

### Ⅲ 令和 6 年度 関西支所の研究概要



## 令和6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、過去の土壌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壌基盤データを整備・公開するとともに、土壌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、将来の土壌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水文試験地において、老朽化したセンサーの更新、記録計等の整理および新たな温室効果ガスモニタリングシステムの構築を行い、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。森林の物質・エネルギー動態に大きな影響を与えるササ類の一斉開花・枯死に関する史資料を収集し、それらの年代を整理する。

成果：山城水文試験地内のフラックススタワーに設置された古いセンサーやネットワーク機器を更新し、セキュリティを高めるとともに、データ取得の高速化を行った。データベース化に向けて、富士吉田試験地および山城水文試験地の微気象・フラックスデータとサイト情報を収集し、JapanFlux databaseへの登録を行った。2022～2023年にかけてクマイザサが一斉開花した北海道において、新聞・自治体史を主体に史資料を収集した結果、20世紀初頭にササの実を採取し食料や飼料としたことを記述した資料が複数あることを確認した。2022～2023年にかけてクマイザサが一斉開花した地域と20世紀初頭にササの実を採取した地域は概ね一致していた。さらに、天明期（1781～1789年）にもササの実を採取したことを記述した資料が複数あることを確認した。

### 2. 1アaPF31 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して、民間の調査会社に対する調査手法などに関する講習会を開催するとともに、調査データをチェックする。

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：岐阜県高山市において5月28～29日に中部・近畿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。28日は大雨警報が発出されるほどの大雨が予想されたため調査地の下見と歩きやすいルートを確保するにとどめた。翌29日は好天に恵まれ、枯死木調査、堆積有機物および土壌調査について順調に指導することができた。データ精度の確保と確認のため、和歌山県伊都郡高野町の国有林において11月7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。

### 3. 1アaPF40 「真の渦集積法」が明らかにする森林群落スケールのVOC放出能とその環境応答特性

目的：本研究は、大気乱流理論に基づいた「真の渦集積法」を揮発性有機化合物（VOC: Volatile Organic Compound）を対象とするフラックス観測に適用する。これにより、これまで半経験的な手法（簡易渦集積法）に頼らざるを得なかったVOCについて大気乱流理論に基づいたフラックス観測を実現する。

方法：森林の樹冠上においてVOCフラックスを連続的に観測することによりVOCの放出実態（組成・量）を明らかにし、その上で、気象データと対比可能な高頻度のVOCフラックスデータを用いて森林のVOC放出能に影響する気象要因を特定する。

成果：超音波風速温度計とマスフローコントローラとを用いて開発した渦集積法による大気サンプリング装置にガスクロマトグラフィー分析計を接続し、山城水文試験地の森林樹冠上において連続的に VOC フラックスを測定した。VOC の一種であるイソプレンのフラックスを計算したところ、夜間にはほぼ放出がなく、昼間には正午ごろにピークを迎える放出量の日変化を測定することができた。8月の連続測定結果からは、晴天日にイソプレンフラックスが大きく、曇天日にはイソプレンフラックスが小さいことが分かった。

#### 4. 1 ア aPF41 気候変動がもたらす生態系攪乱が森林の炭素吸収量に与える影響の長期広域観測とリスクマップの構築

目的：本課題では北海道から九州まで計9地点10森林（うち森林総合研究所関西支所は山城水文試験地を担当）の森林観測サイトに加え、可搬型観測システムを用いて攪乱発生後の森林に新たに3点の移動サイトを設け、CO<sub>2</sub> フラックスおよび CO<sub>2</sub> フラックスを規定する環境因子の測定を実施する。また、森林観測サイトの観測データと現在森林総合研究所が開発に取り組んでいる各種攪乱発生予測モデルを用いて、各種気象害の発生リスク評価を行う。

方法：2000年前後から気象観測タワーを用いた森林の CO<sub>2</sub> 吸収量測定が開始され、現在まで継続的に行っている。樹冠上に設置された超音波風速計（SAT）と赤外線ガス分析計（IRGA）を組み合わせた渦相関法と貯留変化量測定によって森林の炭素吸収量の連続観測を行う。また、各種気象害の発生リスク評価のための微気象環境観測を行う。

成果：本年度はネットワーク機器の更新、太陽放射量観測機器の更新、劣化した電源・信号ケーブルの交換等、モニタリング体制を強化した。また、2000年から2024年までの長期微気象・フラックス観測データを整理し、データベース化を行った。主要構成樹種であるコナラの展葉開始は、2024年はここ数年の傾向と同様に早く4月中頃であった。また、2024年は夏季に高温が続いたものの、8月に断続的に雨が降ったため、それほど乾燥せず炭素吸収量は2023年よりもやや多かった。2000年からのフラックス長期データや毎木調査の結果を見ると、2015年ごろにナラ枯れ（コナラの3割程度が枯死）が発生し炭素吸収量が減少した。その後、生態系呼吸量（Re）が大きくなる年もみられたが、生態系総生産量（GPP）と生態系純生産量（NEP）は年々増加中である。また、近年の毎木調査データを見ると、群落内ではコナラの幼木は育ておらず代わりにソヨゴやアラカシなどの常緑樹が成長中であり、小規模攪乱により炭素収支構造が変化しつつあると考えられた。

#### 5. 1 ア aPF48 モウソウチク林の炭素吸収機能を最大化させる

目的：竹林の炭素吸収機能を最大化させる管理方針を提示し、京都・福岡・台湾のモウソウチク林において最適化された野外計測手法を基軸に、1）伐採後の回復過程に伴う炭素収支の変動を解明し、2）得られた竹林の特性を反映した竹林炭素動態モデルを開発する。それにより、3）竹林の炭素吸収機能を最大化させる管理方針を提示する。

方法：モウソウチク林において、竹稈からの二酸化炭素放出量を精緻に測定する野外計測手法を開発する。

成果：竹林の炭素吸収機能を定量的に把握するため、竹稈からの二酸化炭素放出量を連続測定するためのシステムを改良し、蓄電池により稼働できるシステムを構築した。このことにより、非商用電源供給地点においても測定することが可能となり、様々な竹林の炭素吸収機能の変化を定量的に測定することにより、科学的根拠に基づく管理方針を提示することに貢献する。竹稈からの二酸化炭素放出量を連続測定するには、チャンバーを竹稈に設置しその内部の空気を赤外線ガスアナライザーに送り込み分析することによって行っている。このシステムは商用電源を用いて稼働していたが、ポンプ等を消費電力の小さい物を用いて蓄電池でも1日以上稼働できるシステムを構築した。太陽光発電パネル等を用いればさらに長期間のデータを得ることができ、商用電源の届かないような人里から離れた地点においても竹林の二酸化炭素放出量を連続測定し、その日変化・季節変化等の解析をすることが可能となった。

#### 6. 1 ア aPF55 山地の表層炭素動態の包括的モデリングによる過去1万年の土壌炭素吸排出史の解明

目的：本研究の目的は、日本の山地における過去1万年の土壌炭素の吸収・排出の履歴を明らかにすることである。土層の発達と崩壊を組み込んだ土壌炭素動態モデルの開発において、モデルの出力結果の検証のために、実際に斜面崩壊の発生した広島西部山系において調査候補地を検討する。

方法：近年の豪雨で表層崩壊の発生した山地斜面を対象にして、崩壊の発生場所である0次谷を含む周辺を踏査する。

成果：広島市北部の安佐北区および安佐南区の花崗岩山地を視察して、斜面崩壊の実態や地形的な特徴をプロジェクトメンバーで確認した。そのなかで、今後の詳細な調査を実施するための調査プロットを検討して、調査許可の取得と調査の遂行ができる可能性がある森林斜面を絞り込むことができた。

#### 7. 1 ア aPF56 降雨および葉の濡れ・乾きが樹冠葉の物質交換特性に与える影響解析

目的：樹木葉がいかにして、その場の環境に適応し、生命活動を維持しつつ気孔開閉を行い、光合成・呼吸を行っているかを葉内水分動態の野外連続観測を基に明らかにする。葉のガス交換は数秒から数分のスケールで刻一刻と変動しているので、それらと葉内水分動態の変動、樹体内水分動態の変動を連続的に捉え、どのように森林群落レベルでのガス交換特性（植物（葉）－大気間のガス交換量の変動特性）に影響を与えているのか、を定量的に明らかにする。

方法：森林樹冠上で短スパンのクロズドパス分析計を用いて、降雨前後の  $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$  フラックス計測を行い、その動態を明らかにする。

成果：降雨前後を含めた森林群落レベルでのガス交換特性を測定するために、短スパンのクロズドパス分析計を用いて樹冠上  $\text{H}_2\text{O}/\text{CO}_2$  フラックス測定を行ったところ、降雨直後の群落炭素吸収量が多いことが明らかとなった。また、葉の水分動態と葉群の光合成量を測定するため、アクリル製のチャンバーを用いての測定法について検討した。これらにより、より正確な温室効果ガスのモニタリングに貢献する。樹冠上フラックス測定では、降雨強度が強い場合には風速の測定が上手くいかないが、その他の条件では、短スパンのクロズドパス分析計を用いて降雨後においてもフラックスが測定できることが明らかとなった。光－群落光合成量曲線の比較を行ったところ、降雨直後の群落炭素吸収量が多いことが明らかとなった。

#### 8. 1 ア aPF57 日本海地域における完新世のスギ拡大に及ぼした地すべり地の影響

目的：日本海側における天然スギ林の約3千年前に生じた分布拡大に対する地すべり地の影響を、地すべり地で採取した堆積物の年代、花粉、孔辺細胞、粒度等の各種分析と地形図の解析から明らかにする。

方法：地理院地図と地すべりデータベースをもとに調査可能な地すべり地の選定を進め、試料採取地点を決める。堆積物調査を行い、採取した試料の堆積物の年代決定に関わるテフラ分析を進めるとともに、調査地周辺の地すべり及びスギの利用に関わる歴史資料を収集する。

成果：山形県真室川町の地すべり地形が数多く分布する鮭川流域で予備調査を行い、調査目的に適合する調査地点を探した。試験的な簡易ボーリングで分析可能な堆積物層を確認することができた。また、調査候補地点周辺では、明治10（1877）年に地すべりが生じたことが確認されたため、その実態に関わる歴史資料調査を進める。

#### 9. 1 ア aPF58 半島マレーシア熱帯雨林における生態系フラックスの長期トレンド解明

目的：東南アジア熱帯雨林（Pasoh 森林保護区：半島マレーシア低地フタバガキ林）において、渦相関法による生態系フラックスの長期トレンドを明らかにする。とりわけ、2003年から2028年までの26年間における全球規模での大気  $\text{CO}_2$  濃度上昇により、当該森林における炭素吸収に増加の傾向がみられたのかどうかを、渦相関法による生態系フラックスの長期モニタリングから明らかにする。これにより、陸域生態系による炭素吸収増加の説明要因のひとつとなっている熱帯雨林天然林における「 $\text{CO}_2$  施肥効果」を、世界で初めて環境操作を伴わない自然生態系におけるタワーフラックスの実測に基づいて定量しようとするものである。

方法：東南アジア熱帯雨林（Pasoh 森林保護区：半島マレーシア低地フタバガキ林）において、微気象観測タワーを用いて微気象要素および熱・水・二酸化炭素フラックスの連続測定を行い、解析を行う。

成果：マレーシア・パソ森林保護区に設置されている微気象観測タワーにおいて、停止していた微気象観測を修復し、長期連続観測体制を再整備した。また、葉面積指数の鉛直分布の測定を行った。これらの調査により、精緻な観測データを得てより正確な温室効果ガスのモニタリングに貢献する。現地調査では、雷被害や野生動物により観測機器および電源供給設備が破損し、温湿度、二酸化炭素・水蒸気フラックス、二酸化炭素濃度の観測が停止している



ことを確認した。破損した温湿度計や二酸化炭素・水蒸気濃度計、劣化した太陽光発電システムの電圧変換器およびバッテリーを交換し、停止していた微気象観測を再開させた。気候変動に伴う林分構造の変動を明らかにするために、光学的手法を用いて微気象観測タワーの階段上から仰角方向に区分した光透過率の鉛直分布を測定し、葉面積指数の鉛直分布を算出した結果、林内の葉面積指数は鉛直方向にほぼ一様に分布していることが明らかとなった。このことにより、半島マレーシア熱帯雨林における微気象環境データを蓄積することができたため、精緻な観測データを基にして純生態系二酸化炭素交換量・蒸発散等生態系フラックスを決定する諸要因を解明することが可能となった。

#### 10. 1 ア aPF59 地上観測およびデータ駆動型モデルを用いた森林土壌 GHG 交換量の評価に関する研究

目的：森林総合研究所のタワーサイトを中心に全国 10 か所程度において観測を行い、森林におけるメタン吸収量の時空間変動を明らかにする。国内の森林を対象に土壌の GHG（温室効果ガス；Greenhouse Gas）フラックスを捉え、国内の複雑な地形要因を考慮に入れた精緻なメタン吸収量の評価手法を開発するとともに、IPCC における森林土壌の  $\text{CH}_4$  吸収量の算定に利用できる簡易な手法を提案する。

方法：山城水文試験地（京都府木津川市）の地面に設置した 8 か所の土壌メタンガスフラックス観測用のチャンバーを用いて月 1 回の頻度でガスを採取するとともに、温度計および TDR センサーを用いて気温、地温、土壌水分量の測定を継続する。

成果：これまでの観測により、チャンバーを設置したほとんどの場所でメタンは土壌に吸収されていた。メタンの吸収、放出過程には気温や地温の変化といった季節変化は影響しておらず、土壌水分量が著しく高い時にメタンが放出される傾向が認められるため、土壌水分量が多様になるよう気象条件に考慮してメタンガスの採取日を決定し、調査を実施した。また、気温、地温、土壌水分量などの気象条件をタワーサイトにて連続観測を行い、データを整備した。

#### 11. 1 ア aPS1 ネットゼロエミッションの達成に必要な森林吸収源の評価

目的：2050 年に至る土地利用・管理シナリオを仮定し、シナリオごとの森林炭素吸収量や伐採木材製品（HWP；Harvested Wood Product）による炭素固定量を推計可能な森林吸収源評価システムを構築する。

