

Ⅲ 令和 2 年度 関西支所の研究概要

令和2年度 関西支所の研究概要

1. アア a1 森林の災害防止機能高度利用技術の開発

目的：令和2年7月豪雨において大阪府、京都府の風倒木被害地で発生した崩壊の特徴を明らかにする。

方法：大阪府、京都府の風倒木地で発生した崩壊の特徴を明らかにするために、自然斜面と作業道起因の崩壊に区分し、崩壊地の風倒木の形態（被害なし、根返り、倒伏、幹折れ）、地形（遷急線、遷緩線、傾斜）、崩壊深を調査した。

成果：調査は、自然斜面の崩壊30ヶ所で行った。崩壊が発生した樹種は多くがスギであった。これはスギが風倒木に対して弱いだけでなく、被害地域がスギの多い地域であることに起因すると考えられた。自然斜面で発生した崩壊は、遷急線に掛かる、傾斜35°以上の急傾斜地で発生したものが多かった。また崩壊深は1m未満の非常に薄いものが多かった。風倒木の倒伏の形態は、根返りが崩壊地30ヶ所全てで、倒伏は8箇所を確認され、幹折れは確認されなかった。崩壊は、根返りで表土がほぐされ地盤の支持力が弱まることに加え、立木が降雨で下流へ動くことで根がほぐされた表土を引きずることで発生したと考えられた。一方、幹折れ地で崩壊が発生していなかった。風倒木自体は平成30年台風21号で発生しており、まだ2年しか経過していない。根系は5年程度で腐り始めることが知られており、根の腐朽が進んでおらず斜面の支持効果が発揮されていたため、崩壊が発生していないものと考えられた。今後、数年経過すると根が腐朽し、幹折れ地においても崩壊が発生し始める危険性が高まると考えられた。

2. アア aPF11 山地災害リスクを低減する技術の開発

目的：山地災害を低減する技術の開発に向け、(1) 森林が発揮する水文学的防災効果の経年変化を評価する技術の開発や、(2) 林業においても山地のリスクを考えながら伐採や作業道の開設ができるようにするため、目視観察のみで斜面のリスクを評価できる手法を開発し、林業技術者が山地のリスクの基本を理解するための教書を作成する。

方法：(1) 水文学的防災効果の経年変化の評価については、茨城県常陸太田試験地を対象として、水文観測（土壌水分、降水量、流出量）を行い、水文モデルを開発する。(2) リスク評価については、5年計画で実施した林地のリスクに関する考え方を、3つのスケール（広域、斜面レベル、現地）毎にまとめるとともに林地のリスク確認票を作成する。また、これらの解説書を作成する。

成果：(1) 地形指標と土壌水分の間に相関関係が認められ、その関係を反映した水文モデルを用いて森林の経年変化による土壌水分の変化を推定することができた。林齢と直接流出量の関係について水文モデルを用いて評価した結果、林齢の増加に伴い森林流域からの直接流出量は減少し、水文学的防災効果が高まることが明らかになった。(2) リスク評価に関しては、自然斜面の崩壊地や林業専用道・森林作業道の損壊地を調査し、災害の発生しやすい雨量、地域、災害史、保安林の指定などを整理した。また、崩壊しやすい斜面の特徴をまとめ、航空レーザー測量データから作成したCS立体図を用いた危険地形での見え方を整理した。加えて、崩壊地に出現する地形・地質、土性・風化度・湿潤度、立木の成長・下層植生・シダ類・地衣類・蘚苔類の特徴を整理した。これらの特徴を一覧表に整理し、林地のリスク確認票を作成した。この確認票により、チェック項目を確認することで、斜面のリスクの高低を評価することが可能となった。また、これらを解説する解説書（約1600頁）を作成した。従来林業では「どこが崩れるかわからない」と言われてきたが、現地の目視観察のみで斜面の危険度を定量的に評価することが可能となった。これらの成果は、林野庁や近畿中国森林管理局等の林野行政へ橋渡しを行った結果、次年度、本資料をもとに林野庁のリスク判断の手引きが作成されることとなった。

3. アア aPS4 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：崩壊の発生源となる移動体内の根系の特徴を調査し、その実態について手掛かりを得る。

方法：崩壊の発生源となる移動体内の根系の特徴の実態について手掛かりを得るため、移動体に開設した作業道法面で見られる根系を多点で調査する。

成果：崩壊の発生源となる移動体内の根系の実態について手掛かりを得るため、移動体に開設した作業道法面で見られる根系を多点で調査した。移動体は縦断方向に移動体上部の引張域と移動体下部の圧縮域に分けられる。滑動する

移動体の立木は、引張域では上方へ、圧縮域では下方へ傾く。これらの引張域と圧縮域の根系の特徴は全く異なるものであった。移動体上部の引張域の根系は、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のも同様の特徴を持つ。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場合がある。

このように、滑動する移動体の傾いた立木の根系は普通木と異なる特徴をもつ。この圧縮域の根系は、移動体下部のすべり面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る。移動体内の根系の知見は新知見のため、今後データを蓄積する必要がある。

4. アア b1 多様な管理手法下にある森林の水保全機能評価技術の開発

目的：森林における水移動特性や溶質フラックスは下流河川の水質などに大きな影響を与えている。森林を適正に管理することにより、森林の水質浄化機能を維持し、その機能を高めることが可能である。一方、長伐期施業や広葉樹林化など森林管理手法が多様化し、従来の評価手法を適用させることが困難となってきた。このため、近年の森林管理手法の多様化に対応した水保全機能評価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渓流において、噴出した火山灰の渓流水の水質に対する影響の有無を確認するため、渓流水を採水し、溶存成分濃度を測定する。また、竜ノ口山森林理水試験地（竜ノ口山）の間伐実施林分において間伐後の林内雨量の実態を調べる。

成果：御嶽山の南東麓に位置する7ヶ所において、7月、8月～9月、12月の3回渓流水を採水し、溶存成分濃度を測定した。このうち、7月の採水時には、6月30日から降り始めた降雨の総量がアメダス御嶽山で1278.5mmに達しており、流量が著しく多かった。各調査地点の渓流水のpH、EC、各溶存成分の濃度は、平水時と比較するといずれも低い値であった。長期モニタリングを行っている長野県王滝村の調査地点ではこれまでに観測した中でもかなり低い値のEC、各溶存成分濃度を示した。これらのことは、7月の採水時までには大量の降水が渓流にもたらされたことを示していると考えられる。また竜ノ口山では、2018年1月末頃南谷で実施された34年生ヒノキ人工林における本数率30%間伐後の林内雨量観測および林冠状況の変化の把握を継続した。林冠状況は、林内雨観測プロット上空を地上から撮影した写真の画像解析に基づく開空度で評価した。この解析にはこれまで市販のフォトタッチソフトを使用していたが、精度良く一意的な定量を行うためのアプリケーションソフトを作成して効率化を図った。さらに間伐の水流出への影響を調べるため、間伐前3年間と間伐後1年間の時間流量のハイドログラフを基底流出と直接流出に分離し、直接流出期間毎に積算して各流出成分のダブルマスカーブ解析を行った。植生に顕著な変化が無かったと思われる北谷と、間伐の行われた南谷の基底流出のダブルマスカーブは間伐前の3年間はほぼ一致していたが、間伐後は南谷の値が平均で約23%増加した。直接流出も間伐後約3%増加傾向となった。ただし、2018年は7月上旬に前線が西日本に停滞し、広域的な豪雨により竜ノ口山でも300mmを超える3日間雨量を観測している。この影響も考えられるため、今後の経過を追って実態を明らかにしていきたい。

5. アア bPF16 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（パソ森林保護区：低地フタバガキ林）において、より湿潤ないし乾燥した環境下で水循環機構とガス交換特性を明らかにし、降水量変動などの想定される環境変動に対する熱帯雨林のレジリエンスを評価することを目的とする。

方法：1. 微気象観測タワーを使用して、渦相関法によるフラックス観測及び気温・湿度等の微気象観測を継続して行った。
2. ADR 土壌水分計（ML2, SM150, PR2, Delta-T 社）を組み合わせ、深度10, 20, 30, 40, 60, 100, 150, 200 および300 cmで土壌水分を測定するとともに、気象露場において転倒ます雨量計で林外雨量を測定した。

成果：本年度は、新型コロナウイルス感染症による影響により海外渡航が制限され、現地調査および観測機器のメンテナンスに行くことができなかったが、マレーシア・パソ森林保護区内のタワーにおいて観測された約20年間の取得済みのデータを整備したところ、日射量の変動は少なく、最近10年間の気温がやや上昇傾向にあることなどが明らか

かとなった。また、マレーシア・パソ森林保護区において取得し、統一した手法で品質管理や一時解析をしたデータを公開、およびデータペーパーを出版し、熱帯雨林におけるフラックスデータを世界中のサイトのデータと比較できるようになった。土壌中の水分移動について、鉛直一次元の浸透解析を実施して観測値の再現を試行した。また、現地の土壌は、深度30～70 cmに硬盤層のプリンサイトが存在し、その層位より深い土層までオーガーで掘ることが困難であり、土壌水分センサーの設置に工夫が必要である。パソ森林保護区での土壌水分の測定方法と土壌水分センサーのキャリブレーション法について整理して学術誌に公表した。

6. アア bPF18 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・旱天によるリスク評価に備えるため、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。さらに、これまで森林総合研究所との共同研究の実績を有する秋田県に対して、観測データの共有化ならびに予測モデルの試行を図る。

方法：観測網を構成する山城試験地（山城）においては降水及び溪流水の水質観測を継続し、水温・地温および豪雨時の溪流水質・懸濁物質動態観測を開始するとともに、渦相関法にて水蒸気・CO₂フラックス連続観測を行い、あわせて微気象環境要素の観測を行う。同じく竜ノ口山森林理水試験地（竜ノ口山）においては水文・気象観測の質的充実を進める。また、秋田県の長坂試験地（長坂）の水文観測を支援する。

