

神奈川県

自然環境保全センター研究企画部研究連携課

平成 27 年度神奈川県自然環境保全センター研究企画部研究連携課

業 務 報 告

No. 48

平成 28 年 11 月

目 次

1 企画調整業務

1-1 企画調整業務の概要-----	1
--------------------	---

2 研究業務

2-1 平成27年度試験研究体系図-----	3
------------------------	---

2-2 研究業務の概要-----	4
------------------	---

2-3 個別研究の年次実績

(1) 丹沢大山の自然環境モニタリングと再生技術開発

A. 大気およびブナハバチのモニタリングとブナ林衰退への影響機構解明—総括—	14
--	----

Aa. ブナ林の大気環境解析-----	17
---------------------	----

Ab. ブナ林の水分生理調査（水ポテンシャル調査）-----	21
--------------------------------	----

Ac. ブナ林の生理生態調査（ブナ樹体の水分計測）-----	23
--------------------------------	----

Ad. ブナ林のストレス診断調査-----	25
-----------------------	----

Ae. ブナ林立地環境モニタリング - 土壌侵食モニタリング - -----	33
--	----

Af. ブナハバチ成虫モニタリング-----	38
------------------------	----

Ag. ブナハバチ繭モニタリング-----	40
-----------------------	----

B. ブナ林生態系の再生技術の改良

Ba. 大規模ギャップ森林再生試験-----	42
------------------------	----

Bb. ブナハバチ防除試験-----	44
--------------------	----

Bc. 丹沢山地森林変遷解析-----	46
---------------------	----

(2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発

(2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発

A. 水源林の施業技術の改良

Aa. 水源林整備地モニタリング-----	49
-----------------------	----

Ab. 人工林の針広混交林化調査-----	51
-----------------------	----

B. 対照流域法による総合モニタリング—総括—

Ba. 観測施設保守・改良-----	57
--------------------	----

Bb. 大洞沢モニタリング調査-----	60
----------------------	----

Bc. 貝沢モニタリング調査-----	66
---------------------	----

Bd. スタノ沢モニタリング調査-----	71
-----------------------	----

Be. フチヂリ沢モニタリング調査-----	76
------------------------	----

Bf. 水循環基礎調査—大洞沢およびスタノ沢の水文環境調査—-----	80
-------------------------------------	----

Bg. 水循環基礎調査—地下水位変化と流量観測結果—-----	83
---------------------------------	----

Bh. 水生生物調査（文献レビュー）-----	87
-------------------------	----

Bi. 水生生物調査（統合解析）-----	92
-----------------------	----

Bj. 水生生物調査（モニタリング基礎調査）-----	96
-----------------------------	----

Bk. 水循環モデル-----	98
-----------------	----

Bl. 水源施策の総合評価のための情報整備-----	100
C. 水源林の整備が森林生態系に及ぼす効果把握—総括—	102
Ca. 植物-----	105
Cb. 土壌動物-----	108
Cc. 昆虫-----	110
Cd. 鳥類-----	112
Ce. 小型哺乳類-----	114
Cf. 大型哺乳類-----	116
D. スギ・ヒノキ花粉症対策品種開発と実用化	
Da. スギ・ヒノキ花粉発源地域推定事業-----	118
Db. スギ・ヒノキ林の花粉削減研究-----	126
Dc. 無花粉ヒノキの実用化研究-----	129

(2-2) 野生動物と共存できる森林管理技術開発

A. シカと森林の一体的管理の推進手法の開発-----	132
B. ブナ林におけるシカ管理手法開発-----	134
C. シカによる植生影響モニタリング-----	137

3 関連業務

3-1 林木育種事業-----	141
3-2 水源広葉樹苗木育成事業-----	142
3-3 林業技術現地適応化事業-----	143
3-4 試験林整備事業-----	143

4 諸活動

4-1 依頼調査と指導-----	144
4-2 講師派遣-----	146
4-3 委員会・研究会-----	148
4-4 発表・報告-----	150

5 予算内訳

5-1 主な研究・事業費の予算内訳-----	154
------------------------	-----

6 共同研究・連携機関

6-1 主な共同研究・連携機関の一覧-----	155
-------------------------	-----

1 企画調整業務

平成27年度における要研究問題の把握、研究課題の設定調整など研究連携課に係る企画関連業務は次のとおりである。

1-1 企画調整業務の概要

(1) 自然環境保全センター研究成果報告会の開催

テーマ	ブナ林の再生に向けて ～衰退原因の解明と再生技術の開発～
開催月日	平成28年2月20日（土）
開催場所	厚木商工会議所501号大会議室（厚木市栄町1-16-15）
参加者	107名
報告事項	<ul style="list-style-type: none">・ブナ林衰退の原因解明に向けて・ブナの水ストレス診断・衰退リスクから見たブナ林の再生優先地マップの作成・ブナ林再生のための技術開発・自然再生事業の実施状況・学識者による講評

(2) 平成28年度試験研究課題の調整

平成28年度試験研究課題として関係各機関から提起された要試験研究問題の総数は延べ5件、提案機関数は2機関であった。それぞれの要研究問題について、自然環境保全センター研究推進協議会にて調整したところ、要研究問題への対応については、すでに研究課題として実施ないし実施中のもの4件となった。

(3) 農林水産技術会議の開催

平成27年度試験研究計画の研究課題である「水源林の整備が森林生態系に及ぼす効果把握」について、鳥類群集の調査・解析方法等、委託調査の結果及び解析の中間結果の評価、助言を3人の専門家から受けた。

開催月日	開催場所	検討課題名	委員
平成27年6月19日	日本野鳥の会自然保護室	鳥類と森林環境との関連性について	荒 哲平
平成27年9月3日	山階鳥類研究所		森本 元
平成28年2月17日	自然環境保全センター		青木 雄司

(4) 研究推進支援研修の開催

プロジェクト研究等重点的な研究推進のため、外部有識者からの指導・助言を受けることにより研究員の研究能力向上を図る研修を実施した。

開催月日	開催場所	検討課題名	委員
平成 28 年 2 月 23 日	自然環境保全センター	ニホンジカによる植生衰退と流域の物質循環・森林生態系機能への影響	福島慶太郎

2 研究業務

自然環境保全センター研究連携課

2-1 平成 27 年度試験研究体系図

●丹沢大山の自然環境モニタリングと再生技術開発

○丹沢大山の自然環境モニタリングと再生技術開発 重★

- ・ブナ林衰退への影響機構解明 (H18～) ★
- ・大気およびブナハバチのモニタリング (H18～) ★
- ・ブナ林生態系の再生技術の改良 (H19～) ★

●水源林など公益性の高い森林再生技術開発

○効果的な水源林の整備に関する研究開発 重★

- ・水源林の施業技術の改良 (H19～) ★
- ・対照流域法による総合モニタリング (H19～) ★
- ・水源林の整備が森林生態系に及ぼす効果把握 (H25～)
- ・無花粉ヒノキの実用化研究 (H27～28) 新 政
- ・スギ・ヒノキ花粉量の予測調査 (H21～30)

○野生動物と共存できる森林管理技術開発 重★

- ・シカ森林管理一体的推進手法の開発 (H24～28) ★24
- ・水源林の整備が森林生態系に及ぼす効果把握(再掲) (H25～)
- ・シカ生息環境モニタリング (H24～) ★

関連事業

林木育種事業 (S32～)

水源広葉樹苗木育成事業 (H21～30)

林業技術現地適応化事業 (H22～27)

【注】 ●：研究開発の方向、○：研究課題、・：小課題

重：プロジェクト型の重点課題

新：新規研究課題

政：政策課題

★：要試験研究問題対応課題

24：平成 24 年度に要試験研究問題として提案されたもの（実施中課題を含む）

2-2 研究業務の概要

農林水産関係試験研究推進構想（森林等自然環境の部）に基づき、3つの研究テーマを柱として、主にプロジェクト研究形式により各個別研究を推進した。

○3つの研究の柱と平成27年度の研究プロジェクトの概要

1 丹沢大山の自然環境モニタリングと再生技術開発

丹沢大山自然再生計画の推進にかかる試験研究として、研究プロジェクト「丹沢山地におけるブナ林の衰退原因解明とその再生技術に係る研究開発」を中心に実施した。今期の第3期研究期間（H24-28）にはオゾン・気象を始めとする立地環境モニタリング、大気汚染・ブナハバチ等の複合的要因による衰退・枯死の機構解明、各種再生実証技術開発の3つの柱で個別研究を進めている。本年度は5ヶ年計画の4年目であり、大気・気象観測施設のメンテナンスによりモニタリングを進めるとともに、オゾン高濃度時の風速場の解析を実施した。また水ストレスの実態解明のため木部水分通道組織の観察と樹液流計測を実施するとともに、発現遺伝子によるストレス診断を実施した。またブナハバチの繭と成虫モニタリングを実施した。ブナ林生態系の再生技術の改良として、竜ヶ馬場と不動ノ峰の大規模ギャップにおいてブナ林再生試験を実施した。ブナハバチの防除技術開発としては、薬剤注入試験と粘着シートによる緊急防除事業を実施した。効果的な対策事業の推進に資するための再生優先地マップを作成した。さらに、ササ草原2か所を含む5か所において天然更新により発生した更新木の生残と樹高を調査した。

2 効果的な水源林の整備に関する研究開発

かながわ水源環境保全・再生施策の推進にかかる試験研究として、第2期かながわ水源環境保全・再生実行5か年計画（H24-28）に基づいて研究プロジェクトを継続実施した。

水源林の施業技術の改良として、平成14年度から実施している水源の森林づくり事業の整備地のモニタリング調査を、平成27年度は9か所24試験区において3回目のモニタリング調査を行った。

対照流域法による総合モニタリングとして、県内4か所の試験流域におけるモニタリング調査を継続し、そのうち整備が済んでいる3か所（大洞沢、貝沢、ヌタノ沢）では整備後の短期的効果検証を行った。大洞沢における植生保護柵の設置（シカの管理）による水や土砂の流出への効果は、整備後4年目までのデータ解析結果では明瞭でなかったが、植生保護柵内のもともと下層植生のあった場所では植生現存量が増加するなど流域全体として下層植生回復途上であることが確認できた。また、下層植生の豊富な貝沢で群状伐採・搬出を行った前後での下流への水や土砂の流出の変化は、整備後2年目においても明瞭でなく、溪流沿いの地表かく乱に配慮したことで一般的にみられる整備による負の影響を抑制できたと考えられた。ヌタノ沢においては、植生保護柵設置後2年目の下層植生状態や水や土砂の流出データを取得し、植生保護柵内の植生回復を確認した。

スギ・ヒノキ花粉症対策品種開発と実用化では、無花粉ヒノキの実用化研究、雄花の着花量の直接観察による花粉飛散量の予測などの取組みを進め、特にヒノキでは全国で初めて雄花量による飛散予測を行った。

3 野生生物と共存できる森林管理技術開発

第2期かながわ水源環境保全・再生実行5か年計画及び第2期丹沢大山自然再生計画（H24-28）では、保全・再生施策の推進にかかる試験研究として、研究プロジェクト「シカ森林管理一体的推進手法の開発」を事業実施部門と連携して立ち上げた。

平成27年度は、水源林の施業地におけるシカ捕獲後の植生回復を検証するために、前年度に引き続き水源林等の11か所34地点での捕獲実施地の植生や、センサーカメラによるシカの利用状況を調査した。また、水源林以外の広葉樹林の11地域で、植生保護柵の柵内外をセットとした定点モニタリングを実施した。あわせて丹沢山地西部において累積利用圧調査を実施した。

(1) 丹沢大山の自然環境モニタリングと再生技術開発

A. 大気およびブナハバチのモニタリングとブナ林衰退への影響機構解明－総括－

丹沢大山自然再生計画の掲げるブナ林の再生を目指して総合的な技術指針を構築するために、気象・オゾンを始めとする立地環境モニタリング、大気汚染・ブナハバチ等の複合的要因による衰退・枯死の機構解明、各種再生実証技術開発の3つの柱で個別研究をすすめている。第3期プロジェクトの4年目にあたり、衰退原因の解明と再生技術の開発を中心にこれまでの成果をとりまとめて県民を対象とした研究成果報告会を開催した。

個別課題では、丹沢4箇所に設置・維持管理している大気・気象観測施設で観測された大気・気象データによるオゾン高濃度時の風速場の解析と、軽量かつ低消費電力の小型オゾン系の実用試験を実施した。また水ストレスの実態解明のため木部水分通道組織の観察と樹液流計測を実施するとともに、発現遺伝子によるストレス診断を実施した。ブナハバチのモニタリングと防除技術開発として薬剤注入試験を実施した。

Aa. ブナ林の大気環境解析

平成26年度は、軽量かつ低消費電力の小型紫外吸光式小型オゾン計の実用性試験と気象モデルを活用して、丹沢山地におけるオゾン高濃度時の風速場の解析を行った。並行測定の結果、小型オゾン計は既存のオゾン計と両者の相関は良好で安定的に十分な精度でオゾン濃度を測定できることがわかった。菰釣山で調査したところ60ppb以上の高濃度を除き、檜洞丸、丹沢山とほぼ同じ変動を示すことがわかった。また丹沢山地における移動観測の結果、オゾン濃度は約30 ppbでほぼ一定であった。

丹沢山地におけるオゾン高濃度時の風速場の解析では、夏季では、北よりの風のときは40ppb以上南よりの風のときは20ppb未満となっていた。北よりの風のときにオゾン濃度が高くなる傾向は、6月頃から表れている。夏以外の期間はオゾン濃度の風向による影響は小さかった。

Ab. ブナ林の水分生理調査（水ポテンシャル調査）

ブナ林の衰退における水ストレス影響を検討するため、加入道山に生育するブナの枝の木部構造を解剖学的視点から明らかにし、水分通導能力とブナハバチ食害との関係を調査した。その結果、昨年と同様に、食害により衰弱した個体では、健全個体と比較して細い径の道管の割合が高く、平均道管径と年輪幅、RGRri（年輪幅による相対成長率）、年輪面積と正の相関が認められる個体が現れた。一方、ブナハバチの食害履歴と木部構造との間に明確な関係はみられず、木部構造の変化はブナハバチだけでなくオゾンや水ストレスとの複合影響で生じている可能性がある。

Ac. ブナ林の生理生態調査（ブナ樹体の水分計測）

樹体の水分状態をモニタリングするひとつの手法として水分計センサーによる方法がある。これまでに野外の現地、とりわけ高標高の山間地で使用された事例はほとんど無い。このため檜洞丸に生育するブナ樹体の水分計測について検討した。水分計センサーはADR法によるDelta-T社製のシートプローブML2xを使用した。その結果、4月から11月の間はセンサー出力値が600mvから700mvの間でほぼ安定していた。しかし12月から3月の冬期は出力値が低下するとともに、顕著な変動も認められた。このことから、水分計センサーによって4月から11月のブナの展葉から落葉の期間における樹体の水分状態を相対的に評価できるものと考えられた。

Ad. ブナ林のストレス診断調査

これまで丹沢ブナの衰退要因として、大気汚染物質、ブナハバチ食害、水ストレス等の影響が推定されているが状況証拠に基づく演繹的な推論であった。そこでゲノム網羅的な発現遺伝子解析による環境ストレス診断として、檜洞丸と丹沢山の衰退個体と健全個体の発現遺伝子について、ブナ専用開発さ

れた DNA マイクロアレイ法により解析を行った。主成分分析による環境ストレス評価では、丹沢 5 箇所のブナ林は共に酸化酸性化のスコアが高く、葉の健全性が低下して樹勢を衰えさせていると考えられた。また衰退度を指標する遺伝子として細胞の恒常性維持に機能する分子シャペロンに関する遺伝子群が通出された。

Ae. 土壌侵食モニタリング

東京農工大学との共同研究により、平成17、18年度に試験施工した土壌保全対策工についてモニタリングを継続し対策工の評価を行った。土壌保全工を施工したプロットでは施工直後から土壌侵食量が急激に減少し、施工後 9～10年までの土壌侵食量の総量でも大幅に減少しており土壌保全工の侵食軽減効果が認められた。土壌保全工施工プロットにおける林床植生の回復について2015年8月時点のプロットの内外の差を比較したところ、植生保護柵、リター捕捉ネット、ヤシネットの順に差が大きかった。

堂平地区の林床植生の回復と斜面の土壌侵食量ならびに溪流の浮遊土砂流出量の経年変化の関係について解析・検討したところ、林床植生被覆率は経年的に増加傾向、斜面土壌侵食量は経年的に減少傾向、浮遊土砂流出量はワサビ沢では経年的にやや減少傾向で堂平沢では減少傾向であった。

堂平のブナ林の樹冠通過雨量等について、これまでの補完調査を行ったところ、林内外のいずれの環境においても風速が大きく影響することが示唆された。

CsとPbの放射性同位体の土壌中の濃度の経年変化を調べたところ、林床植生の豊富な箇所では経年によるCsの移動は少なく、¹³⁷Csの濃度ピークは3年間で表層から0.5cm土壌深部へ移動した。裸地斜面の土壌の¹³⁷Cs濃度経年変化からは、上方からの土壌の流入と下方への流出の影響が考えられた。

Af. ブナハバチ成虫モニタリング

当年のブナハバチ食害の事前予測を目的に、丹沢山地6地点（三国山、菰釣山、大室山、檜洞丸、丹沢山、天王寺尾根）で黄色の衝突板トラップにより雌成虫捕獲量を調査するとともに、大規模な食害が発生し、ブナ展葉フェノロジー調査を実施している檜洞丸では展葉期の雌成虫捕獲量から当年の食害量の予測を試みた。2015年の雌成虫捕獲数は地点により平均で1～544個体と大幅な差があり、天王寺尾根、檜洞丸、大室山、菰釣山では被食規模の大きかった2013年に次いで多く、丹沢山では2013年より多く、三国山では2013年と同程度であった。檜洞丸の2015年の展葉期の雌成虫捕獲数は、大規模の被食であった2011年や2013年と、小～中規模の被食であった2010年、2012年、2014年の中間的な値であったことから中～大規模であることが事前に予測され、実際に中規模の被食が発生した。

Ag. ブナハバチ繭モニタリング

潜在的な被食発生リスク評価を目的に、昨年に引き続き三国山、菰釣山、大室山、檜洞丸、丹沢山において繭密度のモニタリング調査を実施した。食害の規模が小さい三国山と菰釣山では、繭密度がこれまでと同様に低密度で推移した一方、大規模な食害が発生する大室山、檜洞丸、丹沢山では繭密度が高密度で推移した。繭密度は檜洞丸では依然として上昇傾向にあり、2015年は1,004個/m²とこれまでの最高値を更新した。大室山では増減を繰り返しているが2015年は658個/m²であった。これまで200個/m²前後を横ばいで推移していた丹沢山では2年続けて上昇し、2015年は489個/m²となった。これら3地点では被食発生リスクが依然として高い可能性があり、防除によりリスクを低下させる取り組みが必要となる。これまで低密度で推移していた菰釣山では124個/m²を記録し、このまま上昇傾向が続くと食害が顕在化する恐れがあることから、今後の動向を注視する必要がある。

B. ブナ林生態系の再生技術の改良

Ba. 大規模ギャップ森林再生試験

ササ草原 2 か所を含む 5 か所で更新木を調査した。ササ草原の「不動ノ峰」ではササの刈り払いの有無に関わらず柵外よりも柵内で平均樹高は高い傾向があった。ササ草原の「竜ヶ馬場」を含めて、両か所の柵内外で樹高が 20cm 以上の樹種はニシキウツギとユモトマユミ、ミヤマイボタであった。これらの樹種は風衝低木林を構成する樹種であることや、現地の土壌内には埋土種子としてニシキウツギが含まれていることから、さらに時間が経過すればこれらの樹種を主体とした低木林に推移すると考えられた。

Bb. ブナハバチ防除試験

ブナ林衰退の進む丹沢山地の高標高域ではブナハバチの被食の軽減対策が求められている。今年度は、檜洞丸においてブナ成木を対象とした薬剤の樹幹注入試験を行うとともに、中～大規模の食害発生が事前に予測されたことから粘着シートによる緊急防除事業を実施した。薬剤注入は衰弱木でも樹体影響なく高い防除効果が確認され、現地のブナ成木にも適用できることが示された。予防的防除（展葉前）と大発生予測時の緊急防除（展葉後）のいずれにも適用できると期待される。粘着シートは 4 地点で 616 本のブナに設置し、1 万～23 万個体、合計で 50 万個体のブナハバチ幼虫を捕獲したと推定された。2015 年の食害は中規模であったが、大規模食害年の 2013 年（75 万個体）と比較的近い規模で幼虫を防除することができた。

Bc. 丹沢山地森林変遷解析

ブナ林保全マップの調整に資する情報を得ることを目的として、丹沢山地の森林変遷について得られている最新の空中写真の解析結果をもとに再生優先地マップを作成した。再生優先地マップは「ブナ更新促進」・「高木再生」・「風衝草地」に区分したブナ林再生優先地と「重点対策地区」、「要注意地区」に区分したブナハバチ対策地区をまとめ作成し、ここから効果的な対策を検討した。大室山はブナハバチ対策、檜洞丸はブナハバチ対策とギャップへの対策、蛭ヶ岳から丹沢山にかけては巨大なギャップへの対策が必要であった。檜洞丸では両方の対策を効果的に組み合わせて実施すべきてであり、ブナ林再生の重点対策地域と考えられた。

（2）水源林など公益性の高い森林再生技術開発

(2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発

A. 水源林の施業技術の改良

水源林整備事業の施業効果の検証と施業技術を検討するために、過年度と同様に水源林整備地の植生モニタリングとセンサーカメラによる動物の利用状況調査、人工林における群状間伐と点状間伐による針広混交林化調査を実施した。

Aa. 水源林整備地のモニタリング

9 か所の計 24 試験区で下層植生の植被率と現存量、センサーカメラによるシカの利用状況を調べ、過年度のデータと比較した。植被率は、丹沢の柵内外では H22 よりも増加していたが、他の試験区では大きな変化はみられなかった。現存量は、いずれの試験区においても H22 よりも H27 で減少した。いずれの試験区においてもシカがもっとも多く撮影された。

Ab. 人工林の針広混交林化調査

針葉樹人工林を針広混交林に誘導する可能性を検討するために、過去 4 年間で調査した水源林整備地モニタリングの実施地点のうち針葉樹人工林のデータを用いて更新状況を解析した。シカの影響の有無を考慮して、丹沢（柵外）と丹沢（柵内）、小仏・箱根の 3 地域に区分して傾向をみると、丹沢（柵外）では更新木は少なかった。最大樹高では、丹沢（柵内）は丹沢（柵外）よりも高かったが、小仏・箱根とは有意差は認められなかった。シカの影響のない丹沢（柵内）とシカの影響の少ない小仏・箱根の最大樹高は 150cm～200cm 程度であることから、混交林に仕立てるには定期的な間伐による光環境の改善と

長時間が必要と考えられた。

B. 対照流域法等による総合モニタリング —総括—

第2期かながわ水源環境保全・再生実行5か年計画に基づく森林における施策の効果検証のために、第1期に整備した県内4か所の試験流域においてモニタリング調査を継続した。第2期5か年の4年目となり、現地でのモニタリングを着実に実行し短期的な成果をまとめるとともに、県民会議を中心とした施策の総合的な評価（中間評価）にあたり科学的知見を提供した。プロジェクト全体を推進するための実務レベルの全体会議は1月に開催し、分野別の部会については、水・土砂分野、水生生物分野それぞれ1回開催した。特に水・土砂分野部会では、大学等への委託をせず研究連携課の研究者がモニタリング調査を実施しているヌタノ沢等の調査結果について学識者の助言を受けた。

Ba. 観測施設保守・改良

県内4か所の試験流域について、気象・水文観測施設の維持管理・改良等を実施した。7月の台風11号等の影響により量水堰に土砂が堆積し、大洞沢（N01）、貝沢（N01～4）、ヌタノ沢（A沢）において各1回浚渫を実施した。また、老朽化や雷による破損の対応として、センサ類の交換・修理を随時行なった。大洞沢では濁度センサ（N01～4）、温湿度センサ（N01、5）、水位センサ（N03）、貝沢では濁度センサ（N01～5）である。さらに、大洞沢においては、春季より植生保護柵内にシカの侵入が確認されたことから捕獲を試みたが、捕獲時点ではシカ生存や新しい痕跡は確認できなかった。

Bb. 大洞沢モニタリング調査

植生保護柵設置による水収支や流出特性、土砂動態に与える変化について、東京大学及び東京農工大学との共同研究により検証した。各調査とも基本的なモニタリングと解析を継続するとともに、水流出に関しては短期水収支法により地下水移動特性や植生保護柵設置前後の栄養塩流出変化を検討した。その結果、NO3流域では流域外への地下水流出、NO4流域では流域外からの流入があり降水量に応じて流出・流入量も多くなる傾向がみられた。また、栄養塩流出は、すべての流域で2012年以降減少傾向であるが2015年は夏季を除き他の流域よりNO3流域の流出のほうが少ないことが示唆された。

植生調査結果から、裸地斜面の植生回復には至っていないが、植生保護柵設置後の下層植生の現存量は増加していた。流出土砂量の時系列変化は明瞭でなく降雨量とも対応しないことから、斜面の土砂生産量が量水堰における流出土砂量に影響を及ぼしている可能性が示唆された。また、底生動物群集と河床地形との関係を調査したところ、山地溪流に特徴的な階段状地形が溪流の生物多様性やバイオマスにおいて重要であることが示唆された。

Bc. 貝沢モニタリング調査

平成24年度に行われた間伐と木材搬出の前後における水・土砂流出と有機物（窒素）の動態の短期的変化について東京農工大学との共同研究により検証を行った。水文観測データをさらに精査して間伐前後の年間流出量、直接流出量の変化を求めたところ、年間降水量1800mmに対して整備による流出量の増加分は約100mm程度であり、その大部分を基底流出が占めると考えられた。有機物（窒素）動態については、群状伐採区、通常間伐区、広葉樹リターの混入した箇所での地温・体積含水率・全N量・全C量・微生物バイオマスN等についてそれぞれ斜面方位を踏まえて解析したところ、斜面方位や施業による地温・水分の変化が窒素無機化量に影響を及ぼしていることが示唆された。A0層から土壌への無機態窒素侵入量と土壌からの流出量の収支をみたところ、NH₄-Nでは斜面方位、施業形態および年経過に関わらず土壌での消費量の方が多くなり、流出量は抑制されていた。一方、NO₃-Nでは斜面方位、施業形態および年経過で違いが見られ、群状伐採区と通常間伐区の同一斜面方位で見ると、伐採後2年目では群状

伐採区のほうが大きく、3年目では通常伐採区のほうが大きくなったことから、群状伐採区では植生による吸収が関係していることが示唆された。

Bd. ヌタノ沢モニタリング調査

平成26年4月に植生保護柵が完成したヌタノ沢において、基本的な気象・水文観測を継続するとともに、植生保護柵設置効果を検証するための各種調査、とりまとめを行った。2015年の年間降水量は2583.5mmであり年ごとの流況をみるとA沢は降水量の多寡によって変動し不安定であるが、B沢は比較的安定している。直接流出量、濁度、水質（硝酸態窒素濃度）の経年変化をみたところ、植生保護柵設置前後の変化は明瞭ではなかった。また、植生保護柵設置1年半後の林床の被覆度を6段階で評価したところ、A沢では裸地やリター少に区分された面積の割合が減少し、リター多い・植生被度40～80%、植生被度80%以上に区分された面積の割合が増加した。B沢では、リター少に区分された面積の割合が大きく増加するなど総合的には横ばいか劣化の傾向であった。下層植生の現存量について、流域ごと林相（人工林・広葉樹）ごとの区分で集計して比較したところ、いずれの区分においても2012年より2015年のほうが現存量が増加していたが、増加量はA沢のほうが大きかった。

Be. フチヂリ沢モニタリング調査

基本的な気象・水文観測を継続し、平水時と出水時の流量・水質観測を行った。2015年の年間降水量は3089mmであり、特に7、9月には台風の影響で月降水量が600mmを上回った。平水時の流量測定結果は、これまでと同様にクラミ沢よりもフチヂリ沢のほうが流量が多く、フチヂリ沢では上流から下流になるに従い流量が増加したがクラミ沢では明瞭でなかった。出水時の流量観測は、平成27年9月9日に行い、これまでより高水位の流量を測定することができた。平成24年度以降のデータも含めて水位流量換算式の検討を行なった結果、年度ごとに傾向が少しずつ異なっていたことから河床断面形状が変化している可能性が考えられた。

Bf. 水循環基礎調査(1) (2015年大洞沢、貝沢およびヌタノ沢の水文環境調査)

試験流域の水収支、水循環過程を解明する上で必要な無降雨時の水源について調査した。大洞沢、貝沢およびヌタノ沢の無降雨時の流程に沿った流量を調査し、それぞれの流域の水源となる湧水かん養、地下浸透となる伏没浸透の状況を把握した。大洞沢では崩壊地湧水の寄与が大きいことが確認できた。さらに、周辺流域での比流量を把握した。貝沢では、上流～下流まで比流量がほぼ同様で、比較的均一な水文地質条件であることが確認できた。ヌタノ沢では、A、B両沢共に流水は主に源頭部の湧水によって賄われているが、中流から下流にかけて伏没浸透による流量減少が認められた。一方、各流域の水質を平均値で比較すると、陰イオンでは貝沢が Cl^- が2.23mg/l、 NO_3^- が2.37mg/l、 SO_4^{2-} が15.3mg/lで他2流域と比べ大きい。しかし、 HCO_3^- は大洞沢が50mg/lと大きいことが分かった。陽イオンは、貝沢の Na^+ が4.57mg/l、大洞沢の Ca^{2+} が10.7mg/lと比較的大きく、ヌタノ沢の K^+ は1.36mg/lと他流域に比べ1桁大きい。そして、シリカは貝沢が22mg/lとやや大きかった。これらの調査を継続し、データを積み重ね、長期傾向を分析し、試験流域で進められているシカ柵設置や間伐などの施業の効果の評価に役立てたい。

Bg. 水循環基礎調査(2) (2015年の地下水位変化と流量観測結果)

水環境モニタリング調査結果として、降水と流量、地下水位（水頭）について2015年の1年間、および7月の台風11号接近時のハイドログラフを用いて流域の特徴を把握した。夫々の流域の特徴は次のとおりであった。大洞沢では、降雨に対応した流出が記録され、最大は台風18号時の6,800万 m^3 /日であった。地下水位変化は、斜面にあるB2の方が河床にあるB1よりなだらかである。また、台風時による出水時の流量変化では、降雨に伴い直ちに流量増加し、降雨終了と共に流量は減衰する。貝沢では、大洞沢と同様に、7月の台風前が低水量であった。その後、流量は回復したが、

出水による土砂堆積のため9月以降の連続記録が取れなかった。ヌタノ沢では、A沢の流量変化が著しく、低水量時には1m³/日を切ることがあった。しかし、B沢は年間を通じ100m³/日前後を保っている。7月の台風時の両沢の出水を比較すると、ピーク流量とその後の減衰状況に大きな違いは認められなかった。地下水位は降雨に対して敏感に反応し、年間の変動量は約2.5mであった。クラミ沢・フチヅリ沢では、7月の台風前の流量が少なく、台風後は流量が増えた。2回の台風時のピーク流量を比較すると、いずれもクラミ沢の方が多かった。

Bh. 水生生物調査（文献レビュー）

森林整備による溪流環境や水生生物への効果を把握するためには、これまでの知見に基づいた仮説の設定と検証が必要であるため、森林の状態と水生生物の関係に関する文献レビューを行った。森林や溪流環境と水生生物の関係について調べた原著論文やその知見をまとめた総説などの文献を収集し①森林から溪流生物群集への作用プロセス、②実際に森林の有無や伐採の影響から森林の役割の有効性を検証した事例、そして実際の森林整備と関係する③針葉樹人工林やシカによる林床植生の過採食の影響に関するレビューを行った。結果として、森林は大きく、水流出にかかわる水文プロセス、土砂流出や溪床環境にかかわる地形プロセス、水生生物のエネルギー源となるリター供給による栄養プロセス、温度や日射などによる微気候プロセスにより水生生物に影響すると整理された。しかし、実際に森林の有効性は研究事例によってばらつきが大きいことから、上記のプロセスは複雑に相互に関係していることや状況依存的に作用しており、森林から溪流への作用プロセスを重視した検証が必要であると考えられた。針葉樹人工林の影響は、広葉樹と比べリターの質や供給量の季節変化の差異や、またリターが溪流中に残存し堆積帯を形成によって、底生動物や魚類に影響することが指摘されていた。シカの過採食の影響については、森林の土壌流出によって溪床の細粒土砂の堆積が底生動物の種組成に影響することが明らかになっていた。したがって、これらの地形や栄養プロセスを軸として森林整備の効果を把握することが重要であると考えられた。

Bi. 水生生物調査（統合解析）

県内に設置された4つの試験流域における付着藻類および底生動物の特徴とその位置づけを明らかにするための解析を行った。まず、4つの試験流域の流域特性に関する指標値を用いて主成分分析を行った結果、ヌタノ沢、大洞沢、フチヅリ沢、貝沢の順に広葉樹林率、シカ密度そして流域平均幅が小さい（第一主成分）という序列が得られた。次に、底生動物の種特性（摂食機能群、生活型、化性）の構成比の差異に対する第一主成分の寄与を解析したところ、化性の構成比と第一主成分に有意な相関があり、一年多化の種群の割合は高い広葉樹林率、高いシカ密度、小さい流域平均幅をもつヌタノ沢や大洞沢で高いという傾向が見出せた。この傾向は、林相やシカ密度、流域地形（地質）による極値的な水や土砂の流出頻度といった攪乱頻度の差異が、一年多化という世代時間が短いあるいは移入機会が多い種群の優占度に影響しているためと考えられた。付着藻類に関しては構成種の種特性による分類など、解析のための予備的検討を行った。

Bj. 水生生物調査（モニタリング基礎調査）

各試験流域に生息する水生動物のうち、広く中下流河川にも生息するものについて、今後の水系全体での水源環境の検討に先立ち、特にホトケドジョウ、シロタニガワカゲロウの地域個体群の遺伝子解析を基礎調査として行った。ホトケドジョウについては、厚木市内で相模川の西側に位置する支流である玉川および荻野川で採集された10匹に加え、荻野川水系および玉川水系の支流から得られた合計107匹のホトケドジョウを用いてmtDNA Dループ領域の変異の解析を行った。その結果、南関東集団のサブクレードAのうち既知のハプロタイプと同一のクレードに属する集団に加え、新たなクレードに属する集団が確認された。この新たに確認された集団は「荻野川・真弓川系列」および「玉川・恩曾川系列」に分類されるものの、

共通のハプロタイプも見出され、過去にこれらの流域間での遺伝子交流があったことが示唆された。シロタニガワカゲロウについてはDNA抽出とその解析方法といった、次年度の遺伝子解析に向けた検討を行った。

Bk. 水循環モデル

これまで構築してきた水循環モデルを用いて、特にヌタノ沢試験流域モデルによる事業効果予測の試算を行なった。植生保護柵で流域を囲みシカを排除することによって植生が回復し土壌の浸透能が向上するという筋書きを前提に、林床・下層植生と表土層・根圏に関する主なパラメータ（粗度係数、林床貯留率、林床貯留容量、被度、透水係数）の変化を想定し、流域内の植生被覆や土壌厚の分布を踏まえて試算したところ、流域内のきめ細かいパラメータ設定が計算結果にも反映し試験流域レベルでの細かい事業効果予測解析がある程度可能であることが確認できた。

Bl. 水源施策の総合評価のための情報整備

本業務は高度なGIS技術を持ち、システム設計やGIS上のプログラミングのできる派遣職員により実施した。森林で行われる事業の総合的な施策評価を行うため、事業実績や各種モニタリング調査のデータを収集・整理して関係所属に提供するとともに、収集したデータによる解析、さらには、職員によるGIS利用・解析のための各種プログラム作成を行なった。特に、これまでに実施した水循環モデルによる施策評価のためのシナリオ解析結果を用いて、事業実績等の既存データによる空間分布解析や図化を試行的に行った。

C. 水源林の整備が森林生態系に及ぼす効果把握—総括—

森林整備による生物多様性への効果をみるために、3 地域のスギ林とヒノキ林、広葉樹林を対象として、H26 に小仏山地の 27 林分と箱根外輪山の 21 林分で、H27 は丹沢山地の 38 林分で植物と昆虫類、鳥類、哺乳類を調べ、過年度のデータも含めて各分類群で地域間の差異や間伐からの経過年数との関係を解析した。

Ca. 植物

種数と植被率ともに間伐後に増加する傾向を示し、種数と植被率、多様度指数（シャノン指数）のいずれも間伐して5～6年付近をピークに達してその後下がる傾向があった。林床植物の種数や植被率、更新木の種数などの植生指標について、各林分のシカの撮影頻度や間伐からの経過年、開空度、標高、傾斜を説明変数として、AIC による変数選択のベストモデルを検討したところ、間伐は種数と植被率、多様度指数、更新木の増加に正の影響をもたらし、シカは更新木の樹高を制限し、多様性を下げていることが示された。

Cb. 土壌動物

丹沢におけるミミズ類の調査では、フトミミズ科とツリミミズ科の2科36種が確認された。過年度データを活用して、林床植生の植被率との関係を解析したところ、小仏と箱根の林相によっては中程度の植被率のプロットでミミズの個体数が多くなる傾向があった。

丹沢のササラダニ類は、合計182種が確認された。小仏山地と箱根外輪山で出現したササラダニ類の種組成をCA分析したところ、小仏山地と箱根外輪山ともに林相により種組成が異なった。

Cc. 昆虫

丹沢の38林分全体で地表性昆虫は8綱23目73科158種を確認した。種数と個体数ともに昆虫綱が優占していた。また、昆虫綱の中ではコウチュウ目が優占していた。オサムシ科について種数、個体数と

林床植被率との関係をみたところ、種数ではヒノキ林において正の弱い相関があり、個体数では広葉樹林で負の相関関係が認められた。林床性昆虫は38林分全体で17目146科374種を確認した。種数と個体数ともにカメムシ目、コウチュウ目、ハエ目、ハチ目が優占していた。ハムシ科とゾウムシ科について、種数、個体数と林床植被率との関係をみたところ、種数と個体数ともにすべての林分で正の相関があり、とくに広葉樹林では正の強い相関関係が認められた。

Cd. 鳥類

3地域で観察された種数と個体数は、夏期が88種26030羽、冬期が65種21490羽であった。地域、林相別の1プロットあたりの種数と個体数が最も高かったのは、夏期種数が丹沢山地の広葉樹林が27.2種、夏期個体数が箱根外輪山のヒノキ林255.3羽、冬期種数が丹沢山地広葉樹林の25.7種、冬期個体数が丹沢山地広葉樹林の412.1羽であった。間伐からの経過年数と鳥類の種数及び個体数については明瞭な関係は認められなかった。

Ce. 小型哺乳類

丹沢の32林分でシャーマントラップ調査したところ、全体でアカネズミとヒメネズミ、ヒミズの3種を確認した。個体数はアカネズミが19個体、ヒメネズミが8個体、ヒミズが1個体であった。過年度の小仏山地と箱根外輪山よりも少なかった。この理由として調査年次と地域特性の影響が考えられる。

Cf. 大型哺乳類

センサーカメラ調査した結果、同定できた種と撮影回数は、全体で15種6806回、小仏山地が14種1805回、丹沢山地が14種4194回、箱根外輪山地域が9種807回であった。撮影枚数上位5種について針葉樹人工林（スギ林・ヒノキ林）のみのデータを使用し、それぞれの種について地域間で出現回数を比較したところ、ニホンジカは丹沢山地、アナグマとニホンザルは小仏山地で有意に多かった。針葉樹人工林と広葉樹林での出現回数を比較したところ、タヌキ・イノシシ・アナグマは有意に広葉樹林で多かった。

Da. スギ・ヒノキ花粉発生源地域推定事業

社会的に大きな問題となっているスギ・ヒノキ等の花粉症に対し、有症率が増加し花粉飛散量や飛散時期を予測する必要性が増している。そのため、県内各地に生育するスギ林の雄花着花量から花粉飛散量の予測を行った。2015年11月に調査したスギ林30箇所の着花点数の平均値（県内平均値）は、50.6点となり、少なかった昨年（H26）の37点は上回るものの、本調査開始から17年間の平均値（例年値）は42.9点で、今回の調査結果は例年値をやや上回っており、平成27年春の花粉飛散量は、昨年より増加し、例年並かやや多くなると予想された。

目視によるヒノキ雄花着花調査手法の確立のため、昨年選定した県西部から北部にかけてのヒノキ林40カ所を調査は12月および4月に実施した。その結果雄花着花点数は52.5点となり昨年の34.7点だけで泣く過去最高となった。この結果を受け、「平成28年春のヒノキ花粉飛散量は昨年より多い」として飛散予測を行った。これはヒノキの雄花量による予測として全国で初めてのものである。

Db. スギ・ヒノキ林の花粉削減研究

小田原市久野の雄花着花量の年次変動は、2014年は6,241個と2013年の21,513個を大きく下回り不作年であった。21世紀の森地内のヒノキ採種園において1998年からの雄花の着花指数と種子生産量の関係では、2014年の自然着花の指数平均は2.30と昨年の2.08は上回ったが平均の2.48を下回った。

平成28年春のスギの総花粉飛散量は、図4に示したように15,740個/cm²となり前年値を上回ったも

の平均を下回った。一方、ヒノキは3,510個/cm²となり前年値、平均値を上回った。スギの総花粉飛散量と雄花生産量との関係を見ると、高い相関がみられた。

Dc. 無花粉ヒノキの実用化研究

神奈川県で発見した無花粉ヒノキの特性解明のため現在さし木32本、接ぎ木16本の育苗を進めている。無花粉ヒノキ増殖の新たな育苗方法として成形コンテナへの直ざし試験を実施した。秦野1号と無花粉ヒノキ候補木を実施したところ活着率は0～57.1%であった。低い原因として秦野1号は原木から採穂したさし穂であったこと等が考察された。また、新たな無花粉ヒノキ候補木として、精英樹実生の試験から5本を選抜した。再現性の確認を行ったうえで雄性不稔個体として選抜する。

連鎖地図作成に資する交配家系の作成を行い、2クローンを母樹として人工交配39組み合わせを行い、種子303.8gを得た。今後育苗を行い連鎖地図作成に資する。また連鎖地図作成に資する大量マーカーの開発を行った。効率的なヒノキマイクロサテライト手法の確立として、多型性の高いマイクロサテライトマーカー10個により分析を行い8個のマーカーが親子識別に有効であった。無花粉ヒノキの遺伝解析として、選抜した無花粉ヒノキ候補木5本と採種園導入木のマイクロサテライト分析を行い、父親クローンの探索を行ったところ、すべての父親が確定された。

(2-2) 野生動物と共存できる森林管理技術開発

A. シカと森林の一体的管理の推進手法開発

水源林の施業地におけるシカ捕獲後の植生回復を検証するために、前年度に引き続き水源林等の12か所44地点で植生とセンサーカメラによるシカの利用状況を調査した。捕獲を開始して間もないため植生の顕著な変化は現われておらず、前年度と比較してほとんどの箇所の植被率は±10%の範囲内に収まった。センサーカメラの調査では、すべての地点でシカが優占種であった。

B. ブナ林におけるシカ管理手法開発

効率的なシカ管理に資するため、重点的な捕獲が求められる高標高の稜線部及び水源林整備地を対象に実施したセンサーカメラ調査の結果について統計モデルによる解析を行い、出没頻度の時系列変化について検討した。撮影頻度は、丹沢山では二山型、寄沢と鷲ヶ沢では一山型の傾向を示し、これらの間には時期に一定のズレがあるものの同調した変動があることが確認された。丹沢山において撮影頻度の時系列での将来予測を行ったところ、ベイズ型推定によると季節ごとに増減を繰り返しながら0に近づくという予測結果となった。また、GPS首輪データによる行動パターン解析の結果、移動速度に季節変動は認められず、撮影頻度の増加が季節による移動量の変化によって起こっている訳でなく、センサーカメラ周辺の局所的なシカ密度が反映されている可能性があることが分かった。利用する標高には地点ごとに特有の緩やかな季節変化がある場合があり、そのことがセンサーカメラ周辺の局所的なシカ密度を増減させている可能性がある。

C. シカによる植生影響モニタリング

シカ保護管理事業において捕獲による植生回復を検証するために、11地点で植生保護柵内外の植生を追跡調査するとともに、丹沢山地西部において累積利用圧調査を実施した。植生の調査から、植被率や群落高、ササ稈長、更新木樹高といった植生指標は柵内で上回っていた。累積利用圧調査では、前回の結果と比較して東丹沢では1または2ランク改善したメッシュがあったものの、西丹沢の世附エリアでは劣化したメッシュが多かった。この要因として平成25、26年でスズタケが一斉開花・枯死したことやシカの影響の高まりがあげられる。

2-3 個別研究課題

(1) 丹沢大山の自然環境モニタリングと再生技術開発

A. 大気およびブナハバチモニタリングとブナ林衰退への影響機構解明

- (1) 課題名 A. 大気およびブナハバチのモニタリングとブナ林衰退への影響機構解明 - 総括 -
- (2) 研究期間 平成 24 年度～28 年度
- (3) 予算区分 丹沢大山保全・再生対策事業費
- (4) 担当者 谷脇徹・齋藤央嗣・田村淳・内山佳美・相原敬次

(5) 目的

大気汚染やブナハバチなどの複合的な要因が原因と考えられる丹沢のブナ林の衰退機構の解明やその保全対策の検討のためには、自然環境保全センター単独では研究を進めることは不十分であり、各機関との連携が求められる。このため、自然環境保全センターでは、ブナの衰退原因の解明と丹沢大山の保全再生を図るためブナ林衰退機構解明研究プロジェクトを県機関の環境科学センターと農業技術センターおよび大学等との共同研究として進めてきた。各機関との連携を図り研究を推進するため、平成 27 年度はブナ林衰退機構解明研究プロジェクト打ち合わせ会議の開催、研究成果評価部会の開催、大学等との連携に取り組んだ。

(6) 方法

プロジェクトの推進を図るため、以下の打合せ会議、研究成果評価部会の開催、大学等他機関の連携を実施した。

ア. 平成 27 年度ブナ林衰退機構解明研究プロジェクト打ち合わせ会議の開催

ブナ林衰退機構解明研究について、平成 24 年度から 5 ヶ年計画で実施している第 3 期プロジェクトを推進するため、平成 26 年度の報告を行うとともに、今年度及び第 3 期プロジェクト計画の検討を行うための他機関・大学との打合せ会議を実施した。

イ. 研究成果報告会の開催

丹沢の自然豊かなブナ林を次の世代へと引き継ぐために様々な大学・研究機関とのプロジェクト研究により取り組んでいる衰退原因の解明と再生技術開発に関する成果情報を県民に広く提供するため、これまでに明らかとなったうっそうとしたブナ林再生へのロードマップについて報告した。

ウ. 大学等他の研究機関との連携

衰退要因であるオゾン、水ストレス、ブナハバチの各課題の解決と対策を効果的に実施するためのハザードマップ作成のため、県機関である環境科学センター、農業技術センター、さらには愛媛大学、京都府立大学、酪農学園大学、北海道大学、東京農工大学、東海大学などと連携調査を実施した。

(7) 結果の概要

ア. 平成 27 年度ブナ林衰退機構解明研究プロジェクト打ち合わせ会議の開催

以下により平成 27 年度ブナ林衰退機構解明研究プロジェクト打ち合わせ会議を自然環境保全セ

ンターで開催した。

日 時 平成 27 年 6 月 25 日 13 時 00 分～16 時 30 分

場 所 自然環境保全センターレクチャールーム

出席者 自然環境保全センター及び共同研究機関である環境科学センター、農業技術センター、及び愛媛大学の関係者 12 名

内 容 平成 27 年度の計画概要、予算等の説明後、各個別課題（6 件）の平成 26 年度の成果及び計画、第 2 期研究のとりまとめの方向性、第 3 期計画について議論を行った。

イ. 研究成果評価部会の開催

以下により、大学・研究機関との共同研究で実施しているブナ林衰退機構解明と再生技術開発の研究成果報告会を開催した。

タイトル 自然環境保全センター研究報告会～衰退原因の解明と再生技術の開発～

主 催 神奈川県自然環境保全センター研究企画部

日 時 平成 28 年 2 月 20 日（土）13:30～16:00

会 場 厚木商工会議所 501 号大会議室（厚木市栄町 1-16-15）

参加者 107 名

内訳 一般（関係団体・個人等） 59 名

大学（教員・学生等） 15 名

行政（市町村および県職員） 18 名

主催関係者 15 名

プログラム

13:30～13:35 開会・説明

13:35～13:40 1) 開会挨拶

自然環境保全センター所長 稲垣敏明

13:40～13:55 2) ブナ林衰退の原因解明に向けて

自然環境保全センター研究連携課長 西口孝雄

13:55～14:20 3) ブナの水ストレス診断

京都府立大学准教授 上田正文

14:20～14:30 質疑応答

14:30～14:55 4) 衰退リスクから見たブナ林再生優先地マップの作成

酪農学園大学准教授 鈴木透

14:55～15:20 5) ブナ林再生のための技術開発

自然環境保全センター研究連携課 谷脇徹

15:20～15:25 ブナ健康度調査に係るコメント

丹沢ブナ党代表 梶谷敏夫

15:25～15:40 6) 自然再生事業の実施状況

自然環境保全センター研究連携課 永田幸志

15:40～15:50 質疑応答

15:50～16:00 7) 学識者による講評

16:00

8) 閉会挨拶

自然環境保全センター研究企画部長 山根正伸

ウ. 大学等との連携

平成27年度は以下の機関と連携して調査を実施した。

○庁内機関との連携

ブナ林への大気影響：環境科学センター

オゾン等の植物影響：農業技術センター

○大学等への受託研究

土壌保全対策手法・検証手法開発 東京農工大学（自然環境保全学部門）

ブナ衰退モニタリング 酪農学園大学（農食環境学部）

ブナ林への大気影響 愛媛大学（農学部）

ブナ林の衰退要因調査 京都府立大学（生命環境学部）

ブナストレス診断 北海道大学（農学部）

○協定による大学等の連携

ブナハバチの生態解明と防除技術の開発 東海大学（総合教育センター）

○その他の共同研究

樹幹注入によるブナハバチ防除試験：長野県林業総合センター、サンケイ化学

ブナハバチ天敵調査：森林総合研究所（森林昆虫研究領域）、神奈川県生命の星・地球博物館

(8) 今後の課題

第2期の研究期間が平成28年度までであり、その成果のとりまとめのため、目標としているブナ衰退リスクマップの作成の他、パンフレットや成果集の作成を検討するとともに第3期に向けての研究計画の調整を進める必要がある。

(9) 成果の発表

各個別課題に記載の通り。

(1) 丹沢大山の自然環境モニタリングと再生技術開発

A. 大気およびブナハバチモニタリングとブナ林衰退への影響機構解明

- (1) 課題名 **Aa. ブナ林の大気環境解析**
(2) 研究期間 **平成 25 年度～29 年度**
(3) 予算区分 **丹沢大山保全・再生対策事業費**
(4) 担当者 **齋藤央嗣・谷脇 徹・相原敬次**

(5) 目的

丹沢におけるブナ衰退の要因解明を大気環境の視点から明らかにすることを目的として、丹沢地域における大気環境調査・研究を行って来ている。平成 24 年度より実施している鍋割山、菰釣山における気象観測、および、丹沢山、檜洞丸におけるオゾン濃度と気象観測により、影響因子の一つであるオゾンの動態を明らかにしてきた。しかし、測定網が不十分なことや頻発する測定器トラブルのため、オゾン動態の全体像は十分に把握されていない。そこで、平成 27 年度は、丹沢山地に新たに設置した山頂測定局におけるオゾン濃度データの解析、および、従来器よりも軽量かつ低消費電力の小型オゾン計による登山道移動観測およびこれまでのオゾン計測結果のとりまとめを実施した。なお、観測の一部とデータ解析は、愛媛大学農学部（若松伸司教授）へ委託して行った。

(6) 方法

① 定点観測データ解析

ブナ衰退の激しい地域におけるオゾンの動態を把握するために、山頂付近にモニタリング局を設置し、気象要素とオゾン濃度を連続的に測定した。2012 年 3 月より、丹沢山、檜洞丸、鍋割山、菰釣山の山頂付近に測定局を設置・運用してきた（図 2-1）。太陽電池による電源供給システムにより稼動し、月 1 回程度のメンテナンス（測器交換、校正など）を行っている。測定項目は、気象要素（風速、風向、気温、湿度、雨量、日射量、地温）、および、オゾン濃度である。オゾン濃度は、丹沢山、檜洞丸の 2 地点では、局設置当初より、Dylec 社 1150 オゾン計による測定が行われてきた。菰釣山と鍋割山では、当初、気象要素のみを観測するために比較的低容量の電源供給システムを導入していたが、それぞれ、2014 年夏、2015 年秋の短期間のみ、小型オゾン計（2B technologies 社 Model202、または、106）を用いた測定が行われた。この小型オゾン計は、DC12V で稼動するため低容量の電源システムでも運用可能であり、また、軽量であるためメンテナンスのための運搬が容易である。すでに米国の山岳地帯における観測が報告されている

（Burley and Ray, 2007; Burley and Bytnerowicz, 2011; Burley et al., 2014）。測定データは、局設置当初からのデータは 10 分間の平均値（10 分値）として連続的に記録されており、小型オゾン計を使用した 2014 年夏データは 10 秒値、2015 年秋データは 5 分値として記録された。なお、表 2-1 に示すように 2015 年秋の小型オゾン計による観測データについては有効測定データ期間が短かったため、本稿では詳細な結果の記載を省いた。



図 2-1 丹沢山地測定局と周辺常時監視測定局

② 徒歩移動観測

丹沢山、檜洞丸の2地点におけるオゾンの連続測定によって、山頂付近のオゾンの挙動の理解が進んでいる。しかし、ブナ枯れの分布は一様ではなく、オゾンの影響評価を精度よく行うためには、より高密度に丹沢山地全体のオゾン濃度分布を把握する必要がある。解決策として、オゾン連続測定局を多くの地点に設置することが考えられるが、設置やメンテナンスのコストを考慮すると現実的ではない。そこで、代替法として、山地内を移動しながらの観測を行った。この方法では、時間的には特定断面になるが、高密度に広い範囲の濃度分布を把握することができるため、地形影響などを推測する上で貴重な情報が得られる。これまで、林道を利用した自動車移動観測を複数回実施してきたが（岡崎ら、2010）、山頂に近い高標高域の情報が得られていなかった。そこで、小型オゾン計を携帯して登山道を移動観測することより、麓から山頂までの詳細な濃度分布を測定した。以下の測定機器を図3-1のように背負子に取り付け、登山道を歩行することにより観測を行った。



- ・小型オゾン計（2BTechnologies 社 Model202）
- ・充電電池
- ・気温・気圧計（T&D 社 TR-73U；サーミスタセンサーを強制換気遮光二重通風筒に挿入）
- ・湿度計（T&D 社 TR-77Ui；静電容量式センサーを遮光通風箱に挿入）
- ・GPS ロガー（ibblue747pro）

図 3-1 移動観測機器一式

(7) 結果の概要

① 定点観測データ解析

ア 連続測定データ

山地測定局の連続測定データには、落雷、豪雨等に起因する測定機器の故障により、欠測期間が生じている。表2-1にオゾン濃度の有効データ期間を示した。なお、Dylec1150のデータは一日に1時間値(1時間平均値; 1時データ = 0:00~1:00の平均値)が20個以上得られた日を有効測定日として、有効データ期間を求めた。小型オゾン計による短期観測は設置日から撤去日までを示した。

図2-2に丹沢山、檜洞丸、犬越路の3地点において2012年度に観測されたオゾン濃度一時間値を示した。丹沢山、檜洞丸の濃度変動は振幅、タイミングともにほぼ同じであった。標高の低い犬越路でも山頂2地点の変動に同期していることが多かったが、異なる変動も散見され、特に夜間に数ppb程度犬越路のほうが濃度が低くなっていることが多かった(図2-4参照)。図2-2から①の4~6月後半までは20ppbを下回ることがなく、春に濃度レベルが高いことが分かる。②の7月中旬から9月上旬にかけては頻繁に20ppbを下回ることがあり、平均的な濃度は低い変動が激しく、最大値は濃度レベルの高い5月と同じく100ppb程度であった。③、④の10~2月ではほとんどが20~60ppbの間に収まっており、夜に低く昼に高い日変化はしているが、他月と比較すると濃度変動が小さかった。また、④の1月途中からは緩やかに濃度レベルが上昇し、3月からは徐々に濃度変動が大きくなっていった。

図2-3に、菰釣山で連続測定を行った2014年8月1日から9月5日までのオゾン濃度を示す。菰釣山、丹沢山、檜洞丸の3地点は10分値、近隣一般局データは一時間値である。この期間において

は、檜洞丸と丹沢山のデータが同時に得られることはなかったが、この期間以前の連続測定結果から、丹沢山地中部の檜洞丸、丹沢山地東部の丹沢山におけるオゾン濃度は、ほぼ同じ値で同期することがわかっている。今回の観測により、丹沢山地西部の菰釣山についても、以下に述べる事例を除き、檜洞丸、丹沢山とほぼ同じ変動を示すことがわかった。

表 2-1 丹沢山地測定局のオゾン有効データ期間とオゾン測定器機種

地点	オゾン有効データ期間		備考
丹沢山	2012年	4/1~4/7、4/9~6/19、6/22、6/25~7/16、7/21~9/10、9/12~11/4、11/6~12/31	Dylec1150
	2013年	1/1~1/23、1/25~3/26、3/28~8/10、11/6~11/12、11/14~12/3、12/5~12/31	Dylec1150
	2014年	1/1~3/15、3/18~4/28、4/30~5/19、6/5~10/24、10/31~11/2、11/6、11/12~12/3、12/5~12/31	Dylec1150
	2015年	1/1~6/11、6/14~7/19、7/21~8/16、8/19~11/30	Dylec1150
檜洞丸	2012年	4/20~6/19、6/22~7/16、7/21~8/5、8/8~11/4、11/6~12/31	Dylec1150
	2013年	1/1~2/11、2/14~3/5、3/8~3/26、3/29~8/14、8/17~10/31、11/2~11/4、11/6~12/2	Dylec1150
	2014年	5/31~7/31、8/21~11/3、11/5~11/30、12/2~12/3、12/5~12/31	Dylec1150
	2015年	1/1~3/2、3/31~7/25、7/27~8/1、8/4~8/6、8/8~9/4、11/12~11/30	Dylec1150
鍋割山	2015年	8/24~9/8、9/16~10/6	2B202
鍋割山	2015年	10/1~11/17	2B202
菰釣山	2014年	8/1~9/5	2B202
	2015年	9/2~9/3	2B106

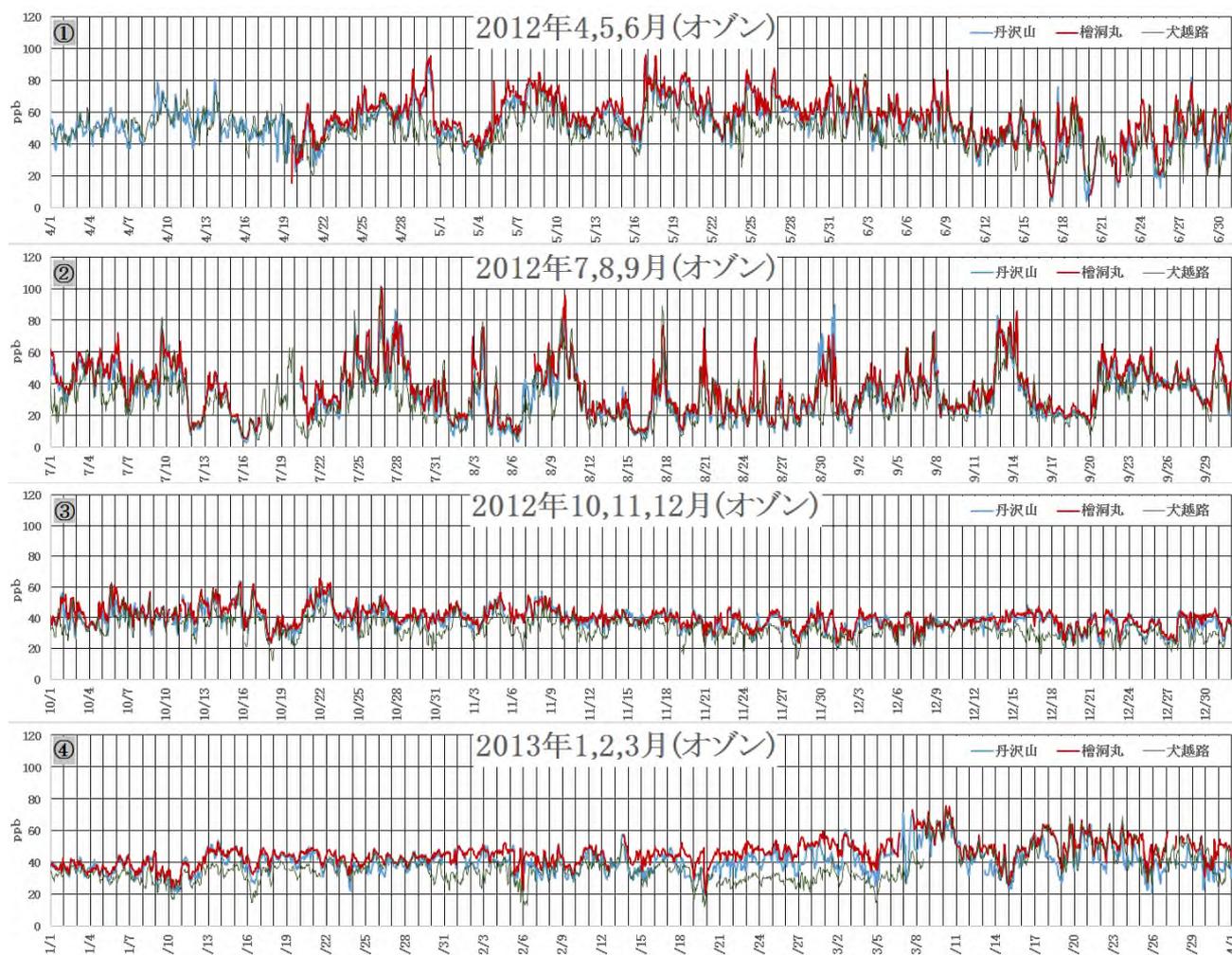


図 2-2 2012 年度丹沢山地局のオゾン濃度一時間値

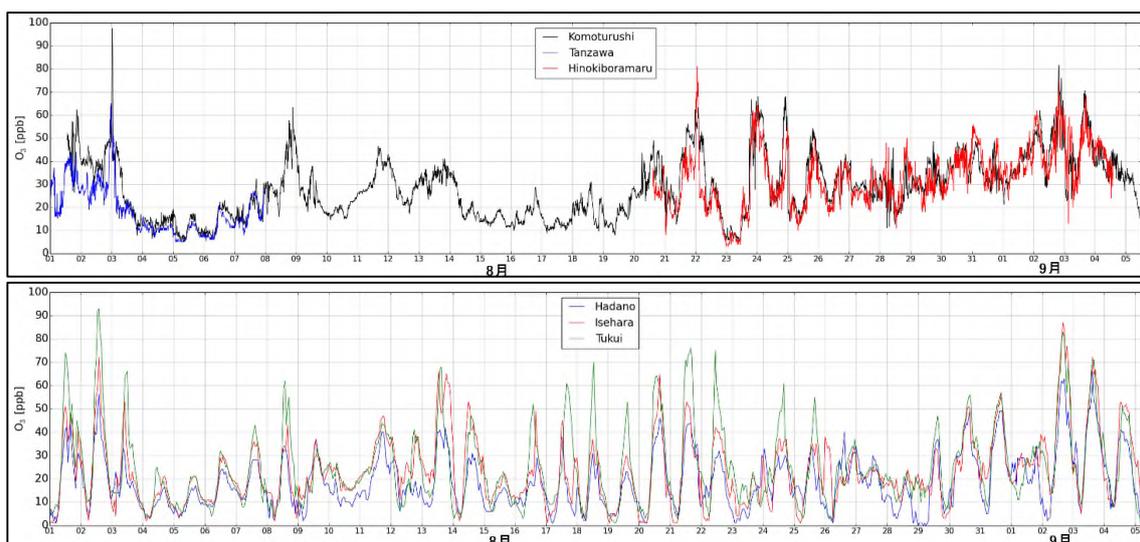


図 2-3 2014年8月1日から9月5日の丹沢山地局におけるオゾン濃度10分値(上)と周辺常時監視測定局(秦野、伊勢原、津久井)におけるオゾン濃度一時間値(下)

オゾン濃度が 60 ppb 以上の高濃度時に注目すると、平地の一般局で 60 ppb を超過したのは 8/1,2,3,8,13,17,18,20,21,22,24,9/2,3 の 13 日であった。それに対し、山地測定局で 60 ppb を超過したのは 8/1,2,8,21,23,24,9/2,3 の 8 日であった。菰釣山において、オゾン濃度が 60 ppb 以上となったピークは 9 月 3 日を除き夜間に起こっており、昼間は小さなピークしか観測されなかった。丹沢山と菰釣山の 10 分値を比較すると、8 月 2 日、8 月 8 日のピークなど、菰釣山の濃度変動が丹沢山から数時間程度遅れて生じている場合もあった。これらの挙動は、人口密集地域において朝から昼すぎに地上付近で生成され、1-2 km 厚の対流混合層に拡がったオゾンのうち、消滅速度が小さい上空空間を西～北方向に輸送されたものが山地に到達するという機構と整合している。

イ 日変動

丹沢山地および周辺地域におけるオゾン濃度の日変動については、過去の研究においてすでに解析されている。河野ら(2007)は、檜洞丸において 2004 年 8 月から 2006 年 7 月の 2 年間にわたり連続測定を実施し、犬越路局、伊勢原市役所局におけるデータとの比較を行った。その結果、オゾン濃度の最大値は平地の方が高いが、年平均値では丹沢山地の 2 地点が平地の約 2 倍であった。また、季節別にオゾン濃度の日変動を調べた結果、年間を通して、標高が高い地点ほど日変動の振幅が小さくなり、最も標高の高い檜洞丸では冬季に日変動がほとんどみられなかった。なお、いずれの地点においても春の濃度が最も高かった。斎藤ら(2012)も、犬越路局でのオゾン濃度の日変動が平地の測定局と比較し小さく、日中にオゾン濃度が上がらず、夜間にオゾン濃度が下がらない特徴があると指摘している。斎藤ら(2012)は、大気化学輸送モデル CMAQ のプロセス解析機能を用いて、その原因を解析している。

本研究では、丹沢山山頂にも連続測定局が設置され、より詳細な空間分布解析が可能となっている。図 2-4 は丹沢山、檜洞丸、犬越路の丹沢山地 3 地点と神奈川県常時監視測定局のうち一般局(59 局)の 2012 年度の年平均オゾン濃度の日変動である。

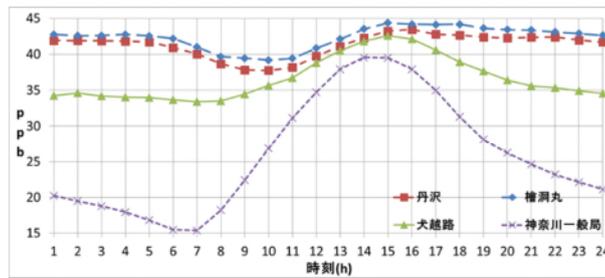


図 2-4 2012 年度丹沢山地と神奈川県常時監視測定局の年平均オゾン日変動

以前の研究で示されていたのと同様に、濃度変動はどの地点においても朝に最小、昼すぎに最大となっており、標高の高い地点ほど日較差が小さくなっていた。今回の調査で、丹沢山と檜洞丸の2地点では年間平均日変動はほぼ同じとなっていることが分かった。また、日内の最大、最小となる時刻が神奈川県一般局、犬越路、丹沢山・檜洞丸の順になっており、山地のオゾンは平野部からの移流の影響を受けて変動していることが示唆された。

ウ 月変化

季節変化については、河野ら(2007)の他に、2004年および2005年の4月から9月まで拡散型パッシブサンプラーを用いた調査結果が過去に報告されている(阿相ら, 2007)。この研究では、丹沢山地では周辺一般局と同様にオゾン濃度は春に高く、夏にかけて低くなると報告されている。本研究では年間を通しての連続的な月平均値が得られている。図 2-5 に、2009年4月から2015年3月の月平均オゾン濃度を示す。月変化は毎年ほとんど同じ形となっていることが分かる。山のオゾン濃度が最大になるのは平野部と同様に5月頃であるが、最小は地上が12月であるのに対して山は7,8,9月の夏に最小となるため、地上との濃度の差が6,7月頃の初夏に小さくなり、12月に差が大きくなっている。

エ 国設酸性雨局などとの比較

これまでの研究では丹沢山地内または丹沢山地周辺の常時監視測定局との比較しか行われてこなかった。ここでは、国設酸性雨局との比較を行い、丹沢山地における特徴を明らかにする。なお、国設酸性雨局は都市域には3地点ほどであり、丹沢山地と同じく汚染物質の発生源が少ないと考えられる岬や山、島などの遠隔地に多く設置されており、比較的高標高に位置する測定局が多い。また、国設酸性雨局は都市、田園、遠隔の3つに分類される。

図 2-6 に丹沢山と国設酸性雨局の各カテゴリから選抜した地点の2012年度の平均日変化を示す。丹沢山や赤城と尼崎を比較すると、山では最小・最大となる時刻は都市部より1~3時間程度遅い

