

(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

2011 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 2012 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、2013 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）。

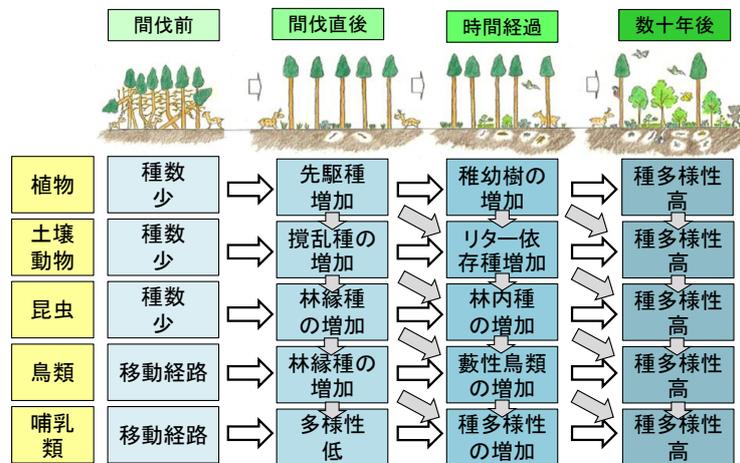


図-1 間伐に伴う林相の変化とそれに関連した生物多様性の変化モデル

(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林分（プロット）を計 86 地点選んだ（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期と同一の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。2020年度は小仏山地と箱根外輪山にて2巡目の補足調査および丹沢山地にて野ネズミの生息状況調査を行った(表-2)。小仏山地と箱根外輪山の調査は新日本環境調査(株)に、一巡目の総合解析の一部を東京農工大学に委託して行った。

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				
	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
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		補足調査
箱根外輪山	本調査			総合調査		総合調査				
						追跡調査				

※鳥類調査は2017年に小仏山地と箱根外輪山、2018年に丹沢山地にて追跡調査を先行して実施

## (8) 2020年度結果の概要

2020年度は、3地域の2時点のデータが得られたため、モニタリング結果の中間とりまとめを行うとともに、哺乳類相への影響を調べる野ネズミの生息状況を行った。

森林管理と植生の関係では、共分散構造方程式モデリング解析を行った結果、水源林整備は林床植生被度や植生多様性を高めることに一定の効果があるが、同時にシカ生息数を増やす効果があり、増えたシカが植生に弱い負の影響を及ぼすため、全体としては水源林整備の効果が若干低下していることが示唆された。

昆虫の生息状況では、下層植生の植物種数が多く植生率の高いところでハムシ、ゾウムシ類の種数と個体数が多く、水源林では間伐率が低めに抑えられているものの、植生率や植物種数の増加を通じて林床に生息する昆虫の種多様性を高める効果を確認した。

自動撮影カメラによる中大型哺乳類の生息状況調査からは、前回調査とほぼ同じ、7目15科20種の哺乳類が確認され、シカの撮影頻度が最も多かった。地域別では、小仏山地と箱根外輪山では夏と冬ともシカの撮影数が増加しており、特に箱根外輪山の夏の増加が著しく、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。小仏山地では、成獣の雄の割合が高く、侵入初期段階であることが示唆され、これに対して、箱根外輪山では雌の割合が高く定着がすでに進んでいると考えられた。

野ネズミの生息状況調査からは、全調査期間を通して下層植生の植生率が高く、出現種数が多い地点ほど捕獲頻度が高く、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分かった。

#### **(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に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。そのため、調査手法（時期、頻度）の改善・見直し、調査地の絞り込み等、試験設計の修正についても検討し、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、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 植物（林床植生・林分構造）
- (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) 目的

2 巡目までの調査で得られた水源の森林エリアのスギ林・ヒノキ林の各種結果を用いて、森林管理状態と植生の関係について、シカの影響も含めて評価することを目的とした。

(6) 方法

2 巡目までの人工林調査地におけるモニタリングデータを整理し、森林管理に関する観測変数、植生状態に関する観測変数、シカに関する観測変数を用いて、森林管理、植生、シカ生息状況の3つの潜在変数を設定し従来の知見を踏まえてモデルを構築し、共分散構造方程式モデリング (SEM) 解析を行った。

(7) 結果の概要

SEM 解析を試行錯誤的に行った結果、比較的当てはまりの良い2つのモデルを得ることができた(表1、図1)。

モデルから、水源林整備は下層植生被度や植生多様性を高めることに一定の効果があるが、同時にシカ生息数を増やす効果があり、増えたシカが植生に弱い負の影響を及ぼすため、全体としては森林管理の効果が若干低下していることを示唆していると考えられた。

(8) 今後の課題

2 巡目までの結果を用いて森林整備が昆虫、鳥類、哺乳類に及ぼす影響について同様な解析を行うとともに、3 巡目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

表-1 水源林整備地人工林における森林管理、植生、シカ生息状況に関する構造方程式モデリング (SEM) 解析の試行結果

	モデル構造	P-value (Chi-square)	Comparative Fit Index (CFI)	RMSEA	SRMR
モデル1	Fmn(森林管理指標) = ~ F.O(開空度)+T_1 (1回目間伐後の経過年) +F.D (成立本数) +S.B (灌木断面積合計)	0.035	0.674	0.080	0.080
	DEE(シカ密度指標) = ~ Deer.SMR (夏期撮影頻度)				
	Veg (植生指標) = ~vg(植被率)+rg(耐性種被度)+V.S (多様度指数)				
	Veg ~ Fmn				
	DEE ~ Fmn				
モデル2	Fmn=~F.O+T_1+F.D+S.B	0.137	0.826	0.065	0.067
	DEE=~D.S				
	Veg=~v.c+V.S				
	Veg~Fmn				
	DEE~Fmn				
	Veg~DEE				

