

Ⅲ 令和3年度 関西支所の研究概要

令和3年度 関西支所の研究概要

1. 1ア a1 物質・エネルギーの動態モニタリングによる気候変動影響の評価と予測技術の開発

目的：森林の温室効果関連物質の放出・吸収過程とこれに影響を与える環境因子の影響を明らかにするため、フラックスタワーサイトにおいて、微気象環境要因ならびに温室効果関連物質交換量の観測を行うとともに観測の省力化を行い、物質・エネルギー動態の観測体制を整える。気候変動影響を評価するため、過去の土壤炭素蓄積を支配している因子を明らかにする。気候変動影響を評価するための土壤基盤データを整備・公開するとともに、土壤炭素動態に影響を与える各種因子の影響力を評価することにより、将来の土壤炭素動態を予測するモデルを開発する。

方法：京都府木津川市に位置する山城試験地において、老朽化したセンサーおよび記録計等の整理を行い、記録データのオンライン化および自動計算化を行うことで物質・エネルギー動態モニタリング体制を整える。過去の土壤炭素蓄積を支配している因子の一つである過去の植生、土地利用を把握するため、江戸時代以降の歴史資料を収集する。収集した歴史資料を時系列で比較することにより、植生、土地利用の変遷を明らかにする。

成果：山城試験地内のフラックスタワーに設置された古いセンサーとデータロガーを整理し、新しいセンサーへと交換を進めるとともに、微気象センサー群のネットワーク化およびフラックスの自動計算化を進め、即時的に物質・エネルギー動態データを確認できる環境を整えた。また、山城試験地における毎木調査の結果を整理し、ナラ枯れ被害によりコナラの地上部現存量は減少していたがアラカシ等の常緑樹は増加しており、全体としての成長量は維持されていることを明らかにした。長野県上田市菅平高原を対象にして1881-2010年の草原面積の減少とその要因について明らかにした。通常過去の草原面積の推定に用いられる旧版地形図では発行年代により限界があるが、地域に残る測量に基づいて作成された地図を用いることにより明治初期にまで遡ることができた。草原の減少には戦争など当時の経済・社会状況が影響していたが、菅平高原が国立公園に指定されてもなお草原面積の減少には歯止めをかけることができなかつたことを明らかにした。

2. 1ア aPF9 熱帯雨林生態系における水循環機構と植生のレジリエンスの相互作用の解明

目的：熱帯雨林における水循環機構と植生のレジリエンスとの相互作用を解明するため、東南アジア熱帯雨林において、いつ・どこに・どれだけ「利用できる水」が存在するか（＝水循環機構）、水ストレスに対する樹木の生存戦略（＝植物水分生理）、ガス交換機能の安定性の中に隠された樹木の反応が示す安定性を支えるメカニズムと限界（＝生態系フラックス）、の3つの視点から現地観測を行い、これらの結果をアマゾン熱帯雨林などの他所のデータとも併せて統合的に解析することで、降水量変動に対して熱帯雨林がどのように反応しその機能を保ちうるか（＝熱帯雨林のレジリエンス）を評価する。

方法：観測タワーにおいて取得された樹木個葉ガス交換特性および長期微気象データのデータベース化を行い、それぞれのガス交換特性の比較解析を行う。

成果：マレーシア・パソ森林保護区内のタワーにおいて測定を行った過去10年間の樹木個葉のガス交換特性を解析し、個葉内で不均一な気孔開閉がみられたが、環境条件により均一にも開閉すること、ヒステリシスがあることなどを明らかにした。観測タワーを用いて、フタバガキ科の樹冠葉（高さ35m付近）における気孔開閉様式を調べるために、携帯式ガス交換測定装置およびクロロフィル蛍光測定装置を用いて、個葉光合成量・蒸散量および電子伝達速度の葉内不均一性の調査を行った。様々な環境条件を含む2003年から2015年までの測定結果を解析したところ、葉温が35度以下となる比較的穏やかな飽差条件では均一な気孔開閉であったが、一日の中で、日射量の増加と共に葉温が上昇し、飽差が上昇すると、不均一な気孔開閉がみられ、個葉光合成量が大幅に低下した。また、土壤水分状態とは関係がなく、一日の間で一度不均一に閉じた気孔は、元には戻らなかつた。こうしたことは、大気が乾燥した時に群落光合成が急激に低下する生態系フラックス観測結果とも合致しており、環境変動に対して均一な気孔開閉を前提とした従来の光合成モデルを改良する必要があると考えられた。

3. 1ア aPF11 土地利用変化による土壌炭素の変動量評価と国家インベントリへの適用に関する研究

目的：日本国内における土地利用変化に伴う土壌炭素変動量を IPCC2019 改訂版ガイドラインに則した形で評価するため、質量均等法に基づく変化係数の取得、それを用いた土壌炭素の変動量手法を開発することを目的とする。森林－農地間の土地利用変化においては、現時点では森林－水田カテゴリーが主体となっているため、データ数の少ないカテゴリーである土地利用を対象にして現地調査を行い、データ数を増やす。

方法：森林－農地間の土地利用変化においてデータ数の少ないカテゴリーである西日本に広く分布する果樹園、茶園を中心に調査候補地を抽出する。調査候補地が実際に調査可能かどうかを現地の下見調査により決定する。調査可能であれば、収集した情報から土地所有者を確認し、許可を取得した後、土地利用変化の有無が比較できる近接した2地点で土壌炭素量、堆積有機物量の調査を実施する。土壌および堆積有機物の炭素濃度と容積重の測定値に基づき、土地利用変化にともなう土壌炭素蓄積量の変化を算定するための基礎的データを収集する。

成果：西日本の主要果樹である柑橘類の産地である愛媛県で調査候補地を抽出し、調査許可が得られた松山市のみかん園－森林において現地調査を実施し、土壌および堆積有機物試料を採取した。さらに、伊勢茶の産地である三重県で調査候補地を抽出し、調査許可が得られた菰野町、鈴鹿市、亀山市の茶園－森林において現地調査を実施し、土壌及び堆積有機物試料を採取した。採取した試料の炭素濃度、容積重を測定し、炭素蓄積量を算出した。森林への土地利用変化にともなう炭素蓄積量の変化を質量均等法に基づき評価したところ、みかん園では概ね増加傾向、茶園では減少傾向を示した。

4. 1ア aPF12 樹木内部の水・炭素輸送と樹木成長の季節・環境応答特性の解明

目的：森林の炭素循環過程は様々な気候帯で調べられて来ているものの、土地利用改変や攪乱からの回復過程については、メカニズムに基づいた定量的な理解が進んでいるとは言い難い。本研究では、森林における炭素循環過程のうち、未解明の部分の多い樹木内部の炭素・水動態について明らかにするとともに、樹体内炭素・水動態モデルを新規開発し、季節変動および不意の枝葉脱落、ギャップの形成など急激な周辺環境の変化等に対してどのように樹木が拡大成長・回復するのか、メカニズムに基づく定量的解明を目指す。

方法：レーザー分光二酸化炭素安定同位体分析計と自動開閉チャンバーを組み合わせた自動ラベリング解析システムを開発する。このシステムを用いて、様々な樹木・環境変動下において、野外高頻度パルスラベリング実験を行い、詳細な樹体内炭素動態（移動速度・滞留時間）および水動態データを取得し、新規モデルの検証材料とする。

成果：樹木の成長・衰退過程と樹木内部の炭素・水動態との関係を明らかにするために、いくつかの樹木について $^{13}\text{CO}_2$ パルスラベリング実験を行い、樹体内炭素輸送速度の季節変化および環境応答特性を明らかにした。ヒノキ成木（樹高約20m）を対象に9月下旬より7日間隔で $^{13}\text{CO}_2$ パルスラベリング実験を試みた結果、幹の複数個所に取り付けたチャンバーにより、吸収された $^{13}\text{CO}_2$ が幹上部から順に放出される様子が観測され、上部であるほど高い移動速度が算出された。また、降雨後には流下速度が上昇する傾向がみられた。幹下部ではその放出パターンがパルス状ではなく、比較的一様に放出されており樹幹部にも炭素が貯留されている様子が観測された。萌芽更新しているコナラを対象として、その成長フェノロジーおよび炭素輸送特性について調査した。高さ1mの位置で切断したコナラは4月中旬に萌芽し始め、約30本の枝が伸長した。萌芽1年目の秋に $^{13}\text{CO}_2$ を用いたラベリング実験を行ったところ、獲得した炭素は翌年の1月ごろまでは幹において呼吸として消費されるものの、冬季にはほとんど消費されず、4月初旬ごろから再び呼吸として消費されていた。また、地下部においても $^{13}\text{CO}_2$ の放出は検出されており、1年目の萌芽枝においても地下部へと光合成産物を供給する能力を持っていた。 $^{13}\text{CO}_2$ パルスラベリング実験により、炭素輸送速度はおおむね針葉樹で遅く、広葉樹で速いという結果が得られたものの、樹種や環境条件により、様々なパターンの炭素輸送・貯留特性があることが明らかとなった。本研究により得られた炭素輸送特性を樹木成長モデルに組み込むことによって、森林炭素動態モデルの精緻化に寄与できると考えられる。

5. 1ア aPF14 竹林は地球温暖化を緩和しうるのか？：モウソウチク林の炭素固定量の算定と将来予測

目的：日本全域での竹林の現在の炭素固定量の算定と、温暖化に伴う将来の炭素固定量の変動予測を行うこと目的とし、

野外計測手法を基軸に、1) 13地域の竹林における炭素吸収量および放出量の年々変動測定と変動要因の解明、2) 竹林の炭素吸収量および放出量の変動特性を再現する炭素固定量算定モデルの構築、を行う。また、3) そのモデルと日本全域の広域メッシュ化情報を利用し、竹林の炭素固定量の算定と将来予測を行う。

方法：モウソウチク葉の光合成と水利用率および葉の炭素安定同位体比を季節ごとに測定し、環境要因と合わせて解析を行う。

成果：竹の蒸散量および葉の炭素安定同位体比から竹林の炭素固定量を算定するため、モウソウチク個葉のガス交換量を定期的に測定して、光合成量・水利用率を算出し、葉の炭素安定同位体比との関係を解析したところ夏場に光合成量が大きく、水利用率が低い傾向がみられ、それに対応して炭素安定同位体比が低くなるなどの関係が明らかとなった。また、葉リターの炭素安定同位体比は夏季に低いものの、それ以外の季節では比較的高い値で一定していた。光合成により葉に固定、蓄積された有機物の炭素安定同位体比は、同位体分別により、気孔が開き気味の時には、より軽い炭素を固定するなど、気孔開度により変化し、水利用率を表す指標となることが知られているため、本研究における炭素安定同位体比から得られた水利用率パラメータを使うことで葉の光合成量を蒸散量から推定することが可能となり、渦相関法等の微気象学的手法では測定が困難な複雑地形に多いモウソウチク林における炭素固定量を、竹稈毎に連続して求めることが可能となる。

6. 1ア aPF15 「経験的なパラメーター」に依存しない新しいフラックス測定法の開発

目的：森林・農地・都市などから大気へ放出・除去される物質の輸送量（フラックス）の測定法として簡易渦集積法があり、水銀や揮発性有機化合物（VOC）など様々な物質のフラックス測定に用いられてきた。しかしこの手法は、他の物理量から得られた経験的なパラメーターに依存するという本質的な欠点を抱えている。本研究は、超高速フロー制御技術を用いたサンプリングシステムにより経験的なパラメーターに依存しない真の渦集積システムを実用化すると共に、これを用いたVOCのフラックス計測を実現する。