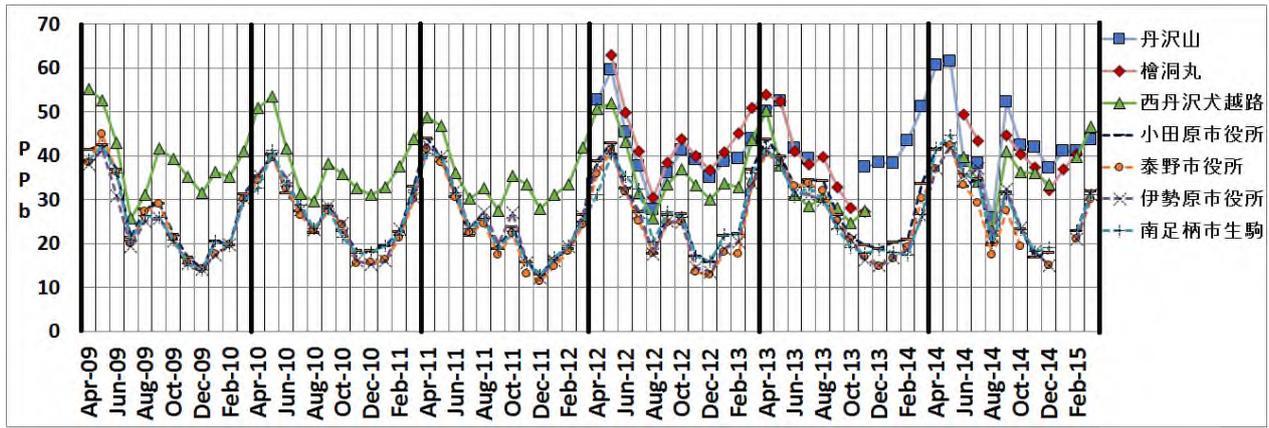


図 2-5 丹沢山地局と周辺常時監視測定局の月平均オゾン濃度変動

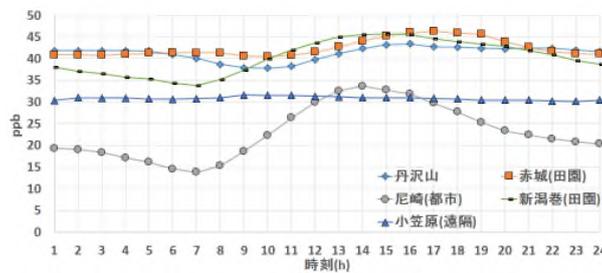


図 2-6 丹沢山と国設酸性雨局の 2012 年度平均日変化

ことが分かる。これは山のオゾン濃度は近くの都市域からの移流を受けて変化しているためであると考えられる。小笠原のような周囲からの人為的影響がほとんどないような場所では日変化はなくほぼ一定の濃度を保っていることが確認された。山や遠隔地などで都市域と比較して夜間の濃度減少が小さくオゾンの日変化量が小さい理由として NO の排出量が少ないことが考えられる。

図 2-7 に、2012 年度の丹沢山地の 3 地点と国設酸性雨局の高標高 3 地点（標高 750m 以上）のオゾン濃度月平均値の変動を示す。全地点でオゾン濃度は春に最大、夏に最小となっている。また、八方尾根と赤城の 2 地点は丹沢山地の 3 地点と比較すると、春から夏にかけてのオゾン濃度の減少幅が小さく、逆に栲原では大きいことが分かる。夏の濃度低下の違いは、太平洋上からの低濃度オゾン気塊移流の影響度の違いを反映しているものと考えられる。

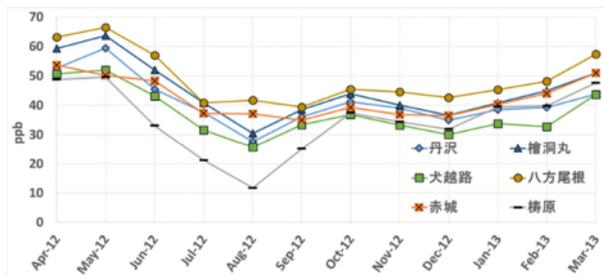


図 2-7 丹沢山地測定局と国設酸性雨局の 2012 年度月平均値

図 2-8 に、丹沢山地と国設酸性雨局（標高 700m 以上）の 4-9 月の AOT40（有効測定データが 80% 以上）の経年変化を示した。全体的な傾向としては 2009 年頃以前よりも、以後の方が AOT40 値が低い。高標高に位置する赤城、八方尾根では AOT40 の値が特に大きく一時は 100 ppmh 前後と非常に

大きな値となっていたが、2012年には赤城は40ppmh、八方尾根は60ppmhまで減少している。丹沢山、檜洞丸については、2012年に、同程度の標高に位置し首都圏周辺の山地局である赤城と近い値となっていること、および、犬越路の経年変化から、この2地点でも2008年頃には80ppmhに近い値をとっていたのではないかと推測できる。丹沢山地のAOT40は、近年、20-30ppmhの範囲で緩やかに変化しているが、4-9月のAOT40が10-21ppmhでブナ苗木の固体乾重量が10%低下するという報告があり（伊豆田・松村,1997）、より低い曝露量になるよう改善する必要がある。

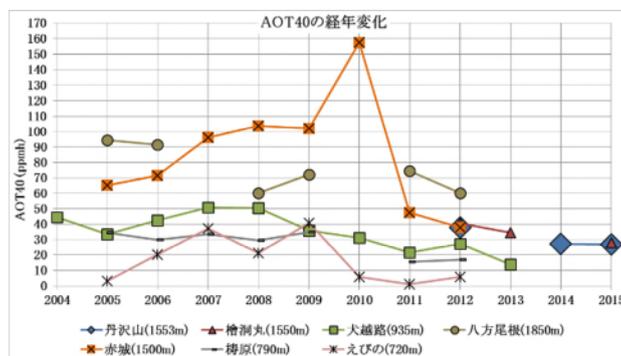


図 2-8 丹沢山地測定局と国設酸性雨局の AOT40 の経年変化

オ 風向依存性

2012年度の丹沢山、檜洞丸、犬越路の3地点について月ごとに風向別平均オゾン濃度を求めた。図 2-9 に結果を示す。丹沢山では、5月に濃度が高く、西風のときわずかに高い傾向があった。7~9月の夏季では、北よりの風のときは40ppb以上であるのに対し、南よりの風のときは20ppb未満となっていた。北よりの風のときにオゾン濃度が高くなる傾向は、6月頃から表れている。夏以外の期間はオゾン濃度の風向依存性は小さかった。檜洞丸においても、夏は北よりの風のとき濃度が高くなっており、その他の期間では風向による濃度差は小さかった。丹沢山と檜洞丸では、夏季の強い海風によって関東内陸部に生じた高濃度オゾン気塊が、夜間に陸風によって南に向かって輸送されるために、北風が吹くときにオゾン濃度が高くなったと考えられる。

犬越路でも6~9月の夏以外の期間では他地点と同様にオゾン濃度の風向依存性は小さかった。夏は、丹沢山・檜洞丸と異なり、南よりの風のとき濃度が高かった。犬越路では、他地点よりも標高が低く、昼間に南風、夜に北風が吹くという傾向がはっきりしているため、南側に位置する平野部のオゾン日変化を反映した風向依存性になったと考えられる。

風向依存性について注意点がある。山頂測定局の風向風速計はプロペラ式のものが地上5mの位置に設置されている。しかし、山頂測定局の位置する山頂または稜線では、山肌を登る風が複数方向から集まる場所であり、風速風向の時間空間変動は極めて激しい。実際、近傍の樹々に吹く風と風向風速計に当たっている風が全く異なっていることが頻りに目視で確認されている。したがって、比較的風速が大きく、風向が安定している場合を除くと、風向風速データの信頼性は低い。複雑な山岳地形において信頼性と代表性の高い風向風速データを測定することは、今後の重要な技術開発課題である。

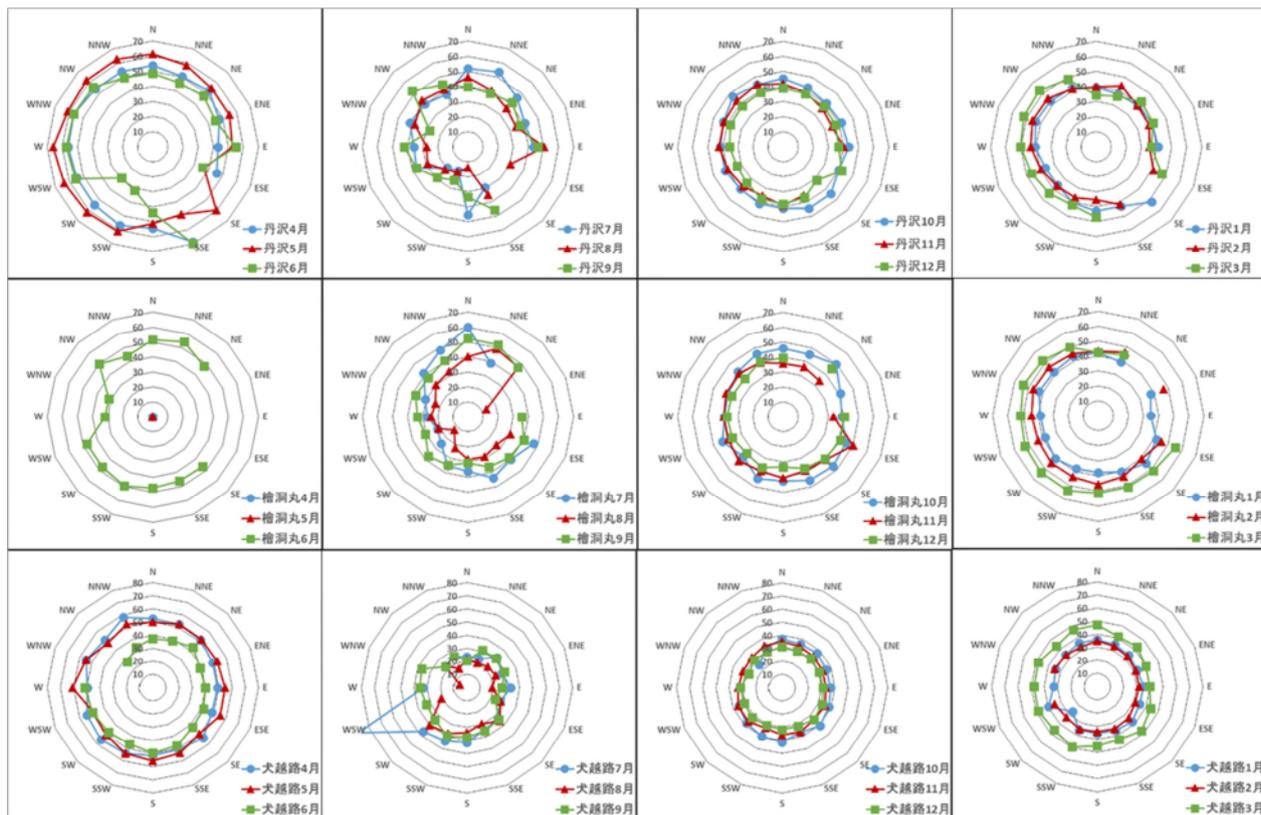


図 2-9 2012 年度丹沢山地測定局の風向別平均オゾン濃度

②徒歩移動観測

表 3-1 に丹沢山地において実施された徒歩移動観測の実施日と主な経由山頂を示す。全 9 回のうち、特徴的な結果が得られた観測結果を紹介する。

表 3-1 徒歩移動観測実施日

年月日	主な経由山頂	天候	備考
2014年5月30日	檜洞丸	快晴	
2014年8月1日	菰釣山	晴れ	2B202の設置のため、登山時のみの観測
2014年9月5日	菰釣山	雨→晴れ	2B202の回収のため、下山時のみの観測
2014年9月29日	菰釣山	晴れ	
2014年10月3日	塔の岳、丹沢山、蛭ヶ岳、檜洞丸	晴れ	風が強かった
2015年6月24日	檜洞丸	晴れ、時々曇り	
2015年9月2日	菰釣山、城ヶ尾山、畦ヶ丸	雨→曇り、時々霧	本観測から背負子を使用
2015年10月1日	鍋割山	雨	爆弾低気圧による大荒れの天候で風も強かった。
2015年10月21日	檜洞丸	曇り、時々霧	

ア 檜洞丸移動観測

檜洞丸を主な目的地とした移動観測は 2014 年 5 月 30 日、2015 年 6 月 24 日、2015 年 10 月 21 日の 3 回実施した。

図 3-2, 図 3-3 に 2014 年 5 月 30 日の観測結果を示す。本観測では相対湿度と山頂滞在時のオゾンデータが欠測となっている。神奈川県自然環境保全センターから登山口の区間 (A)、登山口から尾根線までの区間 (B)、尾根線と山頂の間の区間 (C)、尾根線から登山口までの区間 (D)、登山口から神奈川県自然環境保全センターまでの区間 (E) に分類した。区間 A、E は、自動車移動中であるが、助手席の窓からオゾン計の吸気口を出して車載観測を実施した。区間 B、D とともに 600m 以上の標高差の中を観測しているが、濃度レベルに大きな変動はなかった。区間 B の 10 時 55 分頃 (図 3-2 の尾根線付近) でオゾン濃度と温位 (Potential Temperature) の大幅な上昇が観測された。区間 D では途中のオゾン濃度の記録が欠損しているが、測器の表示を目視確認した値

は山頂と同程度であった。下山時は、尾根線付近においてオゾン濃度の変動は観測されなかったが、温位の急激な減少は観測された。



図 3-2 2014 年 5 月 30 日檜洞丸移動観測登坂時の経路とオゾン濃度分布

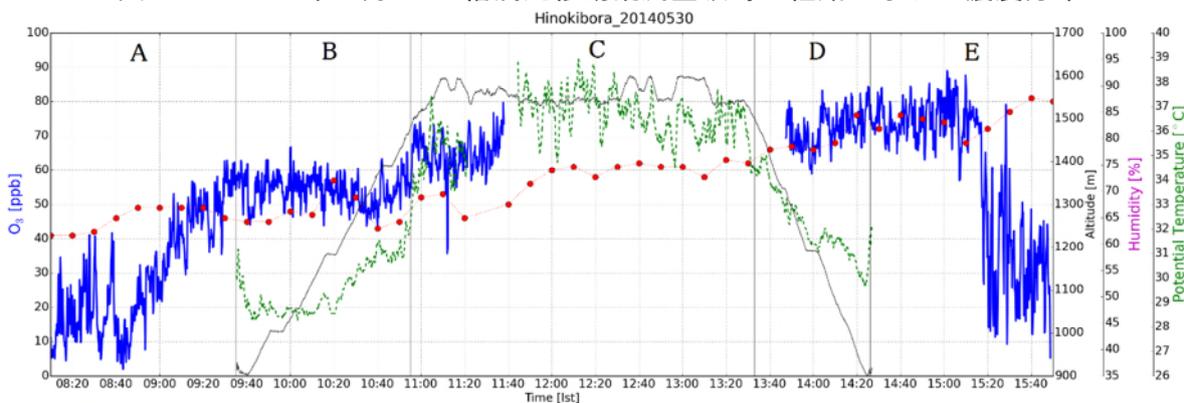


図 3-3 2014 年 5 月 30 日檜洞丸移動観測結果（太実線：2B202 オゾン、破線：温位、丸：檜洞丸オゾン 10 分値、細実線：標高）

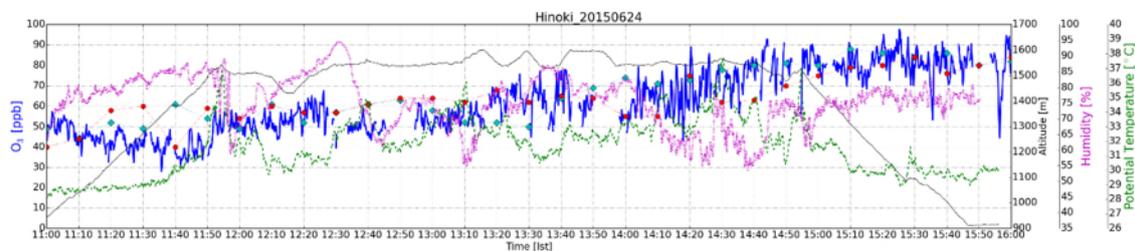


図 3-4 2015 年 6 月 24 日檜洞丸移動観測結果（太実線：2B202 オゾン、破線：温位、点線：相対湿度、菱形：丹沢山 10 分値、丸：檜洞丸 10 分値、細実線：標高）

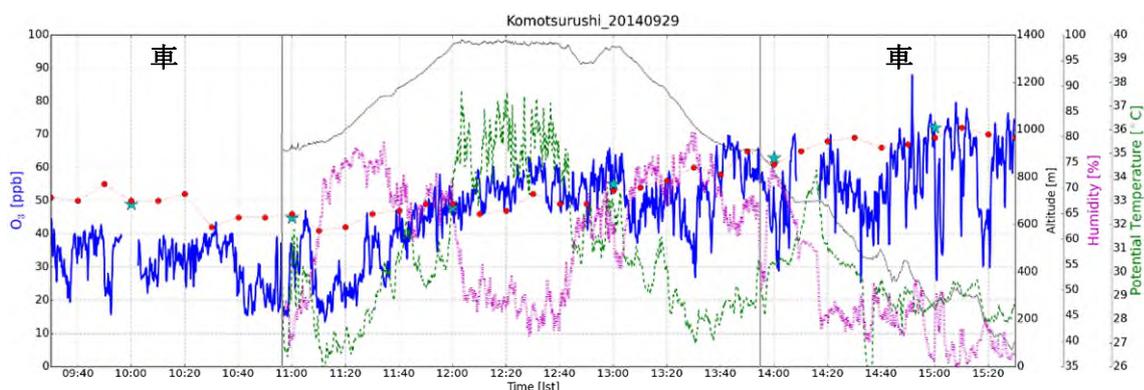


図 3-5 2014 年 9 月 29 日菰釣山移動観測結果（太実線：2B202 オゾン、破線：温位、点線：相対湿度、丸：檜洞丸 10 分値、星：犬越路オゾン一時間値、細実線：標高）

図 3-4 に 2015 年 6 月 24 日の観測結果を示す。本観測においても 11 時 50 分頃の尾根線通過時にオゾン濃度と温位の急激な増加が観測された。また、2014 年 5 月 30 日の観測では欠測となっていた相対湿度は尾根線通過時に大きく減少していた。下山時については 2014 年 5 月 30 日の観測と同様に、尾根線付近 (14:41~14:56) でオゾン濃度の大きな変化はなかったが、温位は大きく減少、相対湿度は増加していた。2015 年 10 月 21 日の観測においても、登山時に尾根線付近でオゾン濃度の上昇、温位の上昇、相対湿度の減少が観測され、下山時には尾根線付近で温位の減少が観測された (図示なし)。なお、この日は曇りで霧も時々観測され、霧発生時には湿度の増加とオゾン濃度の減少が観測された。

イ 菰釣山における移動観測結果

図 3-5 に 2014 年 9 月 29 日の観測結果を示す。菰釣山では、山梨県道志村にある登山口から尾根線まで沢沿いを登り、尾根線伝いに西へ山頂を目指す経路で観測した。菰釣山では、檜洞丸におけるようなオゾン濃度急変地点はなかった。この観測では、オゾン濃度増加時に相対湿度が減少し、オゾン濃度減少時に相対湿度が増加する変動が数箇所を確認された。同様の変動は全移動観測を通して複数回確認されているが、オゾン濃度の増減時に必ずしも相対湿度が変動するというわけではない。

ウ 丹沢山地稜線縦走観測

より広い範囲のオゾン濃度分布を把握するために、2014 年 10 月 3 日に丹沢山地を縦走する移動観測を実施した。まず、モノレールで標高 1200m 地点まで登り、以降、新大日、塔ノ岳、丹沢山、蛭ヶ岳、檜洞丸と稜線沿いに徒歩移動した。この日は強風で大気がよく混合されていた。図 3-6 の登山口から下山口が徒歩による移動観測区間である。塔の岳・丹沢山間で濃度変動・濃度レベル共に大きくなった区間を除くと、オゾン濃度は約 30 ppb でほぼ一定であった。檜洞丸南西の尾根線を通過したのは 15 時過ぎであり、オゾン濃度に顕著な変化はなかった。なお、2B202 によるオゾン濃度は、丹沢山、檜洞丸の測定局を通過した時の Dylec1150 による測定値とよく一致していた。



図 3-6 2014 年 10 月 3 日移動観測経路とオゾン濃度分布

(8) 今後の課題

樹木へのオゾン暴露量を 4-9 月の AOT40 で評価した結果、国設酸性雨局や犬越路において 2000 年台半ばから AOT40 が経年的に減少する傾向にあることがわかった。丹沢山・檜洞丸における近年の AOT40 を他局トレンドに合わせて過去へ外挿すると、2008 年ころには 80 ppmh 程度の比較的高い値であったことが推定された。檜洞丸以外に菰釣山や丹沢山地主脈・主稜の登山道などで移動観測を行ったが、再現性高く顕著な濃度変化が起きたのは上述の檜洞丸の尾根線のみであった。なお、オゾン濃度は上述の檜洞丸近傍の尾根線においてのみでなく気温と正相関、相対湿度と逆相関することが多く、山岳地形内での気塊の挙動を理解するヒントとなると思われる。同様の移動観測は、松山市淡路ヶ峠 (標高 273 m) などでも実施されており、多くの地点でオゾン濃度の

急変が観測されている（Kanda, 2015）。連続測定局を設置できる場所はある意味特殊な場所であり、オゾン濃度測定局の地域代表性には注意が必要である。

(9) 成果の発表

大森成晃・神田勲・相原敬次・齋藤央嗣・岡崎友紀代・若松伸司(2016) 神奈川県丹沢地域における大気中オゾンの動態, 神自環保セ報14

(1) 丹沢大山の自然環境モニタリングと再生技術開発
A. 大気およびブナハバチのモニタリングとブナ林衰退への影響機構解明

- (1) 課題名 Ab. ブナ林の水分生理調査（水ポテンシャル調査）
(2) 研究期間 平成 25～28 年度
(3) 予算区分 県単（特別会計 丹沢大山保全・再生対策事業費）
(4) 担当者 谷脇 徹・齋藤央嗣・相原敬次

(5) 目的

丹沢ブナの衰退要因として、オゾン等の大気汚染物質、ブナハバチの食害と並び乾燥化等によって生じる水ストレスがあげられている。ブナ林の衰退における水ストレス影響を検討することを目的に、本年度は丹沢山地加入道山に生育するブナの枝の木部構造を解剖学的視点から明らかにし、その水分通導能力とブナハバチ食害履歴との関係を調査した。調査は京都府立大学の上田正文准教授との共同研究（一部委託）で行った。

(6) 方法

加入道山（標高 1,418m）の標高 1,400m 付近に生育するブナ 21 個体を供試材料として選定した（表 1）。対象木は 5 年にわたり、ブナハバチ食害度、健全度、二度吹きランクが調べられている（表 1）。枝の採取は夏期に実施し、採取枝の木部の解剖学的観察を行った（図 1）。

(7) 結果の概要

水分通導組織である道管径は、過去に激しい食害を受け衰弱した個体では、健全個体と比較して細い径の道管の割合が高かった。また、衰弱個体においては、平均道管径と年輪幅、RGRri（年輪幅による相対成長率）、年輪面積と正の相関が認められる個体が現れた。これらの結果は昨年調査した檜洞丸と同様であった。一方、ブナハバチの食害の履歴と木部構造との間に明確な関係を見出すことはできなかった。食害を受けた履歴がない個体でも細い径の道管の割合が高い場合があり、食害以外にも水ストレスや大気汚染物質が道管径を縮小させる要因として働いたため、食害が木部構造に及ぼす影響を不明瞭にした可能性がある。

(8) 今後の課題

ブナハバチの食害の程度およびその履歴が道管径などの木部構造に及ぼす影響を明確にするためには、人工的に摘葉処理などを行い、それによる道管径への影響等について明らかにする必要がある。

(9) 成果の公表

上田正文（2016）神奈川県丹沢山地に生育するブナの水分生理状態．日本森林学会学術講演集 127：146.

表1 供試木の概要

グループ	個体ラベルNo	食害	健全・衰弱	樹高(m)	直径階(cm)	食害度					食害度平均	健全度					健全度平均	二度吹き度		備考	
						H23	H24	H25	H26	H27	H23~H27	H23	H24	H25	H26	H27	H23~H27	H25	H27		
食害無・健全	YH139	食害無	健全	未測定	20-40	1	1	1	1	1	1.0	5	5	5	5	5	5.0	0	0	範囲外	
食害無・健全	YH163	食害無	健全	未測定	20-40	1	1	1	1	1	1.0	5	5	5	5	5	5.0	0	0		
食害無・健全	YH164	食害無	健全	未測定	60-80	1	1	1	1	1	1.0	5	5	5	5	5	5.0	0	0		
食害無or小・衰弱中or小	YH137	PA235	食害無	衰弱中	未測定	100-	1	1	1	1	1.0	3	3	3	3	3	3.0	0	0	胴割(ツルアジサイ?)	
食害無or小・衰弱中or小	YH154		食害小	衰弱中	未測定	20-40	2	1	3.5	1	1.7	3	3	3	3	3	3.0	1	0	ツル(ツルアジサイ?)	
食害無or小・衰弱中or小	YH155		食害小	衰弱小	未測定	0-20	2	1	3	1	1.6	3	4	4	4	4	3.8	1	0		
食害無or小・衰弱中or小	YH160		食害無	衰弱中	未測定	20-40	1	1	1	1	1.0	5	4	4	4	3	4.0 [*]	0	0	ツル(ツルアジサイ?)	
食害無or小・衰弱中or小	Y812		食害小	衰弱中	未測定	20-40	2	1	1	1	1.2	3	4	3	3	3	3.2	0	0		
食害中・衰弱小	YH119		食害中	衰弱小	未測定	0-20	3	1	3.5	1	2	2.1	3	4	4	4	3.8	4	1		
食害中・衰弱小	YH121		食害中	衰弱小	未測定	20-40	3.5	1	3	1	2	2.1	3	4	4	4	3.8	2	0		
食害中・衰弱小	YH123		食害中	衰弱小	未測定	40-60	3	1	3	1	2	2.0	3	5	5	5	4.4	1	1		
食害中・衰弱小	YH132		食害中	衰弱小	未測定	60-80	4	1	3	1	3	2.4 [*]	3	5	5	5	4.4	1	1		
食害大・衰弱中	PA232	(YH144)	食害大	衰弱中	未測定	20-40	4	2	4	3	4	3.4	3	4	4	4	3.6	5	3		
食害大・衰弱中	YH150		食害大	衰弱中	未測定	20-40	4	2	4	3	3.5	3.3	3	4	4	4	3.4	4	3		
食害大・衰弱中	YH168		食害大	衰弱中	未測定	60-80	3.5	1	3.5	2	3	2.6	3	5	5	4	3	4.0 [*]	3	1	
食害大・衰弱大	YH130	PB527	食害大	衰弱大	未測定	20-40	3	1	4	2	2	2.4	3	4	3	2	2.8	5	0		
食害大・衰弱大	YH156		食害大	衰弱大	未測定	20-40	3.5	1	3.5	3	2	2.6	3	4	3	2	1	2.6	4	0	
食害大・衰弱大	YH158		食害大	衰弱大	未測定	20-40	3.5	1	2	3	2	2.3	3	3	2	2	2.4	0	0		
その他	YH147		食害小	衰弱大	未測定	20-40	3	1	2	1	1.6	2	2	3	3	3	2.6	0	0	根返り	
その他	YH151		食害小	衰弱大	未測定	60-80	3.5	1	3	1	1	1.9	3	3	3	2	1	2.4	1	0	枯死寸前
その他	YH165		食害無	衰弱小	未測定	40-60	1	1	1	1	1	1.0	5	4	4	4	4	4.2	0	0	根返り

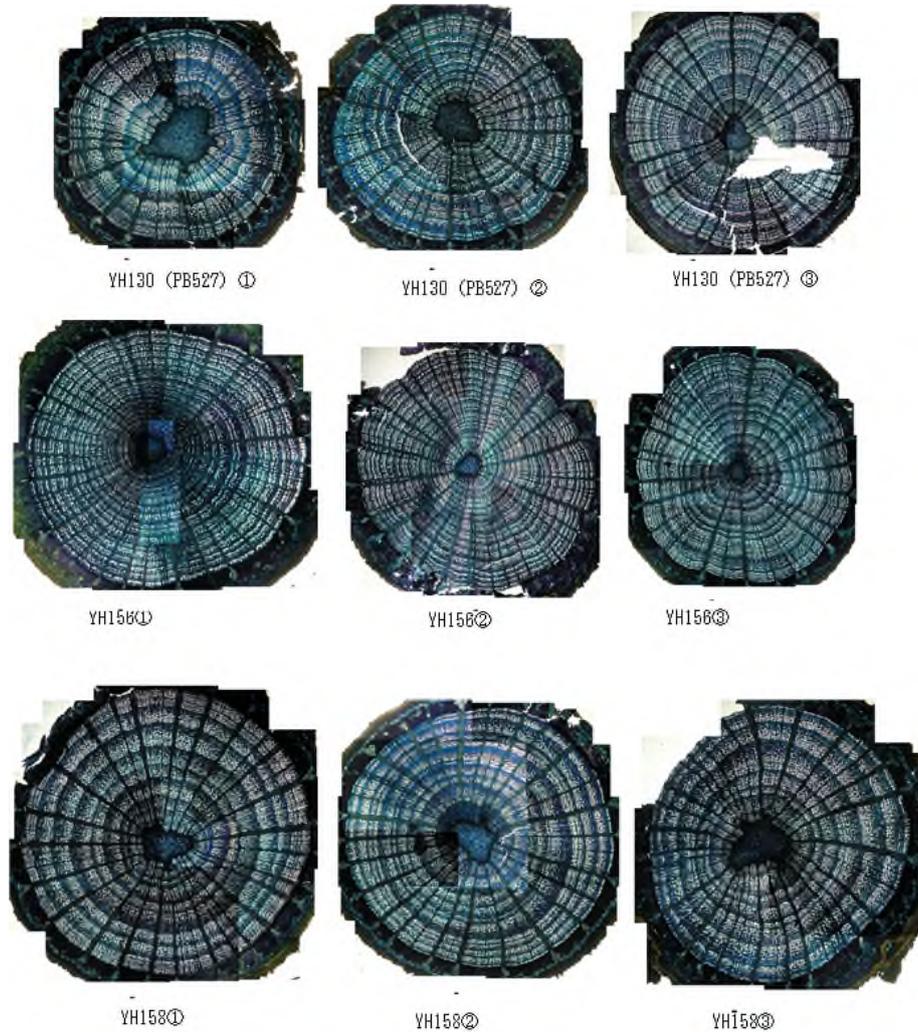


図1 食害大・衰弱大の供試木における枝の木部断面

(1) 丹沢大山の自然環境モニタリングと再生技術開発

A. 大気およびブナハバチのモニタリングとブナ林衰退への影響機構解明

- (1) 課題名 Ac. ブナ林の生理生態調査（ブナ樹体の水分計測）
(2) 研究期間 平成 24～28 年度
(3) 予算区分 県単（特別会計 丹沢大山保全・再生対策事業費）
(4) 担当者 相原敬次・斉藤央嗣・谷脇 徹

(5) 目的

丹沢山地におけるブナ林の衰退要因として、大気汚染（オゾン）、水ストレスおよび虫害（ブナハバチ）が指摘されている（山根ら 2007）。水ストレス状況にあるブナが枯死に至る具体的な機構については未だ不明な部分が多い。樹体の水分状態をモニタリングするひとつの手法として電気的な水分計センサーによる方法があるものの、これまでに野外の現地、とりわけ高標高の山間地で使用された事例はほとんど無い。このため檜洞丸に生育するブナについて樹体水分状態の長期間モニタリングの可能性や、季節、年度変化について検討した。

(6) 研究方法

計測対象に用いた個体は檜洞丸南面の気象モニタリングサイト周辺に成育するブナ 3 個体（表 1）とした。期間は 2012 年 7 月 18 日から 2016 年 3 月 31 日までほぼ 4 年間連続計測した。なお、水分計測は ADR 法による Delta-T 社製のシータプローブ ML2x を地上約 1.5m の辺材部に挿入し、センサー出力値（mv）の時間平均値として求めた。

(7) 結果の概要

2012 年 7 月 18 日 0 時から 2016 年 3 月 31 日 23 時まで総計測日数 1332 日、総計測時間 31,968 時間のうち、種々の計測トラブルにより欠測が生じたため計測データが得られたのは、No. 1 が 20,024 時間（62.6%）、No. 2 が 21,070 時間（65.9%）、No. 3 が 29,577 時間（92.5%）であった。計測トラブルの主な原因は、センサーと樹体設置部やロガーへの雨滴等の浸入、野ネズミ等によるセンサーケーブル切断などであった。

4 月から 11 月の期間（安定期）のセンサー出力値は 600mv から 700mv の間でほぼ安定しているものの、12 月から 3 月の冬期（不安定期）の出力値は値が下がるとともに、顕著に変動し、外気に近い樹体辺材部の部分的な凍結等が推定された。

安定期の出力値は期間や個体、年度によって出力値が低下する状況が認められ、樹体の水分状態を

相対的に比較できるものと考えられた。

(8) 今後の課題

水分計の出力値（mv）を水分量（ cm^3/cm^3 ）とするためのキャリブレーションを行う。同時に計測した樹液流や気象等の環境との関係について検討する。

(9) 成果の公表

なし

表1 計測個体

計測個体	DBH(cm)	樹高(m)
No.1	36	13
No.2	46	18
No.4	57	17

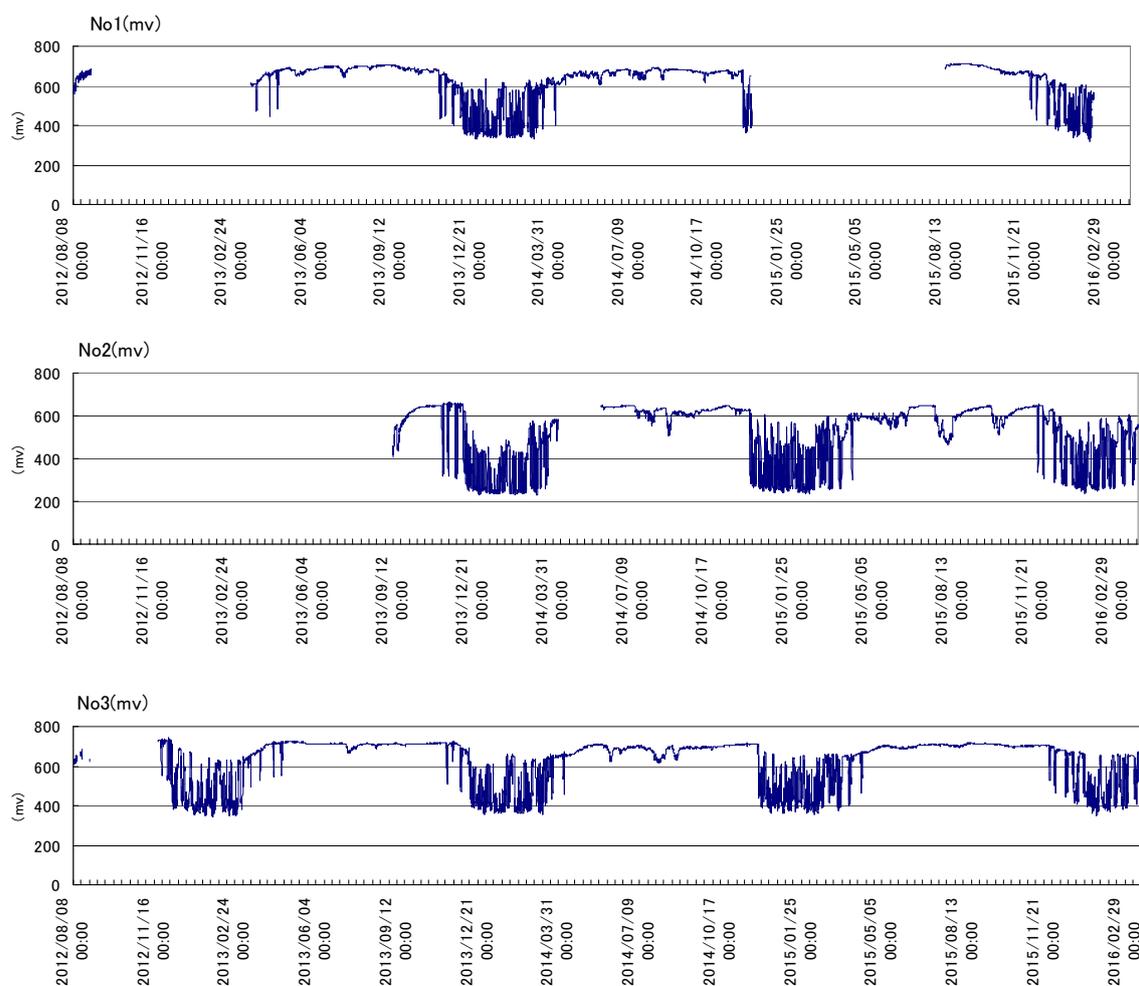


図1 水分計の連続測定結果

(1) 丹沢大山の自然環境モニタリングと再生技術開発

A. 大気およびブナハバチモニタリングとブナ林衰退への影響機構解明

- (1) 課題名 Ad. ブナ林のストレス診断調査
 (2) 研究期間 平成 24 年度～平成 27 年度
 (3) 予算区分 丹沢大山保全・再生対策事業費
 (4) 担当者 齋藤央嗣・相原敬次・谷脇 徹

(5) 目的

これまで丹沢ブナの衰退要因として、オゾン等の大気汚染物質、ブナハバチの食害と並び、乾燥化等によって生じる水ストレス等の影響が推定されているが、これまでの衰退原因に関する見解は状況証拠に基づく演繹的な推論であった。これまで可能性として挙げられてきた衰退原因が正しくブナの樹勢に影響を与えているのかについて、樹木生理学に基づく因果関係を検証する必要がある。そこで丹沢のブナ林衰退域におけるブナ成木の樹勢の衰退メカニズムに関する知見を得るために、現地に生育するブナ成木の葉を対象にゲノム網羅的な発現遺伝子解析に基づく環境ストレス診断を行い、衰退原因となる環境ストレス要因を明らかにする。昨年度までの研究により、DNA マイクロアレイによるゲノム網羅的な発現遺伝子解析では、丹沢山系檜洞丸と丹沢山のブナ成木では酸性の影響を受けていることが示された。平成 27 年度は、丹沢山系の 5 林分に拡張してブナ林の環境影響評価を実施し他地域とも比較を行った。具体的には、酸性、温度、乾燥の 3 つの環境要因による影響の大きさを定量的に比較した。またブナ成木に見られる樹勢の衰退度を葉の衰退指標性遺伝子の発現パターンから評価した。さらに環境影響と樹勢の衰退度の関係を統計学的に解析して、その因果関係を検討した。以上から、丹沢のブナ林衰退域におけるブナ成木の樹勢の衰退メカニズムに関する知見を得て、衰退原因となる環境ストレス要因を評価することを目的とした。なお、調査は北海道大学の齋藤秀之講師との共同研究（一部委託，一部科学研究費補助事業）で実施した。

(6) 方法

調査地は丹沢山系の檜洞丸、丹沢山、堂平、菰釣山、三国山の 5 ヶ所であった（表-1）。檜洞丸と丹沢山は衰退が顕在化した林分として、また堂平、菰釣山、三国山の 3 林分は丹沢山系では比較的健全な様相を示す林分であった。

表-1 調査地の概況と調査年および供試木数

地域	調査地	林況	衰退状況	調査年	個体数
北海道	黒松内	天然生二次林	小	2011	6
				2013	3
				2014	3
				2015	4
				2015	4
関東東海	狩場山	天然林	小	2015	4
				2015	4
	檜洞丸	天然林	大	2012	4
				2014	4
	丹沢山	天然林	大	2014	4
				2014	4
	堂平	天然林	中	2014	4
	菰釣山	天然林	中	2014	4
	三国山	天然林	小	2014	4
富士山	天然林	中	2012	4	
			2014	3	
九州	背振山	天然林	小	2015	4
				2015	4
	紫尾山	天然林	小	2015	4

衰退状況は山根ら(2007)の判定基準に倣い、丹沢山系5林分の衰退状況は山根ら(2007)の調査結果を引用した。

供試葉は成木の陽樹冠から採取した。供試葉の採取日は2014年7月23日(曇天;採取時刻はほぼ12時40分~13時25分)であった。供試葉の採取位置は樹冠の日当たりの良い部位であった。

ゲノム網羅的遺伝子発現解析はDNAマイクロアレイ法(アジレント社製)により目的遺伝子のmRNA量を定量して行った。全RNAは供試個体の5個体からそれぞれ葉を3枚ずつ選んで抽出した。全RNAの抽出方法には改良cTAB法を用いた。抽出した全RNAの品質は分光光度計で260/280比とバイオアナライザーでRIN値を確認した。DNAマイクロアレイ解析に供するサンプルは、RNAの品質に基づき4個体ずつを選んだ。DNAマイクロアレイ法で実験するプローブはブナ専用開発されたものを用いた(43,803遺伝子で機能推定済み遺伝子が12,446遺伝子)。

ブナの葉に対する環境影響の評価は、多数の遺伝子群で構成される多次元データから環境要因との関係を解析するため主成分分析(PCA)を用いた。主成分分析には、先行研究で開発された酸性・温度・乾燥の影響を識別できる指標性遺伝子(合計628遺伝子)ならびに、各遺伝子の発現量に対する固有値を利用して、供試葉の遺伝子発現パターンから各環境要因の影響の大きさを評価した。なお、第1主成分が酸性の影響(寄与率=36.3%)、第2種成分が温度の影響(寄与率=25.4%)、第3主成分が乾燥の影響(寄与率=4.7%)を評価することができ、環境影響評価における酸性・温度・乾燥の説明力が66.4%(累積寄与率)である。

ブナ成木の衰退度の評価は衰退度指標性遺伝子の発現パターンに基づいて行った。衰退度の指標はブナの樹勢をゲノム網羅的な発現遺伝子によって指標する評価基準を開発して衰退度の評価を行った。檜洞丸および福岡県英彦山のそれぞれの林分において健全木と衰退木を4個体ずつ外観で選木してゲノム網羅的な遺伝子発現解析を行い、衰退木で特異的に発現する遺伝子を選抜し(衰退指標性遺伝子と名付けた)、遺伝子発現量のプロファイルからスピアマン順位相関検定に基づいて類似性を検討し、相関係数を衰退度指数とすることで衰退度を数量的に評価した。

本実験で用いたDNAマイクロアレイのプローブは黒松内ブナのゲノムで設計されているため、丹沢と黒松内の地理的ゲノム変異による塩基配列の違いによってmRNA量の定量性に違いが生じてしまうことが危惧される。そのため、檜洞丸でDNAマイクロアレイ解析を実施した同一のRNAをサンプルとして次世代シーケンス(RNA-seq)を行うことで大量の塩基配列データを取得し、プローブの塩基配列との相同性比較を行った。またRNA-seqによる塩基配列取得の不足を補うためにDNA-seqを行いプローブの塩基配列との相同性比較を行った。

環境影響の評価と衰退度の評価におけるデータ解析では、丹沢山系5林分の他に对照林分として北海道黒松内、北海道狩場山、静岡県富士山南麓、福岡県背振山、鹿児島県紫尾山の調査地で解析されたデータと比較して丹沢ブナ林の特徴について検討した。環境影響のスコアの林分比較に関する統計処理は、一元配置の分散分析を行い多重比較にはTukeyの方法で行った。有意水準は5%とした。

環境影響と衰退度の関係性は一般化線型モデルを用いて検討した。応答変数は衰退度で正規分布を仮定し、説明変数は酸化スコア、温度スコア、乾燥スコアを用いた。

(7) 結果の概要

① RNA-seqによるDNAマイクロアレイの検証

RNA-seq配列ならびにドラフトゲノム配列に対するDNAマイクロアレイのプローブの相同性の頻度分布を図-1に示す。檜洞丸のRNA-seq塩基配列に対する相同性90%以上の遺伝子の割合は70%であり、黒松内の79%と比べて小さかった。それぞれの結果が100%に至らなかった理由は、DNAマイクロアレイが測定できる遺伝子の数に対して葉で発現していた遺伝子の数が少なかったためである。黒松内ブナ林のRNA-seqと比較して檜洞丸の100%一致の遺伝子数が少なかったことは、遺伝子のアミノ酸をコードする配列(エクソン)において塩基配列の変異があるためと考えられる。黒松内において100%一致を示さないプローブがある理由は、RNA-seqにおいて次世代シーケンス解析におけ

るシーケンス・エラーの可能性ならびに、ターゲットの遺伝子が発現しておらず、類似する塩基配列を持つ他の偽遺伝子と比較している可能性がある。RNA-seqによる検証結果を補完するために、ドラフトゲノム配列とも比較を行ったところ、檜洞丸のゲノム配列に対する相同性90%以上の遺伝子の割合は83%であり、黒松内の85%と比べて大差がなかった。したがって、DNAマイクロアレイによるゲノム網羅的な遺伝子発現解析の検出感度はブナの地理的ゲノム変異により影響を受けていないと判断できた。

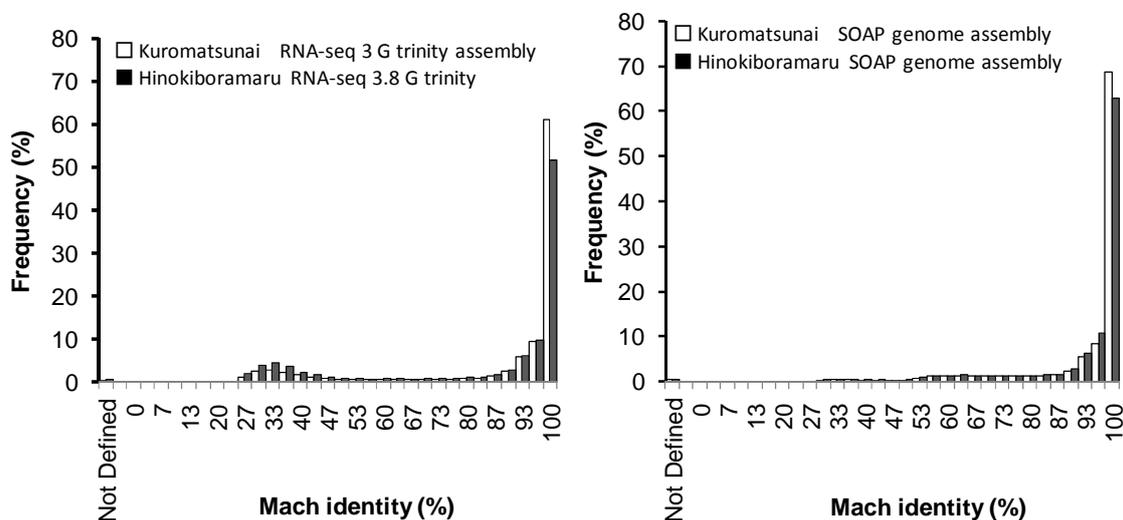


図-1 DNAマイクロアレイ解析のプロープに用いた塩基配列の地域適合性

Mach identityはプロープ60塩基における一致度を示す。左図はRNA-seqで取得した塩基配列に基づく解析、右図はDNA-seqで取得した塩基配列に基づく解析の結果を示す。白棒は黒松内の供試木、黒棒は檜洞丸の供試木を示す。

② 環境影響の評価

環境影響のスコア値3種（酸化、温度、乾燥）を図-2に示す。酸化影響のスコアは、檜洞丸が 23.6 ± 7.9 （2014年）と 16.3 ± 1.4 （2012年）で最も高く、続いて丹沢山が 14.3 ± 5.0 、堂平が 10.6 ± 6.2 、三国山が 8.0 ± 9.2 、菰釣山が -0.1 ± 3.2 であった。他の地域も含めて比較すると北海道狩場山の -4.3 ± 7.9 が最も低かった。また、丹沢山系ブナ林は菰釣山を除いて酸化影響のスコアが中～高いレベルにあり、特に檜洞丸および丹沢山は狩場山に比べて有意に高かった（Tukey, $p < 0.05$ ）。酸化影響のスコアはオゾン濃度と有意な相関があることが当調査地の現地測定で確認されている（H26年度報告書）。また檜洞丸のオゾン濃度が7月（本調査の時期）に40 ppbを上回るのに対して黒松内や狩場山のオゾン濃度は20 ppbを下回っていた。これらのことから、丹沢山系でも檜洞丸や丹沢山のブナ林はオゾンによる影響を大きく受けていると考えられる。

温度影響のスコアは菰釣山が 18.6 ± 14.1 で最も高く、続いて檜洞丸（2014年と2012年）の 13.8 ± 7.9 と 8.3 ± 2.7 、丹沢山の 7.3 ± 2.7 、堂平の 6.6 ± 4.4 、三国山の 6.1 ± 2.7 であった。丹沢山系5林分で温度影響のスコアを比較すると平均値に有意差は認められなかった。他の地域も含めて比較すると菰釣山が2011年の黒松内（ 0.0 ± 3.5 ）と比べて有意に高いレベルであったが、経年変化において再現性が無かったことを考慮すると温度影響は顕著でないと判断できた。

乾燥影響のスコアは丹沢山系5林分で比較すると有意差が認められず（ $3.0 \sim 5.0$ ）、また丹沢山系5林分を全国のブナ林と比較してみると平均値は総じて高いレベルにあるが有意差は認められなかった。全国で有意差が認められたのは2014年の黒松内と鹿児島県紫尾山の間でのみであり、経年変化において再現性が無かったことを考慮すると乾燥影響は顕著でないと判断できた。

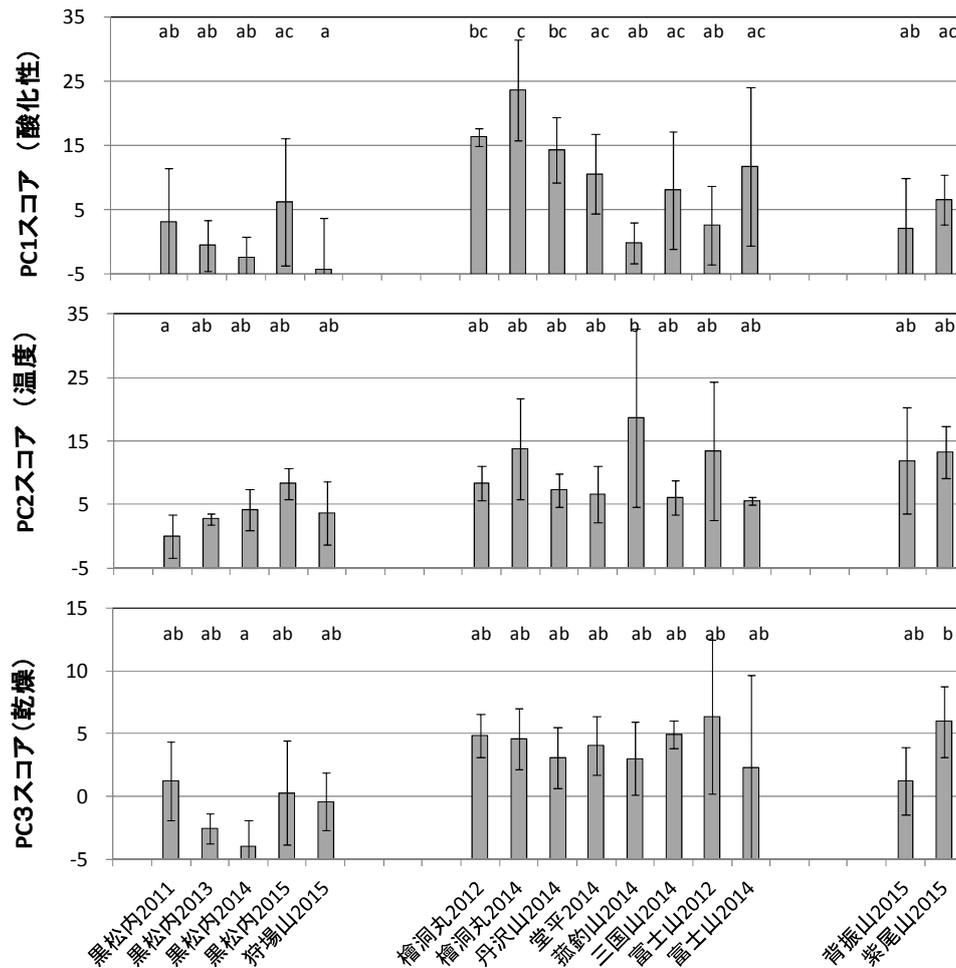


図-2 環境影響を指標する主成分分析のスコア値

第1主成分 (PC1) は酸化影響、第2主成分 (PC2) は温度影響、第3主成分 (PC3) は乾燥影響を示す。異なる文字は有意差を示す (Tukey, $p < 0.05$, $n = 3\sim 6$)。エラーバーは標準偏差を示す。

③ 衰退度評価

DNAマイクロアレイ法で定量した約4万個の遺伝子のmRNA量に基づいてクラスター分析を行ったところ、健全木と衰退木とでは明瞭な違いは見出せなかった。そこで各地域の健全木と衰退木を比較して発現量が異なる遺伝子を探索し (2倍)、さらに2地域で共通の遺伝子を選抜したところ105個の遺伝子が選ばれた。この105個の遺伝子を衰退指標性遺伝子と名付けた。この衰退指標性遺伝子の発現量に基づくクラスター分析の結果、遺伝子発現パターンを示すクレードが健全木と衰退木で完全に分かれ、地域間ではクレードが分離しなかった (図-3) ため、衰退度の評価において地域性の偏りのない評価が行えると考えられた。この105個の遺伝子は、既報の酸化影響、温度影響、乾燥影響を指標する遺伝子群との重複がわずかに7遺伝子のみであり (図-4)、環境影響と樹勢を独立して評価できると考えられた。遺伝子の機能的な特徴を考察すると、分子シャペロンに関連する遺伝子群が複数で選抜されていた。分子シャペロンは細胞の恒常性維持として機能するタンパク質である。このことから、樹勢の後退と葉の遺伝子発現が関連しており、衰退指標遺伝子群が樹木診断における衰退指標として有用であることが示唆された。これらの結果から、105個の衰退指標性遺伝子は地域に関わらずにブナ成木の衰退を指標できる可能性が示された。

各林分の衰退度を図-5に示す。衰退度指数は檜洞丸 (2014年) と丹沢山が 0.69 ± 0.03 と 0.68 ± 0.07 で高く、続いて三国山の 0.64 ± 0.15 、檜洞丸 (2012年) の 0.59 ± 0.04 、堂平の 0.58 ± 0.12 、菰釣山の 0.40 ± 0.13 であった。他の地域と比較すると丹沢ブナ林の衰退度は高く、特に檜洞丸 (2014年) と丹沢山は北海道の黒松内 (2013年と2014年) および狩場山、福岡県背振山と比べて有意に

高かった (Tukey, $p < 0.05$)。

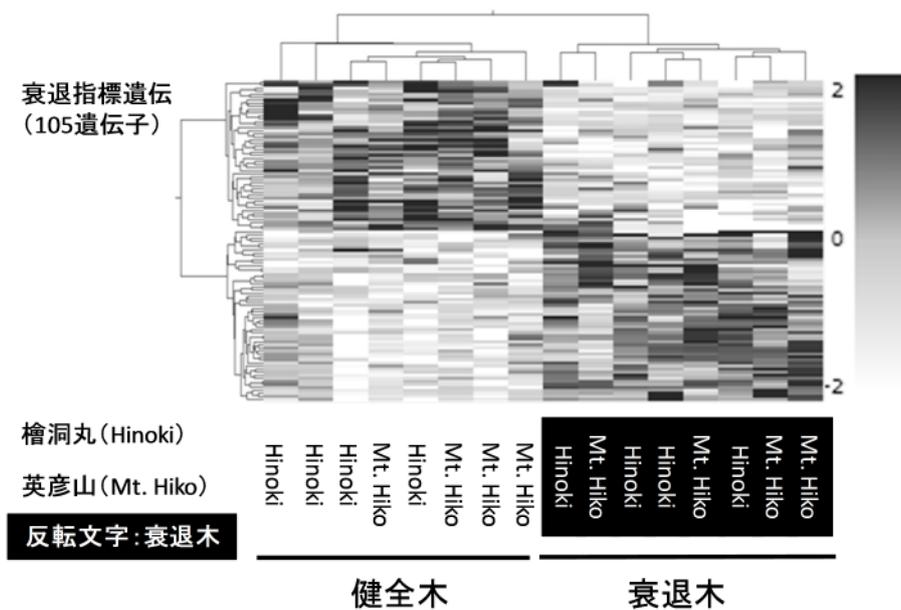


図-3 ブナ成木の樹勢の衰退度を指標する遺伝子 (衰退指標遺伝子) として選ばれた105個の遺伝子の発現パターンに基づくクラスター分析

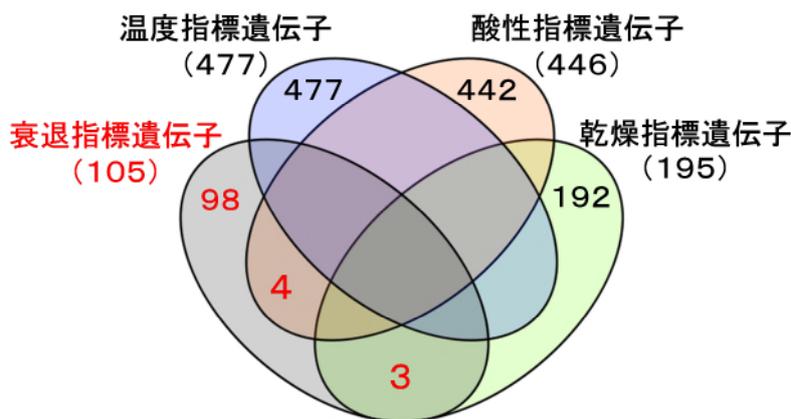


図-4 環境指標性遺伝子と衰退指標性遺伝子の独立性

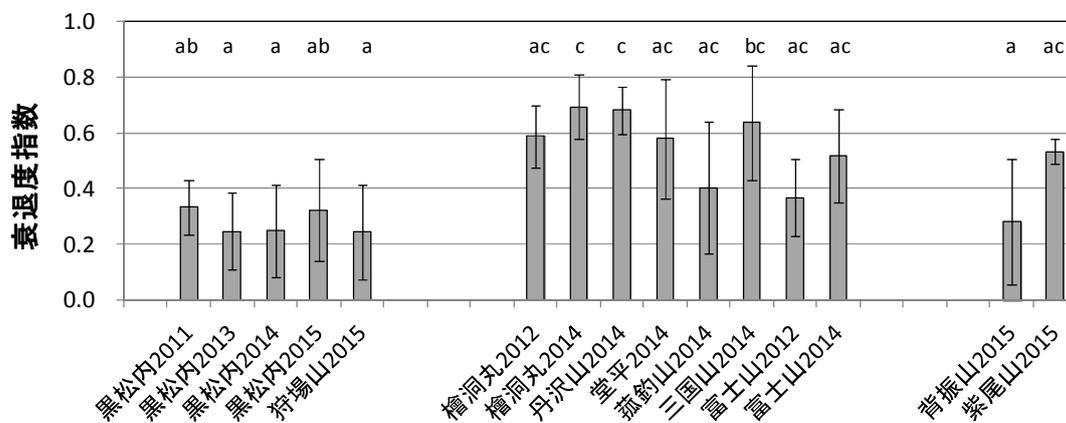


図-5 ゲノム網羅的発現遺伝子に基づく衰退度指数
異なる文字は有意差を示す (Tukey, $p < 0.05$, $n = 3\sim 6$). エラーバーは標準偏差を示す.

④ 環境影響と衰退度の関係

環境影響を指標するPC1スコア（酸性影響）、PC2スコア（温度影響）、PC3スコア（乾燥影響）と衰退度の関係を全国ブナ林を対象に解析した（図-6）。PC1スコアは衰退度と有意な正の相関を示した（ $r = 0.804$, $P < 0.01$ ）。PC2スコアと衰退度の関係は有意な相関を示さなかった。PC3スコアと衰退度の関係は正の相関を示した（ $r = 0.521$, $p < 0.05$ ）。相関係数はPC1スコアと衰退度の関係で最も高かった（ $r = 0.804$ ）。衰退度とPC1～3の3要因の複合的な関係を検討するために、図-7の通り、3つスコアの和と積の関係を各々調べ、最も相関係数の高かったPC1 [酸化] + PC2 [温度] × PC3 [乾燥] のモデル式によりPCAスコア（総合値）を求めた。PCAスコア（総合値）と衰退度の関係は有意な正の相関を示した（ $r = 0.802$, $p < 0.001$ ）。この結果から衰退度と環境要因には複合的な関係が予想された。各環境要因と衰退度の関係性を一般化線型モデルを用いて解析した（表-2）。AICにより、衰退度はPC1（酸化）、PC2（温度）、PC3（乾燥）、PC1とPC3の交互作用、PC2とPC3の交互作用（衰退度 = PC1 + PC2 + PC3 + PC1:PC3 + PC2:PC3）によるモデル式が選択された。衰退度はPC1（酸化影響）とPC3（乾燥影響）の単独ならびに交互作用で有意な関係性が認められた。特に衰退に対する酸化の正の影響が顕著に大きく、また乾燥の影響も正の関係性が認められた。酸化と乾燥の交互作用は負の関係性を持ち、酸性と乾燥の影響は各々が相殺する関係性を持つと考えられた。丹沢山系の5林分に注目しても全国ブナ林の解析で検出された傾向と同様の傾向が見られた（図-7；檜洞丸は2年分のため図6と図7は6データがプロットされている）。以上の結果から、丹沢山系のブナ林の衰退現象は酸化と乾燥の複合要因であり、特に酸化の単独要因による影響が多大であると考えられた。また乾燥要因もブナ林衰退の原因になっていると考えられた。酸性と乾燥の交互作用は負の関係が有意であったが、これは乾燥による葉の気孔閉鎖がオゾンの葉内への取り込みを制限することで、オゾンの酸化影響による衰退作用を緩和したと考えられた。

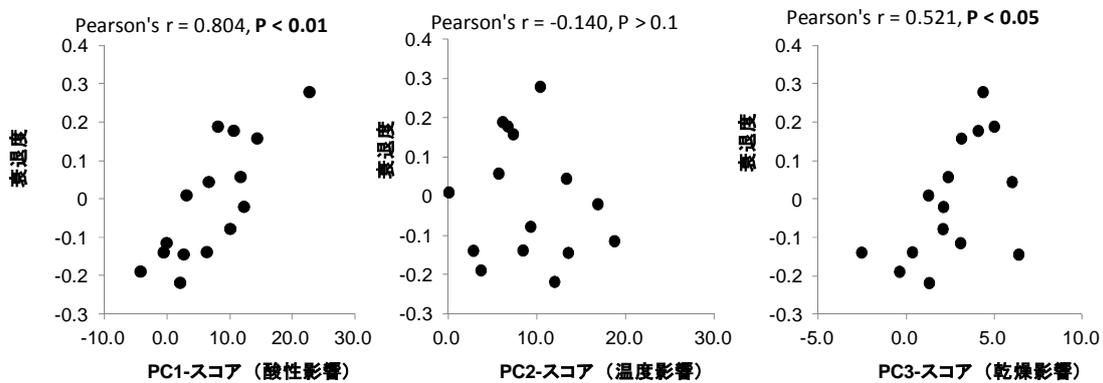


図-6 環境影響スコアと衰退度指数の関係

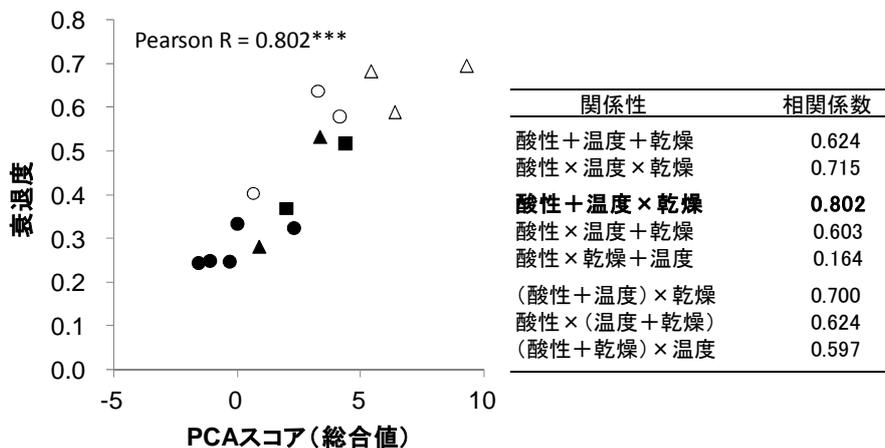


図-7 環境影響評価のPCAスコアと衰退度指数との関係

PCAスコア=PC1 [酸化] +PC2 [温度] ×PC3 [乾燥] によって算出した。この算出モデルはPC1~3の各スコアの和と積の組合せで各々の相関係数を求め(右表)、最も相関係数が高かった関係を用いた。

- △：檜洞丸 2012年と2014年、丹沢山(外観で衰退が顕在化した林分)
- ：堂平、菰釣山、三国山(外観で健全な様相の林分)
- ：富士山南麓
- ▲：福岡県背振山と鹿児島県紫尾山
- ：北海道黒松内と狩場山

表-2 一般化線型モデルによる衰退度と環境影響の関係

	推定値	標準誤差	T値	P値
切片	0.4786	0.0197	24.178	< 2e-16 ***
PC1(酸化影響)	0.1378	0.0194	7.104	3.06e-09 ***
PC2(温度影響)	-0.0063	0.0212	-0.298	0.7672
PC3(乾燥影響)	0.0416	0.0186	2.233	0.0298 *
PC1:PC3(交互作用)	-0.0395	0.0185	-2.135	0.0374 *
PC2:PC3(交互作用)	-0.0299	0.0210	-1.423	0.1607

環境影響はPC1スコア：酸性、PC2：温度、PC3：乾燥を示す。

⑤ まとめと今後の展望

ゲノム網羅的な発現遺伝子解析によって丹沢山系のブナ林の衰退現象における環境影響を評価することができた。先行研究の成果であるオゾンによる酸化影響と乾燥影響の仮説を支持するものであり、ブナ葉の生物情報から樹勢の衰退に関係性のある環境要因を判定できた点に意義があると考えられる。酸化影響と乾燥影響を比較すると酸化による衰退への影響が多であることが示された。丹沢山系、とりわけ衰退が顕在化している檜洞丸では高濃度のオゾンが観測されており、高濃度オゾンに代表される酸性沈着物に関する大気環境の改善がブナ林衰退の抑止のために最優先の課題であることがわかった。またブナ林の乾燥化に関しても気候変動にともなう降水量変動やシカなどによる林床植物の葉食圧の増大などについて精査する必要がある。したがって、ゲノム網羅的な発現遺伝子解析に基づくブナ林の環境影響評価の結果は、現在の変動環境下における丹沢ブナ林の保安全管理や衰退への適応策の指針を決定するために必要な情報を提供できたと考えられる。今後、本手法は環境影響の因果関係に関する生物学的な裏付けの精緻化と評価因子の多様化を進めることで、より広範な社会要請に応えられるブナ林の環境影響評価の解析手法として活用が期待される。

付表-1 丹沢山系ブナ林における環境影響(酸化・温度・乾燥)スコアと衰退度

調査地	調査年	個体数	PCAスコア			衰退度 (相関係数)
			酸化性	温度	乾燥	
檜洞丸	2012	4	16.3 ± 1.4	8.3 ± 2.7	4.9 ± 1.7	0.59 ± 0.04
	2014	4	23.6 ± 7.9	13.8 ± 7.9	4.6 ± 2.4	0.69 ± 0.03
丹沢山	2014	4	14.3 ± 5.0	7.3 ± 2.7	3.1 ± 2.4	0.68 ± 0.07
堂平	2014	4	10.6 ± 6.2	6.6 ± 4.4	4.0 ± 2.4	0.58 ± 0.12
菰釣山	2014	4	-0.1 ± 3.2	18.6 ± 14.1	3.0 ± 2.9	0.49 ± 0.13
三国山	2014	4	8.0 ± 9.2	6.1 ± 2.7	5.0 ± 1.1	0.64 ± 0.15

酸化性と温度のスコアは昨年度報告書と正負を反対に変更したため、それぞれ値が大きいほど酸化ならびに温度の影響が大きいことを示す。

(8) 今後の課題

ゲノム網羅的な発現遺伝子解析によって丹沢山系のブナ林の衰退現象における環境影響を評価することができた。今後、遺伝子の機能解析等によってブナ林衰退につながる直接的な影響が評価できるようになれば、診断技術としてより精度の高いものになると思われる。

(9) 成果の発表

斎藤秀之・神村章子・小林孝徳久・高須賀太一・堀千明・杉村逸郎・和田尚之・山田宰靖・瀬々潤・小倉淳・清水健太郎・齋藤央嗣・谷脇徹・相原敬次(2016) ゲノム網羅的な発現遺伝子を用いたブナ林の環境影響評価ートランスクリプトーム解析とプロテオーム解析による衰退指標の探索ー. 山地森林域の生物・環境モニタリング第10回ワークショップ, 2016年3月14日～15日, 新潟市万代市民会館, 新潟市(講演)

(1) 丹沢大山の自然環境モニタリングと再生技術開発
(1-1) 丹沢ブナ林等の衰退原因解明と再生技術の研究開発

- (1) 課題名 Ae. ブナ林立地環境モニタリングー土壤侵食モニタリングー
(2) 研究期間 平成 19～28 年度
(3) 予算区分 県単（水源特別会計：森林環境調査）
(4) 担当者 内山佳美

(5) 目的

これまでのブナ林衰退機構解明研究で衰退要因の解明がある程度絞り込まれてきたが、今後はブナ林を再生するための各種対策技術開発や順応的な再生事業を実施するためのモニタリング手法開発も必要である。そこで、ブナ林を中心に再生事業が開始された土壤流出対策について、対策技術の検証・見直しのための対策工のモニタリングと流域スケールで効果を検証するためのモニタリングの手法開発を行う。

(6) 方法

①調査地

東丹沢に位置する清川村宮ヶ瀬堂平地区において、平成 17～18 年度に自然環境保全センター自然保護公園部の協力により試験的に施工した土壤保全対策工を対象とした。対策工の設置箇所は、標高 1150～1225m、勾配 12～41° の南東向き斜面である。近傍では、平成 16 年度より土壤侵食量実態調査を行っている。さらに、下流に位置する堂平沢（標高 710m 地点）、および隣接するワサビ沢（標高 710 地点）に測定地点を設定した。各測定地点の集水面積は、堂平沢が 148.03ha、ワサビ沢が 58.75ha である。

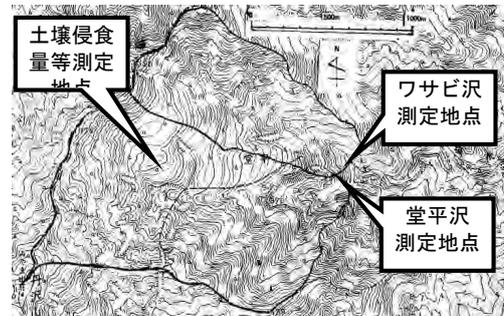


図 1 位置図

②対策工の効果検証モニタリング

平成 17 年度（2005 年 12 月）、平成 18 年度（2006 年 10 月）にそれぞれ 32 個、34 個施工した計 53 個の各種対策工について、そのうちの土壤侵食量測定施設（侵食土砂の捕捉施設）が設置されている 31 個（2005 年 16 個、2006 年 15 個）の対策工を対象に、樹冠通過雨量を測定するとともに、各施工の翌年度から冬季（12 月～3 月）を除いて月に 1 回程度、土壤侵食量・リター流出量測定とリター被覆面積率及び林床被覆面積率を把握するための写真撮影を行った。土壤侵食量測定施設から回収した土砂とリターは、実験室に持ち帰り洗浄して分離し、105℃で乾燥させて絶乾重量を測定した。さらに一部の土壤試料についてセシウムと鉛の放射性同位体比を測定した。

