

愛知県森林・林業技術センター報告

Bulletin of
Aichi Prefectural Forest and Forestry Research Center

No.59

令和4年7月

June 2022

愛知県森林・林業技術センター



目 次

【研究報告】

◆循環型林業の推進のためのスマート林業及び木材利用の推進◆

航空レーザ計測データを活用した簡易な森林資源量評価手法の開発	岩下 幸平ほか	1～13
ICTを活用した森林被害管理手法の開発	狩場 晴也ほか	14～28
林業用ドローンによる苗木等の運搬方法の検討	藏屋 健治	29～34

◆森林の整備による多面的機能の発揮◆

強度間伐地における施業効果の評価（第1報）	門屋 健ほか	35～44
-----------------------	--------	-------

【業務報告】

◆循環型林業の推進のためのスマート林業及び木材利用の推進◆

航空レーザ計測データを活用した溪床の安定勾配の検証	岩川 昌暉	45
航空レーザ計測データを活用した簡易な森林資源量評価手法の開発	岩下 幸平	46
エリートツリーの種苗生産技術に関する研究	狩場 晴也	47
ICTを活用した森林被害管理手法の開発	狩場 晴也	48
作業の省力化に向けた林業機器等の改良	藏屋 健治	49
早生樹の材質特性に関する研究	岩川 昌暉	50

◆森林の整備による多面的機能の発揮◆

早生樹の種苗生産及び育林技術に関する研究	岩下 幸平	51
コンテナ苗の生産技術の高度化に関する研究	豊嶋 勲	52
強度間伐地における施業効果の評価	門屋 健	53
竹林駆除技術の開発	藏屋 健治	54

【調査報告】

既存試験地の継続調査	藏屋 健治	55
樹木加害性昆虫の被害発生状況調査	岩下 幸平	56

【資料】

1 林木種子の発芽検査（2021年度）	浅岡 郁雄ほか	57
2 公表実績等（2021年度）		58～62
3 森林・林業研修実績（2021年度）		63
4 森林・林業関係相談等実績（2021年度）		64
5 学会発表（口頭・ポスター）要旨（2021年度）		65～66
<執筆要領>		67～68

研 究 報 告

航空レーザ計測データを活用した簡易な森林資源量評価手法の開発

2019 年度～2021 年度

岩下幸平^{*}・釜田淳志^{*}

要 旨

普及型 UAV を用いた航空写真による森林資源量解析について調査し、現在普及している鉛直方向の撮影と比較して、鉛直方向の撮影に斜め方向の撮影を併用することで、安定して立体構造の再現の精度を高められることを確認した。また、簡易的に実施可能な樹頂点の自動抽出手法について、5 か所の調査プロットにおける正解率を一般化線形混合モデルを用いて比較することで、現在一般的に使用されているフィルターサイズを固定した局所最大値フィルター法より抽出精度の高い可変フィルターによる局所最大値フィルター法による樹頂点抽出について、その最適なフィルターサイズを明らかにした。

I はじめに

近年の技術革新により、小型無人飛行機(以下、UAV)の低価格化と操作の簡易化が進んでいる。それに伴い、これらを用いて森林調査を高効率に実施できる手法について様々な手法が開発されてきている。愛知県においても森林組合等の林業事業体ですでに導入され、伐採跡地の状況確認等に活用されており、また『あいちの ICT 林業活性化構想』(愛知県 2019)の中で、森林所有者や管理者、素材生産業者について UAV の導入と操縦する人材の育成を図るとしている。

一方で、比較的安価な普及型 UAV を用いた森林情報の把握手法については、国内において資料が不十分であり、機体を導入した林業事業体においてもその機能が十分には発揮されていない場合が多い。中でも機体を安全に飛行させながら森林の写真撮影する手法について説明したものが少なく、また得られた写真から事業体等が必要とする樹頂点等を抽出する手法について体系的に解説したものはほとんど見受けられない。

正射投影画像(以下、オルソ画像)や立体情報の取得を目的として UAV を用いて航空写真を撮影する際、自動航行によって連続的に写真を撮影

することが多い。これは、後の解析に必要な写真を漏れなく撮影する上で望ましいだけでなく、手動で撮影を実施する場合に比較して操作者の負担を減らすことができる。一方で、愛知県内の森林は起伏に富んでおり、障害物への接触や航空法における地上 150m 以上への飛行制限といったものに特に注意する必要がある。また撮影対象への距離が同一プロジェクト内で大きく異なってしまうことはその後の解析に悪影響を及ぼす可能性がある。そのため、地形に沿って飛行ルートを作成する必要がある。

しかしながら、自動航行において一般的に利用されている DJI GS Pro や DJI Pilot、Pix4d Capture 等は、地形に沿った撮影プロジェクトを作成するのが難しい。一方で、Litchi や UgCS といった一部のアプリケーションでは、PC 上で地形データを取り込み地形に沿った飛行プロジェクトが作成できるようになっているため、森林域での撮影ではこれらを用いることが望ましいと考えられる。

UAV に限らず写真による測量では、使用したレンズの光学特性を補正することで高精度な測量が可能となる。レンズの光学特性を把握する際には、同一の物体について重なりのある複数の写真を撮

Kouhei IWASHITA, Atsushi KAMATA: Development of Easy Forest Resources Evaluation method Using LiDAR Data

^{*} 現新城設楽農林水産事務所

影し、その特徴点の三次元的構造から逆算する手法が一般的である。一方で、UAVによる航空写真撮影として一般的に行われている同一平面から鉛直方向の撮影では、立体構造の把握の上で特に大切な奥行き方向のパラメーター（ f 値）の算出が原理的に不可能であり、奥行き方向の精度が安定しない（神野 2020）。奥行き方向の精度が低いということは、森林の計測においては樹冠部の立体構造の計測精度が低いということであり、これは森林の調査において重要な項目であるため、現状普及している手法は樹高や材積の計算に適していないと言える。中でもドーム状変形と呼ばれる撮影範囲の中心が盛り上がり推定される現象が知られており、この場合樹高を過大に推定することとなる。地上基準点を増やすことでこれらを解消することも考えられるが、基準点の測量時間が増大し調査効率が著しく悪化するほか、森林では地上基準点の設置や測量が制限されるため現実的な方法ではない。一方で、これらのパラメーター推定には、写真の撮影方向を鉛直方向から傾けた写真を併用することで解消されることが知られている（神野 2020）。

しかしながら、森林において UAV を用いて調査を行う事例については、斜め撮影の有効性について検討した事例は見当たらず、例えば林野庁による国有林における収穫予想調査を目的とした UAV による立木調査マニュアル（林野庁 2019）でも、斜め撮影については言及がない。斜め撮影の有効性を示すことは、森林における UAV を用いた調査に対してより安定して奥行き方向の精度向上に資すると考えられる。

撮影結果から得られる森林の情報として、オルソ画像や三次元モデルによる樹高や立木本数、樹冠面積や樹冠体積、そしてそれらを用いた材積の推定がある。一方で、空撮画像による樹高と樹冠面積、もしくは樹冠体積から材積を推定する手法

については、対象とする林分での空撮画像と照らし合わせた現地調査を要するものが多いが、これにはプロット調査より労力を要するため、林業の省力化の推進を考えると現場への導入は難しい。また、精度の期待できる幹材積の推定手法については、既往研究で報告がされているため、今回は三次元モデルから樹高や立木本数を抽出することを目的とした。

