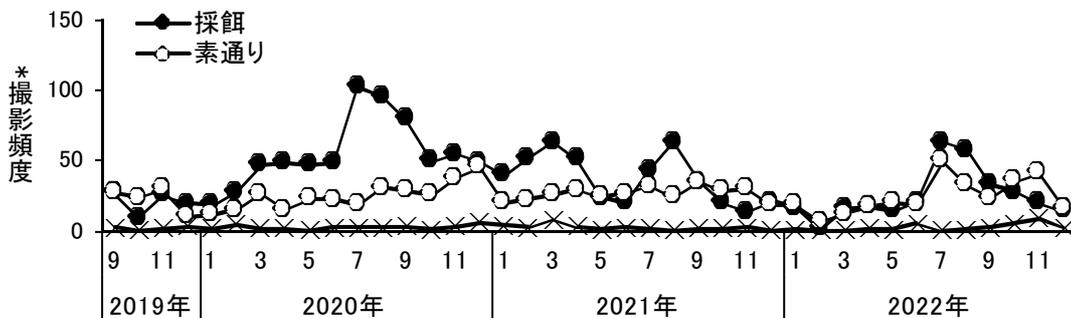


図-1 各月のシカの行動ごとの撮影頻度

※撮影頻度は 100CD あたりの撮影個体数を示す（表 1 も同様）。

(2) 水源林の公益的機能の評価・検証と管理技術の改良

E. 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 Ef. 小型哺乳類(1) 水源地域ブナ林の生息状況
- (2) 研究期間 平成25年度～令和8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の多様性を高める効果があり、その効果で昆虫類の多様性が向上することが分かってきたが、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息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

2019～2022年の9月と10月、2021年7月の計9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(Site A, B)を設け、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-3)。本調査地はSite AとBともに柵外と比較して柵内の林床植被率が高かった(図-4)。



図-3. 調査地概略

① 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、罠を落ち葉等で被った。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)。アカネズミとヒメネズミの生息状況は100トラップナイトあたりの捕獲回数に換算した捕獲頻度で評価した。なお、2019年9、10月、2020年9月、2021年7月は直営で実施し、2020年10月は新日本環境調査(株)、2021年9、10月は(株)CTIリード、2022年は(一財)自然環境研究センタ

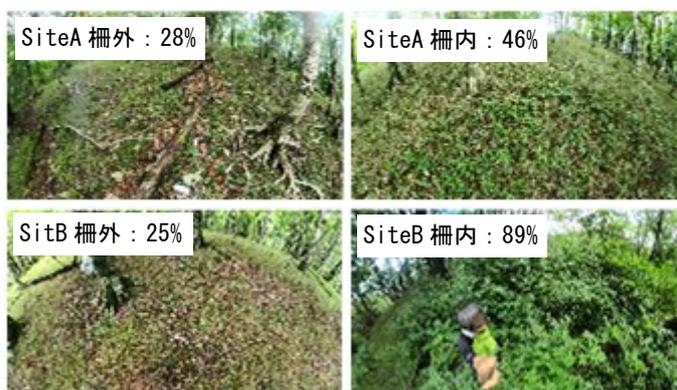


図-4 各サイトの柵内外の下層植生状況
(写真内の割合は各トラップ周辺の林床植被率の平均値を示す)

一に委託して実施した。

(7) 結果の概要

全調査期間を通した 2,097 トラップナイトで、アカネズミが 101 回、ヒメネズミが 103 回捕獲された。その他の小型哺乳類では、スミスネズミとヒミズが計 10 回ずつ捕獲された。アカネズミとヒメネズミの捕獲頻度は月による変動はほとんどなかった。一方、年による変動は大きく、2022 年はヒメネズミの捕獲頻度が全調査期間を通して最も低かった (図-5)。しかし、2019~2021 年でみられたアカネズミとヒメネズミの捕獲頻度が柵外よりも柵内で高い傾向は、2022 年も同様に認められた (図-6)。

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・発達には森林性野ネズミの生息を促す効果があることが示唆される。