また、調査地の近傍でブナ林の林外雨量、林内雨量、樹幹流下量を測定し、樹冠遮断損失率を算定し、当該地区の土壤侵食や溪流の直接流出を評価する検討材料とした。

③流域スケールの土壤保全効果モニタリング手法開発

堂平地区において、最近のシカの低密度化および林床植生の回復が、山地斜面の土壤侵食量および溪流を流下する土砂（浮遊土砂）量に与える経年的な影響を明らかにするため、堂平地区のブナ林内の斜面の土壤侵食と下流の溪流での浮遊土砂流出の関係を把握した。堂平地区のブナ林内と下流の堂平沢、隣接するワサビ沢の各測定地点において、継続して（ただし冬季 1～3 月を除く）、河川流量、溪流の浮遊土砂量・浮遊土砂濃度を測定し、経年変化について解析した。

本研究は、東京農工大学への受託研究により実施した。

(7) 結果の概要

主な結果は以下のとおりである。（詳細は、受託研究報告書参照）

①対策工のモニタリング結果と評価

・土壤侵食軽減効果に関しては、土壤保全工を施工していない無処理のプロットに対して、土壤保全工を行ったプロットでは、全ての工種において施工の直後から土壤侵食量が急激に減少した。このことから各土壤保全工とも、即効的に土壤侵食量を軽減する効果があることが確認できた。さらに経年変化を見ると、経年により土壤侵食量が増加した工種と減少した工種があった。なお、無処理のプロットでも、土壤侵食量は経年により徐々に減少していた。

施工後9～10年間の全体の土壤侵食量に関して、土壤保全工を行ったプロットでは無処理のプロットよりも土壤侵食量は大幅に減少しており、土壤保全工が土壤侵食量の軽減効果を発揮していることが認められた。また、9～10年間の全体の土壤侵食量が最も少なかったのはヤシネット工であり、次いで捕捉ネット工、竹ネット工であった。

・林床植生回復効果に関しては、施工後9～10年間に於いて土壤保全工を行ったプロットでは林床植生被覆率は増加しており、土壤保全工が林床植生被覆率の回復に効果を発揮していることが認められた。一方、無処理のプロットにおいても林床植生被覆率は増加の傾向にあり、ある程度の林床植生回復効果を有していることが分かった。全体的な林床植生の回復傾向については、施工後に於いて、堂平地区のシカの生息密度が減少していることも影響していると考えられた。

2015年の8月における、プロットの内側と外側における林床植生被覆率の差から各工種についての林床植生回復効果を検討した。この結果、林床植生回復効果が高かった工種は、第1位が保護柵工であり、第2位は捕捉ネット工、第3位はヤシネット工であった。

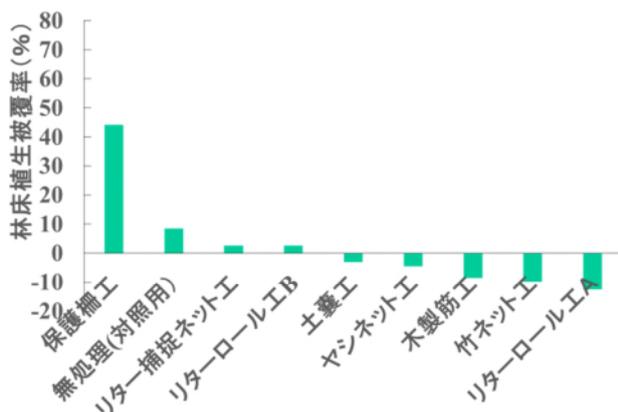


図5 A群(A1)の林床植生回復効果(2015.8)

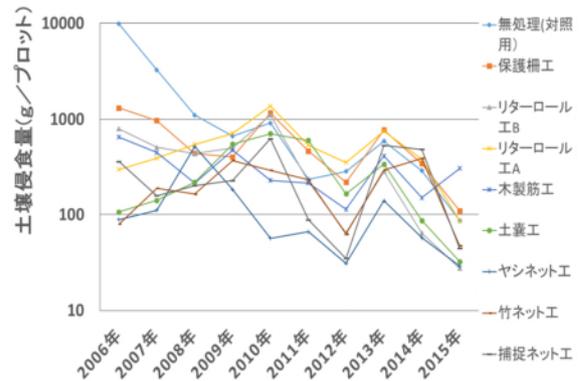


図2 A群(A1)年間土壤侵食量経年変化

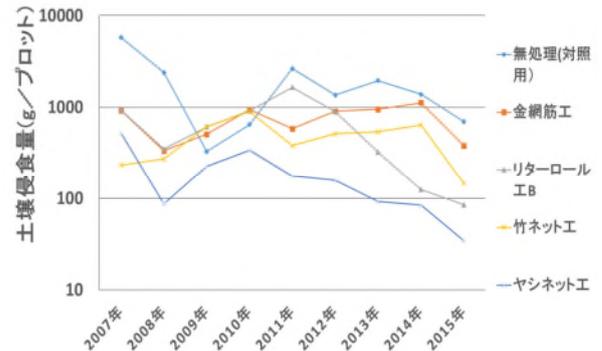


図3 B群(B1)年間土壤侵食量経年変化

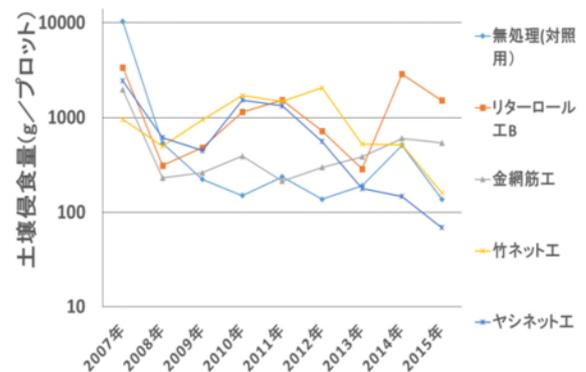


図4 B群(B2)年間土壤侵食量経年変化

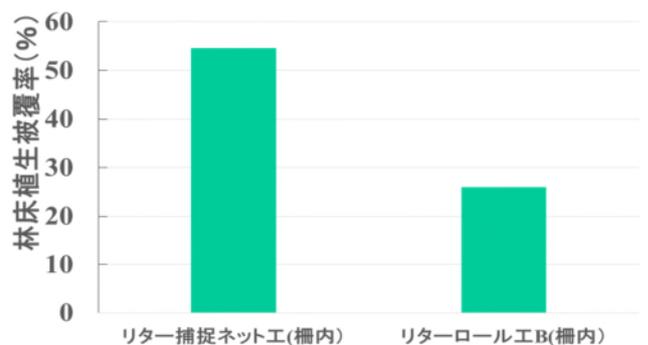


図6 A群(A2)の林床植生回復効果(2015.8)

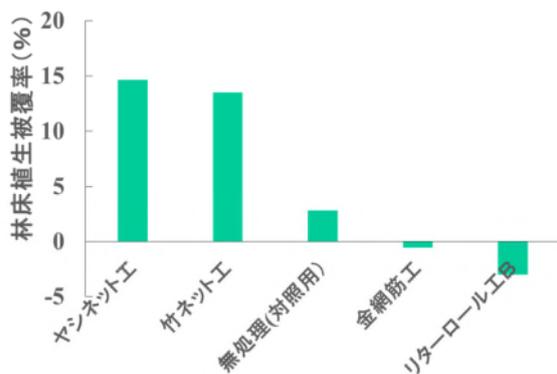


図7 B群(B1)の林床植生回復効果(2015. 8)

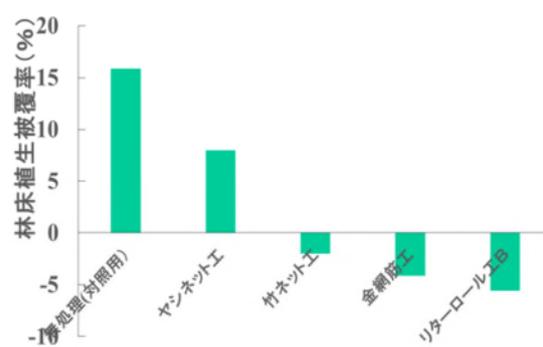


図8 B群(B2)の林床植生回復効果(2015. 8)

・堆積リター量増加効果に関しては、2015年の8月における、プロットの内側と外側における堆積リター量の差から各工種の堆積リター量増加効果を検討した。この結果、堆積リター量の増加効果が高かった工種は、第1位が竹ネット工であり、第2位は保護柵工、第3位はヤシネット工およびリターロール工Aであった。

以上より、①土壌侵食量軽減効果、②林床植生回復効果、③堆積リター増加効果を総合化した効果の高い順では、ヤシネット工、竹ネット工、捕捉ネット工、保護柵工、金網筋工、土嚢工、木製筋工、ロール工B、Aであった。さらに、対策工の機能の面から3分類すると、次のとおりである。
 <効果大>ヤシネット工,竹ネット工=伏工：地表面を直接的に覆うことにより土壌侵食を効果的に減少させることができる。

<効果中>リター捕捉ネット工,保護柵工,金網筋工=柵工（高さが比較的高い）：柵によりリターを捕捉し,堆積リターにより土壌侵食を軽減できる.なお、保護柵工はシカの食圧を無くすことにより林床植生の回復による土壌侵食軽減効果もある。

<効果小>土嚢工,木製筋工,ロール工B, ロール工A=筋工（高さが低い）：低い畦（あぜ）によりリターおよび土砂を捕捉し,土壌侵食量を軽減できる.高さが低いため、リターおよび土砂の捕捉機能は低い。

②林床植生の回復が斜面土壌侵食量および溪流の浮遊土砂量の経年変化に与える影響

経年的な推移をまとめて表1に示した。便宜的に前年比1.2以上を「増加」、0.8以下を「減少」と判定した。

表1 各調査項目の経年変化（括弧内は前年比）

調査項目	測定場所	2010年 →2011年	2011年 →2012年	2012年 →2013年	2013年 →2014年	2014年 →2015年
溪流 浮遊土砂 量	ワサビ沢	増加 (7.67)	減少 (0.44)	増加 (2.13)	減少 (0.45)	減少 (0.76)
	堂平沢	減少 (0.31)	増加 (1.90)	減少 (0.68)	減少 (0.79)	減少 (0.49)
斜面 土壌侵食 量	プロット①	減少 (0.57)	減少 (0.44)	減少 (0.26)	増加 (2.61)	減少 (0.62)
	プロット②	増加 (13.22)	減少 (0.26)	減少 (0.20)	横ばい (1.20)	横ばい (1.02)
	プロット③	増加 (1.99)	横ばい (0.84)	横ばい (1.05)	減少 (0.36)	増加 (1.73)
降雨量	堂平斜面	増加 (1.23)	減少 (0.79)	横ばい (0.83)	横ばい (1.11)	横ばい (0.99)
林床植生 被覆率	プロット②	横ばい (1.06)	増加 (1.88)	増加 (1.33)	横ばい (0.87)	増加 (1.49)

表 1 をまとめると次のとおりである。

- (1) 林床植生被覆率は経年的に増加傾向にある。
- (2) 斜面土壌侵食量は経年的に減少傾向にある。
- (3) 溪流浮遊土砂量はワサビ沢では経年的にやや減少、堂平沢では経年的に明確に減少傾向にある。

③ブナ林における樹冠通過雨量と樹冠遮断損失率

林内雨量は林外雨量とほぼ等しく、高い相関を示した。これは林外雨量が少なく評価されていると推定された。樹幹流下量は林内雨と相関が高かった。樹幹流下量は林外雨量の他に樹木の個体サイズによっても左右され、胸高直径の二乗や樹冠投影面積を用いて樹幹流下量の推定が可能であると考えられた。樹幹流下量は林内雨量の約 1 割に相当した。林外雨量と林内雨量がほぼ等しいため、そこから推定された樹幹遮断損失量は観測期間全体を通してほぼマイナス値を示した。

林外では林内よりも風速が強いため、強風下では降雨捕捉が低下し実際の降雨よりも少なく計測された可能性が示唆された。プロット内で観測された樹幹通過雨量のばらつきは季節変化し、樹冠の着葉・落葉の影響を受けていると考えられた。しかし天空写真による開空度は 30%以下および 70%以上と 2 局化したため、樹幹通過雨量と開空度との相関は把握できなかった。

樹幹模型を用いた樹幹流下量の測定結果から、風速が増加すると樹幹流下量も増加することが分かった。さらに直径 40cm と 60cm の樹幹模型における受雨面積の比較から、受雨面積（すなわち樹幹流下量）は直径の 2 乗にほぼ比例することが明らかとなった。さらに、風速と受雨面積との関係の決定係数は最大瞬間風速と最大の 10 分間風速において大きく、一方、平均風速との決定係数は小さいことから、一雨の受雨面積（すなわち樹幹流下量）は短時間の大きな風速と関係が強いと考えられた。

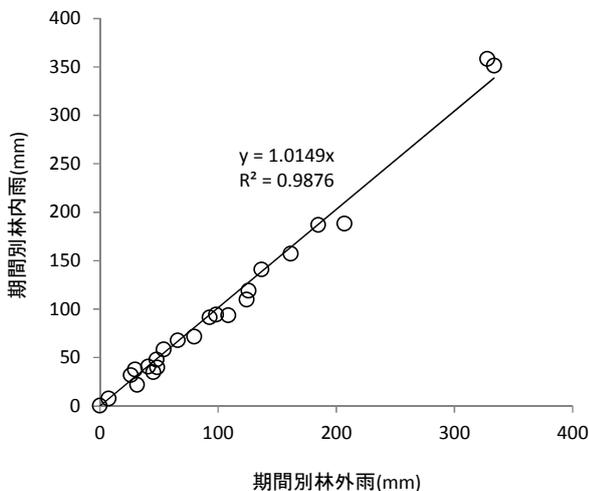


図 9 林外雨量と林内雨量の関係

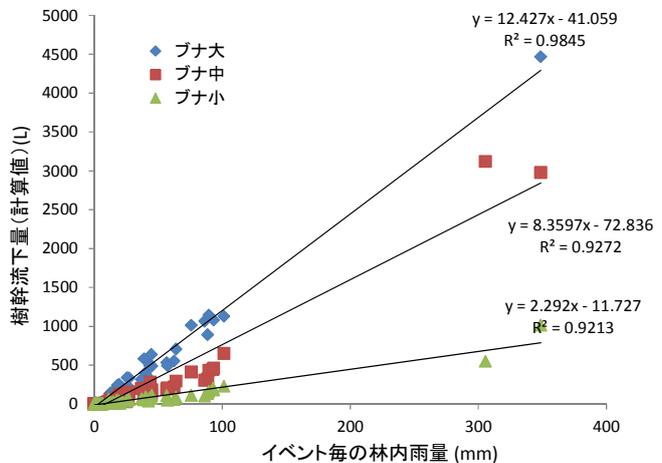


図 10 樹幹流下量と林内雨量の関係

④土壌侵食量とリター移動に伴う放射性 Cs と放射性 Pb の移動と経年変化

2012 年および 2015 年に、丹沢堂平地区の斜面で Cs134 および Cs137 の垂直分布を測定したところ、植生のある場所では植生のない場所に比べて Cs の移動が少なく、したがって土壌侵食も少ないと考えられた。3 年間で Cs137 の濃度ピークは 0.5cm 程度土壌深部へと移動した。草地の斜面上部のように、土壌の流入がなく侵食の起こりにくい場所では、Cs137 はとどまりながら徐々に深部へと移動していくと考えられた。

裸地斜面中部および下部では土壌の攪乱が激しく、低濃度の Cs が上方から流入する一方で土壌侵食により土砂が流下していると考えられた。

草地斜面中部では Cs137 はその場にとどまりつつ深部へ移動していたが、草地斜面下部では土壌深度 20cm 以下への Cs137 の濃度が高く、植生の根などで生じた孔隙により Cs が深部へ移動していることが示唆された

Cs134 は半減期が約 2.1 年と短く、2012 年の測定時に比べ 2015 年では濃度が半分以下に減少していた。

土壌侵食調査プロット No.1 において 2014 年 8 月に採取した土壌の深度別の土壌試料を用いて放射性 Pb-210ex の濃度の垂直分布を測定し、放射性 Cs134・Cs137 濃度の垂直分布と比較した。プロット No.1 では林床植生が多い為、土壌侵食は遅く、このため Pb-210ex は大気から供給される量が土壌深部に浸透する量よりも多く 0-0.5cm の表層部に Pb-210ex 濃度のピークが集中していた。一方、Cs134・Cs137 については大気からの供給量はわずかであるため、2011 年に斜面上部に堆積した放射性 Cs は年々土壌深部に浸透していた。Pb-210ex と Cs134・Cs137 では大気からの供給時期、土壌深部への浸透速度が異なると考えられる。同一地点における放射性 Pb-210ex の濃度の垂直分布と放射性 Cs134・Cs137 濃度の垂直分布比較から、福島第一原発事故によって一時期に多量に供給された Cs134・Cs137 の方が、短期的な土壌侵食量を推定するには Pb-210ex よりも利用し易いと考えられた。

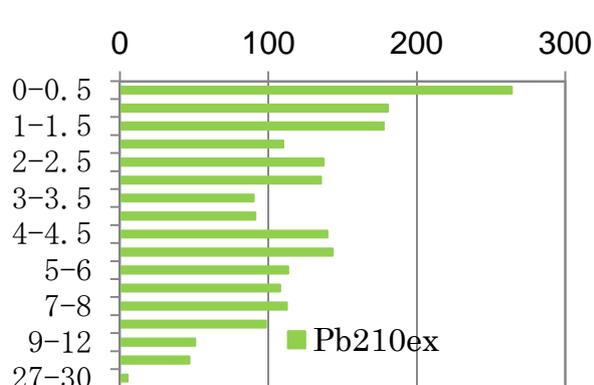


図11 プロット No.1 における Pb-210ex 濃度の垂直分布 (2014 年 8 月採取、2015 年測定)

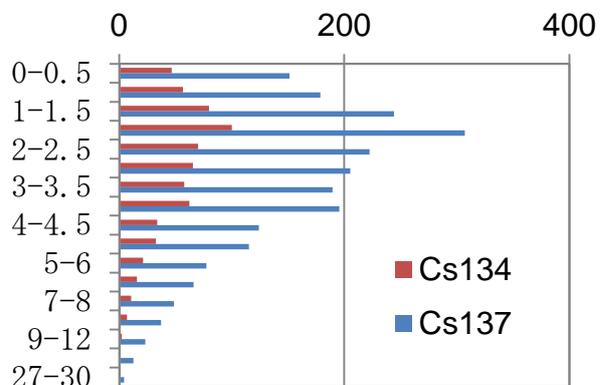


図12 プロット No.1 における Cs134・Cs137 濃度の垂直分布 (2014 年 8 月採取、2014 年測定)

(8) 今後の課題

・ブナ林斜面における侵食土砂の流出機構や堂平地区一帯の近年のシカ生息密度の減少と林床植生の回復に対する下流での浮遊土砂流出の減少については、概ね把握することができた。各種データの蓄積された箇所であることから、植生状態の推移等の基礎的な項目については、今後も長期的にみていく必要がある。

(9) 成果の発表

石川芳治ほか (2012) 東丹沢堂平における土壌保全工の土壌侵食軽減効果の評価, 神奈川県自然環境保全センター報告, 10 :

石川芳治ほか (2012) 東丹沢堂平における流域スケールでの土壌保全対策効果の検証, 神奈川県自然環境保全センター報告, 10 :

海虎ほか (2012) ブナ林における林床合計被覆率の変化が地表流流出率に与える影響, 日本森林学会誌 Vol. 94 , 167-174

(1) 丹沢大山の自然環境モニタリングと再生技術開発
A. 大気およびブナハバチのモニタリングとブナ林衰退への影響機構解明

- (1) 課題名 Af. ブナハバチ成虫モニタリング
(2) 研究期間 平成24～28年度
(3) 予算区分 県単（特別会計：丹沢大山保全再生対策）
(4) 担当者 谷脇 徹

(5) 目的

丹沢山地の高標高ブナの衰弱・枯死原因となるブナハバチの葉の被食量を軽減するには、幼虫による葉の被食量を事前に予測し、効率的に防除を実施する必要がある。葉の被食量には、産卵期にあたるブナ展葉期における黄色の衝突板トラップによる雌成虫捕獲量が反映されることが示唆されている（谷脇ら 2013）。そこで 2015 年は、丹沢山地 6 地点で黄色の衝突板トラップにより雌成虫捕獲量を調査するとともに、2007 年、2011 年、2013 年と大規模な被食が発生し、ブナ展葉フェノロジー調査を実施している檜洞丸では、調査を開始した 2010 年以降の展葉期の雌成虫捕獲量を比較し、当年の被食量の予測を試みた。調査は新日本環境調査株式会社への委託で行った。

(6) 方法

丹沢山、天王寺尾根、檜洞丸、大室山、菰釣山および三国山を調査地とした。成虫捕獲用のトラップには黄色のサンケイ式昆虫誘引器を用いた（写真 1）。トラップの設置数は 5 個ずつとした。設置場所は尾根筋に沿って設定した 20m 間隔地点から最寄りの林冠ギャップの日当たりのよい場所であり、設置高さは地上高 1.5m とした。トラップ下部のバケツには中性洗剤入りの水溶液を入れた。トラップの設置期間は 4 月上旬～6 月下旬とし、およそ週 1 回の頻度で捕獲昆虫を回収し、丹沢山、天王寺尾根、檜洞丸ではブナの展葉フェノロジーを調査した。

(7) 結果の概要

2015 年の雌成虫捕獲数は地点により平均で 1～544 個体と差があったが、三国山以外の地点では被食規模の小さかった 2012 年および 2014 年より多く、丹沢山では被食規模の大きかった 2013 年より多かったが、檜洞丸や大室山では 2013 年より少なかった（表 1）。檜洞丸において 2010 年以降の産卵期にあたる展葉期の雌成虫捕獲数を比較したところ、小～中規模の被食が発生した 2010 年、2012 年、2014 年より多いが、大規模であった 2011 年、2013 年より少なかった（表 2）。また、卵密度は大規模であった 2013 年と同等であった（表 2）。これらから 2015 年は中～大規模の被食が予測され、実際には中規模であった。大規模とはならなかった要因について検討する必要がある。

(8) 今後の課題

なし

(9) 成果の発表

なし



写真1 黄色の衝突板トラップ

表1 2012～2015年の黄色の衝突板トラップによる全期間の雌成虫捕獲数（平均±標準偏差）

	2012年	2013年	2014年	2015年
丹沢山	82±40	237±119	73±38	399±183
天王寺尾根	12±10	54±30	8±5	37±19
檜洞丸	394±133	1,060±510	305±69	540±185
大室山	191±99	643±519	145±80	544±253
菰釣山	10±10	46±35	7±7	34±54
三国山	2±2	1±1	0±1	1±1

表2 檜洞丸における展葉期のブナハバチ雌成虫捕獲数（平均）

項目	2010年	2011年	2012年	2013年	2014年	2015年
展葉中の雌成虫捕獲数(個体)	92±38	226±87	93±29	451±234	95±32	151±30
産卵密度(個/100葉)	24±30	35±31	23±16	80±71	20±19	81±88
予測				大	小～中	中～大
実際の食害規模	中	大	小	大	小	中

(1) 丹沢大山の自然環境モニタリングと再生技術開発
A. 大気およびブナハバチのモニタリングとブナ林衰退への影響機構解明

- (1) 課題名 Ag. ブナハバチ繭モニタリング
(2) 研究期間 平成24～28年度
(3) 予算区分 県単（特別会計：丹沢大山保全再生対策）
(4) 担当者 谷脇 徹

(5) 目的

ブナ葉食昆虫のブナハバチは丹沢山地の高標高域におけるブナ林の衰退原因の一つと考えられている。ブナハバチの幼虫が大量発生すると多くのブナが失葉し、複数回の失葉を経験したブナにおいて衰弱や枯死症状が生じるためである。このことから、ブナハバチの葉食被害の軽減に向けた防除技術の開発が求められている。

防除には潜在的な被食発生リスクを被食発生前に事前に評価する必要がある、これには繭モニタリングが適していると考えられている（谷脇ら、2012）。ただし、大規模な被食は繭の密度が高くても毎年発生する訳ではなく突発的に生じる傾向があるため、繭密度は年次で変動することが予想される。このことから、潜在的な被食発生リスクを評価するには長期にわたり継続して繭モニタリングを実施する必要がある。

そこで引き続き、三国山、菰釣山、大室山、檜洞丸および丹沢山の定点で繭密度調査を実施した。調査は新日本環境調査株式会社への委託で行った。

(6) 方法

各地点のブナ密度の高い林分の林床に20m×20mのコドラートを設定し、コドラート内を5m間隔に区切った9箇所の格子点を土壌採取箇所として設定した（図-1）。2015年の10～12月に、各地点コドラートの各箇所において、リターを除去後に幅15cm×奥行き15cm×深さ2cmの土壌を採取した（図-2）。採取箇所数はA、C、E、G、Iの5箇所とした（図-1）。採取土壌を持ち帰った後、繭のソーティングを行い、土壌内に含まれる繭数を計測した。なお、ここでは繭内部での生死や、繭の穴の有無などの状態に関係なくすべての繭を計測している。

(7) 結果の概要

食害の規模が小さい三国山では、繭密度がこれまでと同様に低密度で推移した（図-3）。一方、これまで低密度で推移していた菰釣山では124個/m²を記録した（図-3）。このまま上昇傾向が続くと食害が顕在化する恐れがあることから、今後の動向を注視する必要がある。

大規模な食害が発生する大室山、檜洞丸、丹沢山では繭密度が高密度で推移しているが、2015年は3地点とも最も高密度を記録した（図-3）。とくに繭密度の上昇傾向が顕著な檜洞丸では1,004個/m²とこれまでの最高値を更新した。大室山では増減を繰り返しているが、2015年は658個/m²であった。これまで200個/m²前後を横ばいで推移していた丹沢山では2年続けて上昇しており、2015年は489個/m²となった。被食発生リスクは大室山、檜洞丸、丹沢山に加え、菰釣山で高まっている可能性があり、防除によりリスクを低下させる取り組みが今後必要となってくる。

(8) 今後の課題

なし

(9) 成果の発表

なし
m

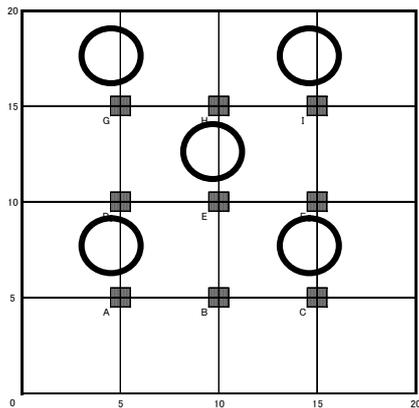


図-1 コドラート内の土壌採取箇所図

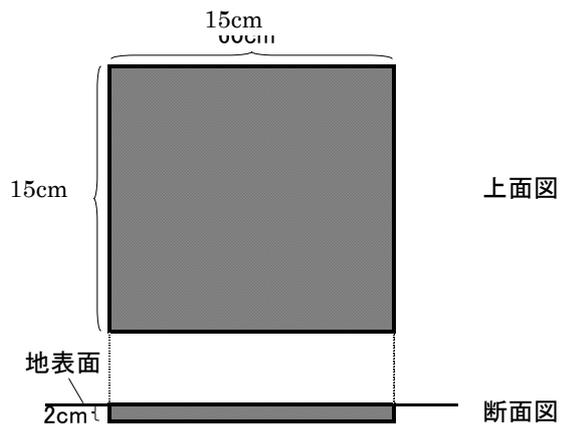


図-2 土壌採取方法

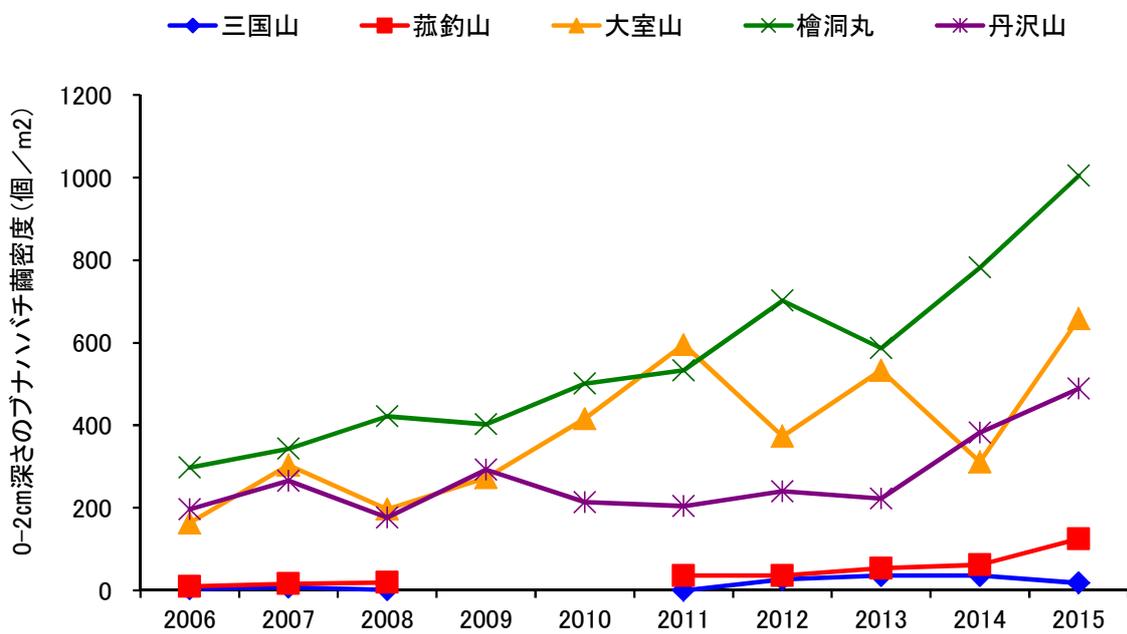


図-3 定点における0-2 cm深さのブナハバチ菌密度の年次変動

(1) 丹沢大山の自然環境モニタリングと再生技術開発
B. ブナ林生態系の再生技術の改良

- (1) 課題名 Ba. 大規模ギャップ森林再生試験
(2) 研究期間 平成24年度～
(3) 予算区分 丹沢大山保全・再生対策事業費（ブナ林等の調査研究費）
(4) 担当者 田村 淳・谷脇 徹・三橋正敏

(5) 目的

平成18年度から継続実施しているブナ林再生実証試験では、ブナが衰退している5か所に植栽試験地と天然更新試験地を設定して、光環境と散布種子量、更新木、林床植生を調査してきた。植栽木の追跡調査から、植栽木の生存率は丹沢山のサワグルミを除き高いこと、ブナの樹高成長は他の樹種と比較して緩やかであることがわかってきた。天然更新の調査から、シカの多少に関わらずギャップが大きいと散布種子量は少なく、ミヤマクマザサ等が繁茂して実生が定着しないことがわかってきた。埋土種子の予備試験からは、土壤中にニシキウツギなどの低木種の種子が含まれていた。これらのことから、少なくともミヤマクマザサ等を刈り取れば、低木林になる可能性はある。

そこで、本課題ではブナ等樹木が集団で枯死した場所と戦前から草原であった場所の計2か所において森林再生の可能性を検討するために、更新木や植生を調査する。合わせて、これまでに行ってきたブナ林再生実証試験地においても継続調査する。平成27年度の調査は、(株)建設技術研究所に委託した。

(6) 研究方法

①調査地

本課題の試験地は、丹沢大山国定公園特別保護地区内（相模原市緑区鳥屋地内と足柄上郡山北町玄倉地内）の7か所である（表1）。このうち、竜ヶ馬場と不動ノ峰は上層木がないササ草原となっている。平成27年度はこの7か所のうち5か所（丹沢山（清川）、丹沢山（津久井）、檜洞丸、竜ヶ馬場、不動ノ峰）を調査地とした。各調査地は柵内外の試験区をセットとして2m四方枠が10個ある。

表1 調査地の概要

	堂平	天王寺	丹沢山 (清川)	丹沢山 (津久井)	檜洞丸	竜ヶ馬場	不動ノ峰
ギャップ	小	小	中～大	中～大	中 大	大	大
開空度(%)	13-18	15-23	33-46	32-50	19-29 57-58		
試験区数(柵内外)	1セット	2セット	2セット	3セット	1セット 1セット	2セット	2セット
標高(m)	1,190	1,320	1,470-1,530	1,540-1,553	1,520 1,550	1,500	1,510
林床植生型	スズクサ退行	スズクサ退行	ミヤマクマザサ	高茎草本	高茎草本	ミヤマクマザサ	ミヤマクマザサ
調査開始年	2007	2008	2008	2010	2008	2012	2012
植生保護柵設置年	2006	2007	2008	2010	2005 2010	2013	2010
最終調査年	2013	2014	2013	2014	2013 2014	2014	2014
植栽木調査	○(2006-)	—	○(2008-)	—	— ○(2010-)	—	—
天然更新木調査	○(2007-)	○(2008-)	○(2008-)	○(2010-)	○(2008-)	○(2012-)	○(2012-)
種子散布量調査	—	○(2008-)	○(2008-)	—	○(2008-)	—	—
種子播種						○(2013-)	○(2013-)
ササ刈取り						○(2013-)	○(2013-)

②調査方法

各調査地の2m四方枠で、植生と更新木、光環境を調査した。植生では、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・群度、ササの最大稈長(cm)を測定した。更新木調査

では、高木性樹木の稚幼樹について、5cm以上の個体の脇にナンバリングテープ付針金を設置して樹高（鉛直高）を1cm単位で測定した。光環境調査では、5地点で高さ1mのところ魚眼レンズ付デジタルカメラで天空写真を撮影した。植生調査は7～8月に、更新木調査は9月に実施した。またササ草原の2か所では、柵の有無とササ刈取りを組み合わせた試験区を設定して（8パターン）、当年生の実生の発生状況を6月と9月に調査した。

丹沢山（清川）と檜洞丸（大ギャップ）の2か所において植栽木の生残と樹高を調査した。

(7) 結果の概要

ササ草原である竜ヶ馬場と不動ノ峰の2か所での調査では、当年生実生を含む高木種と小高木種の実生の本数（40m²あたりの）では処理間による明瞭な差異を見いだせなかったが、柵を設置して5年経過した不動ノ峰では処理区に関わらず柵外よりも柵内で平均樹高は高い傾向があった。両か所の柵内外で樹高が20cm以上あった樹種はニシキウツギとユモトマユミ、ミヤマイボタであった。これらの樹種は

風衝低木林を構成する樹種であることや、現地の土壌内には埋土種子としてニシキウツギが含まれていることから、さらに時間が経過すればこれらの樹種を主体とした低木林に推移すると考えられた。

丹沢山（清川）、同（津久井）、檜洞丸における天然更新木の調査では、いずれも柵内では更新木の樹高が高くなっていたが、柵外では樹高30cmを超える更新木は少なく、柵外ではシカの採食影響が持続していると考えられた。

植栽木については、檜洞丸では植栽した4種ともに徐々に相対生存個体数は少なくなったもののシナノキ、ナナカマド、ヤブデマリの3種は5年経過しても70%以上の個体が生育して、平均樹高は69～104cmの範囲にあった。丹沢山（清川）では、植栽した6種のうちサワグルミの相対生存個体数は10%を下回ったものの、他の5種は5年経過しても70%以上の個体が生育して、ミズキは平均樹高が207cmになっていた。他の樹種の平均樹高は120～140cmであった。

(8) 課題

・竜ヶ馬場と不動ノ峰ではササ刈取りと播種を組み合わせた試験を引き続き実施する。

(9) 成果の発表

・田村 淳・谷脇 徹・中西のりこ・井田忠夫・吉田直哉（2015）複合影響で衰退したブナ林の天然更新による森林再生の可能性—植生保護柵設置後4～7年の調査から。第126回日本森林学会大会学術講演集。

表2 ササ草原である2か所の更新木の概要

処理	本数(40m ²)	平均樹高(cm)	sd	最大樹高(cm)	
柵内	刈取	119	10.1	10.0	61.0
	刈取・播種	121	12.9	11.8	55.0
	播種	125	11.2	12.5	66.0
	無処理	80	11.7	13.2	62.0
柵外	刈取	105	11.2	7.3	41.0
	刈取・播種	134	10.1	7.1	34.0
	播種	160	9.7	8.0	50.0
	無処理	133	12.8	9.3	42.0

2015年 不動ノ峰(柵設置後5年)

処理	本数(40m ²)	平均樹高(cm)	sd	最大樹高(cm)	
柵内	刈取	179	64.6	34.7	119.0
	刈取・播種	200	16.4	17.3	85.0
	播種	176	50.7	37.4	124.0
	無処理	117	39.8	30.8	114.0
柵外	刈取	129	6.4	2.5	21.0
	刈取・播種	123	6.1	2.3	13.5
	播種	122	9.6	5.8	31.0
	無処理	117	9.8	4.7	27.0

(1) 丹沢大山の自然環境モニタリングと再生技術開発
B. ブナ林生態系の再生技術の改良

- (1) 課題名 Bb. ブナハバチ防除試験
 (2) 研究期間 平成24～28年度
 (3) 予算区分 県単（特別会計：丹沢大山保全再生対策）
 (4) 担当者 谷脇 徹・齋藤央嗣・相原敬次

(5) 目的

丹沢山地の高標高域ではブナハバチの食害によるブナの衰弱・枯死が進行しており、被食の軽減対策が求められている。対象地域は丹沢大山国定公園の特別保護地区などの自然度が高い原生林のため、環境負荷が小さく、効率的・省力的な防除法の開発が求められている。平成27年度は現地での成木における薬剤の樹幹注入試験を、長野県林業総合センター、サンケイ化学株式会社との共同研究により実施した。あわせて、中～大規模な食害の発生が事前に予測されたことから粘着シートによる緊急防除事業を実施した。

(6) 方法

薬剤（ジノテフラン8%液剤、製品名ウッドスター）の注入は食害影響で衰退が進む檜洞丸のブナ成木で、産卵木にあたる展葉期の前後に行い、その防除効果を検証した（表1、写真1）。

粘着シートは、6月上旬～7月上旬に、丹沢山136本、檜洞丸203本、大室山203本および犬越路74本、合計616本のブナ樹幹に、粘着面が外側になるように設置し（写真2）、4方向の写真撮影により幼虫捕獲数を推定した。

表1 薬剤注入の試験区と供試木

注入時期	試験区	本数	DBH(cm)
展葉前(4/28)	15cm間隔区	5	30～64
	25cm間隔区	5	32～66
	対照区(水)	3	33～48
展葉後(5/22)	15cm間隔区	5	26～77
	対照区(水)	2	32～33

推定捕獲数 = (0.0657 × サンプル平均値 + 0.01185) × 粘着トラップ面積 (幅20cm × 樹幹周囲)



写真1 薬剤の樹幹注入



写真2 粘着シートの設置

(7) 結果の概要

薬剤の注入による死亡率は、展葉前注入が81～100%、展葉後注入が100%と高く（図1）、葉食害は10%以下に抑えられた。衰弱木でも樹体影響なく高い防除効果が確認され、現地のブナ成木

にも適用できることが示された。予防的防除（展葉前）と大発生予測時の緊急防除（展葉後）のいずれにも適用できると期待される。

粘着シートは4地点で616本のブナに設置し、1万～23万個体、合計で50万個体のブナハバチ幼虫を捕獲したと推定された（表2）。2013年は3地点548本で75万個体を捕獲したと推定されており、それと比べると2015年はやや少ないものの、比較的近い規模で幼虫を防除することができた。

(8) 今後の課題

なし

(9) 成果の発表

谷脇徹・猪野正明・鶴田英人・齋藤央嗣・相原敬次・岡田充弘（2015）ブナ若木へのジノテフラン樹幹注入によるブナハバチの防除効果. 樹木医学研究 19(3) : 139-148

谷脇徹・鶴田英人・猪野正明・齋藤央嗣・相原敬次・柳澤賢一・岡田充弘（2016）丹沢山地檜洞丸のブナ成木への薬剤樹幹注入によるブナハバチの防除効果. 第127回日本森林学会大会学術講演集 : P2-150

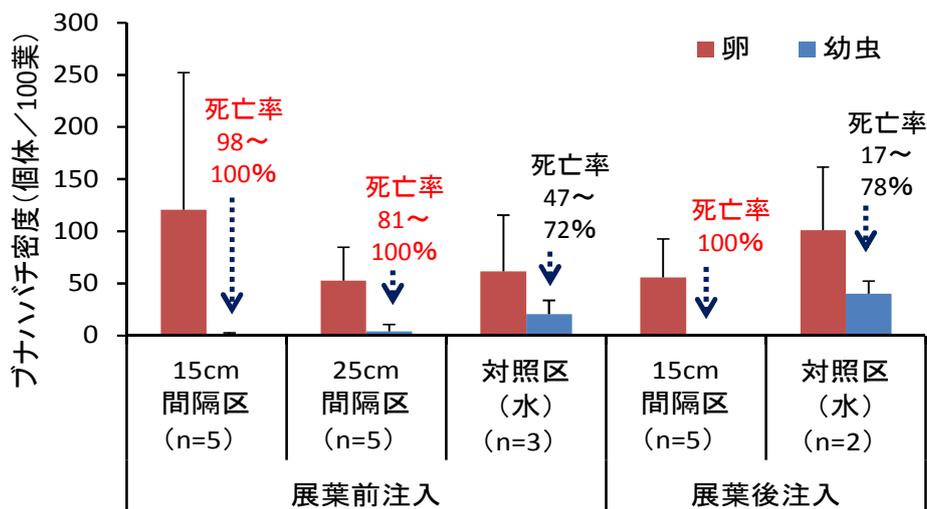


図1 薬剤注入木におけるブナハバチの卵と幼虫密度

表2 樹幹粘着シートによるブナハバチ幼虫の防除効果

項目	丹沢山	檜洞丸	大室山	犬越路
粘着シート設置本数(調査不可本数)	136 (135)	203 (201)	203 (193)	74 (73)
樹冠の半分以上被食されたブナ本数割合	6%	15%	31%	22%
推定捕獲数の合計	95,540	234,645	153,689	13,354
推定捕獲数の平均(範囲)	708 (16~20,705)	1,167 (12~26,600)	796 (9~13,357)	183 (20~688)

(1) 丹沢大山の自然環境モニタリングと再生技術開発
B. ブナ林生態系の再生技術の改良

- (1) 課題名 **Bc. 丹沢山地森林変遷解析**
 (2) 研究期間 **平成24～28年度**
 (3) 予算区分 **県単（特別会計：丹沢大山保全再生対策）**
 (4) 担当者 **谷脇 徹・山根正伸**

(5) 目的

さまざまな要因で森林衰退が著しい丹沢大山のブナ林を中心とする森林域において、ブナ林衰退に関する時空間的特性を明らかにして、森林の衰退機構解明と保全・再生に資する基礎資料、対策マップの調整に資する情報を得ることを目的として、丹沢山地の森林変遷について得られている最新の空中写真の解析結果をもとに再生優先地マップを作成した。解析は酪農学園大学の鈴木透准教授との共同研究として行った。

(6) 方法

用いたデータは土地被覆データとブナハバチの被害木データである。土地被覆データは、空中写真のデータを用いて作成した1970年代・2010年代を使用した。土地被覆データは、広葉樹林、針葉樹林、草地・裸地、崩壊地、人為改変地の5つで作成されている。ブナハバチの被害木に関するデータは神奈川県所有の2011年、2013年のデータを使用した。なお、今回は被害木・二次展葉木を合わせて被害木とした。分析対象範囲は大室山から鍋割山にかけての主稜線から両側200m以内とした。

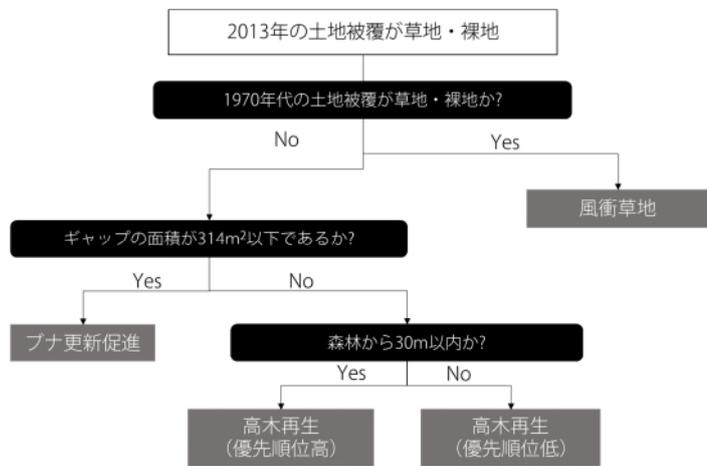


図1 ブナ林再生対象地の選定方法

再生優先地マップは、ギャップの拡大リスクからブナ林再生対象地、ブナハバチの累積的な影響からブナハバチ対策地区を選定し、2つをあわせることにより作成した。ブナ林再生対象地は、土地被覆データの解析結果について図1のフローにより「ブナ更新促進」、「高木再生（優先順位高・低）」、「風衝草地」を選定した。ブナハバチ対策地区は、ブナハバチの被害木に関するデータについて、周辺100m以内の被害本数が30本以上を「重点対策地区」、20から29本を「要注意地区」として設定した。

(7) 結果の概要

「ブナ更新促進」・「高木再生」・「風衝草地」に区分したブナ林再生優先地と「重点対策地区」、「要注意地区」に区分したブナハバチ対策地区をまとめ作成した再生優先地マップから効果的な対策の検討を行った。

大室山周辺は現在比較的健全なブナ林が残されていると考えられ、ギャップも少ない。しかし近年ブナハバチが多く発生しており、ブナハバチ対策を主に実施していく必要があると考えられた(図2)。

檜洞丸周辺は、風衝草地が少なく、ブナ林の劣化が急激に進行している場所である(図3)。また近年ブナハバチが多く発生しており、ブナハバチ対策とギャップへの対策の両方を実施すべきであり、ブナ林再生の重点対策地域であるといえる。

蛭ヶ岳から丹沢山にかけては、もともと草地とブナ林が混在していた場所と考えられ、ブナ林の衰退に伴い、巨大なギャップ（草地・裸地）を形成している（図 4）。ギャップの形成はさらなるブナ林の衰退を促進すると考えられるため、ギャップへの対策、特に「高木再生」によりまずギャップの拡大を抑えることが重要であると考えられた。

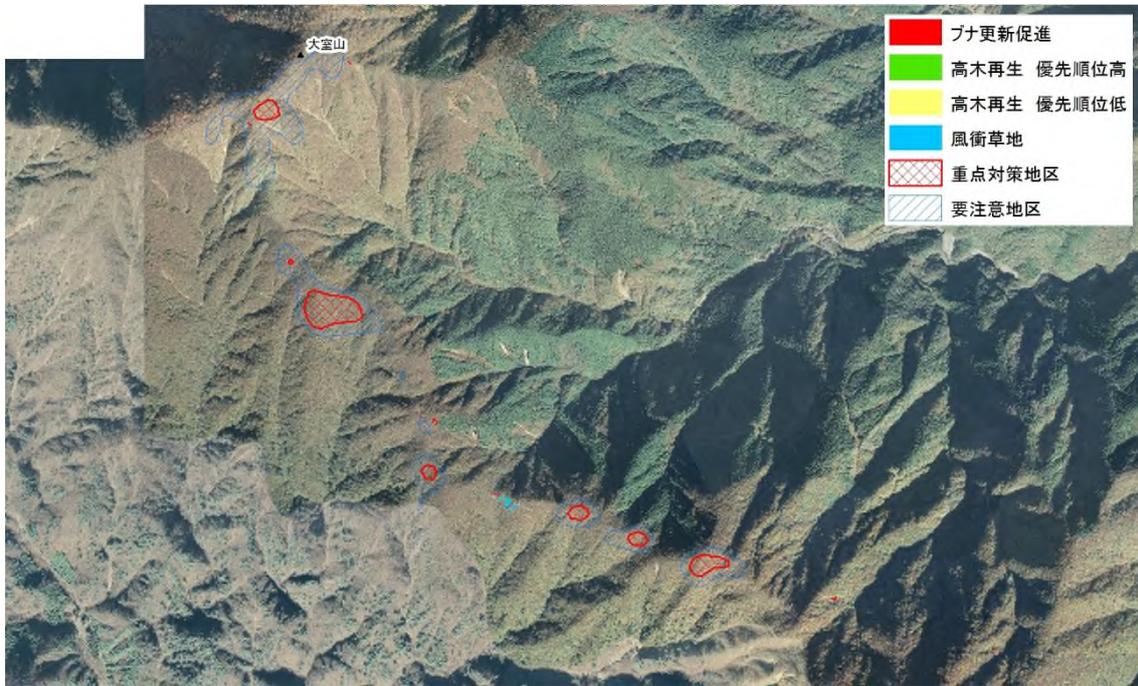


図 2 大室山周辺の再生優先地マップ



図 3 檜洞丸周辺の再生優先地マップ

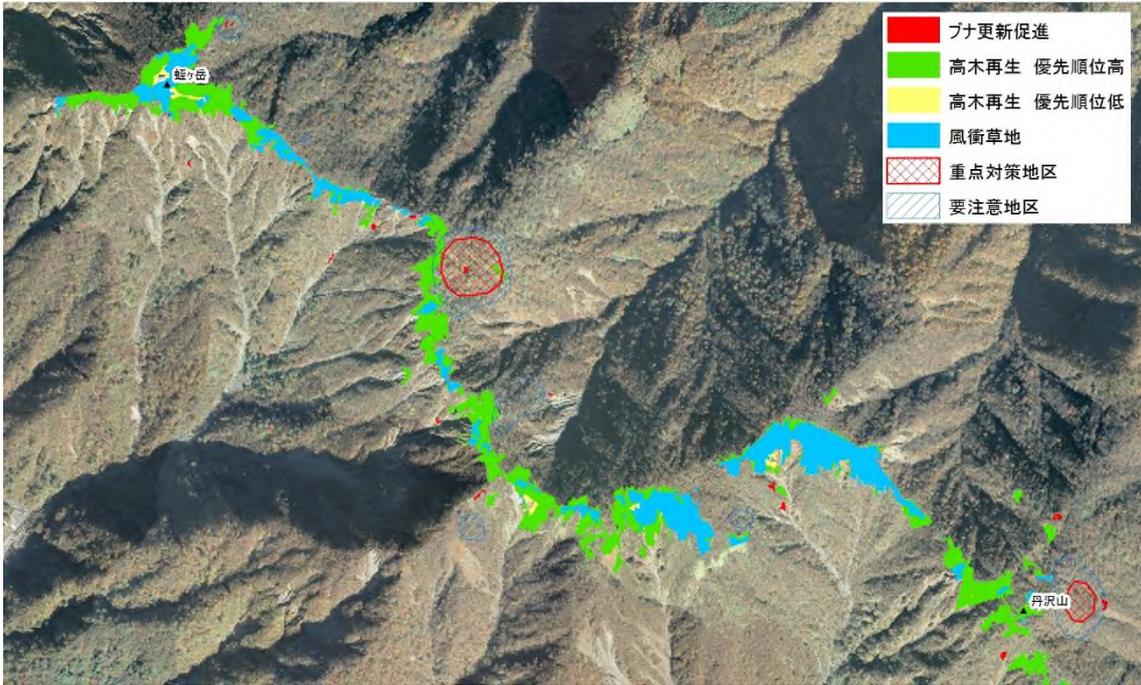


図4 蛭ヶ岳から丹沢山にかけての再生優先地マップ

(8) 今後の課題

なし

(9) 成果の発表

なし

(2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
 (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
 A. 水源林の施業技術の改良

- (1) 課題名 Aa. 水源林整備地モニタリング
 (2) 研究期間 平成19年度～
 (3) 予算区分 水源林整備事業費
 (4) 担当者 田村 淳・赤嶺真由美・成瀬真理生

(5) 目的

本課題の目的は、水源林整備事業の実施地における施業の効果検証である。平成27年度は、これまでと同様に整備事業地の植生モニタリングのほかに、広葉樹林の林分構造調査、センサーカメラを使ったシカの生息状況調査を行った。現地調査はすべて(株)建設技術研究所に委託して行った。

(6) 方法

調査内容は、①植生モニタリングと②シカの生息状況調査である。①は9箇所24試験区(プロット)、②は①と同じ9箇所で行った(表1)。H27年度の調査箇所の林相は、6箇所の16試験区が針葉樹人工林(スギ、ヒノキ)、残り3箇所の8試験区が広葉樹林である。

調査方法は、①では光環境と植生を調査した。②では各箇所にセンサーカメラを2台設置して、9月上旬から11月下旬までの3ヶ月間に撮影される動物を記録した。なお、①の植生モニタリングは2006年度(H18)に試験区を設定し2010年度に調査した箇所の再調査である。

解析では、シカの多寡を考慮して調査箇所を丹沢(柵内)と丹沢(柵外)、箱根外輪山(以下、箱根)と3地域にまとめて、ヒノキ林と広葉樹林の2林相で光環境や植生を地域ごとに比較した。

表1 2015年度(H27)調査地一覧

No. 契約地No.	場所	林相	柵の有無	水源林モニタリング調査項目										広葉樹林分構造調査(プロット数)
				柵内外のセット	プロット(区)数	うち広葉樹	植生	更新木	現存量	開空度	土壌移動(鉄筋数)	シカ生息(地点)		
1 H11-分-04	秦野市堀山下字曾我屋敷	ヒノキ	有	2	4	0	○	○	○	○	15	○	-	
2 H09-分-04	秦野市義毛字諏訪入	スギ・ヒノキ	有	1	2	0	○	○	○	○	15	○	-	
3 H15-協-24	津久井町青根字長者舎	ヒノキ	有	2	4	0	○	○	○	○	21	○	-	
4 H12-協-27	津久井町鳥屋字奥野	広葉樹	有	2	4	4	○	○	○	○	21	○	4	
5 H13-寄-03	厚木市七沢字七久保	広葉樹	有	1	2	2	○	○	○	○	36	○	2	
6 H15-育-01	清川村煤ヶ谷字柿ノ木平	スギ	有	1	2	0	○	○	○	○	36	○	-	
7 H16-協-23	山北町世附字上ノ山	広葉樹	有	1	2	2	○	○	○	○	21	○	2	
8 H14-立-01	南足柄市雨坪字二ツ沢	ヒノキ	無	-	3	0	○	○	○	○	36	○	-	
9 H16-分-07	小田原市久野字四ツ尾	ヒノキ	無	-	1	0	○	○	○	○	36	○	-	
合計				10	24	8						9	8	
											鉄筋数15:	6	プロット	
											鉄筋数21:	10	プロット	
											鉄筋数36:	8	プロット	

(7) 結果の概要

ア 植生モニタリング

開空度は、丹沢の柵内外と箱根のヒノキ林ではH22時点では10～11%であり、H27には9～10%にやや低下した。広葉樹林の開空度はH22時点では12～13%あったのがH27には6～7%に低下した。

草本層植被率は、丹沢の柵内外ではH22よりも増加していたが、他の試験区では大きな変化はみられなかった(図2)。草本層の現存量は、いずれの試験区においてもH22よりもH27で減少していた(図3)。

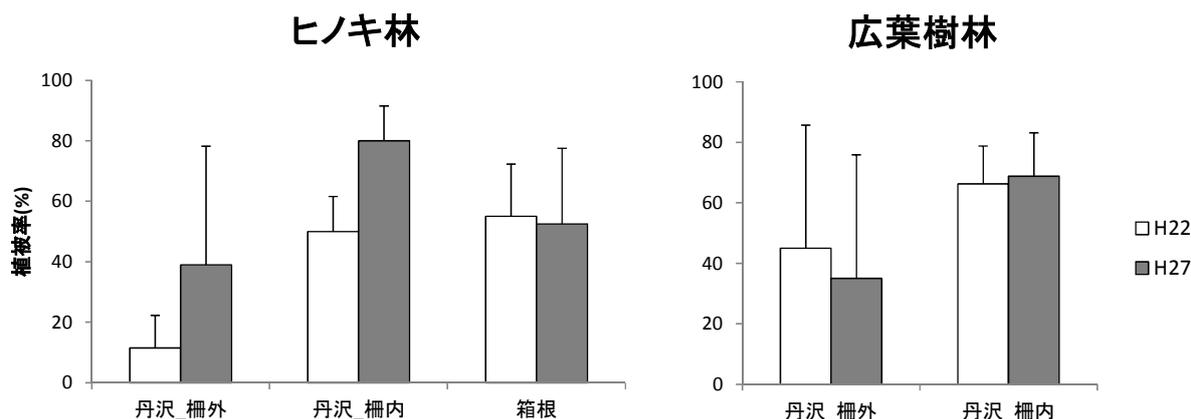


図1 ヒノキ林と広葉樹林における2時点の草本層植被率の変化 (いずれも n=4)

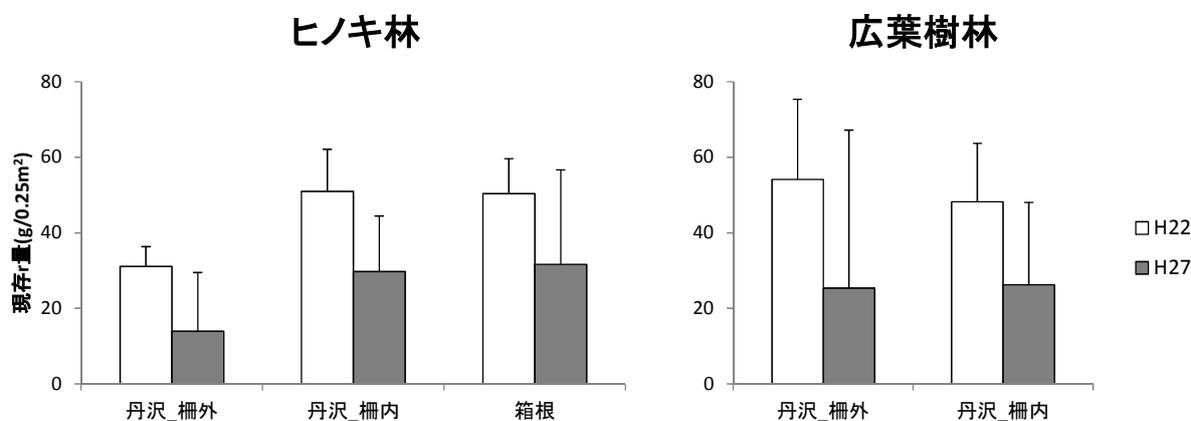


図2 ヒノキ林と広葉樹林における2時点の草本層現存量の変化 (いずれも n=4)

イ シカの生息状況調査

いずれの試験区においてもシカがもっとも多く撮影された。また、場所によりシカの撮影個体数は異なり、一番少ないところでは H16-分-07 (小田原市内) の 6 頭、多いところでは H13-寄-03 (厚木市内) の 329 頭であった。シカに次ぐ優占種はイノシシであった。

(8) 課題

間伐から時間が経過して草本層の植被率や現存量が定常状態になってきたと考えられるため、モニタリングの方針や継続性について検討する。

(9) 成果公表

- 田村 淳・山根正伸・武田 潤・久富寛之 (2013) 神奈川県の水源地の施業地においてシカが林床植生に及ぼす影響. 神奈川県自然環境保全センター報告 11: 53-60.

- (2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
- (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
 - A. 水源林の施業技術の改良

- (1) 課題名 **Ab. 人工林の針広混交林化調査**
- (2) 研究期間 **平成 19 年度～**
- (3) 予算区分 **水源林整備事業費**
- (4) 担当者 **田村 淳・赤嶺真由美・成瀬真理生**

(5) 目的

本課題の目的は、水源林整備事業地のうち針広混交林を目標林型とする人工林を対象として、群状間伐地と点状間伐地における高木性樹木の侵入状況を明らかにして、針広混交林への誘導の可能性を検討することである。2015 年度（H27）は、2012 年度以降 4 年間で調査した水源林モニタリング地点のうち針葉樹人工林のデータを用いて更新状況を解析した。2015 年度の現地調査は新日本環境調査㈱に委託した。

(6) 方法

水源林モニタリング 50 地点のうちスギ・ヒノキ人工林の 19 地点計 39 試験区のデータを使った。各試験区に 2m 四方の調査枠を 10 個設置して、高木性樹種の更新木のうち樹高の高い上位 5 本の樹種名と樹高を記録した。したがって、各試験区の更新木は最大で 50 本/40m²となる。測定対象は両調査ともに樹高 5cm 以上とした。

解析にあたっては、シカの影響の有無を考慮して、丹沢（柵外）と丹沢（柵内）、小仏・箱根の 3 区分として 30cm 以上の更新木の密度と最大樹高を比較した。閾値を 30cm としたのは一般に更新完了基準で用いられる樹高階のためである（田内 2010）。

(7) 結果の概要

ア 更新木の密度

同じ地域区分でも試験区によりばらつきがあるものの、全体の傾向として丹沢（柵外）では更新木は少なかったが、地域による統計的有意差はなかった（クラスカルウォリス検定とシェフェ検定、 $p>0.05$ ）。丹沢（柵外）の 8 試験区では 30cm 以上の更新木がなく、1 箇所を除くそれ以外の試験区でも 10 本/40m²（ha 換算して 2500 本）未満であった（図 1）。丹沢の柵内では更新木が柵外と比較して多くあることから、シカの採食が稚樹の定着を妨げている可能性がある。シカの影響が丹沢よりも少ない箱根・小仏の試験区においても、更新木の密度はばらつき、第 1 回目の間伐から長い時間が経過したとしても更新木が多くあるわけではなかった。

イ 更新木の樹高

シカの影響を考慮した 3 地域区分で最大樹高を比較すると、丹沢（柵内）は丹沢（柵外）よりも有意に樹高が高かったが（クラスカルウォリス検定とシェフェ検定、 $p=0.0391$ ）、小仏・箱根とは有意差は認められなかった（図 2）。樹高についてもシカの採食が成長を阻害していると考えられる。

シカの影響のない丹沢（柵内）において間伐から 10 年以上経過しても更新木の最大樹高は 200cm、シカの影響の少ない小仏・箱根では 150cm 程度であることから、現場で行われている間伐率のレベルで混交林に仕立てるには定期的な間伐による光環境の改善と長期の時間が必要と考えられた。

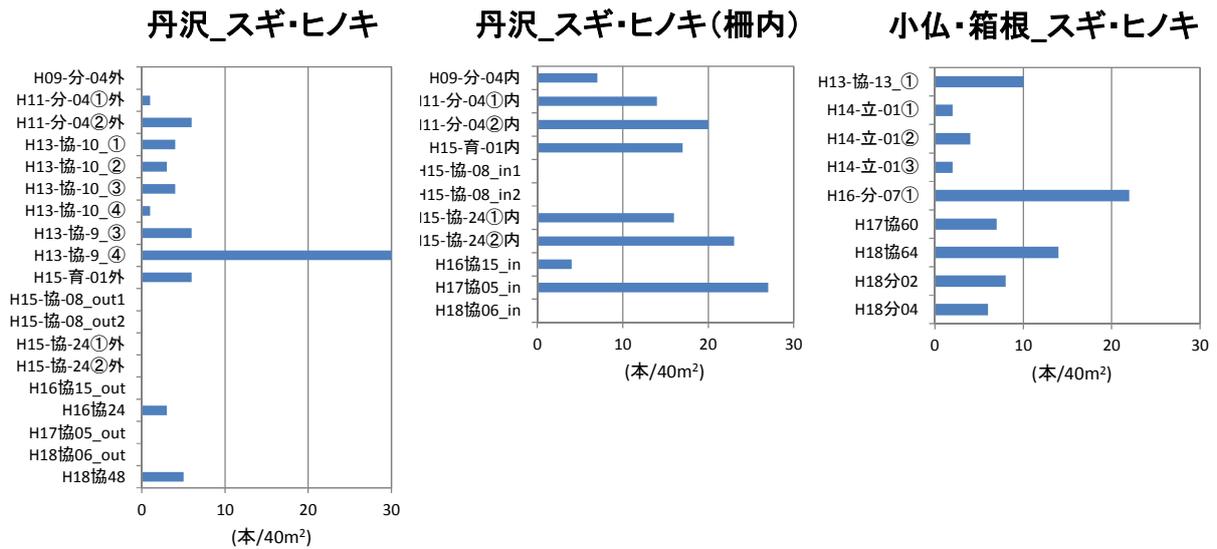


図1 更新木の密度

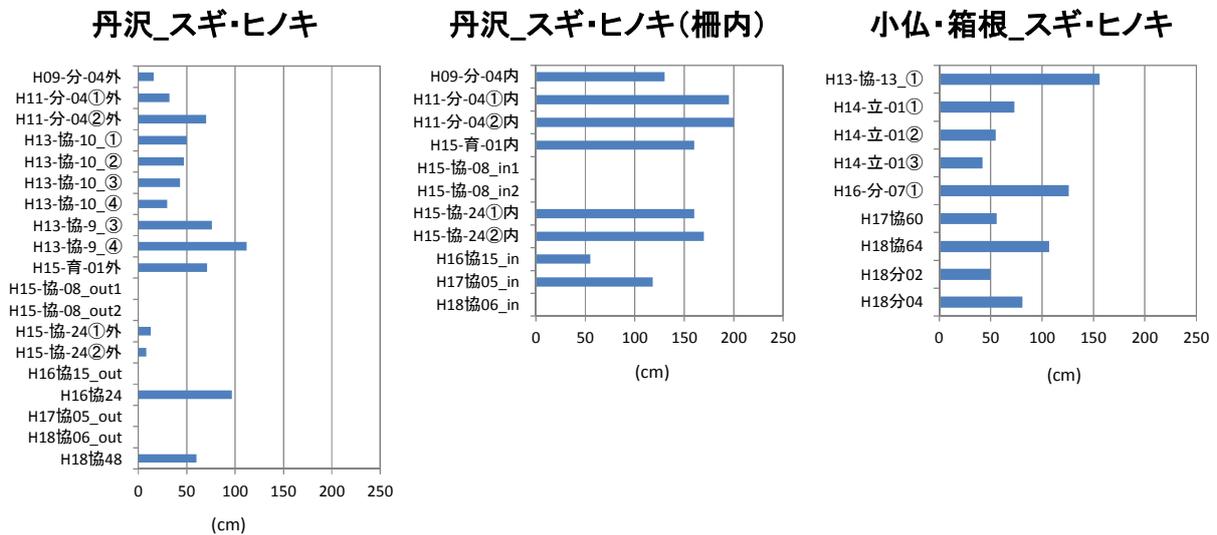


図2 更新木の最大樹高

(8) 課題

H28 データの収集をまっして、針広混交林を目標林型とする人工林の混交林化の可能性を検討する。

(9) 成果公表

- ・ 田村 淳 (2014) 高齢級スギ・ヒノキ人工林の林床植被の多寡が択伐後の高木性樹木稚樹の更新に及ぼす影響—シカを排除した12年間の調査から—。日本森林学会誌 96: 333-341.