方法：様々な条件下において、高速応答のマスフローコントローラーを用いて、鉛直風速に応じた大気サンプリングを行うシステムを用いて渦集積法によるフラックスを測定し、渦相関法による測定値と比較を行う。

成果：真の渦集積法によるフラックス計測の精度を検証するため、高速応答のマスフローコントローラーを用いて渦集積大気サンプリングシステムを構築し、京都大学桐生水文試験地および山城水文試験地において、CO₂フラックスの渦相関法による観測との比較を行った結果、おおむね渦相関法による観測結果と一致したが、群落により過小・過大評価の度合いが異なっており、森林群落構造や水蒸気フラックスが観測に影響を与えていることが示唆された。微気象学的手法によるフラックスの測定では、対象ガス濃度測定を乾燥空気に対する濃度で測定する必要があるが、マスフローコントローラーでは乾燥空気量ではサンプリングできないため、本システムにおいても渦相関法と同様にガスフラックスの中で大部分を占める水蒸気フラックスによる補正を必要とすると考えられた。本研究により、従来の簡易渦集積法では経験的なパラメーターに押し込められていた渦相関法との誤差が定量的に明らかとなった。真の渦集積システムでは微量ガスフラックスを直接算出することができるため、測定事例の少ないVOC等の吸収・排出量の算定方法改善に寄与すると考えられる。

7. 1ア bPF10 林業を対象とした気候変動影響予測と適応策の評価

目的：林業分野を対象とした気候変動予測と適応策の評価を行うため、気候変動に伴う高温・乾燥ストレス等による人工林の成長量への影響予測モデルと、豪雨の増大等による山地災害リスクの影響予測モデルの高度化を図り、人工林樹種の地域系統ごとの環境適応幅を評価する。また、将来気候下における潜在成長量、山地災害リスク、経済性等を考慮し、地域内における森林の最適配置を複数シナリオ下において予測するための適応策評価モデルを開発する。さらに、生産量変化の予測される地域と現行苗木特性との比較を行い、将来気候を考慮した地域系統ごとのゾーニングを行うことで将来的な地域系統の適地を予測し、地域に応じた最適な地域系統選択指針を示す。

開発された適応策評価モデル、地域系統選択指針を用いて、共通シナリオでの影響予測や適応策オプションの効果を解析してとりまとめ、将来気候下における森林の最適配置、管理指針を提案し、モデルを全国に展開する。こ

れにより、将来気候下における我が国の森林管理技術を創出することを目的とする。

方法：地域スケールにおける気候変動影響予測に必要となる成長量、樹齢等の情報を含む林班の情報、環境要因について収集整備を行う。

成果：昨年度までに開発したスギ人工林の成長量を高解像度で予測する統計モデルを基盤として、対象地域（岐阜県郡上市、高知県香美市、福岡県朝倉市等）でベースラインの推定を行い、将来気候シナリオを用いて将来気候下における成長パターンを試算した。また、日本における気候変動適応策を検討する目的で、世界各国の森林・林業への気候変動影響や適応策に関してレビューを行った。

8. 1 ア bPF12 森林国際支援

目的：気候変動の進行とともに増加が懸念される山地災害に対して、途上国の自然的・社会的条件や想定される災害のタイプ等を考慮しながら、日本の持つ技術、知見を生かした防災、減災機能の強化への技術開発、課題の調査を行う。具体的には、途上国の森林の防災・減災などの機能強化に係る課題などを調査分析し、リモートセンシング技術や治山技術を途上国の森林の防災、減災機能の強化に適用するための手法を開発する。

方法：山地災害や林地荒廃に関する基礎情報を得るため、ベトナム北部を対象とした実態調査に基づく防災、減災技術に関連する文献情報を収集し、同国における既存の対策事例を分析する。現地カウンターパートであるベトナム森林科学アカデミー（VAFS）と共同で、ベトナムの山地災害および沿岸域の防災・減災機能に関する現地調査を実施する。

成果：ベトナムにおける山地災害の実態を明らかにするため、北西部イエンバイ省とソンラ省内に設置した共同調査地（Muong Gion Commune）において現地調査を実施し、斜面崩壊の特徴と周辺環境の情報を収集した。その結果、斜面崩壊については、森林の防災・減災機能が十分に発揮されないと考えられる灌木林、竹林、農地の周辺において表層崩壊が生じていること、道路沿いの切土法面は多くが無対策なこと、ふとんかご以外の治山施設は普及度が低いことなどの情報を得た。さらに、住民への聞き取り調査により、森林伐採によって山地災害のリスクが増加することを懸念しているものの、生活のために山地斜面を利用せざるを得ない社会状況の実態を把握した。

9. 1 イ aI 生態系からみた森林の生物多様性に関する研究の高度化

目的：多様な森林利用が今後加速するなかで、多様な立地条件や林分状態に対応した林分の成長を予測し、それに基づき森林経営する上で適切な対処法を科学的評価から提示する。

方法：近畿圏中山間地の広葉樹林は、燃料革命後、資源とみなされず放置され、大径化した樹木は枝もかなりの太さがある。しかし、現状では枝はほとんど使われることなく林地残材となっている。そこで、広葉樹の枝のカスケード利用を目的として、近畿圏の里山広葉樹10種を用いて、長さ30cmのミニチュアほど木を試作し利用可能性を評価した。広葉樹10種の枝（直径6cm-13cm）を、30cmの長さに採材し、早生種菌（118原木栽培シイタケ種菌 菌興椎茸共同組合）を駒打ちし、ほど木を水に2日間浸したのち、森林総研関西支所の実験林内に置き、その後のシイタケの発生状況をモニタリングした。

成果：シイタケは、11月から翌年3月にかけて10種すべてから発生した。発生数は降水の有無とリンクしていた。材比重は、実験開始から2年経過した時点でも、どの樹種も大きな変化は見られず、まだ分解は進んでいないものと思われた。ほとんどのシイタケが駒打ちした部分からの発生であるが、一部側面の駒打ちした部分ではないところからも発生しており、菌糸が材の中で広がっているものと思われた。

10. 1 イ aPF10 腸内細菌に由来する匂いは昆虫の社会を司るか？－アリを題材に－

目的：メタゲノム解析によってアリとその関連生物の腸内微生物叢解析を行い、両者の間に社会生活を共にすることによる腸内微生物叢の共通性が見られるか否かを検討する。

方法：細胞内共生微生物であるボルバキアとリケッチアがPCR産物の大半を占めてしまい、腸内微生物叢の比較が困難になる問題を解決するための解析手法を考案する。その上でアリと好糞性昆虫の間に見られる腸内微生物叢の共

通性・相違を検討する。

成果：腸管と腸内容物からDNAを抽出し、メタゲノム解析に供した結果、腸管に比べて腸内容物の方が明らかにPCR産物に占める細胞内共生微生物の割合が少なく、腸内微生物叢の比較がしやすくなることが明らかとなった。また、腸管と腸内容物との間には種組成比の違いは見られるものの、目立った種構成の違いは見られないことが明らかとなった。この抽出方法を用いて、アリ、好蟻性昆虫、自由生活性昆虫を対象に腸内微生物叢の解析を行ったところ、これまでに解析した範囲では、アリと好蟻性昆虫との間には微生物叢の明らかな共通性は見いだせなかった。その他に、同じ分類群であっても好蟻性昆虫と自由生活性昆虫とでは微生物叢が異なること、アリの種によっては特異的な共生菌を保持することなどが確かめられた。

11. 1 イ aPF14 増えるシカと減るカモシカは何が違うのか？最適採餌理論からの検証

目的：日本において、同所的に生息し餌資源の類似するシカとカモシカであるが、シカの生息密度は植生が衰退するまで高くなることがある一方で、カモシカの生息密度は安定的に推移することが報告されている。このような違いが何に起因するのか、最適採餌理論の概念に基づいて採食生態の観点から両種の違いを検証し、それに基づいてシカおよびカモシカの餌資源選択のモデル化および将来的な両種の個体群動態予測を行う。

方法：長野県のシカが高密度に生息する地域に2か所（長野県塩尻市、下諏訪町）、近年シカが増加しつつあるが現在は低密度の地域に2か所（長野県南木曾町、王滝村）に調査対象地を設定した。それぞれの調査対象地に詳細調査区（約4km×4km）を設定し、調査区内に設置したセンサーカメラによるシカとカモシカの撮影回数を調査した。併せて、カメラ設置地点における階層別の植被率を記録した。

成果：南木曾と王滝でのシカとカモシカ撮影頭数は同程度であったが、シカの分布が拡大しつつある南木曾ではシカの撮影頭数割合が高かった。塩尻や下諏訪ではシカの撮影頭数が多く、カモシカの撮影頭数割合は数%であった。シカの撮影頭数が非常に多かった下諏訪では、季節にかかわらず草本層および低木層の植被率が顕著に低かった。以上の結果から、シカの分布拡大と個体数増加がカモシカの生息状況に影響していることが示唆された。特に草本層や低木層が一定量以下になると、カモシカの個体数が減少する可能性が考えられた。

12. 1 イ aPF16 森林昆虫の多様性研究の新展開：駆動力としての昆虫関連微生物の存在意義

目的：本課題は、令和元年度に終了した「アウトブレイク前における森林昆虫とその随伴微生物のリスク評価：先見的病害虫対策のために」（アウ bPF47）の後継課題である。前課題では、特に大発生を起こす森林病害を対象に、その病原体、媒介昆虫近縁種のリスク評価を行った。ここで得られた情報を発展させ、本課題では森林における節足動物の多様化において、その共生微生物、微小動物がどのような影響を与えているか、もしくは与え得るかを明らかにすることを通じて、森林において節足動物（特に昆虫類）の種多様性が非常に高くなっている要因を明らかにする。関西支所では節足動物（昆虫）に関連する線虫類を対象とする。

方法：本課題は基礎研究であるため、昆虫を中心とした微生物、微小動物との共生系における、生理、生態的機構を明らかにすることを目指す。そのためには、

(1) 様々な異なるタイプの森林において昆虫をはじめとする節足動物を採集し、この共生微生物、微小動物相を調査し、解明する。これにより、基礎的知見としての現状把握を行う。また、ここから、

(2) ホスト昆虫、節足動物の生理、生態的特徴、生活史特性、環境要因としての森林タイプと共生微生物、微小動物相を比較することにより、森林昆虫、節足動物の多様化要因を解明するという二段階において、目標達成を目指す。

成果：本課題の2年目に当たるが、前年に引き続き、遠方での採集を行いにくい状況であったため、京都府、滋賀県を中心に日帰り可能な範囲での採集、もしくは、遠隔地の研究者から提供された材料が中心となった。この結果、

1) ヤスデなどの土壌動物、腐敗果実などの基質から分離した *Pristionchus* 属線虫9種を新種として記載した。同属は、サテライトモデル系として重要な *P. pacificus* を含むことから、分類、生態、行動から、発現遺伝子、ゲノム解析までの広範囲の研究が進められている研究素材であり、今回記載した9新種に関しても今後の基礎的研究への利用が期待される。

2) 関西支所構内のウメ腐敗果実を摂食する昆虫であるケシキスイ類複数種から *Sheraphelenchus succus* を再分離した。本種は森林総合研究所千代田試験地（茨城県）においてコナラの樹液から検出、記載されたものであるが、関西支所構内のケシキスイから安定的に分離されることから、このグループの昆虫を便乗宿主として用いているものと考えられる。本研究においては、これまでに知られていなかった *Sheraphelenchus* 属の昆虫便乗態幼虫の形態を明らかにするとともに、同属に関しての分類学的整理を行った。腐敗果実などの不安定な基質においては、特異的に適応した線虫種が一部に見られるため、森林生物多様性の解明には重要な基質であると考えられる。このため、腐敗果実に関しては次年度以降も継続的に調査を行う。