その手法としては、樹頂点が一般的に三次元モデルにおける極大値となる性質を用い局所最大値フィルター法（Local Maximum Filter）による抽出が一般的に行われている。局所最大値フィルター法は、適切なフィルターサイズを設定することで抽出精度が高くなると考えられるが、日本の森林において普遍的に用いることのできるフィルターサイズは明らかになっていない。また、一般的に樹木は樹高が高くなるほど樹冠投影面積も大きくなるため、調査林分の樹高が高くなるのであればより大きいフィルターを設定すべきであると考えられる。そこで、フィルターの中心の高度に対してサイズが変化する可変フィルターによる抽出が、フィルターサイズが固定されている場合よりも抽出精度が高くなると考えられるが、前述と同様に日本国内において適した可変フィルターについては明らかになっていない。

そこで本研究では、普及型 UAV による航空写真撮影について安全に安定した品質の写真を撮影する手法について明らかにし、また森林の管理の上で重要となる樹頂点の自動抽出手法について、固定フィルター、可変フィルターともに最適なフィルターサイズを明らかにした。さらに上記の最適なフィルターサイズに基づいた結果について、愛知県が 2018 年に実施した航空レーザ計測データ（以下、県航空レーザ計測データ）や民間事業者によるリモートセンシングサービスによる結果と比較し、各手法の特徴について明らかにした。

II 方法

1. 撮影方法の検証

普及型 UAV を用いた森林情報の把握手法について、現在普及している鉛直方向の撮影と、斜め方向の撮影を併用した手法について比較するため、2021年3月30日に愛知県森林・林業技術センター（以下、林業センター）の敷地内にあるスギ植栽地で、安全な自動飛行ルート設定と斜め方向の撮影による精度向上に関する調査を行った。

調査に用いた機材のうち、UAV は DJI 社の Phantom 4 pro+ を使用した。機体の運行に用いるプログラムには、VC Technology 社の Litchi for DJI Drones を用いた。撮影プロジェクトの作成は、村上・篠原（2019）を参考にした。地形データには県航空レーザ計測データによる DEM（Digital Elevation Model、数値標高モデル）を.tiff ファイル（測地系：JGD2000 第7系、解像度：25cm×25cm）から SAGA GIS 上でポイントシェープファイルに変換し、測地系を WGS84 pseudomercator に再投影した。そのシェープファイルに対して三角網法（Triangulation）により内挿補間を行い、.asc ファイル（測地系：WGS84 pseudomercator、解像度：10cm×10cm）としたものを地形データとした。まず鉛直方向撮影のプロジェクトを作成し、次に斜め方向撮影のプロジェクトを、鉛直方向のプロジェクトのルートに対して 45° 回転させたルートで作成し、カメラの角度は鉛直方向を -90° とし、-60° とした。調査地内の周囲 4 点に地上基準点（以下、GCP）を設置し、GCP の中心に、ビズステーション株式会社の Droger PRO1RWS を 2m の紅白ポール先端に据え付けた RTK 測量機を設置して GNSS 衛星からの搬送波のデータを取得した。計測時間は約 1 時間とした。取得した搬送波のデータについて、RTK 解析ソフトである RTKLIB を用いて国土地理院より取得した最寄りの電子基準点における GNSS 衛星搬送波データお

よび電子基準点のアンテナの特性データ、ジオイドデータとともに後処理基線解析を実施し、GCP の位置を求めた。また、調査地の中心付近に検証点を 1 つ設置し、これも GCP と同様に測量した。県航空レーザ計測データによる標高データに対して 65m 上空を飛行高度として地形に沿って飛行させ、オーバーラップ率は前後方向と左右方向ともに 90% とした。写真パラメーターは、表-1 のとおりとした。また、流し撮影ではなく各撮影地点で機体を静止させて撮影を行った。得られた写真について、SfM ソフトウェアである Agisoft 社の Metashape を用いて表-2 のとおりの設定で 3D モデルを作成した。以降の解析も含め、いずれもアラインメント時に汎用事前選択はオンに、座標事前選択はオフにした。アラインメント実施後に各 GCP 及び検証点における座標の誤差とモデル作成時に推定されたレンズパラメーターのうち f 値を記録した。

2. 立木抽出手法の検証

森林における樹頂点抽出手法の調査のため、北設楽郡東栄町大字足込字黒畑と豊田市和合町の 2 つの皆伐地に調査地を設置した。各調査地の撮影状況及び写真パラメーターは、表-1 のとおりとした。斜め方向の撮影プロジェクトは、鉛直方向の撮影プロジェクトのルートに対して 30° 回転させ、カメラ角度は -60° とした。調査範囲の周囲 3 点に GCP を設置し、上述の手法と同様に Droger PRO1RWS を用いて位置を測量した。皆伐前、皆伐後にそれぞれ撮影を行い、3D モデルを表-2 のとおりのパラメーターを設定して作成した。なお高密度クラウド作成時に深度フィルターはオフにし、モデル作成時にサーフェスは自由形状を選択した。また、モデル、DEM、オルソ画像のソースは高密度クラウドとした。皆伐後の撮影で枝条等が積まれておらず伐根が視認可能な水平 20m×20m のプロットを、足込黒畑の調査地に 2

つ、和合町の調査地に3つ設置した。また、プロットに対して中心及び辺の方向が同一な30m×30mの枠を設け調査のバッファゾーンとした。

県航空レーザ計測データのDEMを.tiffファイル(測地系:JGD2000第7系、解像度:25cm×25cm)からSAGA GIS上でポイントシェープファイルに変換し、測地系をWGS84 53Nに再投影した。そのシェープファイルに対して三角網法(Triangulation)により内挿補間を行い、.tiffファイル(測地系:WGS84 53N、解像度:10cm×10cm)としたものを地形データとした。Metashapeを用いて作成したDSM(Digital Surface Model、数値表層モデル)から地形データをQGIS上で差し引いたものをDCHM(Digital Canopy Height Model、数値樹冠モデル)とした。

作成したDCHMを、統計解析ソフトであるR 4.2.0(R Core Team 2022)に、地理解析パッケージであるraster(Hijmans2022)を用いて取り込み、森林解析パッケージであるForestTools(Plowright and Roussel 2021)を用いて局所最大値フィルター法による樹頂点抽出を行った。本パッケージの局所最大値フィルター法では、フィルターサイズを $F(x)$ 、フィルター中心ピクセルの値を x として

$$F(x)=Ax+B$$

という一次式として設定することが可能であり、 A を0とすれば固定フィルター、 A を0以外の実数とすれば可変フィルターとして樹頂点抽出が可能である。そこで、 A と B を表-3のとおり設定し抽出を行った。また、最小樹高を10mとし、抽出された点のうち高さがそれより小さいものを除去したものを樹頂点とした。

皆伐前の撮影による3Dモデルの形状と、皆伐後の撮影による3Dモデル上の根株位置から実際の樹頂点(True)を作成した。局所最大値フィルター法によって抽出された点を実際の樹頂点と比