(2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
(2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発

- (1) 課題名 B. 対照流域法による総合モニタリングー総括ー
(2) 研究期間 平成 19～28 年度
(3) 予算区分 県単（水源特別会計：森林環境調査）
(4) 担当者 西口孝雄・内山佳美・横山尚秀・大平 充

(5) 目的

かながわ水源環境保全・再生実行 5 か年計画（第 1 期：H19～23、第 2 期：H24～28）では、施策の効果を検証するためのモニタリング調査が計画されている。本研究課題は、その中でも森林で行われる事業を対象として、対照流域法等の流域試験の手法を用いて事業実施効果を流量等の観測により検証し県民に情報提供することを目的とする。

(6) 方法

第 1 期 5 か年（H19～23）に県内の水源の森林エリアの 4 箇所（東丹沢大洞沢、相模湖貝沢、西丹沢ヌタノ沢、南足柄フチヅリ沢）に設定した各試験流域において、自然特性および水源環境の課題を踏まえて設定したそれぞれのモニタリングのねらいに従って、森林や溪流における各モニタリング項目のデータを取得した。

ここでは、プロジェクト全体にかかる研究業務について記述し、各試験流域における調査結果、水循環モデルによる予備解析、観測施設の保守・改良等の具体的な実施内容については、個別研究に示す。

①対照流域モニタリング調査会検討会議の開催

当研究プロジェクトの全体の調整やモニタリング結果の検討を行うために、関係分野の学識者からなる対照流域モニタリング調査会による実務レベルの検討会議を 1 回開催した。

②研究分野別の部会等の開催

全体の検討会議では議論しきれない専門分野ごとの具体的な検討を行うため、水土砂分野の部会を 1 回、水生生物分野の打合せを 1 回開催した。加えて、さらに特定の参加者による個別検討・打合せを数回実施した。

③施策の総合的な評価（中間評価）にかかる科学的知見の提供

県民会議による第 2 期水源環境保全・再生実行 5 か年計画の施策の総合的な評価にあたり、モニタリング結果等に基づく科学的知見をとりまとめて提供した。

(7) 結果の概要

①検討会議等の開催結果（主なもの）

○第 17 回対照流域モニタリング調査会検討会議の開催

日時：平成 28 年 1 月 21 日（木）14：00～17：00

場所：東京都千代田区神田多町 2-4 情報オアシス神田 オアシス 3

出席者：各専門委員、オブザーバー（専門、行政）、研究連携課

議題 1) 対照流域モニタリングの進捗状況について

2) 流域スケールの総合的な評価に向けて

概要：各調査担当から最新のモニタリング結果を報告し意見交換した。さらに、個別の調査結果が徐々に蓄積されてきていることから、今後はそれらを統合して検証結果として見解をつくる議論を始める旨を事務局から提案し意見交換した。

○対照流域モニタリング調査会 水・土砂分野部会

日時：平成 27 年 12 月 21 日（月）13：30～16：30

場所：東京農工大学 1 号館 402 会議室

出席者：各専門委員（水土砂分野のみ）、研究連携課

- 議題 1) 対照流域モニタリング調査（水土砂分野）の H27 年度実施状況
 2) ヌタノ沢の土壌侵食実態について中間報告
 3) 対照流域モニタリングの水生物調査について

概要：ヌタノ沢の土壌侵食実態、各試験流域の水生物調査結果の解析について、内山主任研究員、大平特別研究員より現時点までの中間報告を行い、きめ細かく意見をいただいた。

○対照流域モニタリング調査会 水生物分野打合せ

日時：平成 28 年 1 月 13 日（水）15:30-17:00

場所：TKP 横浜駅東口ビジネスセンター

出席者：各専門委員（水生物分野のみ）、研究連携課

概要：第 17 回対照流域モニタリング調査会検討会議に先立ち事前説明するとともに、水生物調査データの解析・取りまとめについて、助言をいただいた。

表-1 研究連携課主催の対照流域モニタリング関係会議・打合せ等一覧

開催日	会議名称等	区分	内容（主な議題等）
H27. 4. 21	東京農工大学受託研究打合せ	外部	H27年度受託研究の実施にかかる細部打合せ
H27. 7. 29	大洞沢の森林整備関連の打合せ	所内	大洞沢の森林操作（H29以降）に関する調整
H27. 8. 6	水源林整備担当（県央C・県西C）との打合せ	庁内	貝沢、ヌタノ沢の今後の水源林整備に関する調整
H27. 9. 11	現地検討（貝沢）	外部・庁内	貝沢の流域2の整備内容検討
H27. 9. 14	溪流生態系関係の情報交換会	庁内	森林と溪流生態系に関する既往文献の概要を報告、情報共有
H27. 9. 18	¹³⁷ Cs等を指標とした土壌侵食評価の相談	外部	東京農工大学准教授五味高志氏よりヌタノ沢土壌侵食評価に関する助言
H27. 10. 20	東京大学受託研究打合せ	外部	H27年度受託研究の実施状況等の細部打合せ
H27. 11. 25	神奈川工科大学受託研究打合せ	外部	H27年度受託研究の実施状況等の細部打合せ
H15. 12. 21	対照流域モニタリング調査会 水土砂分野部会	外部	ヌタノ沢の土壌侵食実態について、水生物調査解析について
H28. 1. 13	対照流域モニタリング調査会 水生物分野事前打合せ	外部	水生物調査の解析・まとめの実施状況について
H28. 1. 21	第17回 対照流域モニタリング調査会検討会議	外部・庁内	対照流域モニタリングの進捗状況について、流域スケールの総合的な評価に向けて
H28. 2. 23	平成27年度研究推進支援研修	庁内	首都大学東京特任助教福島慶太郎氏講演「ニホンジカによる植生衰退と流域の物質循環・森林生態系への影響」
H28. 3. 15	水生物解析打合せ	外部	東京大学助教加賀谷隆氏より水生物データ解析に関する助言

※課内の打合せ・ゼミは除く

②施策の総合的な評価（中間評価）にかかる科学的知見の提供

県民会議による第2期水源環境保全・再生実行5か年計画の評価にあたり、本モニタリング調査で得られた成果が活用され、「総合的な評価（中間評価）報告書」（水源環境保全・再生かながわ県民会議 平成27年8月）にも掲載された。

I かながわの水源の今 P. 16～19

III 評価結果 P. 34～37、P. 102～105

(8) 今後の課題

・森林における水源環境保全・再生対策の効果を専門的な見地から検証するための総合モニタリングであるため、研究分野が多岐にわたるうえ、森林の生育や土壌の回復のような長期的変化も視野

にいれる必要がある。このため、大学等の研究機関との外部連携による継続的な体制を構築し、県内4か所に設定した試験流域におけるモニタリング調査を着実に継続する必要がある。

・水源税の第1期5か年計画では、県内4地域にそれぞれ試験地を設定し、森林における施策の効果を検証するための基本的な観測を開始することができた。第2期5か年計画では、各試験地において、それぞれのモニタリングの狙いに従って操作実験と検証を行い、成果をあげる段階となっている。このため長期的な効果の検証と同時に、短期間でも変化が検出できるような項目を選定して並行して検証していく必要がある。

(9) 成果の発表

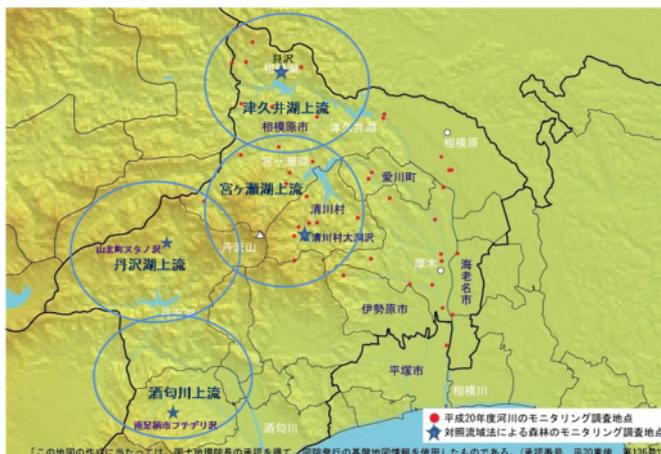
内山佳美・山根正伸・横山尚秀・山中慶久（2013）神奈川県における水源環境保全・再生施策の検証方法とその実施状況、神自環保セ報10、1-12

内山佳美・山根正伸（2011）ニホンジカ影響が顕著な東丹沢大洞沢における水源かん養機能モニタリング、平成23年度砂防学会研究発表会概要集、38-39、2011年5月

内山佳美・山根正伸（2008）森林における水環境モニタリングの調査設計-大洞沢における検討事例-、神自環保セ報5、15-24

表-2 対照流域法等による森林のモニタリング調査の全体スケジュール

	H19~23 (2007~2011)	H24 (2012)	H25 (2013)	H26 (2014)	H27 (2015)	H28 (2016)	H29~33 (2017~2021)	H34~38 (2022~2026)
施策スケジュール	第1期実行5か年計画	第2期実行5か年計画					第3期 5か年計画	第4期 5か年計画
対照流域法等による モニタリング調査	試験流域の設定と 事前モニタリングの開始	対照流域法における整備の実施と事後モニタリングの開始					モニタリング継続	モニタリング継続
東丹沢 (大洞沢)	H19事前検討、H20施設整備・ 観測開始、H23整備	・事後モニタリング				第 2 期 成 果		
相模湖 (貝沢)	H20事前検討、 H21施設整備・観測開始	・事前モニタリング ・整備実施	・事後モニタリング					
西丹沢 (ヌタノ沢)	H21事前検討、 H22施設整備・観測開始	・事前モニタリング	・事前モニタリング ・整備実施	・事前モニタリング				
南足柄 (フチヂリ沢)	H22事前検討、 H23施設整備・観測開始	・事前モニタリング	・事前モニタリング	・事前モニタリング (・H26以降必要に 応じて整備)	モニタリング			
水循環モデル	広域/小流域水循環モデル構築、 一部シナリオ解析	モデル解析	モデル解析	モデル解析	モデル解析		モデル解析	モデル解析
成果	年度ごとの成果取りまとめ 中間とりまとめ(H22)	第1期成果取り まとめ(センター 報告)	研究報告会等	事業報告会等	第2期見直しの ための成果公表	第2期とりまとめ	10年後の結果	15年後の結果



試験流域	自然特性等	モニタリングのねらい	観測 開始
東丹沢 「大洞沢」	宮ヶ瀬湖上流、 新第三系丹沢層群 人工林、シカ影響	シカ管理と人工林管理 の効果を検証する	H21
小仏山地 「貝沢」	相模湖支流、 小仏層群（頁岩） 人工林	水源林整備の効果を 検証する	H22
西丹沢 「ヌタノ沢」	丹沢湖上流、 深成岩（石英閃緑岩） 広葉樹、シカ影響	シカ管理を広葉樹整備 の効果を検証する	H23
箱根外輪山 「フチヂリ沢」	狩川上流、 外輪山噴出物、 人工林	当面は、当該地域の基 本的な水源環境の特性 を把握	H24

図-1 県内4箇所の試験流域とモニタリングのねらい

表-3 対照流域モニタリング調査会検討会議 構成員（平成 27 年度）

	氏名	所属 役職	就任
専門委員	石川芳治 (座長)	東京農工大学大学院農学研究院 自然環境保全学部門 教授 【水・土調査】(堂平・大洞沢)	H19～
	白木克繁	東京農工大学大学院農学研究院 自然環境保全学部門 准教授 【水・土調査・小流域水流出モデル】(貝沢ほか)	H19～
	戸田浩人	東京農工大学大学院農学研究院 自然環境保全学部門 教授 【水質等調査】(貝沢・大洞沢)	H19～
	五味高志	東京農工大学大学院農学研究院 国際環境農学部門 准教授 【土砂・土壌流出】(大洞沢)	H21～
	平岡真合乃	東京農工大学大学院農学研究院 国際環境農学部門 研究員 【土砂・土壌流出】(大洞沢)	H23～
	鈴木雅一	東京大学大学院 農学生命科学研究科 教授 【水収支調査】(大洞沢)	H21～
	小田智基	東京大学大学院 農学生命科学研究科 助教 【水収支調査】(大洞沢)	H21～
	江草智弘	東京大学大学院 農学生命科学研究科 研究員 【水収支調査】(大洞沢)	H25～
	堀田紀文	筑波大学大学院 生命環境科学研究科 准教授 【水収支調査】(大洞沢)	H21～
	吉武佐紀子	元湘南短期大学(現神奈川歯科大学) 教授 【付着藻類調査】(大洞沢・貝沢)	H19～
	石綿進一	神奈川工科大学 客員教授 【底生動物調査】(ヌタノ沢ほか)	H19～
オブザーバー(専門)	株式会社地圏環境テクノロジー	【広域水循環モデル】	
オブザーバー(行政)	南足柄市		
	東京神奈川森林管理署		
	水・緑部 自然環境保全課		
	水・緑部 水源環境保全課		
	水・緑部 森林再生課		
	環境科学センター		
	県央地域県政総合センター農政部/水源の森林部		
	県西地域県政総合センター森林部		
事務局	自然環境保全センター研究企画部研究連携課		

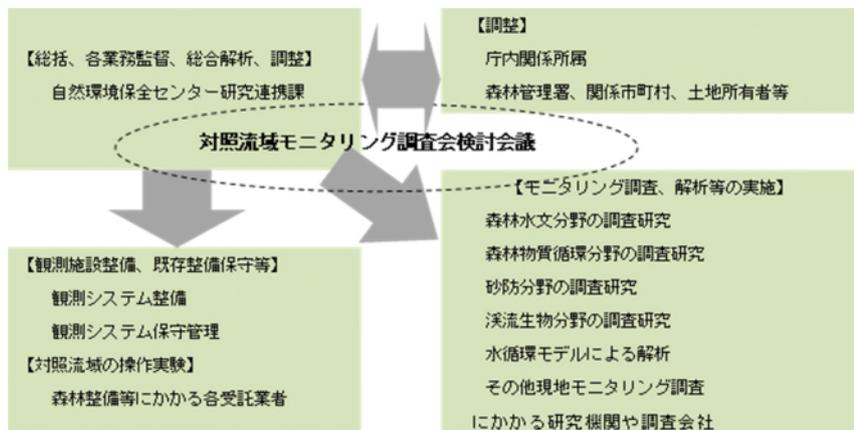


図-2 平成 27 年度実施体制

(2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
 (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
 B. 対照流域法による総合モニタリング

- (1) 課題名 Ba. 観測施設保守・改良
 (2) 研究期間 平成 19～28 年度
 (3) 予算区分 県単（水源特別会計：森林環境調査）
 (4) 担当者 内山佳美・大平充・三橋正敏

(5) 目的

第2期かながわ水源環境保全・再生実行5か年計画に基づいて、対照流域法等による森林のモニタリング調査の基盤データを取得するために、各試験流域の観測施設の維持管理・改良、対照流域試験の操作実験にかかる施設整備を行う。

(6) 方法

各試験流域の観測施設の定期点検や施設の改良・修繕・機器更新、豪雨等の影響により必要になった量水堰の浚渫工事を行った。

表-1 観測施設整備・維持管理業務一覧（平成 27 年度）

箇所	業務内容	工期	受託者
大洞沢	センサーカメラによる植生保護柵内のシカ侵入有無の把握	-	(直営)
	No.1、3、4量水堰の予備水位ロガーの機器更新	-	(直営)
	観測施設の定期点検・保守(全9回)	4/21 ~ 3/25	神奈川県森林組合連合会
	柵内のシカ捕獲	10/5 ~ 12/18	公益社団法人神奈川県猟友会
	No.1～4の濁度センサー、No.1、5の温湿度センサ消耗部品交換	9/3 ~ 11/30	アズビル(株)
	No. 3量水堰の水位センサー交換 ※破損のため	1/7 ~ 3/31	アズビル(株)
	No1量水堰の浚渫工事	12/9 ~ 3/31	(株)落合組
貝沢	No.1～5量水堰の濁度センサー修理 ※雷による故障のため	7/10 ~ 8/31	(株)ウイジン
	量水堰(No.1～4)の浚渫工事	11/27 ~ 3/25	(有)榎本工業
ヌタノ沢	植生保護柵の定期点検とセンサーカメラによる周囲のシカ把握	-	(直営)
	量水堰の予備水位ロガーの機器更新・新規設置	-	(直営)
	観測施設・システムの定期点検・保守(全8回)	4/21 ~ 3/25	(株)ウイジン
	A沢量水堰の浚渫工事	8/5 ~ 8/31	(株)湯川組
フチデリ沢	観測施設・システムの定期点検・保守※	8/6 ~ 3/25	神奈川県森林組合連合会
データ管理	観測・解析データ管理ネットワーク環境整備	6/8 ~ 9/30	(有)ネプス

※委託調査の業務の一環として実施

(7) 結果の概要

① 浚渫工事（大洞沢 No1 量水堰、貝沢 No1～4 量水堰、ヌタノ沢 A 沢量水堰）

いずれの箇所も観測不能となるような完全な満砂とはならなかったため、浚渫工事中を除き観測は継続した。

試験流域	大洞沢		貝沢				ヌタノ沢
	No1	No1	No2	No3	No4	A 沢	
土砂堆積をもたらした降雨	2015. 7. 16-17 (台風11号) 2015. 9. 8-9 (台風18号) 2015. 9. 16-18		特定の降雨でなく 前回浚渫以降少しずつ堆積				2015. 7. 16-17 (台風11号)
浚渫土砂量 (m ³)	92. 4	1. 5	1. 5	1. 5	4. 5	5. 9	
実施日	2016. 3. 18-28		2016. 1. 25-30			2015. 8. 26-28	



写真1 量水堰の土砂堆積、浚渫の状況（大洞沢） 左：H27.7.8 中：H27.10.5 右：H28.3.28



写真2 量水堰の土砂浚渫の状況（貝沢 No4 量水堰） 左：H27.9.15 右：H28.2.3



写真3 量水堰の土砂堆積、浚渫の状況（ヌタノ沢A沢）左：H27.7.15 中：H27.7.21 右：H27.9.16

②各種センサ交換

○濁度センサ交換（大洞沢 No. 1～4 量水堰）

交換日：平成 27 年 10 月 28 日

交換後型式等：オペテックス TC-3000（H23 備品調達） ※交換前と同じ

交換理由：老朽化のため（メーカーによる修理・調整可能年限を越えていたため）

設置位置・備品番号対応：

No1 堰：164411301014 No2 堰：16441130101 No3 堰：16441130102 No4 堰：16441130103

○温湿度センサ消耗品交換（大洞沢 No. 1、5）

交換日：平成 27 年 10 月 23 日

型式等：通風型温湿度センサ 山武 HT-20 消耗品（通風ファンと温湿度検出部）交換

交換理由：老朽化による精度の低下のため

○水位センサ交換（大洞沢 No. 3 量水堰）

交換日：平成 28 年 3 月 31 日

交換後型式：水圧式水位センサ（電圧出力）CSTS-ATM/N-V ※交換前と同じ

交換理由：故障のため（平成 27 年 10 月 2 日の漏電ブレーカ作動・復旧以降、出力なし）

※10 月 2 日の漏電ブレーカの作動は、雷の影響と推定される。

○濁度センサ修理（貝沢 No. 1～5 量水堰）

交換日：平成 27 年 7 月 21～22 日

修理品：オプテックス TC-500 5 台 修理・再設置

交換理由：故障のため（流域内の水部の落雷による影響の可能性）

③柵内のシカ捕獲

平成 27 年度春季より、大洞沢 N03 流域の植生保護柵内にシカが侵入し、センサーカメラでも高い頻度で撮影されていることから、植生保護柵の補強をある程度進めたうえで、神奈川県猟友会により植生保護柵内のシカ試験捕獲を行った。

平成 27 年 10 月 26 日午後に射手 3 名、勢子 1 名、猟犬 3 頭で実施したところ、柵内をほぼくまなく回ったがシカの生存は確認できず、また、猟犬も柵外にでることも無かったことから柵も正常に機能していると思慮された。センサーカメラによる柵内のシカ撮影記録では、9 月 19 日が最後であり、柵内では新しい痕跡もなかった。

④植生保護柵点検とセンサーカメラによる植生保護柵内のシカ侵入監視（大洞沢、ヌタノ沢）

大洞沢については、委託（神奈川県森林組合）により月 1 回程度と直営により 1～2 月に 1 回程度点検や簡易な補強を行った。春季よりシカの侵入が確認されたことから、柵内や柵沿線のセンサーカメラ設置数を夏季に計 10 台、冬季には計 20 台程度に増やして対応した。

ヌタノ沢については、月 1 回の定期観測において柵の点検とセンサーカメラによる撮影状況の確認を行った。

(8) 今後の課題

・量水堰の土砂の堆積や施設の破損等によって欠測になった場合は、迅速な対応を行い欠測期間を最小限にする必要がある。

・日頃から観測の精度を維持するために、定期点検を行い、異常等の早期発見、早期対応を行う必要がある。また、大きな施設破損につながる前に、日頃からきめ細かく予防的な措置を行う必要がある。

・大洞沢とヌタノ沢の植生保護柵については、定期点検を継続し、補修や補強をこまめに行う必要がある。また、これまで冬季から春季にかけてシカが侵入することが多いため、季節に応じた対応を行う必要がある。

(9) 成果の発表

内山佳美・山根正伸（2013）対照流域法によるモニタリング調査のための観測システムの整備，神奈川県自然環境保全センター報告、10：13-21

- (2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
 (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
 B. 対照流域法による総合モニタリング

- (1) 課題名 Bb. 大洞沢モニタリング調査
 (2) 研究期間 平成 19～28 年度
 (3) 予算区分 県単（水源特別会計：森林環境調査）
 (4) 担当者 内山佳美

(5) 目的

かながわ水源環境保全・再生実行 5 か年計画に基づく本研究課題は、森林整備などの事業効果を検証するための時系列データの取得を目的とし、各試験流域において対照流域法により総合的なモニタリング調査を行う。大洞沢では、約 3 年間の事前モニタリングの後に、平成 23 年度後半に実施流域において植生保護柵を設置した。平成 24 年度以降は事後モニタリングを行い、植生保護柵の設置（シカの保護管理）効果を流域スケールで検証する。

(6) 方法

森林整備やシカ管理等による事業効果の検証にあたり、愛甲郡清川村煤ヶ谷地内（大洞沢）において、流域からの水流出、水質形成機構、土砂流出動態に関するモニタリングを継続して実施した。本研究は、東京大学（以下項目の①）及び東京農工大学（同②）への受託研究により実施した。（詳細は、各受託研究報告書参照）

また、平成 25 年から 26 年にかけて実施した流域 No. 3 の河道周辺の三次元地形計測の補完計測を行った。本調査は、サンコーコンサルタント（株）が受託して実施した。（詳細は、委託報告書参照）

① 水収支・流出特性、水質形成機構

大洞沢流域内の No1 (48ha)、No3 (7ha)、No4 (5ha) の 3 流域を対象とし、水文観測（降水量、流出量）を行った。得られた降水量・流出量から年間の水収支を求め、年損失量を算出した。次に、洪水流出時の直接流出量・ピーク流出量を求め、洪水流出後の流出逓減速度を求めた。得られた結果より植生保護柵設置前後の流出特性の変化について検討した。

降水量の観測は、口径 20cm、降水量 0.5mm で 1 転倒する転倒升式雨量計による自記記録と、口径 20cm の貯留式雨量計を併用することにより観測を行った。

流出量観測は、大洞沢流域の 48ha、7 ha、5 ha 流域の末端の No1、No3、No4 地点に設置された量水堰にて行った。水位は、水圧式水位計を用いて自動的に計測し、水位流量関係式を用いて流量データに変換した。

洪水流出特性の指標として、直接流出量とピーク流出量を用い、流出逓減の指標として、モデル式から流出逓減係数を用いた。流量が減少する際の傾きの変曲点は、片対数グラフ上で目視で決定した。流出逓減解析では、 $Q_t = Q_0(1 + a_2 t)^{-2}$ のモデル式を変曲点から 10mm 降雨が降るまでの流量データに対してフィッティングさせ、流出逓減係数 a_2 を求めた。

降雨・渓流水の水質サンプルは、それぞれ降水量・流量の観測地点において観測ごとに採水した。観測は 2 週間～一月に一度の頻度で定期的に行い、また自動採水器を用いて、洪水流出時の No3、4 流域の渓流水を 1-2 時間おきに採水した。採取してきたサンプルは、イオンクロマトグラフィーにより分析し、NO3⁻、NH4⁺、Cl⁻、SO4²⁻、Na⁺、K⁺、Ca²⁺、Mg²⁺の濃度を測定した。

② 土砂流出動態

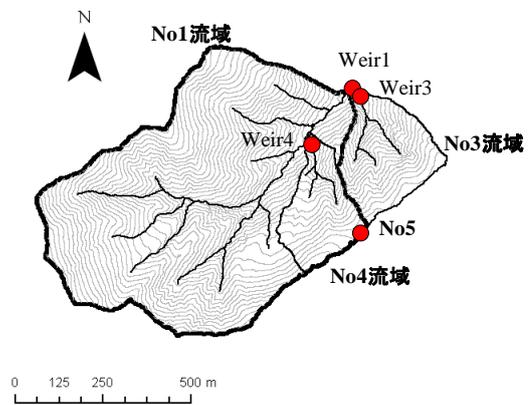


図-1 大洞沢流域 観測地点

a. 流域の土砂流出の観測（継続）

対象とする2箇所の試験流域における流出土砂量を把握するために、流域末端部の量水堰において、濁度の経時変化の観測を行い、台風などの大規模降雨時には、自動採水器による渓流水のサンプリングを行って浮遊土砂濃度を測定した。また、大規模降雨後に、量水堰の沈砂池内に顕著な土砂堆積が見られる場合には、横断測量によって堆積土砂量を計測し、流域からの流出土砂量を把握した。

b. 斜面の土砂生産の観測（継続）

2箇所の試験流域の斜面における土砂生産量を把握するために、斜面末端部に2箇所ずつ設置されている土砂捕捉プロットにおいて、土砂およびリター流出の観測を行った。一定期間ごとにサンプル回収を行い、捕捉土砂およびリターの乾重量を計測するとともに、土砂については粒径分布も計測した。

c. 斜面内の土砂移動過程の把握

試験流域の斜面における土砂の移動過程を推定するために、土壌が安定している場、不安定な場における、土壌中に含まれる放射性セシウム（Cs-134とCs-137）の存在比によって、斜面の土壌侵食量を推定する。また、土砂移動にともなう栄養塩類の流出についても検討する。

d. 流路および流路周辺の地形変化評価手法の確立

デジタルカメラを用いた低高度の山地流路撮影により高精度の流路地形モデルを作成し流路地形を計測する方法を確立した。さらに3Dオブジェクト解析により10cmの高精度で流路微地形を判読することができた。

③ 三次元河道地形計測の補完計測

河道地形の時系列変遷を詳細に把握する試みの一環として、平成25～26年度に大洞沢N03流域の河道を対象に三次元計測を行ったが、この任意座標による地形計測データを既存の航空レーザ測量のデータを関連付けることを目的にGNSS測量を行った。

(7) 結果の概要

① 水収支・流出特性、水質形成機構

個々の調査項目の調査結果を取りまとめたうえで、特に次の3つのテーマについて取りまとめた。

・森林整備が栄養塩流出過程に及ぼす影響の検討

降雨・渓流水のN03-濃度と流域のN収支から、植生保護柵設置が流域のN03-流出過程に及ぼす影響について検討した。生物吸収を受けないC1-を用いて基準化した渓流水のN03-/C1-比は、全ての流域で2012年から継続した減少傾向にあった。2014年まではN03-/C1-比に3流域で大きな差は見られなかったが、2015年はNo1、4流域のN03-/C1-比に対して、夏季を除いてNo3流域の値が小さく、植生保護柵設置により渓流水のN03-濃度が減少している可能性が示された。

・大洞沢流域の地下水移動特性

2010-14年の降水量・流量データに対して短期水収支法を用い、大洞沢流域の一年よりも短い時間スケールにおける地下水移動特性について調査した。No3流域では流域外への地下水流出が起っており、No4流域では逆に流域外からの流入が起っていた。両流域では、ともに夏季に地下水移動量が多く、冬季に少なくなる傾向が見られた。日最大移動量は、No3流域では5mm/day、No4流域では10mm/day前後である。両流域ともに、期間地下水移動量はその期間の降水量・流量と良い線形の相関関係を示しており、基本的に降水量に応じて地下水移動量が決定されることが明らかになった。

・大洞沢流域の水文特性の空間代表性に関する検討

渓流水の流量・水質の多点観測を行い、空間分布について調査した。流量・水質と集水面積との関係から、数km²程度の集水面積まで流量・水質のばらつきが大きいことが明らかになった。従って、大洞沢流域は最も大きいNo1流域(0.49km²)でも流量・水質の空間的なばらつきの大きい面積範囲にある。しかし一方で、No1、3流域の水質は、観測が行われた最下流点(32km²地点)の±10%の範囲付近に概ね収まり、周囲の流域の代表的(平均的)な傾向を持つことが明らかになった。

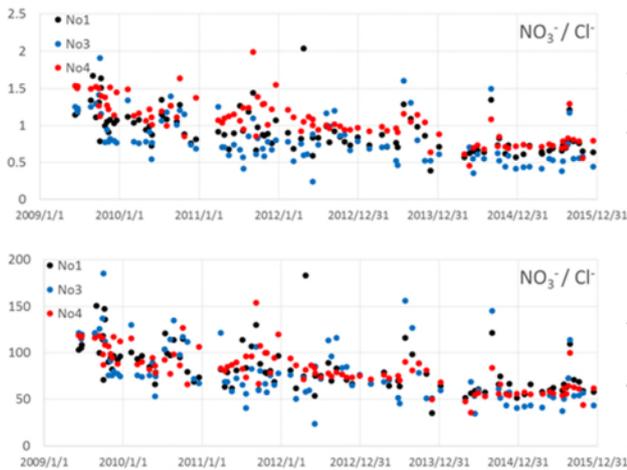


図-2 : NO₃⁻ / Cl⁻比とその割合の時系列変化

表-1 年窒素収支の時系列変化

NO ₃ ⁻ -N+NH ₄ ⁺ -N(kg/ha)	流入		流出		
	林外雨	林内雨, 樹幹流	No1	No3	No4
2010	11.1	12.7	13.1	9.2	22.6
2011	1.9	6.3	14.6	8.6	26.6
2012	10.0	7.7	11.5	8.5	20.9
2013	37.0	22.9	11.0	8.2	17.0
2014	15.0	na	10.2	6.0	14.0
2015	11.0	na	9.4	4.9	12.6
平均	14.3	12.4	11.6	7.6	18.9
標準偏差	11.9	7.5	1.9	1.7	5.4

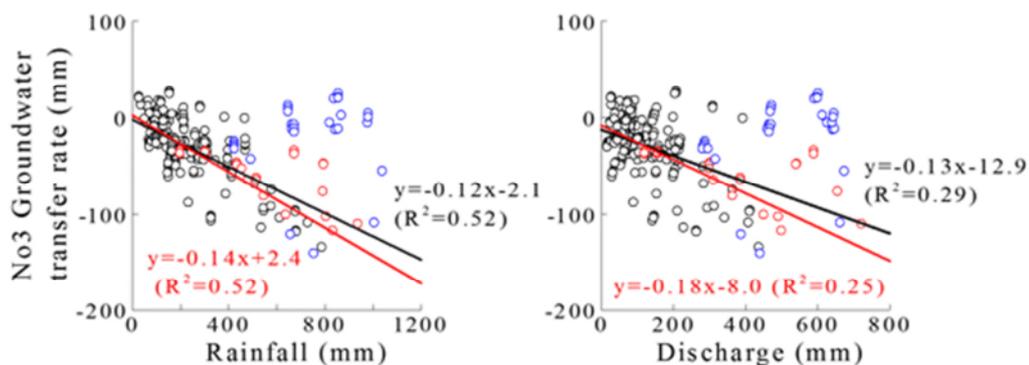


図-3 No3 流域の期間地下水移動量と期間降水量・期間流量の関係

青：最大日降水量 200mm 以上；赤 150-200mm；黒 150mm 未満

赤線，赤字：黒・赤点に対して引いた回帰線と回帰式

黒線，黒字：黒点の回帰線と回帰式

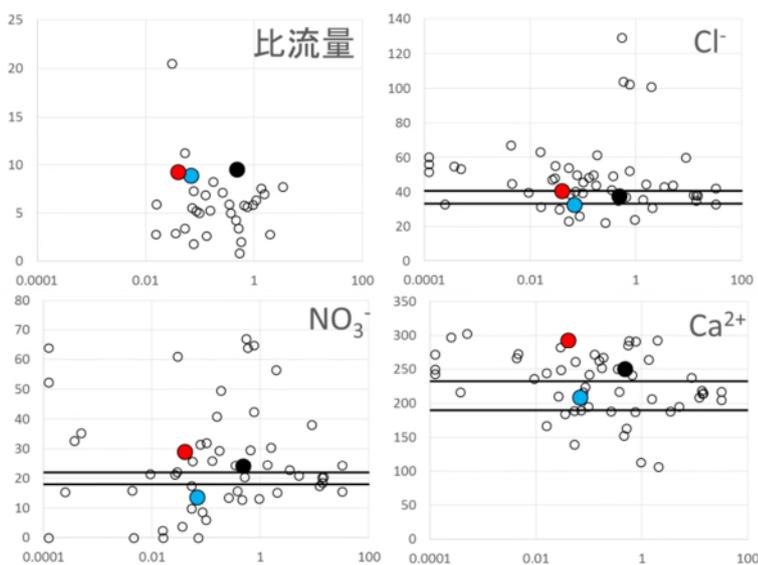


図-4 2015/4/21-23 渓流水流量・水質と集水面積の関係

それぞれの単位は集水面積 (km²)、比流量 (mm/day)、溶存物質濃度 (□mol/l)

黒、青、赤点はそれぞれ大洞沢 No1, 3, 4 流域を表す

2本の線は、最下流の観測値の±10% (2回観測しているため平均値を利用)

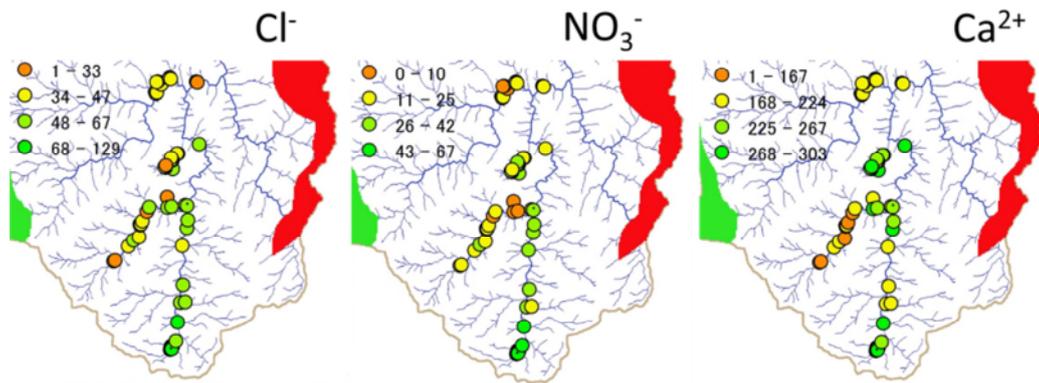


図-5 2015/4/21-23 渓流水質の空間分布 (単位は mol/l)

② 土砂流出動態

・流域スケールの林床植生の空間分布

植生調査結果から、植生保護柵設置後の下層植生の現存量は増加していた。斜面脚部や崩壊跡地では、植生回復している箇所もあるが、土砂生産減となる裸地斜面においては顕著な植生回復は見られないことから、継続的な土壌生産源となっていると考えられた。

・斜面からの土砂生産量

4年間の斜面プロット観測結果から、流域 No. 3 と流域 No. 4 の斜面からは年間を通して土砂が生産されていることが明らかとなった。土砂が生産される時期は必ずしも降雨の多い時期とは限らないことが示され、初春から初夏にかけて多くなる場合もあったことから、融雪が土砂生産に影響を与えている可能性も考えられた。生産される土砂のうち、2 mm 以下の粒径の土砂は総降雨量や最大日雨量が増大すると増加する傾向が見られた。このことから、降雨に起因する土砂生産現象は、比較的細かい粒径の土砂に限って生じると考えられ、斜面の土砂生産過程を考える上では、粒径別に現象のメカニズムを理解する必要があると考えられた。

・流路および流路周辺の地形変化評価手法の確立

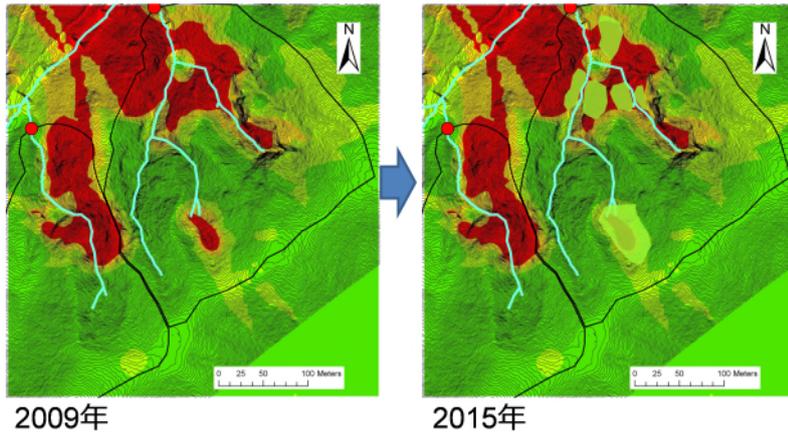
デジタルカメラを用いた低高度の山地流路撮影から、高精度の流路地形モデルを作成し流路地形を計測する方法を確立し、降雨出水に伴う流路微地形変化を計測することができた。本手法は、一回の現地調査時間が短く、一般的なカメラを用いたことで、汎用性が高く、高頻度で計測が可能であり、出水前後の地形変化と土砂移動特性を把握できることを確認した。また、3D レーザースキャナを用いた地形計測で得られた点群画像には植生によるノイズが非常に多く含まれるものの、断面図を作成して重ねあわせることができれば、ノイズの影響を無視できると考えられた。さらに、対象区間において等間隔の断面図が作成できれば、地表面モデルを作成できる可能性が考えられた。

・山地溪流における地形変化と底生生物群集組成

山地溪流の地形変化による底生動物群集の変化と生息環境の関係を明らかにすることを目的とし、神奈川県の大洞沢流域の 15m 流路区間を対象とし、Riffle、Pool、Step の地形要素について、出水前後の底生動物群集の変化および出水後の底生動物群集の時系列推移の評価を行った。その結果、山地溪流に特徴的な階段状地形 (Step 地形) が、溪流生物の生物多様性やバイオマス上重要であり、流路区間全体の多様性やレジリエンスを評価するうえで重要だと考えられた。

・流域からの掃流砂、浮遊砂の流出量の観測

操作流域 (流域 No. 3) および対照流域 (流域 No. 4) の流出土砂の時系列変化を把握した。連続観測から、土砂流出特性が流域ごとに異なることを明らかにした。2012 年 3 月の植生保護柵設置後の操作流域における土砂流出には明瞭な変化はみられない。ただし、長期的な観測結果から、本研究調査地における土砂流出には、降雨量の大小にかかわらず、流出するとき流出しないときの明瞭な違いがあり、斜面から土砂生産量の大小が流出の有無に影響を及ぼしていることが予想された。今後、操作流域、対照流域ともに今後も観測を継続する必要がある。



2009年 2015年
図-6 流域 N03 の植生被覆状態の変化 (2009-2015)

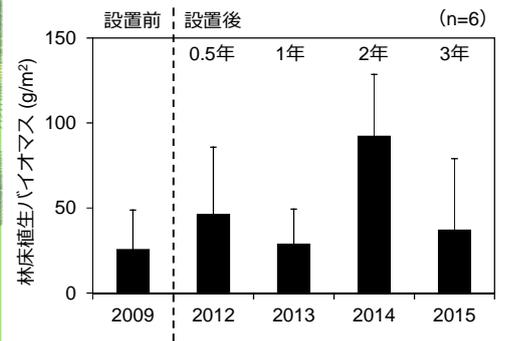


図-7 植生保護柵設置前後の現存量変化 (No3 流域内固定プロット)

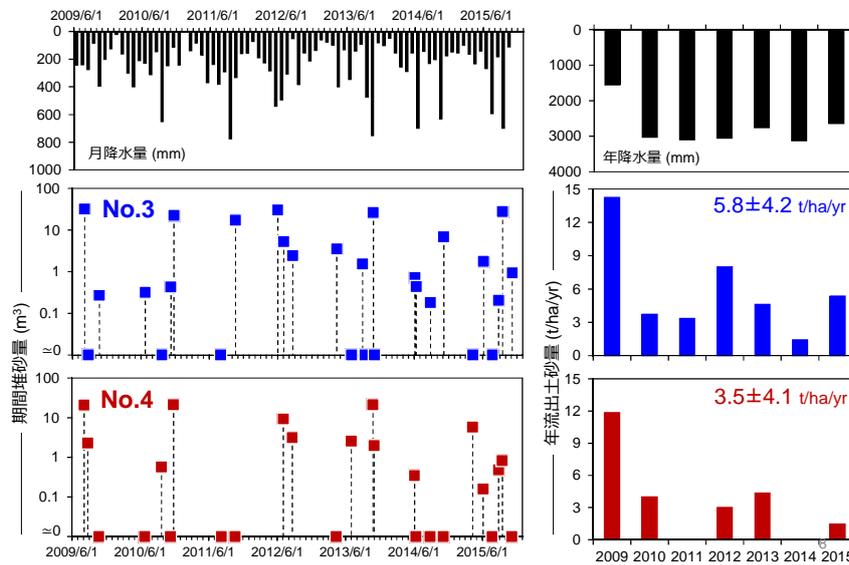


図-8 N03 および N04 量水堰の期間堆砂量及び年堆砂量と年・月降水量の推移

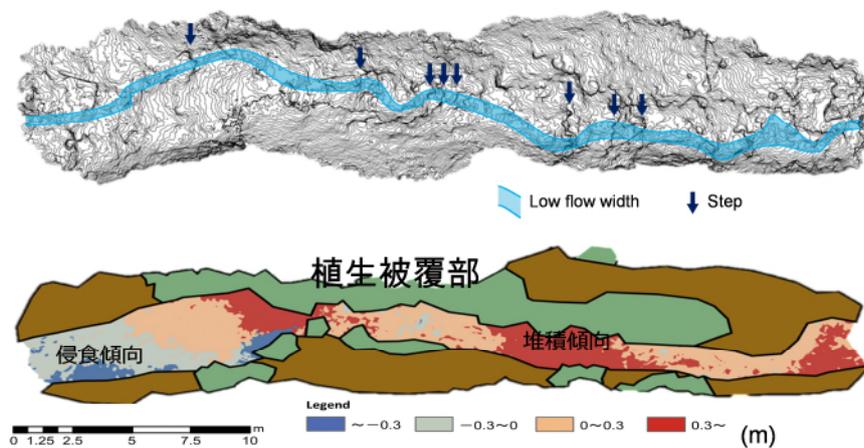


図-9 低高度の山地流路撮影による地形計測結果 (上図: 5cm 等高線地形図) と 出水前後の地形計測結果を用いた流路内の侵食・堆積評価 (下図)

③三次元河道地形計測の補完計測

河道地形計測データの複数時点の比較や航空レーザ測量データとの比較を行うために、データ容量が小さくなるよう 10cmDEM を作成したところ、精度よく比較することができた。

(8) 今後の課題

- ・植生保護柵の設置による柵内の植生の変化を継続してモニタリングするとともに、水流出、水質、土砂流出の変化についても継続して検証する必要がある。
- ・現時点では植生保護柵設置による流量・水質の明瞭な変化はデータでは確認できなかったが、植生保護柵設置から柵内の下層植生の回復までにタイムラグが生じることから、下層植生の回復状況のデータとあわせて今後も同様の手法で水流出や土砂流出データを蓄積し、中長期的に影響を評価していく必要がある。
- ・大洞沢における柵内の下層植生の回復と土壌侵食さらに下流への土砂流出の関係を検証するとともに、宮ヶ瀬ダム上流域を視野に入れ広域の事業検証も検討していく必要がある。

(9) 成果の発表

平岡 真合乃ほか (2013) インターバルカメラを用いた連続観測による山地斜面の林床被覆の経時変化の把握、砂防学会誌, Vol. 66, No. 1

Marino Hiraoka, Takashi Gomi, Shigeru Mizugaki, Tomoki Oda, Shusuke Miyata, Yoshimi Uchiyama
Hydrogeomorphic Processes and Sediment Yields in Headwater Catchments based on Field Observation International symposium on sediment disasters under the influence of climate change and tectonic activity (3rd)

Marino Hiraoka, Takashi Gomi, Tomoki Oda, Tomohiro Egusa, Yoshimi Uchiyama (2015) Responses of bed loaded yields from a forested headwater catchment in the eastern Tanzawa Mountains, Japan, Hydrological Research Letters 9(3), 41-46(2015)

(2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
 (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
 B. 対照流域法による総合モニタリング

- (1) 課題名 Bc. 貝沢モニタリング調査
 (2) 研究期間 平成 19～28 年度
 (3) 予算区分 県単（水源特別会計：森林環境調査）
 (4) 担当者 内山佳美

(5) 目的

かながわ水源環境保全・再生実行5か年計画に基づく本研究課題は、森林整備などの事業効果を検証するための時系列データの取得を目的とし、各試験流域において対照流域法により総合的なモニタリング調査を行う。貝沢では、約3年間の事前モニタリングの後、平成24年度後半に実施流域において森林施業を行った。森林施業の前後を通して流域スケールのモニタリング調査を継続することにより森林施業の効果や影響を把握する。

(6) 方法

森林整備等による事業効果の検証のため、相模原市緑区与瀬地内（貝沢）において、流域からの水流出、土砂流出や物質循環に関する以下の項目について調査を継続した。本研究は、東京農工大学への受託研究により実施した。（詳細は、委託作業報告書参照）

①水流出モニタリング

既設の観測システムによる気象・水文観測を継続し、降水量、流出量のデータを精査するとともに、平成24年の流域1における森林施業の前後での水流出や土砂流出（濁度）の変化を検証するための解析を行った。また、水収支の検証の一環として林内雨量や樹幹流量の測定を追加して行い、樹冠遮断量の精査を行った。

②物質循環機構

貝沢における森林施業と流域内の物質循環（主に窒素）の関係を把握するための各種モニタリングを継続した。調査項目は、リタートラップ等による上方・側方からの有機物採取、溪流内の堆積有機物の採取・分析、群状伐採地と間伐区、対照区等の地温測定、表層土壌の純窒素無機化・硝化量、土壌中の無機態窒素浸透移動、溪流水質測定等である。

平成27年度は特に斜面方位での違いを考慮し、同一斜面方位での針葉樹人工林への広葉樹混入による森林土壌の窒素動態への影響、および群状伐採が土壌の窒素動態に与える影響を把握し、通常の間伐施業地との窒素動態の比較を行った。

追加測定項目は、広葉樹率（ここではA0層の内、L層を占める広葉樹リターの重量割合）、微生物バイオマスN、植生バイオマスN等である。

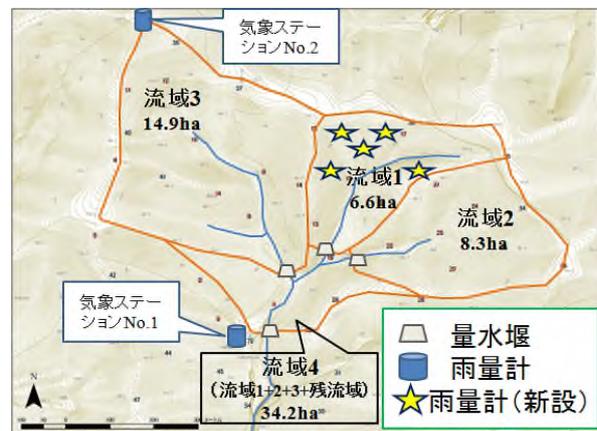


図-1 貝沢（流域1～4）



図-2 流域1の群状伐採か所と物質循環機構の測定地点（継続）

(7) 結果の概要

主な結果は以下のとおりである。(詳細は、受託研究報告書参照)

① 水流出モニタリング

- ・ 森林施業前と施業後の流出量の変化

観測開始以降これまで得られた水文観測データについて、一部実測による流域面積精査、センサー水深と量水堰実測水位の換算係数精査等により H23. 5. 1 以降の確定版データセットを整備した。確定版データセットにより森林施業前後の年間の流出量の増加量を改めて算出した。これまでの算出結果と大きく変わらず、年間降水量約 1800mm に対して今回の森林施業による流出量の増加分は約 100mm 程度であった。さらに、降雨ごとの直接流出量を算出し、森林施業前期間と施業後期間で比較したところ、ほとんど変化はない、もしくは直接流出量が 100mm 超えるような豪雨の場合に施業後の直接流出量が若干大きい傾向であった。このため、前述した施業による年間流出量の増加分は、基底流出が大部分を占めると考えられた。

- ・ 森林施業前と施業後の浮遊土砂流出量の変化

濁度データに流量を乗じて算出したみなし浮遊土砂量を土砂流出指標 (度 m^3) として比較したところ、施業の前後における土砂流出の変化はみられなかった。

- ・ 樹冠遮断量の解析結果

試験流域内の立木密度の高いプロットと低いプロットで樹冠遮断量を実測した。立木密度と樹冠遮断率の関係を回帰し、得られた関係を間伐前後の流域全体の立木密度に適用することで間伐前後の樹冠遮断量の変化を求め流域の水収支と比較した。その結果、年間降水量 1840mm に対して間伐前 (858 本/ha) と間伐後 (714 本/ha) における水収支内訳の変化は、年間流出量 113mm 増加に対し、蒸散量の減少量が年間 94mm、樹冠遮断量の減少量が年間 19mm と推定された。このように間伐による損失量変化における樹冠遮断量と蒸散量を分離することができたが、より詳細には、群状伐採地における林床面蒸発についても現地で測定して立木密度 0 本/ha の箇所の林床面蒸発も考慮する必要がある。

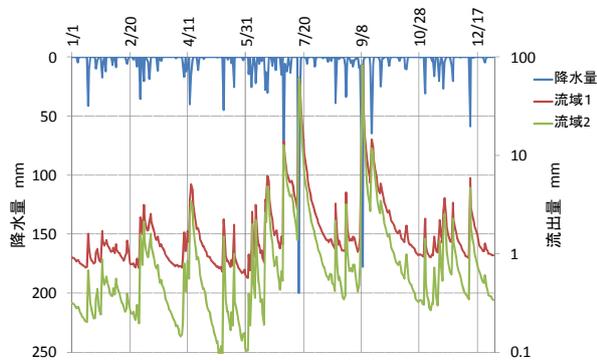


図-3 ハイドログラフ (2015)

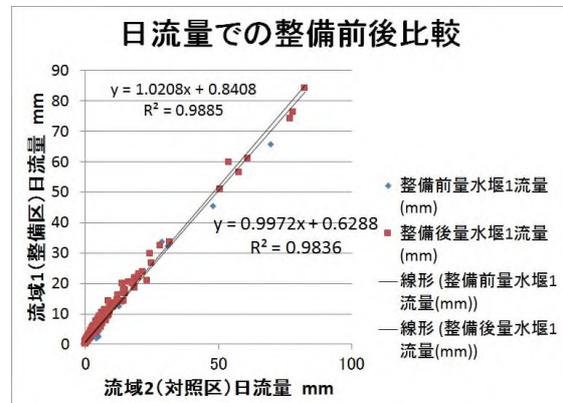


図-4 森林施業前と施業後における流域 1 と流域 2 の日流量の比較

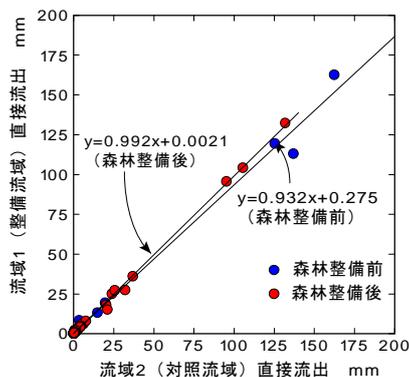


図-5 同一の降雨による流域 1 と流域 2 の直接流出量の比較

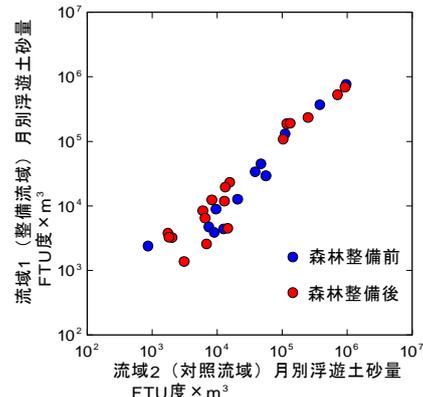


図-6 森林整備後の土砂流出指標の比較

②物質循環機構

広葉樹リターの混入したM区2か所 (SE、SW)、群状伐採区 (G区) 4か所 (NWg、Sg、SSEg、SEg)、通常間伐区 (T区) 6か所 (NW、SSW、S1、S2、SE1、SE2) について、斜面方位との関係を踏まえて解析した。

・地温、体積含水率、全N量、全C量、微生物バイオマスN

地温の傾向は、広葉樹林 > 針葉樹林、SW > SE、G区 > T区及びG区・T区の10cm深で北西 > 南東であり、林床に直達する太陽光の多寡が影響していると考えられた。体積含水率が、北西斜面以外でG区 < T区であったことも地温が関係していると考えられた。

全N量、全C量および微生物バイオマスNに関して、M区では広葉樹率の増加に伴って、G区・T区では北西から南東斜面にかけて減少する傾向にあり、地温の上昇によって、さらにM区では落葉の分解性の上昇も加わり、有機物の分解が早いと考えられた。

期間合計の窒素無機化量に関しては、全調査区において地温が大きく影響している結果となったが、一方でNO₃-N生成量に関しては全N量も影響していることが示唆された。また、全N量、SEの各現存量は体積含水率との間に正の相関が見られたことから、NO₃-N生成量には水分も大きく影響していると言える。G区、T区では斜面方位や施業による地温・水分の変化で土壌中の全N量が変わり、窒素無機化量に影響を及ぼしていることが、M区では地温および広葉樹林化による土壌中の全N量の変化が窒素無機化量に影響を及ぼしていることが示唆された。窒素無機化量には季節変動があるが、本研究では6月-10月の期間で実施し、特に変化が想定される春季の動向を把握できていないため、今後は年間を通しての変動を見ていく必要がある。

・A0層から土壌への無機態窒素侵入量 (input) と土壌からの流出量 (output) を「output-input」として表層土壌 (0~10 cm) の無機態窒素生成量との関係をみたところ、NH₄-Nでは斜面方位、施業形態および年経過に関わらず土壌での消費量の方が多くなり、流出量は抑制されていることがわかった。一方、NO₃-Nでは斜面方位、施業形態および年経過で違いが見られた。同一斜面方位で比較したM区では、SW、SEともに広葉樹率の増加に伴い硝化が抑制されており、NO₃-Nの土壌10cm以深への浸出が抑制されていた。このことから、広葉樹林化によりNO₃-Nの溪流への流出抑制の向上が期待されるといえる。G区・T区では同一斜面方位で見ると、伐採後2年目ではG区 > T区であったが、3年目ではG区 < T区となったことから、G区では植生による吸収が関係していることが示唆された。よって、群状伐採地では植生による影響も考慮に入れる必要があると言える。また、年変動も見られたことから、output-inputを考える際は、何年か継続して見ていくことが重要であると考えられる。

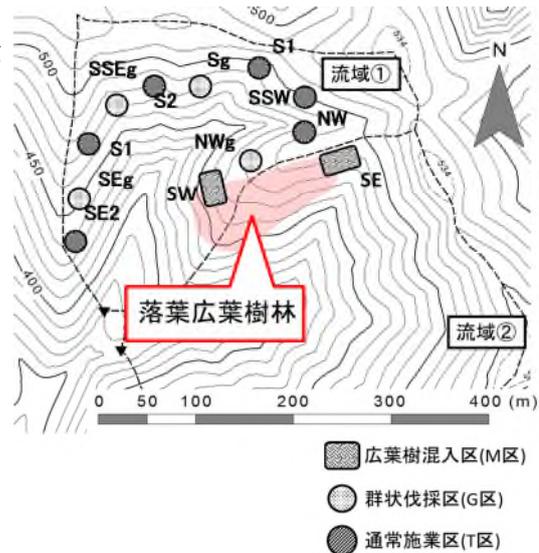


図-7 調査プロットと斜面方位

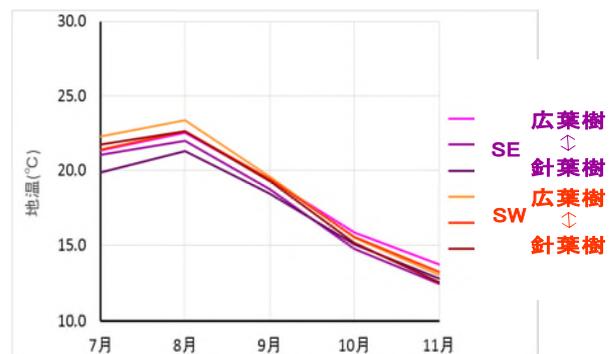
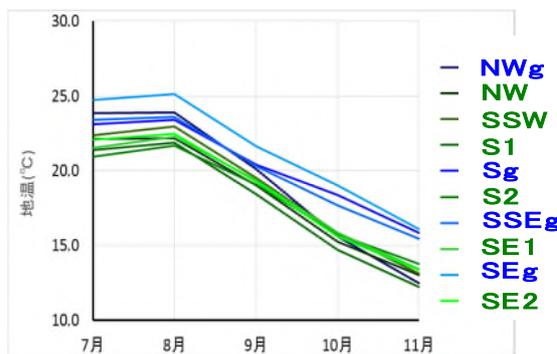


図-8 5 cm 深さの月平均地温 (°C)

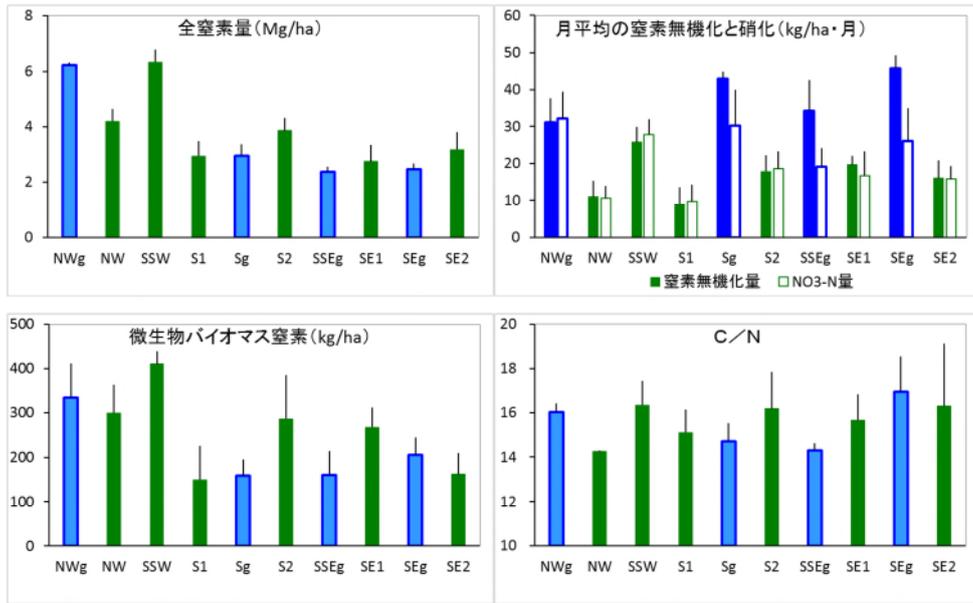


図-9 斜面方位別の窒素動態特性

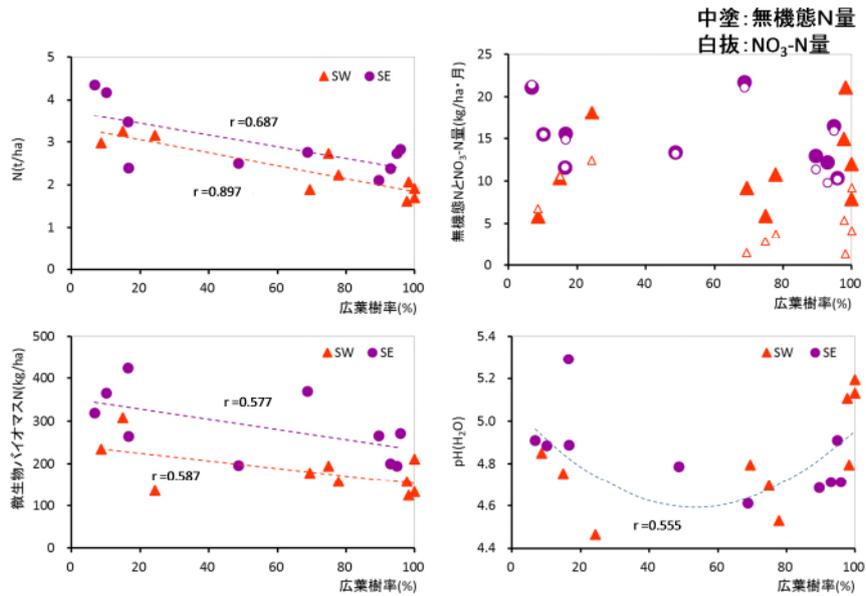


図-10 広葉樹混交率と窒素動態特性

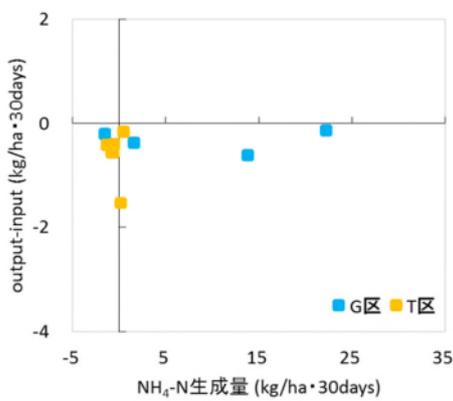


図-11 G区・T区のNH4-N生成量とoutput - input

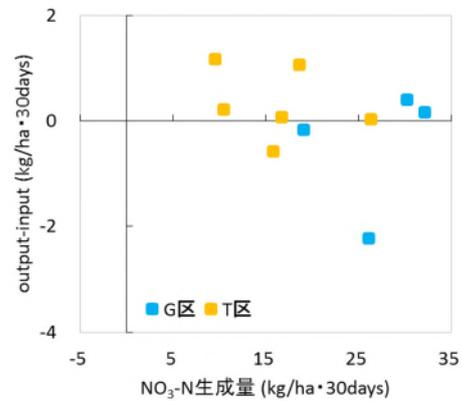


図-12 G区・T区のNO3-N生成量とoutput - input

(8) 今後の課題

- ・平成 24 年度の整備による影響・効果について、特に施業方法や広葉樹混入を考慮した森林土壌の窒素動態に関しては、夏季から秋季の調査のみであるため、少なくとも通年の調査を行い検証する必要がある。
- ・今後も試験流域内では水源の森林づくり事業の目標林型に向けて繰り返し森林整備が行われていくことから、それに合わせてモニタリングも継続していき、定期的に整備が行われることや目標林型への誘導について有効性を検証していく必要がある。
- ・基本的なモニタリングを継続しながら、当該地域の水流出機構や水質形成機構について明らかにし、当該地域の水源林整備に反映させる必要がある。

(9) 成果の発表

- 金澤悠花ほか（2014）群状伐採施業が流域の水収支・流出特性・土砂流出に与える影響、第 125 回日本森林学会大会
- 白木克繁ほか（2013）貝沢試験流域における隣接する三流域の降雨流出特性と浮遊土砂動態、神奈川県自然環境保全センター報告、10：81-89
- 辻千智ほか（2013）神奈川県の貝沢試験流域における窒素動態特性、神奈川県自然環境保全センター報告、10：91-99

(2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
 (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
 B. 対照流域法による総合モニタリング

- (1) 課題名 **Bd. ヌタノ沢モニタリング調査**
 (2) 研究期間 **平成 19～28 年度**
 (3) 予算区分 **県単（水源特別会計：森林環境調査）**
 (4) 担当者 **内山佳美・横山尚秀・大平充・三橋正敏・丸山範明・島田武憲**

(5) 目的

かながわ水源環境保全・再生実行 5 か年計画に基づく本研究課題は、森林整備などの事業効果を検証するための時系列データの取得を目的とし、対照流域法等の手法を用いてモニタリング調査を行う。ヌタノ沢試験流域においては、平成 26 年 4 月に A 沢全体を囲む植生保護柵が完成し、以降は対策を実施していない B 沢を対照区として A 沢における下層植生回復と水や土砂の流出の変化を検証するため各種測定を行う。

(6) 方法

既存の観測システムによる水文観測などモニタリング調査を継続した。次の業務のうち②については、日本ミクニヤ（株）、③はサンコーコンサルタント、④の分析については、（株）同位体研究所が受託して実施した。

①気象・水文観測

既存の観測システムによる常時観測（気象 1 地点、水文 2 地点）を継続した。加えて、A 沢の量水堰の上流と下流の計 2 地点にロガー式水位計、A 沢および B 沢の各量水堰の湛水部に EC メータを設置し、常時観測と同様に 10 分間隔でデータを取得した。さらに、洪水時の水質や浮遊土砂量を把握するために、A 沢と B 沢の各量水堰に自動採水器を設置し、出水時の河川水を採取し水質分析、浮遊土砂量分析を行った。

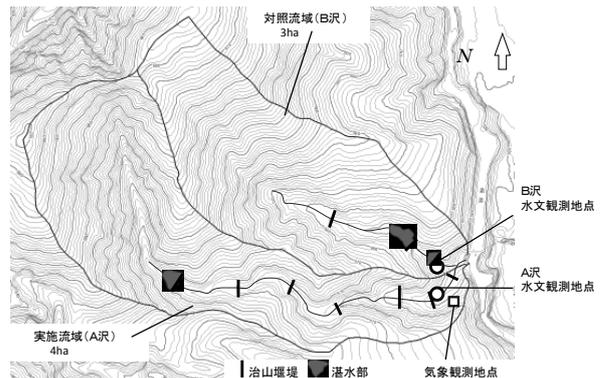


図-1 ヌタノ沢試験流域

②既存立木プロット等における植生被覆等調査

既存の 11 箇所の立木プロット（10×10m）における光環境調査、現存量調査、林床合計被覆率測定と、試験流域全域を対象とした植生等被覆分布調査を実施した。

③¹³⁷Cs 濃度を指標とした土壌侵食量評価のための追加土壌試料採取

流域内の土壌試料採取 33 試料（ライン A～C、各ライン上に 5 地点。積算浮遊土砂サンプラー 3 箇所、浮遊土砂を回収）、採取試料の調整 38 試料（A 沢量水堰の堆積土砂 5 試料を含む）を実施した。

④表層土壌サンプルのセシウム濃度分析

追加採取した試験流域内の土壌サンプルについて、セシウム ¹³⁴Cs・¹³⁷Cs、²¹⁰Pb・²¹⁴Pb の濃度分析を行った。

(7) 結果

① 水文観測結果

2015 年 1～12 月は、降水量 2583.5mm であり、少雨だった 2013、2014 年をはさんで 2012 年と同程度の降水量となった。年間流出量は A 沢が 852.2mm、B 沢が 1672.2mm であり、年ごとの流況をみると A 沢は降水量の多寡によって変動し不安定であるが、B 沢は比較的安定している。水収支については、年による降水量の多寡はあるものの流域ごとに概ね一定の傾向がみられた。すなわち、A 沢は年降水量のうち 2～3 割が流出し 7～8 割が損失水量（蒸発散量、深部浸透量など）となり、

B沢は年降水量のうち6～7割が流出して3～4割が損失水量となる。加えて、A沢B沢ともに年間の直接流出量は年降水量の1割前後と同程度であった。

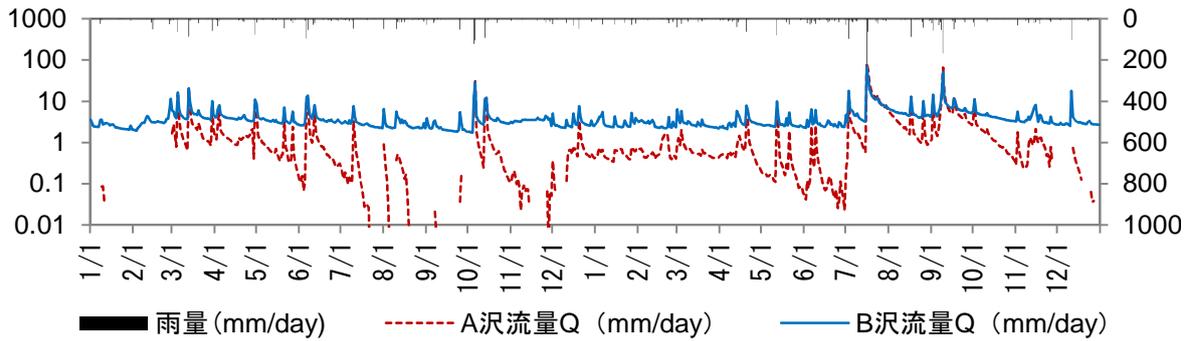


図-2 ヌタノ沢のハイドログラフ (2014.1~12)

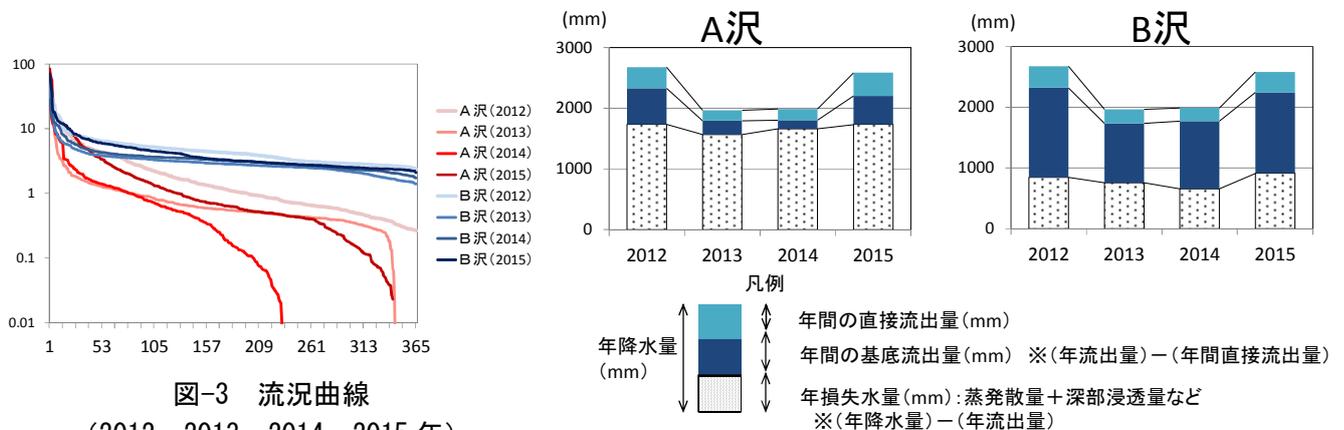


図-3 流況曲線
(2012・2013・2014・2015年)

図-4 水収支 (2012~2015年)

②直接流出量の経年変化

流域内の下層植生の回復によって降雨に伴う直接流出量の減少が予想されることから、A沢における植生保護柵設置前の2012・2013年、設置後の2014・2015年を通じた直接流出量の変化を検討した。図5から経年的な変化の傾向は明瞭でなく、初期流量(降雨前の流量)を考慮した場合でも観測事例に限られていたこともあり経年変化は認められなかった。

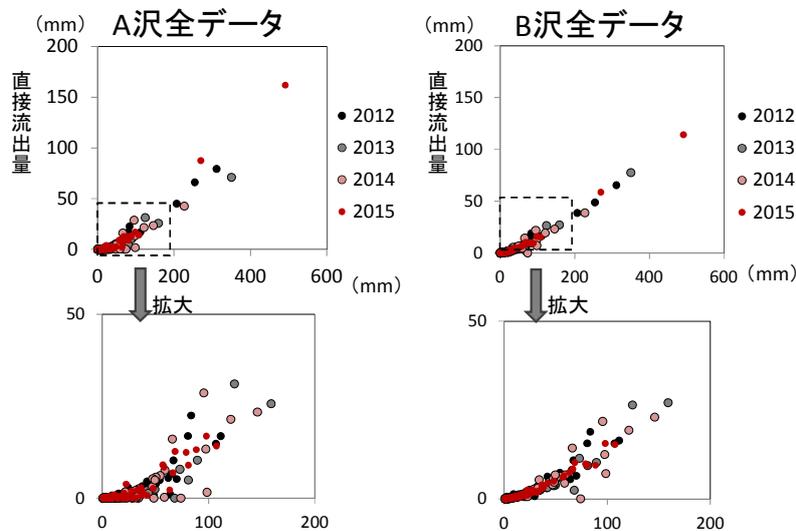


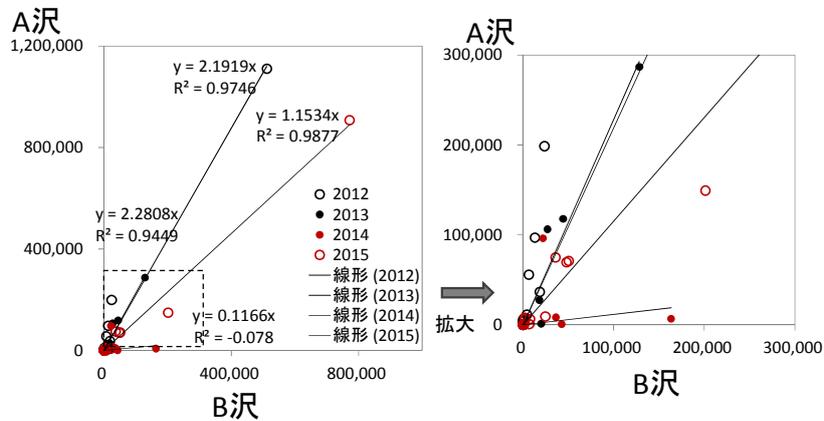
図-5 A沢およびB沢の直接流出量 (2012・2013・2014・2015年)