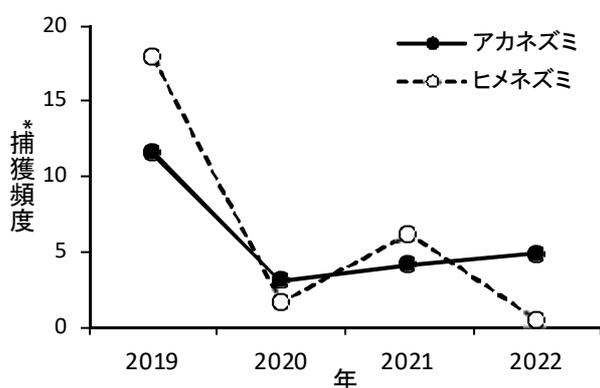


図-5 調査地全体の年ごとのアカネズミとヒメネズミの捕獲頻度

*捕獲頻度：100 トラップナイトあたりの捕獲回数

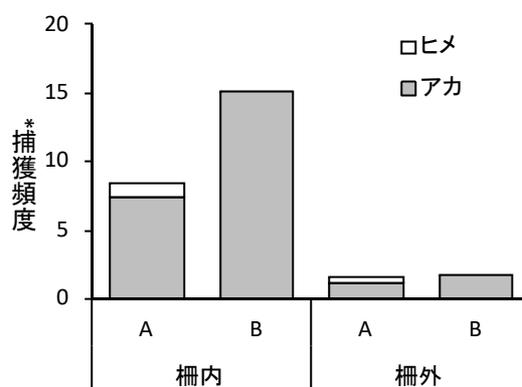


図-6 2022 年度の各サイトの柵内外のアカネズミとヒメネズミの捕獲頻度

*捕獲頻度：100 トラップナイトあたりの捕獲回数

(8) ■今後の課題

本調査地周辺には多数の植生保護柵が設置されており、柵ごとに下層植生の発達状況や種構成が異なるため、他の柵でも捕獲調査を実施し、下層植生の違いに応じた野ネズミの生息状況の違い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

E. 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** Eg. 小型哺乳類 (2) **水源林整備地の生息状況**
(2) **研究期間** 平成 25 年度～令和 8 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・谷脇 徹

(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の生息環境改善への効果について、前述のように、植生保護柵設置の効果によりアカネズミとヒメネズミが増加することが示唆された。また、丹沢山地エリアの水源林整備地のスギまたはヒノキの人工林で実施した昨年度までの調査で、間伐施業による下層植生の回復・発達がこれらの野ネズミの生息環境を改善することを示唆する結果が得られた。

本年度は、箱根外輪山と小仏山地の水源林整備地でも下層植生状況と野ネズミの生息状況を調べたため、継続調査を実施した丹沢山地の結果と併せて報告する。

(6) 方法

②調査期間と調査地

箱根外輪山の針葉樹人工林（スギ林またはヒノキ林）の 18 林分、広葉樹林の 9 林分、小仏山地の針葉樹人工林の 18 林分、広葉樹林の 3 林分からそれぞれ 2 巡目の植生調査で林床植被率が極端に異なった地点を 3 林分ずつ（計 12 林分）、野ネズミの調査地として選び、2022 年 9 月上旬～中旬に野ネズミの標識再捕獲調査を実施した。また、丹沢山地でも、昨年まで調査を実施していた 6 林分のうち、針葉樹人工林の T-1 と T-3、広葉樹林の T-6 の計 3 林分で、昨年同様、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）の標識再捕獲調査を実施した。

②方法

箱根外輪山と小仏山地では各林分に 15 個（3×5）ずつ、丹沢山地では 25 個（5×5）ずつのシャーマン式生け捕り用トラップ（8×23×9 cm）を 10m 間隔の格子状に設置し、1 回につき 5 夜連続の標識再捕獲調査を実施した。なお、箱根外輪山と小仏山地の調査は中外テクノス(株)、丹沢山地の調査は(株)CTI リードに委託して実施した。

各調査地の野ネズミの生息状況の比較のため、罠が作動しなかった等、不具合のあった無効トラップを除いた 100 トラップナイトあたりの捕獲個体数を捕獲頻度として算出した。