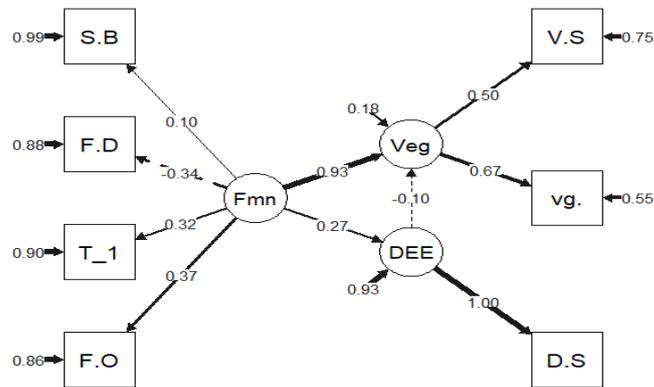
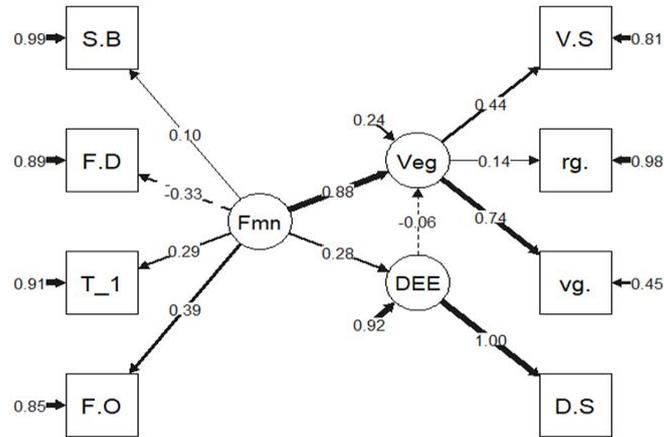


図-1 森林管理が下層植生に与えた影響に関する共分散構造方程式モデル（試行結果）

枠内の文字は変数名（表-1 参照）を示し、□は観測変数を、○は潜在変数を表している。

変数横の数字は誤差の分散、矢印の数字は、変数間の関係を示す係数推定値

## (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 林床性昆虫・地表性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～**  
(3) 予算区分 **森林環境調査費**  
(4) 担当者 **山根正伸・谷脇 徹・大石圭太**

#### (5) 目的

神奈川県の水源の森林エリア（スギ林・ヒノキ林・広葉樹林）で行われている間伐が林床に生息する昆虫類「林床性昆虫」と地表を徘徊する昆虫類「地表性昆虫」の種多様性に及ぼす影響を評価することを目的とした。

#### (6) 方法

3地域における2巡目の調査結果が出そろったので、林床性昆虫と地表性昆虫の種数について、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林床性昆虫と地表性昆虫の種数の関係について解析した。

なお、調査地の林床性昆虫調査は、6月に捕虫網を用いて20m×20mのコドラート内およびその周囲の林床植生を対象に15分間スweepingを行い、持ち帰ったサンプルをソーティングし、ハムシ科およびゾウムシ科は種レベルで同定し、その他は主要なグループに分類し、個体数を計測した結果である。

また、地表性昆虫調査は、9月に20m×20mのコドラート内にプラスチックカップ（径8.0～8.5cm）のピットフォールトラップを可能な限り等間隔で1林分当たり30個設置し、おおよそ1週間経過したのちに回収し、ソーティング、同定し、個体数を計測した結果である。



図-1 林床性昆虫群集調査風景

#### (7) 結果の概要

林床性昆虫に関しては、植被率および植物種数の増加にともなって植食性の甲虫（ハムシ・ゾウムシ類）の種数が増加し、この傾向はつるや草本の葉を食べるタイプより、樹木の葉を食べるタイプで顕著に認められた（図-2）。

林床植生上のアリ類では、植被率の増加にともなって広範囲の環境に生息できるタイプの種数が増加したが、同様の反応は開放地や森林に生息するタイプではみられなかった。

一方、地表徘徊性の甲虫（オサムシ・ゴミムシ類）については、植被率の増加にともなって大型タイプのみで種数の増加が認められた。

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、食物資源の増加（ハムシ・ゾウムシ、アリ）、営巣場所の増加（アリ）、隠れる場所など好ましい生息環境の増加（大型オサムシ）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を用いて上位の分類群への影響について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

