

Ⅲ 令和元年度 関西支所の研究概要

令和元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：作業道盛土の崩壊発生雨量を明らかにする。

方法：作業道盛土が崩壊した時刻を特定し、アメダスから崩壊時の雨量を算定する。

成果：豪雨時には自然斜面の崩壊とともに作業道でも崩壊が生じる場合がある。近年、山地において作業道が多く開設されているが、これまで作業道盛土の崩壊雨量はほとんど検討されていない。本研究では、作業道盛土が崩壊した時刻から崩壊時の雨量を推定し、自然斜面の崩壊雨量と比較した。作業道は奥山で開設するため、崩壊時刻を特定しにくい。そのため、都道府県を通じて情報提供を呼び掛けた。その結果、13件の事例を収集できた。作業道盛土の崩壊時刻における連続雨量は、平均120mm、最小43mmであった。また、時間雨量は、平均30mm、最小14mmであった。一般に、自然斜面で発生する崩壊は、連続雨量200mm程度、時間雨量30～40mm程度と言われているが、作業道盛土の崩壊はこれよりも少ないことが明らかとなった。また、特に最小連続雨量43mm、最小時間雨量14mmという値は非常に小さく、作業道盛土は夕立程度の雨で崩壊することが明らかとなった。これは路肩にクラックが生じ、盛土が不安定化している所へ路面水が集中するためと考えられた。

2. アア aPF11 山地災害リスクを低減する技術の開発

目的：林業技術者が山地リスクの基礎を理解するためのテキストを作成する。

方法：国・都道府県・市町村・森林組合、事業体などを対象に技術研修会を行い、林業技術者が必要とする山地のリスク情報を明らかにする。また、その内容をテキストに反映し、完成させる。

成果：平成28年～令和2年度に亘り行った技術研修会により、①林業には保全対象の概念が欠落していること、②現場で使えるレベルで山地の崩れる場所の特徴が明らかでないことが判明した。そのため、土石流の流下距離と山地の崩壊危険度を2軸とするリスク4象限図を作成し、林地のリスクに関する考え方の基本を作った。また、災害リスク4象限図を面上に着色する技術を開発するとともに、各象限における伐採方法の基本的な考え方を示した。加えて、崩壊リスクの高い場所を目視により判定する手法を開発した。すなわち、崩壊は①急傾斜で、②風化が顕著に進み、③地下水が集まりやすい場所で発生することを明らかにするとともに、風化度と湿潤度の指標を明らかにした。また、図面や指標から、リスクの高さを判断する確認票を作成した。加えて、これらの内容を林業技術者が理解できるように、約900頁の解説書を作成した。これらの成果は、近畿中国森林管理局の災害に強い森づくり、県や森林整備センターの災害に強い道づくり、岐阜県地域森林管理士テキスト、郡上市地域森林計画、鳥取県ガイドライン、奈良県森林アカデミーテキストなどに反映された。

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：崩壊発生源となる移動体に発達した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：地形図と作業道路線図より滑動度の高い移動体に開設された作業道を探す。そして、根系の移動体内の位置と風化度、粒径、湿潤度、立木の曲がり、根系の発達形態、根元からの距離や直径を測定した。

成果：①移動体引張域（上部）：立木は尾根側に倒伏するが、根系はこれに調和的に谷側へ非常に長く伸長する。根の直径は幹の曲がりが見られない普通木よりも若干太く発達する。また、根系の空白域へ伸長する。②移動体圧縮域（下部）：立木は谷側に倒伏するが、根系はこれに調和的に尾根側へ移動体を巻き込むように伸び、直径は非常に太くなる。根の直径は幹の曲がりが見られない立木よりも著しく太く発達する。根系は根系の空白域に加え、周囲の立木の根圏にも侵入する。また、根が接触した場合は癒合する。これらの特徴は、幹の曲がりが見られない普通木では見られない特徴である。①移動体の引張域では根が移動体を包み込むよう長く発達すること、②移動体圧縮域で太い根が移動体を巻き込むように発達することは、圧縮域のすべり面が切れることを抑止し、崩壊発生を止めると考えられた。森林の崩壊防止機能の実態が初めて明らかとなった。

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が、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。本課題では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。また、竜ノ口山森林理水試験地等を対象として森林の状態と水源涵養機能の関係を明らかにする。

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溪流において、噴出した火山灰の溪流水の水質に対する影響の有無を確認するため、溪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南谷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、5月中旬、8月上旬、12月上旬の3回溪流水を採水し、溶存成分濃度を測定した。融雪期にあたる5月中旬は、採水前日の2日間にかなりの降水（アメダス御嶽山で101mm）があったため流量が多かった。濁沢川ではpHの低下が認められたが、噴火翌年の融雪期のような大量の火山灰の流入を示す硫酸イオン濃度の上昇は認められなかった。その他の溪流水は、融雪と降水により希釈され、溶存成分濃度は低かった。8月上旬は、7月27日に岐阜県を通過した台風6号に伴う降水の影響が残り、流量は多かった。降水による希釈のため、各地点の溶存成分濃度は低かった。12月上旬は降水量が少なく、流量は少なかった。このため、各地点の溶存成分濃度は高かった。また、竜ノ口山森林理水試験地の2018年1月末頃本数率30%の間伐が実施された34年生ヒノキ人工林で地上から撮影した上空写真を画像解析した結果、間伐前の林冠の開空度は夏低く冬高い正弦関数に近似する季節変動を示し、間伐直後約6%増加したのち、間伐した年の12月以降徐々に減少傾向となった。間伐直後は樹幹流量が発生する雨量に減少傾向、イベント雨量に対する樹幹流量に増加傾向がそれぞれ明瞭に認められた。一方イベント雨量に対する樹冠通過雨量の割合は間伐直後に増加し、その後徐々に減少傾向にあるものの樹幹流量に比べて変化の度合いは小さかった。林内雨の総量としては間伐前後の差はあまり大きくないが、林内雨構成には変化が認められた。

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：熱帯雨林では数年に1度、不定期に一斉に開花して結実する。その一斉開花のトリガーとなる気象条件として、低温や異常乾燥が指摘されている。また、極端な乾燥は、熱帯林の樹種構成や多様性に影響を及ぼすことが指摘されている。本研究では、熱帯雨林（Pasoh 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：低地フタバガキ林上に設置された微気象観測タワーを用いて、長期連続微気象・CO₂/H₂O フラックス観測及び土壌水分環境観測を行い、熱帯雨林の環境条件の解析を行う。

成果：マレーシア・パソ森林保護区において、長期微気象・CO₂/H₂O フラックスの連続観測を行うため、落雷による被害の復旧作業を行った。落雷による電源系統の故障状況をチェックし、故障していた観測タワー上のソーラーパネルおよび観測機器を交換した。落雷から観測機器を守るための避雷器が落雷により破損していたので交換した。故障していた地上高40mおよび20mの温湿度計を交換し、散乱日射計をタワー頂部に設置した。故障していた地上高20mの光合成有効放射量計を交換した。被雷し、電源が故障した際にバックアップ電源に接続し復旧できるように電源端子を整備した。また、土壌水分観測システムのデータ回収と保守を行った。深度2mの土壌水分を観測しているシステムに不具合があることが判明し、機器の一部を交換した。さらに、樹冠通過降水量測定システムのデータの回収と保守を行った。樹冠通過降水量測定システムの一部の樋が倒木などによって破損したため、観測を中止した。連続観測データは、熱帯林のレジリエンス評価の検証データとなる。土壌水分の空間分布と林分構造を比較した結果、土壌水分と樹木の死亡率または樹木の数との関係に有意差は認められなかったが、土壌水分と樹冠領域、バイオマスとの間に有意な負の関係が認められた。また、胸高の平均直径と深層の土壌水分量との正の関係は、大きな木による深層の湿潤性を好むことを示唆していると考えられた。