3) 長野県上田市、筑波大学菅平高原実験所構内で採集したトドマツから羽化脱出したトドマツノコキイムシ便乗、寄生線虫調査を行い、複数の未記載種を検出した。このうち、*Cryptaphelenchus* 属の1種を、*C. abietis* として、新種記載を行った。*Cryptaphelenchus* 属は、系統的には、糸状菌食性種を起源とし、線虫捕食種、昆虫寄生種へと食性転換した系統群に属している。しかし、本属は、糸状菌食性へと食性の再転換が起こったグループであり、実験室内で培養が可能である。また、その食性進化過程が系統的に明らかであることから、植物寄生者を含む線虫類の食性進化研究材料として今後の利用が期待される。

以上の研究により、次年度以降に用いるための研究材料が部分的ではあるが確保された。これらの資料を利用した試験を行うとともに、次年度以降、引き続き試料の採集、同定、培養株確立を行う予定である。

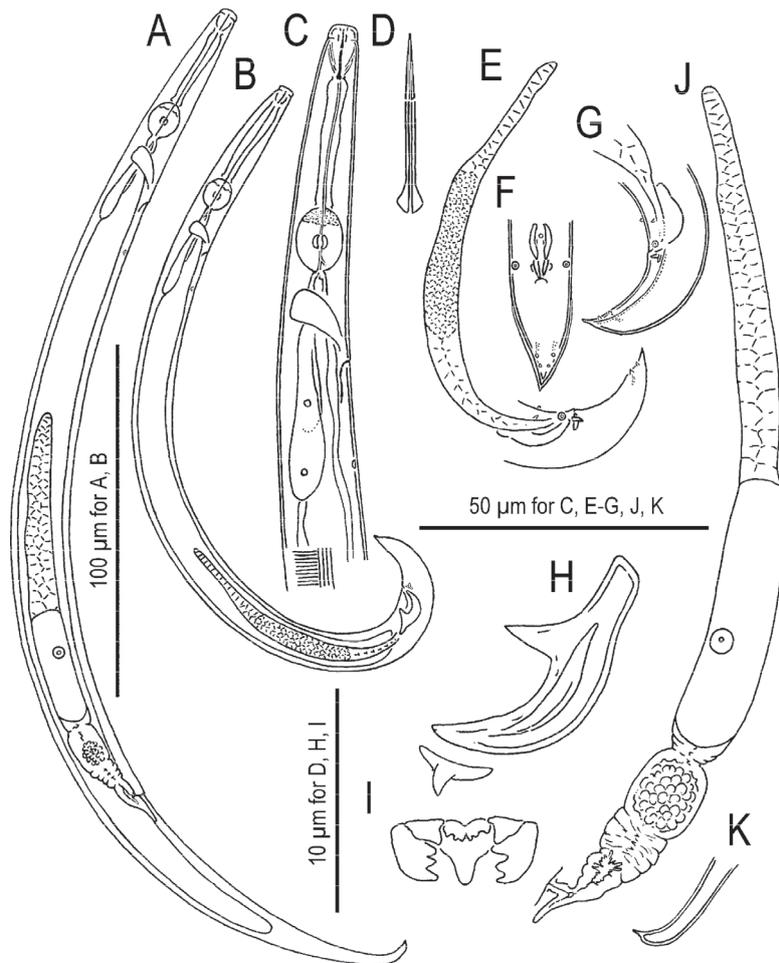


図. *Cryptaphelenchus abietis* 成虫の描画
 A: 雌成虫; B: 雄成虫; C: 頭部; D: 口針; E: 雄生殖腺; F: 雄尾部腹面; G: 雄尾部側面; H: 雄交接刺と付属刺 (apophysis) 側面; I: 付属刺腹面; J: 雌生殖腺; K: 雌尾端

13. 1 イ aPF26 沖縄島北部の森林で生じた渡らない生活史は鳥類にどんな地域固有性をもたらしたか？

目的：琉球列島周辺地域の固有鳥類であるアカヒゲ種群をモデルケースとして、渡らない生活史の進化が遺伝的・形態的分化と相乗的にもたらす地域固有性について多面的に検証する。

方法：繁殖生態の地域間変異を明らかにするために、巣箱と自動記録装置を用いた繁殖経過の記録システムを試作する。既存の試料をもとにアカヒゲ種群に適用可能なマイクロサテライトマーカーを探索する。

成果：アカヒゲ種群による利用率の高い巣箱の形状として平屋根で、大きな角型の入り口のものを作製した。市販の自動撮影カメラをベースに営巣する鳥類に影響せず容易に設置・回収可能な記録装置を試作して取り付けた。また、汎用マイクロサテライトマーカーの中からアカヒゲ種群でも安定して目的領域が増幅されるものを特定した。

14. 1 イ aPF27 森林景観内の樹木の多様性規定要因を解明する

目的：社会基盤の安定に寄与している森林の生物多様性が有する生態系機能は景観単位で発揮される。したがって、生態系の保全や管理を施策する上でも、景観スケールで生物多様性が維持されるメカニズムを理解する必要がある。景観内の多様な生息環境が生物多様性を支えていることは広く知られているが、森林生態系の樹木の多様性を対象にこのことを実証した例は意外にも少ない。なぜなら、これまでの森林の多様性についての研究は、比較的均一な数 ha の森林内部のメカニズムに着目しており、尾根や谷など森林景観内の多様な環境を網羅するほどの広域を対象にしていないからである。本課題では、全国各地の小面積多地点調査区データを統合し、これまで局所的な範囲に限られていた樹木多様性が維持されるメカニズムについての理解を数kmに及ぶより広域の森林景観全体に拡張することを目的とする。

方法：全国各地で行われた森林景観内の多様な環境を内包するような、1 km²～数 10 km²の範囲を対象に行われた、小面積多地点調査区を用いた毎木調査データを収集し、それらを統合して解析を行う。

成果：全国の7か所で行われた小面積多地点調査データについて、データ責任者とデータ共有について打合せを行い、使用許可を得た。これらのデータは個々の研究者がそれぞれの目的のために独自に行っているため、調査方法や調査項目が異なっている。そのような異なる規格で行われた毎木調査データに対して統合的な解析を可能にするためにデータを整理した。

15. 1 イ aPF34 土壌動物の腸内微生物叢から森林の物質循環を読み解く

目的：森林の物質循環の要である「分解」プロセスは、前半の「リターの細断とその初期消化」を土壌動物が、後半の「無機養分の放出」を土壌微生物が担う。このリレー形式の循環において土壌動物の腸内微生物叢も大きな役割を果たしていると考えられるが、これまで腸内微生物叢にはあまり焦点が当てられてこず、その実態は未だ不明な部分が多い。そこで本研究では物質循環における腸内微生物叢の位置づけを明らかにするための第一段階として、腸内微生物叢に環境応答性があるか否か、また土壌動物の種の違いによって、どのような腸内微生物叢の差異が見られるかについて評価することを目指す。課題担当者は本課題において、土壌動物の腸内微生物叢の 16S アンプリコンシーケンス解析を担当し、得られた結果をもとに、土壌動物種間や異なる林分環境間でどのような腸内微生物叢の差異が見られるかを検討する。

方法：当年度は解析に適した土壌動物種候補の選定を行う。また、土壌動物の採集法について検討する。いくつかの土壌動物種について、サンガーシーケンス法による腸内微生物叢解析の予備実験を行う。

成果：解析に適した土壌動物種候補を検討し、トビムシ類、ダニ類、ワラジムシ類、クモ類、ゴミムシ類などを候補として選出した。また、DNA 解析に持ち込めるような土壌動物の採集法として、エタノールを受け皿に入れたツルグレン装置を用いることとした。トビムシについては多様な微生物叢が検出されること、ボルバキアやリケッチアなど細胞内共生微生物による解析上の問題が生じないであろうことを確認した。

16. 1 イ cPF2 世界自然遺産のための沖縄・奄美における森林生態系管理手法の開発

目的：世界自然遺産登録地域における、遺産の顕著で普遍的な価値を代表する固有鳥類種保全のため、徳之島でモニタ

リング調査の体制を検討する。

方法：徳之島において、さえずりのプレイバックを用いた多地点での定点観察により固有鳥類のモニタリングを行うため、プレイバック音源の作製、調査地点の検討、野外での定点観察調査を実施した。

成果：徳之島では共同研究者とともに80地点で各2回の定点観察を行い、作成した音源と調査地点網により希少鳥類の分布を効率的に把握できること、現在の希少鳥類の確認地点の多くが世界自然遺産登録地に含まれることを明らかにした。

17. 1イ cPF16 森林の生物多様性の分布形成機構の解明と気候変動に適応的な保護区の提示

目的：生物多様性条約では締約国に対して、生物多様性を保全するための地域の設定（保護区）が求められているが、今後の気候変動が予想される今、保護すべきエリアが将来変化することを見越して設定する必要がある。しかしそのためには、(1) 生物多様性の分布が気候変動とともにどのようにシフトするか？ (2) 生物多様性保全上重要な特殊地形環境は何か？ (3) 土地利用が種のプールをどのように損じているか？ (4) 植生を衰退させるシカなどの草食性哺乳類は気候変動にどのように応答し、生物多様性にどのような影響を及ぼすか？ といった課題を解決する必要がある。近年、現在の生物分布が最終氷期以降の気候変動を経た今もなお、平衡状態に達していないという説が提示されており、とりわけ最終氷期にも氷床で覆われずに森林が存在していた日本では、生物分布のシフトが遅滞している可能性が高い。この問題の解明なくして将来を見越した保護区の設定はできない。本研究は、オープンに使用できる環境データと世界的にも稀有な日本の生物分布ビッグデータを活用して、以上の課題を科学的に解明・解決し、気候変動に適応的な生物多様性保護区を提示することを目的とする。

方法：日本においてすでに設置されている生物多様性の保護地域（以下、保護区）（具体的には、森林生態系保護地域、生物群集保護林、希少個体群保護林、緑の回廊、国立・国定公園、自然環境保全地域、世界自然遺産、ユネスコ生物圏保存地域、鳥獣保護区など）を主な舞台に、以下の4つの問いを設定する。1. 最終氷期に森林が分布していた日本において、その終了から約1万年後の現在、生物の分布およびその集合体としての生物多様性の分布は、すでに平衡状態に達しているのだろうか？ 2. 生物多様性保全上、地形的にどのような特殊な環境が重要だろうか？ 3. 保護区周辺の土地利用は、保護区内の生物多様性を確率的に維持できる状態だろうか？ 4. シカ個体群のサイズ・分布・摂食行動が気候変動とともにどのように変化し、将来の生物多様性にどのような影響を及ぼすだろうか？

成果：本年度までに、前述の問い1.に対応する生物分布と環境条件との平衡性に関する仮説を検証するための統計モデルを構築し、常緑広葉樹を対象樹種として平衡性の程度の定量化を行った。その結果、多くの対象種で標高傾度では環境条件と平衡に到達しているのに対し、緯度傾度では7割程度の樹種で平衡に到達していない可能性が示唆された。

18. 1イ k1 長期観測試験地に基づいた森林動態のモニタリング

目的：間伐強度が、スギ雄花の着花量に与える影響について経年変化を明らかにすることを目的とする。

方法：京都市醍醐国有林において、2009年に設置した間伐強度の異なるスギ林試験地（無間伐、25%間伐、50%間伐、75%間伐、多雄花50%間伐、通常50%間伐）において、目視によるスギ雄花着花量の評価（A：陽樹冠全体に豊富に着花、B：陽樹冠全体にまばらに着花、C：樹冠の一部に着花、D：着花なし）と個体の周囲長（GBH）の測定を行った。