較し、各フィルターサイズの抽出について、Correct(抽出成功:抽出結果のうち実際の樹頂点と一致したもの)、Commission(過剰抽出:抽出結果のうち実際の樹頂点がないにもかかわらず抽出されたもの)、Omission(抽出失敗:実際の樹頂点があるにもかかわらず抽出結果に一致するものがなかったもの。なお、CorrectとOmissionの和がTrueとなる。)の3つを目視で計数した。抽出精度の指標として、機械学習を用いた分類において普遍的に用いられる評価指標であるAccuracy(正解率)を以下の式により算出した。

$$Accuracy = (Correct) / (True + Commission)$$

この値は、必ず0以上1以下となるものである。つまり、正常な抽出が全くなければCorrect=0となることで0となり、実際の樹頂点と全く同じ抽出ができればCorrect=TrueかつCommission=0となることで1となり、それ以外の場合で0より大きく1より小さい値をとる。この値が高い抽出結果が精度の高い抽出手法である。AとBの組み合わせによる抽出のCorrect、Commission、Accuracyについて、一般化線形混合モデルを用いた分散分析によってAとBが与える影響を調べた。解析にはRの一般化線形混合モデルのパッケージであるlme4を用いた(Douglas, et al. 2015)。応答変数がCorrectの場合とCommissionの場合は、説明変数をA、BとA・Bの交互作用項とし、ランダム効果は各プロットに割り振った番号とした。誤差構造は応答変数がCorrectの場合には二項分布としリンク関数にはlogitを、応答変数がCommissionの場合には負の二項分布とし、リンク関数にはlogを設定した。作成した一般化線形混合モデルについて、パッケージcar(John and Sanford 2019)を用いて分散分析によりAとBが応答変数に与える影響について調べた。応答変数がAccuracyの場合、一般的にフィルターサイズが小さければ樹頂点は抽出されやすくなるが、側枝

等の誤抽出も増え、フィルターサイズが大きいと誤抽出は減るが抽出される樹頂点も減ると考えられることから、A もしくは B を十分に小さい値から大きくしていくとある値で Accuracy は最大となり、それ以上では小さくなる一山型の挙動を示すと考えられる。そこで、説明変数として A、B と A の二乗項と B の二乗項、そして上記 4 変数の交互作用を設定した。ランダム効果は各プロットに割り振った番号とした。誤差構造は二項分布とし、リンク関数には logit を設定した。作成したモデルについて、パッケージ MuMIn (Bartoń, 2022) を用いて変数減少法によるモデル選択を行い、AIC が最小のモデルを最適モデルとして採用した。最適モデルに対して今回実施した抽出の A と B、プロット番号を適用し、固定フィルター (A=0) と可変フィルター (A>0) でそれぞれ Accuracy の推定値が最大となった際のフィルターサイズを求めた。また、最適モデルによる Accuracy 推定値の最大値と、その最大値を与えるフィルターサイズで抽出を行った際の Accuracy とを比較した。

3. リモートセンシング手法の比較

2. 立木抽出手法の検証で求めた最適なフィルターサイズを用いて局所最大値フィルター法による抽出を実施した結果について、各プロットで県航空レーザ計測データによる抽出結果、レーザヘリによるリモートセンシング技術による森林調査サービスを提供している A 社、UAV 写真測量によるリモートセンシング技術による森林調査サービスを提供している B 社の抽出結果と比較した。なお、レーザヘリによる調査が林分に対する点群密度が最も高く樹冠下の樹幹の抽出が可能であるため、これを最も正しいデータとして本数、樹高、樹冠面積について比較を行った。樹高と樹冠面積についてはそれぞれを応答変数として手法を説明変数に、調査地(東栄町足込黒畑と豊田市和合町)をランダム効果、誤差構造としてはガンマ分布(リンク関数は log) として lme4 を用いて一般化線形混合モデルを作成し、car により分散分析を行った。なお、県航空レーザによるデータについては樹冠面積が保存されていなかったため除いた。

表-1 各調査地の撮影状況と写真パラメーター

調査地	撮影状況	撮影枚数	撮影日	露光時間	ISO	絞り
森林・林業 技術センター	鉛直撮影	151	2021年3月30日	1/500	100	F3.2
	斜め撮影	237	2021年3月30日	1/500	100	F3.2
東栄町足込黒畑	伐採前	634	2021年8月26日	1/640.2	100	F4
	伐採後	804	2022年3月16日	1/1000	100	F3.2
豊田市和合町	伐採前	1481	2021年10月29日	1/500	100	F4.5
	伐採後	1562	2022年3月2日	1/1000	100	F3.2

表-2 各調査地の SfM・MVS 解析パラメーター

調査地	撮影状況	アラインメント精度	高密度クラウド作成品質
森林・林業 技術センター	鉛直撮影	最高	—
	斜め撮影併用	最高	—
東栄町足込黒畑	伐採前	最高	最高
	伐採後	高	高
豊田市和合町	伐採前	最高	最高
	伐採後	高	中

表-3 AとBの
組み合わせ

A (m)	B (m)
0.00	0.6 ~ 1.7
0.01	0.3 ~ 1.4
0.02	0.1 ~ 1.4
0.03	-0.1 ~ 1.0
0.04	-0.3 ~ 0.7
0.05	-0.6 ~ 0.3

Bは0.1刻みで変化させた。

表-4 推定したf値とGCP及び検証点の誤差

地点	森林・林業技術センター		東栄町足込黒畑		豊田市和合町	
	鉛直撮影	斜め撮影併用	伐採前	伐採後	伐採前	伐採後
f値	3437.35	3623.84	3622.30	3624.13	3622.36	3621.21
GCP1	21.3025	1.5803	—	4.0443	2.4471	2.1836
GCP2	23.5496	1.5158	0.9690	3.6015	4.3174	3.3731
GCP3	18.3919	1.6341	1.7855	3.6991	3.7790	3.8532
GCP4	18.9663	2.6830	2.2289	3.6549	—	—
GCP合算	20.6541	1.9147	1.7412	3.7540	3.6013	3.2142
検証点	25.0475	7.9248	—	—	—	—

(f値は単位なし、それ以外はcm)

Ⅲ 結果

1. 撮影方法の検証

鉛直撮影の場合、4つのGCPにおける最適化後の誤差が3軸合成で20.65cmであったのに対し、斜め撮影併用の場合1.91cmであった。また検証点の差は前者が25.05cmに対して後者が7.92cmであった(表-4)。

カメラパラメーターのうちf値の推定について、デフォルトで設定されている値が3648だったのに対して、鉛直方向のみで解析した場合が3437.35であり、斜め撮影を併用した場合は3623.84となった。

2. 立木抽出手法の検証

3Dモデルの作成にあたり、推定されたf値とGCPにおける誤差は、表-4のとおりとなった。根株や3Dモデルから目視で抽出した各プロットの樹頂点数は、表-5のとおりであった。応答変数をCorrectとした場合もCommissionとした場合も、AおよびBが大きくなると応答変数は有意に減少した(表-6、図-1、図-2)。応答変数をAccuracyとした場合の最適モデルは、表-7のとおりであり、Accuracyの推定値はあるAを与えたときあるBで最大となる一山型の挙動を示した(図-3)。そのモデルについて表-3の説明変数およびランダム効果を代入した場合、固定フィル

ター(A=0)のときのAccuracyの推定値が最大となるフィルターサイズは1.2mであり、そのときのAccuracyの推定値は表-8のとおりであった。可変フィルター(A>0)のときのAccuracyの推定値が最大となるフィルターサイズは、 $0.03x+0.5m$ であり、そのときのAccuracyの推定値は、表-8のとおりであった。つまり、可変フィルターの方がAccuracyが高くなると推定された。また、実際に各フィルターサイズで抽出を行った際のAccuracyは、表-8のとおりであり、5プロットのうち4プロットで固定フィルターより可変フィルターの方がAccuracyが高かった。