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。

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水質観測を継続し、水温・地温および豪雨時の渓流水質・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においては水文・気象観測の質的充実を進める。

成果：山城試験地においては、降水・渓流水を月2回程度の頻度で採水した。10月中旬から下旬にかけて、①渓流水の流量観測施設の周辺に地温測定用のデータロガー、②流量観測用三角堰内に水温測定用のデータロガー、③豪雨時に渓流水を連続して採水するための自動採水装置（写真1）をそれぞれ設置し観測を開始した。自動採水装置は雨量計と連動させ、3mm 15min⁻¹以上の降雨強度で採水ルーチンが起動し連続採水するプログラムを設定したが、設定値を超える降水イベントはなく、豪雨時の渓流水は採水できなかった。森林生態系の蒸発散量や水利用効率に関しては、昨年度より開始したオープンパス型の水蒸気・CO₂アナライザーによる水蒸気・CO₂フラックス観測に加えて、測定部を露出させずに安定的に測定できるエンクローズドパス型のアナライザーによる観測を開始した。オープンパス型では測定が困難な雨天時等でも測定できる利点を持つが、サンプリング時の信号の減衰などいくつかの補正要素があるため、比較検討しつつ連続観測体制を整えていく。また、竜ノ口山森林理水試験地においては、老朽化した高性能温湿度計を後継機種に更新し、廉価機種との比較観測を開始するとともに、量水堰堤での水位観測用に精度の良い圧力式水位計を導入し速報値精度の改善に取り組んだ。また全天日射量は地表面のエネルギー収支の主要項目だが、山地・森林では完全に遮蔽物の無い全天が得られることは困難であり、全天日射量として観測した値が地形や枝葉などの遮蔽物にどの程度障害されているのかを評価する方法を検討した。その結果、快晴日の全天日射量の日変化は単純な余弦関数モデルでほぼ近似でき、竜ノ口山の山麓露場では遮蔽により冬季に20%前後、それ以外の季節は5%以下の損失が生じていると推定された。



写真1 流量観測施設の近くに設置した自動採水装置（ISCO 社 6712）

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Csが渓流にもたらされ、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。

方法：福島県川内村において水生生物等を採集し放射性セシウム濃度を測定する。

成果：福島県川内村において水生生物等を採集し放射性セシウム濃度を測定した。場所・分類群等によって、放射性セシウム濃度が年月と共に上昇することもあることが分かった。

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wana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、水生昆虫、藻類、リター、シルトを採集し、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：139 Bq/kg・288 Bq/kg・358 Bq/kg、リター：348 Bq/kg・824 Bq/kg・495 Bq/kg、藻類：155 Bq/kg・938Bq/kg・1367Bq/kgであった。フタスジモンカゲロウは、それぞれ290 Bq/kg・450Bq/kg・1550Bq/kg、マダラカゲロウは、270 Bq/kg・54Bq/kg・84Bq/kgであった。一年前の結果と比較すると、放射性セシウム濃度は、砂では増加し、藻類やリターでは減少した。

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。塩類細胞がセシウム排出に関わっているのではないかと考えられるため、塩類細胞数の地域による違いを調べる。またこれまでの水生昆虫の放射性セシウム濃度推移より生態学的半減期を算定する。

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塩類細胞数を比較する。また、これまでのセシウム濃度の推移より生態学的半減期を算出する。

成果：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塩類細胞数を比較した結果、細胞数に違いがでなかった。生態学的半減期は、分類群や空間線量率によって異なり、砂の中にもぐる水生昆虫の場合は長くなる傾向にあるが、おおむね1年から5年であった。

10. アイ a1 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水文試験地において、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：山城水文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、空圧式の自動開閉チャンバーを制御し、コナラの呼吸・光合成量の自動連続観測を行えるよう態勢を整え、同時にネットワーク化を行うことで、常時モニタリング体制を構築した。大阪府を対象にデジタルアーカイブを中心に歴史資料を収集した。正保国絵図の写しである「摂津河内国絵図」の描写と正保郷帳「河内国一國村高控帖」の記述は良く一致し、草山系の山がほとんどであった。名所図会の挿絵に描かれた江戸時代後期の大阪府内の山は、草山が多く、樹種としてはマツが多かった。そうした景観は、場所によっては1970年頃まで続いていたことが空中写真から確認された。

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。本課題では、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：2019年6月13日に岡山県倉敷市福江において現地講習会を実施し、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、和歌山県伊都郡高野町字高野山において11月13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 aPF15 ^{13}C ラベリングとイオン顕微鏡を組み合わせた森林樹木への炭素固定プロセスの解明

目的：大気—森林間の二酸化炭素の流れを記載するために、炭素安定同位体をトレーサーとして用いたラベリング手法を日本を代表する樹種に適応し、レーザー式同位体分析装置およびイオン顕微鏡（NanoSIMS）をもちいて、呼吸として比較的短時間で大気にもどされる炭素と樹木を形成する要素として長期にわたり樹体内に固定される炭素とを分離して評価し、気候変動予測のための生態系炭素循環モデルに供する。

方法： $^{13}\text{CO}_2$ を植物体に光合成により取り込ませ（ $^{13}\text{CO}_2$ パルスラベリング実験）、幹から放出される $^{13}\text{CO}_2$ の連続測定を行い、その輸送速度や貯留量を推定する。

成果：樹木の炭素利用について明らかにするために、苗畑実験林のコナラおよびモウソウチクに対して、 ^{13}C パルスラベリングを行い、幹から放出される $^{13}\text{CO}_2$ の連続観測を行い、その季節特性を把握した。萌芽更新時のコナラに対する実験では、秋季（11月）にラベリングした炭素が翌年の1月ごろまでは幹において呼吸として消費され放出されていること、その後、気温の上昇する4月ごろから再び消費され始め、6月以降は放出されなくなることを明らかにした。モウソウチクに対する実験では、篩液による炭素輸送はアカマツよりも4倍程度速いが、稈にもある程度蓄積され続けることを明らかにした。

13. アイ aPF24 人工林に係る気候変動の影響評価

目的：気候変動が人工林の成長へ及ぼす影響の全国評価を行うことを課題全体の目的とする。関西支所では長期成長モニタリングサイトのデータの蓄積と令和元年度までの課題全体のとりまとめを行う。

方法：高取山スギ人工林収穫試験地（奈良県吉野郡、99年生）第1分地および第2分地において胸高直径、樹高の毎木調査を行った。胸高直径は直径巻尺で0.1cm単位、樹高はVertex IIIおよびIVを使用し0.1m単位で測定した。

成果：立木本数密度は第1分地では480本/ha、第2分地では505本/ha（以下同様）、平均胸高直径は42.7cm、42.2cm、平均樹高は30.6m、30.5m、幹材積合計は986.2m³/ha、1,017m³/ha、総成長量は1,276m³/ha、1,302m³/haであった。また、前回調査時（89年生）からの連年成長量は11.1m³/年、9.8m³/年、連年成長率は1.2%/年、1.0%/年であった。この調査結果は、長期間継続している収穫試験データの一部として追加した。課題全体では、人工林の成長へ及ぼす影響を評価するためのシミュレーションモデルを構築した。さらに、土壌水分などの環境データも整理し、暫定値ながら現在の全国のスギ林の純生産量を試算した。

14. アイ aPF27 パレオフォレストリーに基づく日本海地域のスギの成立および変遷要因の解明

目的：花粉分析、DNA分析、分布適域モデル、磁化分析、歴史史料解析、GIS手法といった多分野からなる分野横断型研究（パレオフォレストリー）により、日本海北部地域のスギ林の成立・変遷過程およびそれが生じた環境要因