成果：2022年2月の調査では、例年と比べて雄花着花量が少なく、多雄花間伐区と、通常間伐区では前年よりも着花指数が低かったが、間伐率が高いほど着花量が多い傾向であった。一方、無間伐区では他の区に比べて着花量は少なかった。各試験区の個体のサイズの平均値は、75%間伐区が最も大きく（GBH = 109.6cm）、間伐率の増加に伴いサイズが大きかった。一方多雄花50%間伐区（GBH = 81.1cm）と比べて、通常50%間伐区のほうがサイズが大きいく（GBH = 94.5cm）、繁殖への投資量の多い系統では、成長量が劣っているものと考えられた。

19. 1ウ a1 水循環・物質循環が関与する森林の機能の評価技術の開発

目的：森林およびその周辺環境の変化が森林の物質循環に及ぼす影響を評価するため、物質循環に関わる諸要素を観測に基づき定量的に測定、推定するための手法、技術を開発することを目的とする。

方法：2014年に噴火した長野県、岐阜県境に位置する御嶽山の南東麓に設定した7ヶ所の定点において、火山灰の渓流水の水質に対する影響の推移を確認するため、渓流水を採水し、溶存成分濃度を測定した。また、竜ノ口山森林理水試験地南谷の間伐実施林分において間伐後の林内雨量の観測を継続するとともに、流出水量への影響を調べた。

成果：6月下旬から7月上旬、10月上旬、12月下旬の3回渓流水を採水した。しかし、8月15日の豪雨により王滝村村道が被災し、通行止めになったため、それ以降、王滝川上流の3地点では採水できなかった。調査前から50mm以上の降水量があった6～7月は各地点のpH、電気伝導度および溶存成分濃度は低かった。一方、平水時に採水した10月、12月の試料は、pH、電気伝導度および溶存成分濃度は通常観測される範囲内の数値を示した。竜ノ口山森林理水試験地南谷においては、2018年1月末頃実施された34年生ヒノキ人工林における本数率30%間伐の水流への影響を調べるため、間伐前3年間と間伐後約4年間の時間単位の水流出水量のハイドログラフを基底流出と直接流出に分離し、それぞれ積算して、暦年毎に各流出成分を北谷と比較するダブルマスカーブ解析を行った。基底流出は、間伐前後で異なるグループに分かれ、2018年の変化が同年の西日本豪雨に関連する一時的な変化ではないことがうかがえた。一方、直接流出における両流域の差は小さかったが、北谷の値が60mmを超えた段階で2020・2021年はそれ以前よりも南谷の値がより小さい傾向を明瞭に示した。2019年は年降水量が1,035mmと少なく、2020年は後半に寡雨傾向となった。2021年は平年を超える降水量で経過している。流域の乾湿状態による両流域の流出特性の違いを踏まえ、今後の経過を確認していく必要がある。

20. 1ウ aPF7 気候変動への適応に向けた森林の水循環機能の高度発揮のための観測網・予測手法の構築

目的：気候変動や豪雨・旱天による洪水・渇水に関するリスクに備えるため、森林における水循環過程・水質形成過程の多地点・多要素のデータベースを構築し、大気環境や気候などの環境変動による森林生態系の蒸発散量や水利用効率に及ぼす影響や水質変化のリスクを評価するとともに、森林環境の観測・監視、長期変動解析技術を公開・共有する。

方法：観測網を構成する山城試験地においては、降水及び渓流水の採取と水質分析を継続した。渓流水を採取している地点において水温・地温を測定し、豪雨時の懸濁物質の動態を観測した。懸濁粒子の濃度は孔径0.7 μm のガラス繊維フィルターを用いて吸引ろ過し、105℃の定温で2時間熱し、放冷後重量を測定し、供試水量で除して算出した。懸濁有機物は、懸濁粒子ごとガラス繊維フィルターを550℃で1時間電気炉を用いて熱し、放冷後減量を測定し、算出した。また、観測タワー上において水蒸気・CO₂フラックスのオープンパス型、エンクローズドパス型のアナライザーによる観測を連続的に行った。さらに、同じく竜ノ口山森林理水試験地における水文・気象観測の質的充実を進め、山間部の全天日射量観測において不可避な地形や植生の影響を評価する方法について検討した。

成果：山城試験地において降水及び渓流水を月2回程度の頻度で採水した。地温測定用のデータロガー（Onset社U23）、水温測定用のデータロガー（Onset社U22）により地温、水温を観測した。強雨時に渓流水を連続して採水するため、自動採水装置（ISCO社6712）を3mm 15min⁻¹の雨量で起動するように設定し、その後30分もしくは1時間間隔で24個のボトルに約1Lずつ採水した。今年度は5月から9月までの期間に7回の強雨イベントで採水した。梅雨の初めの大きな出水はこれまでで最大のイベントで、懸濁粒子と懸濁有機物のピーク時の濃度は、それぞれ3,000mg L⁻¹と600 mg L⁻¹以上を示した。それ以降のイベントでは、ピーク時の懸濁粒子と懸濁有機物の濃度はそれぞれ1,000mg L⁻¹、300 mg L⁻¹を上回ることはなかった。また観測タワー上の水蒸気・CO₂フラックスの観測において渦相関法の2種類のガス分析手法による違いを比較したところ、降雨後の欠測期間が長いオープンパス型に対して、エンクローズドパス型では年間を通して降雨中においても雨滴影響はほぼなく、安定して測定できていた。一方、地表面熱収支の基本項目である全天日射量を山間の開地などで観測する場合、地形だけでなく樹冠層により日射が半透過的に遮られる時間帯の発生が避けられないため、その影響の程度を定量的に評価する方法を岡山実験林気象観測露場における熱電堆式日射計による3秒毎値の5分平均値を解析して検討した。地形と樹冠による障害が生じ

る時間帯 (Tc) は、日射計設置位置で全天写真を撮影して明確にした。任意の単位期間 (1日~1か月) において、地球の自転・公転・経緯度・日時から幾何学的に推定される大気上端日平均日射量 (常に観測最大値よりも小さい) を出発点として、単位期間の観測値全体の一定値以上 (下限値を Ci% とする) を含む余弦曲線を探索し、Tc における観測値の外郭線との差を減衰量 (La) とした。この方法は、スパイク値の可能性もある観測最大値から余弦曲線を推定する方法に比べ、Ci が 90% 以上のとき La は概ね一定値に収束する傾向があるため、機械的な評価法としては優位性があると考えられた。

21. 1ウ aPF17 森林内における放射性物質実態把握調査事業

目的：2011年3月の東京電力福島第一原発の事故により、各種の放射性物質が飛散した。落葉層及び土壌には高濃度の放射性セシウムが長時間蓄積されることが指摘されている。それらが溪流中に流れ込むことによって、溪流の生物に影響を及ぼし、ひいてはヤマメやイワナなども放射性セシウムに汚染されるため、人間の食生活にも影響がでる。本研究では、溪流中の主要な要素である藻類・リター・砂について、現時点での放射能汚染の実態を把握することを目的としている。

方法：事故後に設置した川内村の調査地 (A、B、C) において、モンカゲロウ科、藻類、リター、砂を採集し、放射性セシウム濃度 (Cs-137) を測定した。

成果：Cs-137 の平均値は調査地 A、B、C の順に砂：58Bq/kg・222Bq/kg・342Bq/kg、リター：274Bq/kg・538Bq/kg・868Bq/kg、藻類：125Bq/kg・248Bq/kg・215Bq/kgであった。モンカゲロウ科は、それぞれ 274Bq/kg・316Bq/kg・335Bq/kgであった。一年前の結果と比較すると概ね減少となった。

22. 1ウ b1 森林の山地・気象災害軽減技術の高度化

目的：森林伐採と植栽が洪水と崩壊へ及ぼす影響を明らかにする。また、山城試験地の地形情報を整備する。

方法：林野庁の林業統計要覧より、過去の保安林面積や伐採量を、国土交通省の水害統計より過去の洪水氾濫面積を、種々の災害資料より崩壊件数を調査し、これらの相互関係を分析する。また、山城試験地の地形情報を整備するために、高精度の GPS 機器とレーザー距離計を用いて地形測量を行う。

成果：洪水は森林伐採後直ちに反応すると考えられるため、伐採前年度の保安林面積、伐採面積を指標として用いた。一方、崩壊は、根系が崩壊防止機能を発揮するためには約 20 年必要なため、災害発生 20 年前の総保安林面積、災害発生年の前 20 年間の総伐採面積を指標として用いた。

植栽と洪水・崩壊の関係は、植栽面積が増えると洪水氾濫面積、崩壊発生件数が減少する傾向を示し、伐採と洪水・崩壊の関係は、伐採面積が増えると洪水氾濫面積、崩壊発生件数が増加する傾向を示した。これらは、以前より経験的に知られていたことであるが、数値として示したのは本研究が初めてである。また、山城試験地の斜面には土壌流出を防ぐために設置された石筋工が多数存在しており、それらの位置・長さ・方位を測量し、石筋工の分布図を作成した。

23. 1ウ bPF19 土層の生成から流出までの循環過程にもとづく新しい山地保全技術の開発

目的：山地源流域から降雨時に排出される土砂量を通年で実測する。

方法：花崗岩を基盤とする小流域を対象にして、流域の出口に量水堰と堆砂プールを設置し、土砂流出量を実測する。

成果：流域面積約 1ha、平均傾斜 40° 程度の山地源流にある観測流域の出口に、幅 60cm × 長さ 180cm × 高さ 30cm の堆砂プールを設置し、満砂時に約 500kg の土砂を捕捉できる観測体制を整えた。堆砂プールに大量の土砂が溜まった場合の重量測定は困難であるため、定容積容器で採取した土砂の乾燥密度を測り、土砂の総重量を求める工夫をした。2021年8月12~15日に累積雨量 257mm のまとまった雨で堆砂プールが満砂になり、500kg 以上の土砂が流域外へ排出された。インターバルカメラに撮影された画像では、10分間に 5mm (1時間雨量で 30mm) 以上の強度の雨が降った場合に、活発な土砂移動が生じていた。この一方で、雨量強度の小さな期間が連続する 10月から3月末にかけての土砂流出は 20kg にも満たなかった。この流域の土砂流出は、雨量強度の大きい梅雨から夏に集中

していた。

24. 1ウ bPSI 樹木根系の分布特性の多様性を考慮した防災林配置技術の開発

目的：崩壊を引き起こす移動体内の根系の特徴を調査し、その特徴を明らかにするとともに、崩壊防止機能を損なわない森林施業の考え方を示す。

方法：崩壊の発生源となる移動体内の根系の特徴を明らかにするため、崩壊地滑落崖、亀裂、森林路網で確認される根系を調査した。

成果：崩壊の発生源となる移動体内の根系の特徴を調査した。移動体は引張域と圧縮域に分けられ、立木は引張域では上方へ、圧縮域では下方へ傾く。引張域の根系は、普通木に比べ長く、若干太くなる。また、移動体外側の滑落崖、側方崖をまたぐ立木の根も同様の特徴をもつ。一方で、移動体下方の圧縮域の根系は、普通木に比べ著しく太く、移動体を抱き込むように巻き込む。また、普通木は根系の空白域に根を伸ばすが、圧縮域の根は隣接木の根圏へも進入し、根が接触した場合には癒合することが明らかとなった。さらにこれらの根系の特徴に普遍性があることを確認した。圧縮域の根系は、移動体下部が破断されることを防ぐことで崩壊を防止すると考えられた。