3. リモートセンシング手法の比較

各手法について抽出本数を比較すると表-9のとおりであり、最も正しいと考えられるA社レーザに対して東栄町足込黒畑におけるB社UAVによる調査以外は少なく、特に林業センターUAVが最も少なかった。

調査手法が樹高と樹冠面積に与える影響については、表-10のとおりであり、調査手法によって樹高と樹冠面積には有意に差が認められたが(図-4、図-5)、樹高は県航空レーザが最も小さいものの手法間で差が小さいのに対し、樹冠面積は林業センターUAVが最も大きく、また手法間で差が大きかった。

表-5 各プロットの樹頂点数

樹種	東栄町足込黒畑		豊田市和合町		
	プロット1	プロット2	プロット1	プロット2	プロット3
スギ	0	13	3	2	2
ヒノキ	27	0	17	31	43
計	27	13	20	33	45

表-6 Correct及びCommissionに対してAとBが与える影響

応答変数	説明変数	係数±標準偏差	z値	Pr値
Correct	(Intercept)	3.7043±0.1743	21.25	<0.001 ***
	A	-54.7491±2.9881	-18.32	<0.001 ***
	B	-2.2621±0.1025	-22.06	<0.001 ***
	A:B	0.4673±2.9127	0.16	0.875
Commission	(Intercept)	6.1518±0.4280	14.373	<0.001 ***
	A	-87.9358±4.6884	-18.756	<0.001 ***
	B	-3.5633±0.1821	-19.563	<0.001 ***
	A:B	-14.1183±5.1364	-2.749	<0.01 **

表-9 各リモートセンシング手法における抽出本数

手法	東栄町足込黒畑	豊田市和合町
A社レーザ	681	2788
県航空レーザ	506 (-175)	2061 (-727)
B社UAV	902 (221)	2441 (-347)
林業センターUAV	391 (-290)	1920 (-868)

表-10 樹高及び樹冠面積に対して計測手法が与える影響

応答変数	説明変数	係数±標準偏差	t値	Pr値
樹高	(Intercept)	3.2642±0.0950	34.343	<0.001 ***
	A社レーザ	0.0429±0.0059	7.237	<0.001 ***
	B社UAV	0.0475±0.0060	7.949	<0.001 ***
	林業センターUAV	0.0313±0.0065	4.795	<0.001 ***
樹冠面積	(Intercept)	3.0696±0.0452	67.885	<0.001 ***
	A社レーザ	-0.1591±0.0234	-6.799	<0.001 ***
	B社UAV	-0.5052±0.0236	-21.401	<0.001 ***

表一 7 AとBがAccuracyに与える影響について変数減少法により得られた最適モデル

順位	AIC	変数減少法により残った説明変数の係数														
		(Intercept)	A	A ²	B	B ²	A:A ²	A:B	A:B ²	A ² :B	A ² :B ²	A:A ² :B	A:A ² :B ²	A:B:B ²	A ² :B:B ²	
1	2097.878	-6.45	355.42	-6360.34	14.08	-9.22	38330.24	-414.63	21.93	5099.85	3072.15	1.84	—	-67664.32	51.93	-2030.96
2	2098.181	-6.14	328.32	-5569.40	13.22	-8.49	30726.70	-385.95	102.76	—	2697.19	1.65	—	—	—	—
3	2098.633	-6.78	391.04	-7466.48	15.28	-10.52	48721.34	-555.75	193.70	-1064.66	7721.42	2.27	-47315.15	—	—	-762.62
4	2098.819	-6.54	352.84	-6012.10	14.65	-10.10	32698.40	-445.56	139.28	26.63	3386.29	2.19	—	—	—	-424.02
5	2098.838	-6.35	342.20	-5862.49	13.98	-9.37	32574.43	-414.77	123.94	—	2976.29	1.96	—	—	-6.70	—

表一 8 固定フィルターと可変フィルターにおけるAccuracyとAccuracyの推定値の関係

調査地	プロット	Accuracyの最大値		Accuracy推定値の最大値		Accuracy	
		固定 (フィルターサイズ)	可変 (フィルターサイズ)	固定 (1.2m)	可変 (0.03x+0.5m)	固定 (1.2m)	可変 (0.03x+0.5m)
東栄町足込黒畑	1	0.5263 (1.5m)	0.5405 (0.03x+0.7m)	0.6308	0.6378	0.4884	0.5122
	2	0.7143 (1.5m)	0.7143 (0.04x+0.1m 等)	0.6677	0.6733	0.6667	0.6429
豊田市和合町	1	0.6957 (1.4m)	0.6957 (0.01x+1.1m 等)	0.6494	0.6559	0.6400	0.6957
	2	0.5556 (1.0m)	0.6053 (0.04x+0.1m)	0.6412	0.6479	0.5000	0.5294
	3	0.62 (1.0m)	0.62 (0.01x+0.9m)	0.6208	0.6280	0.5319	0.5636