を明らかにすることを目的とする。とくに、気候変動がスギの拡大に及ぼした影響と人間活動が近世以降のスギの縮小に及ぼした影響を総合的に明らかにすることを目的とする。

方法：過去のスギ林の変遷を明らかにするため、本年度は富山県の湿原5地点において堆積物試料を採取する。得られた堆積物試料から花粉分析により植生の変遷を明らかにするとともに、テフラもしくは放射性炭素年代により堆積年代を確定する。試料採取地周辺の歴史資料を収集し、近世の植生分布に関する情報を抽出する。

成果：富山県中新川郡立山町弥陀ヶ原の弘法、下ノ小平の2地点の堆積物試料には広域テフラと見られる細粒ガラス質火山灰が認められた。粒径、火山ガラスの形態、層位からこの火山灰は約7,300年前に生じた鹿児島県鬼界カルデラの噴火に伴って噴出した鬼界アカホヤテフラに同定される可能性が高い。加賀藩の黒部奥山廻りに関わる18世紀の文書に「村杙」が宿泊地の一つとして記載されていた。この「村杙」は複数の絵図に記載されることから地名として認識されていたことが分かる。村杙の植生の詳細は不明であるが、常願寺川上流部には加賀藩の御林が複数設定されており、スギ林であった可能性が高い。村杙と考えられる周辺には現在スギ林は認められないが、その付近でスギを伐出したことが注記された絵図があるため、江戸時代に伐採された可能性もある。

15. 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、土地利用変化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。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篩液流・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は、微気象条件等の環境条件を観測し、二酸化炭素吸収量や蒸散量の観測を行い炭素・水動態を把握するとともに、樹木の葉や幹・根などの各部成長量を定量化する必要がある。幹の肥大成長量に関しては、細胞数の増加と水分の多寡による膨張・収縮とで構成されるため、幹への炭素・水の貯留を考える際にはこれらを分離しなければならない。そこで、本年度は観測タワーを用いて、山城水文試験地（京都府木津川市）において微気象・フラックス観測を行うとともに、センサー等を用いて樹木フェノロジーの連続観測を行い、幹肥大量の日変動、季節変動特性を定量的に観測したほか、森林群落レベルでの炭素吸収特性の季節変動を抽出した。樹木の形態的季節変化を捉えるために透過光量子量を観測することによって森林全体の葉面積指数の季節変動特性を観測した。観測の結果、群落飽和光合成量は、葉量増加の開始とともに徐々に増加し、夏場の高温期に減少するものの9月ごろに回復し、その後、落葉期に向けて徐々に減少していた。また、自記式のデンドロメータによって、コナラの肥大成長観測を行い、幹部の周囲長や直径を連続測定し、幹内の水分量の変動に応じた幹周囲長の日内変動および成長量に応じた季節変動を捉えることができた。地下部の成長量に関しては、イメージスキャナーを用いた計測を試みたところ、1日に数mm程度伸長する様子や木化していく様子をとらえることができた。

16. 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蒸散量及び呼吸量測定を行い、呼吸量の時間変動特性を解析する。

成果：竹林における炭素放出量の年々変動及び変動要因の解明を行うために、苗畑実験林において、モウソウチクの稈にチャンバーを設置して呼吸量およびグラニエ法による蒸散量の連続観測を開始するとともに、土壌にもチャンバーを設置し、竹林土壌呼吸量の連続観測を行った。モウソウチクの稈呼吸量は樹木による呼吸量と同様の温度依存関係がみられるものの、稈齢による違いも著しく、季節変動、年変動を測定しなければならないことが分かった。

17. 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 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を検証する。

成果：高速な分析計を用いなくてもフラックスを計測できる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開発するために、高速応答のマスフローコントローラーの制御方法について検討した。カタログスペックからサンプリング量や平均化時間等の検討を行い、超音波風速計から出力される信号を基にサンプリング量を計算し、マスフローコントローラーを制御するシステムを構築した。また、装置の稼働検証のために濃度が既知の CO₂ ガスを用いたシステムを構築し、シミュレーションとの比較から誤差を定量的に検討することが可能となった。

18. アイ bPF3 緩和策と適応策に資する森林生態系機能とサービスの評価

目的：日本を含む東アジアにおける、生物種間相互作用や生態系サービスに関する温暖化影響予測評価を行う。予測をもとに、温暖化適応策や緩和策としての効果を、複数の気候、人口、土地利用シナリオの下で分析し、最適なオプションを明らかにする。

方法：日本の暖温帯域から冷温帯域の構成種であるスギ天然林を対象に、ニッチモデリングの手法を活用し、将来気候シナリオ下（GCM は MIROC5 と MRI-CGCM3, RCP は RCP2.6 と RCP8.5 を使用、予測年代は 2081-2100）における潜在生育域を推定する。

成果：スギ天然林の分布データとして、林（1960）に記載されているスギ分布図をデジタル化し、2 次メッシュ解像度の分布データを構築した。温暖化にともなうスギ天然林の分布変化を予測するため、現在の気候条件からスギ天然林分布を正確に予測する分布予測モデルを構築した。分布データは、前述の林（1960）のスギ天然林分布データをもとに、在地点と同数の不在地点を同数ランダムサンプリングし、在 / 不在の応答変数とした。さらに、植物種の分布を規定すると考えられる、最寒月最低気温（Bio6）、夏期平均気温（Bio10）、夏期降水量（Bio18）、冬期降水量（Bio19）の 4 つの気候要因を説明変数とした。解析に用いた統計モデルは、一般化加法モデルである。

構築した分布予測モデルの精度は良好だった。分布規定要因の重要度は、Bio19（50.2%）、Bio18（27.2%）、Bio10（14.9%）、Bio6（7.7%）で、冬期降水量の重要度が最も高かった。将来気候下における潜在生育域は、九州や四国の低標高域、瀬戸内沿岸域で縮小が見られたのに対し、北限域以北への潜在生育域の拡大が予測された。温暖化の進行にともない、西日本の個体群は脆弱性が高まると危惧される。一方、温暖化により潜在的にはスギ生育に適した地域が北海道に拡大すると予測された。

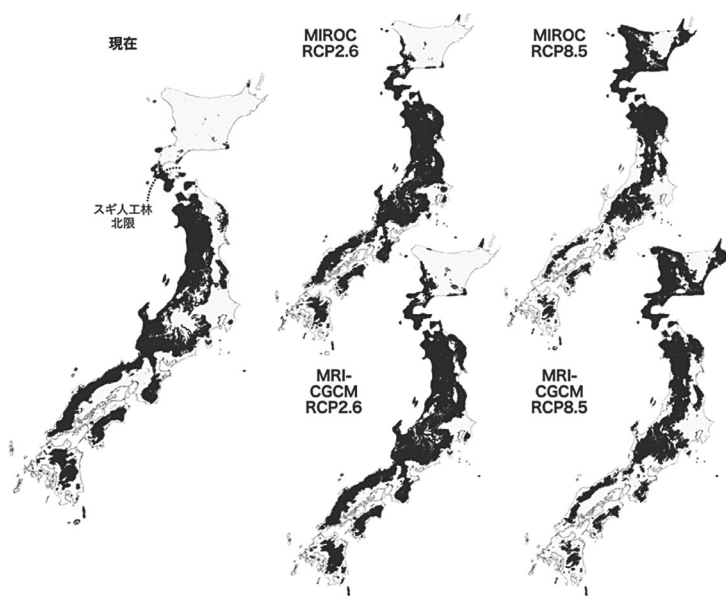


図1 スギ天然林の現在及び将来気候下における潜在生育域。黒色が潜在生育域を示す。

19. アイ bPF28 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地点で土壌炭素量、堆積有機物量を実施する。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。得られた情報を元にして10地点以上の現地下見を行い、実際の土地利用変化の状況を確認するとともに、土地所有者について周辺住民、公的機関などから情報収集を行った。