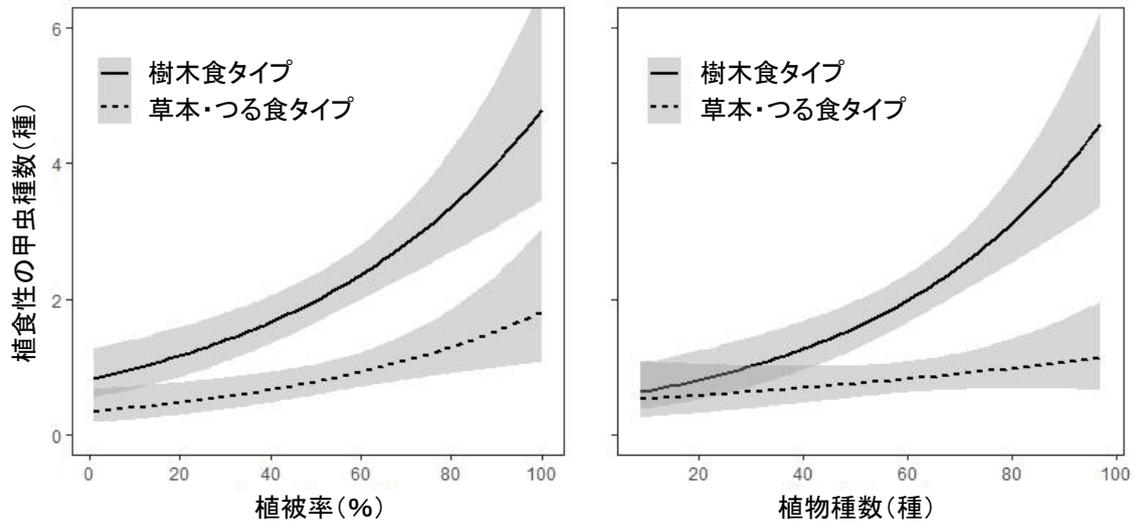


図-2 林床植生の植被率および植物種数と植食性甲虫（ハムシ・ゾウムシ）の種数との関係  
網掛けは95%信頼区間

## (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 中大型哺乳類（1）水源林整備地**  
(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

本課題では、水源林整備地における中大型哺乳類相の利用状況と出現頻度を把握し、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、2020年度は2013年から実施している調査が各地点4～6年間隔で2回ずつ完了したことを踏まえ、総括としてニホンジカ（以下、単に「シカ」）を中心に、神奈川県の水源地エリアの中大型哺乳類相の地域比較および時点比較を行った。

#### (6) 方法

水源林エリアの丹沢山地、箱根外輪山、小仏山地の3エリアの水源地整備地の計80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。5月～10月を夏、11月～4月を冬とし、表-1に示すとおり2013年度から2020年度にかけて、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、夏と冬に1回につき90日間以上の調査をそれぞれ4～6年間隔で2回ずつ実施した。撮影モードは3連写としたが、3連写で1回の撮影とみなし、各哺乳類種の撮影個体数を集計した。ただし、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回目の撮影以降は集計から除外した。地域間、時点間でカメラの設置台数及び設置日数が異なるため、100カメラ・稼働日（Camera・Day、以下CD）あたりに換算した撮影個体数を「撮影頻度（個体数/100CD）」として比較した。また、シカに関しては、定着の段階の目安となる性比を調べるため、角の有無や体サイズをもとに成獣の雄と雌、幼獣に分類した。なお、表-1に示すとおり3エリアでそれぞれ、スギ林、ヒノキ林、広葉樹林の3タイプの林相で調査したが、各哺乳類種の捕獲頻度に林相による明確な差は見られなかったため、今回はこれらの林相の結果を合わせて集計した。なお、本年度の調査は新日本環境調査㈱に委託して実施された。

#### (7) 結果の概要

全調査期間を通して、60,065CDで6目13科19種の哺乳類が23,985個体撮影された。全体では、シカが最も多く撮影された。丹沢山地と箱根外輪山はともに、シカ、タヌキ、イノシシの順に撮影頻度が高く、小仏山地はタヌキ、アナグマ、シカの順に撮影頻度が高かった。

時点間の比較では、丹沢山地では小仏山地や箱根外輪山と比較して、1巡目と2巡目、夏と冬ともに、中大型哺乳類全体の撮影頻度が高く、その約半数がシカに占められたが、1巡目と2巡目で大きな増減は見られなかった（図-1）。これに対して、箱根外輪山と小仏山地では、1巡目と2巡目の4～6年の間で撮影頻度が箱根外輪山の夏が8.5倍、冬が3.7倍、小仏山地の夏が4.0倍、冬が1.6倍に増加した（図-1）。

一般的にシカは雄と雌を比較すると、雄は広い行動圏を持ち、分散性が強く、雌は定住性が強い。そのため、性比は、シカの侵入の初期段階では雄の割合が高く、その後、定着が進むにつれ、雌や幼獣の割合が高くなることが知られている。今回の結果でも、雄の割合は、1980～1990年代からすでにシカが増加し始めた丹沢山地が最も低く、最もシカ撮影頻度が低かった小仏山地が最も高かった（図-1）。1巡目から2巡目でシカの撮影頻度が著しく高くなった箱根外輪山のシカの定着段階はこの2地域の間と考えられるが、雄の割合は小仏山地よりも丹沢山地の水準に近かった（図-1）。また、箱根外輪山ほどではないものの、小仏山地でもシカ撮影頻度が上昇している点にも留

意すべきであり（図-1）、今後もモニタリング調査を継続し、注視していく必要がある。

(8) 今後の課題

- 現段階では、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。
- 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

なし

表-1 各年度の調査期間と調査地域

巡目	調査年度	調査地域	調査期間		林相別調査地点数		
			夏	冬	スギ	ヒノキ	広葉樹
1 巡目	2013	小仏山地		11/14~3/11	9	9	9
	2014	箱根外輪山	7/29~10/31	11/1~3/10	9	9	3
		小仏山地	7/30~10/31	11/1~12/8	9	9	9
	2015	丹沢山地	6/25~10/31	11/1~3/7	11	12	9
2 巡目	2017	小仏山地		12/5~3/8	9	9	9
	2018	箱根外輪山		11/1~2/6	9	9	3
	2019	丹沢山地	6/25~10/31	11/1~2/28	10	11	8
	2020	箱根外輪山	6/25~10/31		9	9	3
		小仏山地	6/25~10/31		9	9	9