これらの根系の特徴から崩壊防止機能を失わないための要木残しの施業方法について提案した。すなわち、移動体全体が健全な森林の根系で覆われるようにすることに加え、特に、移動体下部中央の根系の効果が高いことから、この位置の立木を大径に育成することが重要であると考えられた。これらの成果は、林野庁、近畿中国森林管理局、九州森林管理局等の現地検討会や根系と防災に関するセミナー、治山研究発表会、関東森林管理局交流会で発表し、現場技術者より早速現場へ応用したいとの提案を多数受けた。また、林野庁が作成した「国有林の手引き」に要木残しの施業方法が掲載された。

25. 1ウ k1 森林における降水と渓流水質のモニタリング

目的：都市域から排出された環境負荷物質が降雨を介して森林に流入していると考えられる京阪神地域の都市近郊林において林外雨と渓流水の主要溶存成分のモニタリング調査を行い、化学特性の変化および各溶存成分の流入量、流出量を明らかにし、森林から流出する渓流水質に対する都市域から排出された環境負荷物質の影響を評価することを目的とする。

方法：林外雨と渓流水のモニタリングは近畿中国森林管理局京都大阪森林管理事務所管内北谷国有林内の山城水文試験地（京都府木津川市、34° 47'N、135° 50'E）で行う。林外雨は観測タワー上部に設置した直径21cmのポリロートで受け、10Lポリタンクに貯留、採取する。渓流水は、源頭部付近で常時流水のある地点に設けた定点で採水する。林外雨と渓流水の採取は月1～2回程度の頻度で行う。採取した林外雨、渓流水サンプルは実験室に持ち帰り、pH、電気伝導度（EC）、溶存成分濃度を測定する。各溶存成分の流入量は試料ごとの濃度と林外雨量の積を一年分積算して算出する。渓流水からの各溶存成分の流出量は、各溶存成分濃度と採水時の流出水量を用いて流出水量と各溶存成分の流出量の関係式であるL-Q式を作成し、そのL-Q式により各溶存成分の日流出量を算出し、これを一年分積算して算出する。

成果：研究資料を参照

26. 1ウ k2 森林水文モニタリング

目的：森林総合研究所の森林理水試験地は降水・流出に関する基盤的モニタリングサイトである。森林生態系や林業経営の時間スケールに見合う長期連続観測により高い精度で蓄積してきたデータは、洪水や渇水等、水に関わる森林機能に対する行政需要や社会的関心に応える、他に類例のない貴重な観測資料となっている。基盤的観測資料としての意義と価値をいっそう高めるために、各試験地における高精度の観測を継続するとともに試験地の維持管理業務を着実に推進し、データベースの充実に努める。

方法：竜ノ口山森林理水試験地北谷・南谷における流量観測および岡山実験林における気象観測を継続し、記録データを収集・整理するとともに、試験地の施設・機器・周辺環境の状況を定期的に把握し、観測精度を維持する。

成果：2021年の月降水量は平年並かやや下回る月が多い中で、7月上旬と8月中旬の降水量が多く、特に8月は平年の3倍近い降水量を記録した。結果として年降水量は3年ぶりに1,300mmを超える1,343mmとなった。この値は平年を14%上回り、過去84年間で多い方から24番目の記録となる。月流出水量は、7月と8月に平年を上回ったほかは平年を下回り、年流出量は北谷で平年を16%上回った一方、南谷では平年を10%下回った。これは7月の多雨の影響が、南谷では平年比50%増、北谷では平年比114%増と2倍以上の差が生じたことが影響している。このため、年流出率は北谷で0.30、南谷で0.24と若干差がつく結果となった。詳しくは研究資料を参照。

27. 1ウk3 森林気象モニタリング

目的：森林における二酸化炭素・水蒸気交換量および各種微気象環境要素（温度・湿度・日射量・降水量等）の観測を行い、大気二酸化炭素濃度の増加や温暖化等の気候変動評価のためのデータを蓄積する。

方法：山城水文試験地（京都府北谷国有林）内に建てられた微気象観測タワーおよび観測施設において、各気象要素およびフラックスを長期連続モニタリングする。

成果：山城水文試験地において、気象観測と渦相関法等による生態系の正味CO₂交換量・水蒸気フラックスの観測を実施した。渦相関フラックス観測に関しては、22年間使用してきた従来のシステムから新しいシステムに移行し、より欠測の少ない堅牢なモニタリング体制を整えた。また、観測タワー施設等の点検、老朽化した観測機器の撤去および交換、安全器具の交換等のモニタリング環境整備を行った。

28. 2アa1 造林・育林技術の実証とシーズ創出に向けた研究開発

目的：国内でほとんど前例のない広葉樹資源の循環利用に向け、まずは伐採後の林分の更新技術の開発が急務である中、広葉樹の主要な更新様式である萌芽再生の実現可能性評価が求められている。ここでは萌芽の起源である潜伏芽の発生消長の非破壊的観察に最新のツールを用いることを試みることで研究シーズの創出を図ることを目的とした。

方法：森林総合研究所関西支所構内の苗畑に植栽されたブナ科樹木について、伐採後の切株を対象に潜伏芽の観察を試みた。

成果：伐採後の切株を観察した結果、年輪最外層まで伸長し樹皮下で待機している潜伏芽の特定を行うことができた（研究シーズの創出）。これを受け、中長期計画の遂行に向けた新たな研究プロジェクトの立案・申請を行う予定である。

29. 2アaPF1 成長に優れた苗木を活用した施業モデルの開発

目的：人工林の主伐と植栽による更新を確実にし、資源の循環利用を進めるためには、造林－保育作業全般を省力化・低コスト化するための技術開発が重要である。本研究では、1. 成長に優れた苗木の育苗技術の高度化、2. 低コスト初期保育技術の開発、3. 成長に優れた苗木による施業モデルの構築、により、植栽後に性能を確実に発揮させるための育苗方法・出荷規格の確立と、GIS及びリモートセンシング技術による立地評価に関する技術を開発する。

方法：(1) 造林地内における苗木と雑草木の競合状態をドローン空撮画像から推定する手法を開発し、現場データを用いた抽出精度や既存の競合指標の汎用性を検証した。

(2) 接触刺激が育苗中のスギコンテナ苗の成長および形態に与える影響を明らかにするため、夏に苗を3分間もしくは30分間揺らす処理、もしくは成長点を1往復もしくは10往復撫でる処理を行い、対照区の苗と成長を比較した。

(3) 植栽直前の追肥（葉面散布）による成長促進効果を検討するため、植栽4週間前から週2回葉面散布施肥を実施し、これらの苗木を関西支所構内に植栽し、その後の葉の生理特性（クロロフィル蛍光、窒素量）、成長、活着を調べた。

成果：(1) ドローン空撮画像を解析した結果、背丈の低い雑草が繁茂している場所で競合状態の推定精度が低かったが、色と高さを合わせて評価することで精度が改善できることを明らかにした。

(2) 苗木の接触実験では、各処理は伸長成長量に影響を与えなかったが、30分間揺らした処理区の苗において肥大成長量が小さかった。苗の形状比（直径に対する樹高の割合）で比較すると、成長点を10往復撫でた処理区は対照区より苗の形状比が有意に低下した。このことから、育苗中に成長点に接触刺激を与えることで苗の形状比が低減

できる可能性が示唆された。

(3) 植栽直前の追肥実験では、植栽後の活着率はグルタチオン散布区で低く、ハイポネックス、コントロールではほとんどの個体が生存した。生き残った個体は、成長期末までに樹高の伸びはほとんどなかったが、どの処理区も地際径が増加した。葉の光合成活性は植栽後約1か月半で回復したことから、この間に移植後の生理的馴化がおきたことが示唆された。

30. 2ア aPS2 広葉樹利用に向けた林分の資産価値および生産コストの評価

目的：広葉樹林の循環利用システムの開発に向け、広葉樹林を伐採したときに期待できる収入（林分の資産価値）を予測するため、幹曲がりによる損失率や用途別利用率を反映させ、種構成やサイズ分布に応じた木材価格を明らかにすることで、広葉樹特有の条件を反映させた資産価値を評価する。

方法：時系列の衛星画像から森林資源量を推定するため、R2年度に試行した手法を必要に応じて修正し、近畿中国と東北の対象域をカバーする雲なし合成データを作成する。樹種別サイズ別の木材価格情報の収集を進める。広葉樹林の優占種で、製材用として取引量の大きい主要樹種の価格を整理する。これらのデータを用いて、林分単位の資産価値推定モデルの精査を行う。

成果：近畿中国および東北の全体対象範囲で時系列モデリングを行い、衛星画像の雲なし合成処理を実施した。全体としてクオリティの高い合成データが作成できたが、東北多雪エリアの山頂付近では、積雪期間が長い影響で周囲に比べて特異な値を示す画素が確認された。次年度に行う広葉樹資源量の空間分布評価では、このような画素を解析から除外する必要があると考えられた。樹種ごとの直径-材価格推定モデルと林野庁多様性基礎調査情報との関係性について、ランダムに抽出した100林分で試行解析した結果、林分単位の価格は林分の断面積合計と強く相関する一方で、種数との相関は低かった。薪用途として取引される常緑のシイ・カシ類、クヌギについて単価を調査した結果、平均単価は88.8円/kgで紙パルプ向けチップの買取単価19.4円/kgよりも相対的に有利であった。ドローンによるコナラの画像を教師データとして、画像からのコナラ林冠抽出を試行した結果、これまで抽出が困難であった夏季画像からでも高い精度で林冠を抽出することができた。

31. 2ア aPS3 適地適木植栽のための乾燥耐性評価に向けた小型苗のキャビテーション抵抗性の非破壊的測定法の確立

目的：広葉樹の小型苗を対象に、乾燥ストレスにより葉脈内で発生する道管の空洞化現象（キャビテーション）を光学的に捉え、キャビテーション抵抗性を非破壊的に定量化する手法を確立する。

方法：光学スキャナーもしくはリーフクランプに枝付きの葉を固定し、葉が自然乾燥する過程をインターバル撮影し、差分画像から葉脈内に生じたキャビテーションの検出を試みる。

成果：通導組織内で生じたキャビテーションを非破壊的にモニタリングするため、3Dプリンタで制作したクランプにカメラとLEDを取り付け、シングルボードコンピュータに接続するとともに、自動撮影するプログラムを作成し、葉を対象とした自動で連続撮影するシステムを構築した。葉の収縮に伴う撮影範囲のズレを補正するプログラムを適用することにより、差分画像の解析精度が飛躍的に向上され、葉脈内でのキャビテーションの可視化を実現することができた。

32. 2ア c1 持続的な林業経営および森林空間利用のための評価・計画・管理技術の開発

目的：持続的な森林の利用のために空中写真や衛星画像の他、航空機や地上からのレーザー測量（LiDAR）等、新しい計測・情報技術を用いた森林資源評価や管理技術の開発が求められている。ここでは立木の局所密度と単木の胸高直径の関係の解明および更新年が不明な老齢天然林の細区分方法の開発を目的とした。

方法：樹冠投影面積に対応するものとしてポロノイ多角形を用いて、局所密度と単木の胸高直径成長の関係について検討した。具体的には男鹿山スギ人工林収穫試験地（秋田県男鹿市）における定期調査資料（31～109年生、約5年毎、15回）および立木位置図をもとに、試験区のポロノイ分割を行った（図1）。次に局所密度の高い箇所と低い箇所をそれぞれ3か所ずつ抽出し、それらの箇所における胸高直径の推移を検討した。更新年が不明な老齢天然林の細区