20. アウ a1 生態系サービスの定量的評価技術の開発

目的：攪乱が起こると水生生物群集に大きな変化が生じるが、それが森林タイプによって異なるのかどうか明らかにする。

方法：河床を攪拌して砂の排除を行うという人工的な攪乱を起こし、水生昆虫を含む底生動物群集が小規模なかく乱によって1週間でどのように推移するのか調べる。

成果：攪乱により個体数・分類群数ともに減少するが、その回復過程において、森林タイプにおいて違いがみられた。分類群数・個体数ともに老齢広葉樹林流域で早く回復の兆しが見えたのに対し、人工針葉樹林流域では少し遅くなった。分類群ごとに見ると、攪乱前の個体数にまで戻ったものもいれば、少ないままの分類群もあり、一方で攪乱前よりも個体数の増えた分類群も存在した。

21. 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：世界自然遺産推薦地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：固有種保全を目的とした分布モニタリング体制の確立のため、プレイバック（鳴き声の再生音）を用いた定点観察による繁殖分布のモニタリング手法を検討した。

成果：沖縄島および奄美大島とその周辺離島において、プレイバックを用いた定点観察法によりヤンバルクイナ、ノグチゲラ、ホントウアカヒゲ、アカヒゲ、ルリカケスなどの繁殖分布を調査した結果、森林の分布や外来捕食者の影響を反映した鳥類の分布とその変化を把握可能であると推測された。

22. 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：材料種の選定を行う。アリの腸内細菌の解析方法を検討する。

方法：材料種の選定を行う。文献検索を行い、アリの腸内細菌を解析するためのプロトコルを作成する。クロヤマアリのワーカーを用いて腸内細菌の DNA 増幅を試みる。

成果：材料種にクロヤマアリを選定した。アリの腸内細菌に関する文献検索を行い、アリからの腸内細菌叢の採取および PCR による増幅法のプロトコルを作成した。これに基づいて、クロヤマアリの消化管の各部位および体表面（クチクラ層）を対象に腸内細菌の DNA 増幅を試みたところ、いずれの部位からも目的とする長さの PCR 産物が得られた。クチクラ層からも細菌由来と思われる PCR 産物が得られた原因としては、体表面に存在する細菌が増幅された可能性の他に、解剖に際して腸内細菌が拡散・コンタミした可能性が考えられた。PCR 産物に含まれる配列を予備的に解析したところボルバキアに近似する配列が優先しており、腸内細菌叢解析への影響を検討する必要があると考えられた。

23. 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：溪畔林の状態と光量の時間変化・季節変化を把握する。光の状態と藻類量との関係を明らかにする。光量と藻類量、水生昆虫の個体数との関係を明らかにする。

方法：茨城県森林管理署管内堂平国有林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において、溪流上の光量・水温の変化を時間ごとに測定する。また、その場所の藻類量を測定する。その場所に生息する水生昆虫（フタオカゲロウなど藻類を主な餌とする水生昆虫）の個体数を調査する。

成果：6 月中下旬に採択になり、8 月上旬：査定、物品購入等計画書提出。審査結果がでて物品購入をし、野外設置をしたのが 10 月。しかし台風等で流亡し、11 月再度設置。12 月から本格的にデータ採取を開始した。当初、藻類を餌とする水生昆虫についてフタオカゲロウを中心に考えていたが、ヨコエビが卓越した水生昆虫群集を形成している溪流であることが分かったため、水生生物としてヨコエビを中心に研究を進めることにした。

24. 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原因不明の枝葉枯れ症状が認められたため、原因調査を行った。

方法：枝葉枯れ症状を示すヒサカキの枯死部分を観察し、枝葉表面を這う菌糸、枯死葉に形成された胞子の形態観察を行い、菌を純粋培養した。さらに培養菌株を用いて接種試験を行った。

成果：ヒサカキの原因不明の枝葉枯れ症状の部位には、枝葉表面を這う菌糸が認められ、これまでにヒサカキでは記録のない病害と考えられた。枝表面の菌糸、枯死葉の分生子および子嚢胞子から得られた菌糸は同じ菌であった。純粋培養菌株を健全なヒサカキ枝に接種した結果、枝表面を這う菌糸が確認され、菌糸に覆われた葉が枯死し、枯死葉から再分離された。このことから、この菌が枝葉枯れ症状の病原菌であることが確認できた。本菌は胞子形態から未記載種の可能性があるため、新種記載の準備を進めている。

25. アウ b2 森林・林業害虫管理技術の高度化

目的：ナラ枯れの原因となるカシノナガキクイムシの防除に関する研究を行う。その他の森林・林業害虫に関する調査

を行う。また、フラスを利用した森林害虫の診断技術の開発を目的として研究を行う。当年度は、ナガキクイムシ科を材料として、親成虫穿入時期～次世代成長時期の各段階で排出されるフラスのうち、どの段階のフラスであればDNA抽出が可能であるかを検討する。

方法：関西地域のコナラ林における、ナラ枯れ枯死予防薬としての樹幹注入剤の効果について、再検討を行う。また、カシノナガキクイムシおよびヨシブエナガキクイムシの穿入孔より採取したフラスからDNAを抽出し、PCRによって虫由来のDNAが増幅されるかを検討する。

成果：ナラ枯れの枯死被害防止方法としての殺菌剤樹幹注入法は、北日本のミズナラ林を中心とした施用事例があるが近年その効果について疑問視する声があり、枯死予防に関する再評価の必要があると思われることから、これまで報告の少ない関西地域のコナラを中心とした林分において樹幹注入法を施用し、その後の枯死状況について調査を行った。その結果、薬剤注入木と無注入木において、カシノナガキクイムシの穿入本数や穿入の早さなどに差はなかったが、枯死率は樹幹注入木において低くなる傾向が見られた

また、カシノナガキクイムシおよびヨシブエのナガキクイムシの成虫穿入時期～次世代成長時期のフラスからQiagen DNeasy Blood & Tissuekitを用いてDNAを抽出した。Kim et al. (2000) のプライマーセットを用いてrDNA-28SのD1/D2領域の増幅を試みたところ、虫由来のDNAで期待される長さよりも短い増幅産物が得られた。現在確認中であるが、おそらくフラスに含まれる菌類等のDNAが増幅されたものと思われる。ナガキクイムシのDNAが増幅されなかった原因は現段階では特定できないが、フラスに含まれる虫DNAが微量であるか劣化している、プライマーの特異性が低いなどが考えられる。フラスからのナガキクイムシ科のDNA増幅が可能であるかについては、次年度以降、さらなる検討が必要である。

26. アウ bPF47 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：先見的病虫害対策のために

目的：本課題は、マツ材線虫病のような森林病害の大発生（アウトブレイク）を引き起こす生物群の近縁種を保持している可能性のある森林昆虫類を対象にその随伴生物の調査を行い、昆虫類の生態的特性と、随伴生物の生理、生態的特性を明らかにし、病害リスクを評価することを目的とする。加えて、ここで得られるすべての昆虫随伴生物が病原体であるということはないため、今後の基礎的情報としてこれら随伴生物の多様性解明につながる情報の蓄積を行う。

方法：研究担当者の分担は、線虫類であるため、森林性節足動物、主に昆虫からの線虫分離を行う。主要な対象としては、キクイムシ類、カミキリムシ類、ゾウムシ類を初めとした甲虫類となる。採集した試料は、実験室内で、解剖し、線虫の分離、培養を行う。培養成功したものに関しては培養株を、寄生虫など培養不能なものに関しては分離線虫を直接用いて、これらの系統的、形態的特徴づけを行う。特徴づけを行ったものに関しては、必要に応じて新種記載を行い、今後実験系統として利用可能な形で維持培養を行う。

成果：初年度、二年目には、線虫の分離と、記載分類を中心に研究を進めた。この結果、マツノザイセンチュウ近縁種群（*Bursaphelenchus* 属）と、これに系統的に近縁と考えられる複数種を主にキクイムシ類から検出し、新種として記載した。これらに関しては、強い樹木病原性は疑われなかった。加えて、北米で問題となっているブナ葉ぶくれ線虫（仮称）は日本在来種であることを明らかにし、これを新種 *Lityulenchus crenatae* として記載した。