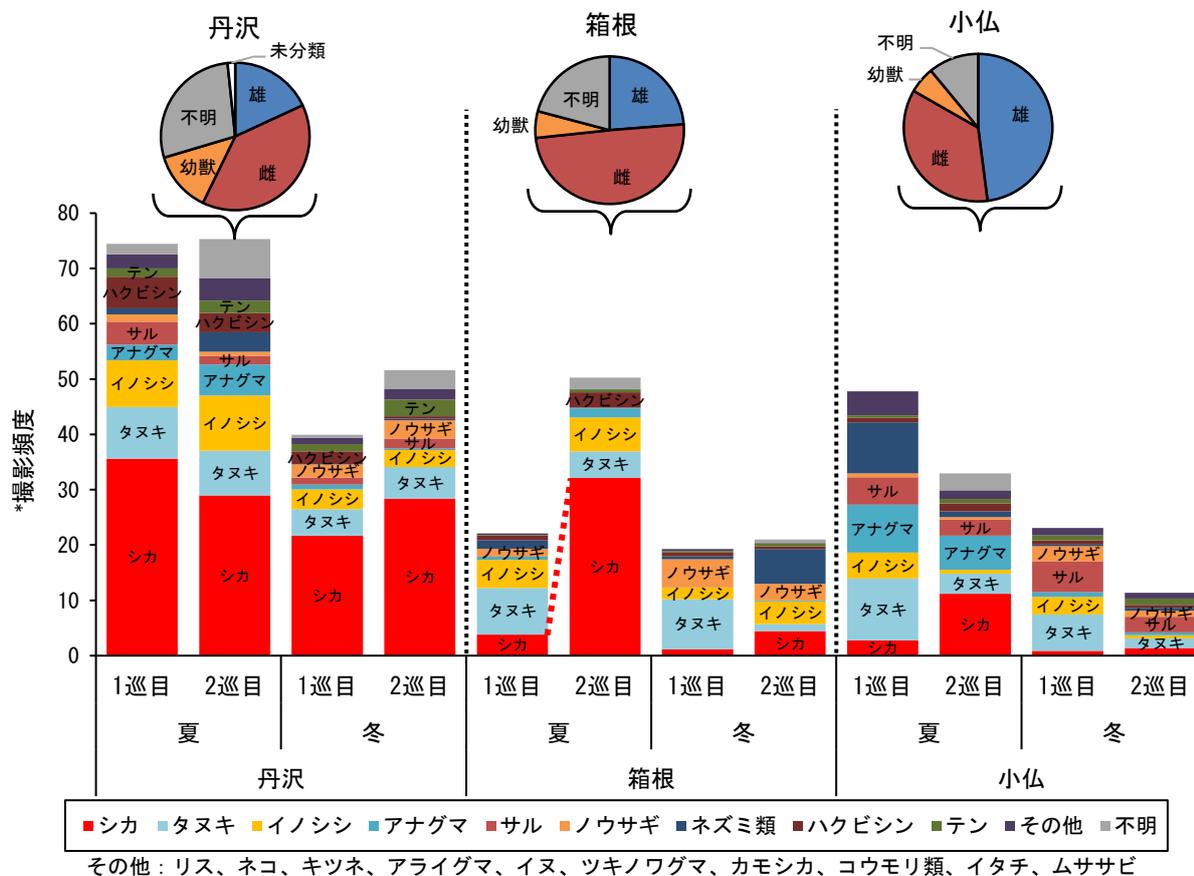


図-1 各哺乳類種の撮影頻度（棒グラフ）と各地域の2巡目の夏のシカの性比（円グラフ）

\*撮影頻度は100CDあたりの撮影個体数

## (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 **Be 中大型哺乳類(2) 水源地域ブナ林**  
(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

ニホンジカ（以下、単に「シカ」）の採食による下層植生の衰退が1980年代後半以降著しく進み、1990年代後半から植生保護柵が多数設置され、柵内では下層植生が群落高約3mまで回復した場所もあり、シカの管理捕獲が10年以上継続して行われている丹沢山山頂近くの清川村堂平地区のブナ林（標高約1,200m）における中大型哺乳類相の生息状況をセンサーカメラ調査により明らかにする。

#### (6) 方法

堂平地内の約4haの範囲に10台の赤外線センサー付き自動撮影カメラを設置した。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。撮影された哺乳類種、個体数、行動（採餌、歩く、走る、その他）を、自作した動画解析支援ツールを用いて記録した。ただし、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回目の撮影以降は集計から除外した。月ごとに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CD）あたりに換算した撮影個体数を「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。また、シカの時刻ごとの撮影個体数から夏と冬の活動日周期を比較した（図-3）。なお、令和2年5～11月の動画解析は新日本環境(株)に委託して実施された。

#### (7) 結果の概要

2019年9月2日から2020年11月25日までのデータを解析した結果は次のとおりである。

全調査期間を通して、4,378CDで9,010ファイルの動画が撮影され、そのうち3,783ファイルで動物が撮影された。中大型哺乳類は2目7科10種が計4,126個体撮影された。そのうちシカが81.5%を占め、3,361個体であった。その他の種では、アナグマが12.0%、テンが2.3%、キツネが1.9%、タヌキが1.3%であった。このうちアナグマは冬眠のため、12月～4月の撮影頻度が著しく低かった（図-1）。

シカの撮影頻度は、2020年の春から増加傾向にあり、2020年9～11月の撮影頻度は、前年同月の約2倍であった（図-1、2）。これは、2019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。

図-2に示すように、最も多かった行動は、鼻先で地面を探索する「採餌」で、堂平のシカは採餌をしながらゆっくり移動していることが多いと考えられる。次に多かった行動は「歩く」で、「走る」ことは少なかった。「採餌」の撮影頻度は季節変動が大きかったのに対して、「歩く」の撮影頻度は、12月～7月は季節によらずほぼ一定であった。ただし、繁殖期である秋には「歩く」の撮影頻度がやや高かった。これは、交尾相手の探索等で移動が活発になった結果と考えられる。