分は空中写真判読に深層学習を用いる方法を検討した。

成果：立木位置図をもとに試験区をボロノイ分割し、局所密度の高い箇所、低い箇所を目視により選択し、胸高直径の推移を検討した。その結果、局所密度の高い箇所においては、成長にともなう個体サイズのばらつきは小さい傾向が認められた。一方、局所密度の低い箇所においては、成長にともない個体サイズのばらつきが広がっていく傾向が認められた。更新年が不明な老齢天然林の細区分については、次年度の試行に向けた空中写真画像データの整備を行った。

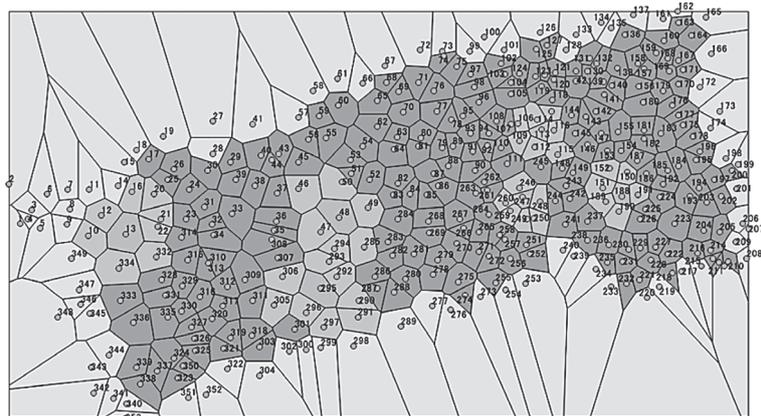


図1 試験区のボロノイ図

33. 2ア cPF12 管理優先度の高い森林の抽出と管理技術の開発

目的：山地災害の発生メカニズムを解明し、その危険性を航空機レーザ測量で得られた地形や林況の情報で評価することにより、市町村が管内の私有林人工林の中から、経営管理が行われておらず山地災害の危険性の高い森林を抽出して施業方針を示す一連の手順を提案する。

方法：①現地調査と航空レーザ測量データを用いた地形解析の結果に基づき、茨城県と福岡県の山地斜面から、土層の厚さを調査する斜面を選定する。また、いくつかの地点で土層強度検査棒を使って、土層の厚さを調べる。

②茨城県と福岡県のモデル地域において、地域情報やデータ収集を実施し、空間情報を解析可能な形式に加工してデータベース化する。

③各種の間伐、針広混交林あるいは広葉樹林への誘導技術、および災害に強い森づくりに関する各種報告書やパンフレットなどの文献を収集し、これまでに得られている知見や事例を整理する。また、間伐と樹木形状についての過去の文献レビューや現地調査から得られた事例を検証し、管理優先度が高い森林における施業法の検討を進める。

成果：①地質や地形的な特徴が違うことで、土層の厚さがどれくらい異なるのかを調べるために、茨城県では阿武隈高地の南部に位置する花崗岩を基盤とする斜面、福岡県では耳納山地の北側にある結晶片岩や安山岩などが分布する斜面を選定した。いずれの場所も、傾斜が 30° 以上の急傾斜地が広く分布しており、表層崩壊の発生リスクが高い場所がある。茨城県内の調査地は、近場の火山から供給される火山灰の影響を受けている斜面とそうでない斜面が混在している。急傾斜地の土層の厚さは2 mに満たず、土層の大部分は花崗岩を母材としている。それに対して、緩傾斜の斜面では2 m以上の土層が発達している場所が広く分布しており、土層中に火山灰が多く含まれていることを確認できた。これらの結果は、同じ花崗岩を基盤とする斜面であっても、斜面の地形的な特徴により土層発達過程が変わりうることを示唆している。

②茨城県と福岡県の市町村の中から研究対象となるモデル地域を選定し、現地確認を行った。研究対象地を観測した航空機LiDARデータや空中写真等の様々な空間情報データを入手した。入手したデータはオリジナルの点群データや数値標高モデル等のデータが、地域や納入年度等によって様々なディレクトリに分けられて格納されていたため、内容を確認して必要なデータを抽出した。現地調査プロットの範囲で点群データを切り出した後、点群の正規化や数値林冠高モデルの作成等を行い、データベースとして整備した。

③ “間伐率”、“直径”、“樹高”のキーワードで Google scholar 検索してヒットしたスギ・ヒノキ林を対象とした文献を収集し、これらのうち、105本の文献から673林分を対象に、間伐と樹木形状に関わるデータを抽出した。抽出収集した文献情報を精査し、形状比と樹冠長率を間伐効果の評価に適した指標として抽出した。また、間伐からの経過年数に対して、形状比の変化を文献情報から定量化した結果、樹木の形状比は間伐後10年程度で一定の値に落ち着くことが示された。

34. 2ア cTF1 新たなリモートセンシング技術を用いた効率的な収穫調査と素材生産現場への活用方法の提案

目的：航空機レーザ測量データから画像処理による樹木の樹頂点抽出・個体識別を行うため、画像処理の際に参照するスギの樹高と樹冠半径の関係式を決定する。

方法：秋田県のスギ林を対象に、航空機レーザ測量データから作成した林冠モデルやドローンによる空撮画像の判読等により、樹高と樹冠半径の関係式を求める。また、林分密度管理図を基に最多密度における樹高と樹冠半径の関係式を求める。上記の2つの関係式および米国の先行研究の関係式をそれぞれ利用して樹頂点抽出を行い、得られた3つの樹頂点抽出結果を比較する。

成果：判読で得られた樹高と樹冠半径の関係式、最多密度における関係式、米国の先行研究による関係式を比較したところ、最多密度の関係式では樹冠を小さめに推定するため、密度の低い林分で誤抽出が多く解析に適さなかった。判読で得られた関係式と先行研究の関係式は、対象樹種が異なるものの類似した係数を持つ式となり、立木密度が1,000本/ha程度までは誤抽出と抽出漏れが抑えられ、相対的に高い正答率で樹頂点抽出が可能だった。今回使用したデータの範囲内では、アメリカの先行研究で採用された関係式を利用した場合の正答率が最も高くなり、日本のスギに適用しても問題が生じないことが明らかになった。

35. 2ア d1 多様化する森林との関わりを支える社会経済的・政策的方策の提示

目的：多様化する森林と社会との関わりを支え、持続可能な開発目標（SDGs）に貢献するため、林業経営、地域社会、木材産業等の発展に寄与する社会経済的・政策的方策等を提示する。

方法：多様化する森林と社会との関わりを担保しつつ、林業・地域・木材産業の発展に寄与する政策的方策を探る観点から、既存の関連法制度を体系的に整理する。

成果：国内での関連法制度や運用実態を調査し、近年、多様な発展が見込まれる森林でのレクリエーションについて、論考の執筆や報告を通じて、関連法制度を体系的に整理した。これらにおいて、現状、レクリエーション関連主体に即した規制・権利・義務等の規定が欠落していることが、今後の発展を阻害する要因であることを指摘した。また、森林の文化的な利用としての林業遺産制度にも着目し、その認定を通じて、外部主体の価値が森林の有効活用へと結びつく可能性も明示した。

36. 2ア dPF1 森林管理制度の現代的展開と地域ガバナンスに関する比較研究

目的：日本の森林管理制度の問題点を、欧州諸国の森林法制や森林管理の仕組み等との国際比較を通じて浮き彫りにし、そこから日本林政の新たな発展方向を解明することを目的とする。

方法：日本の多面的な森林・緑地利用を担保する仕組みの解明にあたって、関連主体の果たしてきた役割についての検証を行う。

成果：新型コロナウイルスへの対応のため、海外での実地調査が不可能となった。このため、当年度は、国際比較を念頭に、日本の多面的な森林・緑地利用を担保する仕組みの解明にあたって、関連主体の果たしてきた役割に注目した調査を行った。その結果、日本においては、林野の保全やレクリエーション利用・管理を外部主体が主導的に行う法律や権利関係等の仕組みが整えられていないため、森林所有者による取組が目立っていた。すなわち、排他的な所有権を保有する主体が、森林の持続的な管理・経営を志向した上で、レクリエーションや文化的な利用を自らの経営に組み込んでいく形となっている実態が明らかとなった。

37. 2ア dPF3 アメリカにおける森林の多面的利用の制度的基盤の解明

目的：アメリカ合衆国における森林の多面的利用の発展を促してきた制度的基盤を、①保全地役権等の柔軟な土地権利関係、②各種の保障制度（助成金・税制優遇・関連保険等）、③多様なニーズの調整主体の役割に注目することで解明し、今後の日本およびその他諸国において、森林の有効活用による地域活性化を図るための方向性を導き出す。

方法：アメリカ合衆国での森林の多面的利用を促す各種の制度的基盤に関して、現地での現地調査を通じて、その実態を把握する。

成果：新型コロナウイルスへの対応で、当年度もアメリカでの現地調査が不可能となった。このため、次年度への期間延長を申請するとともに、当年度は、日本のマウンテンバイクをはじめとした森林のレクリエーション利用による地域活性化を図る試みに着目し、これらの利用が発展しているアメリカの事例との比較検証を通じて、その特徴と課題を浮き彫りにすることに努めた。その結果、日本のマウンテンバイク愛好者（マウンテンバイカー）は、地域の森林所有者・管理者と連携しつつ、地域貢献・活性化を目指す多種多様な活動を展開しており、それらの活動への関心も全体的に高いことが明らかとなった。また、その調査成果を踏まえつつ、各地域でのマウンテンバイカーによる多種多様な地域貢献活動を集約・紹介した『マウンテンバイカーズ白書』を監修・編纂・執筆した。

38. 2ア dPF6 農山村地域における観光施設の遊休化が及ぼす地域社会への影響と観光イノベーション

目的：農山村地域における観光施設（別荘、ペンション、キャンプ場等）の「所有」や「経営」、「運営・管理」、「立地」等の現状を把握し、適正な観光地として発展するための課題を整理するとともに、その実態を類型化し、ケーススタディを実施する。その結果をもとに、農山村の地域づくりの新たなスタイルを提案することを目的とする。

方法：観光施設のうち森林でのキャンプ場や他のレクリエーション施設を対象に、それらにおける森林利用の現状と、森林有効活用および地域活性化への寄与に向けての可能性と課題を明らかにする。

成果：近年の日本のキャンプ場における森林利用は、旧来の公設キャンプ場を、民間が主体となって再生するという点に大きな特徴がある。この再生は、新型コロナウイルスの感染拡大下でも、個人・家族利用層、高所得層を対象とする形で継続しており、新たな森林サービス産業を地域において醸成する一翼を担っていることが分かった。その一方で、1980～90年代前後に設立されたキャンプ場が多くを占めることから、施設の老朽化が問題となっていることに加え、閑散期の集客といった課題も残されていることが明らかとなった。また、同じく森林内での建設・分譲が進んできた別荘地に対しても現地調査を行い、近年、管理会社の撤退や別荘保有者の世代交代等に伴う管理問題が生じてきたことを把握した。

39. 2ア dPS3 EBPM 実現のための森林路網 B/C 評価ツールの開発と社会実装

目的：科学的なエビデンスに基づく政策立案（EBPM）実現に向け、森林路網の維持管理コストを含めた便益・コスト（B/C）評価ツールを開発し、評価ツールの試行的な社会実装を行う。