記載分類、系統保存は、代表的なものについては3年目までに概ね終了したため、最終年は残ったものの記載分類の継続を行うとともに、特に、線虫類の昆虫利用様式、木材内での生活様式に関する調査、線虫多様性に関する調査に重点を置いた。この結果、代表的なものとしては、

1) キノコ栽培を行うシロアリ（タイワンシロアリ、*Odontotermes formosanus*）と、その地下巣内部共棲節足動物に関連した線虫相の解明を行い、この結果、シロアリには、グルーミング行動など、巣内への線虫の侵入、定着を抑制する機構が存在するが、共棲節足動物の一部には独自の便乗線虫を保持するものがあり、これらに対しては、シロアリの侵入抑制機構の範囲外のものであることを明らかにした。また、ここで得られたシロアリ巣内共棲ゴミムシダマシ科甲虫、*Ziaelas formosanus* から分離された線虫が、特殊化した口腔形態を持つことが明らかになったため、これに関しては、新種、*Acrostichus ziaelasi* として、記載した（図1, 2参照）。

2) 糸状菌食性線虫である *Bursaphelenchus sinensis* の剤内での生活史を明らかにするための培養試験の結果、本種は、摂食に関する表現型二型を持ち、通常の糸状菌食性型成虫のほかに、捕食型成虫を持つこと、また、この捕食型成虫の出現には、培培养基質（培地の種類）、食餌菌（餌となる糸状菌種）、個体群密度の影響を強く受け、野外条件に最も近い培養系では、15%程度の雌成虫が捕食型となることが確認された。

3) 線虫の角皮構造と生活史の比較を行ったところ、線虫類でも運動能力の性的二型が存在し、雄では運動能力が雌に比べて高いということ、また、雌においては運動能力と産卵数（産卵能力）の間にトレードオフがみられることが明らかになった。

4) 高アルカリ性、高ヒ素濃度という、本来なら生物の生存がほぼ不可能となる特殊環境から分離された線虫の生理生態、系統的な特徴を検討したところ、この線虫種は、雄、雌、雌雄同体という3つの異なる性別を持つという特殊な生殖様式を示し、かつ、高度ヒ素耐性を備えていることが明らかになった。また、系統的には、糞虫便乗種の一部であることが確認され、この環境耐性が前適応の形質であると考えられた。

これらの成果は、いずれも、線虫を用いた生物防除への基礎的情報、また、線虫を対象にした防除の効率化のための基礎情報となるものと考ええる。これに加えて、日本国内からキクイムシ類便乗性 *Bursaphelenchus* 属線虫の2新種、1新亜種の記載、イタリアにおいて輸入材から分離された1新種の記載を行った。これらに関しては、今後継続的にリスク評価を行う必要がある。

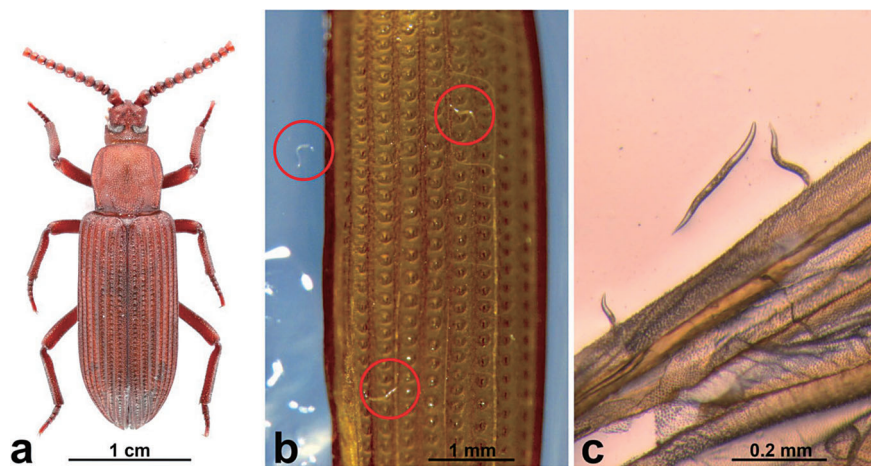


図1 シロアリ巢内生息性甲虫、*Ziaelas formosanus* (a) とその羽に付着した線虫 (b, c)

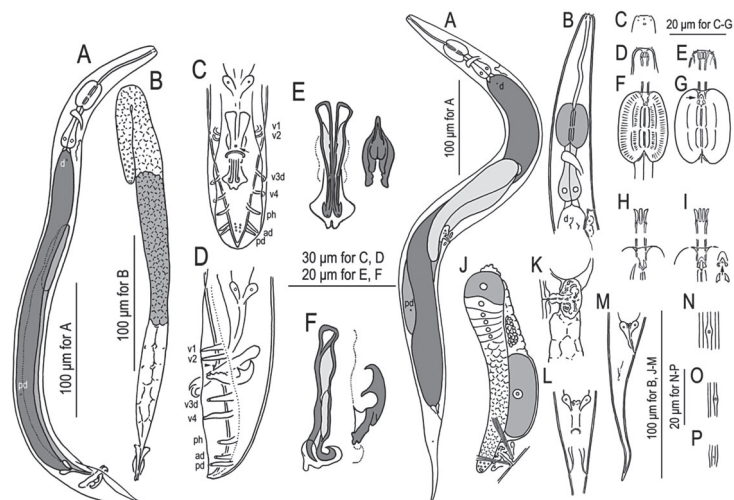


図2 *Ziaelas formosanus* から分離された線虫、*Acrostichus ziaelasi* の概略図 (左：雄；右：雌)

27. 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* 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* 属菌3種について、苗木を用いた接種試験により日本の森林樹木に対する病原性を確認することを目的とする。

方法：日本国内で広く認められた *P. castaneae*、*P. × cambivora* および *P. cinnamomi* の各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。鉢植えのコナラ等の日本産樹木23種の苗（各樹種1又は2本）の主幹部の樹皮を剥ぎ（間隔をあけて4か所）、接種源又は対照の無菌培地を入れることにより接種した。接種2か月後、接種部に形成された内樹皮壊死斑の軸方向長を測定した。

成果：接種部に形成された内樹皮壊死斑の軸方向長は、樹種と接種菌、および苗木の状態によってばらつきがあったが、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。ほとんどの接種部の病斑から接種菌が再分離されたことから、*Phytophthora* 属菌3種は供試した樹種に対する病原性があると考えられた。

28. 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。その結果、森林管理作業の合間に見回り作業をすることは可能であったが、ワナの設置および撤去、捕獲後の止め刺しおよび運搬処理については狩猟免許所持者である経験者が対応する必要があることから、持続的に捕獲を実施するためには対応できる人材および経費の確保が課題といった意見が出された。

29. 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：外来リス（クリハラリス）の生息密度の低下による鳥類の巣への捕食圧の変化を明らかにする。

方法：駆除によりリスの生息密度が約半分程度に低下したと推測される地域で、鳥類の巣を模した擬巣にウズラの卵を設置して自動撮影カメラにより捕食者を特定する手法により、駆除の前後で外来リスによる卵の捕食頻度の変化を調査した。

成果：リスが高密度で生息していた場合は3週間の擬巣実験で96%の巣ではリスにより卵が捕食され、4%のみが残存した。リスの生息密度が半減した後の実験ではリスに捕食されたものが68%となったが、捕食者不明とハシブトガラスによる捕食が各12%あった。リスの生息密度半減の前後で擬巣の生存曲線には有意な差は認められなかった。

30. アウ bPF58 スマート捕獲・スマートジビエ技術の確立

目的：捕獲したシカ個体を運搬するために林内を走行可能な回収用車両および運搬器材を試作する。

方法：シカ等の捕獲事業を実施している地域において捕獲回収作業の実態調査を行い、捕獲や回収のために車両に必要とされる機能を検討した。その結果に基づいて車両の諸元を設計し回収用車両および電動一輪車を試作した。