成果：山城においては、降水、溪流水を月2回程度の頻度で採水した。自動採水装置（ISCO社6712）を用いて豪雨に伴う出水時の溪流水を連続して採水し、試料水に含まれる懸濁物質濃度を孔径0.7μmのガラス繊維フィルターを用いて測定した。今年度は梅雨入りした6月以降9月までに5回の出水イベントを採水した。平水時の懸濁物質濃度は1.0 mg L⁻¹前後であった。一方、採水した出水イベントの中で最大だった最大時間雨量13.5 mm、降り始めから2日間にわたる総雨量99 mmのイベントにおける懸濁物質濃度は最大で1037.7 mg L⁻¹であった。また、短時間で強い降雨強度の出水イベントでの最大懸濁物質濃度は、200～600 mg L⁻¹程度であった。山城ではさらに、観測タワー上において水蒸気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。晴天時のデータで比較検討を行ったところ、エンクローズドパス型による観測値はオープンパス型での観測値よりもやや過小評価となるものの、おおむね一致していた。降雨中のオープンパス型の観測では、測定部が雨滴にさらされているため、降雨直後での欠測期間が長い、エンクローズドパス型では雨による影響はほぼなく安定して測定できていた。また竜ノ口山では、気象観測に用いていた老朽化したサーモパイル式の全天日射計を、同方式で感知波長範囲の広い機種に更新した。更新機は継続使用中の同方式廉価機と比べて低出力域での感度に優れ、日積算値は約20%大きい傾向となった。こうした廉価機との較差は、更新前の機種よりも感知波長の差を反映して若干大きくなった。一方、さらに廉価なフォトダイオード式の日射計は、サーモパイル式に比べて日射の変化に鋭敏に反応するため、5秒スキャン10分平均値でも分散は大きい、日積算値はサーモパイル式の更新機と同程度の値となる傾向が認められた。データ同化等の利用が想定される多地点データベースの構築においては、各観測地点における地形や樹木等の障害状況のほか、使用機種や利用に耐える時間スケールなどのデータ品質や補正方法に関する情報を付与する必要があると考えられた。長坂においては、秋田県の職員に流域からの流出量の観測と計算方法について教授するとともに、一般気象（降水量、気温、相対湿度、風速、日射量）の観測を支援した。

7. アア d1 森林における放射性セシウム動態の解明

目的：沈着した放射性Csが森林に留まることにより、周辺への影響が最小限となる一方、台風などの攪乱により森林内に留まっていた放射性Csが溪流にもたらされ、これまで以上に水の中の生き物に影響が及ぶことも予想される。水の中の生き物を中心とした放射性セシウムの移動・循環過程を解明するとともにモニタリング手法の改良と開発を行う。モニタリングを継続する。

方法：福島県川内村において水生生物等を採集し放射性Cs濃度を測定する。

成果：場所の違いによって、生態学的半減期や移行係数が異なることが分かった。

8. アア dPF1 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）を測定する。

成果：Cs-137の平均値はA地点、B地点、C地点の順に砂：69Bq/kg・173Bq/kg・390Bq/kg、リター：260Bq/kg・624Bq/kg・880Bq/kg、藻類：96Bq/kg・599Bq/kg・381Bq/kgであった。モンカゲロウ科は、それぞれ516Bq/kg・229Bq/kg・783Bq/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。

9. アア dPF11 放射能汚染による溪流性水生昆虫への生理的影響及びそれに伴う群集変化の解明

目的：カワゲラ科は捕食性の昆虫であるにもかかわらず、放射性Cs濃度が比較的低い。生態学的半減期等に関する論文を作成するとともに、放射性物質の存在による水生昆虫体内の炭素・窒素安定同位体比の変化の有無を明らかにする。

方法：福島県川内村において採集した水生昆虫、および汚染されていない地域で採集された水生昆虫の炭素・窒素安定同位体比の変化を比較する。

成果：福島県川内村、および汚染されていない地域で採集されたカミムラカワゲラの頭部及び脚部における炭素・窒素安定同位体比を測定し、頭部及び脚部の差を地域比較したところ、窒素安定同位体比において、地域による有意な差が存在した。同じ個体の頭部と脚部の差を解析に用いているため、生息環境の違いによる影響は排除されている。放射性Csの存在により、窒素の取り込みに変化が生じた可能性があると考えられた。

10. アイ al 森林における物質・エネルギーの蓄積・輸送パラメタリゼーションの高度化と精緻化

目的：森林のCO₂ならびに生物起源揮発性有機化合物（Biogenic Volatile Organic Compound, BVOC）などの温暖化関連ガス等の放出・吸収量の環境・群落依存性を関数化し、森林の環境変動へ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、継続的に微気象フラックス観測を行うとともに省力化を行い、長期連続的な観測体制を整える。気候変動影響を評価するため、過去の土壌炭素蓄積を支配している因子を明らかにする。

方法：京都府木津川市に位置する山城試験地において、自動開閉式チャンバーを用いた葉呼吸・光合成量や土壌呼吸量の連続観測を行い、ネットワーク化を行うことで常時モニタリング体制を整える。土壌炭素蓄積量に影響すると考えられる過去の植生、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とともに、土壌侵食および表層崩壊などの情報を抽出する。

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、微気象センサー群のネットワーク化を進めた。また、流域内の樹木について、胸高直径を測定する毎木調査を行い、炭素蓄積量の推定を行った。山城試験地周辺の空中写真、旧版地形図、古写真、絵図についてデジタルアーカイブを中心に資料を収集し、時系列で整理した。空中写真から1970年代半ば以降森林化が進み、崩壊跡が目立たなくなった。陸地測量部が明治後期に発行した旧版地形図には流土や裸地が数多く認められた。また、同時期に撮影されたと考えられる古写真の撮影位置を特定し、同じ構図で写真を撮影した。

11. アイ aPF3 森林土壌の炭素蓄積量報告のための情報整備

目的: 気候変動枠組条約と京都議定書により、日本は森林による炭素吸収量を算定、報告することが義務づけられている。

これらに対応するため、森林の炭素蓄積量を地上部、地下部、枯死木、堆積有機物、土壌ごとに把握し、吸収量を算定するための全国情報整備事業が林野庁による主導で行われている。森林総合研究所では、枯死木、堆積有機物、土壌における炭素蓄積量について信頼性の高いデータを取得することを目的とする。

方法: 森林総合研究所が作成した森林土壌インベントリ方法書野外調査法にもとづいて、現地調査を実施する民間の調査会社に対して年度初めに現地講習会を行い、現地調査および野帳の記載方法について指導する。さらに、民間会社による現地調査データの精度を確保するため、同地点における民間会社と森林総合研究所の枯死木調査データを比較、検証する。

成果: 兵庫県丹波市において2020年6月9日に中部・近畿および中国・四国ブロックを担当する調査会社の担当者を対象にして現地講習会を実施した。枯死木調査、堆積有機物および土壌調査について技術的な指導を行った。データ精度の確保と確認のため、滋賀県大津市国分西山国有林において11月18日に枯死木調査を行い、調査会社の測定値とのクロスチェックを行った。

12. アイ aPF24 人工林に係る気候変動の影響評価

目的: 気候変動がスギ人工林に及ぼす影響を評価することを目的とする。

方法: スギ林の純一次生産量を影響評価の指標とする。人工林の純生産量を予測するために、シミュレーションモデル Biome-BGC のパラメータの値を決め、スギ林の現在の気候における純生産量、および将来の気候条件における純生産量の変化を推定した。

成果: CO₂ フラックスデータを参考に、大気飽差 (VPD) と気孔コンダクタンスの関係から Biome-BGC のパラメータの暫定値を決定した。この値を用いて現在の気候条件におけるスギ林の純生産量を算出し、全国スケールで純生産量のマッピングを行った。加えて、現在 (1971-2020 年) と将来 (2051-2100 年、RPC2.6) の気候条件で 50 年生スギ林の純生産量を推定し両者を比較したところ、純生産量が増加する箇所と減少する箇所が混在する結果となった。年輪解析を行った 10 地点において生態系モデル NCAR/LSM を用いて、現在 (1990-2016 年) と将来 (2070-2096 年) の推定値の変化を推定した結果、同様に、純生産量の増加箇所と減少箇所が混在すると予測された。現時点における Biome-BGC の推定結果は NCAR/LSM の出力値と大きな乖離はみられず、気候変動の影響を評価するためのモデル構造の構築を行うことができた。

13. アイ aPF42 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がたい。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。上記目的を達成するために、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。

方法: レーザー分光法を用いた樹木安定同位体ラベリング実験を高頻度に行うと同時に節液流・樹液流観測を行うことによって樹体内炭素・水動態の環境応答特性を把握する。実験データを基に樹体内炭素・水動態モデルを開発し、森林の形態的季節変化および森林における炭素・水循環との相互作用を定量的に解明する。

成果: 樹木内部の炭素移動速度の変化を非破壊的に測定するために、京都大学桐生水文試験地において、樹木 (ヒノキ) を対象に 9 月下旬より 7 日間隔で ¹³CO₂ パルスラベリング実験を試みた。パルスラベリング実験では、ビニール製チャンバーを作成し、樹冠全体を覆い、そこに ¹³CO₂ (99%) ガスを注入し、2 時間前後光合成を行わせることで、

^{13}C により標識した。光合成により取り込まれたパルスラベリング後の ^{13}C は、主に篩液として樹冠部から幹に達し、呼吸作用により $^{13}\text{CO}_2$ となるため、これをレーザー分光二酸化炭素安定同位体分析計で検出することにより、到達時間を算出することができる。また、この炭素到達時間を樹幹部からの距離で除することにより、移動速度を算出することができる。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、上部であるほど早い移動速度が算出された。また、降雨後には移動速度が上昇する傾向がみられた。このパルスラベリングを複数回行うことにより、様々な環境条件における樹体内炭素移動速度の変化を知ることができると考えられる。しかしながら、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いた。これらのことから、樹木のスケールに対して、7日の間隔では短すぎて、前回の実験において貯留された炭素とその次の実験で吸収された炭素との分離が難しいと考えられた。この複数回にわたる実験により、樹木のサイズ、樹種、環境条件によって、樹体内炭素移動速度が刻々と変動することが明らかとなったため、ラベリングの間隔を実験結果より適切に判断し、自動的に行えるシステムを構築中である。