(7) 結果の概要

3 地域合計の 1,853 トラップナイトで、アカネズミの捕獲頻度は、箱根外輪山が 6.9（捕獲個体数/100 トラップナイト）、小仏山地が 16.6 で、両地域ともヒメネズミは捕獲されなかった。丹沢山地ではアカネズミの捕獲頻度が 17.7、ヒメネズミが 3.4 であった。3 巡目の箱根外輪山と小仏山地の調査地の下層植生は、全体的に林床植被率が 2 巡目より高くなっており、20%を下回るような極端に林床植被率が低い調査地がなくなっており、調査地間の差が小さくなっていった（表-1）。そのため、林床植被率と野ネズミの捕獲頻度に関係性はみられなかった。これに対して、低木層は植被率が 90%の調査地から植被がほとんどない調査地までみられ（表-1、図-1）、低木層の植被率が高い調査地ほど野ネズミの捕獲頻度が高い傾向がみられた（表-1、図-2）。

(8) ■今後の課題

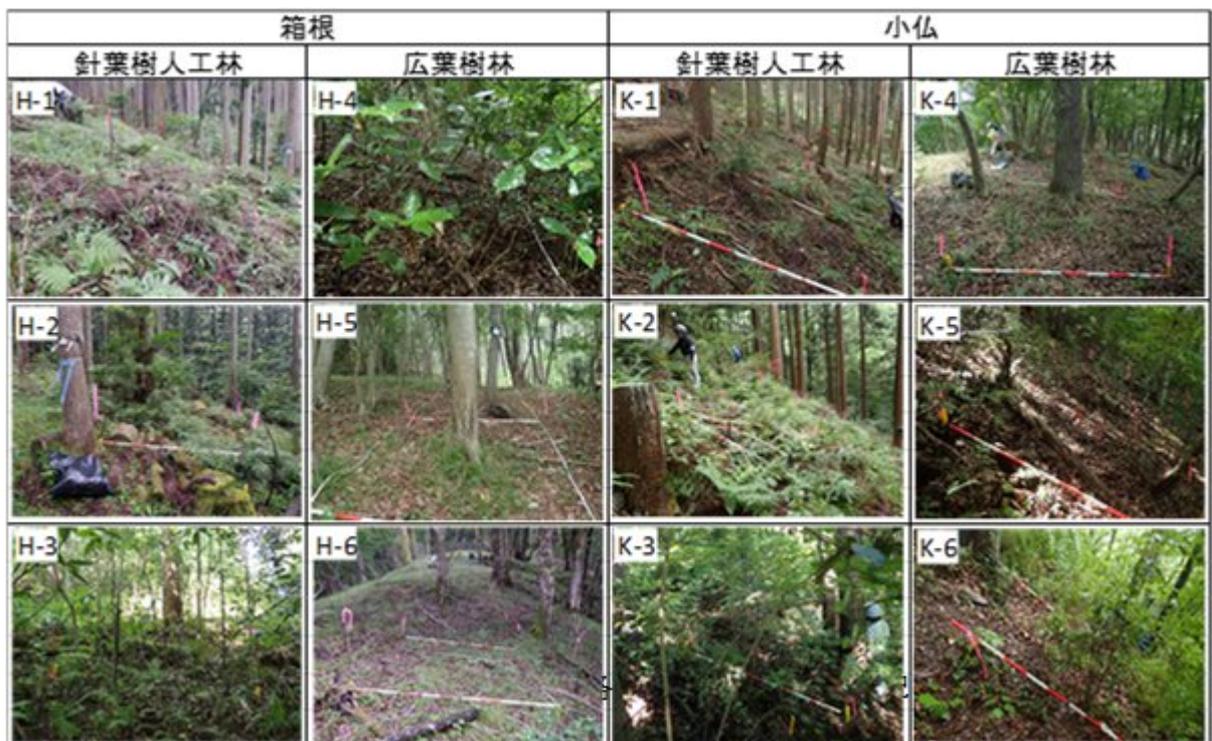
森林性野ネズミの個体数密度は主要な餌であるブナ科堅果の豊凶や気候等の要因により、年次変動が激しいことが知られている。そのため、特に、単年度の調査しか実施していない箱根外輪山と小仏山地の調査地では来年度も継続調査を実施し、今回得られた傾向の一般性を確保する必要がある。

(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

表-1 各調査地の林相と2巡目と3巡目の下層植生の植被率

地域	林相	調査地名	植被率(%)		
			3巡目(2022年)		2巡目
			低木層	林床	林床
箱根	針葉樹人工林	H-1	20	76	48
		H-2	30	63	65
		H-3	60	64	81
	広葉樹林	H-4	80	23	18
		H-5	20	37	34
		H-6	30	76	54
小仏	針葉樹人工林	K-1	—	33	1
		K-2	5	61	23
		K-3	90	30	46
	広葉樹林	K-4	—	35	16
		K-5	70	27	31
		K-6	70	40	34