成果：捕獲事業実施者に対する聞き取り調査の結果、銃器によって捕獲したシカ個体は、運搬用の軽トラ等が入ることのできる林道まで（最大300m）ほとんどが人力で運搬すること、回収用車両の使用は作業の省力化に有効であるとの回答を得た。また、実際の捕獲実施地の地形や植生等を調査し、回収用車両に必要な機能について検討しその結果に基づいて回収用車両および電動一輪車を試作した。

31. 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：イノベーション創出強化研究推進事業における当課題の小課題「農薬を用いない防除法の開発」において、振動によるクビアカツヤカミキリ被害防除法を開発する。

方法：野外の樹木上における、クビアカツヤカミキリ成虫の振動に対する反応について調査する。

成果：これまでの室内試験において、超磁歪素子による材の振動がクビアカツヤカミキリの行動に対して影響を与えることが確認されており、これを野外のクビアカツヤカミキリに適応可能かを明らかにするために、ソメイヨシノ樹幹部をネットで覆いその中にクビアカツヤカミキリ成虫を投入した後に振動を与えて、その反応を観察した。その結果、クビアカツヤカミキリ成虫の6～7割が飛翔、歩行、屈伸運動、グルーミングを止める、触角を動かし探索行動するなどの驚愕反応を示したことから、振動によって成虫の行動制御ができる可能性が高まった。

32. 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分析した。

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。

33. 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、林業事業者が実施する場合の捕獲手法の適切な組み合わせ方法を検討し、適用条件を整理する。

方法：ICT等を利用した遠隔監視システムを利用した囲いワナを調査地に設置し、林業事業者が主体でシカ捕獲作業を実施する場合の課題を抽出する。

成果：調査地におけるシカ生息密度は、約10～40頭/km²と高かった。捕獲作業は給餌による誘引効果の高い冬季の2019年12月～2020年3月に実施した。捕獲期間中、囲いワナ周辺への給餌によるシカの誘引には成功したが、囲いワナ内への侵入に至らず捕獲できなかった。林業事業者が捕獲を実施する場合、ICT等の利用により作業の省力化は可能であったが、捕獲を成功させるためには囲いワナ以外の捕獲手法も検討する必要があると考えられた。

34. アウ bPF71 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、および(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、生物防除試験では、(1) 培地試験、木片試験において、小規模な実験系で、*S. caverna* がマツノザイセンチュウに対して摂食行動を起こすのか、また、その個体群抑制を行うのかどうかを調査した。ここでは、PDA

培地上、もしくは、アカマツの材ディスクでマツノザイセンチュウを増殖させ、ここに *S. caverna* を接種し、経時的に両種の個体数を計数するという方法を用いた。

また、(2) 新規株の収集では、野外の環境中（腐朽材、腐植、土壌）から線虫を分離し、ここから *Seinura* 属線虫の選別、単独培養を行った。選別は実体顕微鏡下で形態的特徴を観察する方法で行い、純培養に成功したものに関しては、形態、系統的解析により種同定を行った。

成果: *Seinura caverna* のマツノザイセンチュウ個体群に対する影響を検討したところ、培地、木片のいずれにおいても、きわめて高い抑制効果がみられた。今回の試験は、小規模な室内試験であったためより大きな木材、実際の被害剤を用いた実験が必要である。これらは、次年度以降に行う予定である。

新規株の分離では、森林総合研究所関西支所構内から、*S. caverna* の新規分離株2株、イタリアから中国に輸入された植木の根圏土壌から検出、記載された *S. italiensis* 1株、また、滋賀県高島市（マキノ高原）から、未記載の1種が分離、培養された。これらに関しては、今後、詳細な形態、系統解析と、分類学的記載を行い、研究材料として保存する予定である。

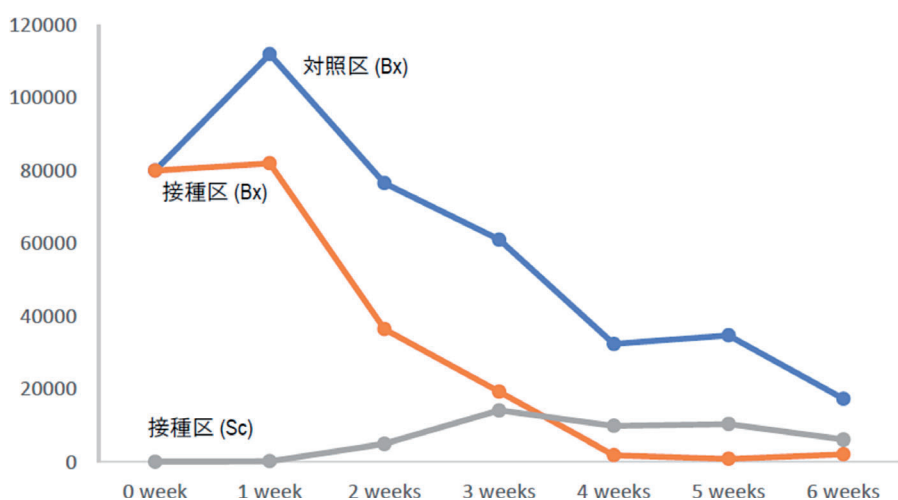


図1 培地試験の結果：マツノザイセンチュウ (Bx) が増殖した培地に、*S. caverna* (Sc) 100 頭を接種し、接種後6週目まで、1週間ごとに、培地内の全線虫数を計数した結果。*S. caverna* 接種区 (オレンジ) では、対照区 (青) の自然減少より速いペースで、マツノザイセンチュウ個体群の縮小がみられる。接種区における *S. caverna* の増殖 (灰色) は小さく、1個体あたりの捕食能力が高いことが想定される。

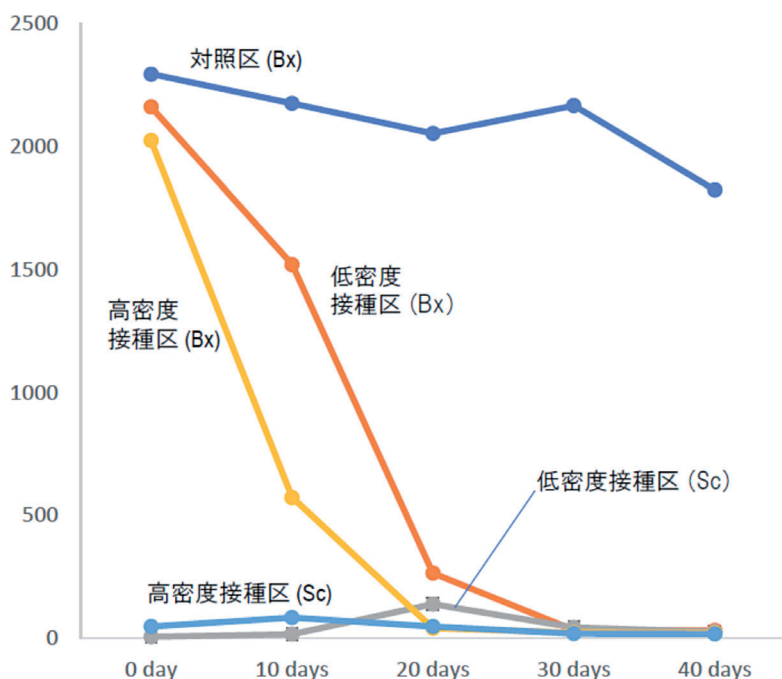


図2 材ディスク試験の結果：マツノザイセンチュウ (Bx) が増殖した材ディスク (直径約 8 cm, 厚さ約 1.5 cm) に、*S. caverna* (Sc) 100 頭 (低密度区)、もしくは 1000 頭 (高密度区) を接種し、接種後 40 日目まで、10 日ごとに切り出し、材乾重 1 g あたり線虫数を計数した。*S. caverna* 低密度、高密度接種区のいずれにおいても、マツノザイセンチュウ個体群が対照区と比べて明瞭に縮小する。いずれの接種区においても、培地試験同様 *S. caverna* の増殖は小さく、1個体あたりの捕食能力が高いことが想定される。