14. アイ aPF44 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炭素固定量を算定し、また、将来の温暖化に伴う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：モウソウチクを対象に光合成・呼吸量・蒸散速度測定を行い、水利用率の時間変動特性を解析する。

成果：竹林における炭素固定量の年変動及び変動要因の解明を行うために、モウソウチクの光合成・蒸散速度を測定したところ、葉は樹木葉に比べて比較的高い光合成量を示したものの、古い稈ほどやや低い光合成速度がみられた。また、高い光合成速度を持つ葉は蒸散速度も高く、水利用率に関しては一定した値がみられた。モウソウチクは稈の部分が緑色であり、葉緑体を持つため、幾分かは光合成を行っていると考えられる。そこで、アクリル製の稈呼吸量測定チャンバーにアルミホイルを用いて遮光し、その前後の呼吸量の測定を行うことで、定量化を行った。稈による違いは見られたものの、遮光した方がおおむね数% CO_2 放出量が増加しており、稈光合成による影響がみられた。精度の高い竹林の炭素固定量算定モデル構築のためには、稈光合成による再固定プロセスも組み込む必要性が考えられた。

15. アイ aPF45 「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 VOC（Volatile Organic Compounds: 揮発性有機化合物）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、これを用いて VOC のフラックスを計測する。

方法：高速マスフローコントローラーを用いて大気サンプリングを風速に応じて行い、渦集積法によるフラックス測定の実地検証を行う。

成果：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において、 CO_2 フラックスの渦相関法による観測との比較を行った。真の渦集積法によるサンプリングを達成するため、超音波風速計の風速信号に幾何補正および平均化処理を施し、鉛直風速に応じて大気サンプリング量を変化させた。本システムにより、簡易渦集積法のように経験的なパラメーターを用いることなく、直接的にフラックスを算出することができたが、渦相関法による観測結果よりも過小評価となっていた。また、システムを構築するにあたって、リークの少ないポンプを選定すること、風速分布により、適切なサンプリング量を選ぶことが重要であることなどの知見が得られた。

16. アイ bPF28 土地利用変化による土壤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壤炭素変動量を 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、それを用いた土壤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現地調査を行い、データ数を増やす必要がある。

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2地点で土壤炭素量、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に基づき、土地利用変化にともなう土壤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香川県、愛媛県を中心に調査候補地を抽出した。国土地理院が公開している地図・空中写真閲覧サービス、Google Earth Pro の時間スライド機能を活用して、画像情報から時系列に沿う土地利用変化を把握した。調査許可が得られた愛媛県松山市のみかん園－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。

17. アイ bPF32 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：本研究は、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：本研究は、人工林の成長量に対する気候変動の影響を予測するだけでなく、森林管理技術に有効な適応策オプションを提示することで、将来気候下における林業活動を維持することに貢献することを目指す。このため、将来気候下におけるスギ成長量、森林の最適配置、管理指針、地域系統の選択といった適応策オプションを全国スケールに加えて地域スケールでも評価し、地方公共団体による地域気候変動適応計画の策定にも資する詳細な影響予測を行わなければならない。本年度は、地域スケールにおける気候変動影響予測に必要な、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：スギ人工林の成長量を予測する地域モデル（統計モデル）を開発するため、対象地域（岐阜県郡上市、高知県香美市、福岡県朝倉市）で必要なデータを収集して整備し、香美市においてモデルのプロトタイプを構築して試算した。また、人工林への気候変動影響予測モデルの高度化のため、気候シナリオや土地利用シナリオ等の関連するデータの収集・整備を行った。

18. アウ aPF40 日本の樹木の多様性は山岳地形により地史的に高く保たれてきたのではないかな？

目的：日本の森林に生育する樹木は1200種とされ、生物多様性の極めて高い東アジアのホットスポットとして位置づけられている。これは、過去に繰り返されてきた気候変動の中で、日本列島では樹木種の絶滅が抑えられてきたことを意味している。このことから、「山岳地域である日本列島では樹木が気温の異なる垂直方向に移動しやすいことで気候変動にともなう樹木種の絶滅が緩和され、高い多様性が地史的に保たれてきた」という仮説を着想した。そこで、本課題では、この仮説を検証するために日本国内外の温帯林の多様性情報および地形情報を用いたメタ解析を担当し、地形の複雑性が温帯林樹木の多様性に及ぼす影響を検証した。

方法：米国のインベントリデータ（Forest Inventory and Analysis Database, US Forest Service）と日本の森林生態系多様性基礎調査のデータ（林野庁）を用いて樹木種の多様性と地形構造及び気候要因の関係を解析し、その結果を比較した。米国のデータはDBH12.7 cm以上の樹木を対象とした672 m²の円形プロット51,934箇所、日本のデータはDBH5 cm以上の樹木を対象とした400 m²の円形プロット13,140箇所を調査したものである。

成果：任意の地点の樹木種数とそこから半径10 km圏内の標高差の関係を調べたところ、日本では両者の間に特段の傾向は見られなかったが、米国では、10 km圏内の標高差が大きいほど種数が低下する傾向がみられた。この結果は北米では日本と異なり、標高差の大きい山岳地域で樹木の多様性が低下する傾向を示している。したがって、「山岳地の地形の複雑さによって高い多様性が地史的に保たれてきた」という仮説に対して否定的な結果であり、少なくとも北米の温帯域では山岳地形が現在の樹木の高い多様性に貢献しているとは考えにくい。しかし、本研究の結果は、米国の山岳地域では出発点となるべき樹木の多様性がそもそも低いことが知られている。地域の樹木の多様性は、その形成の元となったソースの部分と、形成された多様性が維持されるプロセスの部分の2つの観点からとらえることができるが、本研究の結果は、山岳地形が後者の部分に寄与していることを示しているのかもしれない。

19. アウ aPF52 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種について、絶滅リスクを域内保全により回避するための計画立案と順応的管理のためのモニタリング体制の確立を目的とする。

方法：世界自然遺産の顕著で普遍的な価値を代表する固有種のうち生態に関する基礎的情報が不足しているホントウアカヒゲについて、巣箱を用いて繁殖情報の収集を行った。

成果：巣箱における2020年の産卵時期は3月中旬から6月中旬で、3月下旬、5月上旬～中旬、6月上旬～中旬に産卵個体の多い時期があり、1繁殖期に複数回繁殖していると推測された。また、繁殖経過が追跡できた巣箱での産卵開始から巣立ちまでの期間は29.6日と推定された。本プロジェクトでホントウアカヒゲを含む固有鳥類の繁殖分布調査を行っている期間は4月下旬から6月上旬であり、ホントウアカヒゲの繁殖期の調査として適当な期間であることが確かめられた。

20. アウ aPF65 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の検討を進める。

方法：アリの巣やその周辺に生息する好蟻性昆虫などの生物と、それらと生活を共にするアリを採取する。DNA抽出法の検討を重ねながら、16S rRNA アンプリコンシーケンスにより、得られたサンプルの腸内微生物叢解析を進める。

成果：アリヅカコオロギ、アリヅカムシ、シジミチョウ類などの好蟻性種および、アリの巣の中に生息していたトビムシなど7種類の生物と、それらと関係を結んでいたアリを採取し、99.5%エタノール内に保存した。採取したサンプルの一部について16S rRNA アンプリコンシーケンスを行ったところ、クロヤマアリやアリヅカコオロギでは細胞内共生微生物であるボルバキア（*Wolbachia*）や細胞内寄生性のリケッチアが、クロオオアリやトゲアリではオオアリ属特有の共生微生物であるブロックメニア（*Blochmannia*）が配列のほとんどを占め、腸内微生物叢の把握が困難であった。腸内微生物叢を確認できたサンプルについて検討したところ、アリとその関連生物との間に腸内微生物叢の共通性は認められなかった。

21. アウ aPS2 溪流に注ぎ込む光の量から溪畔林を評価する－光量・藻類量・水生昆虫量の関係解明－

目的：溪畔林による日射遮断に着目し、溪畔林伐採による光量の変化という点に焦点を当て、溪畔林の樹冠が水面を被覆することによる光量変化によって藻類量がどう変化し藻類を食べる生き物がどのように変化するかを調査・解析する。

方法：茨城県森林管理署管内堂平国有林の試験地を中心としたエリアにおいて、光量の多い場所や極端に光量の少ない場所など様々な光環境の溪流上の光量・水温の変化を時間ごとに7地点（No.1～No.7）で測定する。また、その場

所の藻類量やヨコエビ個体数を調査する。

成果：日射量が多いと珪藻量が増加し、珪藻量が多いとヨコエビの個体数も多くなることが分かった。近接する調査地点のNo.4とNo.5だけを取り出して比較すると、No.4はNo.5に比べて日射量がかなり多く、その結果、珪藻量とヨコエビ個体数もNo.4で多くなっていた。この2地点の日の当たる時刻を比較したところ、No.4は午後に照度が高くなりNo.5は午前には照度が高くなっていた。日射量はNo.4の方がかなり高いことから、溪流に入り込む日射量は午後のほうが高くなるのではないかと考えられた。つまり、午後に光の当たる溪流の方が午前には光が当たるところより、藻類量やヨコエビ数が多くなると考えられた。

22. アウ b1 環境に配慮した樹木病害制御技術の高度化

目的：サカキやヒサカキ、シキミは神仏用枝物として、林地栽培の重要樹種となっている。しかし、様々な病害が発生するため対処が必要である。林地栽培されているヒサカキに認められた枝葉枯れ症状は、菌糸が枝葉を這って拡大し枯死させるという特異な病害である。本病害について、病原菌である糸状菌の宿主範囲を調査した。

方法：ヒサカキの枝葉枯れ症状から分離した菌株を用い、ツバキ科の7樹種の枝に接種試験を行った。

成果：ヒサカキ枝葉枯れ症状の病原菌を接種したヒサカキでは、菌糸が枝葉表面を這い、枝葉枯れ症状を再現できた。同様の症状がハマヒサカキで認められ、サカキでも低頻度で認められた。これら3種では枯死葉から接種菌が再分離された。ツバキ、サザンカ、チャおよびヒメシャラでは、接種菌の菌糸が枝葉表面を這う様子が認められたが、葉枯れや枝枯れ症状は認められなかった。このことから、本菌がヒサカキだけでなくハマヒサカキとサカキにも枝葉枯れ症状を起こす病原菌であることが確認できた。本病の発生地ではヒサカキだけで発病が認められており、他樹種での被害を確認する必要がある。