74号、神奈川県森林協会 2021年7月

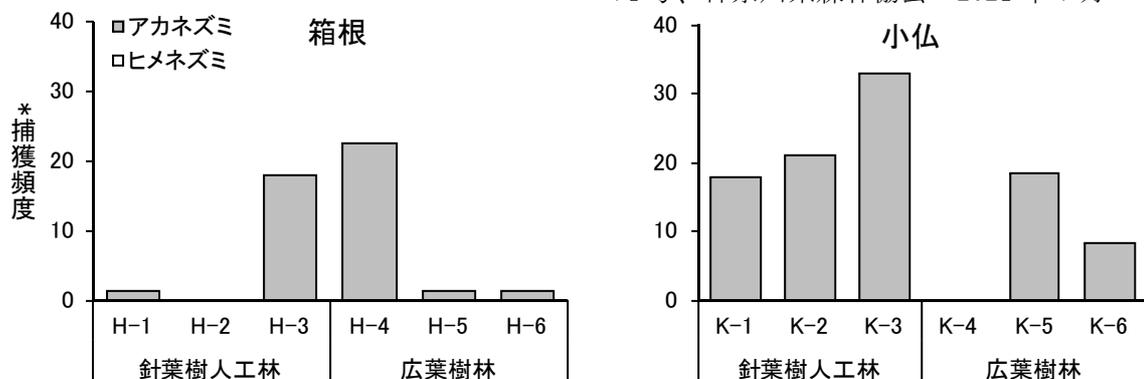


図-2 人工林と広葉樹林の各調査地のアカネズミとヒメネズミの捕獲頻度
*捕獲頻度：100トラップナイトあたりの捕獲回数

(2) 水源林の公益的機能の評価・検証と管理技術の改良

E. 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 Eh. 小型哺乳類 (3) 食性
(2) 研究期間 平成 25 年度～令和 8 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

本研究では、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ことを目的として糞分析を実施してきた。昨年度までの植物性の餌を対象とした DNA メタバーコーディング解析により、丹沢地域の水源林整備地の人工林や高標高のブナ林において、下層植生が発達した地点ほど餌となる植物種数が多く、下層植生が餌場として機能しており、森林整備や植生保護柵の設置の効果で下層植生が発達することで野ネズミの生息環境が改善することを示唆する結果が得られた。本年度は、これまでの調査地域に加えて、新たに箱根外輪山と小仏山地の水源林整備地でもアカネズミとヒメネズミの食性調査を実施した。また、雑食性であるこれらの野ネズミの餌としての植物の重要性を評価するため、DNA メタバーコーディング解析の結果に加え、窒素と炭素の安定同位体比分析により植物性の餌と動物性の餌の割合を把握することを試みた調査の結果も併せて報告する。

(6) 方法

① 調査地とサンプリング期間

- ・箱根外輪山と小仏山地：9 月上旬～中旬の 1 回
- ・丹沢山地：6 月下旬～11 月上旬の 3 回
- ・ブナ林：9 月上旬～10 月上旬の 2 回

② 方法

② -1) 糞便のサンプリング

前述の標識再捕獲調査の際に、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糞便を掬い取り、糞便が付着した匙ごとビニール製の密閉袋に封入した。採取した糞便は、解析まで-20℃以下で保存した。



図-1 自作の糞採取キット

③ -2) DNA メタバーコーディング解析

全調査地の計 109 サンプルの糞便について、植物性と動物性の餌の解析を実施した。サンプルを凍結粉碎し、各種溶液を用いて DNA を抽出した。DNA 解析では、陸生植物と底生生物全般をターゲットとした解析用に開発されたプライマーをそれぞれ用いて 2 step tailed PCR 法により、解析対象の DNA 領域（約 300bp）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



図-2 糞便のサンプリング

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)に委託して実施した。

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。また、本調査地に生育していないヒマワリのDNAについては誘因用に罌に入れた種子由来と判断し、解析から除外した。