方法：森林路網を利用する森林サービス産業の経済効果に関するデータの収集を行うとともに、現状の森林路網の維持管理体制を把握する。

成果：森林路網を利用する森林サービス産業の経済効果について、各地でのデータを収集した。また、現状の森林路網の維持管理体制が、レクリエーション等に積極的に活用される場合、生活道として利用される場合、森林施業のみに利用される場合等、複数の利用実態を踏まえて多様であることが明らかとなった。これに加えて、各種のレクリエーション活動による森林路網利用の希求が全国的に高まりつつあること、林道の主な管理主体である市町村がそれらの利用を踏まえて施設賠償保険に加入していること、複数の利用実態に応じて森林路網の維持管理コストも大きく分かれることを明らかにした。

40. 2ア k1 収穫試験地における森林成長データの収集

目的：国有林内に設定されている収穫試験地及び施業比較試験地などの固定試験地では、古いもので昭和10年代に設定されて以降5～10年間隔で森林の成長が継続的に計測されている。収穫試験地等から得られる成長データは、わが

国の森林資源の持続的利用にとって貴重な基盤データとなることから、本課題では、第5期の5年間に延べ30か所程度の収穫試験地等について、収穫試験施行要綱に基づく立木調査を行い、森林の成長量、収穫量および林分構造の推移に関するデータを収集することを目的とする。

方法：第5期の5か年の初年度である本年度には、北海道森林管理局管内で3か所、東北、関東、近畿中国、四国、九州の各森林管理局管内でそれぞれ1か所、計9か所の収穫試験地の成長データを収集する。また、全国で過年度までに収集した成長データの整理と調査結果の公表を進める。

成果：研究資料を参照。

41. 2イ a1 樹木・林業病害の実効的制御技術の開発

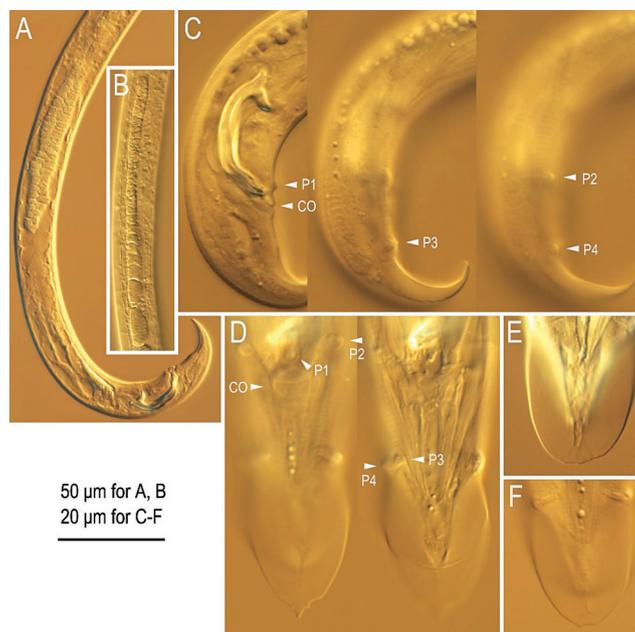
目的：森林病害線虫およびその近縁種線虫の識別、診断のための基礎資料の作成および潜在的利用可能線虫種の探索を目的とする。

方法：1) 枯死木およびそれを利用する昆虫種、2) 線虫被害の見られる罹病木の罹病部位、3) 一般流通する生物系資材からの線虫検出を行い、同定、一部ものは培養した。同定は顕微鏡観察に加え、主にリボソームRNAの塩基配列を対象としたバーコーディングによって行った。

成果：・長野県上田市、筑波大学菅平高原実験センター敷地内のブナ植栽木より、ブナ葉ぶくれ線虫 *Litylenchus crenatae* を検出した。

・京都市およびその近郊において採集した昆虫類から複数の昆虫便乗性線虫を検出した。

・クワガタムシ類飼育のための流通資材からマツノザイセンチュウ近縁種、*Bursaphelenchus macromucronatus* を検出した。



写真、クワガタムシ飼育資材から検出した *B. macromucronatus* 雄成虫の尾部 (Kanzaki, 2021: Nematology 23, 587-596 より)

42. 2イ a2 森林林業害虫の実効的防除技術の開発

目的：(1) クビアカツヤカミキリ等の新たな害虫やきのご害虫に対して、防除効果を向上させるための防除適期の解明や既知情報の整理を行うとともに、新たな防除技術開発に寄与する天敵の抽出等を行う。(2) カシノナガクイムシによる都市型ナラ枯れに対する防除技術を開発する。

方法：(1) クビアカツヤカミキリ卵の天敵を探索するため、飼育卵の野外設置試験を行った。2021年7月上旬から中旬

にかけて、関西支所で室内飼育した成虫の卵を網袋に入れ、大阪環境農林水産総合研究所構内のサクラ樹幹表面および枝に設置した。(2) フラスに含まれる DNA から、ナラ枯れの原因害虫であるカシノナガキクイムシを識別する方法の開発を進めた。リボゾーム DNA、ミトコンドリア DNA およびマイクロサテライト領域をターゲットに、前年度までに開発したプライマーと新規開発したプライマーを用いて、従来の PCR 法による識別法を試み、それらの中から、フラスからのカシノナガキクイムシの種や系統の識別を安定して行えるものを選出した。

成果：(1) 樹幹表面に設置した3日後に卵の80%以上が消失あるいは破壊されており、アリによるものと推察された。実際に卵を捕食していたアリは、*Crematogaster* sp. (シリアゲアリ) および *Lasius* sp. (ケアリ) の2種が確認された。卵を枝から下り下げ、両面テープを付けた結果、死亡率は25%に減少した。以上の結果から、アリはクビアカツヤカミキリ卵の有力な捕食者になり得るものと考えられた。寄生バチ等その他の天敵昆虫は確認されなかった。(2) リボゾーム DNA の 28S 領域および ITS 領域、ミトコンドリア DNA のチトクローム b 領域を対象に、従来からの PCR 法を用いてバンドの有無で識別する方法を検討したところ、リボゾーム DNA の 28S 領域を対象とした方法によってカシノナガキクイムシを他種から、ミトコンドリア DNA のチトクローム b 領域を対象にした方法によってカシノナガキクイムシのグループ A (通称：日本海型) を他種および他系統から識別することができた。

43. 2イ a3 森林林業害獣の実効的防除技術の開発

目的：林業および森林生態系に対して深刻な被害を起こしている野生動物を対象に、これからの人口減少社会を見据えながら、捕獲と防除を2つの柱として効果的で費用対効果の高い被害対策の体系化を目的としている。その中で、捕獲推進のために増えている足くくりわなを用いた捕獲実施において、捕獲対象外の動物種に対する錯誤捕獲の発生増加が生じていることが指摘されている。そこで、錯誤捕獲の発生および捕獲対象外の動物種に対する影響について検証する。

方法：府県の鳥獣被害対策担当者および野生動物研究者を対象に、錯誤捕獲の発生状況および錯誤捕獲発生防止対策等について聞き取り調査を行った。

成果：ツキノワグマの錯誤捕獲件数を把握している府県は多かったが、その他のカモシカや中型哺乳類等に関する情報収集はほとんど実施されておらず、実態把握のための情報収集体制の整備が重要と考えられた。錯誤捕獲防止対策としては、特にツキノワグマを対象にした足くくりわなの構造についての規制や、捕獲実施時期や場所の制限等の対策を行っている府県が多かった。今後はカモシカや中型哺乳類等を対象にした防止対策の検討も必要と考えられた。

44. 2イ aPF2 鳥獣害の軽減と農山村の活性維持を目的とする野生動物管理学と農村計画学との連携研究

目的：これまで農山村集落の居住者が担ってきた被害対策としてのシカ捕獲を、林業従事者やシカを資源として利用する団体が主体となり、森林管理の一環で実施するため、現状把握および実態解明を行い課題抽出するとともに、実質的な管理モデルの構築と提言を行う。

方法：近畿中国森林管理局管内において森林管理署が実施しているシカ捕獲事業を対象として、捕獲事業担当職員および捕獲従事者に、作業工程や業務内容などの聞き取り調査を行った。

成果：事業の受託業者は、捕獲従事者を雇用する民間企業から、地元猟友会員を主体とした団体など実施地域によって異なった。捕獲方法は、ほとんどが足くくりわなであり、一部箱わなや囲いわなを使用している事業もあった。捕獲頭数等は事業実施地域の範囲やシカの生息密度などで異なった。捕獲事業を効果的に実施するためには、実施地域の環境やシカ生息状況を事前に調査し、その地域に適した捕獲方法や捕獲期間を検討する必要があると考えられた。

45. 2イ aPF4 サクラ・モモ・ウメ等バラ科樹木を加害する外来種クビアカツヤカミキリの防除法の開発

目的：クビアカツヤカミキリの生態および生活環を調査し、バラ科樹木を保護するための防除技術を確立する。そのため防除試験の供試虫を得る目的で、卵から飼育する手法を確立する。

方法：クビアカツヤカミキリを人工飼料で飼育した。孵化幼虫の飼育はボールミルで破碎したサクラ材の微粉末、市販人工飼料（シルクメイト）、乾燥酵母と水を混合した人工飼料を充填したセルカルチャープレート内で行った。生育幼虫の飼育はサクラ材粉末、シルクメイト、乾燥酵母、水を混合し三角フラスコに充填し滅菌した飼料を用いて行った。幼虫1個体当たり飼料50gを与えた。成熟幼虫はJKワイパーを敷いたプラスチックカップに移してから10℃の恒温器内に4か月保持した（低温処理）。低温処理を終えた幼虫はトレーシングペーパーと紙粘土で作成した人工蛹室内で蛹化、羽化させた。

成果：孵化幼虫期の生存率は、上記人工飼料を導入したことで39%から62%へ大幅に上昇したが、R3年度は77%とさらに上昇した。その後人工飼料摂食段階から低温処理以前の過程での死亡率が33%と高くなった。この原因としては、脱皮に失敗する個体が増えたこと、あるいは細菌の感染によるものと推定される。脱皮失敗に関しては、1つの人工飼料内での摂食期間が長期に渡ったため飼料の腐敗等により生育環境が劣化したことが原因であり、摂食期間をなるべく短縮することが必要と考えられた。細菌感染は摂食を終えた成熟幼虫の段階で発生し、幼虫の体色が短期間に赤あるいは黒色に変化し、死亡、腐敗するもので、森林総合研究所（つくば）に同定依頼した結果、*Serratia marcescens* によることが明らかになった。細菌感染を防ぐためには、今後飼育用器具等の洗浄、滅菌を徹底する必要がある。課題全期間のまとめとして、クビアカツヤカミキリの室内飼育における飼育段階とその所要日数を整理した飼育スケジュールを作成した。

46. 2イ aPF7 ヒバ漏脂病に対する個体と林分の抵抗性機構の解明

目的：ヒバは抗菌活性の高い有用樹種であるが、ヒバの人工造林では「漏脂病（ろうしびょう）」が障害となっている。漏脂病は、植栽密度が高い林分で高発病率となる傾向が認められているが、密度調整した林分間での比較は行われていないため、間伐試験による発病率低下の実証を目的とした。

方法：野外のヒバ漏脂病発病林分で強度間伐施業を実施し、間伐後7年間の発病率の推移を調査した。

成果：低本数密度の間伐区では発病率が低いまま推移したが、高本数密度の無間伐区では7年間毎年発病率が増加した。この結果から、強度間伐による林内環境の変化により低発病率を維持できる可能性が示唆された。

47. 2イ aPF12 AIやIotによる、人材育成も可能なスマート獣害対策の技術開発と、多様なモデル地区による地域への適合性実証研究

目的：林業被害の持続的な被害軽減のためには、シカの生息密度を低下させ、その後も低密度で維持することが重要であり、そのためには林業事業者が主体で捕獲を実施する体制を構築する必要がある。そこで、林業事業者が捕獲を実施する場合の適切な方法の組合せを検討し、適用条件を整理する。