時刻別の撮影個体数は、7～8月は日の出および日の入り前後の薄明薄暮の時間帯に多く撮影され、正午前後にはほとんど撮影されなかった（図-3）。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（図-3）。一般的にシカの日周活動は今回の7～8月のように薄明薄暮に活発になることが知られている。今回の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る。今回明らかになったシカの日周活動は、堂平にお

ける管理捕獲の実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

動画データからシカの生息密度（頭数）に関する分析を行うとともに、センサーカメラの撮影頻度が密度指標としては不適切とされるとの知見も踏まえて、一定面積内における滞在時間を用いて確率論的に密度を推定する REST 法の適用について検討する。また、今回行った動画解析では解析支援ツールを用いることでデータ記録作業が省力化できたが、REST 法ではより詳細な動画解析・記録作業を要することから、今後のセンサーカメラ調査では動画の自動判読によるファイルの絞り込みなど、さらなる省力化が必要である。

### (9) 成果公表 なし

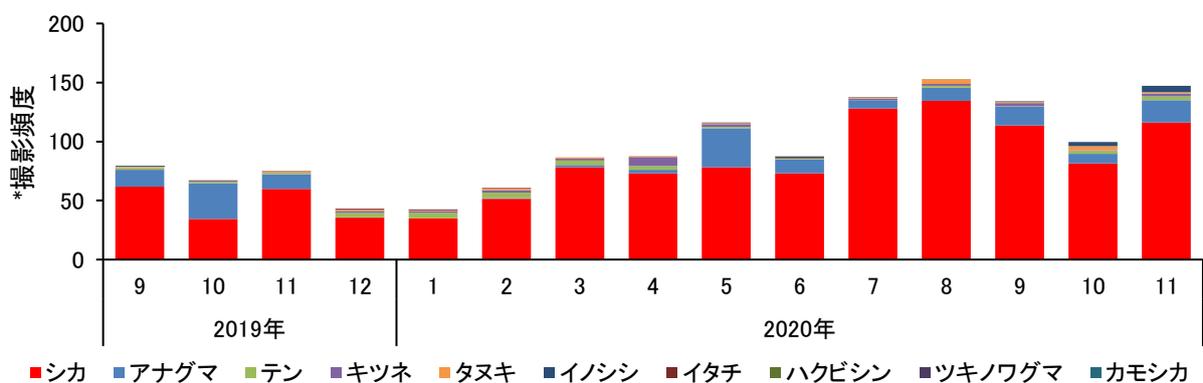


図-1 月ごとの各中大型哺乳類種の撮影頻度

\*撮影頻度は 100CD あたりの撮影個体数

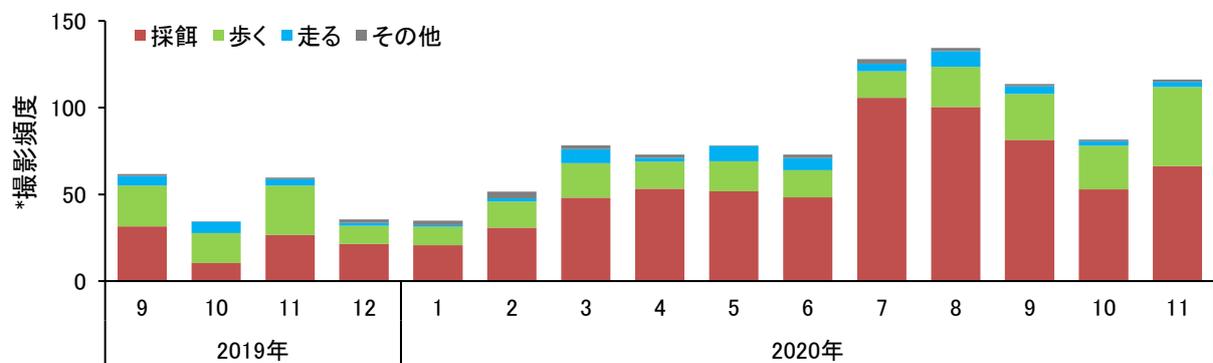


図-2 シカの月別・行動別の撮影頻度

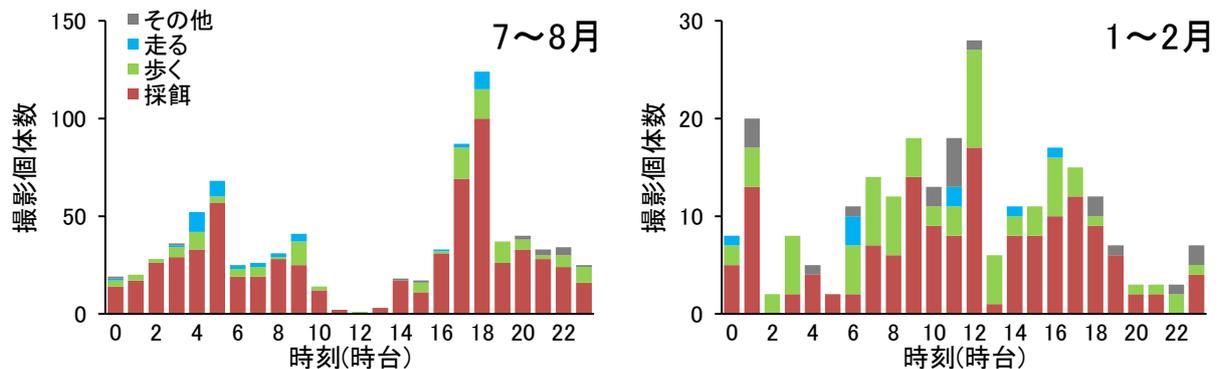


図-3 7～8月（左）と1～2月（右）の時刻別のシカの撮影個体数

## (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（1）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、丹沢山地エリアのスギ・ヒノキ人工林および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、間伐施業や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 調査地と調査期間