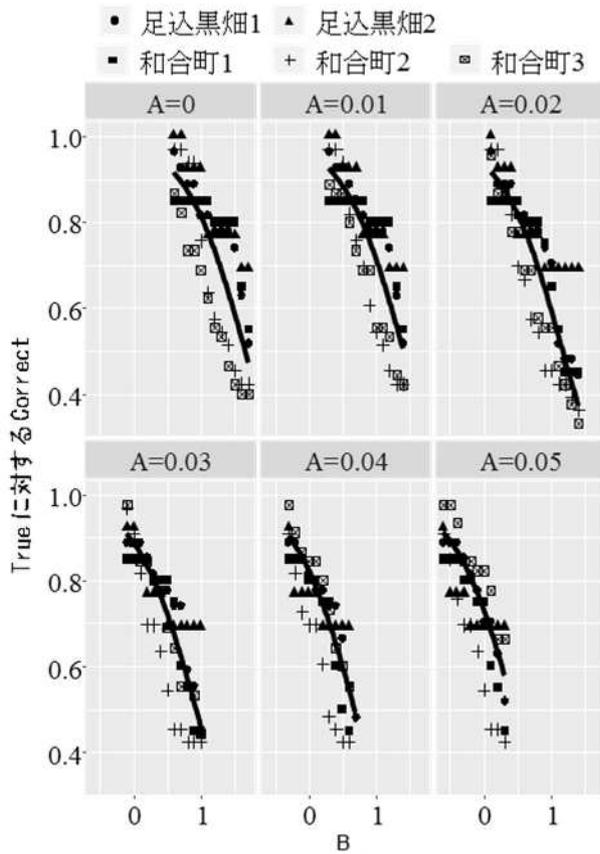


図-1 Correctに對するAとBの關係

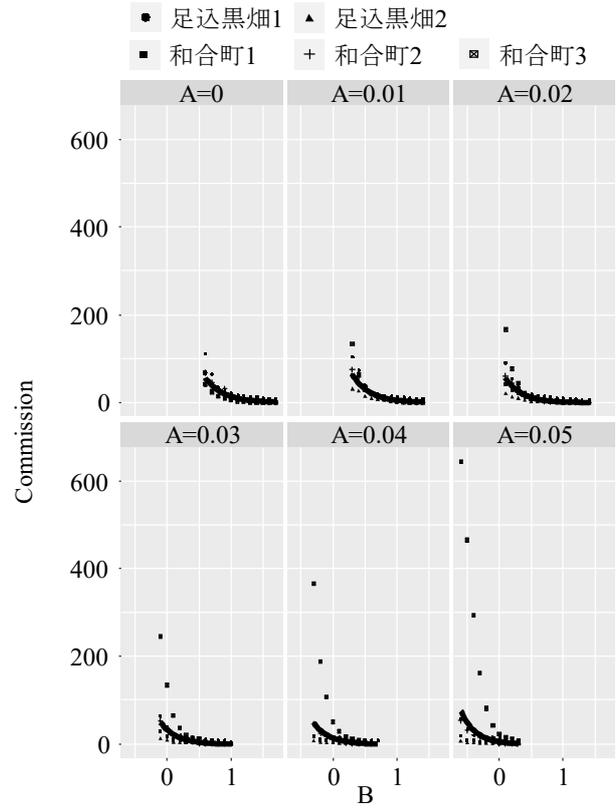


図-2 Commissionに對するAとBの關係

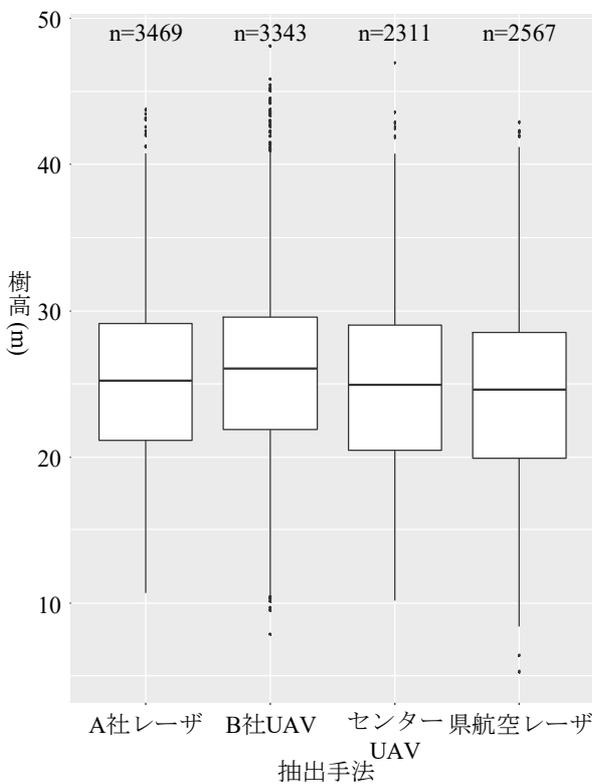


図-4 各抽出手法における樹高

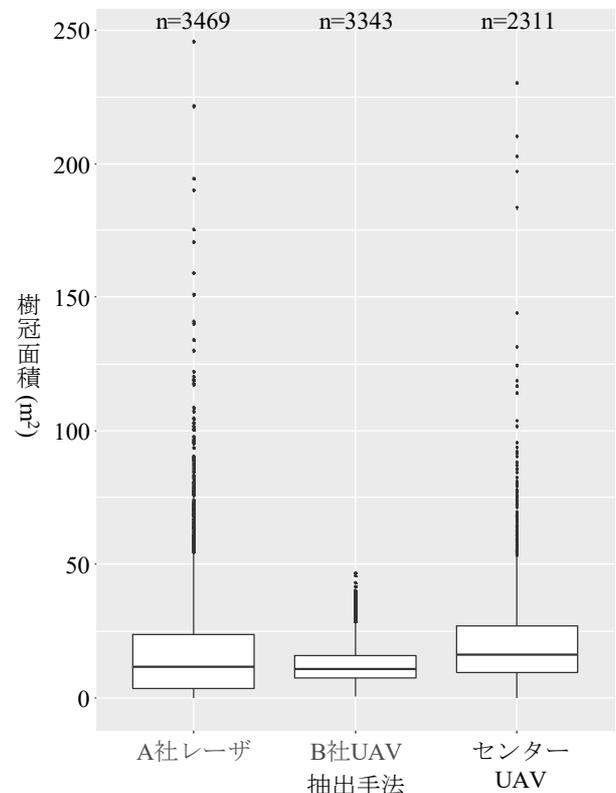


図-5 各抽出手法における樹冠面積

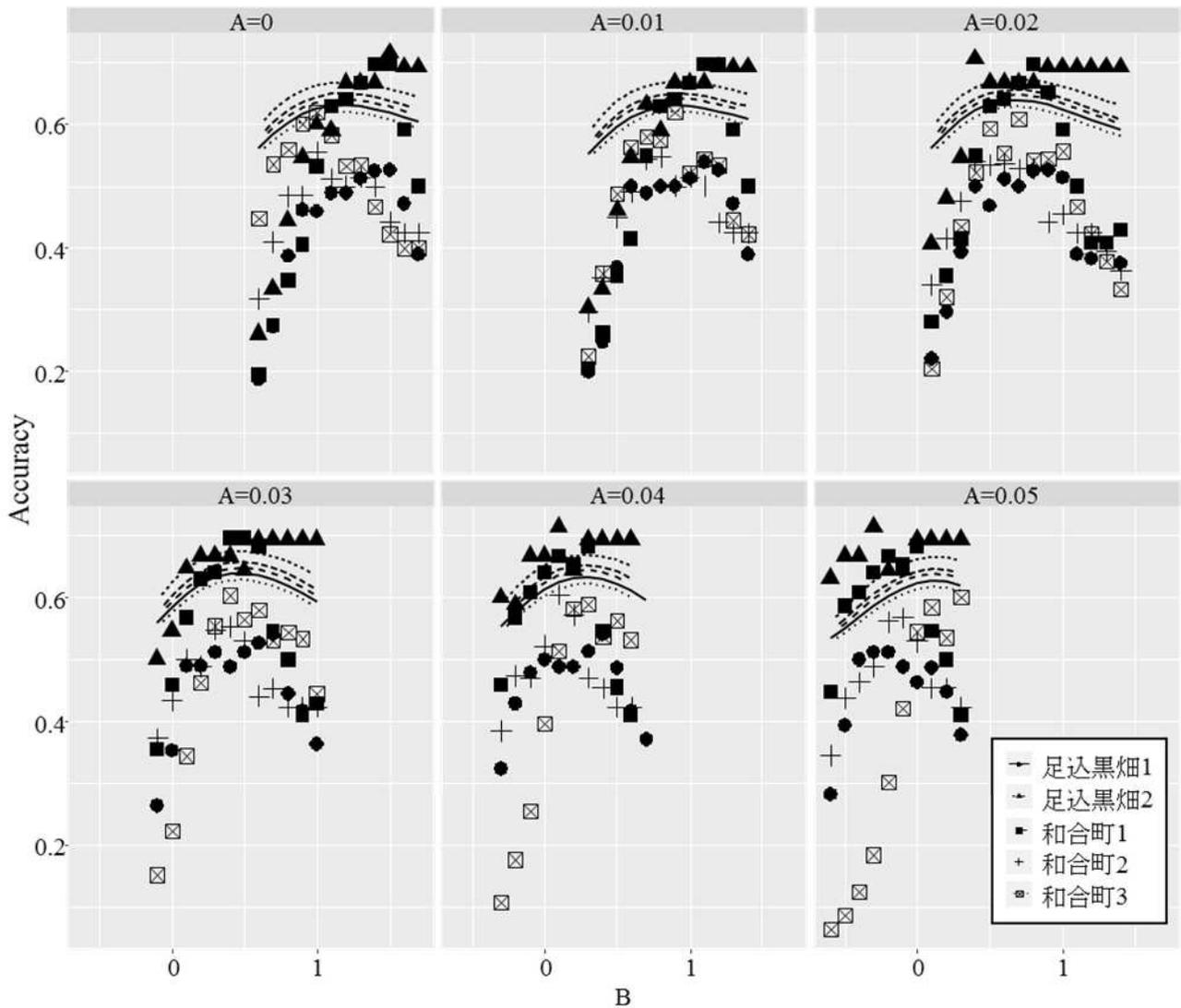


図-3 Accuracyに対するAとBの関係

IV 考察

1. 撮影方法の検証

今回は、Litchi for DJI Drones を用いて地形に沿った自動航行を行った。Web サービスである Litchi Mission Hub 上でのプロジェクトの作成は、従来用いられている DJI Pilot 等が UAV のプロポに接続するタブレット端末やスマートフォンで設定をしなければならないのと比較して安全かつ精密なプロジェクトをより簡単に作成できた。Litchi for DJI Drones は、1 ライセンス買い切り型で約 3,200 円であり、DJI Pilot や DJI GS Pro 等

が無料で利用可能なのに対し少々割高ではあるが、上記の理由により十分導入に値すると考えられた。

鉛直方向の撮影では、今回処理を実施した範囲では GCP の誤差が RTK による GCP の計測誤差である 5cm の範囲内に収まらず、検証点誤差も 25.05cm と大きかったのに対し、斜め撮影を併用することで各 GCP の誤差が RTK による計測誤差の範囲内に収まり、検証点での誤差も 10cm 以内に収まった。カメラパラメーターのうち f 値についても前者が 3437.35 に対して後者が 3623.84 であり、カメラのデフォルトの値である 3648 に対

して前者の方が差が大きかった。カメラパラメーターは、機体によって差があるためデフォルトの3648を真値として用いることは推奨されないが、鉛直方向の撮影の場合にはこれに対して機体の差とみなすには差が大き過ぎると考えられた。鉛直方向のみの撮影では、原理的にf値を求めることが不可能と言われている一方で、実際の撮影では風や機体に加わる慣性により撮影方向に微小な誤差が発生し、偶然にf値が求まる場合があるとされている。今回は、撮影地点ごとに機体を静止させて撮影していたため、一般に行われている流し撮りよりも撮影方向に加わる誤差が小さくなったことでよりf値の求まり難い条件となった可能性が考えられる。鉛直方向の撮影の解析においても他のレンズパラメーターの調整の設定を変更したり、f値を3623に固定したりすることでGCPの誤差を計測誤差の範囲内に収めることは可能かもしれないが、その場合、局所適応により検証点を含めてモデル全体の相対精度が低くなる可能性が考えられるため推奨されない。

これらのことから、Litchi for DJI Dronesにより地形に沿って斜め撮影を併用して実施することは、調査の安全性を高めるだけでなく解析についても信頼性を上げることが可能だと考えられた。

2. 立木抽出手法の検証

今回の結果から、固定フィルターよりも可変フィルターを設定した方が抽出の正解率が高くなる、つまり固定フィルターよりも可変フィルターの方が抽出精度が高いことがわかった。今回抽出に使用したForestToolsのデフォルトのフィルターサイズは $0.06x+0.5$ であり、今回最適となったフィルターサイズ $0.03x+0.5$ よりもフィルター中心の高さに対する係数であるAが大きかった。このパッケージに含まれているデータセットであるカナダブリティッシュコロンビア州のKootenay mountainにおけるデータでは、樹高が約2.0mか