方法：再造林地2か所で、林業事業者が主体となってシカ捕獲作業を実施する際にICT等を利用した遠隔通知システムを利用することによって得られる作業の効率化および個体数低減効果を検証する。

成果：捕獲実施場所は再造林地周辺とし、足くくりわなおよび箱わなを用いて捕獲を実施した。捕獲期間約2か月の間に再造林地それぞれで3頭ずつ捕獲に成功した。捕獲実施前と捕獲実施後に糞塊除去法を用いてシカの推定生息密度を調査した。その結果、捕獲を実施していない対照区では捕獲前後で変わらなかったが、捕獲実施区では1km²当たり約30頭前後から10頭以下へ低減した。以上のことから、遠隔通知システムを利用することにより林業事業者が主体となってシカ管理に取り組むことが可能と考えられた。

48. 2イ aPF13 線虫をもって線虫を制する—捕食性線虫を用いた新規マツ枯れ制御技術の開発

目的：本課題で用いる線虫 *Seinura caverna* は、マツノザイセンチュウの近縁種であり、かつ、線虫捕食能を持つ。この線虫に関して、(1) 生理、生態、行動学的基礎情報を得ることにより、線虫の捕食行動研究のモデル（実験材料）化を目指す。また、(2) 応用例として、*S. caverna* によるマツノザイセンチュウ個体群制御能力を明らかにし、マツ枯れの新規生物防除法を開発することを目的とする。加えて、(3) 他の *Seinura* 属線虫の探索を行い、多様性解明を目指すとともに、基礎的、応用的研究材料の拡張を目指す。

方法：関西支所の分担は、上記(2)および(3)である。このため、(2) 生物的防除試験では、前年度に木材内でのマツノザイセンチュウ個体群抑制試験の準備を行った。これは、マツノザイセンチュウの増殖したマツ材に、マツノマダラカミキリに産卵させ、ここに *S. caverna* を接種することにより、羽化脱出するマツノマダラカミキリの保持線虫数に違いがみられるか否かを明らかにするというものである。この結果を明らかにするため、網室内で、羽化脱出したマツノマダラカミキリを回収し、回収日、体重、雌雄を記録し、マツノザイセンチュウ保持数を *S. caverna* 接種区と対照区で比較した。

また、(3) 新規株の収集では、前年に野外から分離、培養された *Seinura* 近縁属線虫に関して、種同定、系統的位置づけ、生態的特性の解明、これに基づく新種記載を行った。ここでは、形態的特徴の顕微鏡観察、リボソームDNA領域の塩基配列決定と、これに基づく系統解析という一般的な手法を用いた。

成果：マツノザイセンチュウ個体群抑制効果に関しては、これまでに小スケールの実験では良好な結果が得られていたが、丸太では、*S. caverna* 接種区、対照区いずれもカミキリの線虫保持数が小さく、明確な結果は得られなかった。このため、次年度以降は条件を変えるなど、継続して実験を続ける予定である。

新規株の分離においては、宇治市、八王子市など、他の地域からも *S. caverna* 株が検出された。これらの新規株は共同研究者に受け渡し、生理、生態などの継続調査を行う。加えて、滋賀県で採集したナラガシワ枯死木の樹皮より、*Seinura* 近縁属、*Devibursaphelenchus* 属の未記載種が検出されたため、これを *D. alienae* として新種記載した。本種に関しては、宿主昆虫は不明ながら、*Seinura* 属同様の線虫捕食性を示したことから、実験材料として利用するため、現在、安定的な培養株の確立を試みている。

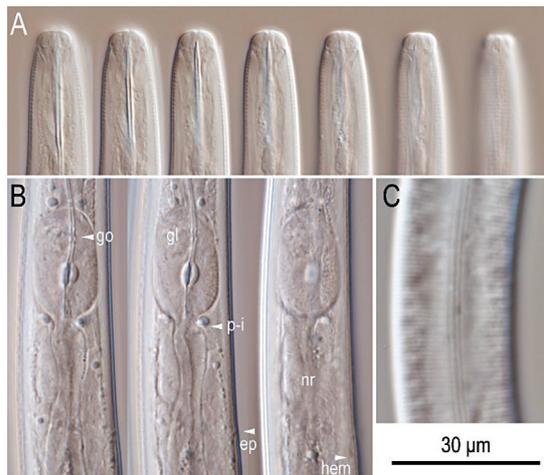


図1. *Devibursaphelenchus alienae* 頭部と体表面の写真
A: 口唇と口針; B: 中部食道球 (go: 食道腺開口部; gl: 顆粒状組織; p-i: 食道腸間弁; ep: 分泌・排泄孔; nr: 神経環; hem: 半月体); C: 体表面

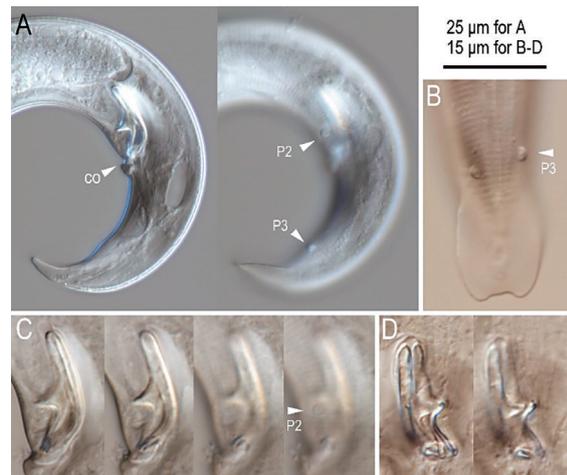


図2. *Devibursaphelenchus alienae* 雄尾部の写真
A: 尾部全体側面 (co: 総排泄孔; P: 尾乳頭); B: 尾端腹面 (P: 尾乳頭); C: 交接刺部分側面; D: 交接刺腹面

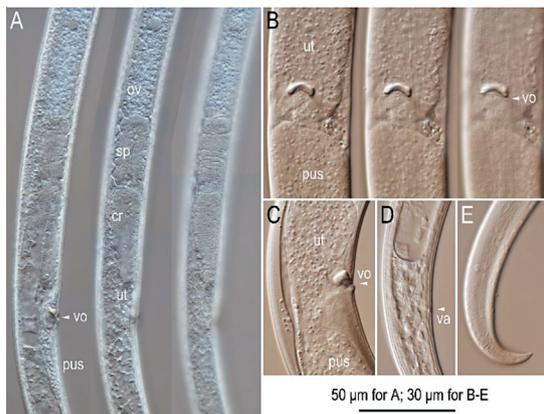


図3. *Devibursaphelenchus alienae* 雌成虫の写真
A: 生殖巣 (vo: 陰門; pus: 後部子宮枝; ov: 卵巣; sp: 授精嚢; cr: 卵殻形成組織; ut: 子宮); B: 陰門部腹面; C: 陰門部側面; D: 尾部上部 (va: 痕跡的肛門; E: 尾端)

49. 2イ aPF23 スズメバチ女王を飼い殺す新たに発見された寄生バチ：その生態と系統

目的：本課題は、新規に検出されたスズメバチ類寄生性（捕食寄生性）寄生バチに関して、その分類学的所属、分布、寄生様式などの基礎的生態、スズメバチ個体群への影響などを明らかにし、生態学的知見を得ること、生物的防除への応用を探ることを目的とする。このうち、関西支所では研究代表者らが採集した寄生バチの遺伝、系統的解析を担当する。加えて、現在はこの寄生バチの検出は比較的寒冷な地域に限られているため、支所構内を中心に関西地方でスズメバチ類を採集し、寄生バチ分布の有無を調査する。なお、この分布調査は当初の研究計画外の追加情報である。

方法：上記遺伝子解析と分布調査は、以下の方法で行う。

(1) 遺伝子解析：得られた寄生バチ個体は、エタノール浸漬により保存する。保存サンプルは、小型幼虫では虫体全体、大型幼虫では一部を破碎し、DNA抽出、ミトコンドリア遺伝子の部分配列に基づいて分子同定を行う。続いてこの部分配列をもとに系統解析を行う。

(2) 分布調査：京都市および周辺地域で、スズメバチ類の手捕りおよびトラップ採集を行い、得られた個体を解剖することにより、寄生バチ検出の有無を調べる。寄生バチその他寄生者が得られた場合、上記の方法で、分子同定、系統解析を行う。

成果：(1) 本年度は、当初の採集予定地での野外採集が限られていたため、遺伝子解析に用いる寄生バチ個体は得られていない。前年度以前の予備採集による個体の系統解析を行ったところ、他の昆虫寄生バチとの類縁性が確認された。(2) 関西地方での分布調査においては、支所構内が中心となったが、目的の寄生バチは得られなかった。しかし、この寄生バチ以外にスズメバチ寄生者として、スズメバチタマセンチュウ、2種のネジレバネが確認された。スズメバチタマセンチュウの寄生率は低く、1000頭以上のスズメバチ個体のうち数頭がこの線虫を保持していた。ネジレバネに関しては、これまでに明らかになっている寄生特異性が確認され、寄生率は、スズメバチ種間で大きく異なっていた。これらの成果は論文として公表する予定である。

50. 2イ bPF6 鉱山跡地の自生植物と土着微生物を利用した新しい緑化技術の構築

目的：国内の鉱山跡地を対象とし、自生している遷移初期草本および樹木を対象に、各種植物の重金属耐性に関係している土着微生物と宿主植物との相互作用を利用した新たな緑化技術の開発を目指す。鉱山跡地に自生する遷移初期植物の重金属耐性メカニズムを重金属無毒化物質の側面から解明するため、樹木における生理活性物質局在イメージング手法を確立することを目的とする。

方法：病原菌を接種したスギ辺材を用いて既知の防御物質を質量分析計で測定した。

成果：病原菌侵入部位におけるスギの防御物質の局在を可視化できた。この手法は重金属無毒化物質の組織局在イメージングにも有効な手法と考えられた。

51. 2ウ b3 多様なニーズに対応した木質材料の耐久性向上・性能維持管理技術の高度化

目的：木材の耐久性は強度などと並ぶ木材の重要な性質の一つである。そのため、木材の耐久性を評価する様々な手法が開発されてきた。それらの中でも杭試験は、試験に特別な装置を必要としないことや様々な木材加害生物の影響を一度に評価できるため、世界各国で広く採用されている反面、得られた結果から耐久性の差を適切に評価する方法がこれまでなく、その開発が求められていた。

方法：森林総合研究所が日本木材防腐工業組合、富山県木材研究所、奈良県森林技術センターと協同で行った野外杭試験のデータをデータセットとした。森林総合研究所（つくば）、富山県木材研究所および奈良県森林技術センターの試験地に設置したスギ辺材、スギ心材、ヒノキ心材、カラムツ心材杭の被害度を日本産業規格 JIS K 1571:2010 に規定された野外試験の方法に則り7年間調査し、そこから各杭の被害度が2.5となるのに必要な年数（耐用年数）を求めた。このようにして得られた耐用年数をイベントが発生した年数として、杭の種類等と耐用年数との関係を生存時間分析の手法を用いて比較した。

結果：JIS K 1571:2010 に則って行われた野外杭試験のデータを生存分析の手法を用いて解析したところ、試験地によっ

て劣化の進行速度に差が認められた一方、スギ心材とカラマツ心材の耐久性に有意な差はない、などの結果が得られ、従来の杭試験に生存時間分析の手法を組み合わせることにより、杭試験の結果を適切に比較できることが分かった。また、本手法が素材だけでなく保存処理杭の耐久性を比較する際にも有効であることを明らかにした。