方法：日本の森林の炭素蓄積量を推定するモデルを作成し、炭素蓄積量の変化を予測した。

成果：モデルによるシミュレーションの結果、温暖多雨な日本の森林は炭素蓄積維持の観点からみると現在の計画よりも多く伐採できる可能性があることが示唆された。しかし、伐採量の増加と生物多様性の維持や防災のための森林保全機能がトレードオフの関係になるため、それらの点も評価可能なシミュレーターに改良したうえで、日本の森林の炭素蓄積量を将来予測していく必要性が明らかになった。

#### 12. 1 ア b1 地域の環境条件に応じた多様な森林機能の活用

目的：自然・人為攪乱に対する森林生態系機能の脆弱性や森林減少・劣化からの回復力を評価し、森林保全や修復に寄与する技術を高度化する。

方法：大径木の違法伐採およびそれに伴う現地製材作業が森林環境に及ぼす影響を明らかにするため、カンボジア中部の砂質アクリソル土壌上の低地乾性常緑林における過去伐採地を対象に、林床特性および土壌の物理化学的特性を調査した。季節性熱帯常緑林における択伐の影響を評価するため、伐採時の林床攪乱が異なる択伐跡地において土壌劣化の特性を明らかにする。

成果：カンボジア・コンポントム州の平地常緑林では、択伐による林床攪乱の程度によって土壌劣化の進行が異なり、立木からのリター供給がその軽減に一定の効果を示した。ただし、土壌の物理化学的特性によって攪乱の影響は異なり、一部の特性では空間的不均一性が軽減された一方で、他の特性は有機物供給の有無にかかわらず劣化が均一に進んでいた。これらの結果は、伐採による一時的な有機物供給が土壌劣化を部分的に抑制するものの、その効果は限定的であり、立木や稚樹の保全が持続的な森林管理に不可欠であることを示している。

### 13. 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：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造林樹種の潜在成長量、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手法を開発する。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標とする。

方法：スギ成長量予測と山地災害リスクを考慮して適応策を評価することを目的として、共通シナリオ第二版を用いて、全国スケールあるいは地域スケールにおける適応策オプションの効果を考慮に入れた人工林への影響を予測し、成長量予測と山地災害リスク、さらには経済性等を考慮した適応策評価モデルを開発し、適応策効果について評価を行う。

成果：スギ樹高成長（炭素蓄積）、土砂災害リスクの予測、及び既存の維管束植物の多様性に関する分布情報をGIS上で統合し、複数シナリオ下における将来予測を行った。スギ人工林に着目した炭素蓄積を最優先するシナリオでは、気候シナリオのみの場合と比較して、炭素蓄積は増加するが、土砂災害リスクが最大30%程度上昇すると予測された。一方、生物多様性を優先した場合、炭素蓄積は11%程度減少するが、生物多様性を20%程度高め、土砂災害リスクを10%程度低減する可能性が予測された。全体としては、適応策の効果は最大でも30%であり、緩和策の重要性が改めて示された。地域の中で将来的にどのような土地利用を行っていくかは、科学的な合理性だけで決めることはできないが、今回開発した森林域の気候変動適応策効果評価モデルは、地域スケールにおける意思決定をサポートするツールになり得る。

### 14. 1 ア bPF12 森林技術国際展開支援事業

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の収集と分析を行う。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、ベトナム北部における林地の道路開設などの土地改変が斜面崩壊や土砂流出に与える影響を評価するための現地調査を実施する。

成果：2024年6月にイエンバイ省ムーカンチャイ郡において土砂流出および斜面崩壊の現地調査を実施し、崩壊形態と地形、土地利用との関係を把握した。北西部イエンバイ省ムーカンチャイ郡の水文気象観測所に水位計、濁度計、インターバルカメラを設置し土砂流出の実態を観測するとともに、土砂流出源に関する現地調査を流域内において実施した。雨季の降雨流出は3月末～10月中旬まで観測された。雨季初期の出水イベント時の土砂流出が多かった。乾季の間に斜面に貯留された土砂は雨季初期にその多くが流出し、雨季の途中で貯留土砂が枯渇したことによるものと考えられた。人工改変地からの土砂流出が顕著であった。2024年7月にベトナム森林科学アカデミーから3名の研究者を招聘し、セミナーを開催するとともに、京都大阪森林管理事務所の協力のもと嵐山国有林で現地検討会を行った。

### 15. 1 ア bPF18 特異的な遅延展葉フェノロジーを示す季節性熱帯樹種の適応戦略とその成立条件

目的：カンボジアの季節性熱帯落葉林におけるシクンシ科高木種 *Terminalia alata* の形態異型（無毛型・有毛型）では、

葉の形態の異なるタイプ間で葉の展葉時期も異なっており、無毛型の展葉時期が明らかに遅いことから、何らかの意味で展葉を遅くしている可能性が明らかになってきた。そこで無毛型の遅延展葉戦略をその適応的意義や成立条件とともに明らかにする。

方法：遅延展葉戦略を構成する複合適応形質の定量化を目的として、葉形質値および樹形特性値を調査して二型間の違いを検討する。

成果：葉形質値と樹形特性値を有毛型と無毛型で比較した。葉形成コストの指標である葉 C/N 比と気孔数あたりの葉面積重の分析結果から、無毛型の C/N 比の 29 は有毛型の 43 に対して低く、有毛型に対する無毛型の葉面積重は 78%、気孔密度は 145%、気孔数あたりの葉面積重は 54% 以下と推定された。この結果、無毛型は少ないコストで光合成器官を形成していることが示唆された。樹形特性比較では、中型個体（DBH 15～30 cm）の無毛型で形状比（H/D）の高い個体が有毛型分布域に隣接する平地付近で観察された。これらの結果から無毛型における葉生産コスト削減と高木化が光合成期間短縮を補償している可能性が示された。

#### 16. 1 イ a1 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、それに基づく森林経営上の適切な対処法を科学的評価から提示する。近畿圏中山間地の広葉樹林は、燃料革命後は資源とみなされずに放置され、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 30 cm のミニチュアほだ木を試作し利用可能性を評価した。

方法：2020 年の春に、広葉樹 10 種の枝（直径 6～13 cm）を、30 cm 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、ほだ木を水に 2 日間浸したのち、森林総合研究所関西支所の実験林内に置き、その後のシイタケの発生数、傘のサイズ、材の腐朽度合の指標として材比重の継続調査を行った。

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。発生数は例年と同様に降水の有無とリンクしていた。駒打ちから 4 年目となり発生数は年々減少傾向にあるが、4 年目は 3 年目と同等の発生数であった。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。

#### 17. 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、鳥類における渡り行動が段階的に変異する集団間で、生態・形態の違いと遺伝的分化の程度を明らかにすることにより、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：地域ごとの遺伝子試料の収集、形態記録、マイクロサテライトマーカーを用いた集団構造の解析結果を取りまとめるとともに、巣箱と自動記録装置を用いた繁殖経過の記録システムによりアカヒゲ種群の繁殖生態の地域間変異を継続調査した。

成果：アカヒゲ種群における遺伝的集団構造と集団間の遺伝子流動について 14 座位のマイクロサテライト遺伝子座を用いて分析した結果、徳之島以北のアカヒゲと沖縄島のホントウアカヒゲとの間で明確な遺伝的分化が認められ、さらにアカヒゲは男女群島、トカラ列島、奄美大島とその近隣の島々、徳之島の 4 つの地域グループに分けられた。アカヒゲ種群はこれまで単一の多型種と考えられてきたが、近年はミトコンドリア DNA と表現形質の差異を根拠として、独立した 2 種と分類する説が採用されることが多い。マイクロサテライト遺伝子座から推定される核 DNA に基づく集団構造も両種の遺伝的独立性を強く支持した。ともに琉球列島に固有な姉妹集団間で、形態学的、行動学的、生態学的、遺伝的な指標のほとんどで種レベルの分化が支持された例は、鳥類ではアカヒゲ種群が初めてである。また、集団の間で生態の分化を明らかにするため、巣箱と自動記録装置を用いて奄美大島におけるアカヒゲ種群の繁殖生態調査を継続したが、トカラ列島や沖縄島とは異なって巣箱の利用率が低く、近接する島嶼群の間でも巣箱の選好性に違いがあることが示唆された。



#### 18. 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：森林の生物多様性が有する生態系機能は社会基盤の安定に寄与しているが、その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<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup> ～ 数 10 km<sup>2</sup> 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、各調査地点の近隣に設置された 1 ha の連続的な林分調査地（環境省森林モニタリングサイト）との群集構造の比較を行い、小面積・多地点調査によって把握できる森林構造の特徴を明らかにした。

成果：小面積・多地点の離散調査は、広域に分布する種や希少種の検出に優れ、また環境異質性や地域固有の特性を反映した種多様性の評価に有効である。したがって、気候帯をまたぐ地域間の比較を行うにあたっては、調査地の配置や設計の違いによる影響を考慮する必要はあるものの、地域的な種プールをより反映するという点で、小面積・多地点調査が有効である可能性が高い。さらに、今後発展が期待されるリモートセンシング技術を用いた森林モニタリングにおいても、より多くの樹木種の情報を含む離散的な現地調査データは、リファレンスデータの役割を果たす可能性があると考えられる。一方、1 ha の連続調査は、樹木のサイズ分布の空間的な構造把握に優れ、森林動態やバイオマス蓄積量の評価に有効である。今後の森林生物多様性評価においては、スケールや対象とする森林構造、地域に応じて、離散調査と連続調査を相補的に活用する手法の有効性が示された。

#### 19. 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（細菌・真菌など）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おらず、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：本年度は、トビムシの腸内真菌相が植生によって異なるかを検証した。大阪公立大学付属植物園を調査地として、落葉広葉樹林、シイ林、カシ林、ヒノキ林、スギ林の 5 林相について、各林相 3 地点、合計 15 地点からリターを採取し、ツルグレン装置によりトビムシ類を抽出した。得られたトビムシ類の中からヒメトゲトビムシ *Tomocerus varius* を材料として選出し、昨年度までに開発した DNA 抽出法を用いて個体ごとにアンプリコンシーケンスによる腸内真菌相解析を行った。解析領域は ITS2 領域とした。

成果：ツルグレン装置により抽出したトビムシ類のうち、最も普遍的に採取され、かつ個体サイズも比較的大きいヒメトゲトビムシ *Tomocerus varius* を解析対象とした。アンプリコンシーケンスの結果、どの個体からも従来の培養法などによる検出種数を大きく上回る二桁以上の真菌類が検出された。検出された真菌類は、どの林相においても木材腐朽菌に大きく偏っており、この結果は先行研究と矛盾しないものであった。一方、腸内真菌の種相には林相間で有意な差異が認められ、環境応答性の存在が示唆されたが、それは針葉樹か落葉樹かといった一見してわかる違いによるものではなかった。さらなる理解のためには、植生以外の環境要因の評価や、土壌中の菌類叢との関係解明が必要と考えられた。

## 20. 1 イ aPF40 線虫の生活様式多様化と種分化に関する統合的研究

目的：昆虫を媒介者、宿主として利用し、多様な食性、生息環境を持つ3グループ（Rhabditidae 科、Diplogastridae 科、Aphelenchoididae 科）の線虫類を対象に、その種分化に伴う生活様式、特に食性の多様化を、系統分類を基本として、形態（構造）、生態、生理、ゲノムまで統合的に解析することにより、微生物食に由来する動植物寄生性、捕食性に至る多様化要因を遺伝子レベルで明らかにすることを目的とする。そして、ここで明らかになった情報を、有害種防除、有用種利用、遺伝資源活用のための基礎情報として、他の研究分野に提供することを目指す。

方法：Rhabditidae 科に関しては、食性、生息環境において情報が多く、多様性も高い *Caenorhabditis* 属を、Diplogastridae 科は、ほとんどが昆虫媒介性土壌生息性細菌食線虫であるが、モデル種である *Pristionchus pacificus* に加え、これまでの分離培養、系統維持の過程で、利用可能になっている特徴的な食性（昆虫寄生、糸状菌食性、捕食性）、生息環境（枯死木材内、糞、動物死体）を持つもの、Aphelenchoididae 科では、収斂した形態的特殊化の見られる植物寄生者、複数の食餌源を利用する種、昆虫寄生種を材料とし、これらのゲノム解析をもとにした、摂食、消化関連遺伝子の比較、摂食様式に関する生理的比較、構造学的比較を行うとともに、昆虫、節足動物を対象に、さらなる材料種の分離、培養を行う。

成果：ゲノム、生理学的、構造学的解析は、他機関の分担者が行うため、ここでは担当分の材料種の分離、培養、自然史的解析結果を主に報告する。京都府、滋賀県での採集に加え、北海道、沖縄県、長野県において、主に森林昆虫（節足動物）、果実などの試料が得られた。この結果、複数種の昆虫関連線虫の分離を行い、これらに関して、分類学的、自然史的解析を行い、主要な成果は次の5点である。