ら13.5m、樹冠半径が約0.13mから4.16mであり、今回調査対象とした林分は、それと比較して先鋭な樹形となっていると考えられる。そのため、デフォルトで設定されているフィルターサイズよりも樹高に対する影響を小さくした方が適切な式になったと考えられる。このように、樹形の縦横比が異なる場合に適切なフィルターサイズを与える式は変わってくると考えられるため、今回用いた一次式によるフィルターサイズは、今後調査区域を増やすことでより広範囲に使用可能な式が出てくる可能性が高いが、一方で局所的には抽出精度が下がると考えられる。今後より柔軟なフィルターサイズを与える式の登場が望まれる。

3. リモートセンシング手法の比較

抽出本数については、東栄町足込黒畑におけるB社UAVを除いてA社レーザより少なくなった。今回の調査では、A社レーザを真値とした各手法における正解率を算出しておらず、また実際の出材状況と比較していないため十分な議論をすることは難しいが、A社レーザによる抽出は下層の被圧木や複数の株の樹冠が融合したようなものも個別に抽出可能なのに対し、写真による抽出であるB社UAVや林業センターUAV、高高度から実施する県航空レーザ計測では抽出が難しかったと考えられる。一方で、被圧木も抽出できているA社レーザと比較して手法間で樹高の差が小さいことについては、各手法で使用している地盤高のデータが異なっていることや(A社はA社レーザによる計測、林業センターUAVと県航空レーザは県航空レーザ計測、B社UAVは国土地理院DEM)、県航空レーザ計測は調査実施年度が他と比較して古いことが原因かもしれない。樹冠面積について見ると、A社レーザと比較して林業センターUAVの樹冠面積は少し大きく、B社UAVは大幅に小さかった。リモートセンシングによる材積算出では樹高とともに樹冠面積も使用するが、B社による抽

出は樹冠面積が低く抽出されるため材積も低くなる可能性が高い。林業センターUAVによる抽出は抽出本数は少ないが、樹冠面積が大きく抽出されるため材積については差が緩和される可能性がある。

V まとめ

今回の調査で、斜め撮影を併用した撮影が鉛直撮影のみの場合よりも三次元モデルの構築の再現性に優れていることを検証点誤差から確認し、実際の森林における調査でも斜め撮影の併用により撮影法比較試験の際に近いカメラパラメーターが得られたことから、森林における調査でも本撮影手法が有効であることを示すことができた。

前述の斜め撮影の併用による UAV 航空写真から作成した 3D モデルに対して簡易に実施可能な局所最大値フィルター法による樹頂点抽出について、固定フィルターでは 1.2m が、可変フィルターでは $0.03x+0.5m$ が最適だと示された。固定フィルターによる抽出の正解率は、可変フィルターによる抽出の Accuracy に比較して顕著に低いわけではないため、可変フィルターによる抽出が困難な環境では固定フィルターによる抽出も十分に視野に入ってくると考えられる。今回は、固定フィルターによる抽出と可変フィルターによる抽出の両方を実施するために統計解析ソフトウェア R 上で実施したが、固定フィルターであれば無料で商用利用可能な地理情報ソフトウェアである QuantumGIS 上で、TreeDensityCalculator プラグインを用いることで実施可能であるため、R の使用が難しい場合にはこれが推奨される。

抽出手法間の比較では、A 社レーザ計測を最も正しいものとする、林業センターUAVによる調査は最も抽出本数が少なく見積もられたが、樹冠面積は最も近かった。B 社 UAV については抽出本数が過少になる場合も過剰になる場合もあり、ま