③濁度の経年変化

流域内の下層植生の回復によって降雨の際の地表流発生に伴う濁度の流出が減少すると予想されることから、A沢における植生保護柵設置前の2012・2013年、設置後の2014・2015年を通した全50件の濁度発生事例について季節変動や経年変化を検討したところ、突出した大きな濁度値のデータの影響が大きく、引き続き事例を蓄積して経年変化を検討していく必要があると考えられた。

表-1 濁度の発生事例の内訳 (2012・2013・2014・2015)

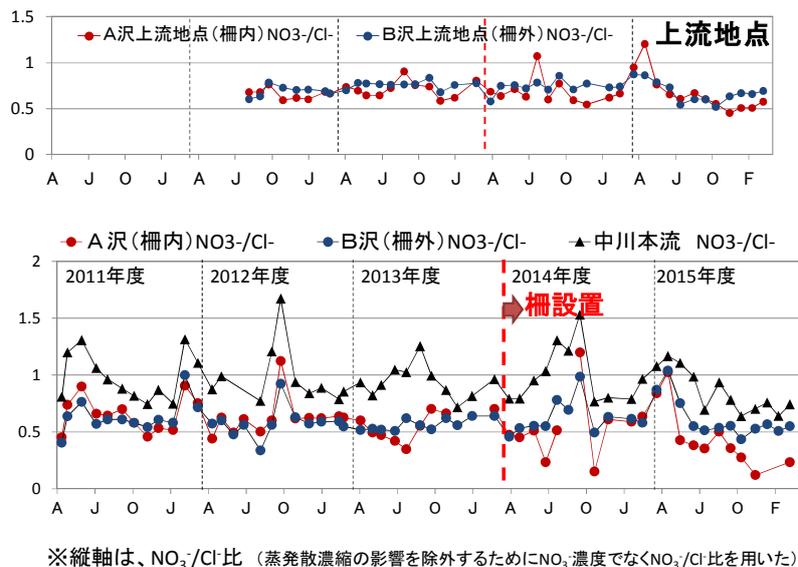
	冬季 1~3月	春季 4~6月	夏季 7~9月	秋季 10~12月	計
2012	4	4	3	2	13
2013	2	3	5	1	11
2014	2	1	6	3	12
2015	0	3	8	3	14
季節ごと計	8	11	22	9	50



※すべて流量(l/s) × 濁度(度)

図-6 A沢とB沢の濁度発生量の経年変化

※濁度(ホルマジン度) × 流量の積算値を濁度発生量として比較した



※縦軸は、NO₃/Cl⁻比 (蒸発散濃縮の影響を除外するためにNO₃濃度でなくNO₃/Cl⁻比を用いた)

図-7 A沢とB沢の平水時渓流水の窒素濃度の推移

(上: 各流域内の上流地点 下: A沢とB沢の各流域末端および西丹沢自然教室脇の中川本流地点)

④水質（硝酸態窒素濃度）の経年変化

裸地化していた流域内を植生保護柵で囲みシカを排除することで、下層植生が増加することが見込まれるが、増加した下層植生による硝酸態窒素吸収の効果によって、流域内で窒素分がより多く消費されて下流に流出する窒素濃度が減少すると予想される。

そこで、植生保護柵を設置した2014年4月の前後を通して平水時の渓流水の硝酸態窒素濃度の経年変化を把握した。

図7より、A沢とB沢の各流域末端（量水堰）における硝酸態窒素濃度の経年変化は、柵設置前後を通して概ね同等で推移し、大きくは中川本流とも連動していた。2015年後半でA沢の流域末端の濃度がB沢よりも低下しているが、流出が不安定（降雨に伴い堰からの越流がみられるようになるが、しばらくすると越流が無くなるのが繰り返される）な時期であったため、引き続き流出の安定した時期も比較検討していく必要がある。

⑤既存立木プロット等における植生被覆等調査

植生保護柵設置後1年半経過した2015年9月に流域内を踏査して、林床の被覆度を6段階で評価して流域内の分布を調べた。A沢では河床の流路が裸地となっているが、流域内下流の右岸側の人工林内に被度ランク5（林床植生被度40～80%）または被度ランク6（林床植生被度80%以上）に区分される箇所が多く分布していた。A沢上流側の広葉樹林内では、林冠ギャップや堰堤脇の光環境の良好な箇所等で被度ランク5または6であった（図8）。B沢の流域内下流左岸側の人工林内の被度ランク5の箇所は、シカの嗜好性種であるミツマタとマツカゼソウが下層植生の大部分を占めていた。また、B沢広葉樹（沢）の立木プロットの付近は、2012年9月（植生保護柵設置前）の同調査で繁茂し始めたミツマタが林床を覆っていたが、今回調査ではミツマタの樹高が高くなり、その下の地表は土壌やリターが流出した痕跡がみられた。

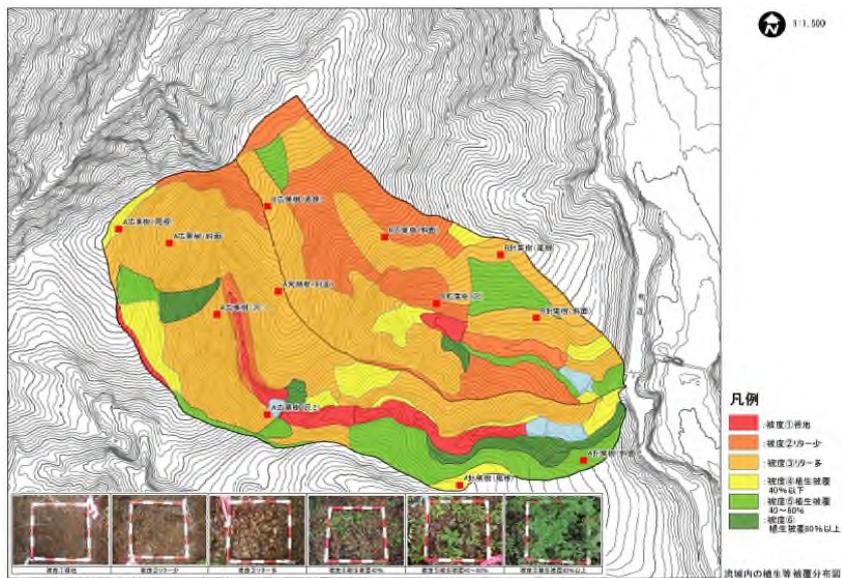


図-9 林床の被覆レベルごとの分布（2015.9調査）

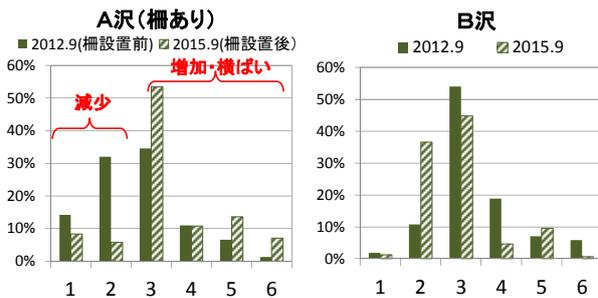


図-10 林床被覆レベルの経年変化
（2012.9と2015.9の比較）

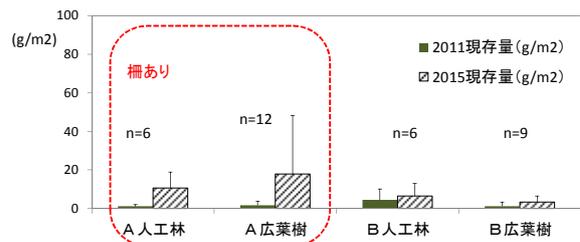


図-11 立木プロットにおける現存量
（2012.9と2015.9）

A沢およびB沢流域内の林床被覆レベルごとの面積割合について、2012年と2015年で比較したところ、A沢では裸地やリター少に区分された面積の割合が減少し、リター多い・植生被度40～80%、植生被度80%以上に区分された面積の割合が増加した。B沢では、リター少に区分された面積の割合が大きく増加するなど総合的には横ばいか劣化の傾向であった(図10)。立木プロットの現存量について、流域ごと林相(人工林・広葉樹)ごとの区分で集計して比較したところ、いずれの区分においても2012年より2015年のほうが現存量が増加していたが、増加量はA沢のほうが大きかった(図11)。

⑤¹³⁷Cs濃度を指標とした土壌侵食量評価(追加調査)

2013年の調査に加えて、新たにライントランセクトで3箇所の斜面、計15試料を採取し、洪水時に量水堰に堆積した土砂の試料もあわせて分析を行った。分析結果のうち土壌表層(0～2.5cm)の¹³⁷Cs濃度について、流域内分布を示した。一般的には、土壌侵食強度が表層土壌の¹³⁷Cs濃度に反映し土壌侵食の進行している箇所ほど低濃度となり、図12の流域内分布から土壌試料を採取した地点のうち、人工林内で¹³⁷Cs濃度の高い箇所が比較的多く、広葉樹林の斜面で濃度の低い箇所が多かった。ただし、今回の一連の調査では2011年3月の¹³⁷Cs等の降下以降の土壌試料であることもあり、¹³⁷Cs降下量の空間的な偏りや落葉樹と常緑樹による地表への¹³⁷Cs供給形態の相違なども影響している可能性が考えられた。

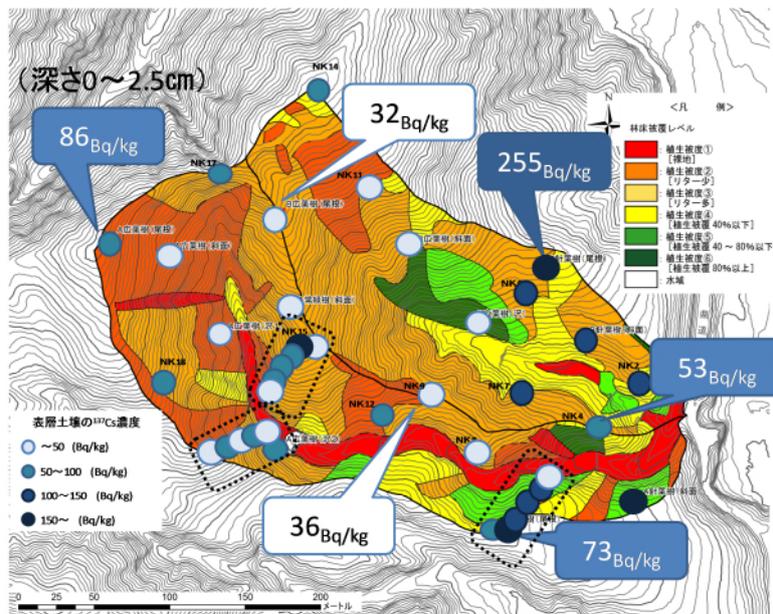


図-12 各採取地点の表層土壌の¹³⁷Cs濃度

(8) 今後の課題

- ・ 検証の筋書きに従って植生保護柵設置後の水や土砂の流出の変化を継続して把握する必要がある。

- ・ 特にA沢の流出量が少ないなど流域として特異な点もみられることから、基本的なデータを蓄積して流出機構についてある程度解明する必要がある。

(9) 成果の発表

内山佳美ほか(2015) 西丹沢ヌタノ沢の流出特性, 神奈川県自然環境保全センター報告, 13: 39-47
 横山尚秀ほか(2013) 西丹沢ヌタノ沢の水文地質と流出状況, 神奈川県自然環境保全センター報告, 10: 101-113

(2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
 (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
 B. 対照流域法による総合モニタリング

- (1) 課題名 Be. フチチリ沢モニタリング調査
 (2) 研究期間 平成 19～28 年度
 (3) 予算区分 県単（水源特別会計：森林環境調査）
 (4) 担当者 内山佳美・横山尚秀・三橋正敏・島田武憲

(5) 目的

かながわ水源環境保全・再生実行 5 か年計画に基づく本研究課題は、森林整備などの事業効果を検証するための時系列データの取得を目的とし、対照流域法等の手法を用いてモニタリング調査を行う。そのため、森林整備などの操作を行う前に、実験流域と対照流域の自然条件についての類似性や各々の特色について現状での流域特性として把握し、森林の操作後に比較できるようにデータを整備しておく必要がある。また、県内 4 箇所を設定した試験流域は、いずれも地形・地質等の水源環境の基礎的な性質が異なるため、地域ごとの水文特性を把握し水源環境の管理に反映させることも必要である。そこで、南足柄市のフチチリ沢試験流域において、気象・水文観測を中心とした基盤としたモニタリング調査を行った。

(6) 方法

フチチリ沢試験流域において、平成 23 年度に整備した気象・水文観測施設により観測を行うとともに、水流出等の各調査を行った。本調査は、神奈川県森林組合連合会が受託して実施した。（詳細は、委託報告書参照。）

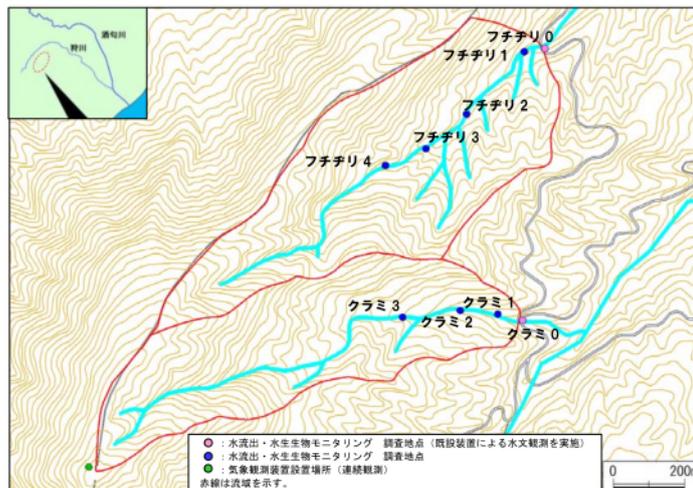


図 2.1.1 調査地点

図-1 調査地点

①水流出調査

水文観測 (2 地点) のデータ回収を行うとともに、気象・水文観測で得られたデータを整備した。併せて、概ね 2 ヶ月に 1 回の頻度で平水時の流量観測・水質分析を計 9 地点で行うとともに、降雨による流量増加時の流量観測の結果も踏まえて、水位-流量算出式を検討した。

水質分析は、月 1 回 (全 7 回) の調査のうち、夏季 (8 月)、冬季 (12 月) については、全 9 地点で水質分析用サンプルを採取し、下記項目の分析を行った。

- ①水素イオン濃度 (pH)、②電気伝導率、③カルシウムイオン、④カリウムイオン、⑤ナトリウムイオン、⑥マグネシウムイオン、⑦塩化物イオン、⑧硝酸イオン、⑨硫酸イオン、⑩アンモニアイオン、⑪ケイ酸 (SiO4⁻)、⑫炭酸水素イオン

②土砂流出調査

調査期間中の出水後に上流域の踏査により洪水痕跡や河床の土砂移動状況を確認した。

③土壌深度調査

試験流域内の 60 地点で、斜面調査用簡易貫入試験機を用いた土壌深度の測定と土壌水分計を用いた土壌の体積含水率の測定を行った。測定は 1 地点あたり 3 箇所とし、簡易貫入試験機による土壌深度測定では、5kg のおもりによる 50 回落錘の貫入量が 10cm 未滿を基盤層到達の目安とした。

(7) 結果の概要

主な調査結果は次のとおり。(調査結果全体は、委託報告書参照)

①降水量

平成 27 年 (2015 年) 1～12 月の降水量は、3089mm であり、月別にみると台風等の影響で 7 月と 9 月の降水量が 600mm を超え、冬季は少雨であった。また、他の試験流域と年間降水量を比較したところ、大洞沢に次ぐ降水量であり、年間降雨日数 (0.5mm 以上の降雨のあった日数) は 4 か所の試験流域の中で最も多い傾向であった。

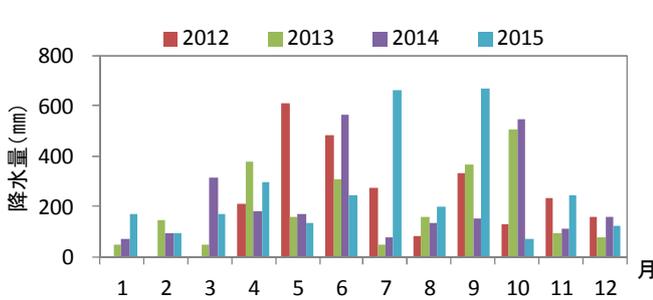


図-2 月別降水量

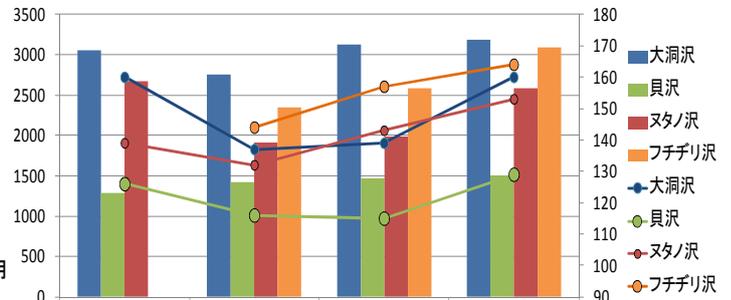


図-3 試験流域別の年間降水量と年間降雨日数

②平水時の流量観測

8、10、12、2月に全 9 地点における流量観測を行った。これまでの観測結果と同様に、クラミ沢よりもフチヂリ沢の流量が多く、また、フチヂリ沢では上流から下流になるに従い流量が増加する傾向であったが、クラミ沢では明瞭でなかった。

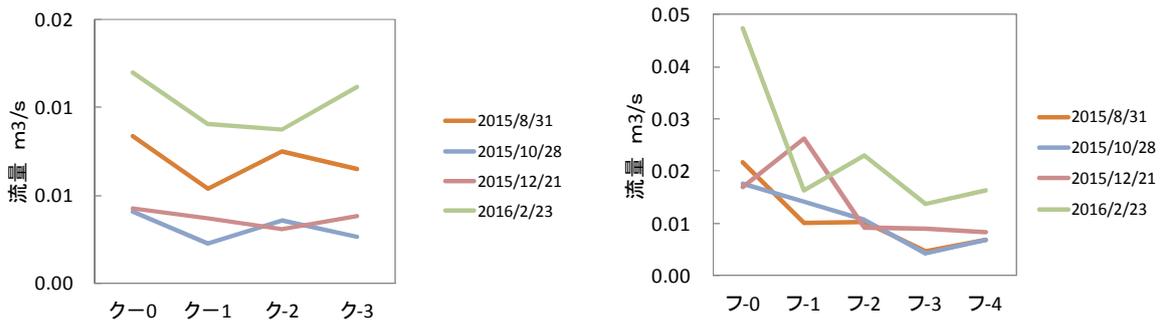


図-4 観測地点別の平水時流量

③出水時の流量観測

台風 18 号の影響で日降水量 223mm を記録した平成 27 年 9 月 9 日に出水時の観測を実施した。10 時 30 分から 16 時 20 分までの間にクラミ沢、フチヂリ沢においてそれぞれ 5 回流量観測と水質分析用試料採取を行った。

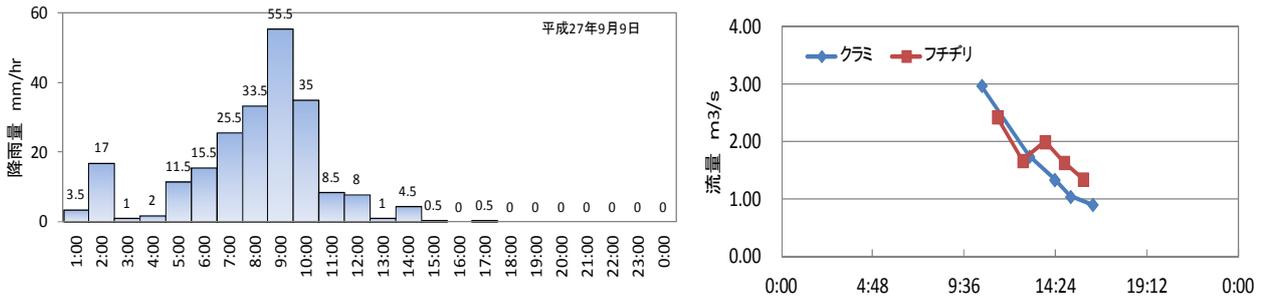


図-5 降水量と流量実測結果

④H-Q 曲線の検討

観測開始以降のこれまでの流量実測データも活用して、水位流量換算式の検討を行った。年度ごとに傾向が少しずつ異なっていたことから、河道断面形状が変化している可能性が考えられた。

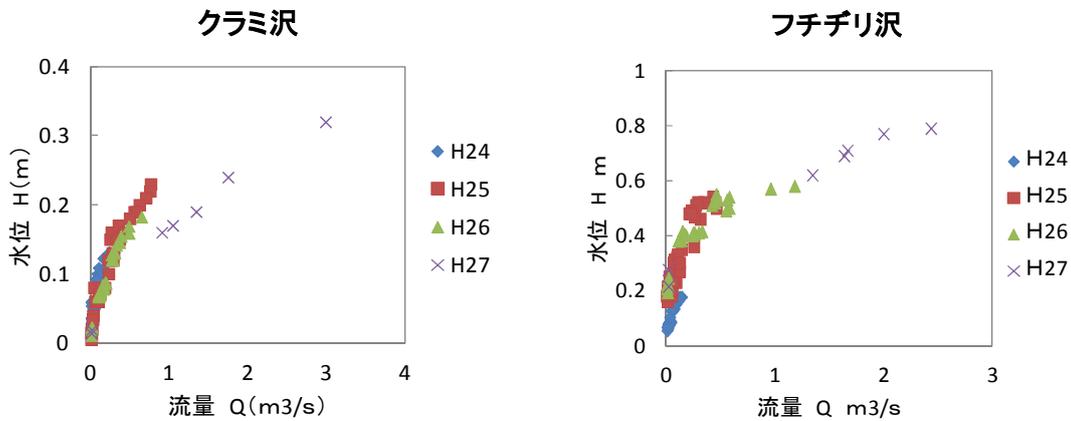


図-6 水位と流量の関係

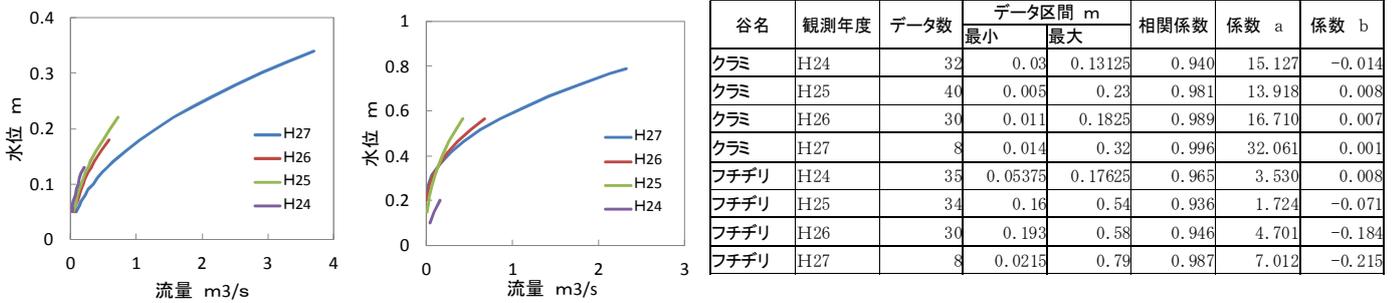


図-7 年度別 H-Q 曲線の傾向 ($Q = a(H + b)^2$)

⑤流況

平成 27 年度流量観測データによる H-Q 曲線を暫定的に採用して平成 27 年 (2015 年) 1 ~ 12 月の流量を算出し、ハイドログラフを図 8 に示した。フチチリ沢の 12 月の中旬以降の水位が欠測となり、電源不足が考えられた。また、ハイドログラフより、1 ~ 6 月頃のクラミ沢の流量が降水量と連動していないことから、元の 10 分値によりデータを精査したところ、降水量と水位は概ね連動していたが、流量が連動していなかった。このため H-Q 式の再検討が必要である。

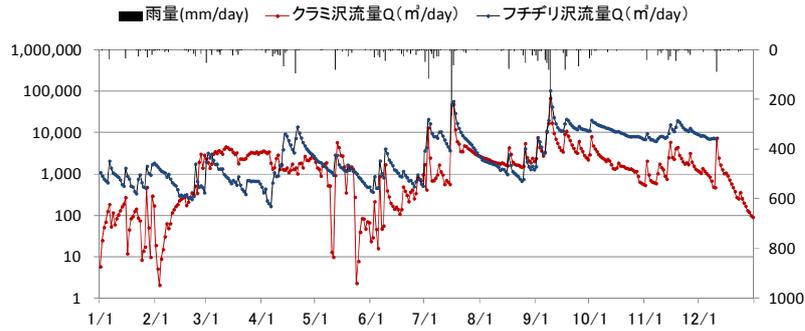


図8 クラミ沢・フチヂリ沢のハイドログラフ

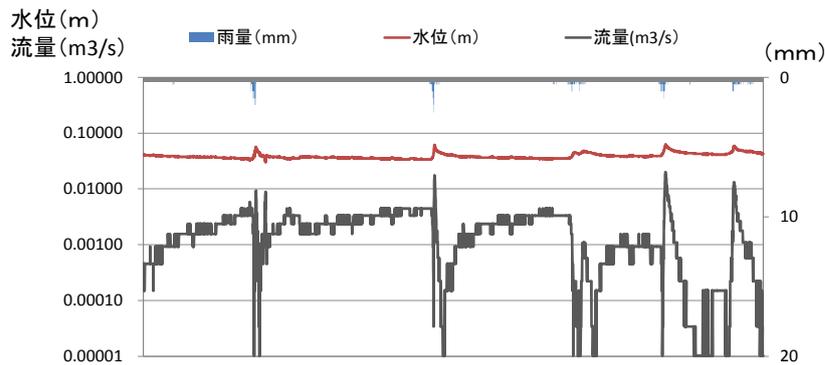


図9 クラミ沢の降水量・水位・流量の推移（平成27年1月）※10分データ

(8) 今後の課題

・平成24年度以降の連続観測により、着実にデータが蓄積されており、暫定的な水位流量換算式を用いて平成27年のハイドログラフ、流況、水収支を算出できた。しかし、クラミ沢の低水位時の流量が水位と連動していないため、水位流量算出式を再検討し再度流況等を検討する必要がある。

・これまでも低水位時の流量データの精度が低いことが認識されていたが、複数年の実測データを用いた検討により、河道断面形状の変化による影響もあることがわかったため、台風等の出水の時点で水位流量換算式をつくりなおすなどの対応が必要である。

・フチヂリ沢試験流域は、土地は公有地であるが、水源の確保地、承継分収林、官行造林地など、複数の形態によって管理されているため、対照流域試験における操作実験のシナリオについて調整していく必要がある。当該試験流域にふさわしい実験計画を検討するにあたっては、流域の水文特性などの自然条件も重要であることから、それらを早い段階で把握していく必要がある。

(9) 成果の発表

なし

- (2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
 - (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
 - B. 対照流域法による総合モニタリング

- (1) 課題名 Bf. 水循環基礎調査（水循環基礎調査(1)—2015年大洞沢、貝沢およびヌタノ沢の水文環境調査—）
- (2) 研究期間 平成25年度～
- (3) 予算区分 県単
- (4) 担当者 内山佳美・横山尚秀・三橋正敏・大平 充・丸山範明・島田武憲

(5) 目的

対照流域法によるモニタリング調査を長期的、的確に進めるため、試験流域で小流域レベルの地形・地質および流況を調べ、沢の水源と水収支、水循環過程を把握する必要がある。現在実施しているモニタリング項目と地点、観測手法と結果を評価し、降雨時の流出への森林と水文地質の影響、無降雨時の地下水の関与の把握などが課題である。そのため、シカ採食被害が顕著な大洞沢とヌタノ沢およびシカ採食害の無い貝沢で現地調査を行い、流域の表流水に及ぼす湧水の役割、隣り合う流域間の地下水移動の可能性など、それぞれの課題に取り組み、試験流域の水文環境の比較検討を進める。

(6) 方法

本モニタリング調査では、流域内および周辺の地形・地質、湧水と渓流水の関係および水質について調査し、施業に伴う水文環境の變化解明の基礎資料とする。3流域（調査地点）は、稜線で囲まれた地形上の流域と稜線を越えた反対側にある流域とした（図1）。調査は、2015（平成27）年10月に一斉に行い、各小流域で現地踏査による地形・地質調査、河床の状況、源流部の湧水位置の確認と水量の測定、流程および流域末端での流量測定と採水および一般項目の水質分析を行った。なお、大洞沢およびヌタノ沢では、分水界を超えた反対側の流域でも測定した。

流量は、河川横断面の水深と流速を計測し、流量換算した。また、量水堰では越流量を容器（バケツ）を用いて計測した。さらに、一般水質の分析は、採取した試料を持ち帰り、イオンクロマト法等により分析した。

(7) 結果の概要

ア 試験流域の流量

(ア) 大洞沢

大洞沢本流の上流～下流までの実流量変化（図2下段左）をみると、No.1とNo.2、No.5とNo.6の間に流量の急な増加が認められる。これらは、図中に↓で示した崩壊地を流域とする支流（B、D）や湧水（No.23）の流入が原因である。しかし、これらの地点以外では、流下に伴う流量増加は少ない。さらに、比流量（図2上段）で見ると、値は1～3mm/dで、下流に向け減少傾向が認められる。したがって、大洞沢では無降雨時は崩壊地の豊富な湧水が主水源となっている。

大洞沢と周辺の流域（図1-1、①～④）の比流量を比較すると、何れも湧水（No.24、25、27、29）を水源としているが、①の16.9mm/dを除いて、大洞沢（No.8）が1.4mm/d、②～③が0.5～1.7mm/dであった。

なお、崩壊地流域のB、Dの4.3、4.0mm/dと①流域の16.9mm/dの高比流量については、その水源の更なる検討が必要である。

(イ) 貝沢

貝沢（図1-2）では、源頭部のNo.1、2、3の3流域が集まり、本流となって、No.4からNo.5へと下り、流域の湧出水を集め流下している。この状況が図2（中央）の流程の流量変化で読みとれる。

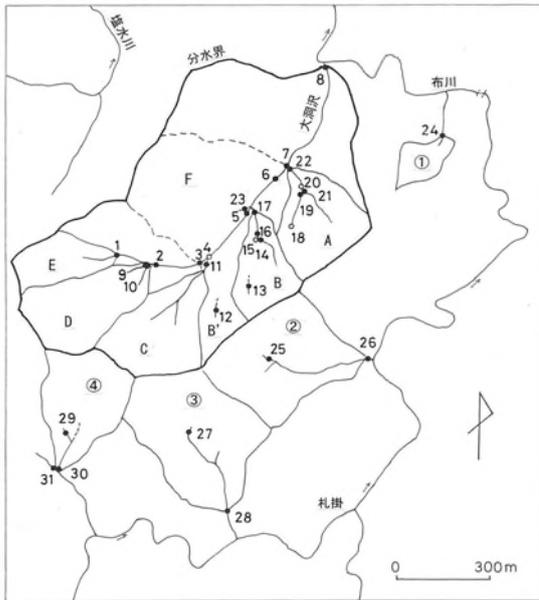


図-1-1 大洞沢及び周辺の調査地点

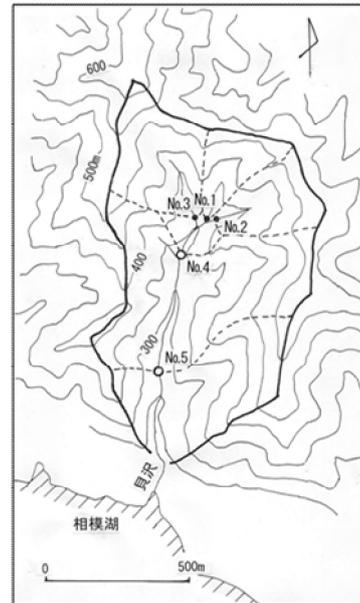


図-1-2 貝沢の調査地点

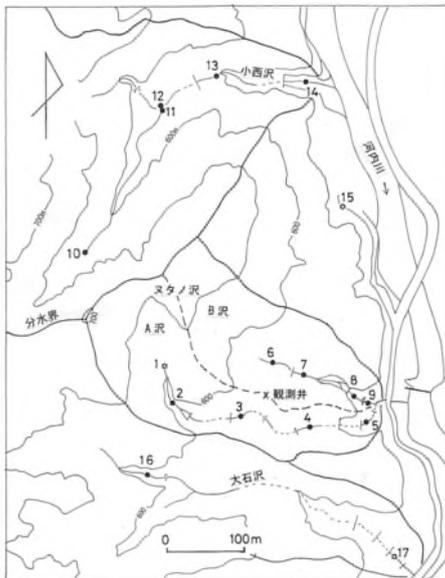


図-1-3 ヌタノ沢と周辺の調査地点

貝沢の流量の特徴は、比流量（中央上段）を比較して分かるように、下流になって流域が増えなくても比流量は 1.7、1.1、1.5mm/d とほぼ変わらないので、水文地質条件は比較的均一であると考えられる。

(ウ)ヌタノ沢

ヌタノ沢の表流水の状況を実流量（図 2 右、下段）は、無降雨時には A 沢、B 沢共に源頭部の湧水によって賄われている。個別に見ると、A 沢では中流部で伏没浸透により流量を減少し、とくに渇水時には治山堰で消失してしまうことがある。B 沢では、流下と共に流量が増加し、新たな地下水流出が認められる。一方、比流量（上段）で流程の流量変化を見ると、両沢共に中流から下流に減少傾向にある。流域面積に対し、新たな地下水のかん養は多くなく、とくに A 沢では伏没浸透による流量減少が生じている。

量減少が生じている。

周辺の流域の流量の状況を表 1 で見ると、北側の小西沢では、No.10、No.11 の間に左岸側から地下水湧出が確認されたことを反映し、この間に流量が 18 倍増している。しかし、大石沢では、調査範囲内では湧水は認められず、流量も少なかった。

イ 試験流の水質

水質の一斉調査結果を表 1 に示す。流域別の特徴は次のとおりであった。

(ア)大洞沢 (31 試料)

大洞沢の水質は、陰イオンの Cl^- （平均 1.53mg/l）、 NO_3^- （同 1.54mg/l）と陽イオンの Na^+ （同 2.68mg/l）、 K^+ （同 0.16mg/l）およびシリカ（同 15mg/l）が他流域と比べ少ない。一方、 HCO_3^- （同 50mg/l）と Mg^{2+} （同 3.68mg/l）、 Ca^{2+} （同 10.7mg/l）が多い。

(イ)貝沢 (6 試料)

貝沢の水質は、電気伝導度（EC）が 10.2mS/m と最も高く、溶存成分が多いことを示している。このことを反映し、 Cl^- （平均 2.23mg/l）、 NO_3^- （同 2.37mg/l）、 SO_4^{2-} （同 15.3mg/l）、 Na^+ （同 4.57）、

シリカ (同 22mg/l) が多い。

(ウ)ヌタノ沢

ヌタノ沢では、ECが平均 7.77mS/m と最も低く、溶存量が少ない。成分では、Mg²⁺ (同 2.29mg/l)、Ca²⁺ (同 7.35mg/l) が少ない。一方、地質を反映し、K⁺ (1.36mg/l) が他流域より 1 オーダー多く含まれている。

ウ 調査結果について

無降雨時の流量は、流量の多い源頭部の湧水源の寄与が大きい。また、流程で流量が変化する流域があるので、モニタリング結果の評価ではこのことに留意する必要がある。水質では、流域ごとに成分の多寡が認められる。地質や植生を反映していると考えられる。

(8) 課題

施業に伴う流域の植生、生態変化は着実に進むであろう。しかし、水環境への影響は、長時間で微量と想定され、モニタリングで確認されるには相当の時間が掛かると考えられる。その上、気象の影響もあるので、長期に亘る取り組みが欠かせない。

(9) 成果の公表

なし

表-1 大洞沢、貝沢およびヌタノ沢の水質、流量調査結果

流域	地点番号	水温 °C	EC(mS/m)	pH	Cl ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	シリカ	流量ℓ/min
大洞沢	1	11.4	8.74	7.48	1.54	1.24	43	2.54	2.16	0.21	3.15	9.45	14	5.4
	2	11.6	9.27	7.64	1.46	1.98	45	2.72	2.39	0.17	3.33	10.10	15	296.1
	3	11.1	9.32	7.63	1.47	1.87	45	2.77	2.47	0.16	3.17	10.44	15	308.3
	4	11.1	9.47	7.60	1.43	1.74	46	2.98	2.57	0.15	3.21	10.48	14	369.1
	5	11.5	9.66	7.61	1.41	1.77	47	2.91	2.63	0.13	3.24	10.76	14	351.6
	6	12.7	10.33	7.69	1.44	1.54	52	2.91	2.74	0.13	3.79	11.47	15	769.4
	7	12.7	9.77	7.66	1.35	1.36	50	2.47	2.65	0.16	3.47	10.95	15	711.8
	8	12.8	10.37	7.76	1.52	1.36	52	2.83	2.83	0.15	3.67	11.60	16	711.3
	9	11.2	9.53	7.53	1.50	2.03	46	2.75	2.37	0.14	3.34	10.57	15	27.4
	10	11.7	9.33	7.62	1.46	2.22	45	2.70	2.43	0.15	3.42	10.02	15	196.9
	11	11.1	10.22	7.59	1.21	1.15	51	3.60	3.28	0.07	3.55	10.99	12	60.8
	12	12.2	10.57	7.64	1.51	1.98	53	2.21	2.69	0.04	4.14	11.32	16	6.6
	13	12.4	10.92	7.60	1.89	1.64	55	2.56	2.97	0.06	4.25	11.50	17	10.7
	14	12.3	10.50	7.63	1.38	1.58	54	2.24	2.75	0.11	4.43	10.71	16	19.1
	15	12.4	12.97	7.60	1.41	1.86	69	2.64	3.06	0.06	5.88	13.20	15	
	16	12.4	12.53	7.65	1.41	1.73	66	2.45	2.99	0.07	5.64	12.85	15	171.2
	17	12.5	12.39	7.61	1.42	1.69	66	2.46	2.98	0.10	5.55	12.70	16	144.5
	18	12.0	9.37	7.34	1.25	1.26	48	1.84	2.42	0.22	3.51	10.17	14	
	19	11.4	8.87	7.38	1.25	1.32	46	1.91	2.33	0.16	3.35	9.52	14	17.2
	20	11.7	8.86	7.47	1.28	1.35	46	1.85	2.37	0.18	3.17	9.69	14	
	21	11.6	9.03	7.41	1.77	1.33	47	1.82	2.65	0.34	3.12	10.14	15	18.6
	22	11.5	8.77	7.50	1.23	1.23	45	1.80	2.40	0.18	3.10	9.62	15	56.9
	23	12.8	8.93	7.64	1.62	2.08	42	2.93	2.27	0.14	2.93	10.00	16	38.8
	24	12.6	11.13	7.82	1.74	1.12	57	2.23	3.26	0.19	4.06	12.08	19	232.1
	25	12.7	8.35	7.63	1.64	1.66	48	4.51	3.09	0.18	3.19	11.54	14	11.7
	26	12.8	11.27	7.79	1.90	1.22	56	3.25	2.92	0.19	3.98	12.63	16	146.3
	27	12.8	9.74	7.82	1.72	1.53	48	2.37	2.77	0.36	4.06	9.54	16	11.3
	28	13.0	10.15	7.79	1.77	0.99	51	2.40	3.01	0.23	3.74	10.82	15	51.4
	29	12.4	9.16	7.79	1.75	1.39	43	3.70	2.77	0.09	2.95	10.04	16	27.0
	30	12.7	8.99	7.81	1.72	1.44	43	3.16	2.65	0.32	3.28	9.29	14	44.0
	31	12.4	7.80	7.81	1.87	1.06	36	3.09	2.31	0.17	2.41	8.56	14	701.5
貝沢	1	14.5	9.34	7.36	2.36	1.37	27	13.32	4.27	0.35	2.51	8.61	22	102.7
	2	14.1	11.02	7.34	1.97	1.85	29	20.36	4.54	0.20	2.62	11.17	22	80.2
	3	13.9	10.16	7.37	2.38	2.91	30	14.27	4.95	0.23	2.67	9.33	22	126.5
	4		9.98	7.38	2.20	2.36	29	14.96	4.60	0.24	2.58	9.43	22	303.7
	5	14.2	10.02	7.36	2.21	2.64	30	13.65	4.61	0.27	2.58	9.51	22	876.3
	6	14.0	10.60	7.36	2.23	3.06	30	15.29	4.44	0.29	2.81	10.42	21	245.0
ヌタノ沢	1	12.5	7.98	7.30	1.74	2.36	38	2.38	2.86	1.86	2.61	7.22	21	
	2	12.5	8.43	7.31	1.74	2.58	35	2.47	3.05	1.90	2.65	7.75	20	44.9
	3	13.0	7.82	7.34	1.65	1.57	37	2.22	2.80	1.39	2.55	7.50	19	69.5
	4	13.3	8.95	7.37	1.59	1.56	35	2.45	2.54	1.15	2.25	7.80	19	27.3
	5	13.8	9.01	7.33	1.50	0.76	44	2.79	2.77	0.98	2.42	10.40	20	37.6
	6	13.1	7.87	7.33	1.65	1.44	37	2.30	3.06	1.34	2.73	7.09	19	65.6
	7	13.0	7.45	7.40	1.61	1.53	35	2.37	2.85	1.19	2.57	6.72	19	88.6
	8	13.1	8.56	7.37	1.54	1.50	42	2.20	3.17	1.12	3.04	8.08	22	99.3
	9	13.3	8.59	7.41	1.54	1.37	43	2.23	3.16	1.12	3.01	8.17	21	84.7
	10	13.0	6.88	7.44	1.47	2.71	26	3.19	2.68	1.58	1.76	5.90	18	10.9
	11	12.3	7.55	7.46	1.65	2.04	32	3.94	3.16	1.61	1.92	7.10	18	180.9
	12	12.9	7.12	7.46	1.52	1.79	30	3.96	3.25	0.94	1.36	7.50	18	211.0
	13	12.7	7.15	7.47	1.57	1.97	29	3.83	3.03	1.25	1.66	7.06	18	317.1
	14	13.0	7.09	7.46	1.55	2.01	29	4.13	2.94	1.33	1.67	6.93	17	178.8
	15	-	8.43	7.44	1.69	2.92	37	3.08	3.75	1.56	2.17	8.03	18	
	16	14.7	6.80	7.48	1.33	1.79	32	1.70	2.61	1.44	2.28	5.94	22	74.5
	17	-	6.58	7.51	1.37	1.94	29	2.05	2.34	1.35	2.27	5.73	20	

図1-1~3に流域別の調査地点を番号を付して示す

- (2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
 (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
 B. 対照流域法による総合モニタリング

- (1) 課題名 Bf. 水循環基礎調査(水循環基礎調査(2)—2015年の地下水位変化と流量観測結果—)
 (2) 研究期間 平成25年度～
 (3) 予算区分 県単
 (4) 担当者 内山佳美・横山尚秀・三橋正敏・大平 充・丸山範明・島田武憲

(5) 目的

水環境モニタリング調査として、流域の水環境の基礎データを収集するため、かながわ水源エリア内の4試験流域で降水量等の気象情報、溪流の流量、観測井の地下水位などの水文情報を連続観測し、併せて水文観測施設の点検を兼ねて月1回の現地調査を行っている。2015年の観測結果と、7月の台風11号接近に伴う出水時の状況を報告する。

(6) 方法

流量は、量水堰で記録された堰の越流水位を10分間隔のテレメータ観測し、水位流量曲線から導かれた換算式を用いて流量換算して求めた。地下水頭は、観測井戸孔内の水位変化を圧力センサーで測り、毎正時の値をロガーに記録し、データ回収している。なお、両データ共に月1度の頻度で施設点検を兼ね、現地計測を行うと共に、記録状況の検証を行っている。流量は、量水堰が無い場合や水量が多い場合はKANAK製の電磁式流速計で計測した流速に断面積を乗じて求め、三角堰越流量は容器で計量した。地下水頭は水面検出器で地下水面までに水深を計測し、ロガー記録されたデータとあわせ、標高換算した。なお、降水量などの気象データは樹木等の影響を避けて整備された気象観測施設でテレメータ観測している。表1に流域別の観測施設の概要を示した。

表-1 試験流域の観測施設の概要

流域名	面積 ha	気象観測項目	流量観測法	地下水観測法	備考
大洞沢	56.3	降水量(転倒枡)、 気温、風向・風速	三角堰 /水圧式水位計	水圧式水位計	シカ柵設置、表示は県道橋下の流量(No.1+No.3)、対照流域はNo.3、4
貝沢	86.4	同上	三角堰 /水圧式水位計	(自噴)	間伐、対照流域はNo.1、2、3、流量表示はNo.5
ヌタノ沢	7.0	同上	三角堰 /水圧式水位計	水圧式水位計	シカ柵設置、対照流域はA、B沢
クラミ沢 ・フチジリ沢	33.8 42.3	同上	梯形河床/水位計 自然河床/水位計	水圧式水位計	間伐、隣接するクラミ沢とフチジリ沢を比較

(7) 結果の概要

4試験流域ごとに、2015年の流出状況、地下水頭変化を、連続観測結果を基に図に示した。何れも日データを用いた。また、1年間の中から降雨前後の流出変化を示す事例として、7月の台風11号が接近した期間の変化グラフを1時間データで示した。

ア 大洞沢

試験流域の最下流部、県道橋下の2015年の流量変化を降水量と併せて図1-1に示した。流量は降水と対応して増加を始め、1～2日後にピークを経て減衰する。7月と9月に日量4600万m³余りと6800万m³余りの出水が観測されている。これらは台風11号、18号の影響による大雨が原因である。この内、台風11号が接近した前後の変化を時間単位で詳しく図1-4に示した。

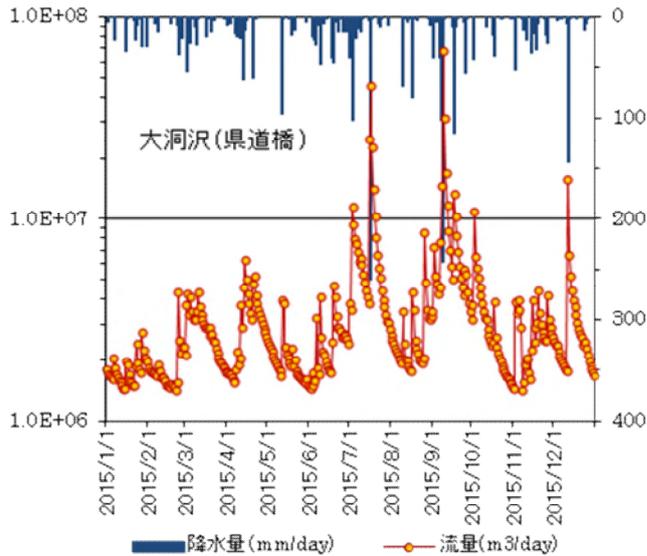


図-1-1 大洞沢の流量変化(日流量 m³)
左軸：日流量、右軸：日降水量

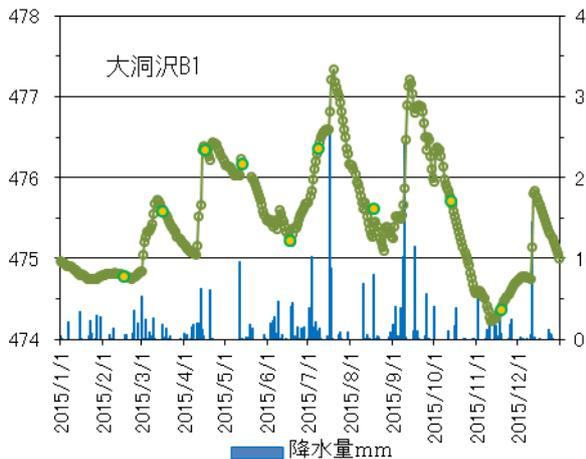


図-1-2 大洞沢 B1 観測井の地下水頭変化
左軸：水頭 (標高 m)、右軸：降水量 (mm/day)

時間降雨量の多少に対応した河川水量の増減が記録されている。そして、降雨終了後の流量は指数曲線を描き減衰した。

一方、流域に降った降水が地下浸透し、地下水を涵養する。地下水の状況を観測井の年間水頭変化 (図 1-2、3) でみると、2度の台風接近時に大きく上昇した。谷底の井戸 B1 の年間変動量は約 3m、一方、斜面の井戸 B2 は約 2.5m であった。台風 11号の場合 (図 1-4) では、谷底にある B1 の方が降雨後の上昇が急で、変化が大きかった。

イ 貝沢

貝沢下流No.5の流量観測結果 (図 2-1) は、7月の台風 11号接近時の大雨の出水が特徴的であった。その期間を抜き出して図 2-2 に示した。

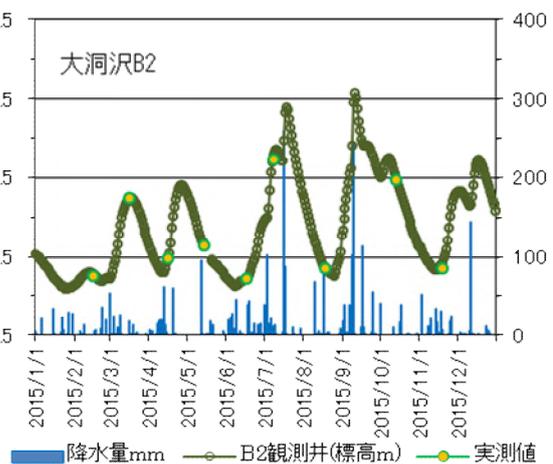


図-1-3 大洞沢 B2 観測井の地下水頭変化
左軸：水頭 (標高 m)、右軸：降水量 (mm/day)

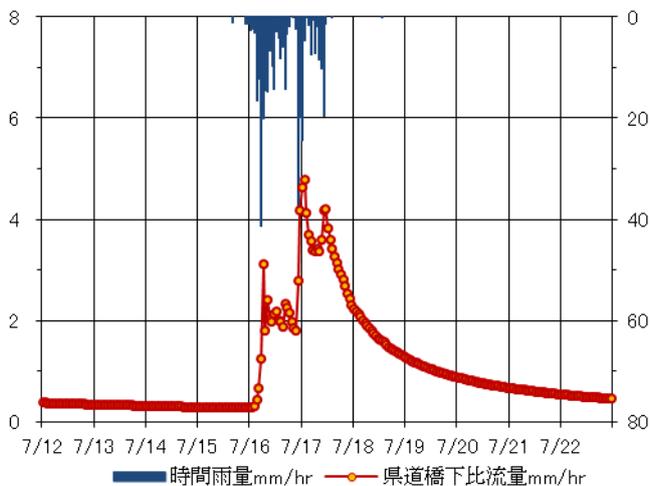


図-1-4 大洞沢の台風 11号通過時の出水 (比流量)
左軸：比流量 (mm/hr)、右軸：雨量 (mm/hr)

貝沢下流No.5の流量観測結果 (図 2-1) は、7月の台風 11号接近時の大雨の出水が特徴的であった。その期間を抜き出して図 2-2 に示した。貝沢では、台風 11号前の流量は多くが 1000m³/日以下で、低水量期であった。その後流量は回復したが、9月に台風 18号接近時に降った大雨で前の台風時に出た土砂が堰に堆積したため、データが従来どおりに記録されなかった (図 2-1)。

ウ スタノ沢

スタノ沢はA沢とB沢が尾根を境に接し、最下流で合流する。夫々の1年間の記録を同一グラフ上に示した (図 3-1)。7月と9月の台風接近時の出水期間と強雨直後の

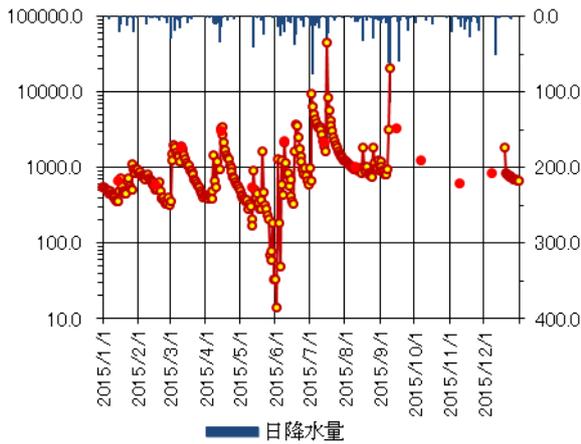


図-2-1 貝沢 (No.5) の流量観測結果
左軸：日流量、右軸：日降水量

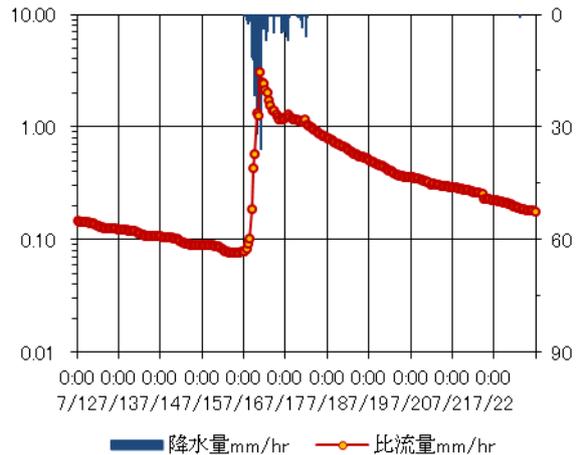


図-2-2 台風 11 号通過時の出水
左軸：比流量、右軸：時間雨量

流量ピーク時を除き、流域面積が僅かに広い A 沢の流量の方が B 沢より少ない。直接流出時には流域面積に応じた流出が観測されるが、基底流出時には、河床の水文地質条件を反映した流出となっていると考えられる。

大洞沢や貝沢と同様に、台風 11 号接近時の大雨前後の流出 (図 3-2) をみると、降雨前後に A、B 量沢の流量の逆転はあるものの、出水時にはピーク比流量が A 沢が 8.6mm、B 沢が 7.0mm で、ほぼ等しく、後の流量減衰の状況でも、同様な減衰傾向が認められ、隣接する流域の直接流出に係る条件に大きな差は無いと考えられる。

両沢の境界の尾根の鞍部に設置された観測井の水頭観測結果を図 3-3 に示した。地下水位は降雨に敏感に反応し、上昇する。台風 11 号後のデータが欠測となったため明確ではないが、地下水頭の基底レベルは、まとまった降雨ごとに上昇し、9 月に最高となって、降水量が少なくなる 9 月以降には再び低下傾向となった。B 沢の流量変化はこの傾向と呼応する。なお、地下水頭の年間変動量は 2.5m を超えた。

エ クラミ沢・フチジリ沢

クラミ沢およびフチジリ沢の流量変化は図 4 のとおりであった。ここでも 7 月と 9 月の台風接近時の出水が特徴的である。そして、7 月を境に年の前半が低水量期間、後半が流出量の多

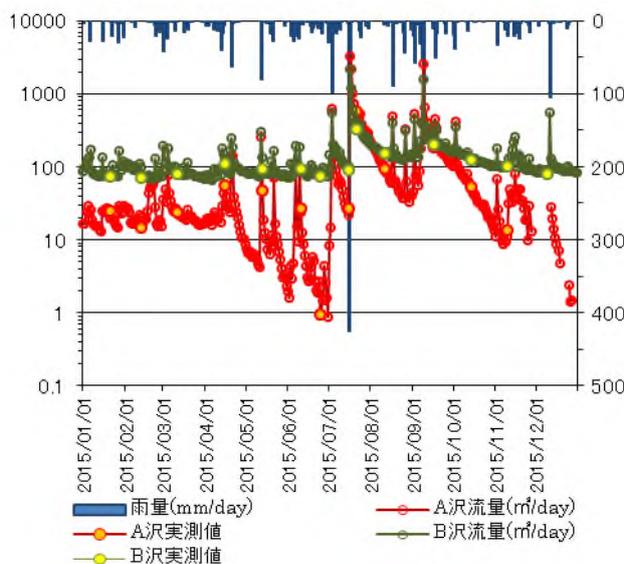


図-3-1 又タノ沢の流量変化 (2015 年、日量 m^3)
左軸：日流量、右軸：日降水量

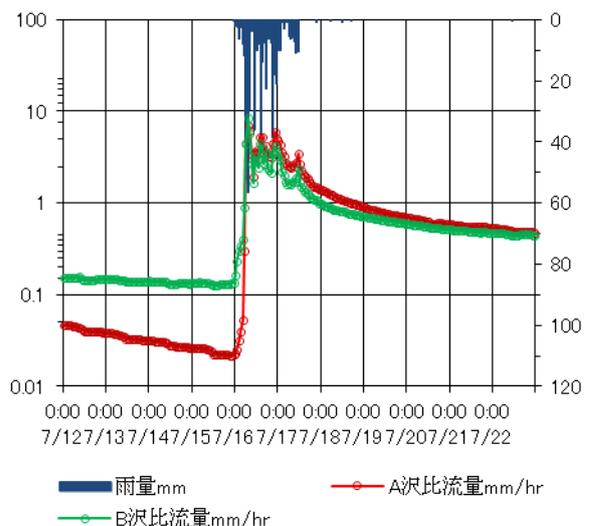


図-3-2 又タノ沢の台風 11 号通過時の出水
左軸：比流量、右軸：時間雨量

い期間となっている。後半では、2度の台風時のピーク流量を比較してみると、流域面積が狭いクラミ沢の方が多かった。しかし、ピーク出現後すぐにフチジリ沢の方が多くなった。そして、9月以降は全般にフチジリ沢の方の流量が多かった。年後半、とくに9月以降の流量の逆転は、流域の水文地質条件を反映していると考えられる。

(8) 課題

かながわ水源エリア内の4試験流域で施業に伴う効果のモニタリング調査が開始され、長期の観測データが蓄積されている。そこで、流域の地形・地質、流域面積および降水量等の気象など、流域特性が夫々異なる流域で、間伐やシカ柵設置等の施業に伴う効果をどのようにモニタリングすべきか、流域間の比較、流域特性への配慮など、その調査方法、調査結果の評価方法の見直し検討に反映させる必要がある。このため、引き続きデータを蓄積する必要があり、モニタリング項目と地点、出現の経過と程度などについて、流域特性を踏まえた見直し検討が欠かせない。また、観測の精度管理の視点から、出水後の施設の整備が重要である。

(9) 成果の公表

なし

- (2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
(2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
B. 対照流域法による総合モニタリング

- (1) 課題名 Bh. 水生生物調査（森林と溪流生態系に関する文献レビュー）
(2) 研究期間 平成 19～28 年度
(3) 予算区分 県単（水源特別会計：森林環境調査）
(4) 担当者 西口孝雄・内山佳美・大平 充

(5) 目的

かながわ水源環境保全・再生実行 5 か年計画に基づく本研究課題は、森林整備などの事業効果を検証するための時系列データの取得を目的とし、県内に設けた試験流域において対照流域法等の手法を用いて流域スケールのモニタリング調査を行う。その実施方法は、森林整備などの操作を行う前に、実験流域と対照流域の自然条件についての類似性や各々の特色について現状での流域特性として把握し、森林の操作後に追跡調査を行うものである。一般に、森林整備等の実施による森林の状態の変化は、下流への水や土砂の流出に影響し、さらにそれが溪流環境とそこに生息する水生生物の変化に影響すると予想される。その変化を把握するためには、森林の状態と水生生物の関係についての既存の知見から仮説を整理し、効果的なモニタリングを行う必要がある。そこで既存の文献をレビューし、森林と溪流環境および水生生物の関係について整理した。

(6) 方法

森林や溪流環境と水生生物の関係について調べた原著論文やその知見をまとめた総説などの国内外問わず文献を収集し（詳細は別紙論文リスト、論文集参照）、現在明らかになっている①森林から溪流生物群集への作用プロセス、②実際に森林の有無や伐採の影響から森林の役割の有効性を検証した事例、そして③針葉樹人工林やシカによる林床植生の過採食の影響に関するレビューを行った。

(7) 結果の概要

主な結果は以下の通りである。

① 森林から溪流生物群集への作用プロセス

森林あるいは陸域はさまざまなプロセスを通して溪流環境に影響を与え、またそれぞれの作用が複雑に関係している。以下では大きく、降雨が溪流に流出するまでの水文プロセス、土砂の供給や移動と溪流の物理的構造に関する地形プロセス、有機物の供給や溪流の一次生産から食物連鎖を通じた栄養プロセス、そして溪流の水温や溪流上の気温や湿度に関わる微気候プロセスの 4 つに分けて森林の機能について概観した。

・水文プロセス

森林は一般に、樹冠や林床植生、落葉層による表面流の発生と直接流出の抑制し、地下への水の浸透を促すことで、直接流出を減少させ（Hewlett et al., 1970）洪水流量を低下させることが知られる（例えば、福嶋, 1977）。実際に、直接流出あるいは洪水流量を低下させる働きは、急激な土砂流出の抑制とともに、魚類の生残率を保ったことが報告されている（Rinne et al., 1996）。また、地下水が地中から再び溪畔や河床から湧き出すことで、溪畔部あるいは溪床に湧水環境を形成する。河床と地下水帯の間に形成される水域は河床間隙水域（hyporheic zone）と呼ばれ、出水時あるいは湧水時の底生動物の退避場となることや（Collins et al., 2007）、魚類の産卵床の透水性が保たれることによって溶存酸素濃度の保持に寄与する（Youngson et al., 2004）。そしてこのような水域の形成には森林による浸透能の向上が寄与することが指摘されている（Kuglerova et al., 2014）。

・地形プロセス

斜面からの土砂供給や溪床の土砂移動は、溪流生物群集に対し極めてインパクトの大きい作用である。斜面からの土砂流出は、森林の根系による土壌の保持やリターや草本層の林床被覆による雨滴侵食の抑制によって、斜面からの土砂流出が抑制されている（例えば、Miura et al., 2003）。このため斜面の植生が存在しない状況では、細粒土砂が流出し溪床に堆積することによって、底生動物の収集食者（河床に堆積した細粒有機物を主に採食する種群）やユスリカ科が増加することが知られている（布川・井上, 1999; Collier and Bowman, 2003）。また、リター表面に細粒土砂が堆積することによって、破碎食者（落葉など粗粒の有機物を摂食する種群）の採食効率が低下するため、リターの分解が制限される（Webster and Waide, 1982; Lecerf and Richardson, 2010; Nadai-Monoury et al., 2014）。さらに、産卵床を作り、親魚がそれを保護しない（細粒土砂を除去しない）魚種では、溪畔林の減少に伴う細粒土砂の堆積の影響を顕著に受けるという（Jones et al., 1999）。これらのように、森林は斜面からの土砂流出を抑えることによって、溪流の生物群集に寄与している。

溪流の物理的環境は、斜面から供給される土砂とその堆積に加え、水流による運搬と侵食という水理作用によって形成される。溪畔林の根系は溪岸の侵食を抑制し、また水衝部を形成することによって、流路の蛇行や淵の形成に寄与する。また、流路に供給される倒流木は、水流をせき止め、その上流側に淵を形成し土砂や粗粒有機物を堆積させ、また下流側には落差や瀬あるいはステップ（階段状河床）といった溪床構造を形成する要因となる（Frissell et al., 1986）。これらの作用によって形成される溪床材料や水理条件の変異が大きい環境は、多様な底生動物の生息に貢献し（Hilderbrand et al., 1997; Lemly and Hilderbrand 2000）、また倒流木によって形成される淵は、魚類の生息量を増大させる（Elliott, 1986; Fausch and Northcote, 1992; Inoue and Nakano, 2001）。さらには、溪畔における樹木によって水深や流路幅が保持され、底生動物や魚類の生息量が保持されることが示されている（Sweeny et al., 2004）。

・栄養プロセス

森林から直接落下あるいは斜面からの移動によってさまざまな形態の有機物が溪流に供給され、溪流の食物連鎖に取り込まれる。その有機物の形態は、倒流木、粒状有機物、溶存有機物、陸生昆虫に区分することができる（Richardson et al., 2005）。これらのうち、溪流の一次消費者に直接取り込まれ主要な溪流生態系のエネルギー源となるのは粒状有機物や溶存有機物である。粒状有機物は粗粒有機物（粒径 $>1\text{mm}$ ）、細粒有機物（ $0.45\ \mu\text{m}\sim 1\text{mm}$ ）に分類され、細粒有機物より小さい粒径のものが溶存有機物と呼ばれる（Wotton, 1990）。落葉として供給された粗粒有機物は、底生動物のうち破碎食者の餌となり（Cummins, 1973）、また細粒有機物は流水中で濾し取られることによって濾過食者（collector-filterer）に、あるいは堆積物中で集られることによって収集食者に摂食される（Cummins 1973）。溶存有機物についても、流水中で濾し取られることによって、濾過食者などの底生動物に対して栄養的に寄与することが指摘されている（Wotton, 1990）。そして、これらの一次消費者は捕食者の餌となるため、森林由来の有機物（とくに落葉）は腐食連鎖が卓越する溪流の主要な栄養・エネルギー源となっている（Wallace et al., 1997）。一方で、溶存態有機物は地下水とともに溪流に供給され、微細ながらも流下する有機物のなかで非常に高い割合を占めるといふ指摘がある（Kiffney et al., 2000）。さらに、溪床に形成されるバクテリアや藻類などを含んだ生物膜（biofilm）の発達には、この溶存態有機物濃度が大きく寄与することが指摘されている（Wilson et al., 2013）。そして、溪畔林からの落下供給あるいは溪畔の林床から供給される陸生昆虫は、魚類の餌資源として大きな割合を占めうるということが報告されており（例えば、Cloe and Garman, 1996; Nakano et al., 1999; Sato et al., 2011）、森林から溪流へのエネルギー供給の重要な経路のひとつとして位置付けられる。

・微気候プロセス

樹林による溪流への日射の遮断や林内の微気候の調整も溪流の生物に影響している。溪流は夏期においても低水温に保たれる。これは地下水温の低さによるものであるが、流下する過程での水温上昇の抑制において、溪畔の樹林による日射の遮断が大きな役割を果たしている（例えば、中村・

百海, 1989; Johnson and Jones, 2000; Sugimoto et al., 2001)。そしてこのことが低水温を必要とするサケ科魚類の成長や分布範囲に影響することが知られている (佐藤ら, 2001; Broadmeadow et al., 2011; Imholt et al., 2013)。さらに、溪流内だけでなく溪流上や溪畔における気温上昇の抑制や湿度の保持においても森林の寄与が重要である (例えば、Welsh et al., 2005)。このことは、成虫期における集団飛翔を行うカゲロウ目やトビケラ目、双翅目といった水生昆虫の活動性や繁殖の成功度に寄与することが指摘されている (Brier and Gee, 2004)。さらに、林内では成虫期の分散においてその範囲が広く、また高い分散率が見られることから、森林によって低い気温や高い湿度が保持されることの重要性が指摘されている (Petersen et al., 2004)。

②森林の有無や伐採の影響による森林の効果の検証事例

これまで、森林が溪流環境に作用するさまざまなプロセスと生物群集に与える効果が提示されてきたが、その包括的な効果については、森林伐採の有無や森林被覆率の差異によって検証されてきた。これらの研究は、集水域内すべての被覆率 (伐採率) を扱ったものと溪流から斜面に向かって一定距離を溪畔としその範囲内を扱ったものという大きく2つのアプローチに分けることができる。それぞれのアプローチごとに溪流生物群集の主要な分類群である魚類と底生無脊椎動物について、農地や宅地などの土地利用が含まれない森林流域での事例をまとめた。

・集水域の森林被覆と魚類

魚類に対する集水域スケールの森林の効果として、サケ科魚類であるブラントラウトについて伐採下で密度が少なく (Davies and Nelson, 1994)、また森林被覆が大きいほど密度が高い (Jutila et al., 2001) ことや、同様にサケ科魚類のレインボートラウトについて伐採後に生残率が低下したことが報告されている (Rinne, 1996)。また Eikaas et al. (2005) は湧水性の魚類であるコアロ (ガラクシアス科) という種に対し、出現確率は森林率の高さと関連があることが見出されている。しかしこのような効果が見られる一方で、サケ科のブルックトラウトの生息密度に対しては、伐採後の経過年数が大きい (林齢が高い) ほど、低くなることが報告されている (Flaspohler et al., 2002; Nislow and Lowe, 2003; Nislow and Lowe, 2006)。

・溪畔の森林被覆と魚類

溪畔における森林の効果は、溪畔の森林率はサクラマス (Inoue and Nakano, 2001; 阿部, 2007) やカジカ科 (Jones et al., 1999) の生息密度に対し、正の効果があったことが示されている。しかし、サケ科であるカットスロートトラウト (Murphy and Hall, 1981) やレインボートラウト (Mellina et al., 2005)、アマゴ (Inoue et al., 2013) について、溪畔の森林の有無による現存量や生息密度の差異が検出されなかった報告がある。

・集水域の森林被覆と底生動物

底生動物と森林被覆の関係では、種数や種多様性、個体数に対し伐採による負の効果 (Collier and Bowman, 2003; Martel et al., 2007; Zhang et al., 2009) あるいは山火事による負の効果 (Mellon et al., 2008) が報告されている。その一方で、伐採による正の効果 (Silsbee and Larson, 1983; Danehy et al., 2007; Smith et al., 2009) や変化が検出されない事例も報告されている (Herlihy et al., 2005; Binckley et al., 2010)。伐採による種組成への影響としては、分類群別にはユスリカ科の増加 (Collier and Bowman, 2003; Danehy et al., 2007; Martel et al., 2007; Mellon et al., 2008)、コカゲロウ属の増加 (Stone and Wallace, 1998)、EPT (カゲロウ目、カワゲラ目、トビケラ目の総称) の減少 (Flaspohler et al., 2002; Davies et al., 2016) などが報告されている。摂食機能群では、破碎食者の減少 (Stone and Wallace, 1998; Nislow and Lowe, 2006; Smith et al., 2009; Zhang et al., 2009; Lecerf and Richardson, 2010) と収集食者の増加 (Nislow and Lowe, 2006; Smith et al., 2009) や刈取食者の増加 (Stone and Wallace, 1998) を主な傾向として挙げるができる。

・溪畔の森林被覆と底生動物

また、溪畔林被覆の効果としては、底生動物全体の生息量に対し正の効果 (Jyväsjärvi et al., 2014) や、負の効果 (布川・井上, 1999; Fuchs et al., 2003; 森ら, 2005; Wilkerson et al., 2010)