- 1) 前年にオオイタビ (*Ficus pumila*) 果実から *Schistonchus pumilae* として新種記載した線虫に関して、その媒介昆虫となるオオイタビコバチの試料が得られた。これを解剖したところ、同線虫種の昆虫便乗態が分離された。これに関して、詳細な形態観察を行った。この結果、*S. pumilae* は、交尾済みの未成熟雌個体としてコバチの体内に侵入して分散することが確認された。近縁の *S. caprigici* では数百頭の線虫が便乗（寄生）するとされているが、本種では数頭程度であった。これは近縁種間でも昆虫利用様式に高い多様性があることを示しており、さらなるゲノムレベルの解析が必要であると考えられる。
- 2) ノルウェーにおいて、線虫捕食性・昆虫外部寄生性線虫、*Ektaphelenchus winteri* を再分離し、その生物学的特性、分類（系統）学的位置づけを明らかにした。本種は、糸状菌食性のタマバエ幼虫に外部寄生することが知られていたが、生態観察の結果、この線虫の寄生により宿主のタマバエ幼虫が麻痺、死亡していることが確認された（写真1）。同線虫種は、線虫捕食性線虫を基本とする系統群に属しているが、この系統群において、昆虫殺生性が確認されたのは初の例である。また、近縁の線虫捕食種では、獲物の線虫に麻痺性の毒物質と消化液の混合物を注入して外部消化を行うことが知られている。このことから、*E. winteri* は同様の毒成分を生産し、これが、昆虫に対しても有効に機能すると考えられた。同線虫種の検出は、これまで英国とノルウェーに限られているが、国内にも近縁種が分布している可能性は高く、その分離、培養系の確立を行うことにより、線虫の食性進化研究や、新規の生物防除資材開発のための基礎的材料として利用できるものと考えられる。
- 3) 長野県の高地においてハナバチ類からの線虫分離を行ったところ、アカガネコハナバチから、細菌食性線虫を分離し、*Pristionchus seladoniae* として新種記載を行った。系統解析の結果、本種は、アジア産のものとは異なり、北米系統群に属していた。これは、依存種的な分布様式を持つ、もしくは移入種であるということを示しているが、そのいずれであるかは未確定である。また、この線虫は、分離試験、培養試験の結果、社会性ハナバチ類に便乗するという生態的特異性、低酸素状態への適応という生理的特異性を持つことが、明らかになった。同属は、モデル生物群として知られており、生理、生態的特性とそれに関与する遺伝子解析を行うことにより、線虫類の適応、多様化を遺伝子レベルで明らかにするための材料として利用可能であると考えられる。
- 4) 支所構内に発生したタヌキ成獣の死骸から、腐肉食性昆虫を採集し、ここから線虫の分離を試みた結果、オオハネカクシから、2種の細菌食種を得た。これらのうち1種は、分子系統解析、交配試験により、ヨーロッパにも広く分布する *Diplogastrellus gracilis* であることが同定され、本種の広域分布が確認された。腐肉食昆虫には、移動分散能力の高い種が多く知られ、これが線虫の分布域拡大に寄与しているものと考えられた。もう

一種は、未記載種であり、*Rhabditoides eutrophicola* として新種記載された。この線虫種は国内の複数個所で、リン、窒素濃度の高い基質から分離されていることから、そのような環境に適応している可能性がある。

- 5) トラップを用いて、ショウジョウバエ関連線虫の調査を行った際、ショウジョウバエからは十分な線虫試料は得られなかったものの、トラップに混獲されたアカマダラハナムグリ（写真2）から腸管寄生性の線虫が分離された（写真3）。系統、形態解析の結果、この線虫は、昆虫寄生性ギョウチュウ、*Hammerschmidtella* 属に属することが確認された。同属は、これまで、ゴキブリ類に特異的に寄生するものとして知られており、ゴキブリ類以外からの初検出となる。このことから、継続して調査を行うことにより、昆虫寄生性ギョウチュウ類のみならず寄生線虫の宿主転換に関する知見が得られるものと考えられる。



写真1  
タマバエ幼虫とそれらに外部寄生する *Ektaphelenchus winteri*



写真2  
アカマダラハナムグリ成虫標本

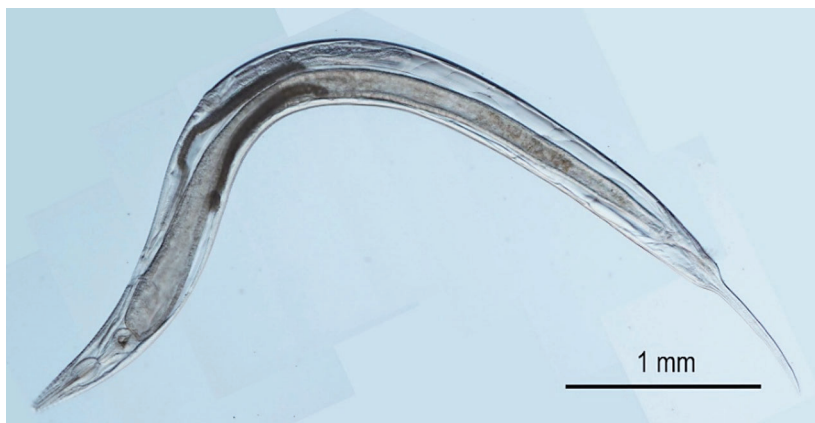


写真3  
アカマダラハナムグリの腸内から分離された *Hammerschmidtella* 属線虫

## 21. 1 イ aPF59 太平洋側中部海岸域における2型のカシノナガキクイムシの分布および加害生態の解明

目的：ナラ枯れの原因害虫であるカシノナガキクイムシ（通称：カシナガ）には、遺伝的に種レベルで異なる2つのグループ（通称：日本海型と太平洋型）が存在する。本研究では太平洋型と日本海型との「違い」に着目し、両型の分布が確認されている中部地方を主な調査地として、研究の進んでいない太平洋型の分布傾向および生態的特性を、すでにデータ蓄積のある日本海型と比較する。本年度は、伊勢湾地域の半島、島嶼を対象に、太平洋型の分布調査を行う。

方法：知多半島、渥美半島、および伊勢湾内の日間賀島、答志島のナラ・シイ・カシ林、特にウバメガシ林において、太平洋型の既知分布域の生息状況のモニタリングを行うとともに、踏査による新規分布域探索を行った。ナガキクイムシ科によるものと思われる被害が見つかった場合は、そこから排出されるフラスを採取した。



成果：知多半島美浜町のウバメガシ林では、前年に引き続き太平洋型カシナガによる加害・穿入を確認した。日間賀島および渥美半島先端部のウバメガシ林ではナガキクイムシによると思われる穿入孔は認められなかった。答志島では、ウバメガシにおいて、ナガキクイムシによるマスアタック被害を確認し、フラスを採取した。また島内の別のエリアでは、コナラの幹に、ナガキクイムシによると思われる過去の穿入痕が複数あるのを確認した。穿入孔の直径から、マスアタック被害はヨシブエナガキクイムシによるものと推察され、過去の穿入痕はカシノナガキクイムシによる可能性が考えられた。次年度以降、DNA解析によって種同定を試みる。

## 22. 1 イ c1 森林の生物多様性の保全と持続可能な利用に関する研究の高度化

目的：本課題では、森林生物多様性保全と持続的可能な利用のための基礎的知見の拡大を目的として、以下、①～③を具体的に解明・評価する研究を行う。

### ①森林の状態による溪流に生息・生育する生物群集の変化

- 1) ニホンジカの増加による森林植生の変化（ササの激減など）と溪流に生息する底生動物群集の変化
- 2) 森林タイプによる藻群集の変化

### ②外来の哺乳類（クリハラリス）による鳥類への影響

### ③リスク評価、遺伝資源利用のための基礎情報としての森林線虫類の多様性と各種の生活史

方法：① 1) かつて多様なササ類で林床が覆われていたがニホンジカの増加によってササがほぼ減衰した大台ヶ原における底生無脊椎動物について、2006年（シカ増加後）と1983年（シカ増加前）のデータを比較した。2) 老齢広葉樹林の流域と人工針葉樹林の流域内の溪流に生育する珪藻類を比較した。②リスが高密度で生息していた地域でリスを捕獲する前後の鳥類の巣への捕食圧の変化を、人工巣にウズラ卵を設置した擬巢実験のデータから検討した。③森林昆虫、節足動物、枯死木、森林土壌などの基質からの線虫分離を行い、形態的特徴およびDNAマーカーにより、種同定を行い、既知の近縁線虫種や、宿主昆虫の生活様式から、新規分離された線虫種の生活史を推測する。

成果：① 1) 大台ヶ原に生息する底生動物の個体数や属数などは、1983年は溪流によって大きく異なっていたが、2006年には溪流による違いはみられなくなった。また、全体的にカゲロウ目の個体数割合が大きく減少し、カワゲラ目の個体数割合が増加していた。ニホンジカの食害による溪流沿いの植生変化や水温や気温の上昇、湿度の低下などが影響を与えていると考えられた。2) 溪流に生育している珪藻の個体数密度や群集構造が老齢広葉樹林流域と針葉樹人工林流域で異なっていた。種数・属数・科数には違いがなかった。老齢広葉樹林流域ではクサビケイソウ属（*Gomphonema*）とフトスジツメワカレケイソウ属（*Planothidium*）が多く、人工針葉樹林流域ではフネケイソウ属（*Navicula*）が多く生育していた。森林タイプによる光や土壌アルカリ度などの環境条件の違いが、個体数密度や群集構造の違いに影響を与えていると考えられた。②クリハラリス捕獲前後で比較したところ、1日あたりの巣の生残確率は捕獲前の0.74から捕獲後は0.94に上昇したが、リス以外のハシブトガラスやネズミ類などによる捕食が増加した。③本年度は、主に昆虫と木材からの線虫分離を試み、複数の未記載種を分離した。これらのうち、3種を、*Pristionchus coreanus*、*Pristionchus hangukensis*、*Bursaphelenchus glaucae*として新種記載を行った。これら3種は、モデル生物近縁種、もしくは植物病原体近縁種であり、モデル生物として、もしくは、潜在的樹木病原体として、その生活様式の解析を進める予定である。また、追加の成果として、クロオオアリの結婚飛行に関連した科学的解析を行い、いくつかの物質が雄特有のものとして同定された。アリ類の交配に関しては不明な点が多いため、森林昆虫の生態、多様性解析のための基礎的情報として利用できると思われる。

## 23. 1 イ cPF16 森林の生物多様性の分布形成機構の解明に基づく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：現在の生物分布情報と過去の気候の推定値から、エコロジカルニッチモデリング（気候条件から個々の生物の生息適地を推定する手法）を用いて過去に遡るプロジェクションを行う。これによって推定される過去の生物分布の情報を属レベルに低解像度化し、属レベルの花粉化石データと照合することで、LGM（Last Glacial Maximum; 最終氷期極大期）以降の生物の分布シフトを解明する。この結果から、日本の生物多様性が現在平衡状態に達しているか、あるいは非平衡状態のままとどまっているか、について評価する。

成果：解析を行った日本の常緑広葉樹林の主要構成種である対象22種のうち12種は、気候変動に伴う分布変遷の影響から潜在的な分布北限に到達しておらず、現在の気候条件と水平分布において非平衡であることを明らかにした。水平分布において平衡に近い種ほど耐寒性が高く様々な地形条件に生育する特徴を持っており、花粉分析から特定されたレフュージア（避難地）以外にレリック（残存個体）がいたことが推測される。日本の急峻な山岳地形は、常緑広葉樹林の主要構成種の分布移動の障壁として負に作用する一方で、複雑な地形条件がもたらすマイクロサイトは氷期における常緑広葉樹のレフュージアとして正に作用したと考える。

#### 24. 1 イ cPF36 極限環境に棲む線虫で切り開く動物胎生化の適応的意義と進化プロセス研究

目的：極限環境に生息する線虫類を材料として、環境耐性（適応）の進化過程を明らかにするため、特に生殖様式を胎生化した線虫種を中心材料とし、1. 胎生化に伴う体構造及び卵構造の変化を透過型電子顕微鏡観察を中心とした微細構造解析により、理解する；2. 全ゲノム解析を行うことにより、胎生化に伴うゲノムレベルでの変化を理解する；3. ゲノム情報をもとに、生理学的、化学的解析により、母から子へ供給される栄養物質を同定する；4. ゲノム、化学解析の結果をもとに、蛍光色素などを用いて、栄養物質の局在及び授受を可視化する；5. 野外生態の解析、環境中の他生物相（線虫寄生菌など、微生物相を中心に）との関連を明らかにすることにより、胎生化を駆動する環境要因と適応的意義を実験的に解明する；6. 次世代生産数と環境適応能力を近縁の卵生種と比較することにより、胎生の進化的トレードオフを実験的に証明する；という6点の解明を行う。

方法：計画に基づいて、研究材料とする線虫種の新規培養株の分離（追加採集）・同定、培養株の確立および実験室内での飼育試験、生態的特性の解明を分担する。この目的のため、特殊環境、たとえば高浸透圧で酸性条件である樹液、強い酸性条件となる腐敗果実、浸透圧や乾燥状態および温度などが急変する環境である海浜、富栄養で一時的な基質である動物糞や死体などにおいて、そこに生息する昆虫、または基質を直接採集し、線虫分離を行う。分離した線虫は、生物学的特性を明らかにし、代表者、他の分担者に受け渡す。本年度は、海岸林等の高浸透圧、乾燥環境、樹液環境からの線虫分離を行うとともに、高浸透圧・アルカリ性・高ヒ素濃度環境に生息する *Tokorhabditis tufae* の発生様式の観察を行った。

成果：ゲノム、生理学的、構造学的解析は、他機関の代表者、分担者が行うため、ここでは担当分の材料種の分離、培養、自然史的解析結果を主に報告する。他課題同様、前年度に比べて遠隔地での試料採集が可能な状況になったため、京都府、滋賀県での採集に加え、福井県、和歌山県においての採集なども可能であった。この結果、複数種の昆虫関連線虫の分離を行い、これらに関して、分類学的、自然史的解析を行った。加えて、既に培養株となっている線虫種に関して培養性状などを調査した。主な成果は以下の4点である。

- 1) 海岸林、および海浜環境から甲虫類を採集し、これらの便乗線虫、寄生線虫を調査した。調査で得られた線虫種の全リスト作成は次年度以降の課題となるが、ここから得られた2種の細菌食性線虫、*Acrostichus* sp. 1, sp. 2 に関して、その系統解析と人工海水を用いた浸透圧耐性調査を行ったところ、これら2種は属内では異なる系統群に属していた。このことから、海浜甲虫との便乗関係は、同属内で少なくとも2回、独立に発生したと考えられた。また、浸透圧耐性の調査では、いずれもそれぞれの近縁種と比較して明らかに高い耐性を持つ