23. アウ b2 森林・林業害虫管理技術の高度化

目的：栽培きのこ、コンテナ苗、海岸マツ一斉造林等、先進的な林業や森林管理における新たな害虫に対して、防除技術開発に繋がる生態情報、物理的・化学的行動制御因子、および有力な天敵素材の解明を行う。ナラ枯れ等、新たな被害地を拡大する害虫に対して、総合防除技術を洗練化する。

方法：1. カミキリムシの捕食寄生者であるサビマダラオオホソカツムシ飼育個体の寿命と産卵期間の調査を行った。2017年に飼育開始した3つの地域個体群（岡山1,022個体、愛媛146個体、鳥取217個体）を、羽化から4カ月間27℃長日条件下で飼育し、10℃全暗に移して4カ月間飼育し、その後27℃長日と10℃全暗条件を4カ月ずつ繰り返した。こうすることによって27℃長日条件時に一斉産卵が行われるので、卵を回収するとともに死亡個体の発生状況を調査した。

2. ナラ枯れの原因害虫であるカシノナガキクイムシと、加害痕がカシノナガキクイムシにやや似るヨシブエナガキクイムシについて、プラスに含まれるDNAから種を識別する方法の開発を進めた。それぞれの種が排出したプラスを採取してDNAを抽出し、rDNA-28SのD1/D2領域を増幅し、ダイレクトシーケンスによって対象種の塩基配列を取得可能であるかを検討した。また、別のアプローチとしてLAMP法によるカシノナガキクイムシの種識別法の開発を行った。

成果：1. 羽化開始から全個体死亡までの日数は岡山個体群が1,237日、愛媛個体群が1,209日、鳥取個体群が1,363日で、地域ごとの差はあまりなかった。各個体群とも飼育中に産卵時期が3～4回あり、最長で7カ月間継続した。またいずれの個体群も、2回目以降の産卵期間あるいは低温処理期間中に、個体数が約1カ月間で1/3～1/7に減少した。本種の寿命に関しては、3年以上生きる個体が存在する一方で、多くの個体が同時期に死亡する傾向のあることが明らかになった。

2. プライマー領域および温度条件を改良したが、プラスの抽出DNAからはPCR産物が得られないか、対象種以外の昆虫のDNA配列が得られた。プラスに含まれるDNAが微量であることと、プライマーの特異性の低さに問題があると考えられ、診断に利用するにはさらなる改良が必要と考えられた。LAMP法については、マイクロサテライト周辺領域に特異的プライマーを設計し、虫体から直接抽出したDNAについて、カシノナガキクイムシのタイ

ブA（通称日本海型）であるか否かを目視判定する方法を開発した。フラスに含まれる微量DNAへの有効性についてはさらなる検討が必要である。

24. アウ bPF52 日本における樹木疫病菌被害の発生リスク評価

目的：植物疫病菌（*Phytophthora*）が世界各国の森林生態系で樹木枯死を引き起こし、大きな問題となっている。日本では本属による樹木被害はほとんど顕在化していないが、森林での *Phytophthora* 属菌の分布報告はあるため、森林樹木に対する病原性を確認する必要がある。本研究では日本産 *Phytophthora* 属のうち関西支所構内に分布する一種 *P. cinnamomi* について、日本のブナ科樹種間の感受性の差異を比較することを目的とした。

方法：関西支所構内で採取した *P. cinnamomi* の1菌株をポテトデキストロース寒天培地で培養し、菌叢を接種源とした。苗畑に植栽したブナ科樹木13種の苗木において、幹の2か所の樹皮を剥ぎ、*P. cinnamomi* の菌叢または無菌培地を接種した。接種2か月後、接種部上下に形成された内樹皮壊死斑の軸方向長を測定した。

成果：ブナ科13種の全ての樹種で、接種による内樹皮壊死斑の軸方向長は対照よりも長かった。特にミズナラとコナラで壊死斑が長かった。全ての樹種において接種部壊死斑から接種菌が再分離できた。このことから、*P. cinnamomi* は多くのブナ科樹種に対して病原性があること、また樹種による感受性の差異があることが明らかになった。

25. アウ bPF56 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：林野庁が実施している補助事業「シカによる森林被害緊急対策事業」を実施している奈良県を対象に聞き取り調査を行った。

成果：当事業は、林業事業者が主体となりシカの被害対策としての捕獲を実施する体制の検証を行うものである。奈良県でも当事業を利用して五條市森林組合が主体となったシカ捕獲事業を実施しており、県担当者および森林組合の実施責任者に聞き取り調査を行った。今年度は昨年度と異なる地域を対象として捕獲が実施されたが、事業実施2年目であり円滑に実施できたとのことであった。しかし、本補助事業のような予算措置がない場合、林業事業者が主体となって持続的に捕獲を実施するためには、人材の育成に加えて経費の確保が今後の課題だといった意見があった。

26. アウ bPF57 「天然の実験室」を活用した外来リス根絶と生態系回復に関する研究

目的：高密度に生息する外来リスの影響を定量的に評価するため、調査地である高島の鳥類群集について現状を把握する。

方法：調査地の高島で鳥類群集の特徴について繁殖期と非繁殖期のラインセンサスにより調査した。任意観察と自動撮影カメラによる調査も併用した。

成果：調査では53種が記録され、九州本土では稀な準絶滅危惧種のカラスバトが出現率、優占度とも高いことが明らかになった。一方で、メジロやヒヨドリなど九州本土の照葉樹林における優占種は、高島では本土に比べて出現頻度が低かった。また、林床の地中に掘った巣穴で繁殖するオオミズナグドリの集団繁殖地が新たに発見された。本研究期間内には高島の外来リス地域個体群の根絶はできなかったが、外来リスの生息密度が高い状況における鳥類相のデータを得ることができたため、将来、同様な調査を行うことで生態系の回復過程を評価できると考えられる。

27. アウ bPF60 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認する。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認する。

方法：1. 羽化成虫の奇形発生率抑制 前年度行った飼育試験において、卵から成虫までの人工飼料による飼育に成功したものの、羽化成虫の奇形発生率が65.5%と高かったことが課題となった。これは人工飼料の入った三角フラスコ

内で蛹化、羽化まで飼育したことが原因と考えられた。そこで低温処理期間中に幼虫を三角フラスコからミズゴケの入ったプラスチックカップ内に移し、前蛹になった時点でさらにガラス製管瓶に移して蛹化、羽化させた。

2. 孵化幼虫用人工飼料の作成 前年度までは孵化幼虫は市販の人工飼料であるインセクタ LFS を用いて飼育しており、その結果摂食成功率（生存率）が30%台という低い数値となった。そこで同じく市販の人工飼料であるシルクメイトにサクラ材微粉末、乾燥酵母、水を混合した新たな孵化幼虫用飼料を作成し、飼育を行った。

3. 幼虫の齢数推定 人工飼料の残滓から脱皮殻を約300個体分取り出し、頭蓋の触角間長および大腮幅を計測することにより、幼虫の齢級推定を行った。

成果：1. 羽化成虫の奇形発生率抑制 本年度は幼虫期の死亡率が前年度より高かったため、羽化率も10.2%と低下した。しかし羽化成虫の奇形率に関しては、前年のほぼ半分（32.6%）まで低下させることができた。

2. 孵化幼虫用人工飼料の作成 前年度はインセクタ LFS での摂食期間を約2週間とし、その後幼虫1個体当たり三角フラスコ2本分の人工飼料を与えていたが、本年度は孵化幼虫用飼料で1～2カ月間摂食させ、その後に与える人工飼料を三角フラスコ1本にすることによって飼育を省力化した。結果として、孵化幼虫用飼料における摂食成功率は前年度の38.8%から65.6%へと大幅に上昇し、幼虫の平均生重も約20倍と大きくなった。

3. 幼虫の齢数推定 人工飼料から取り出した幼虫の脱皮殻を元に、頭蓋の触角間長および大腮幅を計測し、その分布から齢数を推定した。約300個体分の脱皮殻を調べたが、頭蓋は破損している割合が高く、齢級推定に十分なサンプル数が集まらなかった。大腮幅の分布からはやや不明瞭な部分があるものの、5齢を経過するものと推定された。

28. アウ bPF65 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、本研究では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するとともに、これらのデータに基づいて、シカおよびカモシカの餌資源選択モデルおよび将来的な両種の個体群動態予測を行う。

方法：長野県においてシカとカモシカが同所的に生息する4地域を調査対象地とした。調査対象地において自動撮影カメラを設置し、シカとカモシカの撮影回数を記録した。合わせて、カメラ設置地点における階層毎の植被率を記録した。また、調査対象地周辺において捕獲されたシカおよびカモシカの胃内容物を採取し採食植物種割合を調査した。

成果：近年シカの生息が確認され始めた調査対象地では、シカの撮影回数は少なく、カモシカやクマの撮影回数が多い傾向にあった。シカの生息密度の高い調査対象地ではシカの撮影回数が多く、草本層の植被率も低い傾向にあった。調査対象地周辺で捕獲されたシカおよびカモシカの胃内容物は現在分析中である。

29. アウ bPF70 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るとともに、その後も低密度で維持することが重要である。そのためには林業事業者が主体で捕獲を実施する体制の構築が重要である。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み合わせを検討し、適用条件を整理する。

方法：再造林地2カ所を対象とし、ICT等を利用した遠隔通知システムを利用して林業事業者が主体でシカ捕獲作業を実施し、作業の効率化および個体数低減効果を検証する。

成果：再造林地周辺におけるシカの推定生息密度は、約10～30頭/㎢と高かった。今回利用した遠隔通知システムは、ワナに設置した子機から無線で中継機へ通知されるため、携帯圏外でも利用が可能である。中継機と親機は携帯電話網を利用して通信し、親機から作業者にメールが送信されるシステムであった。再造林地より標高の高い尾根に中継機を設置した結果、2カ所の捕獲対象地から通知が可能であることを確認した。このような通知システムの利用により捕獲作業を省力化することで、林業事業者が持続的に捕獲を実施できると考えられた。捕獲は足くりワナおよび箱ワナを用いて実施し、今後シカの生息密度低減効果を検証する予定である。