の報告がある。また種構成については、溪畔林の消失下における破碎食者の減少 (Cole et al., 2003) と収集食者の増加 (布川・井上, 1999; Cole et al., 2003)、そして刈取食者など藻類食者の増加が報告されている (Sweeny, 1993; 森ら, 2005)。また、底生動物の捕食者についても溪畔林の被覆が小さい多くなることが見出されている (布川・井上, 1999; 森ら, 2005)。

以上のように森林が溪流の生物群集に及ぼす影響は、底生動物に対しては破碎食者の減少や収集食者の増加、藻類食者の増加など一定の傾向が見られるものの、魚類や底生動物全体の生息量については正負両面の効果が報告されている。実際に、サケ科魚類に対する伐採の効果に対して、過去の調査事例をメタ分析によって検証した Mellina and Hinch (2009) は、生息密度や現存量に対して伐採後に減少する傾向を示したが、その影響は種によって差が大きいことを報告している。さらに、同様に底生動物について森林伐採の影響を検討した Richardson and Beraud (2014) は、底生動物の個体数密度が上昇することが示されているものの、その他の現存量や種数、種組成 (EPT の割合や破碎食者の割合) についての傾向が見出せなかったことを報告している。これらの報告からも、実際に森林が水生生物に与える影響は、より状況依存的に作用することが示唆され、その作用プロセスに着目して森林と溪流環境や生物群集との関係を理解する必要がある。そこで、森林から溪流への物質供給過程、溪流食物網の形成過程、そして森林攪乱に伴う溪流の攪乱様式の点から、森林が溪流生物群集に作用する機構について整理した (別紙)。

③針葉樹人工林の影響とシカによる林床植生の過採食の影響

・針葉樹人工林の影響

スギ林流域では、落葉広葉樹流域に対し底生動物の個体数密度や種数は少なくなく (Yoshimura and Maeto, 2006; Yoshimura, 2007, Sakai et al., 2013; 小林ら, 2014)、オオカクツツトビケラ *Lepidostoma crassicorne* やフサオナシカワゲラ属 *Nemoura* が特に豊富であることが報告されている (Sakai et al., 2013; 小林ら, 2014)。同時に、スギ林流域においてリター被度が高いことや細粒土砂被度が高いことが示され (Sakai et al., 2013)、スギリターの溪流中における残留・集積しやすさや、よどみの形成されやすさや安定して餌が残留・供給されるためであるとされている (小林ら, 2014)。そして、落葉広葉樹流域では落葉期 (秋期から冬期) における落葉供給量が多いものの、分解・流出が早いため春期から夏期にかけての残存量はむしろ針葉樹流域より少なくなる。この動態に合わせて破碎食者は落葉期に増加するがその流出・分解に伴って減少するという変動が顕著である (Hisabae et al., 2011; Inoue et al., 2012)。さらに、スギリターの集積と残留により広葉樹リターなどの粒状有機物が滞留・捕捉しやすくなることで、破碎食者や収集食者が増加することが報告されている (Inoue et al., 2012)。

針葉樹の葉は、エネルギー・栄養源として質的にも溪流生物群集に影響する。破碎食者にとって摂食する葉の選択性は、硬さや栄養組成、葉に含まれる二次的な化合物 (タンニンやリグニンなどのポリフェノール) によって決まる (Graça, 2001)。スギの葉は一般に落葉広葉樹の葉に比べ、硬く、栄養分含有率が低く (C/N 比が高い) (Hisabae et al., 2011)、また多くポリフェノールを含む (Ono et al., 2011)。このため破碎食者による摂食 (分解) 効率はフサザクラの葉に対し 1/5 から 1/7 程度低いことが報告されている (Hisabae et al., 2011)。しかし、トウヒ林などの針葉樹溪流とブナなどの落葉広葉樹溪流において、リターに付着した糸状菌類の密度は、トウヒ林溪流で高かったことが報告されている (Laitung et al., 2002)。リターへの菌類の付着は、それ自体が分解を促進させるばかりでなく、破碎食者による摂食を促進させるため (Cummins, 1974)、針葉樹リターの摂食が可能な種群に対しては、必ずしも負の影響を及ぼすわけではない。さらに、スギ林の溪流における生物群集の安定同位体分析では、スギリターを起源として二次的な消費者である収集食者やその上位の底生動物や魚類の捕食者が存在することが示されている (Sakai et al., 2015; Sakai et al., 2016)。このため、落葉広葉樹に代わってスギリターが供給されることは、溪流の腐食連鎖を単純に劣化させるわけではないことを示している。

しかし一方で、魚類に対する森林からの陸生昆虫の供給による補償については、広葉樹の溪流と比較してアマゴの現存量が小さかったことと同時に、森林からの落下陸生昆虫量が 1/2 から 1/4 ほど

であることが示され、陸生昆虫の供給量減少の点から魚類に負の影響を与えることが指摘されている (Inoue et al., 2013)。

②シカによる林床植生の衰退の影響

シカによる過採食の影響を受けた林床では、林床が裸地化しやすく細粒土砂が発生しやすいことが知られる。この細粒土砂が溪床に堆積することによって、源流の細粒の溪床を好む掘潜型の種群が増加することや礫を好む匍匐型の種群が減少すること、また収集食者の増加し濾過食者の減少することが報告されている (Sakai et al., 2012)。斜面から流出した細粒土砂は掃流力が弱い源流では堆積するが、物質の運搬が水流の強さによって規定される二次河川では、源流で見られたような底生動物群集への影響は見られない (Sakai et al., 2013)。しかし、浮遊土砂の流下は、藻類による一次生産が相対的に消費者群集にとって重要となるその下流では、水流の強さと相まってせん断応力が高くなるため、剥離される付着藻類の増加および藻類食者の減少、そして造網型の底生動物の減少、そして高次の捕食者への影響が懸念されている (境, 2014)。

(8) 課題

森林と溪流の水生生物の関係は立地や調査の設定条件に敏感であることから、森林操作による効果の検証のためには、これまでの事例で得られた知見を基にした仮説の設定と、同時に森林から溪流へ波及するプロセスを明示的に検証することが必要である。このため、源流における効果検証においては、針葉樹林の間伐に対してはリターの動態や溪床の物理的構造、シカの防除に対しては細粒土砂の動態と関連付けた底生動物の応答を把握していく必要がある。

(9) 成果の公表

なし

- (2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
- (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
- B. 対照流域法による総合モニタリング

- (1) 課題名 Bi. 水生生物調査(統合解析)
- (2) 研究期間 平成19~28年度
- (3) 予算区分 県単(水源特別会計:森林環境調査)
- (4) 担当者 西口孝雄・内山佳美・大平 充

(5) 目的

かながわ水源環境保全・再生実行5か年計画に基づく本研究課題は、森林整備などの事業効果を検証するための時系列データの取得を目的とし、県内に設けた試験流域において対照流域法等の手法を用いて流域スケールのモニタリング調査を行う。その実施方法は、森林整備などの操作を行う前に、実験流域と対照流域の自然条件についての類似性や各々の特色について現状での流域特性として把握し、森林の操作後に追跡調査を行うものである。一般に、森林整備等の実施による森林の状態の変化は、下流への水や土砂の流出に影響し、さらにそれが溪流環境とそこに生息する水生生物の変化に影響すると予想されるため、本モニタリング調査の一環として水生生物調査を行う。

(6) 方法

平成26年度までに、4試験地(貝沢、大洞沢、ヌタノ沢、フチヂリ沢)の流域における付着藻類および底生動物についての事前モニタリングが終了している。このデータから、各流域の生物相の現状を把握することと、どのような要因が生物相の差異に影響しているかを検討することによって、流域特性と生物相の関係を明らかにすることを目的とした。

①流域特性の整理

それぞれの流域の自然条件を表す指標値として、各流域の地形的特性(平均流域幅、形状係数、平均斜面勾配、平均流路勾配)、集水域の林相(スギ林率、ヒノキ林率、落葉広葉樹率)、シカ密度(当該エリアのシカ糞塊密度)、および調査地点のその他の特性として降水量、標高、集水面積を用いた。値の取得には、地形的特性と林相、標高、集水面積はArcGISを用いて算出した。なお、これらの算出に関しては、観測流域として設定されているものではなく、その内部の採集地点(表-1)のものとした。またシカ密度については、糞塊密度調査により得られたデータから、それぞれの流域が含まれるメッシュ(5km四方)を選定し2007年から2012年までの値の平均値を使用した。降水量については、2013年の実測あるいは付近のアメダスデータを使用した。以上の値を、主成分分析(PCA)によって各流域を座標付けすることで、流域の特徴を検討した。

②底生動物

各流域での採集は、流域により採集地点数が異なる(1~5地点)ため、採集地点の集水面積の差が小ささを考慮して1地点を選定し(表-1)、分析に用いた。また、各流域での底生動物の採集は定性採集により行われたため、生息数の比較は難しいこと、また流域間で共通する種が少なかったことから、底生動物を摂食機能群(採餌するもの、採餌の仕方による分類)、生活型(生息場所、行動様式による分類)、化性(羽化する頻度、世代時間の長さによる分類)によって区分し、それぞれの流域の底生動物群集の構成を比較した。

そして、高い相関を持つ変数間(相関係数0.8以上)のうち片方を除去したのち、PCAに対応した直接傾度分析である冗長性分析(RDA)を用いて、底生無脊椎動物の構成比を座標付けし各流域の種組成の傾向を、またそれと関連が強い流域特性に関する変数をGLMによるAICを用いたモデル選択により検討した。この際、シカ密度、流域平均幅、落葉広葉樹林率、標高間で高い相関(相関係数>0.8)があったため、シカ密度をこれらの変数の代表とした。

③付着藻類

底生動物と同様に各流域で1地点を選定し(表-1)、分析に用いた。付着藻類量を表す値として

細胞数を用いた。また、付着藻類においても流域間で共通する種が少なかったため、汚濁耐性の有無、群体性と単細胞性に分類し、細胞数およびその構成比を比較した。

(7) 結果の概要

主な結果は以下の通りである。

①流域特性の整理

PCAによって各流域の座標付けとそれを特徴付ける各要因の影響の強さ（因子負荷量）を検討した結果、第一に各流域を特徴付ける第一主成分（PC1）に寄与した要因群は、平均流域幅、形状係数、スギ林率（以上正の負荷）、標高、シカ密度、落葉広葉樹林率（以上負の負荷）となった（図-1）。各試験地と関連付けると、貝沢、フチヂリ沢、大洞沢、ヌタノ沢の順に平均流域幅、形状係数、スギ林率が大きく、またこの順に標高、シカ密度、落葉広葉樹林率が小さいという傾向が把握された（図-1）。

表-1 各流域の地域・流域の特性

試験地	流域	降水量 (mm)	標高 (m)	集水面積 (ha)	流域平均幅	形状係数	平均斜面勾配	平均流路勾配	シカ密度 (糞塊密度)	スギ林率	ヒノキ林率	落葉広葉樹率
貝沢	No.1	1587	382	6.7	0.50	3.01	0.56	0.18		0.63	0.16	0.21
	No.2	1587	384	9.2	0.38	2.05	0.60	0.30	0.07	0.75	0.13	0.13
	No.3	1587	370	14.9	0.51	1.73	0.62	0.22		0.85	0.15	0.00
大洞沢	No.3	2572	469	7	0.24	0.79	0.65	0.32	12.25	0.47	0.35	0.18
	No.4	2572	505	5	0.26	1.12	0.56	0.41		0.09	0.45	0.46
ヌタノ沢	A沢	1948	592	2.8	0.15	0.20	0.62	0.23	26.53	0.10	0.05	0.84
	B沢	1948	565	2.9	0.18	0.24	0.57	0.26		0.00	0.21	0.77
フチヂリ沢	フチヂリ沢	2277	551	23.4	0.32	0.67	0.49	0.30	2.70	0.26	0.47	0.18
	クラミ沢	2277	565	15.5	0.31	0.42	0.46	0.16		0.36	0.16	0.34

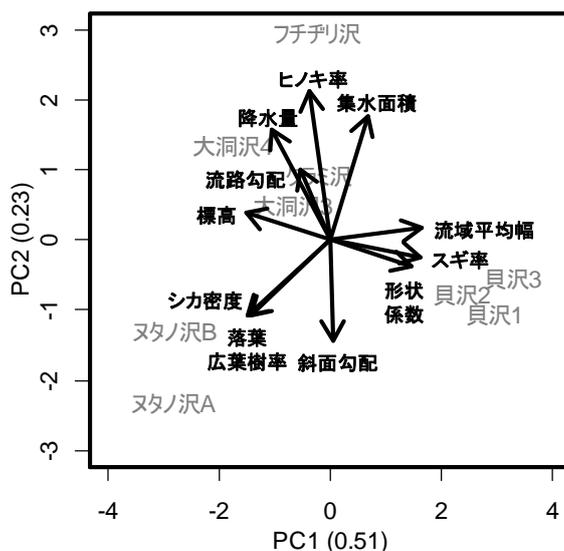


図-1 主成分分析による各流域の座標付け（文字の位置がスコアを表す）と流域変数の負荷（矢印）

②底生動物

RDAの結果、摂食機能群（第一軸（RDA1）による説明率 0.49）、生活型（0.43）、分類群（0.41）に対し、世代時間（0.76）の構成比の説明率が高かった（図-2）。そして、モデル選択の結果、シカ密度が有意な変数となり（ $p=0.02$ ）、1年多化（1年未満の世代時間）の種群の構成比と正の関係があった。また、シカ密度と高い相関があった流域平均幅、落葉広葉樹林率、標高をそれぞれシカ密度の代わりに用いて解析した場合も同様の結果となった。

丹沢の流域（大洞沢・ヌタノ沢）では世代時間が短い種群が優占しており（図-3）、同時に狭い流域地形（小さい流域平均幅）、落葉広葉樹林率の高さ、シカ密度の高さにより特徴付けられた。一方で、貝沢は1年1化・複数年1化（世代時間の長い）の構成比が高く、同時に広い流域地形（大きい流域平均幅）、スギ林率の高さ、シカ密度の低さにより特徴付けられた。各流域を特徴付ける

要因は互いに相関していたため、単一の要因の効果を抽出することができなかった。しかし、上記のような流域特性は、攪乱の頻度と関連する化性の構成との相関があったことから、水流出や土砂流出・移動などの頻度と関連しており、生息場の安定性が反映されたものと考えられる。

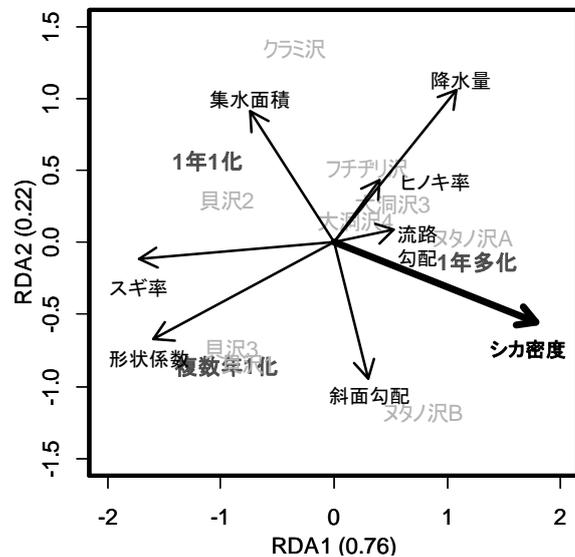


図-2 冗長性分析による世代時間の構成比の座標付け（文字の位置がスコアを表す）と流域変数の負荷（矢印）

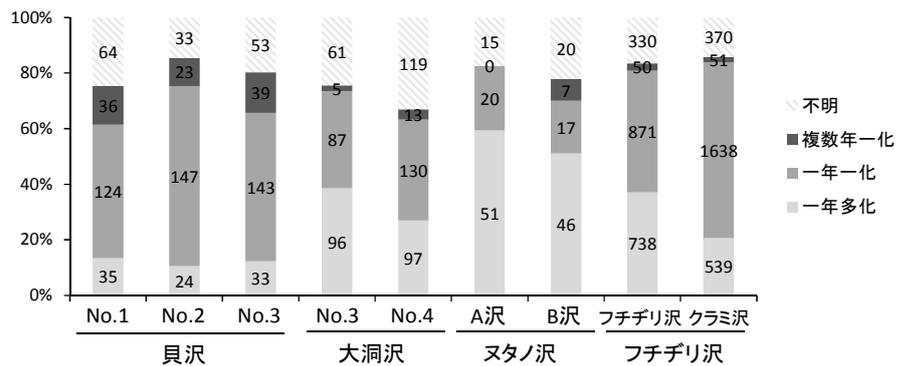


図-3 各流域の底生動物の化性の構成。バーの中の数字は個体数を表す。

② 着藻類

各流域の単位面積あたりの細胞数 (/10mm²) は、ヌタノ沢で極めて高い値を示した (図-4)。分類群や種特性別の細胞数も総細胞数の多さに伴いヌタノ沢において高い値を示した。付着藻類の生息量は、光環境による生長と流速などによる剥離しやすさに影響を受ける。ヌタノ沢には、堰堤が複数存在しているため、河床勾配が小さく緩やかな流れが形成されることが、高い細胞密度を示した要因である可能性がある。

分類群の構成については、大洞沢 No. 4 において藍藻が、フチヂリ沢において紅藻が高い比率で出現したが、その他の流域では珪藻が優占した (図-5)。珪藻のうち、汚濁耐性をもつ種群の割合は、貝沢 No. 2 で 0.002、ヌタノ沢 A 沢で 0.044、ヌタノ沢 B 沢で 0.048、クラミ沢で 0.058 となり、それ以外の流域では全く出現しなかった。このように一部の流域において汚濁耐性種群が出現したものの、総じてその割合は低かったため、汚濁耐性を用いた水流出の評価は難しい可能性がある。一方で、群体性の種群の細胞数の割合は、ヌタノ沢や大洞沢において高くなる傾向があった (図-6)。今後この要因を解析することにより、流域特性との関連を見出すことが可能であると考えられる。

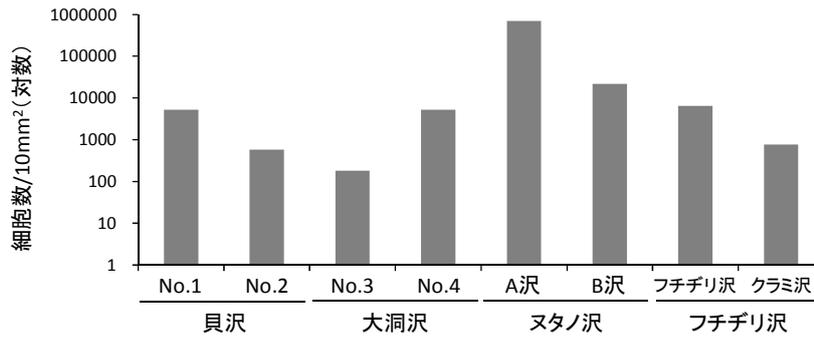


図-4 各流域の付着藻類の細胞数

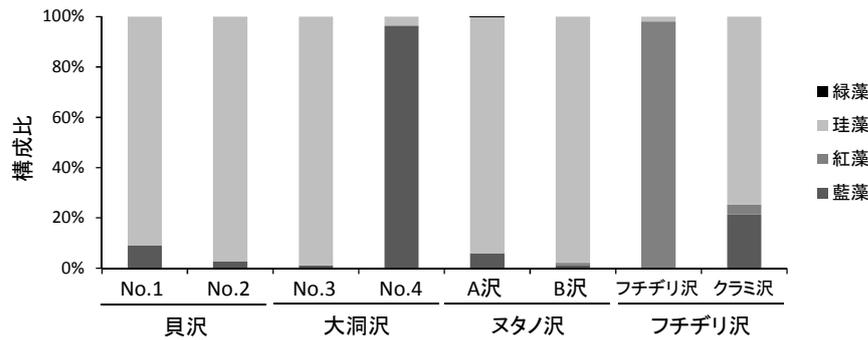


図-5 各流域の付着藻類の緑藻、珪藻、紅藻、藍藻の細胞数の割合

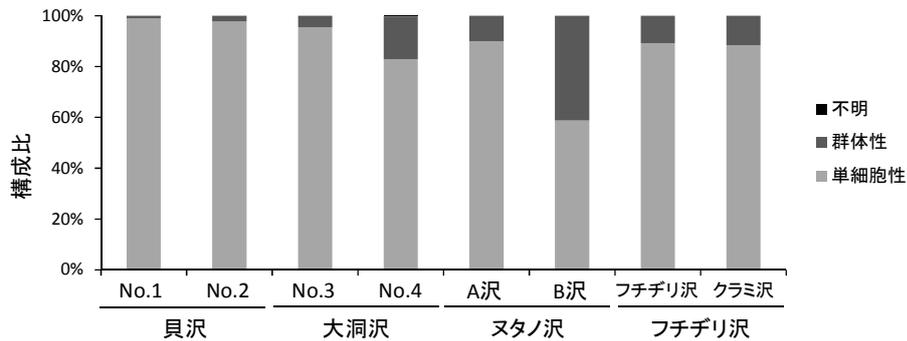


図-6 各流域の珪藻における群体性と単細胞性の細胞数の割合

(8) 課題

・流域特性の把握

流域の地形や林相、シカ密度から流域の特性を整理したが、これらの集水域の特性と直接的に水生生物に影響する溪流への流出や溪流内の環境と関連付けていくことが必要である。

また、地形や林相、シカ密度は、地域的な地史や土地利用と関連していると考えられる。このため、対照流域の周囲の流域も含めた整理を行うことによって、より各試験地の位置付けを明確にする必要がある。

・底生動物

実際の水や土砂の流出と底生動物の関連を検証することで、解析の結果の妥当性を検討することに加え、森林操作による水や土砂の流出の変化との関連を検証するための調査手法を検討する。

・付着藻類

解析によって種組成の特徴と流域特性との関連を検討する。

(9) 成果の公表

なし

- (2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
- (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
- B. 対照流域法による総合モニタリング

- (1) 課題名 **Bj. 水生生物調査（モニタリング基礎調査）**
- (2) 研究期間 **平成 19～28 年度**
- (3) 予算区分 **県単（水源特別会計：森林環境調査）**
- (4) 担当者 **西口孝雄・内山佳美・大平 充**

(5) 目的

かながわ水源環境保全・再生実行 5 か年計画に基づく本研究課題は、森林整備などの事業効果を検証するための時系列データの取得を目的とし、県内に設けた試験流域において対照流域法等の手法を用いて流域スケールのモニタリング調査を行う。その実施方法は、森林整備などの操作を行う前に、実験流域と対照流域の自然条件についての類似性及び各々の特色について現状での流域特性として把握し、森林の操作後に追跡調査を行うものである。一般に、森林整備等の実施による森林の状態の変化は、下流への水や土砂の流出に影響し、さらにそれが溪流環境とそこに生息する水生生物の変化に影響すると予想されるため、本モニタリング調査の一環として水生生物調査を行う。

(6) 方法

試験流域に生息する水生動物のうち広く中下流河川にも生息するものもあることから、今後の水系全体での検討に先立ち、以下の種について基礎調査として地域個体群の遺伝子解析を行った。神奈川県工科大学への委託により実施した（詳細は、委託報告書参照）。

河川に生息する水生動物について、遺伝的構造の解析を目的に調査を進めた。このうち、mtDNA D ループ領域の変異の解析は、核 DNA よりも早い速度で変異を起こす領域であり、比較的短い進化時間の中で生じた DNA の置換や挿入・欠損を測る事で個体差を確認する事が可能となる。

・ホトケドジョウ

ホトケドジョウはミトコンドリア DNA (mtDNA) の解析研究によって全国規模における遺伝的構造が明らかにされており、大きく 6 つの集団に分類される。神奈川県では特に相模川以西については、生息は確認されているものの遺伝的バックグラウンドについては、詳細な検討はなされていない。そこで、本研究では厚木市内で相模川の西側に位置する支流である、玉川および荻野川で採集された 10 匹に加え、荻野川水系（図 1a）で採集された 69 匹と、玉川水系（図 1b）から得られた 38 匹の、合計 107 匹のホトケドジョウを用いて mtDNA D ループ領域の変異の解析を行った。

・シロタニガワカゲロウ

実際の解析に先立ち、幼虫を用いた遺伝的多様性の解析方法について検討を行った。

(7) 結果の概要

主な結果は以下の通りである（詳細は、委託報告書参照）

・ホトケドジョウ

今回採集したホトケドジョウは、南関東集団のサブクレード A に属することがわかった。

サブクレード A はさらに 3 集団に分けることができ、既知のハプロタイプである AB251868（神奈川県相模川）、AB177706（静岡県沼津）と同一のクレードに属する集団、AB102839（神奈川県座間）、JQ410385（神奈川県境川）が属する集団と、それ以外の集団であった（図-1）。

ハプロタイプネットワーク解析の結果、厚木市内のホトケドジョウは「荻野・真弓系列」および「玉、恩曾系列」に分類される。今回、山梨県忍野で採集されたハプロタイプは、静岡県沼津で採取された個体ハプロタイプにきわめて近いことが明らかとなった。これと同じクレードを形成する個体が玉川と荻野川から見出された。これらの関連は現時点では議論することはきわめて難しいが、過去には山梨に産を發するホトケドジョウが起源であることなどが推定される。

「荻野・真弓系列」および「玉・恩曾系列」に共通のハプロタイプが存在する。真弓川は荻野川の支流であり、これらの相互の遺伝子の流入は可能であるが、恩曾川は真弓川、荻野川とは地理的には距離は近いが、交互の遺伝子の流入は現在では相模川を下降し、また玉川を上昇する過程を経るため容易ではない。過去に、この水平伝搬を可能とする河川争奪等のイベントがあったことが推察される。

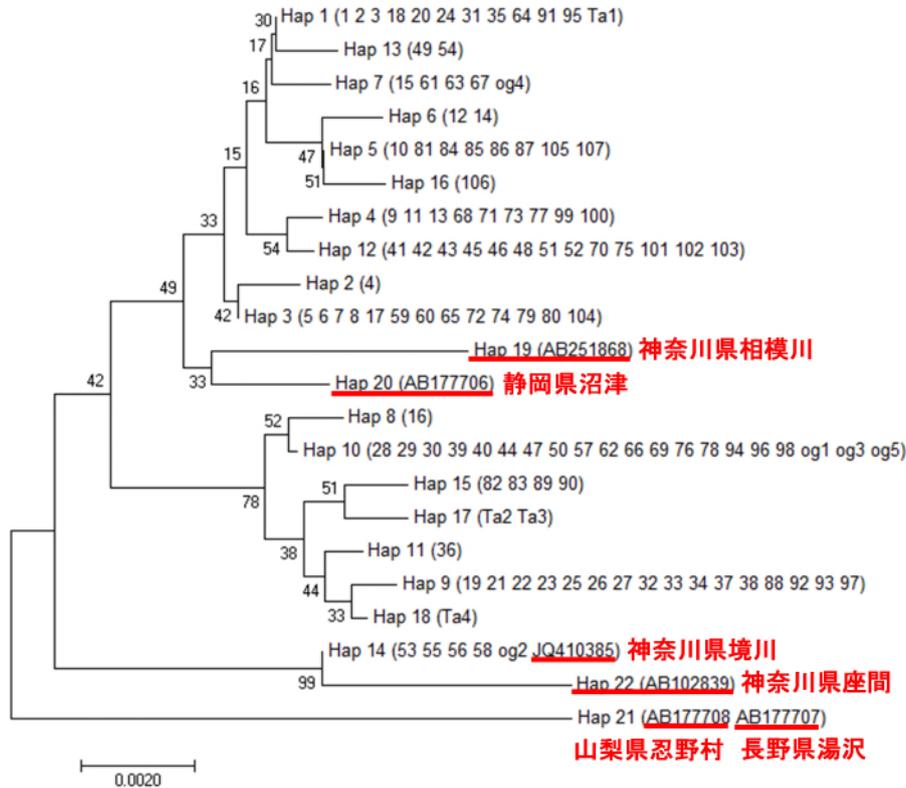


図-1 近隣接合法により作成したハプロタイプの系統樹(数字はブートストラップ分岐確率(%))。括弧内の数字は、今回採取されたホトケドジョウの検体番号。

・シロタニガワカゲロウ

①フェノクロ法により、DNAを抽出する。②精製後COI遺伝子のバーコード領域および、保存性の高い16SrRNA遺伝子あるいはNADH(ND5)遺伝子をPCR法で増幅する。③増幅産物を精製後、X-Terminator Cycle Sequence Kitでシーケンス反応、シーケンサで配列を決定する。④シーケンスデータは、アライメント後系統解析する。以上の解析方法について検討を行った。

(8) 課題

・ホトケドジョウ

局所的に同一のハプロタイプのものが、相模川を挟んで兩岸の谷戸で観察されることが分かった。これは、今回観察された荻野川や玉川で見られる遺伝子変異の多様性を比べるとかなり特異である。現在の相模川の地理的な形成の歴史的背景を十分に検討する必要がある。

ホトケドジョウは、今回分析した地域を含め、丹沢及びその周辺地域に分布が確認されている。これらの地域の解析を増やすことにより、神奈川県内に生息する本種の遺伝子構造が明らかになる。

・シロタニガワカゲロウ

本種は県内の水系に広く分布するため、広域の採集と解析による遺伝子構造を明らかにする。

(9) 成果の公表

なし

- (2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
 - (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
 - B. 対照流域法による総合モニタリング

- (1) 課題名 Bk. 水循環モデルによる解析
- (2) 研究期間 平成 19～28 年度
- (3) 予算区分 県単（水源特別会計：森林環境調査）
- (4) 担当者 西口孝雄・内山佳美・横山尚秀

(5) 目的

「第2期かながわ水源環境保全・再生実行5か年計画（平成24～28年度）」にかかる森林環境調査の一環として、これまでに開発を行った水循環モデル（広域モデル3地域、試験流域モデル4ヶ所※）を用いて、現地モニタリングデータと比較してモデルの再現性の検証を行うとともに、水源環境保全・再生施策におけるダム上流等の広域または各試験流域の事業実施効果予測解析を行う。

本年度は、ヌタノ沢試験流域モデルを用いて、最新の現地調査結果を踏まえて事業効果予測解析を行うとともに、業務の過程において現地調査結果のモデルへの反映方法等の検討を行う。

※広域モデル：宮ヶ瀬上流域モデル、相模川流域モデル、酒匂川流域モデル

試験流域モデル：大洞沢モデル、貝沢モデル、ヌタノ沢モデル、フチヂリ沢モデル

(6) 方法

本業務は、株式会社地圏環境テクノロジーが受託し、以下の業務を実施した。

①試験流域モデル（ヌタノ沢モデル）による事業効果の推定

ヌタノ沢試験流域における現地モニタリング調査による事業効果検証に先行し、水循環モデルを用いて事業効果予測の試算を行った。試算にあたって、平成25年度に改良したヌタノ沢試験流域モデルを元に、現地調査によって明らかになりつつある表土層等の詳細な分布の反映方法、さらには事業実施による今後の植生や土壌等の長期変化の考慮の方法を検討した。

②水循環モデル解析システムの更新

上記の試算によって新たに改良された水循環モデル（ヌタノ沢モデル）を自然環境保全センター所有の計算機で使用できるようにデータを整備した。

(7) 結果の概要

主な業務成果は次のとおり。（その他は、委託業務報告書参照）

①試験流域モデル（ヌタノ沢モデル）による事業効果の推定

実際のヌタノ沢試験流域における検証調査と同様に、A沢を植生保護柵で囲みシカを排除することによって植生が回復し土壌の浸透能が向上することを想定した。すなわちモデルにおいては林床・下層植生と表土層・根圏に関する主なパラメータ（粗度係数、林床貯留率、林床貯留容量、被度、透水係数）の変化を想定した。具体的には、現地調査データによる植生被度6段階区分と土壌厚分布5段階区分と、現地観察による植生回復傾向（斜面が安定し土壌が厚い箇所では下層植生の回復が比較的良好であることなど）を踏まえて対策前（ケース2）と対策後（ケース3）のパラメータを設定した。

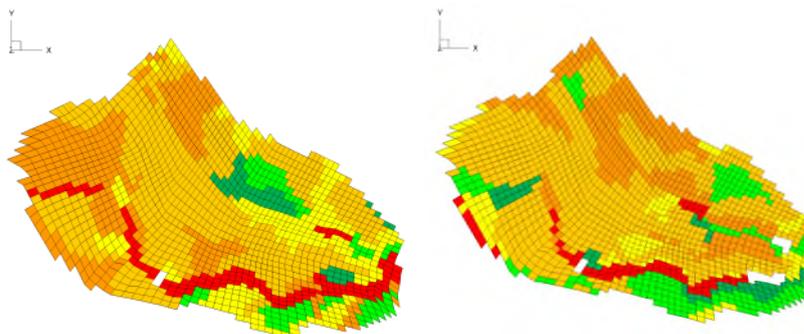


図-1 試験流域内の林床被覆レベル分布のモデルへの組み込み結果左：2012年9月 右：2015年9月

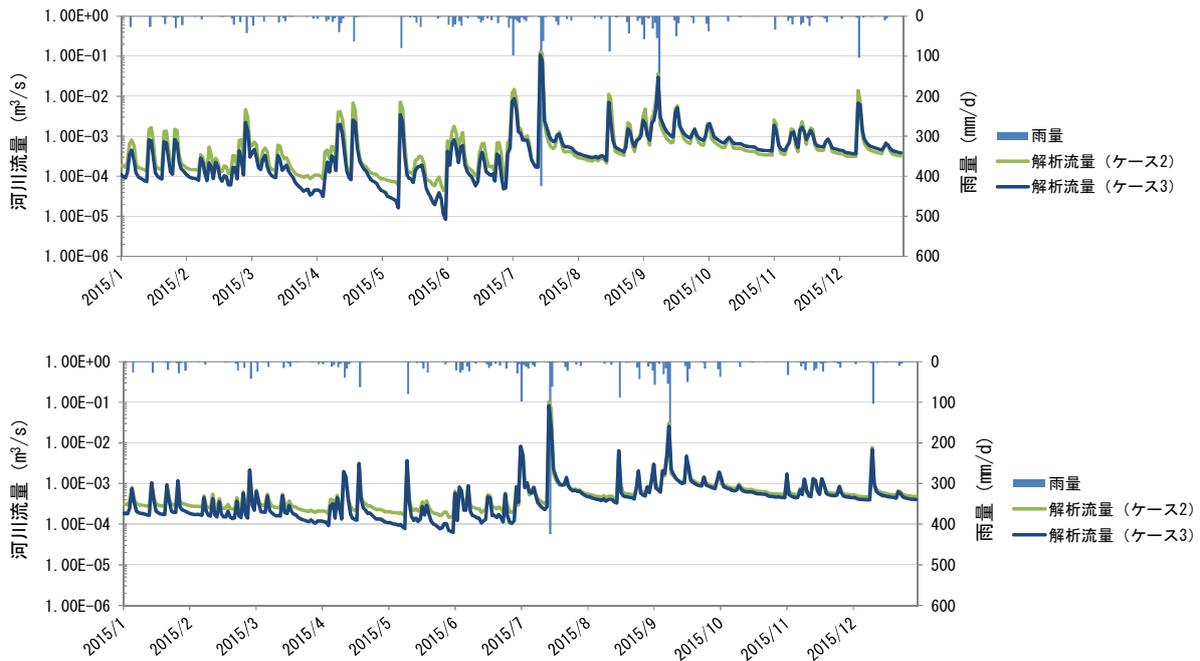


図-2 対策前（ケース 2）と対策後（ケース 3）の流量比較 上：A 沢 下：B 沢

図 2 に示した解析結果では、特に基底流出に着目すると解析年の前半はケース 2 よりケース 3 の流量が大きく後半は逆転する傾向がみられた。これは、下層植生の回復を想定して土壌の透水性の増加を考慮したケース 3 において計算上一時的に（ここでは解析年の前半）地下水水位が低下したことによるものである。また、図 2 の 12 月 15 日時点の地下水水位についてケース 2 とケース 3 の差分を示したものが図 3 であるが、試験流域内のきめ細かいパラメータ設定が計算結果にも反映していることがわかる。今回の試算によって、試験流域レベルでの細かい事業効果予測解析がある程度可能であることが確認できた。

(8) 今後の課題

- ・モデル構築の段階から活用段階になっているが、今後はさらに本格的に現地モニタリングデータが蓄積されてくることから、特に試験流域モデルでは現地モニタリング調査とモデル解析を両輪で補完的に使って検証していく仕組みを構築していく必要がある。
- ・広域のモデル解析に関しては、今後は森林整備履歴などのデータ整備の充実が望まれる。

(9) 成果の発表 なし

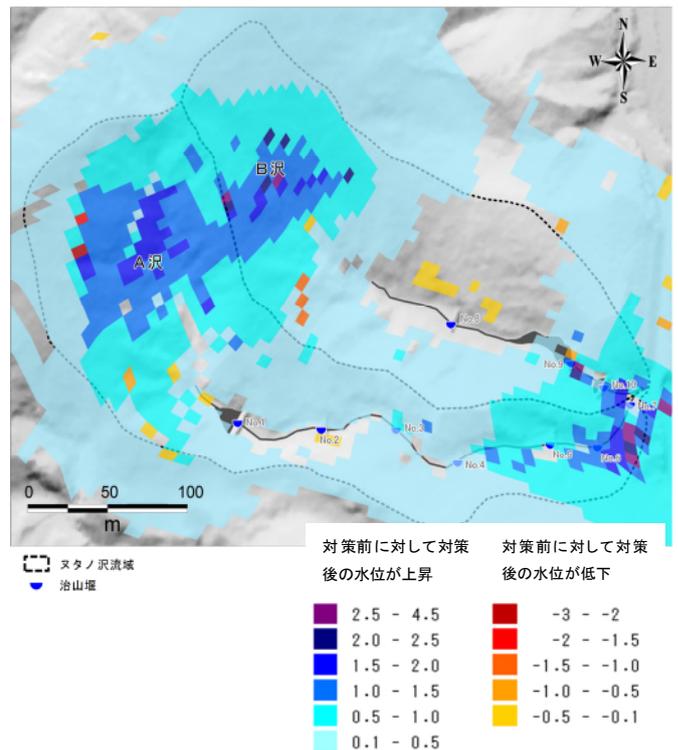


図-3 対策前（ケース 2）及び対策後（ケース 3）の地下水水位の差分（2015 年 12 月 15 日）

- (2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
- (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
- B. 対照流域法による総合モニタリング

- (1) 課題名 **BI. 水源施策の総合評価のための情報整備**
- (2) 研究期間 **平成 19～28 年度**
- (3) 予算区分 **県単（水源特別会計：森林環境調査）**
- (4) 担当者 **西口孝雄・内山佳美・雨宮 有**

(5) 目的

かながわ水源環境保全・再生実行 5 か年計画に基づく本研究課題は、対照流域法等による現地モニタリング調査による事業効果の検証、水循環モデルを用いたダム上流域等の広域の事業効果予測に加えて、施策の総合的な評価のためには個別事業とそのモニタリングのデータも活用した総合的な解析を行う必要がある。そこで、個別事業とそのモニタリングデータを収集・整備し本研究課題で得られた知見を踏まえて総合解析を行う。加えて、個別事業における GIS 業務の技術支援を行う。

(6) 方法

森林で行われる事業の総合的な評価を行うため、事業実績や各種モニタリング調査のデータを収集・整備するとともに、個別事業における GIS 業務の技術支援や施策評価関連の追加解析や作図を行った。

本業務は、高度な GIS 技術をもち、システム設計や GIS データのプログラミング、GIS 技術指導のできる派遣職員により実施した。

(7) 結果の概要

①事業実績・モニタリングのデータ整備、集計・解析

各事業部門で所有している事業実績やモニタリング調査の GIS データを収集し、解析するために必要な加工を行った。これまでに研究連携課が収集していたデータとあわせて、共通利用データとして整備し、自然環境保全センター内の共通利用サーバで公開した。

また、水源の森林づくり事業における第 3 期実行 5 か年計画の計画数量検討にあたり、GIS データを用いた解析を行い、事業部門に提供した。

また、各事業部門の GIS 利用に関して、指導・助言を行うほか、これまでに作成した各種プログラム（微地形図作成プログラム等）のメンテナンスも行った。

③施策評価に関連する各種解析や作図等

別途実施した水循環モデルによる施策評価のためのシナリオ解析の出力データを用いて、空間分布の傾向をみるために GIS 上でさらなる解析を試行的に行った。事業実績等の各種蓄積データと水循環モデルの解析結果を用いた空間分布解析や、わかりやすく説明するための図化についてある程度の目処がたち、今後取組みが可能となった。

蓄積されたデータを活用し、特別対策事業の実施箇所図（H19～25）、特別対策事業による公的管理森林の配置図、第 3 期実行 5 か年計画素案の施策対象地域図等を作成し、施策評価等の資料として活用された。

(8) 今後の課題

・今後も施策全体の進捗把握や事業効果解析、事業対象地選定等に活用するため、毎年の事業やモニタリングのデータを収集・整備していく必要がある。

・事業実績が電子データとなっていない、また電子データが保存されていても、データベース形式となっておらず（データ項目の定義が統一されていないなど）集計できないものも多い。事業の全体像の把握や事業検証のためにも、個々の事業部門任せにせず、全体としてデータ蓄積する仕組みが必要である。

- (9) 成果の発表 **なし**

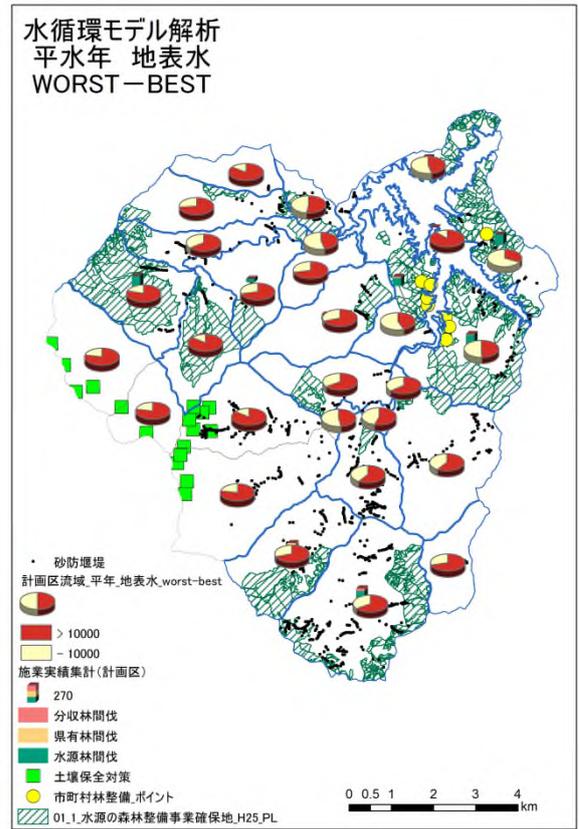
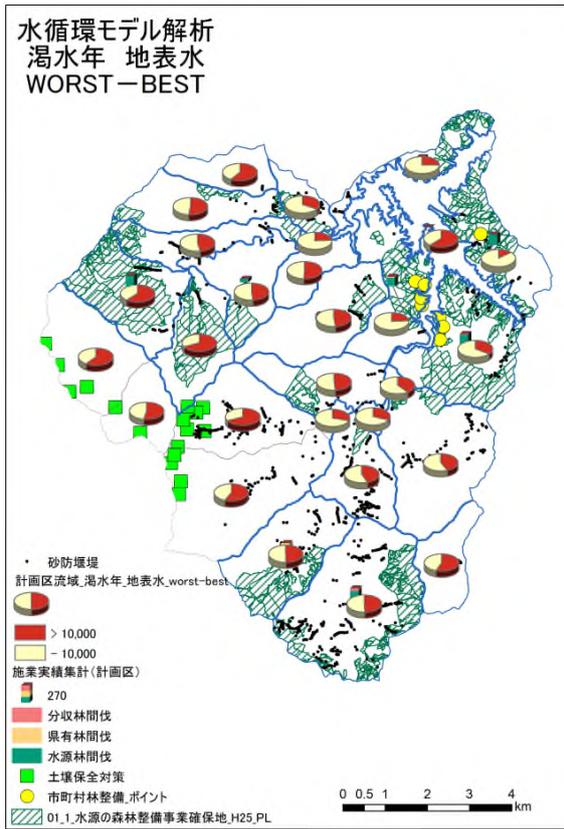


図-1 水循環モデルの解析結果と事業実績データを用いた再解析検討例

宮ヶ瀬湖上流域を対象に事業を実施した場合（下層植生回復シナリオ）と事業を実施しない場合（下層植生衰退シナリオ）の水循環モデルによる地表流発生量算出結果の差分を計画区ごとに表現（左：渇水年の場合、右：平水年の場合）

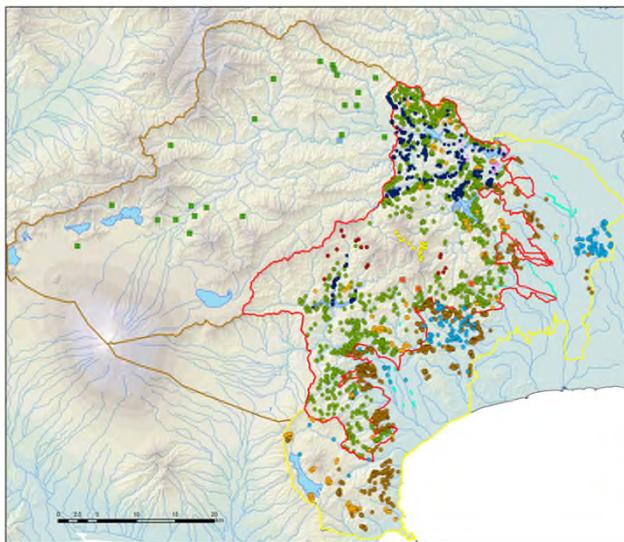


図-2 水源環境保全・再生施策の特別対策事業実施箇所（H19～25）

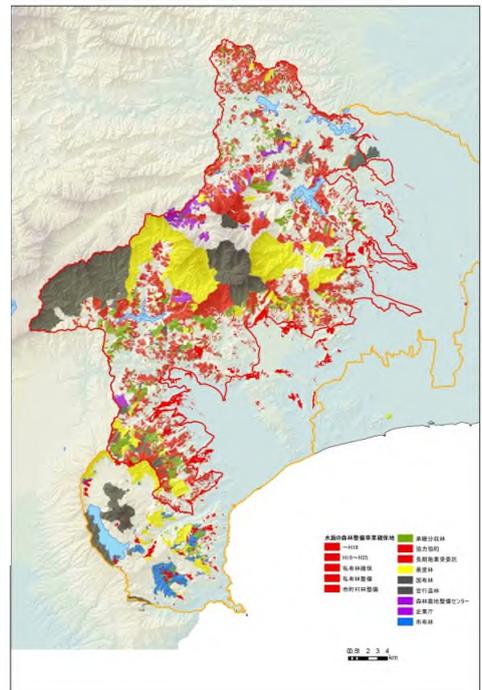


図-3 特別対策事業による公的管理森林の配置図

- (2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
- (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
- C. 水源林の整備が森林生態系に及ぼす効果把握

- (1) 課題名 総括
- (2) 研究期間 平成 25 年度～
- (3) 予算区分 水源林の整備が森林生態系に及ぼす効果把握
- (4) 担当者 田村 淳・赤嶺真由美・成瀬真理生・谷脇 徹・指村奈穂子

(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も、林分および山域スケール（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、林分単位では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を評価する（図 1）。さらに、林分単位の結果を山域全体の森林にあてはめることで、山域での森林生態系の健全性や生物多様性を総合評価する。

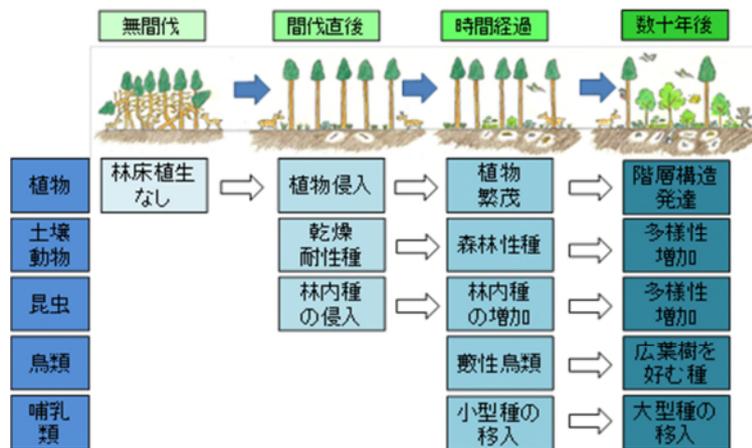


図-1 間伐に伴う林相の変化とそれに関連した生物多様性の変化モデル

(7) 方法

① 調査地の選定

地質やシカの生息状況の差異を考慮して小仏山地と箱根外輪山、丹沢山地の 3 つの山域を対象とした。各山域で水源林として確保した森林のうち主要な契約形態である「水源協定林」について、スギ林、ヒノキ林、広葉樹林の 3 林相を対象とした。広葉樹林は対照区としての扱いである。林相ごとに確保後間伐前と 1 回目の間伐からの経過時間による状態を評価するために、間伐前後の経過年数が異なるように小仏山地では 27 林分（3 林相×9）、箱根外輪山では 21 林分（スギ林とヒノキ

林各 9、広葉樹林 3)、丹沢山地では 38 林分（スギ林 14、ヒノキ林 13、広葉樹林 11）で調査した。

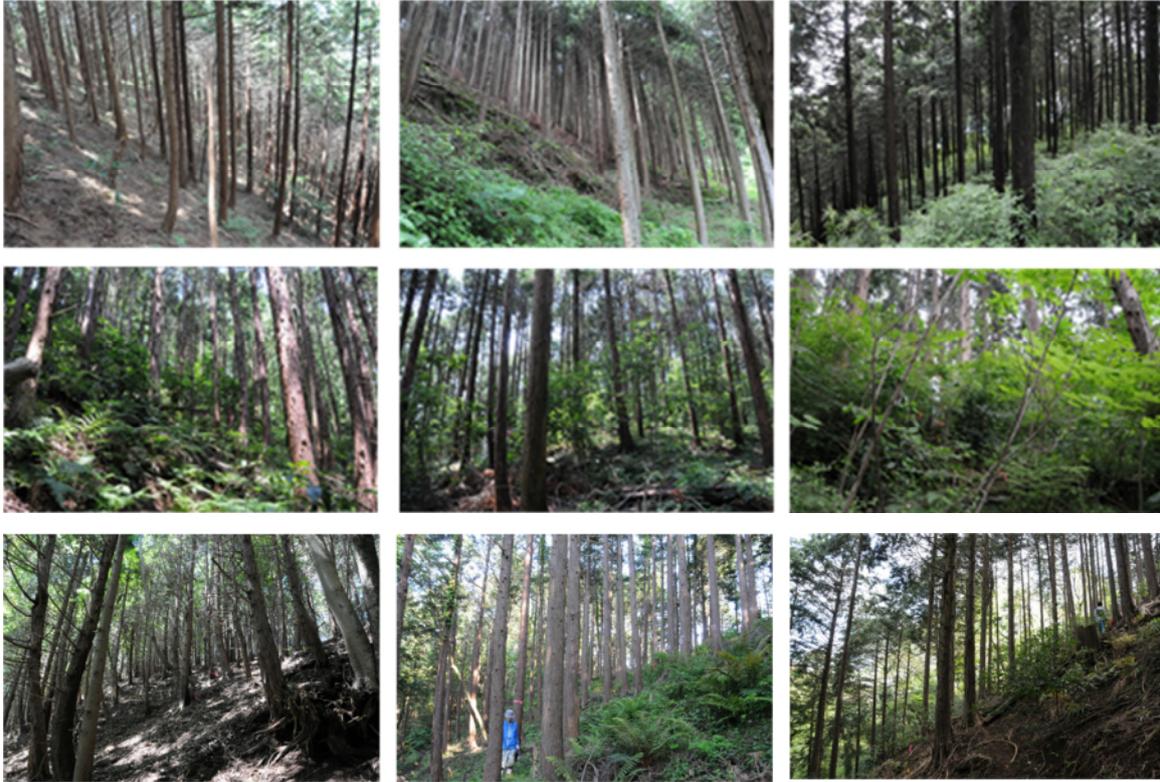


写真 小仏山地と箱根外輪山、丹沢山地のヒノキ林の調査林分例（上段：小仏山地、中段：箱根外輪山、下段：丹沢山地、左：整備前、中：整備直後、右：整備後一定時間経過）

② 事業計画

丹沢山地ではシカの高密度の状態が長く続いたことによる植物への整備効果が発現されないことがわかってきたため、シカの少ない小仏山地と箱根外輪山を先に調査することとした（表 1）。

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（クロノシーケンス）、間伐からの経過年数と各生物の多様性との関係を把握することを目標としている。第 3 期以降は同一林分で調査することで時点間の変化、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。

平成 27 年度は丹沢山地で調査した。林床植生を除く全調査を、アジア航測㈱に委託した。

表-1 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	H31	H32	H33
小仏山地		予備調査	本調査					追跡調査		
箱根外輪山			本調査		総合解析		追跡調査		補足調査	総合解析
丹沢山地				本調査				追跡調査		

(8) 結果の概要

- ・ 県内水源林における生物多様性の目録データを小仏山地、箱根外輪山、丹沢山地で取得できた。これらは今後のベースラインデータとして活用できる。
- ・ 間伐からの経過年数や環境要因との関係を解析したところ、次のことがわかった。
- ・ 間伐との関連がみられた分類群は植物であった。
- ・ 林床植生の植被率や種数との関連がみられた分類群はミミズ類、ササラダニ類、林床性昆虫で

あった。

- ・ 林相との関連がみられた分類群はササラダニ類、地表性・林床性昆虫であった。
- ・ 林相との関連性の高い指標種が抽出されたのはササラダニ類、林床性昆虫、鳥類であった。
- ・ 鳥類と哺乳類では間伐や環境要因との関連はみられなかった。
- ・ 以上の結果から、間伐によりまずは林床植生を増加させることが森林の生物多様性にとっても重要であるといえる。

(9) 課題

- ・ 調査方法についての課題
 - ①鳥類と哺乳類の調査方法の妥当性は？（調査スケールと行動圏の不一致？）
 - ②調査年次による種数、個体数の変動は？
- ・ 調査対象の課題
 - ①今後もすべての分類群を対象とするか？
 - ②すべての調査地で継続調査するか？
 - ③総合解析する地域を県確保水源林に限定するか？

- (2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
 (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
 C. 水源林の整備が森林生態系に及ぼす効果把握

- (1) 課題名 Ca. 植物
 (2) 研究期間 平成 25 年度～
 (3) 予算区分 水源林の整備が森林生態系に及ぼす効果把握
 (4) 担当者 田村 淳・指村奈穂子・成瀬真理生・赤嶺真由美

(5) 目的

間伐による植物の種組成や種数、種多様性などに及ぼす効果を明らかにする。

(6) 方法

各山域の各林分に 20m×20m の方形区を設置して (図 1)、樹高 1.5m 以上の立木について樹種と胸高直径、樹高、通直・枯損状況を記録した。また 20m×20m 方形区内に 2m×2m の小方形区を 10 個設置して、1.5m より小さい維管束植物の全体の植被率と各出現種の被度を記録し、そのうちの高木性樹種 (小高木種含) については、樹種と樹高を測定した。さらに、方形区ごとに、方位、傾斜、緯度、経度、標高をクリノメーターや GPS により記録した。全天写真から開空度を算出した。

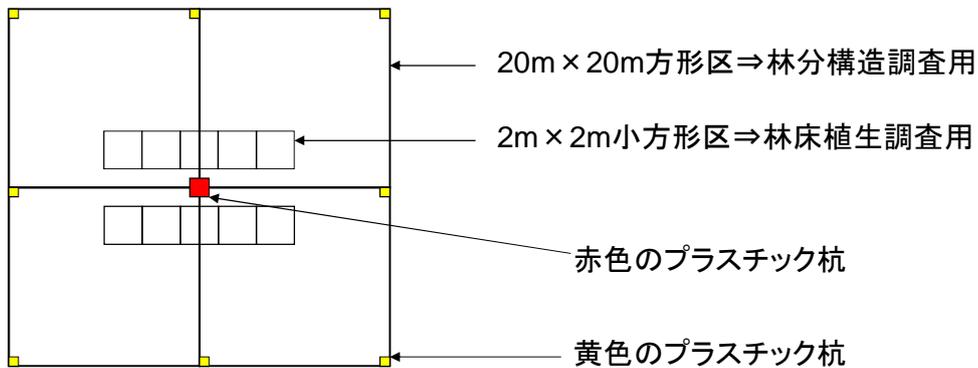


図-1 各林分に設置した方形区の形状

解析は 3 地域のスギ・ヒノキ人工林のデータをまとめて間伐前後で比較するとともに (間伐前 19 林分、間伐後 40 林分)、間伐からの経過年と林床植生との関係について散布図を作成した。さらに、林床植物の種数や植被率、更新木の種数などの植生指標について、各林分のシカの撮影頻度や間伐からの経過年、開空度、標高、傾斜を説明変数として、AIC による変数選択のベストモデルを検討した。

(7) 結果の概要

①間伐前後での植生指標の差異

種数と植被率ともに間伐後に増加する傾向を示し、種数では間伐前後で有意差が認められたが (Mann-whitney 検定、 $p < 0.001$)、植被率では有意差は認められなかった (図 1)。間伐前後で多様度指数も増加する傾向を示し、シャノン指数とシンプソン指数では統計的な有意差が認められた (図 2)。間伐後に更新木の種数は多くなり、個体数と樹高は増加する傾向を示した (図 3)。

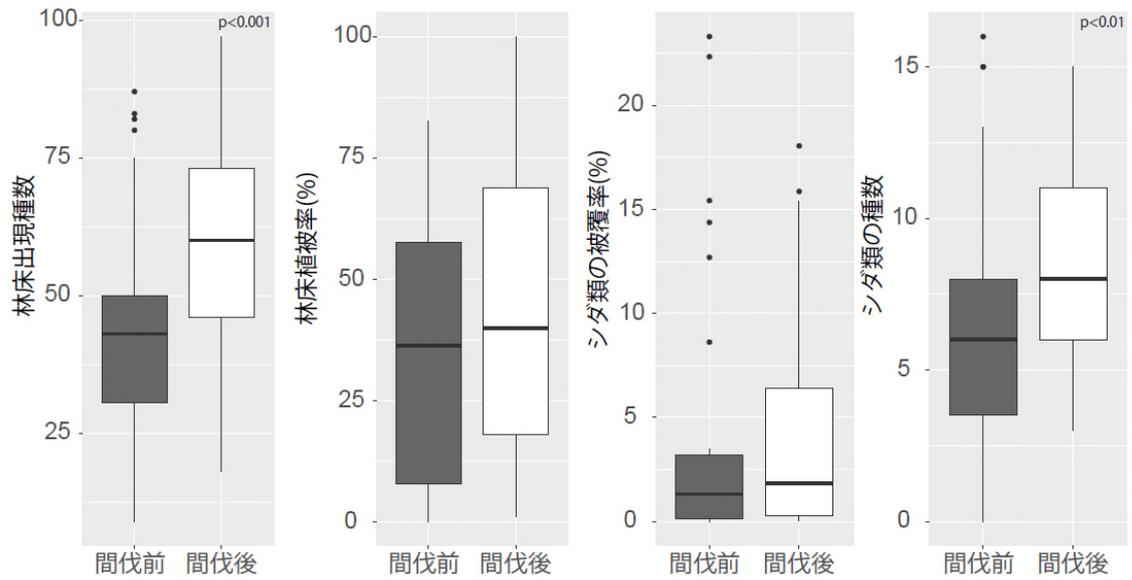


図-1 3地域のスギ・ヒノキ人工林における間伐前後での種数と植被率

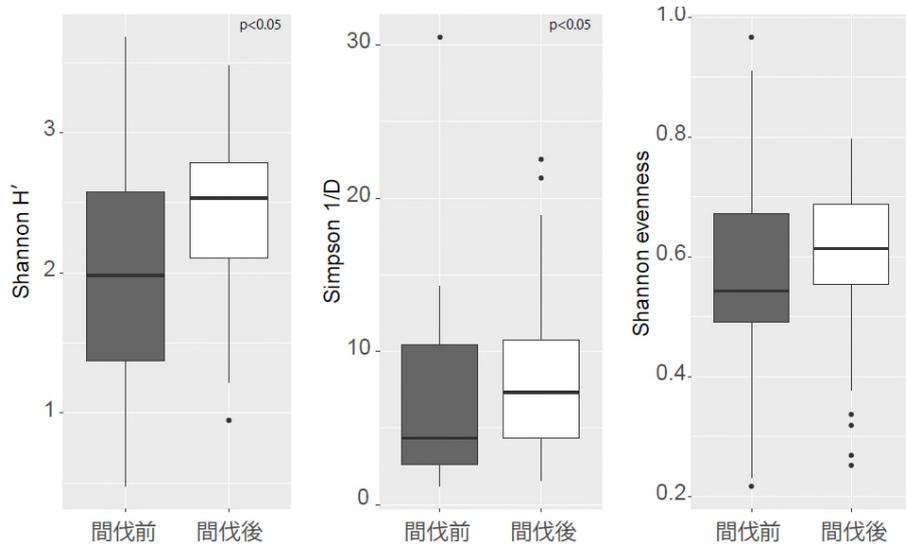


図-2 3地域のスギ・ヒノキ人工林における間伐前後での多様度指数

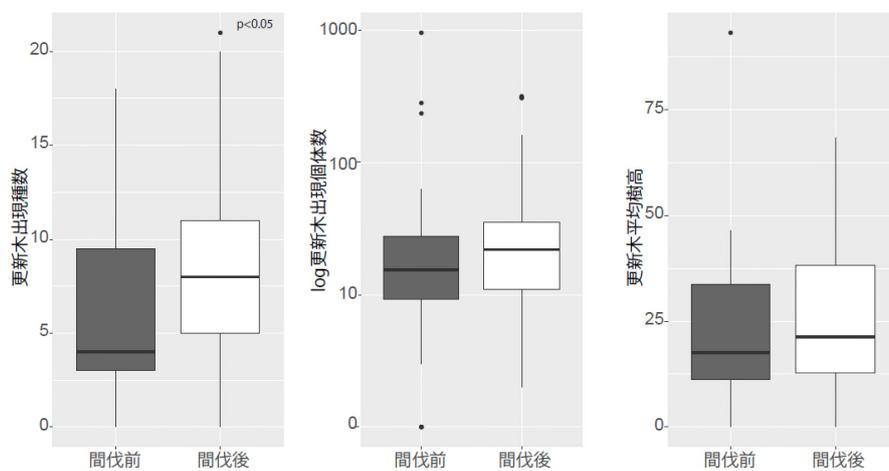


図-3 3地域のスギ・ヒノキ人工林における間伐前後での更新木の種数と樹高

②間伐後経過年と林床植生との関係

種数と植被率、多様度指数（シャノン指数）のいずれも間伐して5～6年付近をピークにしてその後下がる傾向があった（図3）。

③植生指標と変数の関係

林床植物の種数や植被率は「傾斜」が、更新木の個体数や樹高、多様度指数は「シカの撮影頻度」が変数として選択された（表1）。とくに「シカの撮影頻度」は更新木の平均樹高や多様度指数に負に影響していた。一方で変数の「間伐後経過年」は林床植物の種数や植被率、更新木の樹高、多様度指数に正に影響していた。

以上のことから、間伐は種数と植被率、多様度指数、更新木の増加に正の影響をもたらし、シカは更新木の樹高を制限し、多様性を下げていることがわかった。スギ・ヒノキ人工林で林床植生の多様性を維持するには、シカ対策（柵の設置や捕獲）と定期的な間伐が必要であるといえる。

表-1 林床植生指標と変数の関係（各ベストモデルの変数パラメータ：GLMを用いた回帰分析とAICによる比較）

(n=40)							
	シカ観察頻度	間伐後経過年	開空度	標高	傾斜	切片	family
林床種数		0.07 **	0.07 **	0.12 ***	-0.19 ***	4.1 ***	poisson
林床植被率		13.4 *			-14.64 ***	46.77 ***	gaussian
更新木種数		0.15 *				2 ***	poisson
更新木個体数	0.7 ***	-0.33 ***	0.12 ***			3.52 ***	poisson
更新木平均樹高	-0.5 ***	0.33 ***	0.05	0.09 *	-0.02	3.14 ***	poisson
Shannon H'	-0.43	0.2	0.23 *	0.14		2.26 ***	gaussian
Simpson 1/D	-5.08 *	2.46 *	1.4			7.06 ***	gaussian
Shannon's evenness	-0.09		0.03			0.57 ***	gaussian
Simpson,s evenness	-0.06 *	0.02				0.13 ***	gaussian

***: p<0.001, **: p<0.01, *: p<0.05, .: p<0.1

(8) 課題

- ・間伐の効果があった林分とそうでない林分の特徴を明らかにする。
- ・生活型や不嗜好性種といった植物種の特性に応じた「質」についても解析する。

(9) 成果公表

- ・指村奈穂子・成瀬真理男・田村淳（2014）神奈川県小仏地域の水源林において混交林化に向けた間伐が林床植生に及ぼす影響. 第125回 日本森林学会大会 P2-085.