た樹冠面積は小さく抽出された。県航空レーザ計測は抽出本数が過少となった。一回の計測における調査面積で考えると、A 社レーザ計測 10ha 以上、B 社 UAV と林業センターUAV は 10ha 以内なのに対し、県航空レーザ計測は県内全域を広く計測している。このことから、広い範囲に対して実施したい場合には航空レーザ計測が優れており、狭い範囲に対して地形データとともに精密に立木の情報を得たい場合にはレーザヘリ、狭い範囲について簡易的にデータを得たい場合には UAV による写真計測が適していると考えられた。また、県航空レーザと林業センターUAV を比較すると、抽出本数、樹高ともに差が少なかったため、今回開発した普及型 UAV を用いた抽出手法は、県航空レーザ計測に対して補助的に用いることが可能であると考えられた。

引用文献

- 愛知県農林水産部農林基盤局林務課 (2019) あいちの ICT 林業活性化構想. URL : <https://www.pref.aichi.jp/uploaded/attachment/290281.pdf>
- Bartoń K (2022) MuMIn: Multi-Model Inference. R package version 1.46.0, <https://CRAN.R-project.org/package=MuMIn>
- Douglas Bates, Martin Maechler, Ben Bolker, Steve Walker (2015). Fitting Linear Mixed-Effects Models Using lme4. Journal of Statistical Software, 67(1), 1-48. doi:10.18637/jss.v067.i01.caasacsa
- Hijmans R (2022) raster: Geographic Data Analysis and Modeling. R package version 3.5-15, <https://CRAN.R-project.org/package=raster>

神野有生 (2020) SfM-MVS の精度確保のための
注意点. (ドローンによる撮影・リモートセン
シング技術とビジネス活用. 岩田、情報機構).
254-261

John Fox and Sanford Weisberg (2019) An {R}
Companion to Applied Regression、 Third
Edition. Thousand Oaks CA: Sage. URL:
[https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/
Companion/](https://socialsciences.mcmaster.ca/jfox/Books/Companion/)

村上拓彦・篠原朋恵 (2019) Litchi を用いた UAV
空撮計画の作成方法. 森林計画学会誌 53: 89-
93

Plowright A、 Roussel J (2021) ForestTools:
Analyzing Remotely Sensed Forest Data. R
package version 0.2.5、 [https://CRAN.R-
project.org/package=ForestTools](https://CRAN.R-project.org/package=ForestTools)

R Core Team (2022) R: A language and environment
for statistical computing. R Foundation for
Statistical Computing、 Vienna、 Austria. URL
<https://www.R-project.org/>.

林野庁 (2019) 国有林における収穫調査等の効率
化手法実践体制構築委託事業報告書 UAV 立
木 調 査 マ ニ ュ ア ル . URL :
[https://www.rinya.maff.go.jp/j/gyoumu/gijutu/
attach/pdf/syuukaku_kourituka-2.pdf](https://www.rinya.maff.go.jp/j/gyoumu/gijutu/attach/pdf/syuukaku_kourituka-2.pdf)

ICTを活用した森林被害管理手法の開発

2019年度～2021年度

狩場晴也・釜田淳志*・石田朗**

要 旨

ニホンジカの生息状況及びその被害実態について、県や市町村、森林組合の職員等へのWebアンケートにより調査した。その結果、被害調査では、スギ・ヒノキ林で剥皮による被害が多く報告されていた。生息状況調査では、2018年から2021年にかけて目撃情報が継続して毎年400件以上収集され、愛知県内におけるシカの生息分布の拡大状況や季節によるシカの活動性の変化を反映していた。このことから、Webアンケートによる調査は、従来の実地調査等を補完する低コストで省力的な調査手法として有用であると考えられた。被害管理手法の開発では、防護柵内におけるシカ等の侵入検知システムの開発を行った。カメラ調査等の結果から、シカ等による防護柵内への侵入及び苗木被害の危険性が高いのは、夏期～秋期における夜間であることが推定された。また、防護柵内の尾根筋や谷筋等の緩やかな地形、餌や水資源が豊富な地点で撮影頻度が高くなっており、それらの時期・地点においてセンサー機器を設置することで効果的に侵入検知が行えることが分かった。侵入検知に適したセンサー機器の検討では、人感（赤外線）及び磁石着脱式センサーを用いて調査を行った。その結果、人感（赤外線）センサーでは、シカ等による柵内侵入の危険性が高まる夏期～秋期の夜間において、感度を自動撮影カメラ程度に設定することで検知が可能であり、磁石着脱式センサーでは、テグスを高さ40～70cmで設置することで効果的に検知が可能であることが分かった。

I はじめに

愛知県内におけるニホンジカ（以下、シカ）の個体数は増加傾向であり（愛知県 2017）、皆伐再造林等を進めていくうえで森林被害対策が大きな課題となっている。当センターでは、これまで被害実態の調査や個体数推定手法の開発等を行ってきた（小林・熊川 2002、2005、江口・栗田 2013、石田ら 2016、2019）。しかしながら、今後も中長期的に継続していくシカ被害対策を進めるにあたって、より効率的にシカの生息状況及び森林被害を把握するモニタリング手法を確立することが肝要であり、森林内における被害管理手法について

も同様に求められる。そこで本研究では、低コスト・省力的な森林被害及びシカの生息状況のモニタリング手法の確立並びに被害管理手法の開発を目的とした。

II 方法

1. 森林被害モニタリング手法の確立

(1) 森林被害実態のモニタリング

2015年1月から開始しているWebアンケートを活用し、県内のシカ被害の内容（苗の食害、立木の剥皮等）及び被害を受けた樹種について、県や市町村、森林組合の職員等から情報収集を行った。

Haruya KARIBA, Atsushi KAMATA, Akira ISHIDA: Study of practical use for afforestation used by containerlised seedlings of *Cryptomeria Japonica* and *Chamaecyparis obtuse*

*現新城設楽農林水産事務所、**現東三河農林水産事務所

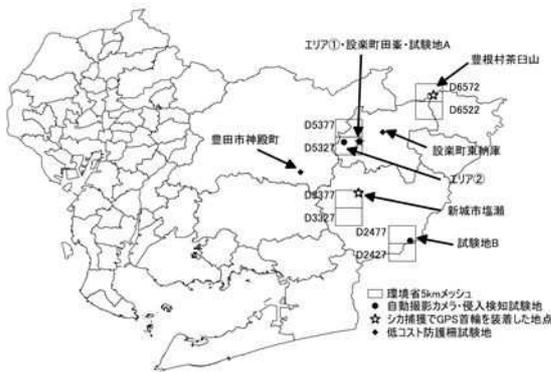
本論文の一部は、第9回中部森林学会大会で発表した。また、本研究の一部は、「戦略的情報通信研究開発推進事業（No.172306001）」、「農林水産省委託プロジェクト研究農林水産分野における気候変動対応のための研究開発」の支援を受けて実施された。

毎月のメールマガジンの発行、当センターHPでの掲載、県内の事業説明会等での依頼等、様々な機会にWebアンケートの周知・協力要請を継続した。

2. 生息状況モニタリング手法の確立

(1) 自動撮影カメラ調査

環境省5kmメッシュでD5327内（Dは、標準地域メッシュ第1次地域区画コード5237を示す、以下同様）の設楽町田峯の皆伐地（もしくは皆伐予定地）を含むエリア2ヶ所（以下、エリア①・エリア②）を設定し（図一1）、エリア①では、2019年12月から2020年12月まで、エリア②では、2020年1月28日から2020年12月までの期間において約500m間隔で格子状に自動撮影カメラ（TREL10J）を20台設置し、撮影された画像によりシカの頭数や成獣の性別と幼獣を集計した。撮影は、静止画で撮影間隔は10分とした。