- ことが確認された。これらの結果、また複数の同属近縁種が比較対象として利用可能な状態にあることから、これら2種が線虫における環境適応についての研究材料として利用できるものと考えられた。
- 2) 国内の複数地点においてコナラ属樹木の樹液から線虫分離を行い、複数地点から糸状菌食線虫、*Bursaphelenchus tadamiensis*を分離、培養した。これらを用いて酸、アルコール、浸透圧などの環境耐性を測定したところ、同属近縁種（マツノザイセンチュウなど）と比較して、高いアルコール耐性が確認された。マツノザイセンチュウ、同属の*B. okinawaensis*などで詳細なゲノム解析が進められていることから、これらと比較することにより、遺伝子レベルで線虫の環境耐性を解析することが可能になると考えられる。
  - 3) カミキリ類に捕食寄生するヒメバチ類からの線虫分離を行ったところ、捕食寄生者として知られるシヘンチュウ（Mermithida 目）線虫が検出された。系統解析、形態観察の結果、この線虫は、*Hexamermis* 属の未記載種で、マルハナバチから分離されたものと非常に近縁であることが確認された。捕食寄生者であるシヘンチュウが同じく捕食寄生者であるヒメバチ類から検出された例はこれまでになく、シヘンチュウ類での高次寄生としては、初報告となる。
  - 4) 極限環境から分離された線虫、*Tokorhabditis tufae*の胚発生と卵殻を光学顕微鏡、透過型電子顕微鏡を用いて観察した結果、本種は物理的に薄く、物質の透過性が高い卵殻を持つことが確認された。本種と、その近縁種群は、いずれも胎生であると考えられていたが、この研究によって、実際に子宮内で卵殻を透過して栄養供給を行う胎生であることが確認された。この胎生と、環境適応の関係はまだまだ明らかにされていないため、今後の整理、生態的解析が必要である。

## 25. 1 イ cPS2 林業収益と公益的機能のトレードオフ関係の全国解析—環境配慮型集約化の提案—

目的：複数の森林の公益的機能を評価可能なモデルを全国スケールで開発し、公益的機能の最大化に向けた環境保全型林業の集約化を地域ごとに提案することを目的としている。そのために既存のモデルを拡張し、林業活動が森林の公益的機能に与える影響を考慮可能な森林構造予測シナリオを構築し、各予測シナリオを比較することにより、林業収益と公益的機能の経済価値のトレードオフ関係を評価する。このうち関西支所では、森林の変化を予測する既存のモデルを拡張し、間伐が森林の各種機能に及ぼす影響を検証する部分を担当している。

方法：すでに提案されている森林の発達を予測するモデル（“old growth index model”）を人工林に適用し、間伐の効果を考慮した上で将来的な森林構造を予測するモデルを構築する。データは森林生態系基礎調査第四期のデータセットを用いる。

成果：本年度は、日本全国のスギ人工林を対象に開発した針葉樹人工林内に存在する広葉樹の量（胸高断面積合計）に関するモデルをヒノキ、カラマツ、トドマツの人工林にも適用し、間伐による植栽木の密度の調整が広葉樹の増加速度に及ぼす影響を全国的に予測した。これによって、強度間伐の保全上の便益を全国的に評価することが可能になった。

## 26. 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。

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か所の定点において、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2018年1月末頃に本数率30%の間伐が行われた竜ノ口山森林理水試験地南谷中流部の34年生ヒノキ人工林において、間伐後の林冠開空度と林内雨量の変動実態を調べた。

成果：御嶽山では、9月中旬、12月下旬の2回渓流水を採水した。pH、ECについてみると、9月中旬の試料は採取前の8日間にアメダス御嶽山において77 mmの降雨があり、pH、ECは平水時より低い値を示した。とくに、濁沢川ではpHが4.63と著しく低く、高濃度の硫酸イオンの影響と考えられたが、平水時に採水した12月の試料はすべての地点で通常観測される範囲内の数値を示した。一方、竜ノ口山森林理水試験地南谷中流部における間伐後の

林内雨量の観測では、昨年9月以降、温暖・寡雨傾向のためか11月中旬には枝先の葉が黄変化して落葉し、2024年で間伐後7年目となる林冠の開空度（GF）の季節変動は、5年目の25～30%から30～40%に増加して推移した。同傾向は光合成有効放射量（PAR）の樹冠上の値（推定値）と林内雨観測プロット地上付近の値（実測値）の比（rPAR）においても確認された。ただし、7年間のrPARの経時変動の回帰曲線の値に対するrPARの比は、4年目以降0.1未満で推移し、冬に1.0を超える安定した季節変動を示す一方、同様に処理したrGFの比には夏に+0.2、冬に-0.2の振幅を持つ季節変動が認められた。2024年のイベント毎の降水量は、過去6年間に比べて明らかに多い傾向があり、10月末までの合計で樹冠通過雨（TF）は降水量の75%を超えた。またこれまで年間10%未満で経過してきた樹幹流下量（SF）も12%を超えた。このため、毎年の全降雨イベントの90%以上を占める総雨量60 mm以下の降雨イベントにおける間伐後5年目以降のTFとSFにみられる増加傾向が維持された。また、rGFの比にみられる夏高冬低の傾向が太陽高度に起因する光学的な影響によるノイズであるとしても、2か月降水量（Pbimo）の増加に伴いrGFが大きくなる傾向も維持され、その増加率は、最も変化が大きい $100 \leq Pbimo \leq 350$  mmにおいて約0.5と推定された。

#### 27. 1ウ aPF23 微生物を含めた環境トレーサーで古生層山地小流域における斜面地下水動態を探る

目的：大きな降雨イベントにおける斜面水分動態と溪流水の水質・微生物情報との関係を調べる。

方法：竜ノ口山森林理水試験地南谷において、斜面土壌水分の観測および溪流水等の試料を採取して主要化学成分等を分析する。

成果：2024年は春先からまとまった降雨が多くもたらされ、前年後半の寡雨による斜面土壌の乾燥が3月中に緩和され、斜面中腹の観測井で地下水位が維持されるようになった。表層土壌のマトリックポテンシャルは斜面下部で概ね-20 kPa以上、斜面中部でも概ね-40 kPa以上で推移した。7月中旬以降は降水頻度が低下したため斜面土壌は乾燥が進み、8月下旬には斜面中腹の地下水位が観測井の深さ以下となった。こうした経過の中、流域が湿潤だった6月下旬（Jun24）および乾燥していた8月下旬（Aug24）の各降雨出水において溪流水を経時採取し、細菌叢組成の変動を調べた。総雨量はそれぞれ順に51 mm、71 mmであり、最大時間雨量はいずれも10 mm未満であった。古細菌について門レベルでみれば、低水時の溪流水から多く検出され、斜面表土からあまり多く検出されないナノ古細菌は、Aug24では多いまま推移したが、Jun24ではやや減少して推移した。同様に、低水時溪流水から検出され、斜面表土からほとんど検出されないアエニグム古細菌・イアイン古細菌・ミクル古細菌は、Jun24では全体的に低水準で推移し、非検出となる試料も存在したが、Aug24では低水時とあまり変わらず推移した。これらとは逆に、斜面表土や低水時溪流水からあまり多く検出されず、地下水や出水時の溪流水から多く検出されるテルモプラズマ古細菌は、Jun24では比較的高水準で推移した一方、Aug24では低水準で推移し、非検出の試料も存在した。それぞれの古細菌が斜面内のどこに存在しているのかは不明であるが、流域の乾湿状態に応じて出水過程における溪流水中の細菌叢組成に特徴的な変化が生じることが確かめられた。

#### 28. 1ウ aPF27 大気中のCO<sub>2</sub>濃度の上昇は森林からの蒸散量を増やすのか減らすのか？

目的：生態系スケールでフラックス観測から求められる水利用効率と蒸発散量、および、降水・流量観測から水収支式で求められる蒸発散量の実測データを蓄積するとともに比較解析を行い、水利用効率や蒸散量の葉や木のレベルと森林生態系スケールでの関係を明らかにする。

方法：年輪と髄（年輪の中心部分にある組織）の炭素・酸素・水素安定同位体比を使って、水利用効率および蒸散量を復元する。

成果：山城水文試験地（京都府木津川市）において、微気象観測タワーを用いて水利用効率を算出するために必要な水蒸気・二酸化炭素フラックス観測を行い、微気象学的手法から森林生態系スケールでの水利用効率や蒸散量を算出した。降水・流量観測を行い、水収支式で求められる蒸発散量の実測データを蓄積した。年輪は成長期と冬季の非成長期の縞模様であるため、これを目印として年輪による蒸散量の復元を行うと、1年より短い時間解像度を持たせることは難しい。そこで、より高時間分解能での気候復元を行うため、直径成長量のモニタリングを行うべくデ



ンドロメータを設置し、30分間隔で樹木の成長量を連続的に計測した。山城水文試験地のヒノキの直径成長量は、樹幹の水分の多寡によっても変動し、日変動がみられつつ4月ごろから成長し始め、7月には成長が止まるという季節変動特性を持っていた。したがって、1年輪内の同位体比は、おおむね4～7月に形成された組織に使われた炭素・酸素の同位体比を反映していると考えられ、蒸散量を復元するにあたり、季節的な同位体比の変動とともに成長幅の変動も併せて解析する必要があると考えられた。

#### 29. 1ウ aPF30 付加体堆積岩山地における水文・地盤情報カップリングによる雨水貯留・排水特性の把握

目的：地形地質および水文情報を組み合わせて、大起伏山地における斜面崩壊リスクを評価するために、調査場所の地形的特徴を明らかにする。

方法：高解像度の数値地形モデルを用いて、井川湖周辺の流盤斜面と受盤斜面の地形的な特徴を明らかにするために地形解析をする。

成果：地形解析の結果、受盤斜面と流盤斜面では、地形的な特徴に違いがみられた。傾斜の頻度分布を見ると、受盤の山地流域では、斜面の傾斜角が40度付近にピークを持つ急峻な流域であるのに対して、流盤の山地流域では、20度未満の緩傾斜の領域も広く分布することがわかった。これは、受盤の流域では全体的に開析が進んでいるのに対して、流盤の流域では標高の高い場所の開析が進んでいないためであると予想された。

#### 30. 1ウ aPS2 放射能汚染地域の林業再生に関する技術開発

目的：福島第一原発事故後、林業が再開されていない地域において、放射性物質の低減に効果のある広葉樹林及び針葉樹人工林の管理・更新手法を提示する。管理・更新手法の比較検討では林齢の影響と原発事故の直接汚染の影響を分離する必要があるため、放射性セシウム<sup>137</sup>Csの面移行係数（Tag）に及ぼす林齢の影響を明らかにする。

方法：福島第一原発事故の直接的な影響のない地域で、コナラを対象に葉のTagを測定して、Tagと林齢の関係を明らかにする。昨年度までに採取した富山県内9調査地で採取したコナラ林の葉・土壌試料の分析結果をもとに放射性セシウムのTagに及ぼす林齢の影響を明らかにする。

成果：富山県内の林齢の異なる9つの調査地で、コナラ葉のTag値を算出した。これらの値は降下から十分な時間が経過した準平衡定常状態におけるTag実測値として貴重である。Tagが特異的に高い林分には、林床有機物の分解が進みにくい、やせ地であるという特徴が見られた。Tagが低い林分では<sup>137</sup>Csが深くまで分布している傾向が認められたが、深度分布のみではTagの低下を十分に説明できなかった。交換性陽イオン蓄積量によってTagを調整すると、林齢とTagの関係は不明瞭になった。

#### 31. 1ウ b1 森林の山地・気象災害軽減技術の高度化

目的：災害軽減技術を高度化するため、能登半島地震で発生した斜面崩壊の実態を調べる。

方法：能登半島地震で発生した大久保地区の崩壊地を対象にして、地形および地質的な特徴を調べる。

成果：もともこの周辺には、複数の地すべりブロックが確認されており、今回はその一部が再滑動したことが現地調査でわかった。崩壊地に広く分布する珪質シルト岩は、南に傾斜する流盤構造を示し、滑落崖の珪質シルト岩は、岩盤クリープによって変形し、亀裂が発達していた。珪質シルト岩には、黄鉄鉱が多く含まれており、それが岩石の風化や斜面の変形に関係していることが示唆された。崩壊地のすべり面には、強く風化した凝灰岩がみられ、手で練ることができるほど強度が低下している部分もあった。

#### 32. 1ウ bPS6 迅速な災害復旧等に向けた時系列・三次元モデルを用いた国土履歴のAI判別技術の開発・普及

目的：戦後から撮影された空中写真を用いて、どのような山地災害の履歴を復元できるのか検討する。

方法：空中写真から作成した高解像度のデジタルデータを使い、山地における土砂災害への応用を検討し、検証調査を実施するための場所を選定する。

成果：空中写真が10年から20年間隔で撮影されていることから、現在も崩壊地の拡大がみられる起伏の大きな山地で



発生している大崩壊地を対象にすることで、崩壊地の拡大過程を追跡できることがわかった。検証調査を実施するために、これまでの調査で地質構造に関する情報が蓄積されている大井川上流の崩壊地を研究対象地とした。

### 33. 1ウ k1 森林における降水と溪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、林外雨と溪流水の主要溶存成分のモニタリング調査を行い、化学特性の変化及び各溶存成分の流入量・流出量を明らかにし、森林から流出する溪流水の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：林外雨と溪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）で行った。林外雨は観測タワー上部に設置した直径 21 cm のポリローで受け、10 L ポリタンクに貯留、採取した。溪流水は、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。林外雨と溪流水の採取は月 1～2 回程度の頻度で行う。採取した林外雨、溪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した。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した。

成果：研究資料を参照

### 34. 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って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、比類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：2024 年の年降水量は、1937 年観測開始以来の 88 年間で 12 番目に多い 1496 mm であった。しかしながら、年流出量は前年後半の強い渇水傾向の影響を受け、北谷で 507 mm、南谷で 414 mm にとどまり、欠測が生じた 7 か年を除く 81 か年で多い方から同順に 27 番目、36 番目となった。この結果、年流出率は同じく 81 か年において、北谷で 37 番目に多い 34%、南谷で 33 番目に少ない 28% となった。なお量水堰堤に電源を供給していた架空電線が 2004 年 10 月の台風による倒木で被災したため、その年度のうちに遊歩道に沿って転がし電線に敷設し直していたが、2024 年 11 月 13 日、南谷に分岐した先で刈払機によるとみられる古い開放性損傷が見つかったため、該当区間の移設を伴う復旧工事を翌年 3 月中旬に行った。

### 35. 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：長期連続測定に向けて、長年の使用により老朽化していた温湿度計を交換し、電源配線も劣化していたため交換を行い、気象観測と渦相関法による生態系の正味 CO<sub>2</sub> 交換量・水蒸気フラックスの連続観測を実施した。また、観測タワー施設等の点検や安全器具の交換等のモニタリング環境整備を行った。