表-1 2022年度に解析した糞便のサンプル数

地域 地区	林相	調査 地名	アカネズミ		ヒメネズミ		
			DNA		安定同 位体比	DNA	
			植物性	動物性		植物性	動物性
丹沢	針葉樹人工林	T-1	11	11			
		T-3	10	10	9	9	
		広葉樹林	9	9	6	6	
箱根	針葉樹人工林	H-1	1	1	1		
		H-2					
		H-3	6	6	5		
	広葉樹林	H-4	7	7	5		
		H-5	1	1	1		
		H-6	1	1	1		
小仏	針葉樹人工林	K-1	7	7	5		
		K-2	9	9	5		
		K-3	9	9	5		
	広葉樹林	K-4					
		K-5	8	8	4		
		K-6	5	5	4		
堂平	ブナ林	A	6	6			
		B	4	4			

②-3) 安定同位体比分析

②-2) の DNA メタバーコーディング解析を実施した箱根外輪山と小仏山地のアカネズミの 54 サンプルのうち 36 サンプルを分析した (表-1)。サンプルごとに専用のテストチューブに封入して有機溶剤により脱脂し、凍結乾燥後に粉砕した。炭素と窒素の安定同位体比の測定は元素分析計 (Thermo Scientific Flash 2000 Organic Elemental Analyzer) と安定同位体比質量分析計 (Thermo Scientific Delta V Advantage Isotope Ratio MS) を用いて標準試料と比較して計測した。計測結果の精度は各サンプル間の標準試料の計測結果のバラツキで確認した。

(7) ■結果の概要

DNA メタバーコーディング解析では、植物性の餌 (ヒマワリを除く) は 109 サンプルのうち 106 サンプルで検出されたが、動物性の餌は 22 サンプルで検出されたのみであった。このことから、本調査地に生息するアカネズミとヒメネズミの主要な餌は植物で、動物性の餌は不定期に摂食する程度の利用に留まっていると推測される。

安定同位体比分析では、各サンプルの窒素の安定同位体比 ($\delta^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$) が 1.8~13.4‰、炭素の安定同位体比 ($\delta^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$) が -29.8~-25.6‰であった。植物由来の物質と比較して動物由来の物質は窒素と炭素の安定同位体比の値が大きくなる性質があるが、今回の解析では DNA メタバーコーディング解析で動物性の餌が検出されたサンプルの安定同位体比が大きくなる傾向はみられなかった。この要因としては、糞に含まれるホスト (アカネズミ) 由来の組織が多いことや同一サンプル内でも排泄されるタイミングが異なっていることなどが考えられる。

(8) ■今後の課題

飼育実験により、植物性の餌のみを与えて得られた糞と動物性の餌のみを与えて得られた糞の安定同位体比分析を実施して基準値を決める必要がある。

(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

(2) 水源林の公益的機能の評価・検証と管理技術の改良

E. 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 **Ei. 小型哺乳類（4）行動圏調査手法の検討**
(2) 研究期間 **平成 25 年度～令和 8 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

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電子機器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いる。近年新たな受信手法としての発展が目覚ましいソフトウェア無線機（SDR）が、以前と比べて安価になり、動物調査でも実用可能な段階になった。そこで、本年度は、昨年度に開発を進めたアレイアンテナを用いた電子スキャン方式の追跡装置に組み込むソフトウェア無線機の性能検証を行った。それと同時に従来方法であるハンディタイプの八木アンテナとアナログ無線機を用いてアカネズミの巣穴の探索を実際に森林内で実施し、自動追跡装置の必要性の確認や仕様の検証材料とした。

(6) 方法

①ソフトウェア無線機を用いた追跡装置の性能の検証

昨年度の試験で 4 本のアレイアンテナで受信するよりも 5 本で受信した方が、受信性能および方位の推定精度が向上することが分かった。そこで、5 本のアレイアンテナの接続に対応したソフトウェア無線機としてコスト面や本体サイズを考慮して、アメリカ製の KrakenSDR（2021 年販売開始、図-1）を採用し、性能を検討した。