- (2) 水源林などの公益性の高い森林再生技術開発
(2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
C. 水源林の整備が森林生態系に及ぼす効果把握

- (1) 課題名 Cb. 土壌動物
(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 田村淳・赤嶺真由美・成瀬真理生

(5) 目的

間伐によって変化が著しいと考えられる土壌において生息する土壌動物を把握し、土壌動物の多様性に及ぼす間伐の効果を検証する。

(6) 方法

丹沢山地の 38 林分において陸生大型ミミズとササラダニを調査した。ミミズの調査では、各林分の 20 m × 20 m のコードラート内とその周辺から、25 cm 四方、深さ 10 cm の土壌サンプルを 10 か所から採取した。現地で土壌サンプルからミミズを抽出し、生きたまま持ち帰った。持ち帰ったミミズは、林分ごとの湿重量の合計を計測後、実体顕微鏡下で解剖して種同定をおこなった。同定されたミミズは、麻酔後、ガラス棒に挟んで FA 固定液で固定し、ホルマリン溶液中に保存した。調査はアジア航測株式会社に委託し、駿河台大学の伊藤雅道教授の指導に基づき行われた。

ササラダニの調査では、コードラート内の 5 m 四方の地点から落葉、落枝、枯れ枝、落下、朽木、腐葉層、表層度などを手で拾い、合計 2 L のサンプルを採取した。採取したサンプルは、当日中にツルグレン装置に投入し、60 W の白熱電球で、2 日間照射し、80 %エタノール中に抽出、保存した。抽出されたササラダニ類は、実体顕微鏡下で選別され、ガムクロラル液で永久プレパラート標本とした。調査はアジア航測株式会社に委託し、横浜国立大学の青木淳一名誉教授の指導に基づき行われた。

(7) 結果の概要

①丹沢山地のミミズの種類

フトミミズ科とツリミミズ科の 2 科 36 種が確認された。種まで同定できたものは 36 種中 18 種であった。同定不能個体や幼体を除いて最も採取数が多かった種はアズマフトミミズ属の 1 種の 27 個体、次いでサクラミミズの 19 個体、フトスジミミズの 18 個体であった。

②小仏山地と箱根外輪山のミミズ個体数と林床植生との関係

過年度データを活用して、林床植生の植被率との関係を解析したところ、小仏と箱根の林相によっては中程度の植被率のプロットでミミズの個体数が多くなる傾向があった (図 1)。

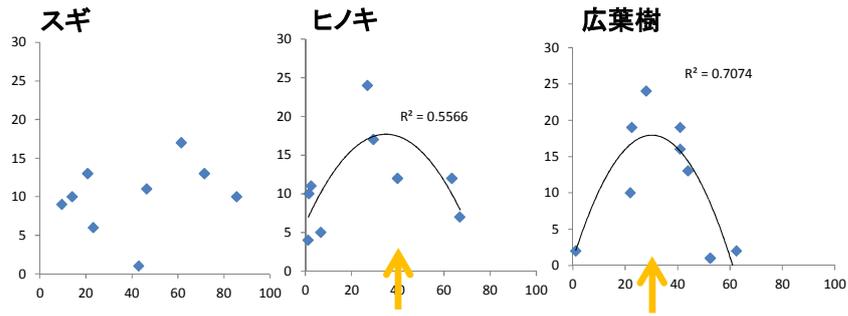
③丹沢山地のササラダニの種類

本調査において合計 182 種が確認された。MGP の機能群に基づくと、M 群は 49 種、G 群は 94 種、P 群は 47 種であった。

④小仏山地と箱根外輪山のササラダニの種組成

両山地の各プロットで出現したササラダニ類の種組成を CA 分析 (Correspondence Analysis ; 対応分析) したところ、小仏山地と箱根外輪山ともに林相により種組成が異なった。そこで、指標種解析 (IndVAL) したところ、広葉樹林やスギ林、ヒノキ林に特徴的な種が抽出された。

小仏



箱根

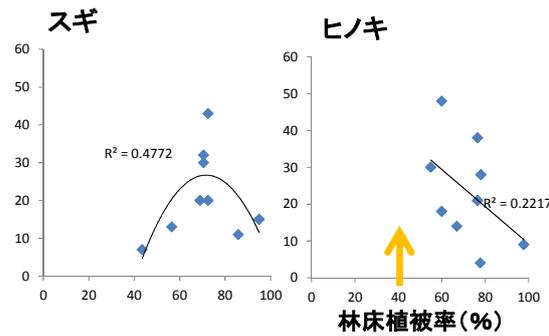
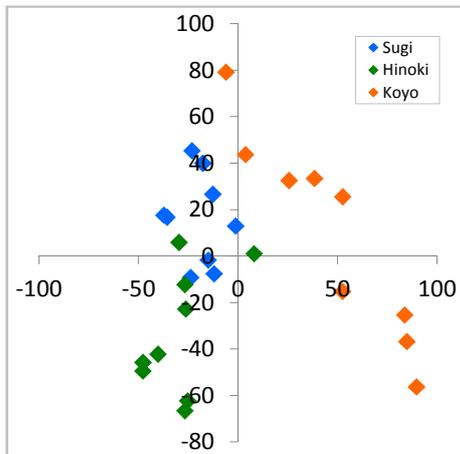


図-1 小仏山地と箱根外輪山における林床植被率とミミズ個体数との関係

小仏



箱根

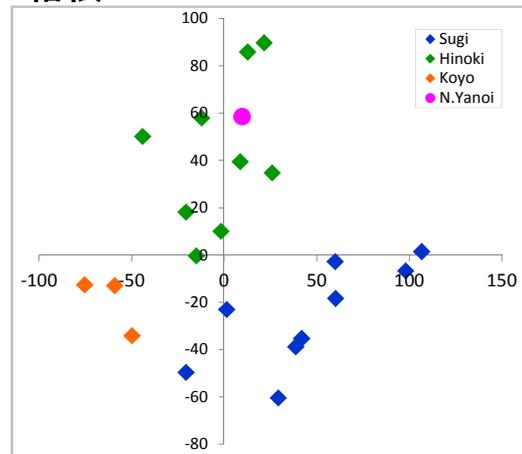


図-2 小仏山地と箱根外輪山のササラダ二類の種組成 (CA 解析)

(8) 今後の課題

丹沢山地のデータも使って3地域の詳細な解析を実施するとともに、森林施業との関連の有無を確認する。

(9) 成果の公表

なし

- (2) 水源林などの公益性の高い森林再生技術開発
 - (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
- C. 水源林の整備が森林生態系に及ぼす効果把握

- (1) 課題名 Cc. 昆虫
- (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 田村淳・赤嶺真由美・成瀬真理生

(5) 目的

間伐は林床植生に直接影響を及ぼすが、間接的に林床性昆虫や地表性昆虫にも影響を及ぼす可能性がある。それについて検証する。

(6) 方法

丹沢山地の 38 林分（うち 6 林分は植生保護柵内）において、林床性昆虫調査は 20 m × 20 m のコドラート内の林床植物に対して捕虫網による 15 分間のスweeping によっておこなわれた。地表性昆虫調査は各林分にピットフォールトラップを 20 個設置しておこなった。トラップは、20 m × 20 m のコドラートの中心線上に 5 m 間隔で 10 個のトラップを 1 列に配置し、5 m 空けて平行に 10 個を配置した。調査および種同定はアジア航測株式会社に委託した。

(7) 結果の概要

①地表性昆虫調査

38 林分全体で 8 綱 23 目 73 科 158 種の地表性昆虫を確認した。種数と個体数ともに昆虫綱が優占していた(図 1)。また、昆虫綱の中ではコウチュウ目が優占していた。

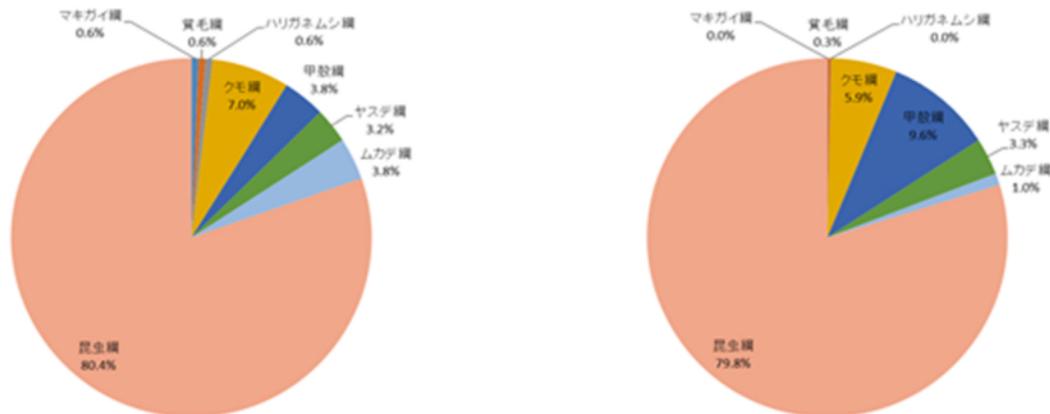


図-1 地表性昆虫の綱別種数（左）と個体数（右）の比率

オサムシ科について、種数、個体数と林床植被率との関係をみたところ、種数ではヒノキ林において正の弱い相関があり、個体数では広葉樹林で負の相関関係が認められた(図 2)。

林分あたりの平均種数と平均個体数は、間伐や林相との間に明瞭な関係は認められず、柵内外での比較においても種数と個体数に差異はなかった。

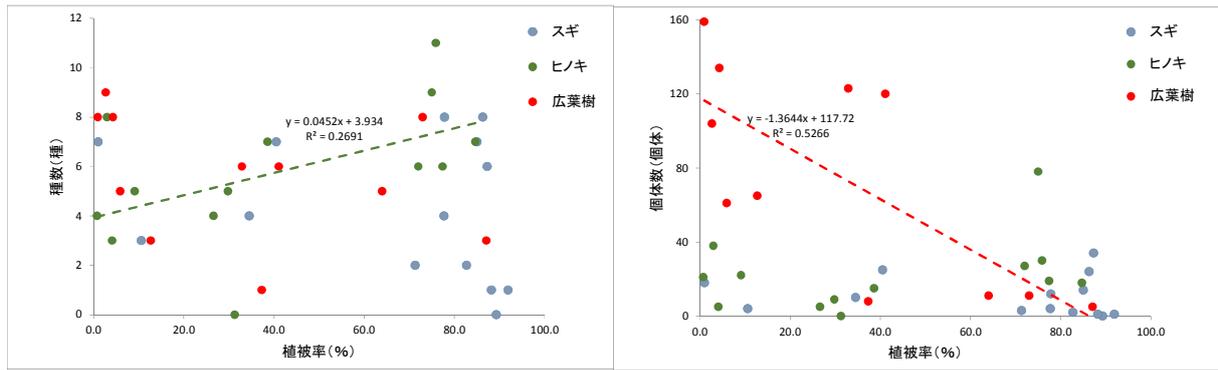


図-2 林床植被率とオサムシ科の種数（左）、個体数（右）との関係

②林床性昆虫調査

38 林分全体で 17 目 146 科 374 種の林床性昆虫を確認した。種数と個体数ともにカメムシ目、コウチュウ目、ハエ目、ハチ目が優占していた。

ハムシ科とゾウムシ科について、種数、個体数と林床植被率との関係をみたところ、種数と個体数ともにすべての林分で正の相関があり、とくに広葉樹林では正の強い相関関係が認められた（図3）。他の環境要因では土壌被覆率と広葉樹林におけるハムシ科、ゾウムシ科の種数、個体数に正の相関関係が認められた。

林分あたりのハムシ科とゾウムシ科の平均種数と平均個体数は、間伐や林相との間に明瞭な関係は認められなかったが、柵内外での比較では柵内で多い傾向があった。

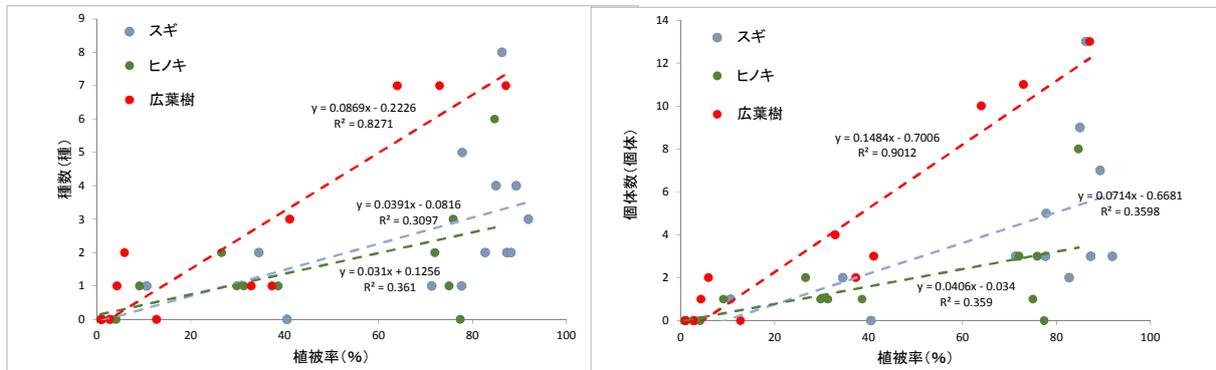


図-3 林床植被率とハムシ科・ゾウムシ科の種数（左）、個体数（右）との関係

(8) 今後の課題

丹沢山地のデータと過年度データを統合して、昆虫類の種数や個体数に及ぼす間伐・林相の影響を総合的に解析して、間伐が昆虫類の多様性に及ぼす効果を評価する。

(9) 成果の公表

なし

- (2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
(2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
C. 水源林の整備が森林生態系に及ぼす効果把握

- (1) 課題名 Cd. 鳥類
(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 成瀬真理生・赤嶺真由美・田村 淳

(5) 目的

本研究では、鳥類群集に及ぼす施業効果の検証として、林相と施業からの経過年数による鳥類群集の多様性と、下層植生と鳥類群集の関係について解析した。

(6) 方法

調査内容は、林分構造調査用の方形区を含む 25m×25m の範囲を調査プロットとして、その内部に飛来した個体を目視と鳴き声によってカウントした。その個体を目視と鳴き声によって種レベルで同定し、出現した時刻、利用していた階層（草本層・低木層・亜高木層・高木層・空中）を記録した。階層は 30 cm 以下を地上・草本層、5m 以下を低木層、樹冠部を高木層、低木層と高木層の間を亜高木層、プロット上空を通過した個体を空中とした。調査時刻は夏期 4:30～9:30、冬期が 7:00～12:00 とし、小仏夏期 2014/6/2～2014/6/30、小仏冬期 2014/1/7～2014/1/31、丹沢夏期 2015/5/31～2015/6/22、丹沢冬期 2016/1/12～2016/1/29、箱根夏期 2014/5/26～2014/6/20、箱根冬期 2015/1/5～2015/1/31 の期間に、各プロット 1 期間につき 2 回調査した。

(7) 結果の概要

観察された種数と個体数は、夏期が 88 種 26030 羽、冬期が 65 種 21490 羽であった。地域、樹種別の 1 プロットあたりの種数と個体数が最も高かったのは、夏期種数が丹沢山地の広葉樹林が 27.2 種、夏期個体数が箱根外輪山のヒノキ林 255.3 羽、冬期種数が丹沢山地広葉樹林の 25.7 種、冬期個体数が丹沢山地広葉樹林の 412.1 羽であった（表-1）。

施業後プロットのデータを用いて、間伐施業からの経過年数と鳥類の種数及び個体数の関係を解析したところ、相関関係は認められなかった（図-1）。

夏期のデータを用いてスギ・ヒノキ林をまとめて針葉樹林とし、広葉樹林との平均個体数を比べたところ、10 種に有意差が認められた（図-2）。

(8) 今後の課題

今後は、GLM や DCA などの多変量解析によって鳥類データの序列化を行う。また他生物群集との関係性や広域スケールにおける森林環境の鳥類への影響を解析する。

(9) 成果の発表

- ・成瀬真理生・指村奈穂子・田村 淳（2014）神奈川県小仏地域において混交林化に向けた間伐が鳥類群集に与える影響について．第 125 回日本森林学会．ポスター発表 p2-093.
- ・成瀬真理生・赤嶺真由美・指村奈穂子・田村淳（2016）神奈川県低山帯における森林環境と鳥類の関係．第 127 回日本森林学会．ポスター発表 p2-171

表-1 季節・地域・樹種別のプロットあたりの平均種数と平均個体数

	夏期						冬期							
	スギ林(平均±sd)		ヒノキ林(平均±sd)		広葉樹林(平均±sd)		スギ林(平均±sd)		ヒノキ林(平均±sd)		広葉樹林(平均±sd)			
小仏	種数	25.33 ± 1.49	24.67 ± 3.27	23.22 ± 3.61	22.44 ± 3.72	24.11 ± 3.00	22.56 ± 3.30	種数	25.33 ± 1.49	24.67 ± 3.27	23.22 ± 3.61	22.44 ± 3.72	24.11 ± 3.00	22.56 ± 3.30
	個体数	305.67 ± 71.04	302.89 ± 46.71	313.78 ± 119.73	146.33 ± 72.51	162.33 ± 72.20	198.89 ± 107.33	個体数	305.67 ± 71.04	302.89 ± 46.71	313.78 ± 119.73	146.33 ± 72.51	162.33 ± 72.20	198.89 ± 107.33
丹沢	種数	26.45 ± 2.78	26.00 ± 2.27	27.22 ± 3.68	24.30 ± 4.20	23.09 ± 3.96	25.73 ± 4.47	種数	26.45 ± 2.78	26.00 ± 2.27	27.22 ± 3.68	24.30 ± 4.20	23.09 ± 3.96	25.73 ± 4.47
	個体数	312.91 ± 66.17	305.50 ± 36.44	355.33 ± 75.94	348.70 ± 78.09	347.09 ± 159.83	412.09 ± 115.38	個体数	312.91 ± 66.17	305.50 ± 36.44	355.33 ± 75.94	348.70 ± 78.09	347.09 ± 159.83	412.09 ± 115.38
箱根	種数	24.44 ± 2.63	26.11 ± 3.45	22.67 ± 1.89	20.67 ± 2.54	20.22 ± 4.02	21.00 ± 3.74	種数	24.44 ± 2.63	26.11 ± 3.45	22.67 ± 1.89	20.67 ± 2.54	20.22 ± 4.02	21.00 ± 3.74
	個体数	347.67 ± 44.91	361.67 ± 32.08	346.33 ± 92.07	260.22 ± 52.01	234.67 ± 59.29	210.00 ± 59.01	個体数	347.67 ± 44.91	361.67 ± 32.08	346.33 ± 92.07	260.22 ± 52.01	234.67 ± 59.29	210.00 ± 59.01

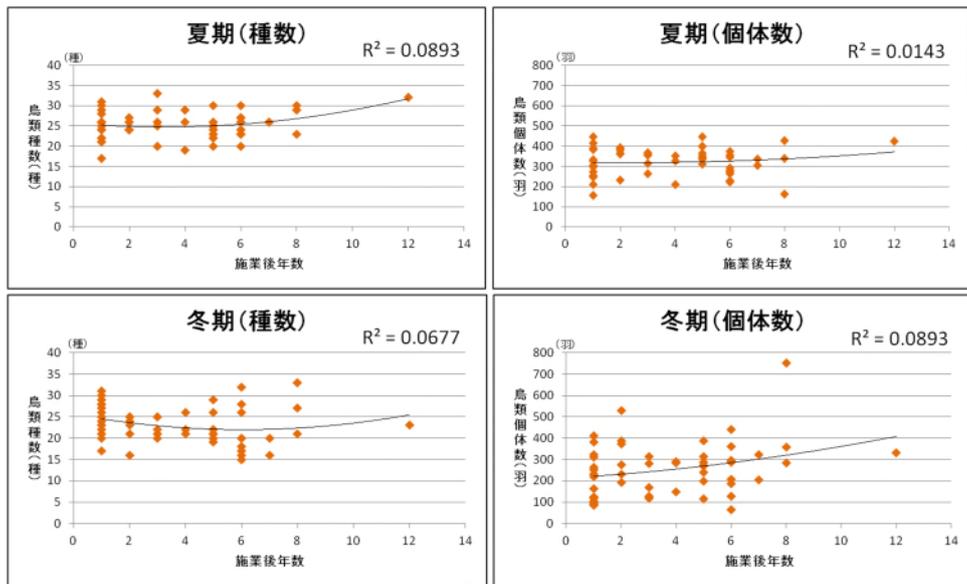


図-1 施業後の経過年数と鳥類種数・個体数の関係

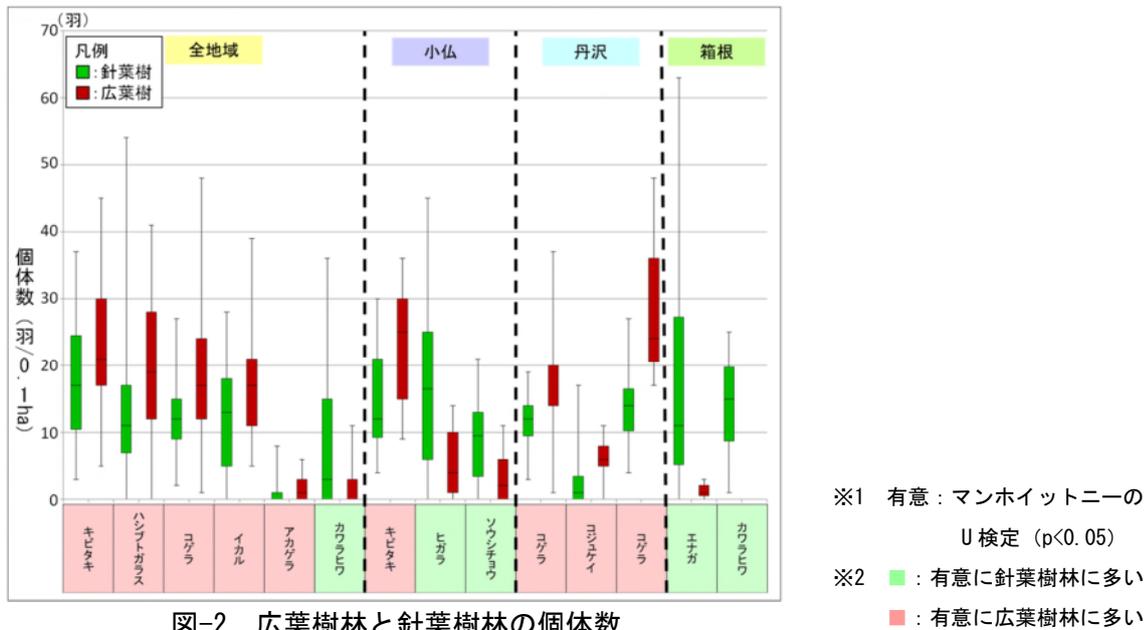


図-2 広葉樹林と針葉樹林の個体数

- (2) 水源林などの公益性の高い森林再生技術開発
 (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
 C. 水源林の整備が森林生態系に及ぼす効果把握

- (1) 課題名 Ce. 小型哺乳類
 (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 田村 淳・赤嶺真由美・成瀬真理生

(5) 目的

間伐によって変化する環境が小型哺乳類の多様性に及ぼす効果を検証する。

(6) 方法

丹沢山地の 32 林分における 20 m×20 m のコドラートを中心とした 50 m ×50 m の格子状に、誘引餌（ピーナッツ）と保温用の綿等を入れたシャーマントラップ（7.6 cm×8.9 cm×23 cm）を各 1 個、合計 25 個を設置した。設置期間は 3 日間とし、毎日日中に捕獲個体を確認した。捕獲個体は捕獲位置、種、性、繁殖状態、体重を記録したのち、耳標（小動物用耳標 KN-295, (株)夏目製作所）を用いて標識し、捕獲地点で放逐した。調査はアジア航測株式会社に委託した。

(7) 結果の概要

全体でアカネズミとヒメネズミ、ヒミズの 3 種を確認した（写真 1）。個体数はアカネズミが 19 個体、ヒメネズミが 8 個体、ヒミズが 1 個体であった（表 1）。



アカネズミ



ヒメネズミ



ヒミズ

写真 確認種

(8) 今後の課題

丹沢山地におけるネズミ類の個体数が、前年度に調査した小仏山地と箱根外輪山よりも少なかった。この理由として調査年次と地域特性の影響が考えられる。そこで、平成 28 年度に 3 地域を同時に調査することで、調査年の影響か地域特性の影響かを確認する。

また、3地域のデータを統合して、アカネズミやヒメネズミの個体数に及ぼす間伐と林相の影響を解析して、間伐が小型哺乳類の多様性に及ぼす効果を評価する。

(9) 成果の公表

なし

表-1 調査林分の捕獲個体数

(単位:頭)

No.	確保番号	施番	樹種	アカネズミ	ヒメネズミ	ヒミズ	計
1	H17協5	1	スギ				0 (0)
3	H18協6	1	スギ				0 (0)
5	H20協12	14	スギ		1 (2)		1 (2)
7	H20協6	10	スギ	2 (3)		1 (1)	3 (4)
8	H21協2	93	スギ		2 (2)		2 (2)
9	H24協34	13	スギ	1 (1)			1 (1)
10	H24協35	10	スギ	1 (2)			1 (2)
11	H26協1	16	スギ		1 (1)		1 (1)
12	H26協28	10.6	スギ	4 (5)			4 (5)
13	H27協33	2	スギ	2 (2)			2 (2)
14	保全C試験林		スギ	3 (5)			3 (5)
15	H17協2	16	ヒノキ				0 (0)
16	H18協6	3	ヒノキ	2 (3)			2 (3)
17	H20協13	7	ヒノキ				0 (0)
19	H20協1	3	ヒノキ		1 (1)		1 (1)
20	H20協6	6	ヒノキ				0 (0)
21	H21協2	110	ヒノキ		1 (1)		1 (1)
22	H22協6	1	ヒノキ		2 (4)		2 (4)
23	H23協8	1	ヒノキ				0 (0)
24	H24協35	9	ヒノキ	1 (3)			1 (3)
25	H26協1	4	ヒノキ				0 (0)
26	H26協28	5	ヒノキ				0 (0)
27	H27協33	12	ヒノキ	2 (2)			2 (2)
28	H13協4	3	広葉樹				0 (0)
29	H16協4	8	広葉樹				0 (0)
31	H17協7	10	広葉樹				0 (0)
33	H20協6	1	広葉樹				0 (0)
34	H24協33	2	広葉樹				0 (0)
35	H24協35	14	広葉樹				0 (0)
36	H26協1	7	広葉樹				0 (0)
37	H27協33	5	広葉樹				0 (0)
38	保全C試験林		広葉樹	1 (1)			1 (1)
合計				19 (27)	8 (11)	1 (1)	28 (39)

- (2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
- (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
- C. 水源林の整備が森林生態系に及ぼす効果把握

- (1) 課題名 Cf. 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 成瀬真理生・赤嶺真由美・田村 淳

(5) 目的

本研究では、大型哺乳類に及ぼす施業効果の検証として、針葉樹人工林（スギ林・ヒノキ林）と広葉樹林、針葉樹林の間伐前と間伐後の林分における大型哺乳類の出現回数の違いについて解析した。

(6) 方法

調査内容は、林分構造調査用の方形区において、1プロット2か所にセンサーカメラを設置し、通過する生物を撮影した。設置期間は平成 26 年 8 月から平成 27 年 10 月までとし、撮影日数は 100 日とした。撮影されたデータは、3 枚連続で 1 回の出現とし、データを集計した。

(7) 結果の概要

撮影画像のうち同定できた種と回数は、全体で 15 種 6806 回、小仏山地が 14 種 1805 回、丹沢山地が 14 種 4194 回、箱根外輪山地域が 9 種 807 回であった（表-1）。

撮影枚数上位 5 種について針葉樹人工林（スギ林・ヒノキ林）のみのデータを使用し、それぞれの種について地域間で出現回数を比較したところ、ニホンジカは丹沢山地、アナグマとニホンザルは小仏山地で有意に多かった（図-1）。針葉樹林の間伐前のプロットと間伐後のプロットで出現回数を比較したところ、間伐の前後で出現回数に有意な差はなかった。針葉樹人工林と広葉樹林の出現回数を比較したところ、タヌキ・イノシシ・アナグマは有意に広葉樹林で多かった（図-2）。有意な値ではなかったがニホンジカも広葉樹林に多い傾向にあった（ $p=0.058$ ）。

(8) 今後の課題

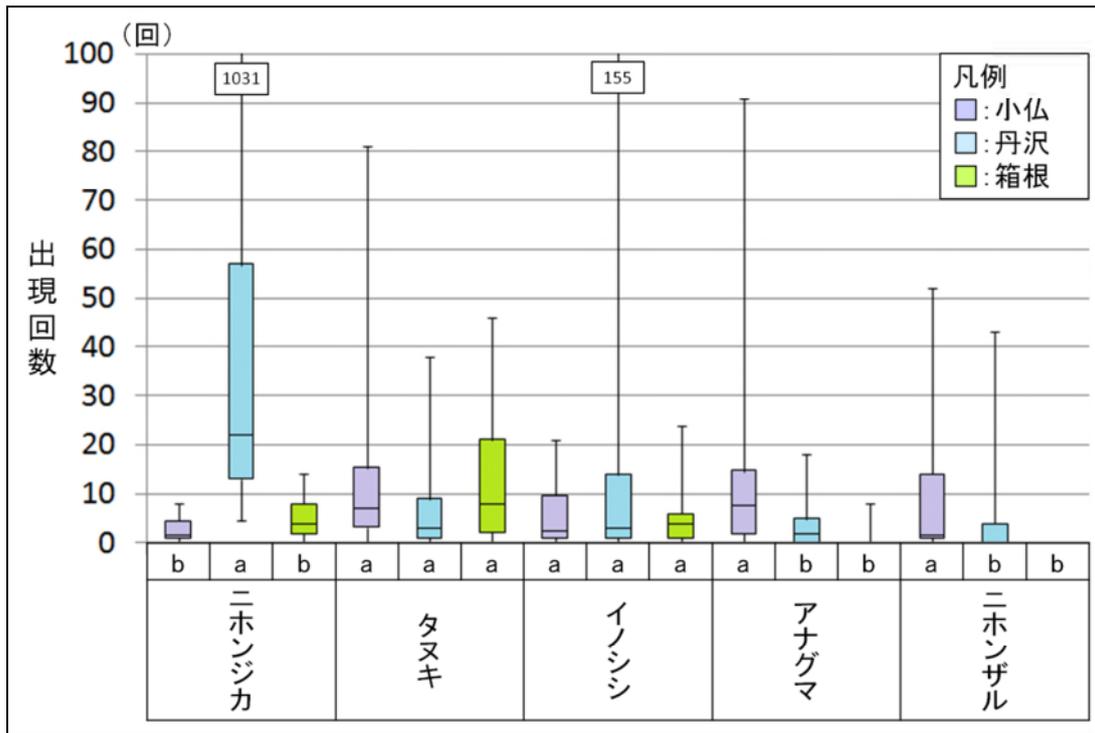
今後は、GLM や DCA などの多変量解析によって大型哺乳類データの序列化を行う。また他生物群集との関係性や広域スケールにおける森林環境の大型哺乳類への影響を解析する。

(9) 成果の発表

なし

表-1 種別の出現回数

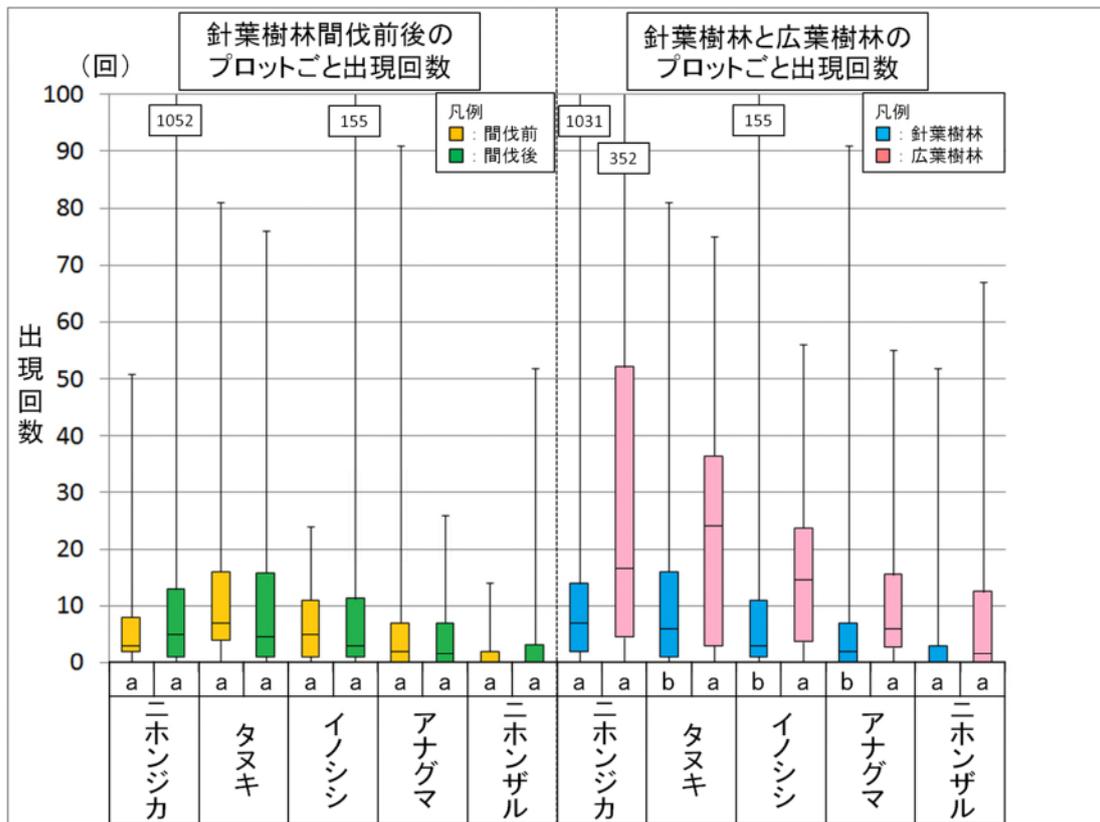
種名	出現回数	種名	出現回数	種名	出現回数
ニホンジカ	2823	テン	83	ネズミ科の一種	506
タヌキ	1202	イエネコ	73	鳥類	351
イノシシ	861	キツネ	44	中型哺乳類	87
アナグマ	542	ツキノワグマ	11	イタチ科の一種	14
ニホンザル	511	アライグマ	10	爬虫類	1
ハクビシン	299	イヌ	10	不明	548
ニホンリス	165	カモンカ	8		
ニホンノウサギ	164			総計	7332



※1 アルファベットの違いは a が b より有意に多いことを表す

※2 クラスカルウォールス検定 ($p < 0.05$)、ボンフェローニ補正の U 検定 ($p < 0.017$)

図-1 地域・林相別の出現種と出現回数



※アルファベットの違いは a が b より有意に多いことを表す (マンホイットニーの U 検定 $p < 0.05$)

図-2 箱根外輪山地域の出現種と出現回数

- (2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
- (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
- D. スギ・ヒノキ花粉症対策品種開発と実用化開発

- (1) 課題名 Da. スギ・ヒノキ花粉発生源地域推定事業
- (2) 研究期間 平成 20 年度～
- (3) 予算区分 特定受託研究費
- (4) 担当者 齋藤央嗣・毛利敏夫・久保典子

(5) 目的

社会的に大きな問題となっているスギ・ヒノキ等の花粉症に対し、発生源対策として花粉の少ないスギ品種の選抜等育種的な改良は行われているものの根本的な解決には至っていない。近年、抗アレルギー薬が開発され、花粉飛散前の服用により症状を大幅に緩和できるようになった。このため、花粉飛散量や飛散時期を予測する必要性が増している。しかし、花粉を飛散する雄花の着花量は年次変動が大きい。そのため雄花の着花量を直接観察することにより、花粉飛散量の予測を行う。なお、本事業は全国林業改良普及協会からの委託事業として実施した。

(6) 方法

①雄花着花量調査（スギ）

県内各地に成育するスギ林の中から、目視による調査に適した個体識別可能な見通しのよいスギ林を選定し調査林分とした。さらに設定にあつては県内山地のスギ林を対象に 5km メッシュで 500ha につき 1 箇所を目安に設定した。調査箇所は平成 9 年度に設定した 30 箇所と平成 14 年度に追加した 24 箇所の計 54 箇所である。

スギの花粉を飛散する雄花は、夏に花芽の分化が起こり、秋になると雄花の観察が可能となる。このため雄花着花調査は 11 月中旬に行う。調査は対象林分内の 40 本のスギを抽出し、双眼鏡またはフィールドスコープを用いて、次の 4 ランク区分により、1 本ごとに着花ランクを判定し着花点数を求める。調査地ごとの着花点数は 40 本の合計点数を本数で除した平均値で示す。

A：雄花が全面に著しく多い	100 点
B：雄花が全面にみられるか、部分的に多い	50 点
C：雄花が部分的にみられるか、少ない	10 点
D：雄花がみられない	0 点

②目視によるヒノキ雄花着花調査手法の確立

目視によるヒノキの調査手法確立のため、40 カ所のヒノキ林の目視調査と 2 カ所のトラップ調査を実施した。また目視調査の試行のため、昨年選定した調査地の着花量調査を実施した。調査を行った定点林は、2012 年 11 月に設定した表 1 の 30 箇所である。調査地は、丹沢から箱根地域にかけてのヒノキ林に 40 カ所である（表 1）。これらの調査地は、目的とするヒノキ雄花量調査を展開するため、①一定の樹体サイズ、林齢、林分面積を持ち、林道等に面し樹冠部の下まで 10 本の目視調査が可能であること、②明確な年次変動を得るため、目視面が北向きの林分を避け、豊作年である 2013 年に一定の着花が見られること、③神奈川県内のヒノキ林の分布を考慮し北部から西部にかけての林分をまんべんなく選ぶこと、などを考慮して選定した。いずれの調査地も調査地で固定した調査木（10 本）を設定し、継続して調査できるように設定した。調査地は 1～30 までの新規に設定したヒノキ調査林分、31：採種園、32～40：1991 年より雄花トラップ調査を継続している小田原市久野の 10 林分のうち 9 林分とした。このうち 1～30 までの調査地は今後の目視調査地、31～40 についてはこれまでの雄花量の継続試験による実証試験地と位置づけている。調査林分の

うち久野のヒノキ林については、20年以上にわたる雄花トラップデータの集積があり、雄花量に対する都市域の花粉飛散量との関係も把握されている。

雄花着生状況の目視観測は、12月の4日間で実施した。観測には、倍率10～12倍の双眼鏡と、必要に応じて20倍の野鳥観察用望遠鏡を使用した。調査地は、アの通り観察のしやすいことを条件に調査地を設定しており、ほとんどの林分を双眼鏡による観測によって調査を行い、32～40の当初からのトラップ調査地等について望遠鏡を使用した。観測は雨や霧、強風時をなるべく避けて行った。40カ所の定点林ごとの調査本数は10本、総観察本数は400本である。

(7) 結果の概要

①雄花着花量調査（スギ）

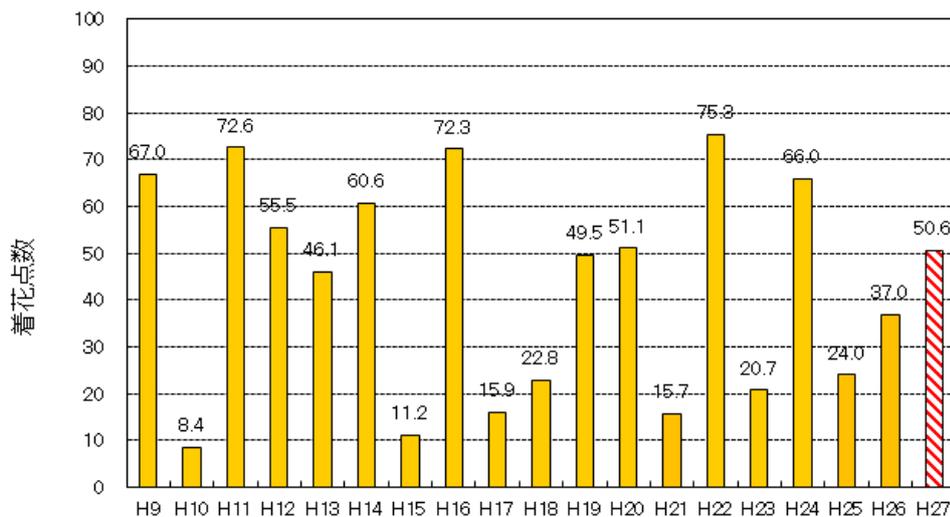


図1 県内スギ林30箇所の平均着花点数の年変化

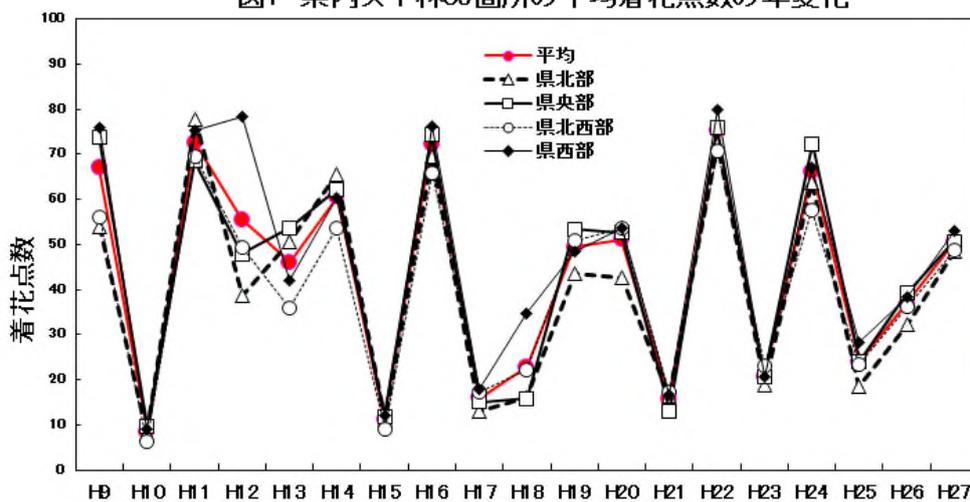


図2 地域別平均着花点数の年変化
H27は平均50.6、県北部48.3、県中部50.6、県北西部48.6、県西部53.2

点数は、県西部が53.2点とやや県内平均値より高くなった（図2）。

一般にスギ雄花の着花形成は、花粉が飛散する前年の夏（7月～8月）の気象条件との相関が高いとされる。高温少雨で、日照時間が多い気象条件は、着花形成が促進され、雄花が多く着く傾向がみられる。平成27年夏の気象（横浜地方気象台「海老名」観測点）では、7月の平均気温は平年の103%で平年並み、降水量は177%ときわめて多いものの、日照時間は平年の122%と雄花が多く着く気象条件となった。一方、8月の平均気温は平年の100%と平年並み、

雄花着花量調査の平成9年から27年度までの年次変動を図1に示した。スギ林30箇所の着花点数の平均値（県内平均値）は、50.6点となり、少なかった昨年

（H26）の37点は上回るものの、本調査開始から17年間の平均値（例年値）は42.9点で、今回の調査結果は例年値をやや上回っており、平成27年春の花粉飛散量は、昨年より増加し、例年並かやや多くなると予想された。なお、地域別の着花

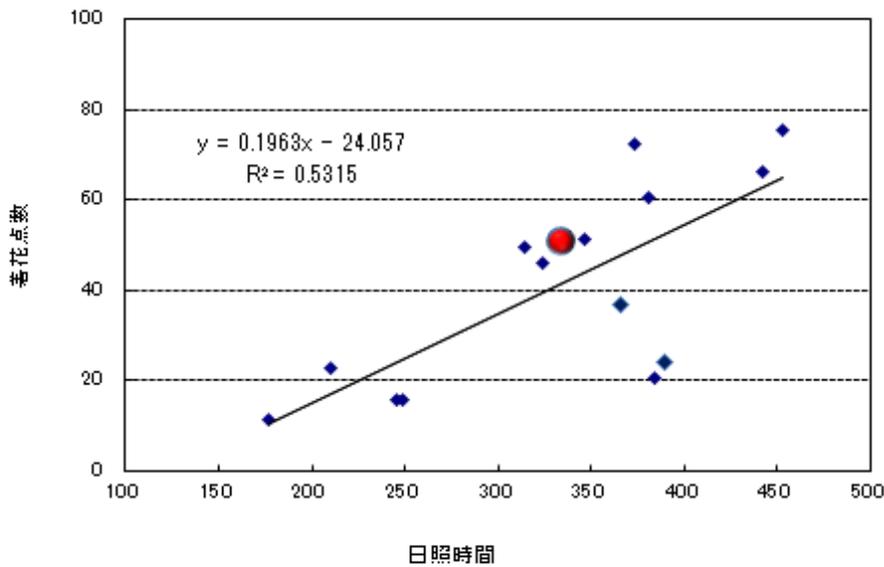


図3 7月と8月の日照時間と着花点数との関係
(横浜地方気象台:海老名観測所 赤点が平成27年)

降水量は平年の61%と少なく、日照時間は平年の83%と雄花が少なくなる気象条件となった。この結果、図3の通り回帰直線に近く日照時間に対応した着花点数となった。夏の気象条件は、7～8月を通算するとほぼ平年並みの条件、スギの雄花の着花形成に影響の大きい7月の日照時間が長かったため、着花量がやや多くなった可能性がある。

②目視によるヒノキ雄花着花調査手法の確立

ア 目視による雄花量

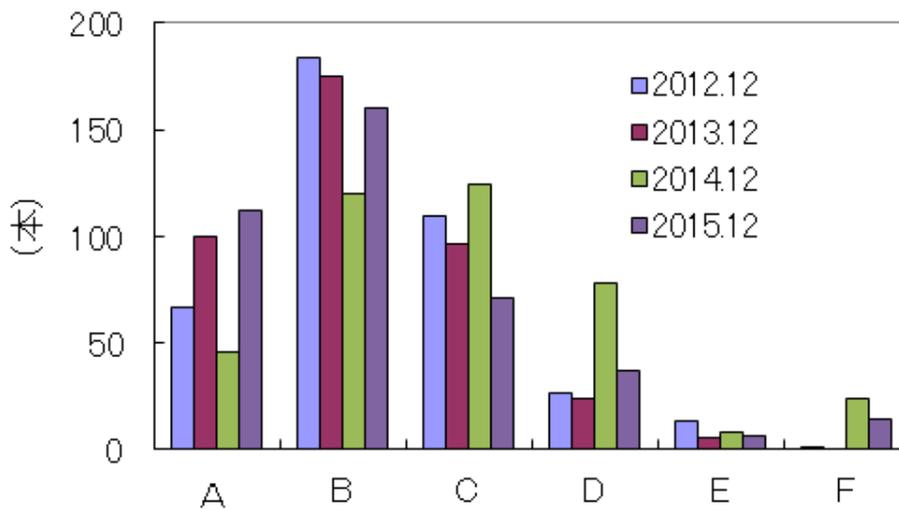


図4 2012～15年のヒノキ雄花着生度別本数

平成26年度から、6段階の暫定基準案(3)から4段階の暫定基準案(4)に移行したことから、継続のため両方の評価を行った。その測定結果を表2、これまでの6段階で判定した結果による過去4年間の変動を図4、そ

の林分ごとの変動を図5、着花点数の変動を図6、に示した。図4の通り、2014年12月の調査結果では、ランクCの個体の割合が31%ともっと多くなり、ランクFの値がEよりも多いものの、正規分布に近似したグラフであったが、2015年12月は2013年に近似してA, Bランクの割合が高い結果となり、またAランクの割合が最も高くなった。この結果、着花ランクにより重み付けした点数(6段階ではA→10点、B→5点、C→2点、D→1点、E, F→0点)による年次変動(図3)は、過去4年間で最も大きくなり、豊作年であると推定された。林分ごとの年次変動を図2に示した。過去2年間の2012～2013年の12月の調査は、類似した結果であったため、変動が

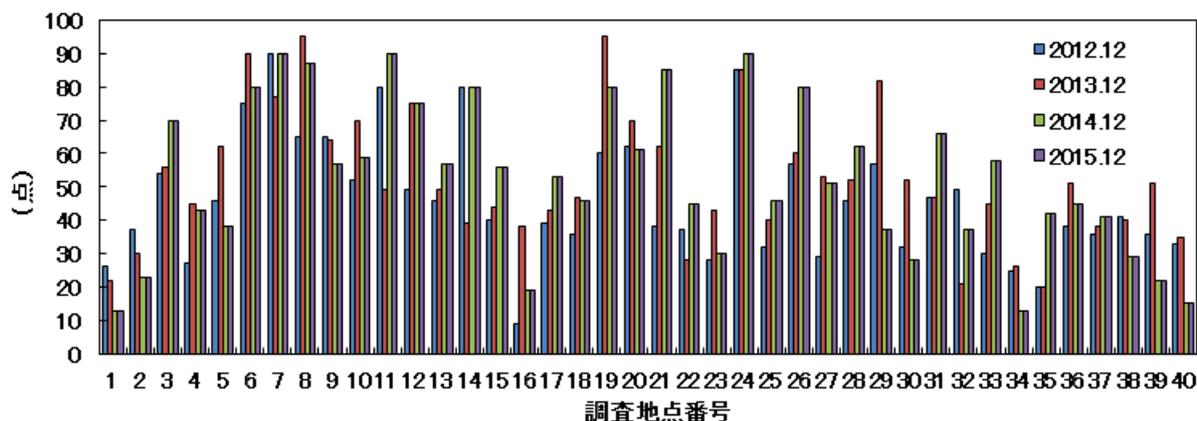


図5 林分ごとの雄花着花点数の年次変動(2013～2016 飛散期)

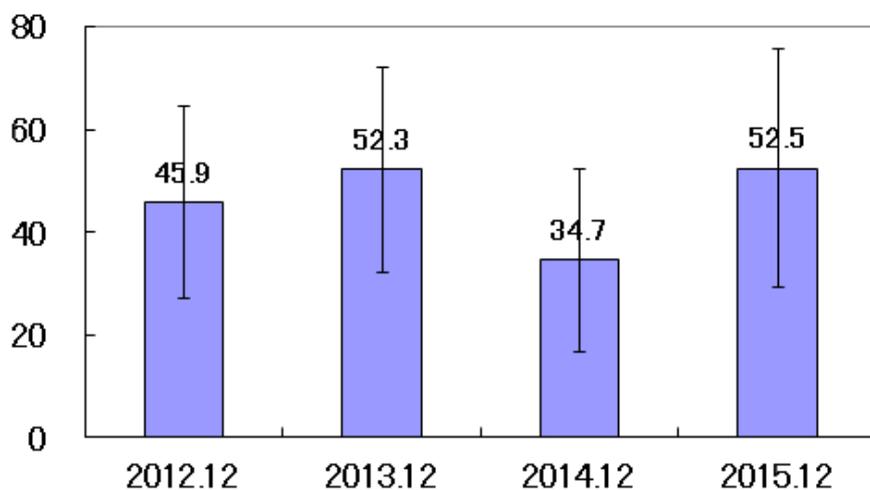


図6 神奈川県内のヒノキ雄花着花点数の年次変動
棒は標準偏差を示す

少なく、調査林分の中で多い林分と少ない林分が分けられている懸念があったが、2015年は、比較的不作である2014年と同じ値を示す林分もあった。年次間の相関係数は、2015年と各年次間はいずれも0.6以上の有意な相関関係があり、傾向として比較的多い林分と少ない林分が分かれる可能性がある。

イ 雄花生産量調査の結果

定点林32～40における雄花生産量調査の結果を図7に示した。雄花生産量は、2014年1月から7月に各5基の雄花トラップで捕捉された開花雄花、未開花雄花の雄花数を測定し、ヒノキ林1㎡あたりに換算したものである。原則として直接個数をカウントしたが、試料が多い場合は乾燥重量を計量し、100個あたりの重量を計測して換算して求めた。ヒノキ雄花生産量は、5,319個/㎡となり、昨年の約1/4で、これまでの24年間の平均は10,824個/㎡であり、目視調査結果同様不作年と位置づけられた。少なかった40(75年生)と多かった33(65年生)では12倍の差があった。

また、開花雄花に対する未開花雄花の割合は、最も高い40(74年生)が6.7%、最も低い36が4.2%といずれも5%前後であり、その割合は小さかった。ただし2014年12月の調査では相当数の未開花の雄花が落下せずにとどまっている林分を観察したことからその割合が向上することが予測される。

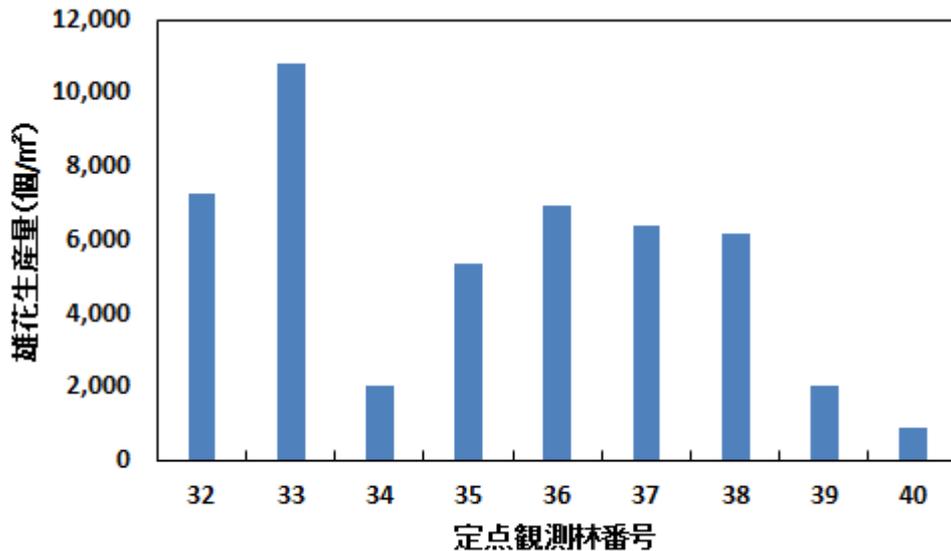


図7 雄花トラップによる雄花生産量 (2015年)

ウ 観測手法の検証

- ・2014年度の目視観測結果と雄花生産量との関係

図4に示した2014年12月の雄花着生度別本数（6段階）から計算した点数と雄花生産量との関係を図8に示した。相関係数は0.54で有意な相関は認められなかった。相関が認められなかった原因としては、2015年飛散期は豊作年でなかったこと、雄花トラップは林分全体を指標するよう林内に広く設置しているが、目視調査は林縁の調査木10本で評価しており、そのずれが生じた可能性がある。しかし調査林分31（48年生）の値が外れ値になっており、この値を外すと相関係数は0.70となり高い相関が認められた。この相関係数は前年も外れ値1つを外すと、有意な相関が認められ、同様の結果であったことから、雄花量と目視調査による着花点数が一定の相関があると考えられる。4月に実施した目視調査との相関は0.64であり、同様に外れ値の31の値を外すと0.83と有意な高い相関となった（ $p < 0.05$ ）。12月調査時の精度の向上の余地がある。

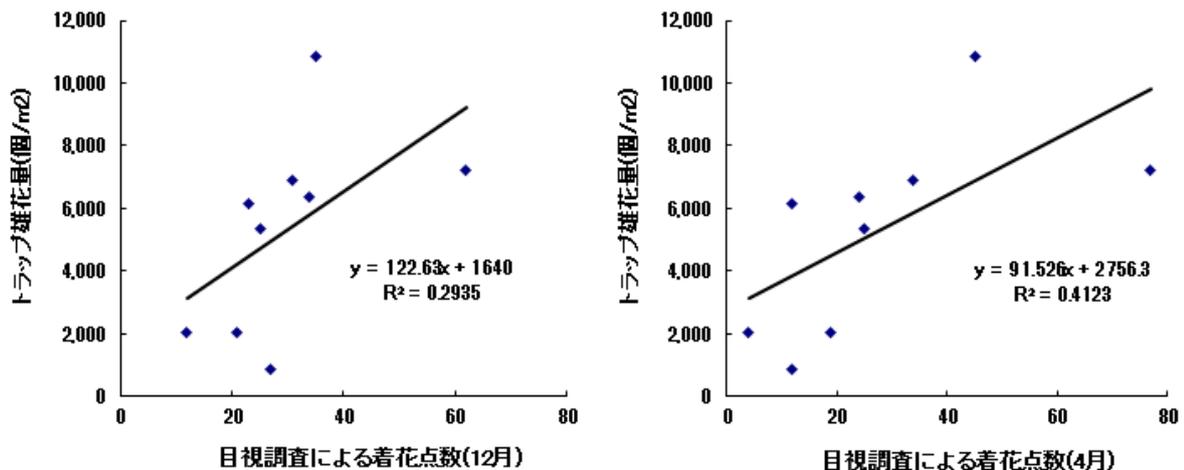


図8 2015年開花シーズンにおける着花点数と雄花生産量の関係

また調査を2013年飛散期からの3年間実施したことから、3年間の9林分の雄花着花点数とトラップによる雄花生産量との関係を図9に示した。12月と3-4月調査の相関係数は、いずれも0.44で有意な相関関係が認められた（ $p < 0.05$ ）ことから、林縁の目視と林分の雄花生産量は一

定の関係があることが示唆された。図6で明らかのように前述した2015年の外れ値の1点が回帰線を大きく外れておりこの値を外すと12月と3-4月調査の相関係数は、0.61、0.65と有意な高い相関となった ($p < 0.01$)。この調査林分31 (48年生) は、過去に間伐後に気象害を受け林内の一部にギャップを生じている林分であり、今後外して解析した方がよい可能性がある。

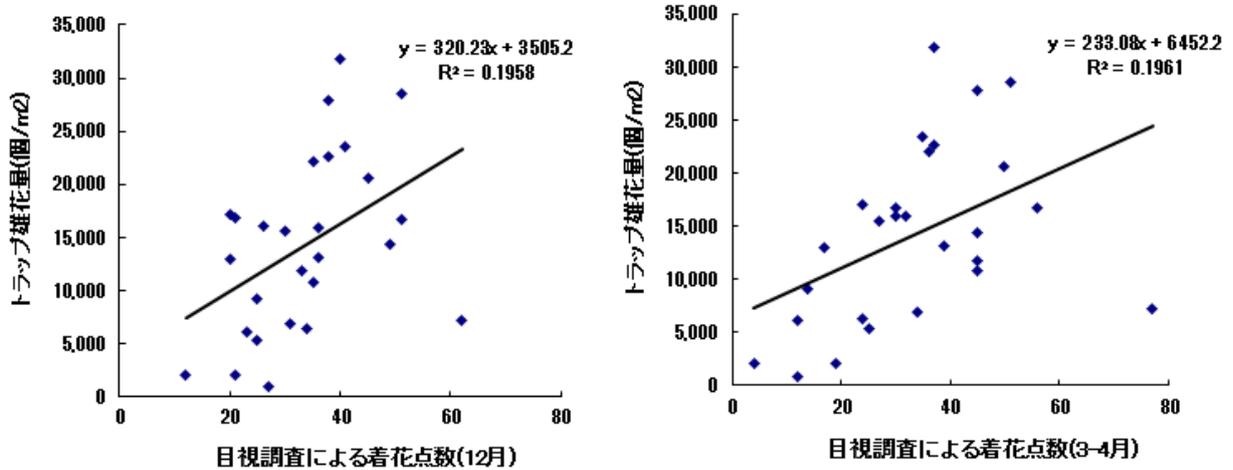


図9 2013～2015年開花シーズンにおける着花点数と雄花生産量の関係

・観測結果 (調査ランク)

2014年度から、6段階の暫定基準案 (3) から4段階の暫定基準案 (4) に移行したが、今回の調査では昨年に引き続きこの2つの方法の比較を行った。比較方法は、これまでの6段階と4段階を現地で判定したものを、その両者を比較するという方法で行った。林分ごとの観測結果を表2、図10に示した。6段階の雄花着生度別本数は、前年に比べると雄花の着生量が多いA、Bと判定された個体が多くなり、6段階でもAランクが多かったが、4段階でもAと判断された個体が多くなった。この結果、6段階と4段階の雄花着生度別本数に重みづけの点数 (6段階ではA→10点、B→5点、C→2点、D→1点、E、F→0点、4段階ではA→100点、B→50点、C→10点、D→0点) をかけて合計し、調査本数10本当たりの点数を計算して比較したところ、両者は非常に相関が高く昨年よりもさらに高くなった ($r = 1.00$, $p < 0.01$) (図11)。豊作年であり、Aランクの割合が高くなったため、データの閾値が大きくなったことも一因と思われた。したがって、A、Bに重点を置いた4段階の暫定基準案 (4) は、6段階の暫定基準案 (3) と同等の値が得られ、判定区分が少ない分、目視観測の労力軽減に有効と考えられた。

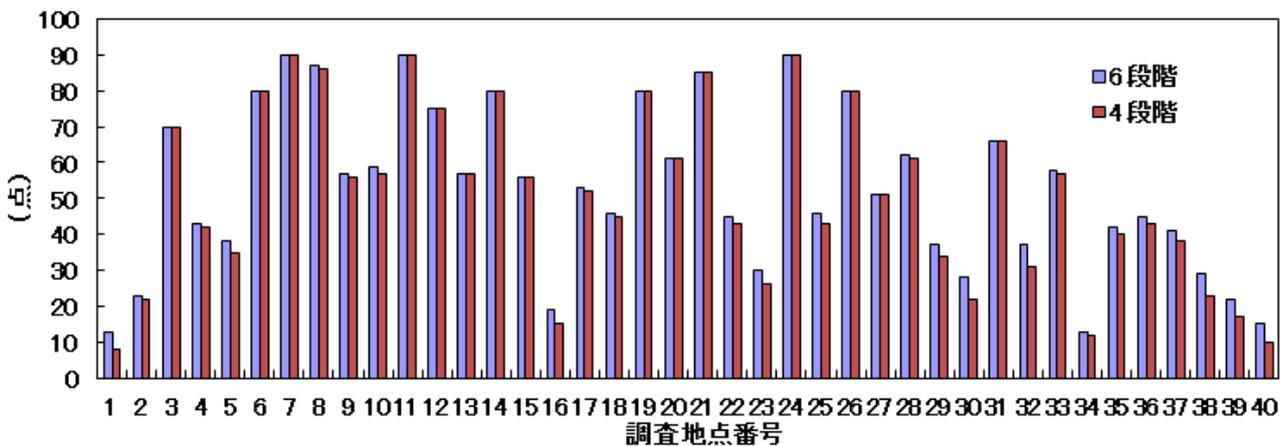


図10 雄花評価ランク別の林分ごとの雄花着花点数 (2016年飛散期)

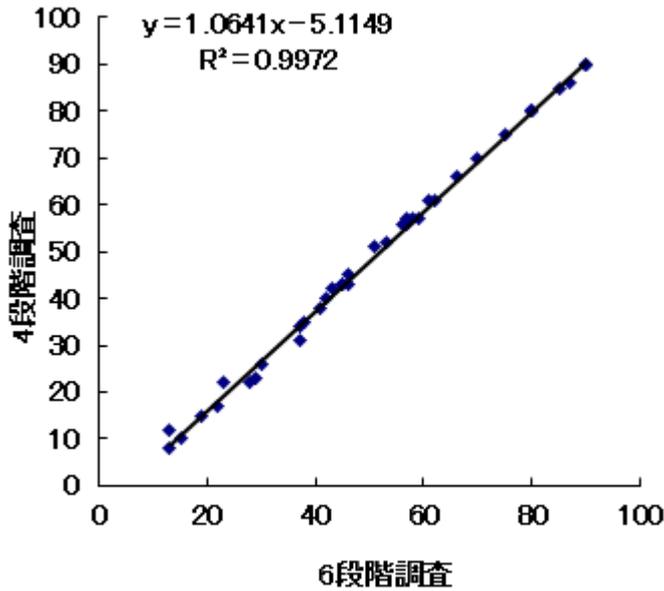


図 11 定点林における 6 段階と 4 段階の点数化した雄花着生量の関係

エ 画像解析用データの収集

12月目視調査とあわせて、白いB4サイズの枠を用い定点林内で写真撮影を実施した。撮影を行ったのは1蓑毛、5長竹、9与瀬、13長尾峠下、19苅野、30寄、31 2 1の森採種園の7林分で、このうち1蓑毛、13長尾峠下、31 2 1の森採種園については全個体（各10本）の撮影を行った。

定点林番号	識別用略称	緯度 経度		標高	斜面向き	林分状況			所在地市町村	備考
		北緯(度)	東経(度)			胸高直径	樹高	林齢		
1	蓑毛	35° 24' 55.13"	139° 13' 31.56"	330	S	24.2	17.6		蓑野市蓑毛	
2	番根	35° 25' 45.47"	139° 12' 19.76"	730	SE	17.9	10.3		蓑野市寺山	
3	わんぱくランド	35° 15' 35.22"	139° 07' 37.53"	130	N	27.5	13.1		小田原市久野	
4	足柄幹線久野林道分岐下	35° 15' 01.46"	139° 05' 57.28"	410	SE	43.8	15.8		小田原市久野	
5	長竹	35° 33' 48.20"	139° 16' 06.58"	180	NW	21.0	12.2		相模原市緑区長竹	
6	串川	35° 34' 08.19"	139° 15' 15.27"	240	S	33.7	14.9		相模原市緑区長竹	
7	青山	35° 34' 16.08"	139° 14' 35.56"	300	SE	25.7	16.1		相模原市緑区青山	
8	寸沢嵐	35° 34' 28.97"	139° 12' 49.26"	350	N	34.7	15.7		相模原市緑区寸沢嵐	
9	与瀬 2	35° 38' 21.95"	139° 11' 00.39"	480	S	19.8	11.1		相模原市緑区与瀬	
10	与瀬	35° 38' 28.54"	139° 11' 03.57"	600	W	39.6	18.0		相模原市緑区与瀬	
11	牧野 やまなみ温泉	35° 35' 18.91"	139° 09' 01.02"	410	W	28.0	13.3		相模原市緑区牧野	
12	青根	35° 33' 08.65"	139° 09' 23.38"	300	NW	24.0	13.4		相模原市緑区青根	
13	長尾峠下	35° 16' 00.41"	139° 59' 20.67"	770	SW	37.5	11.5		箱根町仙石原	
14	遷生花園	35° 15' 54.03"	139° 00' 03.46"	650	W	40.2	16.2		箱根町仙石原	
15	宮城野林道	35° 15' 41.25"	139° 02' 04.75"	710	W	31.2	14.8		箱根町宮城野	
16	金崎山	35° 17' 07.59"	139° 00' 57.62"	820	SE	28.4	9.0		南足柄市失倉沢	
17	檀山水源林入口	35° 17' 47.07"	139° 01' 38.66"	530	SE	21.9	8.3		南足柄市失倉沢	
18	足柄峠下	35° 19' 08.30"	139° 01' 09.27"	540	E	40.3	13.8		南足柄市失倉沢	
19	苅野	35° 19' 44.23"	139° 04' 18.12"	210	NE	27.4	13.9		南足柄市苅野	
20	弘西寺	35° 19' 29.38"	139° 04' 47.18"	180	N	32.4	15.1		南足柄市苅野	
21	白石沢キャンプ場跡	35° 29' 27.43"	139° 03' 31.32"	670	SE	47.5	19.9		足柄上郡山北町中川	
22	中ノ沢	35° 26' 54.02"	139° 04' 41.03"	640	SE	45.0	19.2		足柄上郡山北町玄倉	
23	七沢	35° 27' 08.15"	139° 16' 46.62"	170	N	33.2	14.8		厚木市七沢	
24	弁天の森	35° 26' 42.52"	139° 16' 20.15"	320	SW	34.0	14.6		厚木市七沢	
25	日向林道	35° 25' 47.15"	139° 15' 14.50"	520	SE	28.3	10.8		伊勢原市子鳥	
26	日向ふれあいセンター下	35° 26' 17.14"	139° 15' 36.15"	290	N	44.1	15.8		伊勢原市日向	
27	大山寺手前	35° 25' 17.10"	139° 14' 48.52"	470	S	34.1	14.1		伊勢原市大山	
28	小蓑毛	35° 24' 31.56"	139° 14' 53.24"	480	NW	32.3	12.6		蓑野市蓑毛	
29	唐沢林道	35° 28' 29.12"	139° 14' 05.40"	390	NW	32.3	15.1		奥平郡清川村清川	
30	寄	35° 23' 8.71"	139° 8' 0.54"	320	NW	31.0	15.8		足柄上郡松田町寄	
31	210の森	35° 20' 42.57"	139° 03' 77"	670	NW	24.5	3.2		南足柄市内山	採種園
32	久野 No.1	35° 15' 06.44"	139° 05' 39.26"	450	NW	24.8	13.5	51	小田原市久野	トラップ調査地
33	久野 No.2	35° 15' 06.44"	139° 05' 39.26"	450	N	31.3	19.4	63	小田原市久野	トラップ調査地
34	久野 No.4	35° 15' 11.78"	139° 05' 12.89"	570	S	33.8	18.8	74	小田原市久野	トラップ調査地
35	久野 No.5	35° 15' 05.63"	139° 05' 09.87"	580	N	25.8	17.9	56	小田原市久野	トラップ調査地
36	久野 No.6	35° 15' 03.20"	139° 04' 58.50"	640	SE	29.9	17.0	46	小田原市久野	トラップ調査地
37	久野 No.7	35° 15' 03.50"	139° 05' 00.86"	640	S	27.0	14.2	46	小田原市久野	トラップ調査地
38	久野 No.8	35° 15' 09.21"	139° 04' 51.25"	670	NE	45.3	15.4	104	小田原市久野	トラップ調査地
39	久野 No.9	35° 15' 09.21"	139° 04' 49.76"	670	SE	23.0	12.6	104	小田原市久野	トラップ調査地
40	久野 No.10	35° 15' 11.69"	139° 04' 49.27"	680	W	17.2	10.1	72	小田原市久野	トラップ調査地

表2 ヒノキ定点林目視観測結果(神奈川県 2016飛散期6段階及び4段階)

定点林 番号	識別用略称	日付	雄花着生度別本数													
			12月観測(6段階)							12月観測(4段階)						
			A	B	C	D	E	F	合計	A	B	C	D	合計		
1	親毛	12/25	0	0	5	3	0	2	10	12/25	0	0	6	2	10	
2	菩提	12/22	0	4	1	1	0	4	10	12/22	0	4	2	4	10	
3	わんぱくランド	12/18	4	6	0	0	0	0	10	12/18	4	6	0	0	10	
4	足柄幹線久野林道分岐下	12/18	0	8	1	1	0	0	10	12/18	0	8	2	0	10	
5	長竹	12/22	1	4	3	2	0	0	10	12/22	1	4	5	0	10	
6	串川	12/22	6	4	0	0	0	0	10	12/22	6	4	0	0	10	
7	青山	12/22	8	2	0	0	0	0	10	12/22	8	2	0	0	10	
8	寸沢嵐	12/22	8	1	1	0	0	0	10	12/22	8	1	1	0	10	
9	与瀬 2	12/22	2	7	1	0	0	0	10	12/22	2	7	1	0	10	
10	与瀬	12/22	3	5	2	0	0	0	10	12/22	3	5	2	0	10	
11	牧野 やまなみ温泉	12/22	8	2	0	0	0	0	10	12/22	8	2	0	0	10	
12	青根	12/22	5	5	0	0	0	0	10	12/22	5	5	0	0	10	
13	長尾峠下	12/21	4	3	0	2	0	1	10	12/21	4	3	2	1	10	
14	湿生花園	12/21	6	4	0	0	0	0	10	12/21	6	4	0	0	10	
15	宮城野林道	12/21	2	7	0	1	0	0	10	12/21	2	7	1	0	10	
16	金時山	12/21	0	2	4	1	0	3	10	12/21	0	2	5	3	10	
17	松山水源林入口	12/21	3	4	1	1	0	1	10	12/21	3	4	2	1	10	
18	足柄峠下	12/21	3	2	1	4	0	0	10	12/21	3	2	5	0	10	
19	刈野	12/21	6	4	0	0	0	0	10	12/21	6	4	0	0	10	
20	弘西寺	12/21	3	6	0	1	0	0	10	12/21	3	6	1	0	10	
21	白石沢キャンプ場跡	12/25	7	3	0	0	0	0	10	12/25	7	3	0	0	10	
22	中ノ沢	12/25	1	6	2	1	0	0	10	12/25	1	6	3	0	10	
23	七沢	12/22	0	4	4	2	0	0	10	12/22	0	4	6	0	10	
24	弁天の森	12/22	8	2	0	0	0	0	10	12/22	8	2	0	0	10	
25	日向林道	12/25	1	6	3	0	0	0	10	12/25	1	6	3	0	10	
26	日向ふれあいセンター下	12/25	6	4	0	0	0	0	10	12/25	6	4	0	0	10	
27	大山寺手前	12/25	1	8	0	1	0	0	10	12/25	1	8	1	0	10	
28	小栗毛	12/25	3	6	1	0	0	0	10	12/25	3	6	1	0	10	
29	唐沢林道	12/22	0	6	3	1	0	0	10	12/22	0	6	4	0	10	
30	寄	12/21	0	3	6	1	0	0	10	12/21	0	3	7	0	10	
31	210の森	12/25	4	5	0	1	0	0	10	12/25	4	5	1	0	10	
32	久野 No.1	12/18	1	3	6	0	0	0	10	12/18	1	3	6	0	10	
33	久野 No.2	12/18	3	5	1	1	0	0	10	12/18	3	5	2	0	10	
34	久野 No.4	12/18	0	1	2	4	2	1	10	12/18	0	1	7	2	10	
35	久野 No.5	12/18	2	3	2	3	0	0	10	12/18	2	3	5	0	10	
36	久野 No.6	12/18	1	6	2	1	0	0	10	12/18	1	6	3	0	10	
37	久野 No.7	12/18	1	5	3	0	0	1	10	12/18	1	5	3	1	10	
38	久野 No.8	12/18	1	1	6	2	0	0	10	12/18	1	1	8	0	10	
39	久野 No.9	12/18	0	2	5	2	1	0	10	12/18	0	2	7	1	10	
40	久野 No.10	12/18	0	1	5	0	3	1	10	12/18	0	1	5	4	10	
計			112	160	71	37	6	14	400	112	160	109	19	0	400	
本数比			28.0%	40.0%	17.8%	9.3%	1.5%	3.5%	28.0%	40.0%	27.3%	4.8%	0.0%	0.0%		

	観測日	観測者	観測日	観測者
12月観測	12/18	齋藤・久保	12/22	齋藤・久保
	12/21	齋藤・河野	12/25	齋藤・久保

(8) 今後の課題

スギでは長期の調査により雄花着花量の観察にあたり、周辺樹木の成長により見通しが悪くなる調査地がある。

ヒノキの12月の調査は、これまでの経験から月末の方が見えやすい傾向があったが、今年度は、雄花の成熟が早く、雄花の先端がやや白から灰色に変色してしまい、かえって判別が困難であった。年により最適な調査時期が異なる可能性がある。また、今年の雄花が飛散せずにそのまま着花している個体が多く観察された。

(9) 成果の発表

- ・スギ雄花着花調査の結果は、平成27年12月17日に県政、厚木・大和・相模原・秦野・小田原記者クラブにおいて同時発表した（平成28年春の花粉飛散量はやや多い）。

- ・ヒノキの目視調査の結果について平成28年1月29日に県政、厚木・大和・相模原・秦野・小田原記者クラブにおいて同時発表した（平成28年春のヒノキ花粉飛散量は昨年より多い）。これはヒノキの雄花量による飛散予測としては全国初である。

- (2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
- (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
- D. スギ・ヒノキ花粉症対策品種開発と実用化開発

- (1) 課題名 Db. スギ・ヒノキ林の花粉削減研究
- (2) 研究期間 平成 22 年度～
- (3) 予算区分 一般試験研究費
- (4) 担当者 齋藤央嗣・毛利敏夫・久保典子

(5) 目的

スギ等の花粉症に対して、その発生源となっている森林・林業側からも根本的な対策を検討していく必要がある。林木育種事業では、花粉の少ないスギ、ヒノキ品種の選抜や無花粉スギの選抜を進めている。本研究では、スギ・ヒノキの花粉発生に関する基礎的な問題を検討するため、雄花生産量や花粉飛散量などについて調査する。