### 36. 2ア a1 造林・育林技術の実証とシース創出に向けた研究開発

目的：国内の広葉樹資源の循環利用に向け、広葉樹伐採後の更新技術の確立が急務である。そこで、広葉樹林伐採後の

更新調査を実施し、研究シーズの創出を図ることを目的とした。

方法：飛騨市市有林における令和3年11月に帯状皆伐を実施した試験地において、更新調査を実施した。

成果：伐採から3年経過した時点で、ウダイカンバやキハダの実生が多数発生していた。樹高130 cmを超える個体がこの1年で急激に増加した。斜面の上部と下部で更新樹種が異なっていた。ササの被度はそれほど大きな変化はなく、ササに被覆されることなくウダイカンバやシラカンバなどの更新木が成長していた。切り株からの萌芽枝は、伐採後1年目までに発生し2年目は新たな発生は見られなかった。伐採前から林内に生育していたクロモジは、旺盛に成長し、幹数が年々増加傾向にあった。

### 37. 2ア aPF10 “潜む”芽”と伸びる”枝”の成り立ちから探る樹木萌芽更新の実現可能性

目的：本研究は1) 潜伏芽の発生活性を解析し、潜在的な萌芽更新の実現可能性を種間、および種内で比較検討するとともに、2) 萌芽枝特有の生理機能・形態が高い成長速度を支持しているかどうかを検証することにより、樹木の萌芽再生メカニズムから萌芽更新の実現可能性を説明することを目的とした。

方法：2年生のアベマキおよびコナラの地上部を伐採し、切株から発生した萌芽枝の成長、枝構造および生理生態的特性を測定し、非伐採個体（実生苗）と比較した。

成果：両樹種とも、切株苗の萌芽枝は実生苗の2倍の年成長速度を示し、伐採1年後には切株から発生した萌芽枝と実生苗との間で樹高の差が消失した。さらに、地上部の非同化器官／同化器官比は両樹種とも実生苗の一次枝に比べ切株苗の萌芽枝で有意に高かった。一方で、炭素獲得に関わる個葉の最大ガス交換速度、葉の窒素濃度、LMA（Leaf Mass per Area；単位葉面積あたりの葉のバイオマス）および個体の総葉面積には、切株苗と実生苗との間で差は認められなかった。このことから、アベマキおよびコナラの当年生萌芽枝の速い成長、特に非同化器官のバイオマスは、切株の貯蔵養分に依存することが示唆された。

### 38. 2ア aPF12 タケ類の大規模開花現象の全容解明に向けて

目的：稀にしか開花しない竹林について、開花期から開花後の回復期に至る生態特性を、広域スケールと林分スケールの双方から明らかにする。

方法：広域把握のため、市民参加型調査によって全国の開花情報を収集・検証する。回復過程解明のため開花後の竹林を対象に時系列の現地調査を行い、回復プロセスを記述・定量化する。

成果：上記の広域把握および回復過程の両調査でデータ収集をおおむね完了し、現在は集計・取りまとめ段階にある。追加的取り組みとして、ササ類の広域的な開花状況解明に向け、北海道全域のデータ収集・整理を完了した。研究は森林総合研究所内外の研究者と共同で推進し、ネットワーク拡大と研究発展を目的として日本生態学会大会においてシンポジウムを主催した。

### 39. 2ア aPF14 日本全国の林地の林業採算性マトリクス評価技術の開発

目的：国内資源の充実、世界規模の情勢変化および気候変動緩和のための森林や木質製品による炭素貯蔵の増加の要請により、国産材の生産増が求められている。このため、将来における国産材需給バランスの維持と林業による炭素固定量増加を目指し、成長に優れたエリートツリー等のポテンシャルが最大限発揮される条件を明らかにするとともに、航空レーザ計測（ALS）、GIS、機械学習を組み合わせる新たな地位推定および地利推定技術を開発する。これに基づいてマトリクス評価を行い、市町村等が適切に目標林型を設定しゾーニングを行えるように、成長後の人工林の林業採算性と炭素吸収量を高精度に予測する技術を開発する。

方法：新たな推定手法による地位指標と地利指標を算出して、立地要因と地利要因との二軸の評価を行い、将来にわたる人工林の林業採算性と炭素吸収量を高精度に予測する技術を開発する。成長に優れたエリートツリー等のポテンシャルが最大限発揮される条件を解明し、有効活用するための技術を開発する。林業採算性と炭素吸収量を予測するツールを作成し、市町村等が利用する森林GIS等への導入マニュアルを作成する。

成果：中日本・東日本のモデル地域において、樹高推定モデル構築に必要な情報整備を進め、準備の整った地域から逐

次樹高成長モデルの構築を行った。その上で構築されたモデルに基づいてメッシュ単位の樹高成長曲線（地位推定マップ）を作成するための技術開発を行った。昨年度から着手した西日本のモデル地域においては、既に構築した樹高成長モデルの現場確認および精度検証を参画自治体と共同で行い、十分に高い推定精度であることを確認した。得られた成果を他課題と共有・統合し、西日本の参画機関モデル地域（佐賀県）を中心に地位・地利マップのプロトタイプを試作した。また、参画自治体（徳島県など）にも成果を共有し、現場における成果の活用に向けた情報のフィードバックを受けた。

#### 40. 2 ア aPF15 効果的な花粉発生源対策の実施に向けた調査及び普及

目的：本課題では、伐採重点区域や周辺部においてさらに具体的にどのような林分を伐採すべきかの判断に役立つ知見を提供する。具体的には、1) スギ着花目視調査と林分情報を統合したデータベース開発による着花量に影響する林分条件の抽出、2) 着花の全木長期観測に基づいた間伐等の施業や風害による疎開が着花に及ぼす影響の評価、3) 目視不能な対象林での着花量評価のための画像からの雄花抽出手法や空撮条件の検討、を実施する。なお、3) の手法開発はスギ雄花調査事業の重点項目であるため、本事業では手法の精度検証や向上に役立つ、スギ林の林分別・個体別及び樹冠内の着花性に関する情報整備や精度検証可能な観測林の選定などを重点的に行う。

方法：昨年度に引き続き、目的1) に対応する課題を推進した。着花量データとして代表提案事業者の（一社）全国林業改良普及協会が「スギ・ヒノキ雄花の着花量調査の推進」補助事業で実施したスギ雄花目視調査結果を活用する。調査は毎年花粉飛散量を予測する目的で2001年から全国17都府県の各20か所以上の定点スギ林で実施され、毎年全国で350以上、最盛時には500を超える林分の着花量が調べられており、これら個別データを統一的なフォーマットに修正し、データベースを構築する。構築したデータベースを用いて、着花量と環境条件との関係を、統計モデルを用いて定量評価する。

成果：スギ雄花着花量と気候条件との関係を機械学習の手法を用いて解析を行った。解析の結果、着花量に影響を与える要因として、夏季降水量、冬季降水量、暖かさの指数（月平均5℃以上の月の積算値）が重要だった。さらに、構築した機械学習を用いて、着花量の地理的な分布についてマッピングを行った。

#### 41. 2 ア aPF19 森の価値変換を通じた、自立した豊かさの実現拠点

目的：ICT（情報通信技術）の発達により、森林資源の現存量や利用に関する三次元情報の統合が進んでいるが、森林動態と人間の経済活動との時間スケールが異なるという課題は未解決のままである。このため、森林動態を人間の時間スケールにあわせて予測するための情報の四次元化が重要である。担当課題では、森林の成長予測を含む四次元森林資源マップを整備し、得られたマップから森林の機能別ゾーニングを進める。森林の成長が優れ、かつ木材生産コストが低い「木材生産の適地」においては、木材生産の経済性向上を目指し、他の地域においては森林での炭素蓄積や生物多様性を重視した森林管理等により、地域の森林の多面的機能の発揮を持続・最大化させる。

方法：秋田県大館市が取得した市内の森林LiDAR（レーザー光リモートセンシング）データをプレデータとして活用し、四次元森林資源マップ整備の試行のための樹高成長パターンの解析を行った。

成果：大館市のLiDARデータを用いた樹高成長パターンの解析を終了した。スギ樹高成長の規定要因を定量評価し、樹高成長を高解像度で予測するモデルを作成した。その結果、樹高成長を規定する要因として、重要度の高い順に林齢、冬季降水量、日射指数、暖かさの指数、が正の影響を及ぼすことが明らかとなった。また、モデルによる樹高の予測値の誤差は約2.5m以内であり、高精度の樹高推定が可能になった。

#### 42. 2 ア aPF20 地域デザインのためのインクルーシブ・データプラットフォームの構築

目的：モデルケースである飛騨市の市有林を対象に飛騨地域での森林の基礎データを取得し、データプラットフォームに提供する。市民向けに取得データについての情報提供を行い、データプラットフォームとの連携を図る。

方法：森林総合研究所関西支所において2021年に締結した飛騨市との連携協定に基づき、飛騨市市有林の広葉樹伐採跡地での植生調査を飛騨市と合同で実施し、伐採後の植生回復過程についてデータを収集した。上記の植生調査地に



隣接する広葉樹林に枯死木分解速度推定のための試験地を設置し、分解プロセスを調査し、データを収集した。

成果：飛騨市民向けに飛騨市役所で開催したシンポジウムにおいてポスター発表を行った。第一回には「飛騨地方の森林を調べる」と題したポスター、第二回には「飛騨地方の森林では枯死木の分解による炭素放出速度はどのくらい？」「広葉樹を活用し森林の再生過程をモニタリングする」と題したポスターを発表した。ポスターセッションにおいて市民からの質疑応答にも対応した。

#### 43. 2 ア aPF22 育成複層林への誘導方法に関する評価等委託事業

目的：育成複層林への誘導を推進していく観点から、針広混交林への誘導方法について評価することを目的とする。

方法：和歌山県有田川町および田辺市龍神村の民有林において、人工林伐採後の年数の異なる林分での侵入広葉樹の状況を把握するため10×10mの面の調査区画を設けて毎木調査を実施した。過去に皆伐、間伐、更新伐を行った林分についてのデータを収集した。

成果：有田川町の民有林において平成21年および28年に皆伐した林分において、20地点の毎木調査を実施した。標高が800m近い場所でカラスザンショウやアカメガシワなどのパイオニア種に加えて、ミズナラやイタヤカエデなどの落葉広葉樹が更新していた。龍神村の民有林では、平成26年、28年、30年、令和5年に皆伐した林分において、15地点の毎木調査を実施した。アセビやサカキ、ウラジロガシなどの常緑広葉樹が多かった。近畿圏の森林組合や県庁から人工林伐採地の情報を収集した。

#### 44. 2 ア aTF1 スギ・ヒノキの着花習性の解明および着花評価技術の開発

目的：スギ人工林において、間伐強度が雄花の着花量に与える影響について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）を行った。

成果：2024年2月の調査では、平年通りの雄花着花量で、多雄花間伐区と通常間伐区では前年よりも着花指数が若干高く、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。

#### 45. 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：スギ針葉樹人工林を対象に、航空機空中写真等から算出した多くの指数と地上プロット調査との回帰分析から、平均直径等の林分パラメータを広域において推定する手法を開発する。

方法：スギ林を撮影したデジタル航空写真を写真解析し、航空レーザによる地盤高を用いて林冠高データを作成する。

成果：研究所（つくば）を中心として、林冠高データから、平均、最大、標準偏差などの指数を計算して、平均直径などの林分パラメータとの回帰分析を行った。その結果、林冠高データと回帰式からスギ林の林分パラメータの広域推定手法を開発することができた。

#### 46. 2 ア cPF11 自然に関する文化的資産の保全・劣化要因の把握と教育・観光資源化にむけた検討

目的：山岳地域の保護地域（国立公園、世界遺産など）を主な対象として、①自然に関連する有形・無形の文化的資産の保全や劣化の状況を時系列的に把握し、②文化的資産の保全政策の潜在可能性や限界を検討した上で、③文化的資産の適切な資源化に向けた政策提言を行う。

方法：世界自然・文化遺産を対象として、森林の文化的価値の取り扱いについて、遺産登録に関する文書等を用いて検討した。

成果：世界自然遺産である「知床」、「白神山地」、「屋久島」には人間の影響が見られるが、その文化的価値については世界自然遺産登録の際の評価の基準とはなっていなかった。一方、世界文化遺産には人類と環境との交流を評価する登録基準が見られ、「厳島神社」、「古都奈良の文化財」、「紀伊山地の霊場と参詣道」には聖域として厳しく守られてきた森林が構成資産として含まれており、自然環境が持つ神聖性が文化的価値として評価されていた。また「富



士山一信仰の対象と芸術の源泉」に含まれる「三保松原」では、クロマツ林からの富士山の眺望が文化的価値を持つものとして評価されていた。以上のことから、世界文化遺産では自然が生み出す文化的価値が評価されていた一方、世界自然遺産では文化的価値が軽視される傾向にあった。加えて、半自然草原の保護を強化するには、その文化的価値を認識し、経済的利益を確実に保護活動に再投資するメカニズムを開発することが不可欠であることを指摘した。

#### 47. 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管理優先度の高い森林（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花崗岩の基盤岩から土粒子へ変化する速度を調べるため、茨城県常陸太田市の丘陵地斜面で採取した試料を用いて、石英中に蓄積した宇宙線生成核種  $^{10}\text{Be}$  の分析を行う。

②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。

③中間成果報告会を行い成果の普及に努めるとともに、現地検討会を行い市町村関係者や林業関係者とともに成果の検討を行う。

成果：①加速器質量分析により、常陸太田市の花崗岩斜面では、石英中に十分な量の  $^{10}\text{Be}$  が蓄積していることが確認された。土層の生成速度を調べたところ、同じような気候や標高の京都市や広島市の丘陵地斜面比べて、半分以下の速さで土層が生成されることがわかった。

②“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、実施すべき施業内容を判断するための条件として、間伐による速やかな成長・葉量の回復の有無（間伐効果）について着目し、これまでに収集した文献情報の精査を進めた。その結果、樹冠長については間伐による樹木間距離の増大に伴う回復が示され、間伐効果を確認するための指標としての可能性が示唆された。