35. アウ bPS9 関東地方のナラ枯れに対応した防除技術の開発

目的：関東地方では、2010年に群馬県で被害が発生して以来、2017年には神奈川県、千葉県で被害が発生しその後枯損の終息はないという状況で、広大なナラ林を抱える関東地方での大発生に備えた緊急課題としての対応が必要である。そこでトラップにおいて色の組み合わせ等でできるコントラストが生み出す捕殺能力の向上をカシノナガキクイムシでも検証し、高性能なモニタリング技術を開発する。

方法：カシノナガキクイムシ用トラップは、黒色より透明の方が捕殺能力が高いが、黒色と透明の配色によるエッジ効果を検証した例はない。そこで、エッジ効果を組み込んだ数種のトラップを試作し、ナラ枯れの発生している関西地域において捕殺試験を行い、エッジ効果の検証と捕獲能力向上のための要因を抽出する。

成果：和歌山県かつらぎ町のナラ枯れ被害地で、A3サイズのラミネートパウチ紙に黒色色紙を挟み込むことで、全面黒色、透明と黒色丸、全面透明のシートを作成し、そこに粘着剤を吹き付けたものを、樹間の地上高約150cmの位置にPPロープで固定し、カシノナガキクイムシの捕獲数を検証した。その結果、黒、丸、透明の間に、カシノナガキクイムシの取れ具合に有意差がなく、丸トラップが他よりも優れているとはならなかったが、捕獲数が少ないことが影響した可能性もあった。

36. 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：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、苗の活着状況を調査した。

成果：恵那市明智国有林の試験地の土壌は、真砂土を主体としたもので元々乾燥しやすく、他の試験地に比べてコンテナ苗の活着率が低かったが、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。

37. 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することを目的とした。

方法：典型的な近畿圏の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：ナラ枯れが進行している地点では、常緑性のソヨゴが優占する傾向があり、将来的に亜高木層で林冠を形成する可能性が考えられた。出現頻度、本数割合が高かったのはヒサカキで、続いてタカノツメとクロバイの出現本数割合が大きかった。タカノツメは、光要求性の高い樹種であることから、林冠の閉鎖により光環境が悪化するに伴い、衰退することが考えられた。ナラ枯れ後の群集構造の変化として、高木層には生き残ったコナラ、ヒノキ、亜高木層にはソヨゴ、クロバイ、低木層にはヒサカキなどの耐陰性植物が優占する森林に推移すると予想された。

38. イア aPF31 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：スギ実生コンテナ苗において、元肥の肥効期間および添加量が成長と葉の養分状態に及ぼす影響について評価するための育苗試験を開始した。スギは、優良品種の美濃1号を用い、ハイコントロール 650 (16-5-10) の異なる肥効期間タイプ (100 日, 180 日, 360 日) を異なる添加量 (3g/L, 6g/L, 12g/L) で施用した計 9 処理区および肥効期間タイプ 180 日を 0.5g/L の添加量で施用した対照区を設定し、地上部サイズ、培地 EC、葉の N 濃度の測定を開始した。

品質のよい種子の安定的生産のための採種園管理条件を明らかにするために、グルタチオン施用がスギ母樹の結実に与える影響についてグルタチオン散布試験を開始した。滋賀県甲賀市油日 (滋賀県林業普及センター油日採種園) の少花粉スギ (特定母樹) ミニチュア採種園において、グルタチオン (W2 酸化型) の 250 倍希釈液を 5、6、7 月に散布し、10 月に結実量、球果サイズ、種子重、種子充実率を調査した。

造林地における苗木と雑草木の競合状態について現場で活用可能な立地指標を開発するために、UAV による空撮画像を用いて、機械学習による造林地内の植生タイプ分類と苗の自動抽出により植栽木と雑草木の樹高、生残、競合状態の解析を開始した。

成果：スギコンテナ苗の育苗試験では、成長と施肥量、葉の N 濃度との関係から、最適な施肥条件を検討するための基礎データを得ることができた。スギ母樹に対するグルタチオン施用の効果については、球果あたりの種子数、種子重、球果径、充実率が増加する系統があったが、年変動も含めて経年観察の必要がある。雑草木と苗木の UAV を用いた判別技術では、深層学習によるモデル構築に必要なパラメータを選択した。今後は読み込み画像数を増やすことで精度向上を図る必要がある。

39. 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：林業上重要な径級別丸太本数の予測技術の改善のために、収穫試験地の直径分布の推移過程を解析する。また、持続的な森林利用の実現に関して、森林所有区分の形成史が裁判の争点になっている沖縄の市町村有林について、その形成過程を明らかにする。

方法：直径分布を表す方法としてワイブル分布を採用し、高取山収穫試験地のスギ及ヒノキ林分の長期観測データを用いてワイブル分布のパラメータを評価した。また、沖縄の市町村有林の形成過程については、新たな情報を得るために 1906 (M39) 年の不要存置国有林野処分に関する既存資料を読み直しと新規資料の発掘を行った。

成果：ワイブル分布のパラメータを用いることにより、スギ、ヒノキの直径分布型を定量的に評価することができた。分布の偏りを表すパラメータ c をみると、スギは分布が右に裾をひいた形となった ($c \approx 2$)。これは、大きい個体ほど成長に有利であること、スギの成長速度が速いことが原因と考えられた。一方、ヒノキは分布が正規分布に近い値 ($c \approx 3$) 程度で落ち着いていた。これは、相対的に大きな個体があり存在せず、成長速度が遅いことが原因と考えられた。沖縄の市町村有林の形成過程については、新たに発見した資料から、地盤の払下げ先は間切 (現在の市町村) であったことがわかった。

40. イア bPS6 積極的長伐期林業を目指した大径材利用技術の開発

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全体の 50% 以上を占め、長伐期化が進んでいる。これらの林分には、間伐が不十分の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（岐阜県郡上市周辺のスギ林を生育に適する条件について統計モデルを用いて定量化し、任意の林齢における潜在成長量を推定した。また、地域内における成長パターンを類型化した。

成果：昨年度までに開発したスギ林冠高推定モデル、すなわち LiDAR による林冠高（DCHM）を応答変数とし気候要因、地形要因および林齢を説明変数とする統計モデル（random Forest）、の補正を行った結果、昨年度よりも大幅に推定精度を向上することができた（図 1）。このモデルを用いて、市街地を除く郡上市全域（約 44 万 5 千グリッド）について、10 から 100 年生まで 10 年生ごとのスギ林冠高を予測した。40 年生時の樹高が 22m 以上か未満か、80 年生時の樹高が 28m 以上か未満かという二つの基準を設定し、各グリッドにおけるスギの樹高成長パターンを次の 4 タイプに区分した（図 2）。A：高成長（40 年生時 22m 以上かつ 80 年生時 28m 以上）；B：早熟（40 年生時 22m 以上かつ 80 年生時 28m 未満）；C：晩熟（40 年生時 22m 未満かつ 80 年生時 28m 以上）；D：普通（40 年生時 22m 未満かつ 80 年生時 28m 未満）。各タイプに分類されたグリッド数の割合（ほぼ面積割合と等しい）は、A タイプが 11.2%、B タイプが 15.1%、C タイプが 15.6%、D タイプが 58.1%であった。決定木分析（CART）により、タイプごとの成立条件の定量評価を行った（図 3）。まず、上部集水面積（UCA）が狭いか、温かさの指数（WI）が 77 未満の立地だと D タイプが成立すると判定された。B タイプは、温かさの指数が 77 以上、年日射係数が比較的小さくて（SRJA < 6209）湿潤（TWI < 5.8）であり、夏の雨が多い（PRS < 1412）立地に成立した。年日射係数が比較的大きい（明るめ、SRJA < 6209）立地の中で、夏の雨が比較的小さく（PRS < 1257）かつ WI>85 だと A タイプが成立し、WI>87 で夏の雨が比較的多い（PRS > 1325）立地に C タイプが成立すると判定された。まとめると、比較的寒い立地（WI<77）ではスギの成長が遅く（D タイプ）、比較的暗い立地では早熟（B タイプ）であるため、どちらも長伐期には向かないと考えられた。一方、比較的明るくて暖かい立地に成立する A や C タイプは長伐期に向くと考えられた。特に、初期成長はよくないものの 50 年生以降の成長がよい C タイプは、短伐期よりも積極的な長伐期によって高蓄積が期待できる。