30. アウ bPF71 線虫をもって線虫を制するー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、捕食線虫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：研究担当者の分担は、生物防除への応用可能性の検討、および *Seinura* 属の新規分離株の収集である。

このため、(2) 生物防除試験では、前年度に行った培地試験、木片試験結果が良好であったため、これを拡張させ、実際にマツノザイセンチュウとマツノマダラカミキリが生息する木材に対して、*S. caverna* を接種し、ここから羽化脱出するカミキリの線虫保持数を調査することにより、この線虫保持数（感染拡大リスク）に対する *S. caverna* の影響を調査した。

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* 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、単独培養による生殖様式の解明（雌雄同体か雌雄異体かの調査）、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：生物防除試験は、継続調査中である。少なくとも材内でマツノザイセンチュウ、*S. caverna* ともに個体群を維持していることが確認されているが、カミキリの羽化が次年度になるため、最終的に結果が明らかになるのは、次年度である。また、この結果に基づいて、さらに条件を変えた試験を継続するかどうかを決定する必要がある。

新規株の収集においては、滋賀県、マキノ高原から得られた1新種を、*Seinura shigaensis* として記載した（図1, 2）。系統解析の結果、本種は、*S. caverna* に近縁でありながら、生殖様式が *S. caverna* の雌雄同体と異なり、一般的に線虫類に広く見られる雌雄異体であるということが確認された。他のモデル生物系においても、雌雄同体の主要モデル種に対応する近縁の雌雄異体種は解析において必須のものとなっている。このため、ここで記載された *S. shigaensis* が今度、(1) の捕食線虫モデルとしての *S. caverna* の行動解析や、研究代表者が予定している遺伝子（ゲノム、発現遺伝子）解析において、比較対象として利用可能となると考えられる。

本研究は次年度が最終年となるため、次年度は(2)の生物防除試験の結果を得て、そこからの発展を検討することを主要目的とする。また、本課題の拡大、継続課題の立案を目指し、(1) *S. caverna* のモデル化に関する試験と、(3) さらなる新規捕食性線虫株の分離培養を継続的に行う予定である。

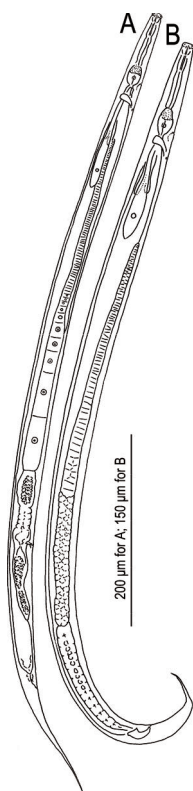


図 1. *Seinura shigaensis* 雌雄成虫
A: 雌; B: 雄

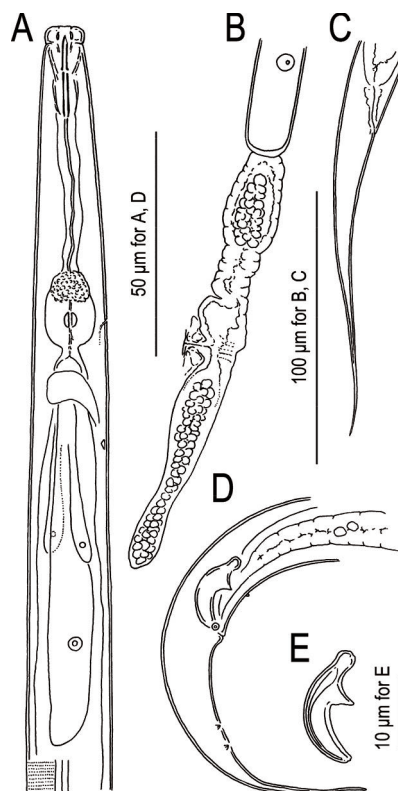


図 2. *Seinura shigaensis* 雌雄成虫各部の拡大図
A: 雌頭部; B: 雌生殖腺; C: 雌尾部; D: 雄尾部;
E: 雄交刺

31. アウ bPF78 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の検証

目的：本課題は、前年度に終了した、「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、その共棲微生物、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、種多様性が非常に高い節足動物（特に昆虫類）の多様化要因を明らかにすることを最終的な目標とする。また、ここで、節足動物の資源利用様式を明らかにすることで、マツ材線虫病、ナラ類集団枯損などに代表される節足動物、昆虫媒介性の森林病害の生態的発生機構の解明、防除のための基礎的知見に資することが期待される。

なお、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、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：令和2年度が本課題初年となるため、研究内容は、次年度以降に利用する試料の採集、同定が中心となった。当初予定では、北海道から沖縄までの広範囲においての採集を行うこととしていたが、新型コロナウイルスの感染拡大により、広範囲での試料採集が不可能となったため、関西支所近郊の林地においての採集にとどまった。また、この不足を補うため、前年度までに経常研究において採集、培養株の確立を行った試料のうち、本課題に利用可能な線虫種の分類学的位置づけ、生態的情報の記載を行った。この結果、

- 1) キノコゴミムシダマシ便乗性の細菌食種であり、モデル生物 *Caenorhabditis* 属の祖先型系統群に属する *C.*

auriculariae の形態的解析、生態的特性の解明、ゲノム解析を行った（図1）。これにより、本種の系統的位置づけを明らかにするとともに、昆虫利用様式、ゲノム構成の特性に関しての情報を得た。

2) 京都市内のアキニレ樹液で採集したモンチビヒラタケシキスイから検出した細菌食性線虫を新属新種、*Chylorhabditis epuraeae* として記載した（図2）。本種は、非常に長い雄の交接刺、特徴的な雄尾部（尾翼）構造を持つことで既知属と明確に異なるが、系統的位置づけから、湿潤富栄養土壌から分離されるグループから派生したものであることが明らかとなった。また、この近縁属は、昆虫利用様式などは知られておらず、昆虫利用をほぼ行わない土壌線虫種であると考えられている。このことから、*Chylorhabditis* における昆虫利用の進化、生息場所の変化など、生理、生態的に大きな変化があったことが想定された。この線虫の存在が、昆虫の生態においてどのような意味合いがあるのかは今後検証する必要がある。

3) 国内においての節足動物（昆虫）関連線虫の人為的分布の可能性にも着目し、一般流通する資材からの線虫検出を試みた。この結果、クワガタムシ類幼虫を飼育するための餌資材として流通する木材チップから、マツノザイセンチュウ同属近縁種である *Bursaphelenchus macromucronatus* を検出した（図3）。本種に関しては、過去に中国から分類学的記載がなされたのみであり、その分離元も輸入梱包材であった。このため、本種に関する生態的情報は皆無に等しい状況であったが、本研究において本種が日本国内産のコナラと想定される木材チップから分離されたことにより、日本国内に自然分布し、広葉樹を利用していることが明らかになった。マツノザイセンチュウ近縁種はカミキリムシ類を一般的に分散宿主として利用することから、本種も広葉樹を利用するカミキリムシ類によって分散しているものと考えられた。また、本種に最近縁のタラノザイセンチュウなどには、弱い植物病原性が確認されているため、昆虫の資源利用に対しての影響が想起される。今後、本種の植物病原性、昆虫利用に関して、野外採集と室内試験において明らかにしていく必要がある。

4) 過去に長野県でのキシヤヤステの大発生個体群から分離した線虫標本についての再解析を行い、ここに、4種の *Pristionchus* 属線虫が便乗していることを明らかにした（図4）。これらのうち、2種は未記載種、1種は日本（東アジア）新産種であった。*Pristionchus* 属は、その主要モデル種である *P. pacificus* が表現型可塑性に関する研究材料となっていることから、属全体の種、生態的多様性解析が求められているグループである。本研究により、土壌動物であるヤステ類が本属の重要な媒介節足動物となっていることが明らかになった。また、一般には、土壌動物からの検出では、*P. pacificus* が優占するのに対し、本研究では同種は検出されなかったことから、温度、土壌の物理、化学性など、生息域の隔離が考えられ、今後の多様性解析において、寒冷地、高山帯などが重要な採集場所となると考えられた。また、ここで優先していた1種に関しては、ミトコンドリア DNA の一部を用いた遺伝型の多様性解析を行ったが、これは、*P. pacificus* 以外では同属で初のケースとなり、今後の同属種の種内変異、多様性解析のモデルとなる。

以上の研究により、課題2年目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。

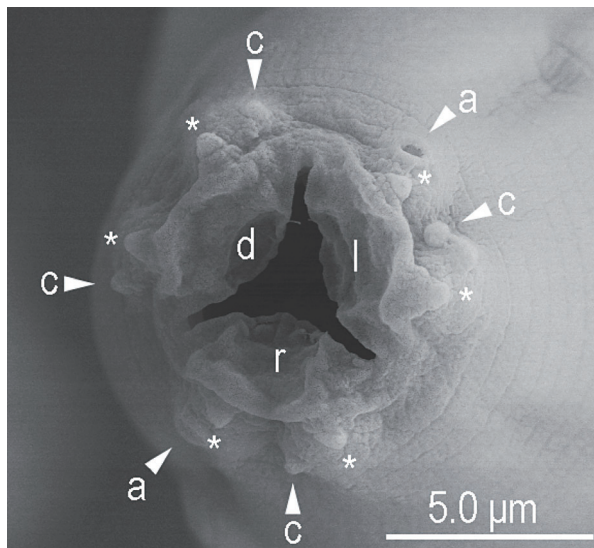


図1. *Caenorhabditis auriculariae* 口腔部 SEM 写真
C: 頭部感覚器; *: 唇部感覚器; a: 化学受容器開口部; d: 背側
r: 右前側; l: 左前側