間伐の効果を針葉樹人工林で、植生保護柵設置の効果をブナ林で調べた。

##### ①-1) 針葉樹人工林

丹沢山地エリアの水源林整備地の人工林27林分の中から林床植被率が極端に異なる3林分を選定した（図-3）。2020年6～11月に、約2ヶ月おきに計3回、各林分に25個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10夜連続の標識再捕獲調査を実施した。

##### ①-2) ブナ林

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（図-4）にまたがるよう捕獲プロットを設け、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、標識再捕獲調査を実施した。2019～2020年の9月と10月に計4回、1回につき3～10夜連続で実施した。

##### ② 標識再捕獲調査

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、断熱シートを巻き、寒い時期には保温用に綿等を入れた。捕獲された個体について、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、人工林の調査（令和2年6～11月）は自然環境研究センターに委託した。また、ブナ林での調査は、新日本環境調査（株）に委託した令和2年10月を除いて直営で行った。

##### ③ データ解析

人工林の各林分およびブナ林の柵内外の生息状況は100トラップナイトあたりの捕獲回数（捕獲頻度）で評価し、Fisherの正確確率検定（Hochbergの多重比較法、捕獲があったトラップナイト数と捕獲のなかったトラップナイト数で検定）を用いて人工林の林分間およびブナ林の柵内外で比較した。

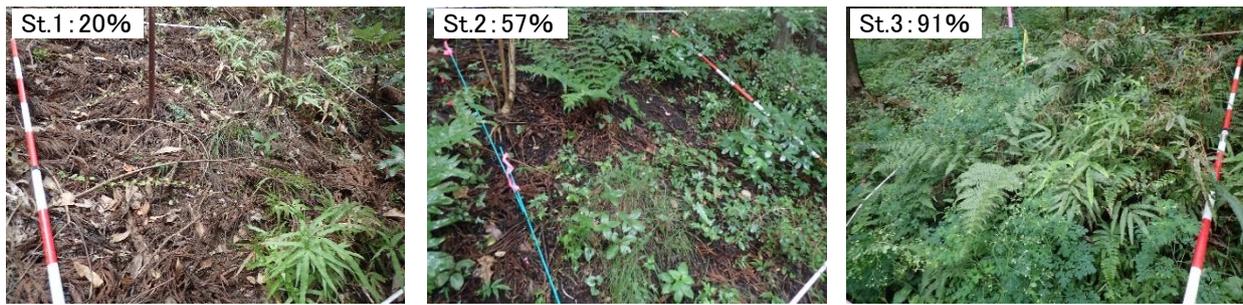


図-3 水源林整備地の人工林の下層植生状況（写真内の割合は林床植被率を示す）



図-4 堂平ブナ林の柵内外の下層植生状況（写真内の割合は林床植被率を示す）

### (7) 結果の概要

全調査期間を通して、人工林では 2,077 トラップナイトで、アカネズミが延べ 39 回、ヒメネズミが 47 回、ブナ林では 913 トラップナイトで、アカネズミが 49 回、ヒメネズミが 56 回、スミスネズミが 3 回捕獲された。これら 3 種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、St. 2 と St. 3 の捕獲頻度は St. 1 よりも有意に高かった（図-5）。また、ブナ林では、柵内の捕獲頻度が柵外よりも有意に高かった（図-5）。

これらの結果により、間伐や植生保護柵の設置などの水源林整備による下層植生の回復・発達が森林性野ネズミの生息を促すことが示唆される。

### (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

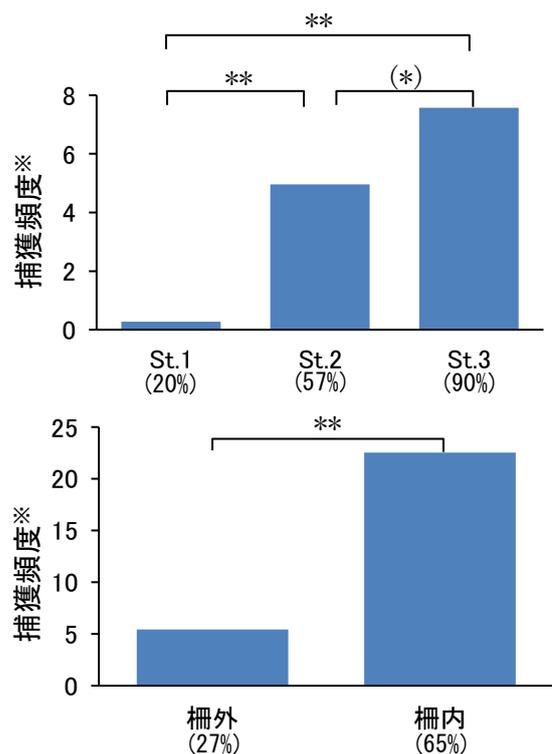


図-5 人工林(上)とブナ林(下)の捕獲頻度

※捕獲頻度：100 トラップナイトあたりの捕獲回数  
(アカネズミ、ヒメネズミ、スミスネズミの合計)  
( )内の割合は林床植被率を示す  
Fisher の正確確率検定  
(Hochbergの多重比較法、  
\*\* :  $p < 0.01$ , \* :  $p < 0.05$ , (\*) :  $p < 0.1$ , n.s. :  $p > 0.1$ )

## (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 Bg 小型哺乳類(2) 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