③茨城県水戸市において中間成果報告会を、同常陸太田市において現地検討会を開催した。

#### 48. 2 ア cPF14 消えつつある草原コモンズを再生するための管理形態と社会システムの提示

目的：長期にわたって火入れや放牧、草刈りなどの人間活動によって維持されてきたと言われる半自然草原は、この百年余りの間に全国各地から急速に減少してきた。半自然草原の減少に対する自然的・社会的要因を解明する。伝統的な半自然草原の管理手法を明確にするとともに、今後も維持管理を継続するための新たな手法、社会システムのあり方を提示する。

方法：熊本県阿蘇地域の牧野を対象に、1998年および2021年の調査データを用いて、野焼き面積割合や関係者の年齢等、草原の維持可能性に関わる要因を指標として動向を把握する。長野県木曽町開田高原を対象にして、過去から現在までの草原面積の変遷を明らかにする。開田高原に関連する絵図、地形図、空中写真を収集し、デジタル化してGISに取り込み、草原に関する情報を読み取る。木曽町と合併する前の開田村の草原、原野などに関する統計データを収集する。

成果：阿蘇地域では維持困難な牧野は地域的に偏在しており、1997年には南部や北部の周辺地域に多く見られた一方、中心地域では比較的良好な状況にある牧野が多く見られた。2021年になると南部や北部地域では牧野の減少が進行し、淘汰が進んでいた。また、中心地域でも維持困難な牧野が増加していた。地域毎のこうした違いには、牧野が立地する地形や地質といった自然的条件に加えて、牧野を取り巻く社会経済的要因が関わっているものと推察された。開田高原の統計値の草地面積は、第二次世界大戦前までは3000ha弱程度で推移していた。戦後直後から1950年代にかけては、同年でも出典により値が大幅に異なる年があり、年ごとの変動が大きかった。これは、草地に関

する項目、区分が複数にわたることや、集計の方法の違いなどによると考えられる。1960年代初め以降、草原面積は時間の経過とともに漸減し、2004年には181.4 haであった。一方、地形図、空中写真の草地面積は、最も古い1911～1912年測図1/5万地形図では2441.4 haと同年代の統計値よりやや小さく、2019年の環境省植生図では94.5 haであった。最新の資料の草原面積は、最も古い資料を100とした場合、統計値では6%、図像資料では4%程度にまで減少していた。

#### 49. 2 ア cPF20 令和6年度森林情報の高度化推進に向けた手法検討に関する調査委託事業

目的：森林簿の蓄積の算定に用いられる民有林用収穫表の多くは、昭和50年代に整備されたもので、高齢級で成長量が頭打ちになる等の課題が指摘されている。森林計画の基本となる収穫予想表の数値が誤っている場合は適切な森林計画が立案できない。このため各県において収穫表の見直しが進みつつあるが、令和2年度末現在でまだ30都府県は見直しが行われていない。見直しが十分に進まない理由としては、データの不足に加え、収穫表の背景にある林分密度管理図や樹高成長曲線の見直しが行政部局には技術的に難しいことなどが考えられる。本課題は、森林簿の精度向上に必要な収穫表の見直しを促すもので、中長期目標に掲げられた「新たな計測・情報技術を用いた森林資源評価や管理・計画技術の開発」に寄与する内容である。

方法：

##### ①林分密度管理図の作成

令和4年度事業で収集整理したヒノキ人工林4132か所、カラマツ人工林693か所の森林資源データを用いて、林分密度管理図を作成する。地域区分は現行の林分密度管理図と同じヒノキ4地域（関東・中部、北近畿・中国、南近畿・四国、九州）、カラマツ2地域（北海道、本州）を基本とする。作成方法は、現行の林分密度管理図が作成された昭和50年代当時の方法に準拠するが、今回の見直しの趣旨が、高齢級林分における成長量の頭打ち傾向の是正であることを念頭に置く。

##### ②樹高成長曲線と本数減少曲線の作成

①と同じ森林資源データを用いるが、特に100年生を超える高齢級のデータが不足しているため、航空レーザ計測データの活用によって補充する。補充された高齢級データが、取得方法の違いから①のデータと同列に扱えないと判断される場合は、その違いを考慮した上で活用する。選別されたデータに対する成長曲線の当てはめは当たっては、今回の見直しの趣旨が高齢級林分における成長量の頭打ち傾向の是正であることを念頭に、令和5年度事業におけるスギの成果から有力なKorf式を中心に、ミッチャーリッヒ式やゴンベルツ式等の複数の回帰モデルについて比較検討を行う。

①で選別を行った森林資源データに、上記の施業体系に関する情報を加味して、ヒノキ及びカラマツの平均的な本数減少曲線を地域別に作成する。この際、実態に基づく本数減少曲線とは別に、施業指針等に基づく模範的な本数減少曲線を作成することも検討する。

##### ③天然林の林分蓄積、林分成長量に関する検討

森林生態系多様性基礎調査の第3期と第4期のデータを用いて令和5年度事業で得られた林相別・都道府県別の天然林の材積成長曲線を再整理する。一部の都道府県では周囲の都道府県と比べて材積成長曲線の最大値が極端に大きくなる事例も見られたため、そのような都道府県はより広域での地域単位でまとめる、あるいは隣接県のパラメータを転用するなどの整理を行う。

成果：2003年以降に取得された新たなデータによってヒノキおよびカラマツの民有林用林分密度管理図を改訂した。まずヒノキ、カラマツそれぞれについて全国のデータから高密度林分を選抜し、樹種別・全国共通の最多密度曲線を作成した。ヒノキの場合、最多密度曲線の傾きは現行の密度管理図とほぼ同じで、切片が現行より大きくなった。カラマツの最多密度曲線は傾きが現行よりも緩やかになった。幹材積合計の推定式（収量密度効果の逆数式）は、ヒノキ、カラマツともに現行の式は明らかに過小推定になっているが、改訂版ではバイアスが是正された。しかし、幹材積が誤差20%以内で推定できた箇所は樹種・地域によって異なるが6～7割で、現行の密度管理図が作成された当時よりも低位にとどまった。これは間伐の有無や高齢級化によって林分構造が多様化しているためと考えられ

る。一方、天然林については、第4期森林生態系多様性基礎調査から、前期との継続調査が行われている天然林約5800プロットを抽出して材積成長曲線のあてはめを行い、地域別・林相別パラメータの整理を行った。衛星画像によって林相を区分し、航空レーザ計測によって現在の蓄積を推定することにより、森林簿における天然林の蓄積を更新し、成長量の推定精度を改善する方法を提示した。

関西支所では成長曲線や推定式のパラメータ検証に必要な、現地林分調査データを収集した。

#### 50. 2 ア cPS2 無関心層を取り込んだ森林空間利用促進のためのアウトリーチ手法の提案

目的：森林無関心層の実態解明と、森林への訪問を阻害する物理的・心理的要因の把握を行い、森林空間利用を促していくための効果的なアウトリーチ手法を提案する。

方法：森林に対する関心度合と訪問行動を促進・阻害している物理的・心理的要因を調べるため、東京23区に住む東京都民5000人を対象とした大規模Web調査（アンケート調査）を実施した。

成果：アンケート解析の結果、以下の点が明らかとなった。1) 森林への訪問頻度は「自家用車の有無」「ウォーキング習慣」「育児を伴う旅行経験」と正の相関を示した。2) 森林への関心は「景観散策」「自然観察」「ガーデニング趣味」などが強く影響した。以上により、森林訪問を促進するためには、アクセス改善や心理的な抵抗感を和らげる取り組みや、育児世代をターゲットとした自然体験プログラムの普及が重要であることが示された。

#### 51. 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：世代間継承の視点を折り込んだ地域森林管理方策を提示することを目的とした。

方法：「森林管理における（人の一生を超える）長期にわたる時間という問題を人はこれまでどのように克服しようとしてきたか」という問いに対し、本研究では歴史の中にその解を探ることとし、個人的時間と社会的時間の関係を考察するライフコース分析の手法を用いた。

成果：「森林管理における長期にわたる時間スケールの問題を、人はこれまでどのように克服しようとしてきたか」という問いに対し、ライフコース分析の手法を用いて歴史の中にその答えを探った結果、集落、担い手、女性、当事者の性、教育、産業、環境がキーワードとして浮かび上がった。そこでこれらがどのように関わったかを論考し、書籍として出版した。特に、（地理学・経済学・社会学などを踏まえ、総合的な歴史研究を目指す）アナル学派がこれまで提唱してきた「地理的な時間」、「社会的な時間」、「個人の時間」の3層構造に加え、樹木の成長に代表される「森林の時間」が森林と社会の関係を考える上で重要であることを諸事例の分析から示した。

#### 52. 2 ア dPF9 戦後木材海上輸送システムの歴史的変遷と日米欧関係

目的：丸太および製材品輸出入の海上輸送形態の変化について把握し、ウッドショック前後での貿易リスク要因の変化を明らかにする。

方法：既往文献・統計資料分析、関連企業・港湾への聞き取り調査によって行った。

成果：日本への木材輸入は欧州製材品を主として大型のコンテナ船利用が増加してきたが、アジア圏などの近海での木材貿易には小型のばら積み船（1000～8000 m<sup>3</sup>/船）が効率的に運用されていることが把握された。特にウッドショックのような木材需給が不安定な状況を経たことで、コンテナ価格の変動リスクや、リードタイムの長い遠方との取引リスクが高まり、中国の木材輸入において、他の木材輸出国に比べて距離が近く、ばら積み船で対応できる日本からの木材輸入比率が相対的に上昇した。コンテナ貨物の効率的な運用が世界的に進められてきているが、丸太貿易においてはコンテナへの荷詰め・荷下ろしのコストが必ずしも安くなるとは言えず、ばら積み船が重用されていることが示唆された。

#### 53. 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：森林路網の多様な維持管理のありかたとして、森林サービス産業を含めた最新の利用実態を明らかにしつつ、森林サービス産業を含めた森林路網利用によるベネフィットと新規開設や維持管理を含めたコスト計測モデルを構築



し、B/C（費用便益比）評価のツールを開発する。

方法：森林路網の利用と維持管理の実態について整理するとともに、収集した森林サービス産業の経済効果に関するデータや路網活用事例に基づき、森林路網の新たな意義や可能性を評価する。

成果：森林サービス産業が、そのアクセス機能のみならず、森林路網という空間自体に利用価値を見出しており、その利用を通じた大きな地域経済効果が期待できることを、各事例調査から明らかにした。また、森林路網には、関連の管理規程や自治体加入の保険制度等が存在しており、管理者の許認可に即した森林サービス産業での利活用が、比較的容易なフィールドであることを明らかにした。

#### 54. 2 ア dPS4 ナラ類を中心とする家具・内装用広葉樹材供給ポテンシャルの推定

目的：北海道における広葉樹資源供給ポテンシャルの可視化と、ナラ枯れ等が想定されるシナリオ下での将来の資源状況の予測により、施業計画の立案などの意思決定に役立つ情報を提供することを目的とする。

方法：森林生態系多様性基礎調査データを収集・整備する。同一樹種で種名の記載が異なるデータについて種名を統一した上で、原木市場で用いられている商業区分と多様性基礎調査データにおける種名の対応関係を確認し、広葉樹の資源量推定が可能なデータの整備を行う。樹木成長モデルに用いる気象データを収集し、解析に利用できる形式に整備する。

成果：北海道における広葉樹資源の林分単位での群集構造を明らかにするために、林野庁の森林生態系多様性基礎調査データ（第4期）を収集・整備した。その結果、同一樹種で種名の記載が異なるデータが複数存在することが明らかとなった。樹木成長モデルに用いる気象データを収集し、解析に利用できる形式に整備した。モデルの動作試験を実施し、問題なく動作することを確認したうえで初期解析結果を得た。

#### 55. 2 ア k1 収穫試験地における森林成長データの収集

目的：収穫試験地は、古いもので昭和10年代から国有林内に設定され、5～10年間隔で森林の成長を継続的に計測している固定試験地である。樹種は、スギ、ヒノキ、カラマツ、トドマツ、エゾマツの5つを主とし、北海道から九州までの各本支所が分担して計測している。こうした全国規模での長期継続調査は、日本では他に例がないため、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っている。第五期中期計画では、のべ約30か所の試験地について、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、収穫量及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：今年度は、高野山スギ収穫試験地およびヒノキ収穫試験地（和歌山森林管理事務所管内）の計測を行う。具体的には胸高直径（直径巻尺）、樹高および枝下高（Vertex III, IV）、寺崎式樹型級区分（目視）の毎木調査を行う。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。

#### 56. 2 イ a1 樹木・林業病害の実効的制御技術の開発

目的：本課題は、経常研究として森林における有害鳥獣、昆虫、微生物の防除に資する基礎的、応用的知見を蓄積し、実用につなげることを目的とする。これにおいて、本年は、①外来種として急速な分布拡大がみられているタイワンタケクマバチの基礎的生態理解の一環として、その穿孔（営巣）特性について予備調査を行った。②森林内において線虫分離を行い、潜在的な生物防除資材、病原体などの特定を試みた。

方法：①短く切ったタケ樺の先端部分を透明プラスチックでふさぎ、これにアルミフォイルをかぶせることにより、タイワンタケクマバチの営巣状況を随時確認するためのトラップを作成し、この実効性を検証した。②森林昆虫、節足動物、枯死木、森林土壌などの基質からの線虫分離を行い、形態的、遺伝的（DNA マーカー）により種同定を行い、既知の近縁線虫種や宿主昆虫の生活様式から、新規分離された線虫種の生活史を推測する。

成果：①約40本のトラップを作成し設置したが、春季のタイワンタケクマバチ個体数が予想より少なく、穿孔が行われたものは数個にとどまった。これは、前年に比べてタイワンタケクマバチの密度が低かった、もしくは、気象条件



が悪く、越冬中の死亡率が高かったということが考えられる。トラップの有効性に関しては、アルミフォイルの脱着により、花粉団子や幼虫の状態が容易に確認でき、観察に利用が可能であると考えられた。②本年度は主に枯死木からの線虫分離を行い、昆虫寄生性線虫種で虫体外では糸状菌食を行う条件的寄生線虫3種を分離し、*Deladenus hebetocaudatus*、*Pauronemoides lorestanensis*、*Pauronemoides siddiqii*として新種記載を行った。これらに関しては、糸状菌食態成虫しか得られていないため、今後、森林昆虫の調査を継続的に行うことにより、宿主昆虫の特定、生活史の解明を目指す。また、昆虫便乗線虫の1種、*Bursaphelenchus luxuriosae*に関して、精子の成熟過程を透過型電子顕微鏡観察することで明らかにした。これは、マツノザイセンチュウ近縁種における、交配、増殖過程を詳細に研究するための基礎的な情報となる。