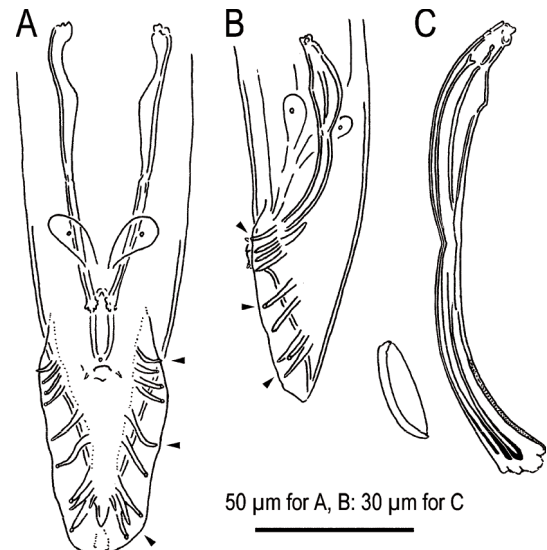


図2. *Chylorhabditis epuraeae* 雄成虫尾部
A: 全体図腹側; B: 全体図側面; C: 交接刺と副刺

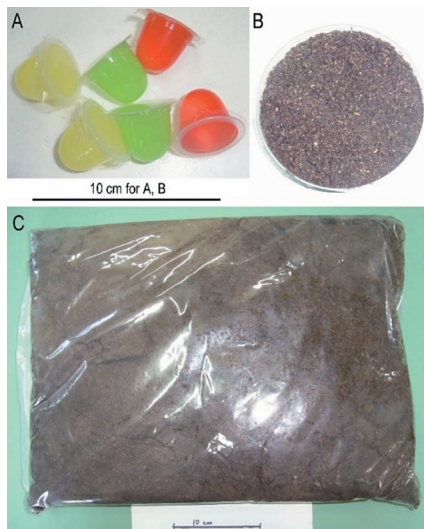


図3. 国内流通するクワガタムシ飼育資材
A: 成虫用ゼリー; B, C: 幼虫用木材チップの
拡大図 (B) とパッケージ (C)
図中のスケールは 10 cm



図4. *Pristionchus* 属 4 種の分離源となったキシヤステ
体長は、5-6 cm程度

32. アウ bPS11 スギ、ヒノキ、カバノキ科の花粉飛散抑制の新手法の開発

目的：花粉症に対応する花粉症発生源対策は、林野庁が「3本の”斧”」を掲げるように喫緊の課題である。このうち第三の”斧”「出させない」に掲げられた「スギ花粉の飛散防止剤の開発」については、これまでに多くの製剤が特許取得されているが、花粉飛散を十分に抑制できる方法には至っていない。花粉飛散抑制剤にはできる限り多様なツールを用意する必要がある。本研究では、これまでにない新たなメカニズムに着目したスギ、ヒノキ、カバノキ科花粉飛散抑制剤の開発に取り組む。つまり、スギ雄花とヒノキ雄花に新たな処理液を処理する最適方法を明らかにし、さらに飛散抑制メカニズムを明らかにする。

方法：新たな処理液による花粉飛散抑制効果を確認するために、スギ、ヒノキ、カバノキ科の雄花に処理を行った。

成果：開花状況は開花終了後の次年度に観察する。先行試験のスギ雄花における処理区と対照区の雄花断面を走査型電子顕微鏡観察した結果、処理区では花粉が花粉囊に残っており、花粉飛散が抑制される可能性が示唆された。

33. イア a1 多様な森林の育成と修復・回復技術の開発

目的：土壌タイプや地質、気象要因による類型化を行うことで、土壌特性が樹木の成長におよぼす影響を解明し、林地生産力を広域に評価する。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：列状間伐後の群馬県三国有林と広島県新元重山国有林において、周辺環境や主林木の林分構成に応じて、林床広葉樹の生育状況、肥大成長等を評価した。

茨城県つくば市の千代田苗畑において実施したスギおよび広葉樹二種（イヌシデ、コナラ）の成木の季節別、器官別重量測定結果をもとにモデル樹木を設定し、器官別窒素濃度の季節変動パターンをあてはめて、単木における窒素の総量と配分のパターンを試算した。

様々な立地条件において、主伐後の低コスト再造林を目的とした一貫作業システムに、コンテナ苗の利用が有効かどうかを検証するために、ヒノキコンテナ苗を岐阜県内の土壌条件の異なる立地に植栽した試験地（岐阜県森林研究所の試験地内：恵那市明智国有林、下呂市門坂国有林、下呂市小川長洞国有林）において、苗の活着状況と植栽地の土壌条件、気候条件との関係を解析した。

成果：三国有林と新元重山国有林のスギ林分の比較において 後者の ha 本数 2,000 本の低密度植栽試験区は形質不良木の本数割合が高かった。これは、生育の過程において、同植栽区に繁茂した蔓性植物に阻害されたことに起因する。一方、林床広葉樹には高木種が参入し、収穫後に再造林を行わない選択も可能とみなされた。

イヌシデとコナラの窒素要求量のピークに季節的な差異が確認され、スギに比べ窒素現存量の変動幅がほぼ2倍近いことが示唆された。

ヒノキコンテナ苗の植栽試験では、明智国有林の夏植えで最も活着率が低かった。本試験地の土壌は、真砂土を主体としたもので元々乾燥しやすいのに加えて、夏の猛暑と植栽後に無降雨期間が1か月近くあったことが影響したと考えられた。コンテナ苗の活着率も他の試験地よりも低かったが、春植え、秋植え共に裸苗よりも活着率が高かった。活着率の改善効果を目的として、一部摘葉して植栽した苗については、春植栽の裸苗では摘葉により枯死個体が少なくなったが、夏植栽では高温で摘葉の有無にかかわらず枯死個体が多かった。全体としては、摘葉による活着率改善についてはコンテナ苗よりも裸苗で効果があると考えられた。

34. イア a2 地域特性に応じた天然林の更新管理技術の開発

目的：暖温帯域の多様な生産目標に対応するため、攪乱などを考慮した広葉樹天然林の管理手法を開発することが最終目的である。今年度は、里山広葉樹林の多様性の経年変化データを解析し、近年の群集構造の変化傾向を明らかにし、今後の取り扱い指針について検討することを目的とした。

方法：管理放棄され高齢化した広葉樹二次林である滋賀県大津市の龍谷大学実験林において、森林内に緯度経度2秒ごと設定された127地点の格子点を中心とした半径5mの円形プロットにおいて、2009年および2015年に調査されたデータ（胸高直径1cm以上の木本植物の樹種、胸高直径）を用いて、ナラ枯れが種組成の変動に与える影響について検討した。

成果：調査期間中に α 多様性、 β 多様性、個体数などの種組成の指標に顕著な変化はなかった。この結果は、被害木を放置した場合、ナラ枯れの発生に伴う樹木群集組成への影響は軽微であり、ナラ枯れが種組成の変化を生じさせる主要因とはなりにくいことを示している。一方で、京都市の銀閣寺国有林内で行われた別の研究では（伊東ら2015）、コナラ被害木とその周辺の樹木を伐倒処理しギャップを発生させた場合は、多様な樹種の更新することが確認されている。したがって、近畿圏においてコナラが優占するような低山の高齢化二次林では、被害木を放置しても将来的に種組成に影響を及ぼすことはないが、より多種多様な樹種による混交林への誘導を目指す場合は被害木を放置せずに伐倒処理を行うことが有効であると考えられた。

35. イア aPF31 成長に優れた苗木を活用した施業体系の開発

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：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との検証を行った。

苗木生産現場における現行の標準的な栽培方法と生産者が抱える課題を明らかにすることを目的として、全国のコンテナ苗生産者を対象にスギ、ヒノキ、およびカラマツのコンテナ苗の育苗に関するアンケート調査を行った。

種子の品質改善と収量の安定化に対するグルタチオン（W2 酸化型）の影響を明らかにするために、少花粉スギのミニチュア採種園において、グルタチオンを散布した母樹由来の球果の、直径、球果あたりの種子数、100 粒重、種子充実率を対照区と比較した。

成果：ドローンによる競合状態の評価結果と、既存手法による被り度合い（C1～C4）は、概ね良く対応し、C3とC4の正答率は高かった。しかし、被り度の低いC1の正答率は低く、C2と判定される割合が高かった。ドローンによる空撮画像によって下刈り前後での、苗木の埋もれ具合を比較し、下刈り効果を定量化が可能であることが明らかとなった。本手法は、下刈り実施やその対象場所（造林地内でも必要性の有無は異なる）、下刈り効果の判定に活用可能と考えられる。

全国の生産者を対象としたアンケート結果から、コンテナ苗の量産化には、生産の効率化・労務負担軽減のための生産基盤施設の整備と、裸苗生産に基づく育苗技術や生産経験が相対的に豊富であることが寄与していることが考えられた。一方、コンテナ苗生産に対する問題点として、出荷規格外や根鉢形成不良による歩留まり（得苗率）の悪さ、コンテナ苗の需要拡大等が挙げられ、得苗率を高める栽培技術やコンテナ苗の安定した需給体制の構築が求められていることが明らかになった。本アンケート結果は、論文として取りまとめ発表した（小笠ら 2021 日本森林学会誌 103:105-116.）。

母樹へのグルタチオン施用効果については、系統により充実率が向上するものがある一方で、施用による変化がみられない系統もあり、施用年度による変動も大きく、施用条件の検討が必要であると考えられる。一方、グルタチオン施用した母樹由来の種子を用いたコンテナへの直接播種試験では、非施用の母樹由来の種子と比べて本葉展開に至る種子が有意に多く、母樹への施用により発芽の斉性が高まることが示唆された。

36. イア aPS12 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：本研究では、1) 広葉樹林分における生産コストの推定手法の開発、2) 幹形状などに応じた利用率・損失率の定量化、および 3) 広葉樹林分の資産価値の評価手法の開発、を目的とする。

R2 年度は、1) 広葉樹伐採の生産性に関する既存資料の収集とコストの推定モデルに必要なパラメータの取得、2) 少雪地域の落葉広葉樹林で標準地プロットの設定と直幹長や採材利用率などの推定、および 3) 衛星データを用いた時系列モデリングの試行や広葉樹の木材価格の収集、を達成目標とした。

方法：1) 急傾斜地における架線系機械を用いた帯状伐採と、緩傾斜地における車両系機械（従来型：チェーンソー、機械型①：フェラバンチャ、機械型②：ハーベスタ）を用いた更新伐において、海外の事例の平均的な数値と生産性の比較を行なった。