昨年度に実施した死亡個体の直腸糞を用いたDNAメタバーコーディング解析により、糞を用いて餌植物の種の特特定が可能であることを確認したことを踏まえて、捕獲個体が罠内で排泄した糞を採取するサンプリング手法を実施し、これらの糞を用いたDNAメタバーコーディング解析から、調査地の林相や下層植生状況の違いに応じた2種の野ネズミの餌植物の利用状況の違いを明らかにする。

#### (6) 方法

##### ①糞のサンプリング

水源林整備地の人工林3林分と、比較対象として同様に下層植生状況に基づき選定した広葉樹林の3林分の計6林分において、2020年6月、8月、10月に実施された標識再捕獲調査の際に、罠内に排泄された糞のサンプリングを行った。ただし、複数個体の糞や排泄されて1日以上経過した糞が混入することを防ぐため、各トラップの最初の捕獲時に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のデータベースから検索し、各サンプルから検出された植物種候補を抽出し、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、令和元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。また、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(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、ブナ科、ブナ科以外の高木、低木、草本(シダ類を含む)の割合を針葉樹人工林と広葉樹林で比較した(図-2)。



図-1 糞の採取に用いたストローで作成した匙

## (7) 結果の概要

各サンプルから読み取った DNA 断片の総リード数は、60 サンプルの平均で 23,752.1±12,786.7(SD) リードであった(100 リード未満の配列を除く)。このうち 58 サンプルから 47 科 79 属 99 種の維管束植物が検出され、これらの平均断片サイズ(±SD)は 339.3±38.5bp(166~545bp)であった。

広葉樹林では植物性の餌の半分近くをブナ科が占め、これまで指摘されているようにアカネズミとヒメネズミは雑食性の中でも種子食性に近いことが示された(図-2)。対して、人工林ではブナ科への依存度は広葉樹林よりも低く、草本や低木、ブナ科以外の高木の割合が高かった。また、各サンプルから検出された平均種数は、高木層から餌が供給される広葉樹林では調査地間の差が小さく、これに対して、人工林では、St.1 が 3.5±1.5

種、St.2 が 4.6±2.7 種、St.3 が 7.2±4.0 種と、下層植生が発達した地点ほど多かった(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ると考えられる。

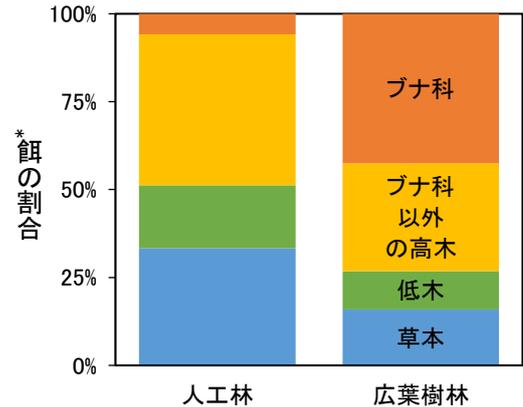


図-2 アカネズミとヒメネズミの糞から検出された餌植物の割合

\*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。

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の科・属・種の平均検出数

調査地	林相	下層植生状況		餌植物(平均±SD)			n
		植被率 (%)	出現種数	科	属	種	
St.1	針葉樹人工林	20	28	3.5±1.5	3.5±1.5	3.5±1.5	2
St.2		57	48	4.2±2.3	4.3±2.4	4.6±2.7	12
St.3		91	68	5.4±2.9	6.4±3.5	7.2±4.0	16
St.4	広葉樹林	1	29	2.9±1.7	3.2±2.0	3.4±2.3	9
St.5		47	44	3.2±1.3	3.2±1.3	3.2±1.3	6
St.6		84	53	3.8±2.1	4.0±2.4	4.0±2.4	13
全体				4.1±2.4	4.5±2.9	4.8±3.3	58

## (8) 今後の課題

- 餌となる植物の部位としては、アカネズミとヒメネズミの場合、種子の他に新芽や根が考えられる。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、新芽や根の場合、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、各植物種的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ニッチ分割により餌資源の食い分けをしているという報告があるため、今後もサンプリングを継続し、種ごとにも下層植生の効果を分析していく必要がある。

## (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 2021 年 3 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 **Bh 小型哺乳類（3）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

昨年のプロトタイプ機開発に続く森林性野ネズミの行動圏の自動追跡装置開発の一環として、小型・軽量で送信電力が弱い野ネズミに装着する追跡用小型電子機器からの電気信号を精度よく受信し定位できるアンテナの技術開発を行った。

#### (6) 方法

##### ①受信システムの開発

下記のアンテナの基本構造の検討から試作アンテナの実測試験までを（地独）神奈川県立産業技術総合研究所に開発委託して実施した。

##### ①-1) アンテナの基本構造の検討と計算機シミュレーション

シールドの有無、受信信号の出力部分の平衡方式と不平衡方式、等価回路に基づくループサイズを検証し、それらの検証結果から最適な基本構造を明らかにした。それらの構造を計算機シミュレーションモデルに入力し、環境条件としてローム層の地面が乾燥または湿潤である条件で指向性をシミュレーションした。

##### ①-2) 整合回路の検討と試作アンテナの実測試験

インピーダンスを計測し、整合回路の構造を検証した。これらの検証に基づいてアンテナを試作し、電波暗室にて試作アンテナを 360° 回転させながら信号を受信し、指向性を計測した。その際、野外でも想定されるマルチパスの影響を調べるため、地面に吸収体を設置するパターンと設置しないパターンの2パターンの条件で計測した。