(6) 方法

ア ヒノキ林の雄花トラップ調査

ヒノキの林分状態の違いによる雄花着花量の動態を明らかにするため、小田原市久野で林齢の異なる 10 箇所のヒノキ林において雄花トラップを設置し、4 月から 6 月まで月 1 回トラップに落下した雄花等の試料を回収する。現地で回収した試料は室内でゴミを除去し、雄花数と雄花重を測定する。

イ 採種園の着花動態調査

花粉の少ない系統選抜に資するため、21 世紀の森地内のスギ採種園とヒノキ採種園において精英樹を対象に目視により着花量を調査する。またヒノキ林から雄性不稔ヒノキ探索を行う。

ウ スギ林分の花粉飛散量調査

スギ林内の雄花生産量と花粉飛散量の関係を明らかにするために、当センターのスギ林（1973 年植栽）内にダーラム型花粉採取器を設置し、1 月 5 日から 4 月 30 日までの間、1 日当たりの花粉飛散量を測定した。また、スギ林内の雄花生産量を把握するため雄花トラップを設置した。採取試料は小田原市久野のトラップと同様、雄花数と雄花重を測定する。なお、土・日および休日のデータ回収は自然再生企画部自然保護課の協力により実施した。

(7) 結果の概要

ア 久野ヒノキ林の雄花トラップ調査

雄花着花量の年次変動は、2015 年は 6,241 個/m² と 2014 年の 21,513 個を大きく下回り雄花量が減少した（図 1）。年次変動は前年夏の日照時間と有意な関係であり（ $p < 0.01$, 図 2）、2014 年 7、8 月の日照時間が 332 時間と短くなったことが原因と考察された。

イ 着花動態調査

21 世紀の森地内のヒノキ採種園において 1998 年からの雄花の着花指数と種子生産量の関係を図 3 に示した。2016 年の自然着花の指数平均は 2.30 と前年 2.08 は上回ったものの、平均の 2.48 を下回った。

ウ スギ林分での花粉飛散量調査

平成 28 年春のスギの総花粉飛散量は、図 4 に示したように 15,740 個/cm² となり前年値を上回ったものの平均を下回った。一方、ヒノキは 3,510 個/cm² となり前年値、平均値を上回った。スギの総花粉飛散量と雄花生産量との関係をみると、高い相関がみられた。また別に実施している着花量調査との関係を調査したところ雄花量と花粉飛散量との間にも高い関係が認められた（図 5）。

(8) 今後の課題

ヒノキの雄花は花粉飛散の直前にならないと目視しにくい。花粉飛散量の予測のためにはスギのように早い段階で雄花着花量を把握する手法が必要とされている。

(9) 成果の発表

・スギ林分での花粉飛散量調査結果について、花粉飛散情報として平成19年より、1日当たりのスギ、ヒノキの花粉飛散数をほぼ1週間おきに当センター研究連携課のホームページで公開した。

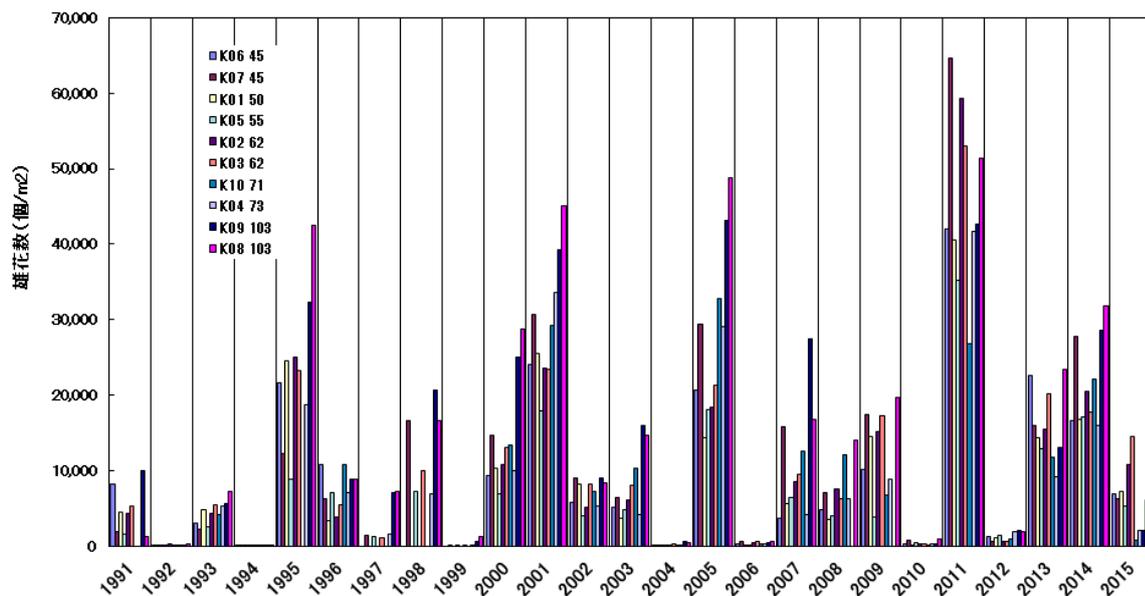


図-1 神奈川県小田原市におけるヒノキ雄花数の年次変動
 凡例の数字は2012年時点の林齢を示す。
 91年K04-10、95年K10、97年よりK01-02-06-10は欠測、
 2008,09年はK09欠測

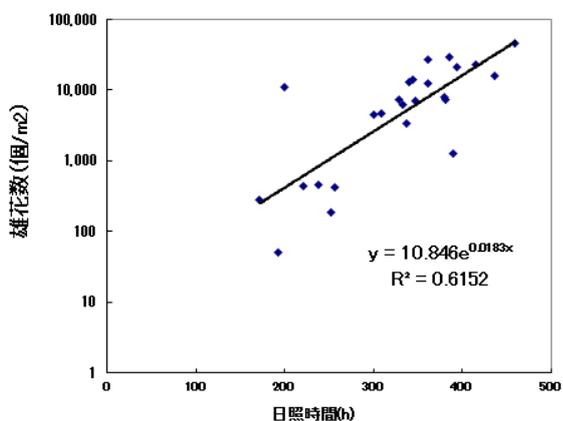


図2 日照時間と雄花数の関係
 日照時間は7・8月合計、指数回帰により有意な相関関係あり($r=0.68, n=25, df=23, p<0.01$)

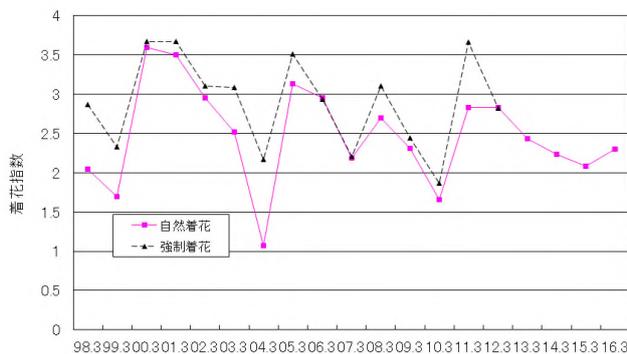


図3 21の森採種園の着花指数の年次変動
 注)2012年よりエリア別の強制着花を中止

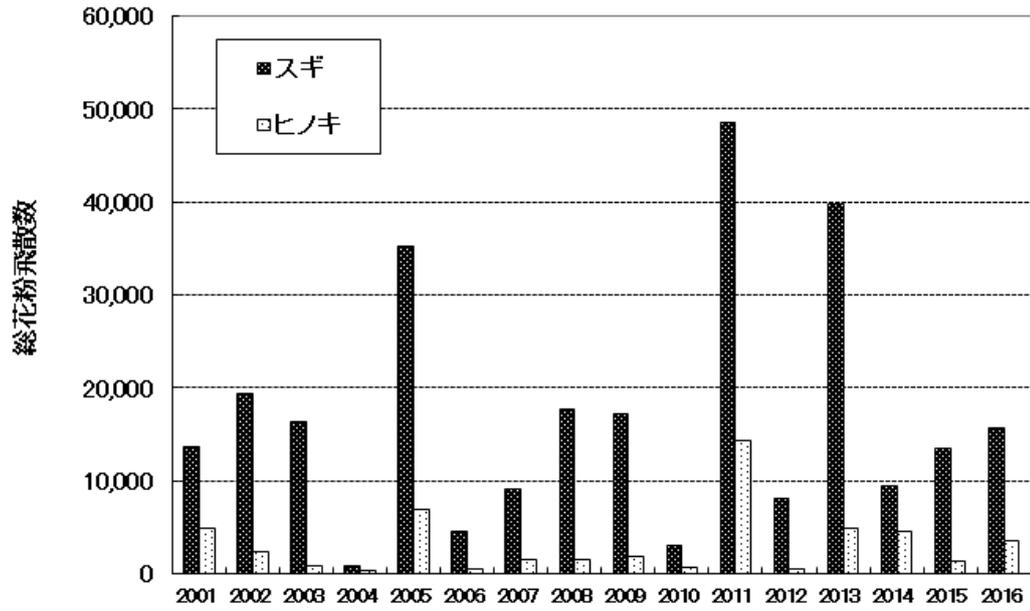


図4 スギ・ヒノキの花粉総飛散量の年変化

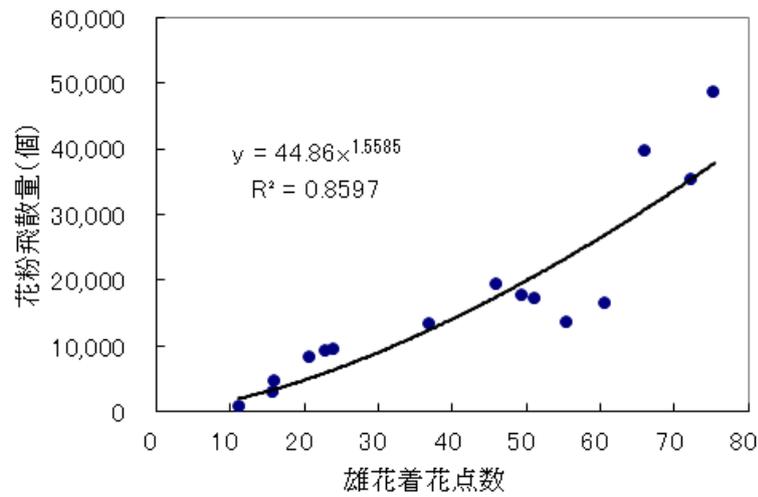


図5 雄花着花点数と花粉飛散量(厚木市七沢)との関係(n=17) **:1%水準で有意

- (2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
- (2-1) 効果的な水源林の整備に関する研究開発
- D. スギ・ヒノキ花粉症対策品種開発と実用化開発

- (1) 課題名 **Dc. 無花粉ヒノキの実用化研究**
- (2) 研究期間 **平成 27 年度～平成 28 年度**
- (3) 予算区分 **神奈川重点化研究事業（科学技術・大学連携課）**
- (4) 担当者 **齋藤央嗣・毛利敏夫・久保典子**

(5) 目的

全国で初めて発見した無花粉ヒノキを早期に実用化するため、効率的な増殖手法を開発するとともに、品種登録に必要な特性の解明、さらには種子を生産可能な雄性不稔ヒノキを選抜する。無花粉ヒノキの遺伝特性の解明のため、遺伝マーカー開発を行い遺伝解析を進めるとともに、効率的な選抜に向けてヒノキ連鎖地図作成のための材料の育成やマーカー開発を実施する。

(6) 方法

ア 無花粉ヒノキの早期実用化（自然環境保全センター）

無花粉ヒノキ特性解明のため、選抜した無花粉ヒノキの初期植栽試験の試験地設定、特性調査の準備を行う。また、無花粉ヒノキのコンテナ苗生産を行い、効率的な生産手法を開発する。さらに新たな無花粉ヒノキ候補木を 1 本以上選抜する。

(ア) 無花粉ヒノキの特性解明

選抜した無花粉ヒノキの初期植栽試験を行い、成長特性等を明らかにするとともに品種登録のためヒノキ基準品種「ナンゴウヒ」との比較検討を行い品種登録出願に資する。

(イ) 無花粉ヒノキ増殖手法の検討

無花粉ヒノキの普及のために必要な効率的な増殖手法の検討のため、さし木手法の検討とコンテナ用いた苗木生産法による増殖試験を行う。

(ウ) 新たな無花粉ヒノキ選抜試験

ヒノキ林の調査と品種家系別の苗木による無花粉選抜試験により、系統の明らかな、花粉のみが飛散せず、種子の生産が可能な雄性不稔となる無花粉ヒノキの早期選抜を目指す。

ア 無花粉ヒノキの遺伝解析

交配家系による連鎖地図作成に向けて、神奈川県産精英樹の人工交配を行い、種子生産を図る。また、連鎖地図作成のための大量マーカーの開発を進める。また、ヒノキ遺伝解析手法確立と無花粉ヒノキの遺伝特性の解明のため、効率的なヒノキマイクロサテライト手法を試行する。これにより無花粉ヒノキ候補木の遺伝解析を行う。

(ア) 交配家系による連鎖地図作成（森林総研・新潟大学・保全セ）

スギでは詳細な連鎖地図は作成されているが、ヒノキではこれまで作成されていない。そこで初めてとなるヒノキの連鎖地図作成を進め、将来の無花粉ヒノキマーカー（識別のための DNA 多型配列）開発に資する。※森林総研、新潟大学分は研究協力（自己負担課題）

①連鎖地図作成に資する交配家系の作成（保全セ）

神奈川県産精英樹の人工交配により、交配家系の育成を行う。

②連鎖地図作成に資する大量マーカーの開発（森林総合研究所・新潟大学）

連鎖地図作成のための大量マーカーの開発を行う。

(イ) ヒノキ遺伝解析手法確立と無花粉ヒノキの遺伝特性の解明（保全セ・新潟大学・森林総研）

無花粉ヒノキ遺伝解析についてのみ森林総研(1 年目)、新潟大学(2 年目)へ委託

①効率的なヒノキマイクロサテライト手法の確立（森林総研・新潟大学）（1～2年目）

マイクロサテライトマーカーを利用し、効率的な個体識別や遺伝分析に資する。

②無花粉ヒノキの遺伝解析（保全セ）（1年目～2年目）

家系別無花粉ヒノキ選抜試験で得られた無花粉ヒノキ候補木の遺伝解析を行い、父親の探索を行うとともに、戻し交雑試験により、親クローンの無花粉遺伝子のヘテロ性について確認を行う。

（7）結果の概要

ア 無花粉ヒノキの選抜と早期実用化（自然環境保全センター）

（ア）無花粉ヒノキの特性解明（自然環境保全センター）

特性解明のため現在さし木 32 本、接ぎ木 16 本の育苗を進めている。あわせて基準品種であるナンゴウヒとあわせ育苗しており 28 年度に品種登録の特性表を作成する。

（イ）無花粉ヒノキ増殖手法の検討（自然環境保全センター）

新たな育苗方法として成形コンテナへの直ざし試験を実施した。秦野 1 号と無花粉ヒノキ候補木を実施したところ活着率は 0～57.1%であった（表 1）。秦野 1 号は原木から採穂したさし穂であったこと、使用したコンテナのスリットが大きく用土が乾き易い問題があった。

（ウ）新たな無花粉ヒノキ選抜試験（自然環境保全センター）

新たな無花粉ヒノキ候補木として、精英樹実生の試験から 5 本を選抜した（写真 1・2、表 1・2）。このうち 1 本は、飛散期を過ぎても葯が開裂せず、葯内に花粉形状のものは観察されなかった。平成 28 年春に再現性の確認を行い、雄性不稔個体として選抜する。

イ 無花粉ヒノキの遺伝特性の解明（森林総研・新潟大学・保全セ）

（ア）交配家系による連鎖地図作成（森林総研・新潟大学・保全セ）

①連鎖地図作成に資する交配家系の作成（保全セ）

連鎖地図作成に資する交配家系の作成を行い、2 クローンを母樹として人工交配 39 組み合わせを行い、種子 303.8g を得た（表 3）。今後育苗を行い連鎖地図作成に資する。

②連鎖地図作成に資する大量マーカーの開発（森林総合研究所・新潟大学）

ヒノキの挿し穂から RNA を抽出してメッセンジャー RNA として発現している遺伝子の配列を収集した。これらの配列（148,163 本のコンティグ配列）の中から、連鎖地図の作成に利用できる遺伝的変異の候補としてマイクロサテライト（SSR）配列を探索した。その結果 6,013 本のコンティグ配列から 6,763 個の SSR が検出され、そのうち 142 個の SSR に対して PCR プライマーの設計を行った。

（イ）ヒノキ遺伝解析手法確立と無花粉ヒノキの遺伝特性の解明（新潟大学・森林総研）

①効率的なヒノキマイクロサテライト手法の確立（森林総研・新潟大学）

多型性の高いマイクロサテライトマーカー 10 個により分析を行い 8 個のマーカーが親子識別に有効であった。

②無花粉ヒノキの遺伝解析（新潟大学）

選抜した無花粉ヒノキ候補木 5 本と採種園導入木のマイクロサテライト分析を行い、父親クローンの探索を行ったところ、すべての父親が確定された（表 2）



写真1・2 雄性不稔候補木の花粉飛散期を過ぎても葯の開裂しない雄花（左）と葯（右）

表1 無花粉ヒノキ及び候補木のコンテナ直ざしによるさし木の活着

系統	さしつけ数 (本)	活着数 (本)	活着率	備考
秦野1	20	0	0.0%	5/18さし木
1B2509	12	5	41.7%	5/26さし木
1B3502	7	1	14.3%	5/26さし木
1B4201	7	1	14.3%	5/26さし木
1B4208	7	4	57.1%	5/26さし木
2B2704	7	4	57.1%	5/26さし木
計	60	15	25.0%	

注1)用土は赤玉土、オキシベロン40倍24H施用

表2 無花粉ヒノキ候補木のマイクロサテライト分析による父系解析結果

系統	母親	花粉親	備考
1B2509	25久野1	28中7	
1B3502	35丹沢5	11中9	
1B4201	42箱根5	22箱根3	
1B4208	42箱根5	28中7	
2B2704	27三保7	28中7	

表3 連鎖地図作成のための交配と種子生産量

母樹	交配家系数	種子重(g)	備考
28中7	17	192.6	
48足柄上1	22	111.2	
計	39	303.8	

(8) 今後の課題

ヒノキの雄性不稔性の確認には、再現性の確認が必須であるが今回の結果は、まだ再現性の確認が得られていないものである。今後確認を行って雄性不稔ヒノキの選抜を目指す。

(9) 成果の発表

なし。

- (2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
- (2-2) 野生動物と共存できる森林管理技術開発

- (1) 課題名 A. シカ森林管理一体的推進手法の開発
- (2) 研究期間 平成 24 年度～平成 28 年度
- (3) 予算区分 丹沢大山保全・再生対策事業費(中高標高域ニホンジカ管理捕獲等事業費)、
水源林整備事業費
- (4) 担当者 田村 淳・谷脇 徹

(5) 目的

1997 年度から実施している水源林整備事業では下層植生を豊かにすることを目的の一つとしてスギ・ヒノキ人工林等で施業している。一方、2003 年度からのシカの保護管理事業では、丹沢大山国定公園特別保護地区である自然植生回復地域において、植生回復を目的としたシカの管理捕獲を実施している。しかし、水源林の施業地とシカの捕獲地が一致していないことから、施業地では下層植生が衰退するか、増えるのは主にシカの不嗜好性植物であった。水源林での施業効果を発揮するためには、施業地においてシカを捕獲する必要がある。こうした背景から、2012 年度から県は水源林の施業地においてシカの捕獲事業を開始した。

本課題の目的は、水源林の施業地におけるシカ捕獲後の植生回復を検証することと、水源林の施業地におけるシカの行動特性を把握して、それに応じた捕獲手法を検討することである。本報告では前者の植生回復の検証のために、2012 年度に設定した調査地を追跡調査した結果の概要を報告する。本調査はアジア航測(株)に委託して行った。

(6) 研究方法

2012 年度から水源林の施業地においてシカ捕獲を開始したことから、施業効果と捕獲効果を検証するために、11 箇所 34 地点で植生調査を実施した(表 1)。各箇所では 2～4 の繰り返し数となるように調査地を設定した。また、3 箇所では水源林整備事業で設置した植生保護柵内にも調査地を設定した。

調査は、各調査地に 2m×2m のコドラートを 10 個ずつ設置して、全コドラートを含む調査地の斜面方位、傾斜、緯度、経度、階層別樹種を記録した。次に 2m×2m コドラート内で全体の植被率、各出現種の被度・群度を記録した。2m×2m コドラートごとに、木本種のうち高木性樹種(小高木種含)を対象として樹高 10cm 以上 200cm 未満の樹木のうち樹高の高い上位 5 個体について樹種と樹高を測定した。高木性樹種がない場合は、低木種を対象として同様に調査した。測定個体にはナンバリングテープを巻き、樹高を 1cm 単位で測定した。ササ(スズタケ、ミヤマクマザサ、アズマネザサ)についても、2m×2m コドラートごとに生葉の付く位置の最も高い個体の稈長を計測した。

また各調査地にセンサーカメラを設置して、シカの撮影頻度を調査した。各箇所に 2 台のセンサーカメラを設置して秋期の 3 ケ月間調査した。

(7) 結果の概要

捕獲を開始して間もないため植生の顕著な変化は現われていないものの、「秦野峠林道 2 および 3」と「ワシガ沢 3」の 3 地点で植被率が前年よりも 10%以上増加した(表 8)。一方 2 地点で植被率が 10%以上低下した。センサーカメラの調査では、1 地点を除きシカが優占種であった。

表-1 各調査地の概況

管理ユニット	調査地名	柵内外	植被率 (%)	群落高 (cm)	総種数 (n/40m ²)	ササ稈長 (cm)	更新木 樹高(cm)	シカ撮影数 枚数	比率(%)
世附川A*	高指山1	-	4.4	15	70	-	245	46	94
	高指山2	-	4.1	17	64	-	14	72	75
	高指山3	-	2.7	15	54	-	9	333	82
	高指山4	-	28.8	104	32	102.5	20	34	85
丹沢湖A	丹沢湖南1	-	64.5	22	33	-	0	87	97
	丹沢湖南2	-	72.5	20	39	-	9	153	99
	丹沢湖南3	-	13.0	22	36	-	26	42	71
丹沢湖C (H26新規)	丹沢湖北1	-	14.5	26	38	-	52	81	90
	丹沢湖北2	-	10.5	26	49	-	14	14	61
	丹沢湖北3	-	4.5	9	23	-	7	41	85
丹沢南麓B	秦野峠林道1	-	16.7	37	69	-	22	31	54
	秦野峠林道2	-	31.5	49	45	-	22	114	95
	秦野峠林道3	-	31.5	22	51	-	11	133	99
丹沢南麓B	雨山山稜1	内	84.5	138	56	-	380		
		外	90.0	69	58	-	15	500	97
丹沢南麓C	雨山山稜2	内	77.0	44	31	140.0	394		
		外	88.0	95	37	-	9	530	99
	雨山山稜3	内	34.5	58	75	-	84		
		外	22.5	26	72	-	14	88	92
松田 (H26新規)	高松山1	-	36.0	33	66	-	55	38	42
	高松山2	-	65.5	60	45	-	19	65	81
	高松山3	-	61.5	50	34	-	100	77	80
大山秦野A (H26新規)	大倉尾根1	内	61.0	124	81	-	88	18	58
	大倉尾根2	外	68.5	67	75	-	44	26	65
	大倉尾根3	-	73.5	74	53	-	28	13	93
大山秦野B (H26新規)	蓑毛1	内	59.5	69	31	-	195	72	91
	蓑毛2	外	57.0	51	51	-	35	37	90
	蓑毛3	-	44.5	33	46	-	200	453	96
中津川D	大山北尾根1	内	77.5	45	62	-	33		
		外	14.2	15	46	-	12	69	92
	大山北尾根2	内	81.5	39	72	17.0	59		
		外	33.0	21	59	5.5	9	117	81
	大山北尾根3	内	79.5	76	53	-	24		
		外	39.0	18	57	-	15	130	73
清川A	日向屏風澤1	-	1.6	10	47	-	9	24	89
	日向屏風澤2	-	0.5	5	3	-	0	16	76
	日向屏風澤3	-	1.5	7	15	-	17	30	91
宮ヶ瀬湖B	ワシガ沢1	-	64.5	78	56	-	120	61	73
	ワシガ沢2	-	38.5	62	49	-	112	52	73
	ワシガ沢3	-	80.0	67	58	-	23	22	52

(8) 課題

施業の有無やシカ捕獲の有無を変数にした

(9) 成果の発表

例年5月に開催される「神奈川県ニホンジカ保護管理検討委員会」で概要を報告した。

- (2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
(2-2) 野生動物と共存できる森林管理技術の開発

- (1) 課題名 B. ブナ林におけるシカ管理手法開発
(2) 研究期間 平成 24～28 年度
(3) 予算区分 県単（特別会計：丹沢大山保全再生対策）
(4) 担当者 谷脇 徹

(5) 目的

ブナ林の植生保護や水源林整備と一体的なシカ管理モデルを開発するため、シカ生息状況の把握が求められている。シカは季節移動する動物であり、個体数管理を効率的に実施するためには通年での個体数把握が必要となる。そこで、今後重点的な捕獲が予定されている高標高の稜線部及び水源林整備地を対象に実施したセンサーカメラ調査の結果について統計モデルによる解析を行い、出没頻度の時系列変化について検討した。解析は株式会社 Foresters PRO への委託で行った。

(6) 方法

丹沢山（センサーカメラ 20 個、設置期間 2011 年 1 月～2015 年 3 月）、寄沢（23 個、2013 年 2 月～2015 年 3 月）、鷲ヶ沢（16 個、2013 年 2 月～2015 年 3 月）に設置したセンサーカメラによるニホンジカ撮影頻度の時系列変化について、これら地点でこれまでに実施した GPS 首輪による行動圏データを用いて統計モデルによるトレンド解析や行動パターン解析を行った。

(7) 結果の概要

センサーカメラによる撮影頻度は、丹沢山では二山型、寄沢と鷲ヶ沢では一山型の傾向を示した（図 1）。季節自己回帰和分移動平均モデルを適用すると、丹沢山では半年おきに、寄沢と鷲ヶ沢で 1 年おきに似たようなデータ（撮影頻度）が得られることが示された（図 2）。またこれらの間には時期に一定のズレがあるものの同調した変動があることが確認された（図 3）。丹沢山において撮影頻度の時系列での将来予測を行ったところ、ベイズ型推定によると季節ごとに増減を繰り返しながら 0 に近づくという予測結果となった（図 4）。丹沢山はワイルドライフレンジャーが捕獲を強化しているが、今回の調査期間は 4 年間と短期間であり、減少傾向は単なる年次変動の可能性もあるため他の密度指標との比較が必要である。

また、撮影頻度が実際の密度変動を反映しているかは明らかではない。このことについて、GPS 首輪データを用いて行動パターンを解析したところ、移動速度には季節変動は認められなかった（図 5）。このことは季節によって移動が増えるために撮影頻度が増加している訳ではなく、撮影頻度にはセンサーカメラ周辺の局所的なシカ密度が反映されている可能性があることが分かった。この密度変動に関係する要因を検討した。利用する標高帯と撮影頻度との関係では、稜線付近にセンサーカメラを設置した丹沢山では利用する標高が高いと撮影頻度が増加し、沢付近に設置した鷲ヶ沢では利用する標高が低いと撮影頻度が増加した（図 6）。鷲ヶ沢と同様に沢付近に設置した寄沢では標高と撮影頻度との明瞭な関係はなかった（図 6）。利用する標高には地点ごとに特有の緩やかな季節変化がある場合があり、そのことがセンサーカメラ周辺の局所的なシカ密度を増減させている可能性があるが、そのような季節変化が生じる原因は不明であった。

(8) 今後の課題

撮影頻度の季節変化に影響する局所的な要素について、より詳細な検討が必要と考えられる。

(9) 成果の発表

なし

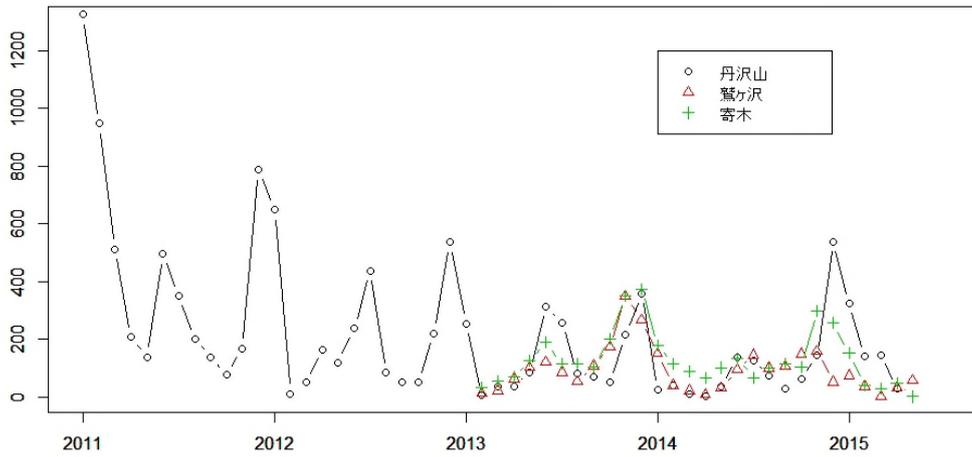


図-1 丹沢山、寄沢、鷺ヶ沢のセンサーカメラによるニホンジカ撮影頻度

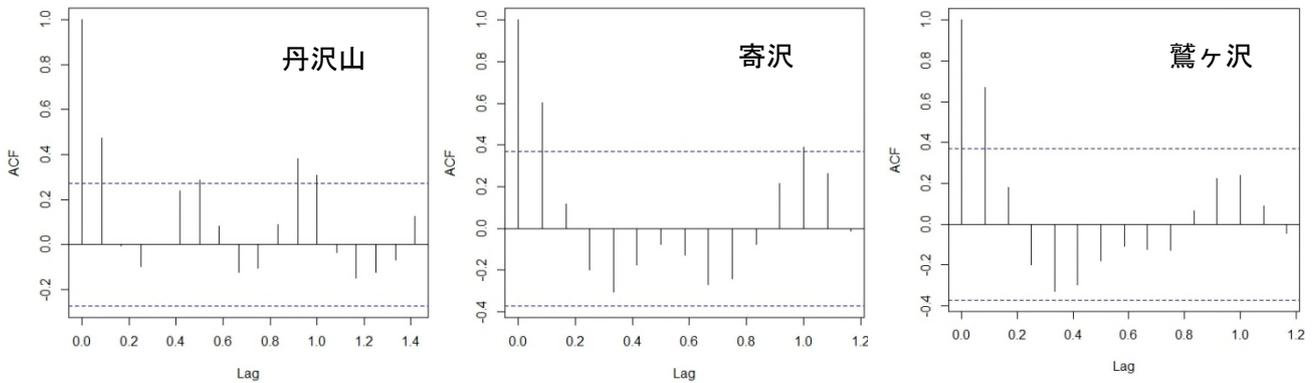


図-2 丹沢山、寄沢、鷺ヶ沢におけるニホンジカ撮影頻度の時系列での自己相関
(横軸は時間間隔を表し、1.0の間隔が1年間を示す。縦軸は自己相関の程度を表す。)

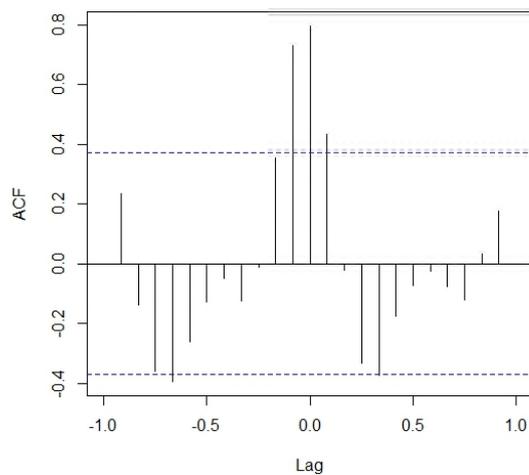


図-3 ニホンジカ撮影頻度の相互自己相関（寄沢と鷺ヶ沢の例）
(縦軸の値に周期性がみられ、時期が若干ずれるものの同調した変動があることを確認)

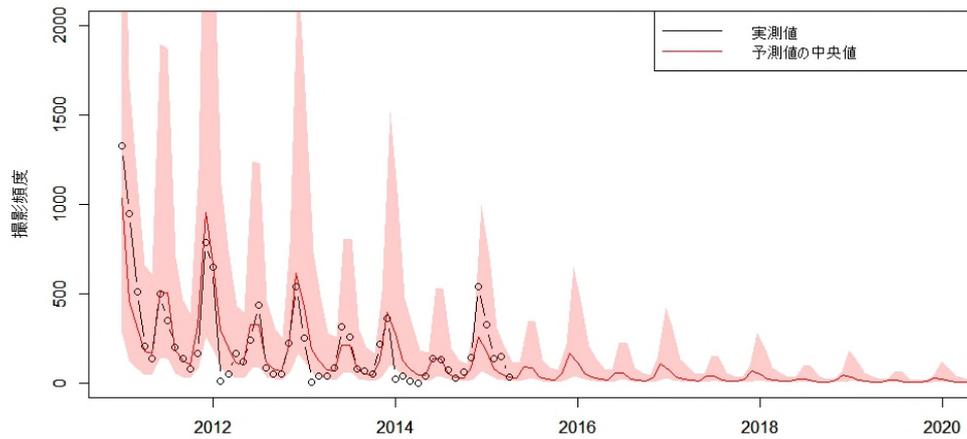


図-4 ベイズ型推定による丹沢山のニホンジカ撮影頻度の将来予測
(網掛けは 95%信頼区間)

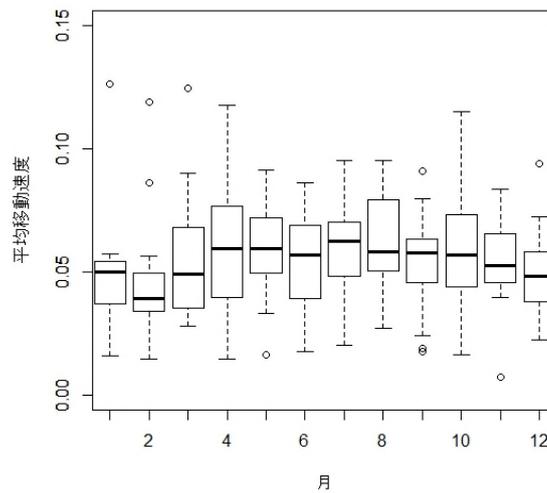


図-5 ニホンジカ 25 個体の平均移動速度
(箱ひげの横線が中央値、箱の最上端は第 3 四分位、最下端は第 1 四分位、点は外れ値を示す。)

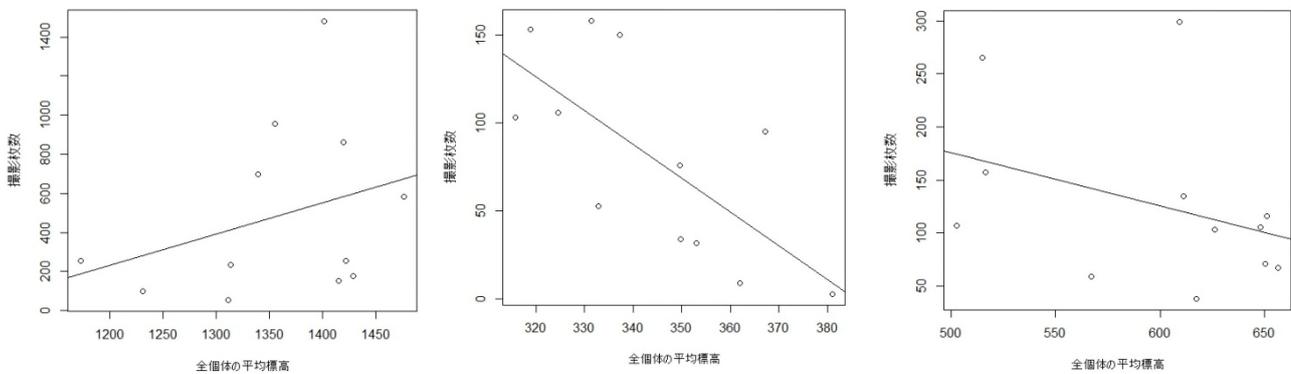


図-6 丹沢山、鷲ヶ沢、寄沢におけるニホンジカが滞在する標高と撮影頻度との関係
(直線は線形モデルによる予測 (正規分布を仮定した直線回帰))

- (2) 水源林など公益性の高い森林再生技術開発
- (2-2) 野生動物と共存できる森林管理技術の開発

- (1) 課題名 C. シカ生息環境モニタリング
- (2) 研究期間 平成 22 年度～
- (3) 予算区分 丹沢大山保全・再生対策事業費(中高標高域ニホンジカ管理捕獲等事業費)
- (4) 担当者 田村 淳

(5) 目的

丹沢山地ではシカの強い採食圧により自然植生の衰退や土壌流出といった森林生態系の劣化が問題化している。そこで 2003 年から神奈川県はシカ保護管理事業において植生回復のための管理捕獲を実施している。その事業の効果検証のモニタリングとして植生保護柵内外の植生とシカの植生への累積利用圧、モデル地区内現存量を 5 年間隔で追跡調査している。2015 年度(平成 27 年度)は 11 地点で柵内外の植生を追跡調査 (①) するとともに、丹沢山地西部において累積利用圧調査 (②) を実施した。本調査において①はアジア航測㈱に②は㈱緑生研究所と㈱野生動物保護管理事務所に委託して行った。

(6) 研究方法

①柵内外の植生調査

丹沢山地の 56 の管理ユニットに各 1 箇所の調査地を設置することを目標として、これまでに 56 箇所の調査地を設定した。各調査地には植生の劣化状況によらず植生保護柵が設置されている。これは、柵内外における時点間の林床植生の変化を比較することで、シカの影響を把握する目的がある。調査地には柵内外に 2m×2m のコラートが 10 個ずつ設置され、その内部において、林床植生全体の植被率と各出現種の被度・群度、高木性樹木稚樹の樹種名と樹高(上位 5 本)、ササの最大稈高を測定することになっている。各調査地は 5 年おきに調査している。2015 年は 11 地点で調査して、過年度のデータと比較して植生変化を解析した。また、センサーカメラを設置して、シカの撮影頻度を調査した。各箇所に 2 台のセンサーカメラを設置して、期間は秋期の 3 ヶ月間とした。

②累積利用圧調査

2014 年度と 2015 年度の 2 ケ年で丹沢山地全体の主要尾根線(総延長 718.8km)を踏査して、林床植被率や不嗜好性植物の繁茂状態、矮性化した低木、ササ、樹皮剥ぎの有無から植生劣化度と林床植被度を評価する。2015 年度は丹沢山地西部の 329.9km で踏査した。

(7) 結果の概要

①柵内外の植生調査

全体の傾向として、植被率や群落高、ササ稈長、更新木樹高といった植生指標は柵内で上回っていた(表 1)。センサーカメラの調査では、1 箇所を除いてシカが優占種であった。

前回(5 年前)の結果と比較すると、「イデン沢」と「大又沢」ではスズタケが平成 25、26 年で一斉開花した影響で柵内外ともに植被率やササ稈長は低下した。「大室山」と「石棚山 1」、「三峰(清川)」の 3 箇所では植被率が高まって、柵内と同程度になった。更新木の樹高が高まったのは「大室山」の 1 箇所のみであった。

表-1 2015年度の結果概要

管理ユニット	調査地名	柵 内外	植被率 (%)	群落高 (cm)	総種数 (n/40m ²)	ササ稈長 (cm)	更新木 樹高(cm)	シカ撮影数 枚数	比率(%)
世附川C	イデン沢	内	1.2	55	31	74.7	83		
		外	0.4	22	22	40.3	43	17	44
世附川D	大又沢	内	14.1	116	43	30.3	95		
		外	3.1	39	39	41.0	17	129	76
中川川上流A	権現山	内	66.5	69	50	70.0	68		
		外	2.0	18	32	-	-	26	43
中川川上流B	大室山	内	92.3	159	35	-	49		
		外	81.5	167	40	-	25	34	71
中川川上流C	石棚山1	内	62.0	105	67	-	170		
		外	69.5	49	60	-	13	8	67
中川川上流C	石棚山A	内	65.0	99	65	-	200		
		外	12.2	28	34	-	9	148	90
丹沢中央B	石棚山2	内	68.0	122	36	140.0	220		
		外	46.5	38	76	13.8	20	178	90
中津川B	丹沢山	内	94.5	94	56		105		
		外	95.2	110	49		61	267	94
中津川B	三峰(清川)	内	80.5	136	68	94.3	195		
		外	74.5	41	65	10.2	22	51	44
中津川D	水沢	内	92.5	67	41	42.0	73		
		外	16.0	38	47	-	12	108	83
大山・秦野A	大倉	内	34.0	246	49	246.0	166		
		外	45.5	247	29	242.0	20	15	16

※柵内の網掛けは植生保護柵が破損していたものを示す。

※「丹沢山」の柵外は、周辺に植生保護柵が新たに設置されて柵の中にとりこまれた値である。

※シカ撮影数は、平成26年9月～11月までの3ヶ月間においてセンサーカメラ2台に撮影された個体数の総数。複数枚連続撮影されたものは1回あたりの最大個体数とした。

※撮影数の比率は、全哺乳類の撮影個体数に対するシカの比率。撮影数の網掛けはシカが優占種ではなかったことを示す(丹沢湖ではイノシシが優占種)。

②累積利用圧調査

植生劣化度について、今回の結果を前回の結果と比較すると、東丹沢では1または2ランク改善したメッシュが大山北側や宮が瀬湖南部、丹沢山から塔ノ岳東側にあった(図2、3)。その一方で西丹沢の世附エリアでは劣化したメッシュが多かった。この要因として平成25、26年でスズタケが一斉開花・枯死したことやシカの影響の高まりがあげられる。

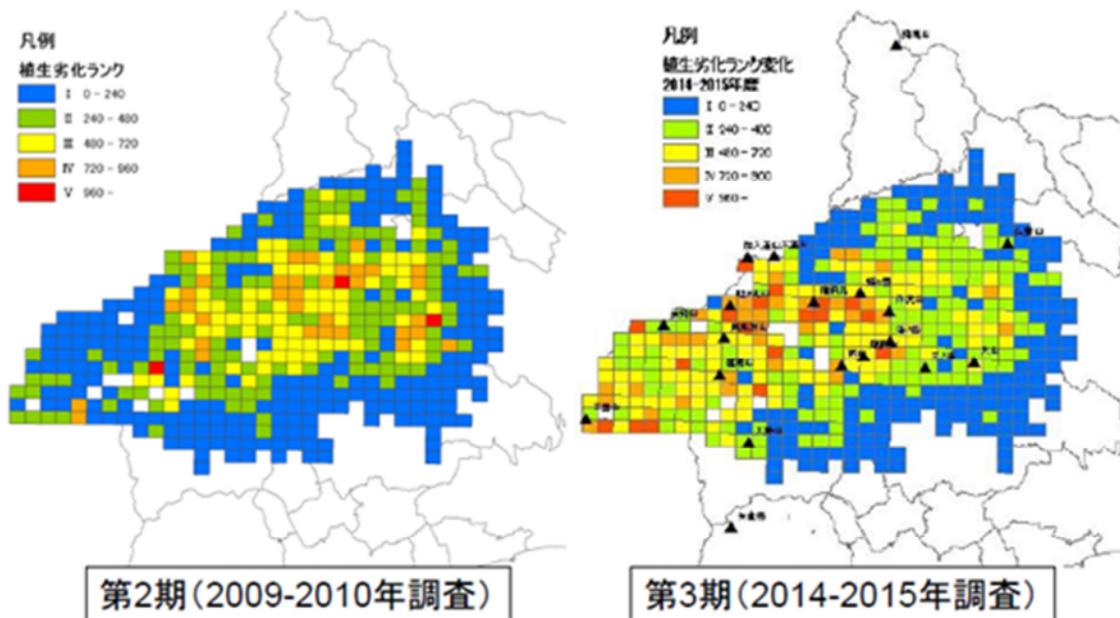


図-2 前期計画時と今期計画時における植生劣化度

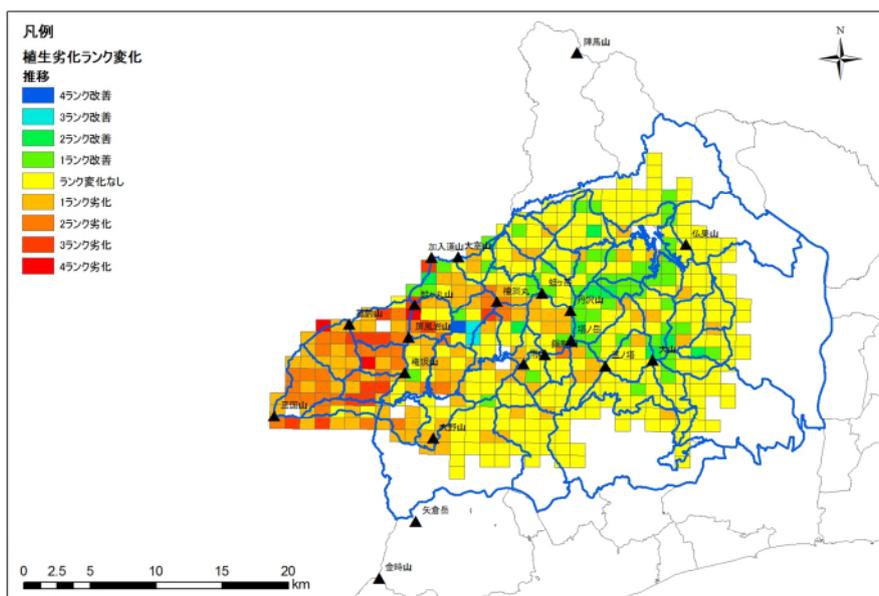


図-3 植生劣化度のメッシュ単位での変化

林床植被度については、前回までは全体の林床植被率を調査しておらず、そのため林床植被度の算出方法が今回と異なるため単純な比較は限界があるものの、傾向として林床植被の多いメッシュが少なくなった(図4)。とくに植生劣化度と同様に丹沢西部で植被度が悪化した。

3 関連業務

3-1 林木育種事業（特定林木育種事業・林木育種維持管理事業）

齋藤央嗣・毛利敏夫・久保典子

(1) 次代検定林調査

1) 定期調査：5年または10年ごとに成長調査（樹高・胸高直径）、材質調査（根曲がり・幹曲がり）、被害状況調査（病害虫、気象害等）を実施した。これらの現地調査は神奈川県森林組合連合会に委託実施した。

① 小野検定林（関・神・12号）

調査地：厚木市小野

調査林分：スギ・ヒノキ30年生、（クローン増殖） 0.5ha

植栽形式：列状植栽

② 檜木尾検定林（関・神・14号）

調査地：厚木市小野

調査林分：スギ・ヒノキ25年生、（クローン増殖） 1ha

植栽形式：列状植栽

(2) 種子生産

県立21世紀の森地内、スギ・ヒノキ採種園において、林業用種子生産事業委託を行なった。スギ種子は全量を花粉の少ないスギとして、当センター内の花粉の少ないスギ採種園と県立21世紀の森の採種園の2箇所では採取している。ヒノキ種子は、平成16年度より花粉の少ない6系統のみ県立21世紀の森の採種園で採取している。

1) 林業用種子生産事業委託

採取場所：21世紀の森採種園（スギ、ヒノキ）、

委託先：神奈川県山林種苗協同組合

実施内容：①カメムシ対策：ヒノキ採種園でカメムシ防除のための袋掛けを実施した。H25より花粉症対策品種のみの設置とした。

ヒノキ：1ha（1・3ブロック他 1,200枚設置）

② 着花促進（ジベレリン処理）

スギ：0.5ha（Aブロック 36本2回）、

ヒノキ：0.5ha（2・4ブロック他花粉対策木131本）

③ 種子生産（球果採取、種子乾燥、種子精選）

スギ：0.5ha（Aブロック）、ヒノキ：0.5ha（1・3ブロック他）

2) 花粉の少ないスギ採種園（七沢）での種子生産（0.2ha）

花粉の少ないスギ採種園において、ジベレリン処理による着花促進を行うとともに、10月に球果採取、種子乾燥、精選を行った。

3) 種子生産量及び発芽率

① 21世紀の森採種園において、花粉の少ないスギ種子は2.2kg（全量少花粉）、ヒノキ種子は、花粉の少ないヒノキ種子8.2kgを採取した。その発芽率は、花粉の少ないスギ種子35.2%、花粉の少ないヒノキ種子は31.9%であった。ヒノキは不作であり発芽率も低下した。

② 七沢の花粉の少ないスギ採種園では花粉の少ないスギ種子5.7kg（うち少花粉2.0kg）を採取した。その発芽率は24.6%（少花粉8.4%）であった。

③ 七沢の無花粉スギ閉鎖系採種園及び人工交配により無花粉スギ種子0.8kgを採取した。その発芽率は42.8%であった。昨年発芽率が大幅に低下（7.9%）したことからカメムシ対策として袋掛けを実施したところ発芽率が大幅に向上した。

4) 種子配布および種子貯蔵

生産した種子は造林種苗生産用種子として環境農政局森林再生課に報告した。配布残の種子については冷蔵（-5℃）および冷凍（-30℃）貯蔵により保管している。

(3) 苗木養成

1) 播種（水源林広葉樹苗木育成事業分を含む）

区分	樹種及び数量（2016年春）
播種	スギ 78g（交配スギ、花粉対策等）、ヒノキ 120g クロマツ（抵抗性、その他）105g、モミ（宮ヶ瀬、採種園産）100g キハダ 5g（内山採種園）、ブナ良 100g、浮等 4.5m ²
床替え	スギ 915 本、ヒノキ 510 本、 モミ（宮ヶ瀬、大山）190 本、 ブナ（堂平）16 本、シオジ（堂平）21 本 クロマツ 405 本、アカマツ 36 本 ヒメコマツ（地蔵尾根、接ぎ木）6 本
山出し ・出荷	ブナ 30 本、モミ 3 本（いずれも研究用）

2) さし木およびつぎ木（2016年春）

区分	さし木	つぎ木
針葉樹	スギ（花粉対策、精英樹等） 150本 ヒノキ（花粉対策、精英樹等） 90本	ヒノキ（花粉対策） 70本 クロマツ（抵抗性） 70本 アカマツ（精英樹） 150本
広葉樹	ホルトノキ（山神の樹叢）140本	なし

3) 林木の遺伝資源保存

天然記念物等遺伝資源保存として引き続き山神の樹叢（ホルトノキ、国天）の現地の実生のさし木及び育苗、有馬ハルニレ（県天）、康岳寺タイサンボク（市天）の維持管理を行った。

(4) 林木育種維持管理事業

七沢苗畑、スギの採種園および採穂園、ヒノキ採穂園、および精英樹クローン集植所について 1.57ha 内の除草、下刈、薬剤散布等の維持管理作業を行った。平成 27 年度は、内山スギ採種園 0.5ha の断幹作業を実施した。

3-2 水源林広葉樹苗木育成事業（広葉樹母樹の選抜）

(1) 広葉樹母樹の選抜

丹沢山堂平地区の広葉樹母樹の調査により、選抜した以下の広葉樹母樹候補木の増殖を実施した。

増殖：シオジ 県有林 5～8 号 21 本

(2) 広葉樹種子の生産指導

丹沢山堂平地区において広葉樹種子の生産を行った。ブナは結実したものの、健全種子はほとんど得ることができなかった。自然環境保全センターで精選した主な採取量は

以下の通りであった。今年度、初めて 21 世紀の森採種園で造成したキハダを採種した。
 (採取量はシイナ等を含む合計重量、単位 k g)

- ・堂平 ブナ 0.9kg
- ・宮ヶ瀬 モミ 4.4kg
- ・七沢 モミ 15.3kg (所内採種園)
- ・内山 キハダ 12.5kg (内山採種園)

また箱根地区の種子採取の現地指導を実施した。

3-3 林業技術現地適応化事業（無花粉スギの現地適用化試験）

平成 16 年に発見した無花粉スギ田原 1 号による閉鎖系採種園を造成し平成 20 年に無花粉スギ生産を開始したが、その生産技術の現地適用化のため、現地適用化試験の指導を実施した。

(1) 無花粉スギの生産指導

無花粉スギの生産指導のため、無花粉スギさし木生産指導（4 月）、苗畑での発芽状況調査（5 月）、ジベレリン散布（7 月）、無花粉スギ検定試験（1～2 月）を実施した。

(2) 無花粉スギ発現率調査

**表 平成28年春山だし苗の苗木生産者における
無花粉スギ検定結果**

苗の種類	A生産者	B生産者	C生産者	合計
	期待値50%	期待値50%	期待値50%	
調査本数	6,096	2,369	3,966	12,431
花粉あり	2,845	1,140	1,340	5,325
無花粉	2,569	1,024	1,168	4,761
出現率	47.5	47.3	46.6	47.2
無着花等	682	205	1,458	2,345

林業普及員研修および別途調査による無花粉の発現率調査は、左表の通りであった。今回の種子はすべて閉鎖系採種園産のものであったが、無花粉スギの発現率は 47.2% となり、期待値である 50% に近い値となり、懸案であった無花粉スギ発現率の低下は改善された。この結果、平成 27 年度の無花粉スギ検定本数は、4,761 本であった。しかし昨年簡易検定で判定した無花粉スギを顕微鏡での再確認でミスはなかったが検定本数が多かったことから、一部を簡略化したこと

から、一部を簡略化したこと

3-4 試験林整備事業

谷脇 徹・高橋成二

(1) 広葉樹遺伝資源保存林の管理

遺伝資源保全保存林(ケヤキ林 0.16ha、湿性広葉樹林 0.17ha)で下刈りを 1 回実施した。

4 諸活動

4-1 依頼調査と指導

職	氏名	テーマ	依頼者名	年月
主任研究員	齋藤央嗣	大山モミ関係施設視察	広島大学大学院総合科学研究科	2015年5月
主任研究員	齋藤央嗣	無花粉スギ関係施設視察	静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター	2015年7月
主任研究員	齋藤央嗣	苗木生産実態調査（得苗調査）指導	森林再生課（4日）	2015年10月
主任研究員	齋藤央嗣	ヒノキ雄花量調査指導（群馬県）	全国林業改良普及協会	2015年11月
主任研究員	齋藤央嗣	抵抗性クロマツ種子の配布	福島県森林整備課	2016年2月
主任研究員	齋藤央嗣	花粉関係施設視察（2回）	森林総合研究所	2016年2月
主任研究員	齋藤央嗣	無花粉スギ関係施設視察	北海道立総合研究機構森林研究本部	2016年3月
主任研究員	田村 淳	宮城野林道の植物調査	自然環境保全センター県有林整備課	2015年6月
主任研究員	田村 淳	溪畔林のモニタリング	自然環境保全センター県有林経営課	2015年6月
主任研究員	田村 淳	「丹沢の巨樹・巨木」の巻頭言	かながわトラストみどり財団	2015年7月
主任研究員	田村 淳	神ノ川林道工事予定箇所 の植物調査	県央地域県政総合センター森林課	2015年7月
主任研究員	田村 淳	水源林の樹木について	NPO 法人足柄丹沢の郷ネットワーク	2015年8月
主任研究員	田村 淳	溪畔林の植生モニタリング	自然環境保全センター県有林経営課	2015年9月
主任研究員	田村 淳	水源林の樹木について	NPO 法人足柄丹沢の郷ネットワーク	2015年10月
主任研究員	田村 淳	丹沢の希少植物の生育地 外保全	環境省新宿御苑事務所	2016年1月
主任研究員	田村 淳	清川村の樹木鑑定	清川村政策推進課	2016年1月
主任研究員	田村 淳	木材の樹種鑑定	県民	2016年2月

職	氏名	テーマ	依頼者名	年月
主任研究員	田村 淳	樹林化の評価（葉山島）	水源環境保全課	2016年3月

4-2 講師派遣

職	氏名	テーマ	依頼者名	年月
主任研究員	齋藤央嗣	関東・山梨ブロック林業グループコンクール現地検討 無花粉スギ及び大雄山スギ林	森林再生課	2015年7月
主任研究員	齋藤央嗣	林業普及員研修研修 抵抗性クロマツ苗木接種検定	森林再生課	2016年8月
主任研究員	齋藤央嗣	神奈川県におけるスギ雄花着花量による花粉飛散予測	NPO 花粉情報協会	2015年9月
主任研究員	齋藤央嗣	林業普及員研修研修 広葉樹種子生産	森林再生課	2015年9月
主任研究員	齋藤央嗣	緑の雇用現場技能者育成対策事業 造林(安全な造林作業)種苗・育種、植栽実習	神奈川県森林組合連合会	2015年11月
主任研究員	齋藤央嗣	神奈川県における花粉症対策と広葉樹種苗生産	全国山林種苗協同組合関東地区会	2015年11月
主任研究員	齋藤央嗣	生産事業者講習(林業種苗法法定講習)種苗の生産技術に関する事項 種苗の産地及び系統に関する事項	森林再生課	2015年12月
主任研究員	齋藤央嗣	第10回花粉症予防・治療シンポジウム(林業分野における花粉症対策 神奈川県の一例)	東京都健康安全研究センター	2016年1月
主任研究員	齋藤央嗣	林業普及員研修研修 無花粉スギの生産技術	森林再生課	2016年1月
主任研究員	田村 淳	水源の森林づくり担当者会議	保全 C 水源の森林推進課	2015年4月
主任研究員	田村 淳	森林整備基本研修「生物の多様性について」	森林再生課	2015年5月

職	氏名	テーマ	依頼者名	年月
主任研究員	田村 淳	水源の森林づくり整備部 会「モニタリングからみた 針広混交林化の現状」	保全 C 水源の森 林推進課	2015年5月
主任研究員	田村 淳	神奈川県の水源地で確認 できた植物	日本シダの会関東 支部	2014年5月
主任研究員	田村 淳	流域森林管理士コース「森 林施業の体系」	神奈川県森林組合 連合会	2015年7月
主任研究員	田村 淳	「自然環境をあつかう実 務とキャリア・プランニン グ」—神奈川県森林管理 と自然環境保全センター の仕事—	横浜国立大学理工 学部	2015年11月
主任研究員	田村 淳	住民参加型森林管理モデ ル事業における植生観察	横須賀三浦地域県 政総合センター	2015年11月
主任研究員	田村 淳	熊踊る森林を目指して— クマから丹沢を考える	丹沢ブナ党	2015年11月
主任研究員	田村 淳	丹沢のシカによる植生へ の影響と植生回復対策	明治大学農学部保 全生態学研究室	2016年1月
主任研究員	田村 淳	丹沢のニホンジカ管理に おける行政と研究の協働	山梨県森林総合研 究所	2016年2月
主任研究員	田村 淳	多様な森林生態系を守る —シカと森林との一体的 管理—	日本大学(森林学会 大会事務局)	2016年3月
主任研究員	田村 淳	丹沢モデル—シカからブ ナ林を守る神奈川県の取 組み—	森林施業研究会	2016年3月
主任研究員	内山佳美	水源の森林づくり担当者 会議	水源環境保全課	2015年5月
臨時技師	谷脇 徹	神奈川森林塾「森林の病害 虫」	森林再生課	2015年7月

4-3 委員会・研究会

職	氏名	名称	依頼者・主催者等	回数
研究連携課長	西口孝雄	神奈川県ニホンジカ保護管理検討委員会	自然環境保全センター野生生物課	1
研究連携課長	西口孝雄	水源環境保全再生かながわ県民会議施策調査専門委員会	環境農政局水・緑部 水源環境保全課	2
研究連携課長	西口孝雄	神奈川県水源林確保・整備専門委員会	環境農政局水・緑部 水源環境保全課	1
研究連携課長	西口孝雄	丹沢自然再生委員会事業評価部会	自然環境保全センター自然再生企画課	1
研究連携課長	西口孝雄	丹沢大山自然再生委員会	自然環境保全センター自然再生企画課	1
研究連携課長	西口孝雄	首都圏近郊都県森林・林業試験研究機関長及び研究企画担当者会議	担当都県	1
研究連携課長	西口孝雄	関中林試研究機関連絡協議会	担当都県	1
主任研究員	齋藤央嗣	花粉関係調査委員会	(社) 全国林業改良普及協会	2
主任研究員	齋藤央嗣	優良種苗研究会	関中林試連 (森林総合研究所林木育種センター)	1
主任研究員	齋藤央嗣	第 28 回関東甲信越花粉症研究会	(財) 日本気象協会	1
主任研究員	齋藤央嗣	関東森林学会幹事会	関東森林学会学会	1
主任研究員	齋藤央嗣	日本花粉学会評議員会, 編集委員会	日本花粉学会	1
主任研究員	田村 淳	平成 27 年度水源林担当者会議	自然環境保全センター水源の森林推進課	1
主任研究員	田村 淳	平成 27 年度水源林整備部会	保全 C 水源の森林推進課	1
主任研究員	田村 淳	神奈川県シカ保護管理検討委員会	自然環境保全センター野生生物課	1
主任研究員	田村 淳	水源ワークショップ	水源環境保全課	1

職	氏名	名称	依頼者・主催者等	回数
主任研究員	田村 淳	水源関係担当者会議	水源環境保全課水源の森林づくりグループ	3
主任研究員	田村 淳	『溪畔林整備の手引き』作成委員会	自然環境保全センター自然再生企画課	2
主任研究員	田村 淳	神奈川県植物誌編集委員会	神奈川県植物誌調査会 (県立生命の星・地球博物館事務局)	1
主任研究員	田村 淳	森林生態系効果把握調査プロジェクト委員会	自然環境保全センター研究連携課	1
主任研究員	内山佳美	水源環境保全・再生かながわ県民会議 施策調査専門委員会	環境農政局水・緑部 水源環境保全課	4
主任研究員	内山佳美	溪畔林整備の手引き検討会	自然環境保全センター自然再生企画課	1
臨時技師	谷脇 徹	所内ワーキング「シカと森林の一体的管理について」	自然環境保全センター自然再生企画課	1
臨時技師	谷脇 徹	関中林試 生物による森林被害リスク評価研究会	群馬県	1

4-4 発表・報告

氏名	題名	誌名	年月
齋藤央嗣	スギ・ヒノキ花粉症対策品種の効果的な普及に向けた取組の現状と対策	J A T A F F ジャーナル 3巻9号	2015年9月
齋藤央嗣	神奈川県におけるスギ雄花着花量による花粉飛散予測	日本花粉学会 56回大会(口頭発表)	2015年10月
岸川禮子・児塔栄子・宗 信夫・下田昭文・岩永知秋・横山敏孝・佐橋紀雄・齋藤央嗣・村山貢司・榎本雅夫・今井 透・齋藤明美・福富友馬	ブナ科、ブタクサ属空中花粉の増加と気象条件の検討	日本花粉学会 56回大会(口頭発表)	2015年10月
齋藤央嗣	簡易検定手法による無花粉スギ実生苗生産	森林遺伝育種学会 第4回大会(ポスター発表)	2015年11月
齋藤央嗣	丹沢山堂平ブナ林の長期試験地における13年間の森林動態	第128回日本森林学会大会学術講演集 G7	2016年3月
田村 淳	丹沢のブナ林—神奈川県はシカから森林を守ることができたのか	『シカの脅威と森の未来』文一総合出版(共著)	2015年7月
永田幸志・田村 淳	丹沢山地におけるササ3種の2014年の開花記録	自然環境保全センター報告 13	2015年8月
Atsushi Tamura	Potential of soil seed banks in ecological restoration of overgrazed floor vegetation in a cool-temperate old-growth damp forest in eastern Japan	Journal of Forest Research 21	2016年2月
田村 淳	神奈川県シカ不嗜好性植物図鑑		2016年3月
田村 淳	神奈川県広葉樹実生図鑑 改訂第2版		2016年3月

氏名	題名	誌名	年月
田村 淳	丹沢の希少植物図鑑—希少植物の保護に向けて—改訂増補第1版		2016年3月
田村 淳	シカ生息地における人工林間伐後の広葉樹稚樹の更新	公立林業試験研究機関研究成果選集 13: 29-30	2016年3月
田村 淳	多様な森林生態系を守る—シカと森林との一体的管理—	第127回日本森林学会 市民公開シンポジウム	2016年3月
田村 淳	丹沢モデル—シカからブナ林を守る神奈川県での取り組み	第127回日本森林学会 森林施業研究会シンポジウム	2016年3月
平岡真合乃・五味高志・小田智基・江草智弘・内山佳美	神奈川県大洞沢試験流域における土砂流出パターン	平成27年度砂防学会研究発表会概要集 R1-12	2015年5月
若原妙子・金星・石川芳治・白木克繁・内山佳美	丹沢ブナ林斜面における放射性Csの移動および貯留の経年変化	平成27年度砂防学会研究発表会概要集 R5-06	2015年5月
仁平啓介・平岡真合乃・五味高志・内山佳美	低高度写真撮影と3Dオブジェクト解析ソフトを用いた山地溪流の流路計測	平成27年度砂防学会研究発表会概要集 P2-015	2015年5月
久保圭槻・平岡真合乃・五味高志・仁平啓介・内山佳美	山地溪流でのPITtagsを用いた掃流土砂トレース手法の検討	平成27年度砂防学会研究発表会概要集 P2-028	2015年5月
Marino Hiraoka, Takashi Gomi, Keisuke Nidaira, Yoshiki Kubo, Tomoki Oda, Tomohiro Egusa, and Yoshimi Uchiyama	Sediment transport from a headwater stream: Field observations and a high-resolution photogrammetry	Gravel Bed Rivers	2015年9月

氏名	題名	誌名	年月
Tomoki Oda, Marino Hiraoka, Kazuki Nanko, Takanori Sato, Norifumi Hotta, Nobuhito Ohte, Masakazu Suzuki, Yoshimi Uchiyama	Spatial pattern of the throughfall volume on a steep slope dominated by deciduous broad-leaved trees	American Geophysical Union, Fall meeting 2015	2015年12月
Keisuke Nidaira, Marino Hiraoka, Takashi Gomi, Yoshimi Uchiyama	Measurement of Channel Morphology in a Headwater Stream using Low-Altitude Photography and a 3D Model Software	American Geophysical Union, Fall meeting 2015	2015年12月
Yoshiki Kubo, Marino Hiraoka, Takashi Gomi, Keisuke Nidaira, Yoshimi Uchiyama	Tracing bed load sediment using PIT tags in a steep headwater channel	American Geophysical Union, Fall meeting 2015	2015年12月
若原妙子・石川芳治・ 白木克繁・内山佳美	ニホンジカの採食により林床植生が衰退した斜面における土壌・リターおよびCsの移動—丹沢山地壮齢ブナ林での観測—	第127回日本森林学会大会学術講演集 T1-9	2016年3月
飯野貴美子・石川芳治・若原妙子・内山佳美	シカによるブナ林の林床植生衰退斜面におけるリター流出量に影響を与える要因	第127回日本森林学会大会学術講演集 H7	2016年3月
白木克繁・工藤司・片岡宏介・内山佳美	簡易架線集材による群状伐採整備が流域の水収支および土砂流出に与える影響	第127回日本森林学会大会学術講演集 I12	2016年3月
江草智弘・佐藤貴紀・ 小田智基・鈴木雅一・ 内山佳美	短期水収支法を用いた隣接する流域間の地下水移動量推定	第127回日本森林学会大会学術講演集 I19	2016年3月

氏 名	題 名	誌 名	年 月
Marino Hiraoka, Takashi Gomi, Tomoki Oda, Tomohiro Egusa, Yoshimi Uchiyama Watanabe K and Taniwaki T	Responses of bed loaded yields from a forested headwater catchment in the eastern Tanzawa Mountains, Japan Review of the Genera Atophotrophos Cushman, 1940, Cladeutes, Townes, 1969, Hercus Townes, 1969, and Neliopisthus Thomson, 1883, from Japan (Hymenoptera: Ichneumonidae: Tryphoninae).	Hydrological Research Letters 9(3), 41-46 (2015) Japanese Journal of Systematic Entomology 21(1): 69-75	2015 年 2015 年 5 月
谷脇徹・猪野正明・鶴 田英人・齋藤央嗣・相 原敬次・岡田充弘	ブナ若木へのジノテフラン樹幹 注入によるブナハバチの防除効 果	樹 木 医 学 研 究 19(3) : 139-148	2015 年 7 月
谷脇徹・永田幸志・鈴 木透・姜兆文・山田雄 作・山根正伸	植生保護柵を改修した囲いわな によるニホンジカの捕獲	神奈川県自然環境 保全センター報告 13 : 15-24	2015 年 7 月
谷脇徹	丹沢山地におけるブナハバチの 大発生と防除法の開発	森 林 防 疫 64 : 165-173	2015 年 9 月
Watanabe K, Taniwaki T and Kasparyan D	Tanzawana flavomaculata (Hymenoptera, Ichneumonidae, Ctenopelmatinae), a new genus and species of parasitoid of Fagineura crenativora (Tenthredinidae, Nematinae), a serious pest of beech tree.	Zootaxa 4040(2): 236-242	2015 年 11 月
谷脇徹・鶴田英人・猪 野正明・齋藤央嗣・相 原敬次・柳澤賢一・岡 田充弘	丹沢山地檜洞丸のブナ成木への 薬剤樹幹注入によるブナハバチ の防除効果	第 127 回日本森林 学会大会学術講演 集 : P2-150	2016 年 3 月

5 予算内訳

5-1 主な研究・事業費の予算内訳

1 経常研究費	2,428 千円
〈一般試験研究費〉	1,128
〈特定受託研究費〉	1,300
2 維持運営費	729 千円
〈自然環境保全センター維持運営費〉	
圃場等管理事業費	148
林木育種維持管理事業費	324
試験林管理事業費	257
3 研究関連事業費	240,407 千円
〈特別会計 森林環境調査費〉	135,900
〈特別会計 丹沢大山保全・再生事業費〉	82,679
〈特別会計 水源林整備事業費〉	13,638
〈神奈川重点実用化研究事業費〉	4,266
〈水源林整備推進事業費〉	1,110
〈農林水産技術開発推進費〉	205
〈林業普及指導費〉	615
〈治山事業費〉	1,994
合 計	243,564 千円

6 共同研究・連携機関

6-1 主な共同研究・連携機関一覧

愛媛大学

神奈川県環境科学センター

神奈川県産業技術センター工芸技術所

神奈川県農業技術センター

生命の星・地球博物館

森林総合研究所

森林総合研究所林木育種センター

長野県林業総合センター

丹沢ブナ党

東海大学

東京大学

東京農工大学

北海道大学

京都府立大学

酪農学園大学

神奈川工科大学

NPO 法人 神奈川ウォーター・ネットワーク

(株)野生動物保護管理事務所

(株)地圏環境テクノロジー

サンケイ化学株式会社

公益社団法人 神奈川県猟友会