2) 少雪地域の東北 4 県の落葉広葉樹林で方形標準地プロットを設定し、落葉広葉樹林の利用率・損失率を種間・地域間で明らかにした。

3) 衛星データを用いた時系列モデリングを試行し、また、国有林の販売実績から広葉樹の木材価格を収集した。

成果：1) 車両系の生産性は、従来型では海外より少々高いが、機械型では海外の事例よりは格段に低かった。

従来型では、伐木工程と造材工程の生産性に大きな差はないが、機械型①と②ではともに伐木生産性に比べて造材生産性が低かったことが主な要因であった。コストについては、架線系の帯状伐採で 11,355 円 / m³であった。

2) 樹種別ではブナの直幹長がミズナラより長い傾向があり、ホオノキ、オオバボダイジュといった樹種でも直幹長の値が大きかった。樹種の他に地域による差もみられ、傾斜、積雪深などによる影響が推察された。また、立木材

積を、地上レーザスキャナーによる手法と、手計測による方法とを比較するとほぼ一致しており、細り幹形を良好に計測できた。レーザの細りから長さ 2.2m で上部直径 10 cmでの採材丸太材積を計算すると、採材利用率は単木単位で平均 76%、プロット全体で 88%であった。

3) 衛星データの時系列モデリングにて広葉樹資源量を推定した結果、一部で解析可能なデータが不足したが、重複範囲をタイル状にデータを整備することで、雲なし合成画像の作成が適切に行えるようになった。用途が多様なナラ類の 2019 年度実績は、製材用材 9,000 円～ 40,000 円 / m³、シイタケ原木 28,300 円 / m³、薪用 11,000 円 / m³、チップ用 10,800 円 / m³であった。また、材価格は材積や胸高直径に対する指数関数で説明できることがわかった。

37. イア aPS14 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）を光学法により捉え、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：光学スキャナーおよび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、差分画像からキャビテーションの検出を試みる。

成果：当年度は、ブナ科樹木を中心とする有用広葉樹 15 種について種子を採取し、実験に供試できるサイズまで育苗した。発芽後の 1 成長期で、どの樹種でもキャビテーションを観察できる個体サイズに成長した。また、キャビテーションをインターバル撮影するための専用のリーフクランプを自作した。次年度は、これらの材料・システムを用いて葉脈でのキャビテーションの検出・解析を行う予定である。

38. イア b2 森林情報の計測評価技術と森林空間の持続的利用手法の高度化

目的：単木成長モデルに樹冠に関する因子を組み込み、間伐林分において樹冠長が各林木の胸高直径の定期成長量に与える影響を検討する。また、ドローン LiDAR による林冠・地盤の計測データと林分構造データを用いて林分構造計測技術の開発を行い、特に立木密度推定におけるスギとヒノキの差異について明らかにする。加えて、空中写真や LiDAR DEM 等を用いて、森林利用の歴史・文化資源を効率的に探索する手法を開発する。

方法：樹冠長が各林木の胸高直径の定期成長量に与える影響は、白見スギ人工林収穫試験地（和歌山県新宮市）の調査結果（10～62 年生、約 5 年毎、11 回）をもとに、定期直径成長量を従属変数に、期首直径、期首樹高、樹高成長量、樹冠長、樹冠長率を説明変数として重回帰分析を行い、適切なモデルを検討した。立木密度推定におけるスギとヒノキの差異は、前年度に収集したドローン LiDAR データから、立木本数（密度）を推定するための処理方法を検討した。歴史・文化資源の探索は、沖縄県国頭村内のモデル領域に対し、Weiss (2001) にもとづく“Land Facet Corridor Designer” (Jenness et.al, 2013) を用い、1m メッシュの LiDAR DEM による TPI (Topological Position Index) と斜面傾斜の組み合わせで、明治期の歴史資源となる山地開墾跡の立地を分析した。

成果：定期直径成長量を従属変数として変数選択を行い、変数の影響力の強さを標準偏回帰係数 (SPRC) によって比較したところ、多くの調査期間において期首直径の SPRC が概ね 0.5～0.6 であったのに対し、樹冠長では 0.2～0.34 程度であった。つまり樹冠長は単木成長モデルのパラメータとして組み込む効果は小さいとの結論に達した。ドローン LiDAR データを用いた立木密度推定では、可変半径の局所最大値フィルタリングのみの処理では、スギ林に比べてヒノキ林分で梢端が過剰に抽出された。watershed 法による領域分割結果を参照することで過剰抽出梢端を除外することができた。一部、現地調査データの収集が滞っており、現在もデータ収集中である。山地開墾の立地は、TPI を LiDAR DEM の各セル値とそのセルから半径 15m のセル値の平均との差とし、 $-0.5\sigma < \text{TPI} \leq 0.5\sigma$ かつ傾斜 25° 以下で区分した領域が、モデル領域の実際の開墾跡に近い形状となった。

39. イア bPS6 積極的長期伐期林業を目指した大径材生産技術の開発

目的：日本では、主伐期を迎えた 10 齢級（約 50 年生）以上の人工林の面積が 50% 以上を占め、長伐期化が進んでいる。

これらの林分には、間伐が不十分なまま高齢級に移行する人工林や、森林吸収源対策によって一度きりの間伐が実施された林分、再造林費用の問題から皆伐を回避するために高齢級で強度な間伐が行われた林分など、さまざまな

高齢級人工林が混在している。一方、積極的に伐期を延長し高齢林に導き林分材積を増加させることで伐採効率を高め、林業収益を高めることが可能な林分が少なからず存在する。そこで、高蓄積林分の分布状況と林分構造（径級分布）を把握し、長伐期化により高蓄積が見込める壮齢林成立（10 齢級程度）の立地条件の解明を行う。

方法：モデル地域（岐阜県郡上市周辺、及び、高知県香美市周辺）を対象とした。それぞれの地域において、航空機 LiDAR より計測した樹冠高を応答変数、森林 GIS データから抽出した林齢情報、環境要因（気候条件、地形等）を説明変数に統計モデルを用いて樹高成長の規定要因を定量評価する。

成果：岐阜県郡上市周辺を対象に、航空機 LiDAR より得られた樹高データ（25m の平均値として集約）を応答変数、気候要因（暖かさの指数、最寒月最低気温、夏期降水量、冬期降水量）、地形条件（SRIA、凹凸度など）、林齢を説明変数に統計モデル（randomForest）を用いて、定量評価した。その結果、モデルによる樹高の予測値（m）と実測値（LiDAR による計測値）とはよく対応した。さらに規定要因として、林齢、暖かさの指数、土壌の水分状態を表す TWI（Topographic wetness index）が重要な要因として作用している事を明らかにした。同様に、高知県香美市では、モデルによる予測値（m）と実測値（LiDAR による計測値）とはよく対応した。また、規定要因として、林齢、斜面方位、TWI が重要な要因として作用しており、岐阜県郡上市とは規定要因が異なる可能性を明らかにした。

40. イア bTF5 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：地上レーザスキャナ（TLS）とドローンによる空撮データを組み合わせた林分構造の調査法を、林冠閉鎖した林分を対象に検討する。

方法：森林総合研究所北海道支所の羊ヶ丘実験林に設定された植栽密度試験地のトドマツとアカエゾマツの2林分を対象に、TLS の点群をドローンの空撮画像から生成した点群データに対して半自動的にレジストレーション（位置合わせ）可能かどうか分析を行う。

成果：点群データに対して ICP（反復最近接点）アルゴリズムによるレジストレーションを試行した。羊ヶ丘実験林の2林分では、ドローン点群、ドローン点群に地盤面の点群を追加したドローン合成点群のどちらのケースでも、それをリファレンスに TLS 点群を適切にレジストレーションすることはできなかった。点群同士の比較から、TLS では樹冠上部をほとんど測定できていないこと、ドローン空撮画像からは地盤面や幹部の点群を生成できていないことが分かった。これらに加え、周囲にギャップや開放地がなく点群全体に特徴がないこともレジストレーションが失敗した理由であると推測された。林冠閉鎖した林分では、上記の問題は一般的に起こりうることであり、半自動的にレジストレーションは難しいと思われる。TLS 点群とドローン点群と組み合わせて林分構造を把握するためには、レジストレーションをすることなく TLS の点群データを扱えるよう、TLS 測定時の GNSS（全球測位衛星システム）による正確な位置情報収集が必要であると考えられた。

41. イイ a1 持続可能な林業経営と木材安定供給体制構築のための対策の提示

目的：多様化しつつある木材をはじめとする森林資源に対する需要の実態および将来展望と、林業構造や木材産業の立地状況等の地域性を明らかにする。また、これらを踏まえた森林所有者や林業事業者の持続可能な経営の確立、および効率的な木材供給体制を構築するための社会的・政策的対応の方向性を提示する。

方法：国内森林資源の需要と供給に大きな影響を及ぼす中国の森林政策・林業経営・木材生産の歴史的な変遷を、実地調査や資料解析を通じて総合的に把握する。

成果：新型コロナウイルスへの対応のため、中国での実地調査が不可能となったが、現代中国の森林政策・林業経営の歴史を踏まえた紹介論考を公刊図書として分担執筆した。現代中国では、森林資源の不足が際立っており、陸地面積に占める森林面積の比率（約 22%）は、世界平均（約 30%）を下回り、人口一人当たりの森林面積は世界平均の4分の1以下である。このため、中国では長年、木材をはじめとした林産物の供給不足に悩まれ、近年では輸入拡大による域外の森林資源への依存を強めてきた。その結果、グローバル市場における原木・製材価格の高騰、或いは国産材の対中輸出の増加といった形で、日本における森林資源の需要と供給にも大きな影響が見られることになってきた。この現代における森林資源不足の主要な原因は、中国の長期にわたる農地拡大、戦乱、都市建設等に

伴う森林の消失に求められる（写真1）。こうした人為的な過剰利用に伴う森林や草原の減少・劣化は、内陸各地での土壌の流出に伴う土地荒廃と農村の貧困、河川流域での洪水の多発、黄砂の砂塵嵐や砂漠化の拡大、生物多様性の喪失といった問題を引き起こしてきた。この改善のため、現代中国を通じては、大々的に労力と資金を投じた森林造成・保護の取り組みが、政策的に主導されることになってきた。