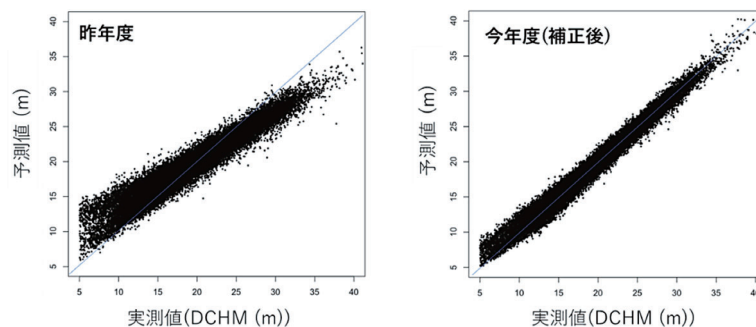


図 1 スギ林冠高推定モデルによる予測値と実測値（DCHM：LiDAR による林冠高）の関係。モデルの補正を行うことにより、昨年度（左）よりも今年度（右）は推定精度が大幅に向上した。

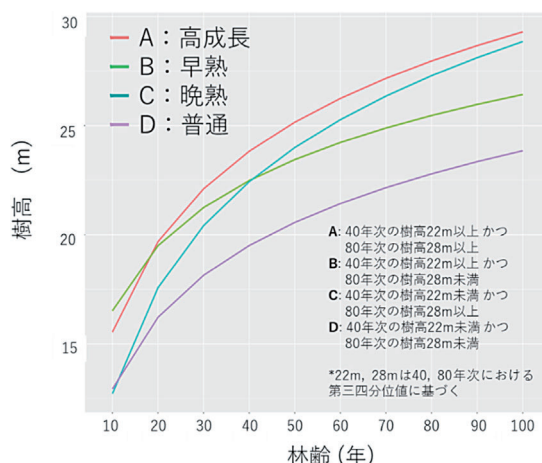


図2 4タイプに区分された樹高成長パターン。スギ林冠高推定モデルで予測された各グリッドの成長パターンを、40年生時の樹高が22m以上か未満か、80年生時の樹高が28m以上か未満かという二つの基準で区分した。

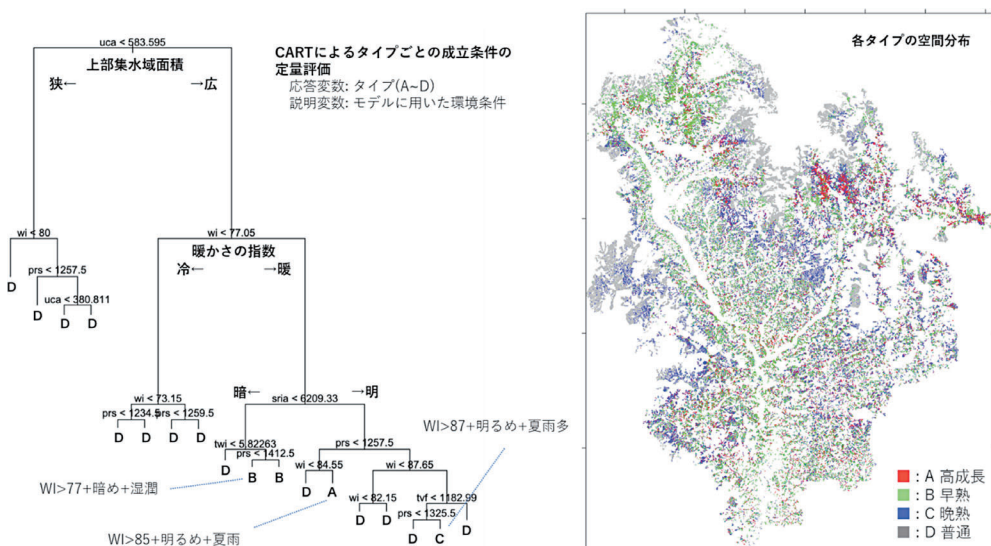


図3 決定木分析 (CART) によるタイプごとの成立条件 (左) と郡上市における各タイプの空間分布 (右)

41. イイ aPS3 資源と需要のマッチングによる北海道人工林資源の保続・有効利用方策の提案

目的：北海道の人工林資源・伐採活動の時空間構造を明らかにする。

方法：北海道の森林を対象に、森林変化マップに基づく森林変化面積の精度について、既存の統計資料との比較を行うことにより分析する。北海道東部を対象に、人工林資源量とその変化量を衛星データの解析によって地図化する。

成果：Hansen ら (2013) の方法で作成されたグローバル森林変化マップで Forest loss と推定された面積 (森林変化面積) を北海道全域で長期間 (2001 ~ 2018) にわたって集計し、林業統計や森林 GIS の皆伐面積と比較した。その結果、この間の森林変化面積が北海道林業統計の皆伐面積とよく一致することを明らかにした。一方、集計対象期間を短くしたり、振興局単位まで比較対象面積を絞ったり、樹種ごとに区分して比較すると、統計資料の皆伐面積との乖離が大きくなり、変化の傾向や樹種ごとの伐採傾向を把握することは難しいことが判明した。衛星データを用いて期間別に人工林資源量を推定し、増減量を地図化した。グローバル森林変化マップから計算した伐採強度との比較から、伐採強度が強いエリアほど資源量の減少が大きいという対応関係を広域スケールで明らかにできた。

42. エア bPF1 高級菌根性きのこ栽培技術の開発

目的：純粋培養系でのマツタケ子実体形成のための基礎資料として、マツタケ子実体形成過程の菌糸の特徴を明らかに

することを目的とする。

方法：アカマツ林のマツタケのシロから採取した子実体原基、若い子実体、およびシロの菌糸マットの菌糸と組織構造を解剖観察により比較した。固定試料はパラフィン包埋したのちマイクロトームで薄切し、ファストグリーン染色した切片を光学顕微鏡で観察した。

成果：シロから採取した子実体原基と若い子実体の根元を構成する菌糸は、それらの外側や菌糸マットの菌糸と比較して、太く屈曲が多い形態となっていた。若い子実体では傘やひだ、および表皮を構成する組織が明瞭に識別できたのに対し、子実体原基では最外層の組織だけ不明瞭に識別できた。菌糸マットは主に細い菌糸で構成され、明瞭な組織構造は確認できなかった。このことから、子実体原基と子実体は、菌糸マットの菌糸と形態的に識別できる菌糸で構成されていることが明らかになった。

43. 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：山城水文試験地に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 CO₂ 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や試験地の整備等を行った。

44. キ 109 気候変動下における広葉樹林、温帯性針葉樹林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区（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 GBH（胸高周囲長：girth of breast height）の測定を行った。

成果：2020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B判定が数個体確認されたが、その他の試験区では4段階の判定のうちほとんどの個体がC,D判定であった。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=108.9cm）、間伐率の増加に伴いサイズが大きかった。一方多雄花 50% 間伐区と比べて、通常 50% 間伐区のほうがサイズが大きく（GBH=93cm）、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。