#### 57. 2 イ a2 森林林業害虫の実効的防除技術の開発

目的：カシノナガキクイムシにおいて、都市型ナラ枯れに対する防除技術を開発する。クビアカツヤカミキリ等の新たな害虫やきのこ害虫に対して、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。

方法：(1) 天敵生物の増殖ならびに新たなカミキリムシ防除法の開発に資する目的で、カミキリムシの補食寄生者であるサビマダラオオホソカタムシ飼育個体の寿命と産卵期間の調査を行った。(2) フラスによるカシナガの型判別のためのサンプル（フラス）採取において、簡便かつサンプル間のコンタミネーションが起きにくい方法を検討した。(3) 関西地域のキノコ害虫被害や天敵の発生状況を把握するため、三重県林業研究所担当者の協力を得て、三重県内の複数の菌床シイタケ生産者のもとで調査を実施した。

成果：(1) 2020年に飼育開始した3つの地域個体群に関して調査した結果、羽化開始から全個体死亡までの日数は岡山個体群（491個体）が1034日、愛媛個体群（810個体）が769日、鳥取個体群（416個体）が827日であった。2020年度に2017年飼育開始個体で調査した結果はいずれの個体群も1200～1300日生存しており、これに比べると減少していた。とくに飼育開始時の個体数が少なかった愛媛と鳥取において減少が大きく、近交弱勢による影響が現れているものと推察された。(2) 孔道入口に堆積したフラスを、孔道ごとに新しい爪楊枝でかきとり、15 mlのコニカルチューブで採取する方法が、簡便かつ静電気などによる飛散によるコンタミネーションも抑えられて有効と考えられた。(3) 訪問した生産者の栽培施設では、共通してナメクジによる被害が集中していた。この他、クロバネキノコバエ類やナガマドキノコバエ類等の被害も見られた。ナガマドキノコバエ類には天敵寄生バチが存在することがこれまでの調査から明らかになっており、今回の調査でも現地から幼虫を約80個体採集して寄生の有無を調べたが、寄生バチの発生は認められなかった。今後も関西・中国・四国地域の各府県の協力を得ながら調査を継続する。

#### 58. 2 イ a3 森林林業害獣の実効的防除技術の開発

目的：本実施課題は、林業及び森林生態系に対して深刻な被害を起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標としている。その中で、個体数管理のための捕獲が推進されている地域において、捕獲対象外の動物種に対する錯誤捕獲の増加が指摘されているが、実態は不明である。そこで、錯誤捕獲の発生状況を把握するための情報収集に関するアンケート調査を行った。

方法：錯誤捕獲に関する情報収集体制および収集した情報の活用状況を把握するために、市町村を対象にアンケート調査を行った。

成果：全国の427市町村から回答を得ることができた。錯誤捕獲が発生している動物種としてあげられたのはクマ類が最も多かったが、他の動物種も一定割合で発生していた。情報収集している場合の収集方法としては、クマ類では都道府県主体で収集されるため様式があるとの回答が多かった。一方、カモシカや中型哺乳類などは口頭による聞き取りが多く、市町村独自で取り組んでいる傾向がみられた。以上のことから、様式の統一やデータ管理の一元化と活用方法の検討を行う体制の整備が重要と考えられた。

## 59. 2イ aPF38 腐朽菌—寄生バチ共生系で機能する情報化学物質の進化プロセスの解明

目的：本研究は、菌類—寄生バチ共生系の進化プロセスの解明を目的としている。本研究課題では、菌食者の食害に由来する揮発性化学物質群を“Fungivore Induced Fungal Volatiles (FIFVs)”と新たに定義し、腐朽菌に共通してみられる FIFVs の機能を明らかにし、腐朽菌の FIFVs 合成能と寄生バチの感覚応答の獲得過程について系統樹を用いて解析することで、菌食者の食害に由来し天敵寄生バチを誘引する機能を持つ FIFVs の進化プロセスを検証する。

方法：本年度は、菌食者や寄生バチに対する FIFVs を含む菌類由来の揮発化合物 (VOCs) の機能解明を目指した。これまでに特定された5種の FIFVs を1000倍希釈してそれぞれ餌の人工培地に含ませ、菌食性ナガマドキノコバエ類の幼虫に自由摂食させて、摂食程度、成長速度、行動変化、生存期間等を調査した。また、寄生バチの誘引効果を検証するため、Y字型ガラス管を用いて FIFVs に対する誘引嗜好試験を実施した。さらに、課題遂行過程で明らかになった「菌食性昆虫の食害により菌糸由来 VOCs のなかでも C8 化合物が減少する現象」について、その生物学的意義の解明のため、ナガマドキノコバエ類の成虫を対象として C8 化合物への産卵に対する影響を調べた。

成果：FIFVs のなかでも 1- オクテン -3- オールや 1- オクタノールを添加した処理区では、ナガマドキノコバエ類の幼虫の摂食進行が減退し、蛹化するまでに時間を要した。また、寄生バチは FIFVs を単独で提示するよりも、5種のブレンドとして提示することで強く誘引される傾向が認められた。フタマタナガマドキノコバエの雌成虫に産卵基質を選択させる実験を行ったところ、C8 化合物を希釈した混合液を添加したろ紙を好んで産卵する傾向がみられた。フタマタナガマドキノコバエの雌成虫は C8 化合物に対して顕著な電気生理学的触角応答 (EAD 活性) を示すため、食害により C8 化合物が減少するとキノコバエ類による産卵が抑制される可能性がある。以上の成果から、菌類由来の VOCs は、菌食性昆虫の成長や産卵を抑制する一方で、天敵寄生バチの誘引を促進する機能をもつ可能性が示された。

## 60. 2イ aPF41 特定外来生物クビアカツヤカミキリの新たな定着地の早期発見・早期駆除システムの開発

目的：本課題では、クビアカツヤカミキリについて、近畿地方を事例として個体群の拡散経路や被害拡散動態を解明し、侵入ハイリスク地を特定することで未定着地への拡散リスク推定手法を開発する。また、定着して間もない低密度地域において、早期に駆除できるベイト型化学防除技術を開発する。最終年度となる当年度は、これまでに確立した振動や基質への耐久試験の手法を使って、様々な基質素材に対するクビアカツヤカミキリ成虫の耐久程度及び時間を検証し、車両便乗による移動リスクを評価し、成果をとりまとめることを目的とした。

方法：幌、ステンレス板、ベニヤ板、ガラス板、をとりつけた基質にクビアカツヤカミキリ成虫を1個体ずつ導入し、下方から加振器を用いた振動、前方からブローアを用いた風圧を与え、基質からの離脱の有無やそれにかかる時間を調査した。加振器では自動車走行時に発生する振動に近い周波数領域 (DC ~ 100 Hz の混合) を連続再生し、ブローアでは 30 km/h、50 km/h、80 km/h の3段階の風速を再現して与えた。また、長時間の耐久試験 (耐久可能時間の調査) も行った。

成果：幌やベニヤ板など凹凸のある基質では他の基質よりも長く耐久できることがわかった。基質が幌の場合、風速 80 km/h でも5分間は耐久できた。風速 50 km/h の条件では、供試した 24 個体中 10 個体が1時間以上耐久できることがわかり、単純計算で 50 km 以上の車両移動も可能であることが示唆された。これらの成果は、他参画者らと作成したリーフレットの内容にも盛り込まれ、広く公表された。

## 61. 2イ aPF46 相次いで侵入した外来カミキリムシから日本の果樹と樹木を守る総合対策手法の確立

目的：捕食寄生性甲虫サビマダラオオホソカタムシの外来カミキリムシに対する防除効果を明らかにするために、実験室内におけるカミキリ幼虫および蛹に対する孵化幼虫放飼試験および被害材内のカミキリに対する卵放飼試験を行う。

方法：(1) クビアカツヤカミキリ (以下クビアカ) 蛹および前蛹の穿入枝へのサビマダラオオホソカタムシ (以下ホソカタムシ) 卵放飼試験：クビアカ穿入枝に対し、網袋に入れたホソカタムシ卵を枝表面へ放飼 (3 卵/cm<sup>2</sup>) および

脱出予定孔にビニールチューブに卵を詰めて放飼（300 卵）、の 2 通りの方法で行った。約 1 か月後に供試枝を剥皮割材し、寄生状況を調べた。(2) クビアカツヤカミキリ樹皮下幼虫（排糞孔形成後）穿入枝へのサビマダラオオホソカタムシ卵放飼試験：クビアカ孵化幼虫をサクラおよびウメ枝に 1～2 個体接種した後実験室内で保持し、樹皮下幼虫による排糞孔形成、フラス排出を確認した時点でホソカタムシ卵放飼試験を行った。ホソカタムシ卵は網袋に入れて枝表面に放飼した（3 卵/cm<sup>2</sup>）。約 1 か月後に供試枝を剥皮し、寄生状況を調べた。

成果：(1) 供試枝表面への卵放飼試験の結果、ホソカタムシの寄生を受けずに生存していたクビアカのほとんどは割材日までに脱出しており、ホソカタムシの寄生を受けたクビアカは、樹皮下の成熟幼虫および蛹室内の幼虫、蛹、成虫と様々な発育ステージであった。寄生率の平均値は 2 通りの方法で計算した。単純にそれぞれの枝の寄生率を平均すると 64.1% であり、寄生率 100% の枝が存在するために高めの数値になった。寄生を受けなかったクビアカ生存個体と寄生を受けた個体のそれぞれの合計個体数から計算した寄生率は 57.1% となった。脱出予定孔にビニールチューブで放飼した結果、材表面放飼の場合と同様に、生存していたクビアカのほとんどは脱出成虫であり、樹皮下幼虫から成虫に至る発育ステージで寄生を受けていた。それぞれの材の寄生率の単純平均値は 58.3% となり、一方クビアカ生存個体と寄生を受けた個体の合計個体数から計算した寄生率は 56.9% でほとんど変わらなかった。対照区の被害枝 3 本からは合計 13 個体のクビアカツヤカミキリ成虫が羽化し、材内に死亡個体は認められなかった。(2) 27 本の供試枝（サクラ 12、ウメ 15）において合計 33 個体のクビアカ樹皮下幼虫が認められ、内 22 個体（67%）がホソカタムシの寄生を受けて死亡した。寄生された 22 個体の寄主の内 15 個体においては、ホソカタムシ幼虫が 1 齢の間に寄主が腐敗して摂食不可能となったために、発育できた個体は存在しなかった。寄主 2 個体においては 2 齢以上の幼虫もしくは蛹が確認されたが、成虫の羽化は確認されず、これも寄主の腐敗によって十分な栄養を摂取できなかったものと考えられる。残り 5 個体の寄主では合計 11 個体の成虫が羽化したが、この内 4 個体は生重が 10 mg 未満、また同じく 4 個体が 20 mg 未満と小型の個体が多く、羽化成虫に関しても栄養不足であった。その他孵化幼虫を接種したサクラ枝 3 本を対照区とし、他の供試枝と同時期に剥皮した結果、いずれも幼虫が樹皮下に生存しているのが認められた。

以上の結果から、クビアカ穿入枝にホソカタムシ卵を放飼することにより、材内の蛹および樹皮下幼虫（排糞孔形成以降の段階）に対し、昨年度に引き続き 50% 以上の防除を期待できることが明らかになった。また樹皮下幼虫に放飼した場合は次世代成虫の発生が非常に少ないことも明らかになった。

## 62. 2 イ aPF50 土着天敵寄生蜂を用いたシイタケ害虫キノコバエ類の総合的生物防除技術の開発

目的：シイタケ害虫キノコバエ類の寄生蜂を利用した総合的生物防除技術を以下の方法で開発する。①各地の栽培現場とその周辺で害虫キノコバエ類と寄生蜂を採集し、これらの DNA バーコードを蓄積する。②栽培現場で見られる寄生蜂が誘引活性を示す化学物質や光波長を抽出する。③栽培現場で得られた害虫キノコバエ類とそれらに寄生した寄生蜂の増殖率、生涯産卵数、発育期間などを求める。これらのうち、森林総合研究所関西支所では九州支所等と協力して、主に②のサブ課題を担当している。

方法：屋外の栽培現場に害虫や寄生バチが侵入する過程においては、栽培現場の化学誘引因子が重要であると仮説を立て、これを検証した。九州支所内に設置した原木シイタケホダ場で、異なる生育ステージの子実体（老菌、成菌、亜成菌、幼菌）及び子実体発生のないホダ木部分から、SPME によるマイクロ固相抽出法等によって揮発性成分を採集し、化学成分を分析・解析した。

成果：原木栽培では、コナラやクヌギなどの原木にシイタケの種駒を打ち込んでから、伏せ込み期間にシイタケ菌糸が蔓延してホダ木となり、子実体の発生がみられるようになる。子実体発生がみられない原木やホダ木の段階では顕著な匂い成分は検出されなかったが、子実体発生後にキノコ類特有の揮発成分である 3-オクタノンやリモネン等が検出されることがわかった。子実体発生開始後にホダ場に設置した捕虫シートには、キノコバエ類及び天敵寄生蜂類が捕獲されており、それ以前は見られなかった。3-オクタノン等のキノコ類特有の揮発成分は、キノコバエ類や天敵寄生蜂類の電気生理学的触角応答（EAD 活性）を示すことがこれまでの実験で明らかになっている。子実体発生やそれに伴うホダ木の物理的・生理的变化によりこれらの揮発成分が放出され、虫体誘引を引き起こしている可



能性がある。

### 63. 2 イ aPF55 害虫防除および安定栽培のための振動農業技術の開発と実用化

目的：本課題の最終目的は、振動を用いた農業技術の実用化である。そのために、①害虫の発生を制御する振動、並びに農林産物の受粉や生育を制御する振動パラメータ（周波数、時間、振幅等）を特定し、②これらの振動パラメータに適合する振動発生装置を製作し栽培施設に適合した装置を導入する。③この振動発生装置を用いて害虫防除の効果、並行して野菜やきのこにおける省力栽培の効果を実証し、④製品化を進める。