写真1 中国における人為的開発に伴う森林消失の景観

42. イイ aPF9 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：イギリスの多面的な森林・緑地利用を担保する仕組みの解明にあたって、各利用者組織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、イギリスでの現地調査が不可能となった。このため、当年度は日本の森林管理をめぐる制度的・構造的な問題に注目し、関連論考の執筆にあたった。イギリスでは、ナショナル・トラスト（National Trust）等の林野の保全を主目的とした団体においても、地域社会の持続性や地域貢献を明確に意識した森林管理・経営が行われている。第一に、ナショナル・トラストは、その所有林野内において、多くの借地農民を抱えており、彼らの借地権に基づく農業や牧畜業を基本的に許容している。のみならず、これらの地域住民の暮らしと森林管理の融合を図っており、所有林野における薪の採種や混牧林経営を維持・推進する傾向にある。第二に、公的アクセス権（Rights of Way）に基づく公衆のレクリエーション利用を前提とした森林管理・経営を行っており、そのための林野・野外トレイル整備を、地域活性化の目的において組織・展開している。一方、近年の日本の農山村地域は、人口ボーナスの喪失と林業衰退が進む中で、所有者不明の森林が増加し、かつ所有の実態や権利移転が把握しきれないという、諸外国でも例をみない悪条件に直面してきた。すなわち、日本においては、新たな利用者や保全目的の団体が、地域社会に入って効果的に森林を所有・管理していく仕組みが整っていないことが示唆された。

43. イイ aPF11 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、今後の日本等で、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のため、当年度のアメリカでの現地調査が不可能となった。このため、当年度は日本の森林の有効活用による地域活性化を図る試みにフォーカスし、これまでの文献資料・予備調査によって把握し

た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。アメリカでは東北部などにおいて、森林の多面的利用の実現にあたって、私有地における保全地役権（Conservation Easement）の設定や、その保有・活用主体である民間非営利団体のランド・トラスト（Land Trust）が、林地の保全を前提としつつ、その場においてハンティング、ウォーキング、マウンテンバイク、トレイルランニング等のスポーツ・レジャー利用を促す上での大きな役割を果たしている。加えて、スポーツ・レジャー利用者の地域団体も数多く設立され、同様に保全地役権や登山道地役権（Trail Easement）を獲得して、私有地・公有地での各種利用を促している。同時に、多面的利用の担保の方法としても、用益物権としての地役権取得にとどまらず、土地購入、賃借権としてのリース・ホールド設定、或いは単に所有者との合意許可に基づくといった多様な形態が存在することが分かっている。これに対して、日本の森林や山道においては、「誰がどのように利用できるか」や、「誰が責任をもって安全に維持管理し、事故やトラブルの解決にあたるべきか」が曖昧となっている。このことが、日本における森林の多面的利用の発展を妨げる要因となっているのが明確となった。

44. イイ aPF15 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」「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の提案を行うこととする。

方法：観光施設のうちキャンプ場や他のレクリエーション施設を対象に、資料収集及び現地での実態調査を通じて、これらの森林利用の展開と現状を把握すると共に、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探る。

成果：日本では1960～90年代にかけて、アウトドア・レジャー活動としてのキャンプへの関心が高まり、各地の国有林・民有林内にも多くのキャンプ場が設立された。日本オートキャンプ協会『オートキャンプ白書2020』によれば、1990年代に設立されたオートキャンプ場は、全体の約半分（49%）に及び、1980年代以前も2割程度（19.4%）が設立されている。このため、今日、施設の老朽化に悩まされるキャンプ場が多く、また、夏場やGW・土休日以外の閑散期（オフ）において、施設の稼働率をいかに上げていくかも長年の課題である。また、1990年代までのキャンプ場は、主に林業構造改善事業や国有林野の開放等の動きを受けて、自治体（市町村）が横並びで「公設」したものが多い。その結果、管理する人員の不足、或いは情報発信・集客のノウハウ等が欠如したキャンプ場が、各地で乱立する状況も見られた。その結果、1990年代後半以降、経済不況と利用者の減少による施設過剰も加わり、多くのキャンプ場の経営が悪化した。これを受けて、2000年代以降は、民間（民営）の経営主体を中心に、キャンプ場の再生の動きが顕著となる。その一環として、ウェブを通じた情報集約・予約システムの構築や、ツリーハウスやログハウスなどの施設整備に加えて、宿泊・体験の「質」を重視する動きが見られてきた。近年では、そうしたキャンプ場再生の動きが、幾つかの方向性を伴って加速しつつある。例えば、グランピングやワーケーションの場としての施設整備に加えて、自然教育の機会としてのプログラムを充実させ、温泉・マウンテンバイクコース・冒険型パーク等のアクティビティを併設し、また、地域資源活用による地域活性化の基点として位置づける等の傾向が、事例調査を通じて確認できた。

45. ウア b3 木材及び木質部材の信頼性向上に向けた耐久性付与技術の開発

目的：一般消費者のニーズに対応した国産材の需要拡大等が求められている。このため、建築・土木分野における構造物の耐久性向上等の信頼性向上技術及びその性能評価手法を開発する。

方法：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、森林総合研究所（つくば）と連携し研究を行った。茨城県、富山県、奈良県に設定した試験地において、JIS K 1571で規定された防腐性能試験（野外試験）及び新たに開発中の試験方法（ダブルレイヤー試験、垂直暴露試験）に則って暴露された試験体の劣化状態を評価した。また、層間浸水を許したCLTの耐久性評価方法と保存処理の有効性の検討を新たに開始した（写真1）。

成果：JISに則った試験では、保存処理された杭でも徐々に腐朽や蟻害が進行しているのが確認できた。また、素材耐

久性について、これまでの成果を取りまとめ投稿した。一方、ダブルレイヤー試験では、カラマツで劣化が速やかに進行しているのが確認されたほか、試験体を載せている土台に相当する材に腐朽が発生し、そこから腐朽菌が試験体に侵入している例が複数確認できた。垂直暴露試験に関しては、他の試験方法と比較し劣化の進行が遅いのが確認できた。新たに開始した劣悪環境におかれた CLT を模した試験では、面材を構成する要素間に雨水が入り込むことにより木材が劣化しやすい環境が長い時間継続するおそれがあることなどが明らかになった。



写真1 CLT 耐久性評価試験の様子

46. ウア bPS5 土木分野における木材の利用技術の高度化

目的：土木分野における木材の需要拡大に向け、(1) アメニティー性が重視されるところで美観を維持した状態で土木資材を長く使用するための技術や、(2) 森林資源を活用した路網の作設方法の開発、(3) 木製ダムや木製ガードレールを対象とした新たな劣化診断手法の高度化等の研究を実施する。

方法：(1) 美観維持については、土木資材として使用される構造用合板の耐性向上に向け、保存処理と耐候処理の複合処理の効果等を検討した。(2) 路網作設については、合板の路盤補強材としての効果の確認等を実施した。(3) 劣化診断については、質量付加振動法を用いたガードレール横梁の劣化診断とレーザースキャナ等を用いた木製堰堤の劣化診断手法について検討した。

成果：(1) 美観維持に関しては、これまで研究されてこなかった合板を対象に美観維持性能の向上に取り組み、保存処理合板に耐候処理を施す複合処理が効果的であることを明らかにした。この成果は土木利用にとどまらず建築などへも応用できる成果となる。

(2) 森林資源を活用した路網の作設については、路網等の路盤補強に合板を使用する技術開発に取り組み、性能が明らかな合板を地中に埋設し軟弱路盤を補強する技術を開発した。この技術は、丸太を並べたり大量の碎石を敷設する既存の工法と比べ、作業工程が簡略化され材積の低減にも寄与する。また、使用する合板の保存処理の有無による耐久性や薬剤の溶出量についても確認し、特段の問題がないことを確認した。

(3) 木製ガードレールの点検については、質量付加振動法と呼ばれる新しい点検法を開発した。これによりガードレールの横梁を取り外すことなく劣化診断を行えるようになり、ガードレールの診断を実用に耐えるレベルまで簡略化することができた。一方、木製ダムの点検にドローンやレーザースキャナを取り入れ、その効果を検討した。ダムまで作業員がいて目視点検を行うこれまでの点検方法に対し、より安全な地点から点検を行えることや、目視では難しいダムの形状変化を短時間(30分程度)の測定で診断できることなどのメリットがあることを確認した。

(4) そのほか、海洋環境における WPC の利用可能性、竹粗朶を使用した横断排水溝の性能評価、土木資材として利用された木材のリサイクルについて検討し、それぞれ指針を得た。

47. キ 102 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（京都府北谷国有林）において、気象観測と渦相関法等による生態系の正味 CO_2 交換量・水蒸気フラックスの観測を実施した。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。

48. キ 105 森林水文モニタリング

目的：各森林理水試験地において水文観測と水文データ表作成を継続して行う。また、安定したデータ取得のため、観測方法の改良及び現地の環境整備に取り組む。

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する。

成果：2020年は日降水量60mmを超える日が1日しかなく、台風の影響も小さかったため8月以降の積算降水量は平年よりも31%少なかった。しかし、4月に寒気の影響で、また6・7月に梅雨前線によりまとまった雨量を記録するなどにより、1～7月の積算降水量は平年を30%上回り、年降水量は3年ぶりに1200mmを超える1,274.5mmとなった。この値は平年を8%上回り、過去84年間で多い方から32番目に当たる記録となる。平年を少し上回る降水量を反映し、北谷の年流出量は平年を23%上回った。一方、8月以降寡雨傾向で推移した影響で、南谷の年流出量は平年を5%下回り、年流出率は北谷で0.33、南谷で0.26となった。

49. キ 109 気候変動下における広葉樹林、温帯性針葉樹および森林被害跡地の生態情報の収集と公開

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：2021年2月の調査では、例年と比べて雄花着花量が多く、多雄花間伐区と、通常間伐区では前年よりも着花指数が高くなったものが多く、間伐率が高いほど着花量も多い傾向であった。一方、無間伐区では他の区に比べて着花量は多くなかった。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。