図-1 KrakenSDRを用いた追跡装置

②従来方法でのアカネズミの巣穴探索

南側にスギ人工林が隣接した広葉樹林（捕獲調査地の T-6）で実施した。前述の標識再捕獲調査で捕獲頻度が高かった 6 個体（表-1）を追跡対象とし、麻酔下で動物追跡用小型電子機器（Holohil 社製：BC-2）を皮下に埋め込み、捕獲地点に放した。小型電子機器の装着は（株）CTI リードに委託して獣医師が行った。2021 年 11 月 15 日～2022 年 12 月 11 日（表-1）の昼間に、ハンディタイプの八木式アンテナおよびアナログ無線機を用いて巣穴の位置を定位した。定位方法は、各個体からの信号が強くなる方向に進み、最も強く信号を受信した地点を巣穴の位置とみなした（約 2mの精度と推定される）。夜行性のアカネズミは、昼間は巣穴から動かないため、昼間の巣穴であればこの方法で探索可能である。これらの巣穴の位置および標識再捕獲調査での捕獲位置（夜間の訪問地点）を合わせて、個体ごとに最も離れた 2 点間距離を各個体の「移動距離」とした。

(7) 結果の概要

①ソフトウェア無線機を用いた追跡装置の性能の検証

KrakenSDR は、起動するためのプログラムがオープンソースとなっており、公開されているプログラムで動作できた（図-2）。また、専用の 5 本のアレイアンテナがセットとなった製品であり、取り扱いが容易で、実際に動物追跡用小型電子機器からの信号を受信できた（図-2）。

ただし、受信可能な距離は 20m未満で、野ネズミの行動追跡での実用化にはまだ不十分であ

り、低ノイズ増幅器の接続等の検討が必要であった。

②従来方法でのアカネズミの巣穴探索

追跡した6個体の移動距離は29~98mで(表1、図3)、最低でも約100mの距離を移動した個体があったことが明らかとなった。しかし、これらのうち3個体は、南の尾根付近でも信号を受信できたが、崖等の地形の影響で信号が強くなる方向へ進むことが困難な場所があり、2mの精度での定位が出来なかった(図3)。この時の定位の精度は受信強度から推測して約20~30mの範囲と推測されるが、これらの定位点も含めると、150m以上移動した個体もいたと推定される。これらのことから、調査者が立ち入ることが困難な場所でも定位が可能となるという点でも、自動追跡装置の実用化の意義は大きいということが分かった。

(8) ■今後の課題

自動追跡装置への増幅器の接続を検討し、受信性能を向上させ、野ネズミの行動を把握するために十分な追跡可能距離を確保する必要がある。

(9) ■成果の発表 なし

表1 各追跡個体の移動距離

個体ID	性	追跡期間	移動距離*
6-48	♂	2021/11/15-12/2	29m
6-60	♂	2022/9/5-8	70m
6-72	♂	2022/9/5-10/1	53m
6-70	♀	2022/11/2-18	61m
6-81	♀	2022/11/2-4	51m
6-84	♂	2022/11/4-12/11	98m

*移動距離は約2mの精度で定位できた点のうち、最も遠い2点間距離を示す。



図2 KrakenSDRによる信号受信(上)と方探の様子(下)

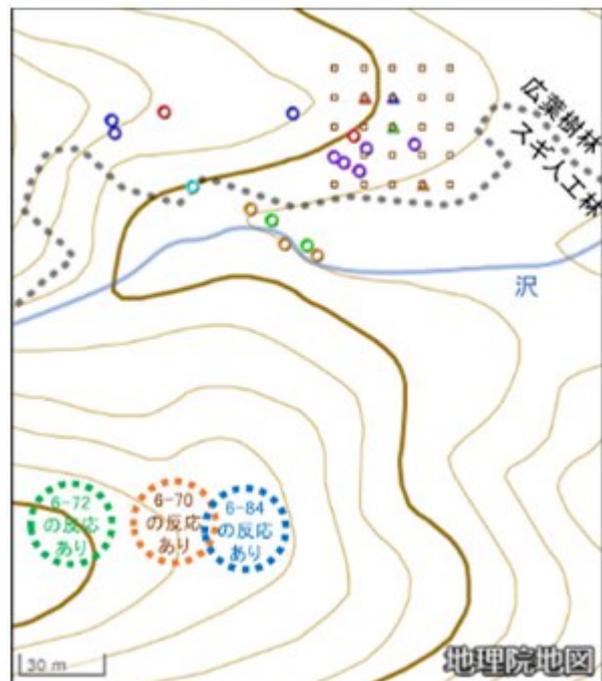


図3 各個体の定位点の位置図
○：巣穴、△：捕獲位置