方法：当年度は、シイタケ子実体の発生や害虫防除に効果のある振動パラメータを用いて作成した振動装置を生産者の菌床シイタケ栽培施設に導入し、その効果を検証した。生産者の菌床シイタケ栽培施設（協力機関）において、菌床シイタケをのせた栽培棚に振動装置（磁歪振動装置、東北特殊鋼（株））をとりつけ、周波数 800 Hz、2 秒持続 13 秒休止のサイクルで振動を与えて（振動処理区）、子実体の発生及び菌床上での害虫発生について、振動を与えなかった菌床（対照区）と比較した。

成果：1) 子実体発生効果：1 回目発生では、振動処理区では子実体発生数が 1 菌床当たり 11 本、対照区では 7 本（いずれも平均値）であり、振動処理により優位に収量が増加した。3 回目発生では、振動処理区では 26 本、対照区では 21 本であり有意差はなかったが、増加する傾向が見られた。傘の大きさについても、振動を与えたことで子実体が小ぶりになることはなかった。2) 害虫抑制効果：該当の栽培施設では、チバクロバネキノコバエとオオショウジョウバエという 2 種の子実体害虫として発生が確認された。これら害虫の幼虫及び蛹の菌床上での発生数は、対照区に比べて振動処理区では優位に少ない値を示した。

### 64. 2 イ aPF56 随伴生物からカシナガキクイムシの分布の特性に迫る

目的：カシナガキクイムシ（以下カシナガ）がもともと広域分布する種なのか、被害の急拡大に伴って全国に分布を広げた虫なのかは、いまだにはっきりしていない。本研究ではカシナガの随伴生物群に着目し、それらの中からカシナガの移動・分散特性を間接的に追跡するのに有効なものを探索する。当年度は随伴生物調査のためのカシナガのサンプリングに着手する。

方法：昨年の加害木から、羽化・脱出個体を捕獲するか、あるいは割材によって、カシナガおよび随伴生物のサンプリングを行う。得られたカシナガおよび随伴生物は 99.5% エタノール内に保存する。微生物が得られた場合は、培養あるいは DNA 解析などによる同定作業のステップに進める。

成果：兵庫県と愛媛県から、グループ A（通称日本海型）に属するカシナガによる被害材、愛知県から、グループ B（通称太平洋型）に属するカシナガによる被害材を取得した。得られた材をネット袋あるいはビニール袋に入れ、実験室内の常温で保存した。袋の中を定期的に観察し、羽化脱出個体があれば 99.5% エタノールで保存した。また、材の一部については割材によって孔道内の成虫と幼虫を割り出し、99.5% エタノールで保存した。以上により、各採集地について複数のカシナガ成虫およびカシナガ幼虫のエタノールサンプルを得ることができた。次年度以降、これらのサンプルに付随する微生物叢の解析を行う。また、一部の材からは線虫が得られたため、同定作業のステップに進めるために分離・培養を行った。

### 65. 2 イ aPF61 日本と木材輸出相手国の樹木を外来病害虫から護る複合リスク緩和手法の開発

目的：日本からの輸出の主要産品であるスギ・ヒノキに関して、環境負荷が高く取り扱いの困難な臭化メチル燐蒸に代わる木材輸出措置を、システムズアプローチにより構築する。外来害虫の侵入経路を遺伝子解析や文献調査、聞き取り調査により推定し、国内への侵入はどのように生じたのかを明らかにする。その知見を元に、今後の病害虫侵入リスク低減のための方策を提言する。

方法と成果：スギ・ヒノキの苗木から成木、伐採に至るまでの過程において、虫害を引き起こす昆虫種並びに輸出時に混入しうる昆虫種のリストを作成し、基礎的な生態情報などを整備することを目的とした文献調査を行った。森林応用研究（日本森林学会関西支部論文集）を対象とし、1992 年～ 2024 年の全論文から対象となるスギ・ヒノキ穿

孔性昆虫に関する成果の抽出を行った。

#### 66. 2 イ aPF62 菌類の振動感受性が可能にする対菌食者化学防御

目的：シイタケ菌がキノコバエの幼虫の摂食に伴う振動（咀嚼振動）により自身の食害を検出し防御応答を示すという仮説を検証することで、菌類の振動感受能及び対菌食者化学防御を発動するメカニズムを明らかにする。そのために、①菌食性昆虫の咀嚼振動の特性解明、②菌類への振動提示による菌類の二次代謝産物の変化パターンの解明、③菌食性昆虫及びその天敵生物への効果検証、を行う。

方法：当年度は、非接触型レーザードップラ振動計を用いて、菌食性昆虫の咀嚼振動の物理的特性を明らかにする。PDA培地上に培養したシイタケ菌糸の上に菌食性ナガマドキノコバエ類の幼虫を導入して自由摂食を促し、摂食されている菌糸付近にレーザー光を照射して、咀嚼に伴い菌糸表面が振動する様子を映像とともに記録する。顕微鏡下で幼虫の摂食の様子を振動測定と同期撮影し、映像解析と振動解析を同時解析することでキノコバエの咀嚼と振動発生の関係を解明する。記録に適した非接触型レーザードップラ振動計を選定し、年度内に購入を完了する。

成果：フタマタナガマドキノコバエの終齢幼虫において、シイタケ菌糸摂食時の咀嚼振動及び映像を記録した。映像解析の結果、本種幼虫は培地上の菌糸をうまく削ぎながら摂食することがわかった。咀嚼と嚥下を繰り返すため、1.5～2.0秒程度の持続期間の振動が断続的に繰り返されることで特徴的な波形が構成されることが明らかになった。優位周波数領域は100 Hz以下であった。今回の測定では、摂食行動を示している幼虫にできるだけ近接した菌糸表面にレーザー光を照射することで波形が得られた。幼虫が動くことに加えて菌糸表面は微小な凹凸があるため、効率よくレーザーの反射光を得ることが極めて難しく、安定した測定が困難であることがわかった。これを解決するレーザードップラ振動計の仕様について判明したため、該当する仕様をもつ機種を購入を完了した。

#### 67. 2 イ aPS10 種子・苗木病害の診断技術および防除法の高度化

目的：近年増加しているコンテナ苗生産では苗木に発生する病害が問題となっている。本課題では、主要苗木病害の種類とその生態を樹種ごとに解明すること、苗木病害の簡便な早期診断技術を開発すること、および有効農薬の選抜と施用技術の確立のための情報収集をすることにより、苗木病害対策の技術をまとめ、苗木生産の高度化、効率化、低コスト化を進める原動力となることを目標とする。

方法：コンテナ苗生産で多発しているスギ苗木立枯病の罹病苗からは病原菌とされる糸状菌 *Fusarium* 属菌が多種類分離されている。これらのうち主要な病原菌を明らかにすることを目的として、15種類の *Fusarium* 属菌をそれぞれスギのコンテナ苗の根に接種し、根腐れ症状の程度を比較した。

成果：接種した苗の根を洗浄して観察した結果、接種した15種類は全て対照よりも根腐れ程度が大きかったことから病原性を有する可能性が示唆された。しかし再分離されなかった菌株もあったため、病原性の確認には追試が必要である。また、根腐れを引き起こす程度が *Fusarium* 属菌15種類の間で異なったことから、主要な病原菌が一部に限られる可能性が示唆された。

#### 68. 2 イ aTF6 屋久島における樹木寄生菌の多様性評価

目的：屋久島は面積約500 km<sup>2</sup>、周囲132 kmの島でありながら、亜熱帯から冷温帯までの気候帯が集約されている世界的に見ても稀有な生態系といえる。その生態系は日本列島の植生の縮図であるといわれ、様々な分類群の生物調査が行われてきた。その中で、樹木寄生菌は森林の恒常性維持に重要な役割を果たしており、その実態把握は当該エリアの保全において重要である。近年の気候変動の影響が直接的、間接的に被害発生につながるリスクが高まっており、特に屋久島という森林生態系の重要な保全地域について、森林管理や保全施策を構築する上で、早急に樹木寄生菌の実態を把握する必要がある。本研究では屋久島の異なる標高域の気候帯ごとに樹木寄生菌を探索し、種を明らかにするとともに、宿主ごとに日本本土との比較を通じて、屋久島における樹木寄生菌の実態を明らかにする。

方法：屋久島の標高別に観察エリアを設定し、スギだけでなく様々な樹種に発生している樹木寄生菌をサンプリングして種同定した。

成果：屋久島内で低標高から高標高まで天然分布するヒサカキについて、近年本州で発見された枝葉枯病が、標高 150 m、600 m および 1210 m で発生していることが確認され、サンプルを採取した。このことは屋久島の亜熱帯植生、暖温帯植生および冷温帯植生に同じ樹木寄生菌が生息していたことを示している。次年度までの調査で数多くのサンプルリングをすることにより、屋久島における樹木寄生菌の生息実態を明らかにする必要がある。

#### 69. 2 イ bPF19 花粉飛散直前でも散布効果のあるスギ・ヒノキ・シラカンバ花粉飛散抑制剤の開発

目的：花粉症の有病者が増加する中、花粉症の原因であるスギ等の花粉飛散抑制剤が必要とされている。既存のスギ花粉飛散抑制剤は、開花前年の夏から秋に処理効果を得るものであった。一方で、雄花が目立つ開花直前の冬期低温下において植物ホルモン処理によって花粉飛散抑制効果が得られることを明らかにしてきた。本研究では、植物ホルモンを用いて、スギ等雄花の開花直前でも散布効果のある花粉飛散抑制剤を開発することを目的とする。

方法：花粉飛散抑制効果の判定法開発のため、非破壊で内部撮影可能な X 線 CT 装置を購入し、容器に入れたスギ雄花試料を非破壊迅速撮影することによって、画像上での花粉有無判別を可能とする。

成果：非破壊で内部撮影可能な X 線 CT 装置を購入し、容器に入れたスギ雄花試料を非破壊撮影した結果、画像上での花粉有無判別ができた。これによって、花粉に触れずに効果判定が可能になり、また冷凍保存後のサンプルでも判定可能になった。サンプルの冷凍保存が可能となったことにより、これまで短期集中で実施した判定法よりも長期間にわたり作業可能になることが予想され、処理サンプルの増加による評価精度向上が見込まれる。

#### 70. 2 エ aPF24 木の酒の社会実装に向けた製造プロセスの開発と山村地域での事業条件の検討

目的：「木の酒」の事業化に向けて候補となる樹種の各地域での分布状況を明らかにするために、全国的な調査データと環境省の植生図を用いてニッチモデルで分布予測し樹種別にマップ化する。モデル山村地域で持続的な製造を行う場合の必要な条件を具体化し、「木の酒」の事業運営に必要な林業的観点からの課題を整理する。

方法：候補樹種（スギ、シラカンバ、ミズナラ、クロモジ、サクラ、ヒノキ、ブナ、イタヤカエデ）の分布予測モデルの精度検証と GIS によるマッピングを行う。モデル山村地域の施業候補地において、各樹種の賦存量を伐採等の作業に必要な林道の配置等を考慮し実際に利用可能な資源量を推定した。

成果：「木の酒」の候補として試験を実施する、スギ、シラカンバ、ミズナラ、クロモジ、ヤマザクラ、コナラ、タカノツメ、ネズミサシの 8 樹種にウワミズザクラとカスミザクラを加えた合計 10 樹種について、国際的な多様性データベースである GBIF (Global Biodiversity Information Facility) から樹種データを抽出し、3 次メッシュごとの出現確率を予測し、樹種ごとの分布マップを作成した。解析ではより現実的な分布に近づけるために、土地改変（都市、田畑、人工林）の大きさに応じて出現確率を重み付けし、改変率の大きい場所における出現確率を下げてマップ化した。この結果、樹種ごとに分布確率の高くまとまった個体群が存在する地域が明らかとなり、原木調達の観点から今後事業展開が可能な地域を可視化することができた。モデル山村地域である滋賀県東近江市において、コナラを主体とする植物群落について、環境省の 1/50000 現存植生図を用いて、東近江市内における面積を集計した。集計は、ポリゴンベースの植生図情報を 250 m グリッドデータに変換し、コナラを多く含むクスギ・コナラ群集、アカマツ群落、モチツツジ・アカマツ群集の各グリッド数をカウントすることで群落面積とした。コナラが多い植生タイプは、比較的アクセスの良い里山地域に分布しており、昔から人手が入った二次林が多く、今後木の酒事業展開のための施業を進める候補である。このエリアについて、コナラが賦存する植生タイプの面積を推定したところ、コナラ群落で 4.45 km<sup>2</sup>、アカマツ・コナラ群落で 53.55 km<sup>2</sup> と推定された。コナラを主体とする植物群落に現存する樹木の種類、本数、サイズなどの林分構造を明らかにするために、胸高直径 5 cm 以上の樹木を対象として東近江市大森町および萱尾町、茨川、杠葉尾町の広葉樹二次林で現地調査を実施した。その結果、地域によって広葉樹林の樹種構成がかなり異なり賦存量も違うことが明らかとなった。東近江市における樹木の胸高直径、樹高の実測値から、広葉樹の一変数材積式を調整し、プロットに出現した樹種別の幹材積を推定した。その結果、コナラの幹材積は 33.8～189.5 m<sup>3</sup>/ha と幅があった。この数値からアカマツ・コナラ群落における市内のコナラの推定賦存量（幹材積）を試算したところ、約 18 万～101 万 m<sup>3</sup> と推定された。



**71. 2 エ bPF5 ヤナギ超短伐期施業技術を活用した木質バイオマス燃料供給体制構築の実証事業**

目的：ヤナギバイオマス生産の商業ベースでの事業モデルの確立

方法：千葉県および宮崎県でのヤナギの大規模生産の実証試験

成果：早生樹で燃料用木質バイオマスとして注目されるヤナギの優良系統抽出による造林試験およびその経営面における経済性の評価を継続的に行っている。本年度においては、ヤナギの超短伐期施業に適した場所を植生図等の環境情報と空間解析を組み合わせる手法を開発した。