##### ②アンテナの指向性の野外試験

耐久性や自動追跡装置との接続などの実用面を改良したループアンテナを作製し、2021年2月16日に保全センター敷地内で、動物追跡用小型電子機器（VCCI クラス A を満たす）を地上高約 1m に設置し、約 23m の距離でアンテナを 360° 回転させ、指向性を 5 回試験した（図-4）。

#### (7) 結果の概要

ループアンテナの基本構造（図-1）は、シールドアンテナがアンテナ周辺の物の影響を受けにくく、平衡方式が指向性の 8 の字パターンの対称性を確保でき、低いインピーダンスと野外での実用を考慮した 58cm 四方のループサイズが最適と考えられた。これらの構造でシミュレーションした結果、湿潤な地面で大地反射の影響が想定されるものの、乾燥したローム層での影響はほとんどなく、十分な指向性が得られると考えられた。また、整合回路は入力インピーダンスが容量性であることからコンデンサを取付け、実部の変換のためのバランを取付ける必要があることが明らかとなった。図-2 に示すように、試作アンテナの計測試験の結果、マルチパスの影響を軽減する吸収体を設置した条件に比べ、野外でのマルチパスの影響を仮想した吸収体なしの条件ではやや指向性が弱くなるものの、十分実用に耐えうる性能であると考えられた。

実用面を改良したアンテナ（図-3）を自動追跡装置に取り付け、野外試験を行った結果、正面よりも約 35° 右にずれた方向で利得が得られた（図-4）。この利得の方向のずれは工作の過程で生じたアンテナの特性または外部の環境条件によるものと考えられるが、5 回の試験でいずれも同一の方向で利得が得られていることから、事前に各アンテナの特性や環境条件を把握しておくことで実

用に耐えうる精度が期待される結果が得られた。

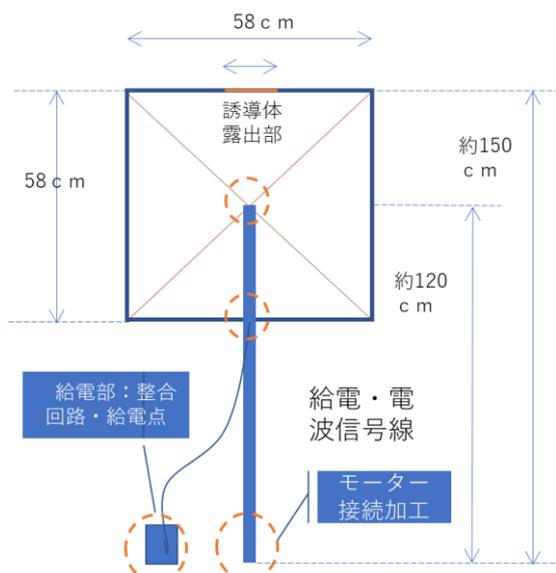


図-1 試作アンテナの基本構造

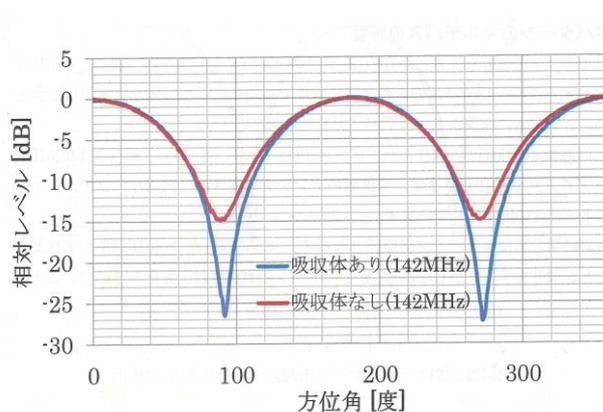


図-2 試作アンテナの計測試験結果  
ループアンテナは正面で受信強度が低下する特徴がある



図-3 野外試験に用いたアンテナ

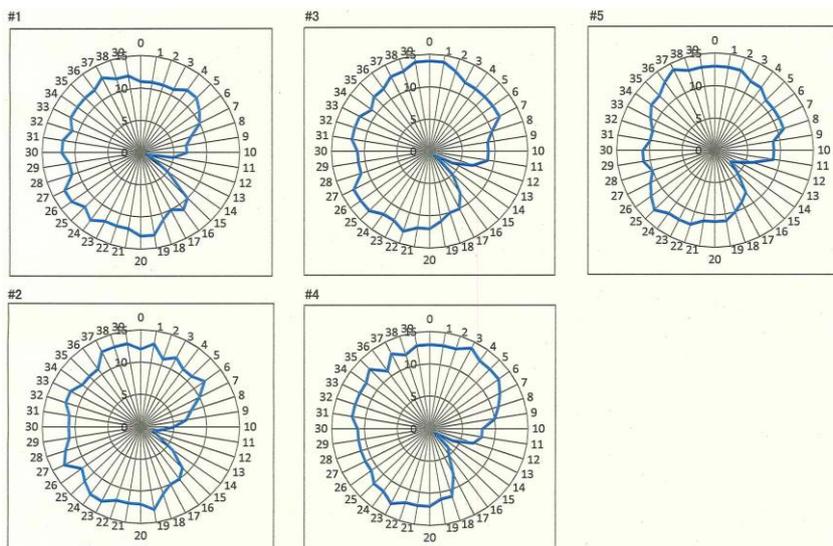


図-4 野外試験の結果

試験は同一条件で5回実施  
1目盛は $9^\circ$ 、 $90^\circ$  (10目盛目)の方向が正面

## (8) 今後の課題

実地調査では、土壌水分量や立木密度等の各調査地の環境条件による受信機器への影響や使用する各アンテナの特性を事前に把握する必要がある。

## (9) 成果の発表

なし