図一1 調査位置図

(2) 区画法調査

2019年10月から11月までの期間に環境省5kmメッシュでD6522内及びD6572内の萩太郎山97.2ha及び津具牧場西側山林91.7ha（以下、豊根①・豊根②）、D5377内の段戸国有林75.7ha及び大多賀県有林105.4ha（以下、豊田①・豊田②）、D3377内及びD3327内の作手岩波136.0ha及び作手鴨ヶ谷128.3ha（以下、作手①・作手②）で実施した（図一1）。各調査エリアを8～9区画に分割し、一区画

あたり各2人ずつで同一時間内に踏査して、確認されたシカの頭数と位置をGPSを用いて記録した。

(3) ライトセンサス調査

2019年及び2020年の9月に、計8回実施した。コースは、環境省5kmメッシュでD2427及びD2477内の約24.1km（以下、上吉田）、D3327及びD3377内の約35.7km（以下、作手）、D5327及びD5377内の約14.7km（以下、豊田）、D5377内の約15.1km（以下、段戸）で（図一1）、自動車で5～10km/hの速度で走行しながら、スポットライトで両サイドを照射し、確認されたシカの頭数と位置をGPSを用いて記録した。

(4) GPS行動圏調査

イリジウム衛星を介してデータを取得するGPS首輪（Lotek社製Iridium Track M及びLitetrack Iridium420）を2017年1月から2021年3月31日までに合計6頭のシカ（以下、S1～2・C1～3・D1）に装着し、その位置情報を収集した（表一1）。得られた位置データのうち、測位状態が3D、かつ位置精度低下率が6以下、かつGPS首輪で得られた3Dデータの標高地と即位した水平座標における基盤地図情報データの10mメッシュ標高地の差分が30m以下のものを高精度測位点として抽出し、固定カーネル法により、シカの行動圏（存在確率95%）及びコアエリア（存在確率50%）を算出した。

(5) Webシカ目撃情報調査

1. と同様の手法で、Webアンケートを活用し、シカの目撃地点の緯度経度、シカの頭数や性別の情報を収集した。

3. 被害管理手法の開発

(1) 捕獲効率化手法の開発

ICTを利用した効率的な捕獲を実現するため、わなが作動した際に動物を自動で判別する技術をMTGフォレスト（株）と共同開発した。県内7地域及び奈良県の奈良公園で2016年から2019年に収集した映像について、動画内で映っているシカや

表—1 GPS行動圏調査におけるシカ捕獲個体の概要

個体No.	捕獲地	性別	齢クラス	測位間隔	追跡期間	追跡日数
S1	新城市塩瀬	メス	亜成獣	2時間間隔 (一部15分間隔)	2017.1.18~2017.7.13	177
S2	新城市塩瀬	メス	成獣	2時間間隔	2018.10.26~2019.4.30	187
C1	豊根村茶臼山	オス	成獣	2時間間隔	2018.12.17~2019.8.30	257
C2	豊根村茶臼山	オス	亜成獣	2時間間隔	2018.12.17~2019.7.3	199
C3	豊根村茶臼山	メス	成獣	2時間間隔 (一部15分間隔)	2020.3.13~2021.3.31	384
D1	設楽町田峯	オス	亜成獣	2時間間隔 (一部15分・30分間隔)	2019.3.18~2020.8.8	510

その他の動物等の部分に矩形マーキングを施し、静止画（以下、フレーム）に分解した。転移学習を行うための学習済みモデルであるSSD inception V2 atrous cocoを用いて、シカの含まれるフレームについて深層学習を進めた。

（2）防護柵におけるシカ等侵入検知システムの開発

防護柵内に侵入したシカ及びニホンカモシカ（以下、シカ等）による造林地の被害の早期発見および防護柵見回りの省力化を目指し、エナジーワイヤレス（株）及びMTGフォレスト（株）と共同で防護柵内へのシカ等の侵入を検知し、通報するシステムの開発を行った。具体的には、柵内への侵入検知の効果的なセンサー設置位置の検討及び侵入検知に適したセンサー機器の検討及び開発を行った。

ア 効果的なセンサー設置位置の検討

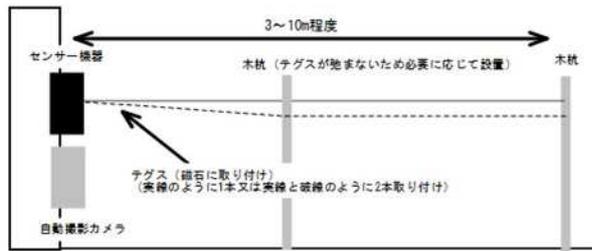
防護柵内に侵入したシカ等が利用しやすい場所を把握するため、2014年に植栽され防護柵が設置されている設楽町田峯のヒノキ植栽地（以下、試験地A）（図—1）約3haにおいて、2021年9月から2022年2月までの期間に自動撮影カメラ15台を柵内に設置し、撮影された画像からシカ等の撮影回数を集計し、各カメラの撮影頻度の違いからセンサー設置位置を検討した。撮影は、静止画で撮影間隔は10分とした。

イ 侵入検知に適したセンサー機器の検討

侵入検知に適したセンサー機器の開発を目指し、従来は、害獣捕獲検知機器として使用されるエナジーワイヤレス（株）社製のセンサー機器（ICT-300・ICT-300H）に搭載されている人感（赤外線）センサー及び磁石着脱式センサー（以下、センサー①・センサー②）について侵入検知への適性を検討した。試験地Aの柵周辺（外側）に2020年10月から2021年10月、試験地Aの柵周辺（外側）と柵内に2021年12月から2022年2月、当センター試験林（以下、試験地B）（図—1）の林内に2021年12月から2022年1月にかけてセンサー機器を各3台設置し、データを取得した。センサー①については、センサーの反応状況と併せて設置した自動撮影カメラから得られた映像とを比較し、センサーが何に対して反応しているか確認した。センサー②については、磁石にテグスを取り付け、一定の高さになるように水平に設置し、動物が横切るとテグスに磁石が引っ張られ、センサーが反応するようにし（図—2）、自動撮影カメラの映像からセンサーが反応した日時及び反応した原因を確認した。

ウ 侵入検知機器の開発

柵内に侵入した動物の種類を正確に判別するため、3.(1)の自動判別カメラの判別結果をLPWA通信で通知する機器の開発を行った。



図一2 センサー機器設置模式図

(3) 低コスト防護柵の実証試験

獣害対策の低コスト化に向けて、京都大学高柳氏が考案した従来の防護柵より安価な獣害防護柵（以下、低コスト防護柵）の実証試験を設楽町東納庫（以下、設楽）及び豊田市神殿町（以下、神殿）で行った。低コスト防護柵のネット部分には、園芸用防獣ネットのセフティー3アニマルネット目合16mm（以下、アニマルネット）を用いた。アニマルネットは、ステンレスが入っておらず、目合いが従来の防護柵で使用されるネット（50mm）と比較して細かいことが特徴である。低コスト防護柵の設置は、φ33mm・長さ2.4mの被覆鋼管支柱を概ね3mごとに設置し、アニマルネットを地上高1.8m、裾部0.2mのL字型となるように固定した。ネット下部及び裾の端部については、交互に概ね0.5m間隔でアンカー杭を打ち込んだ。設楽では、2020年8月に延長80.3m、神殿では、2020年8月と11月の2回に分けて延長221.5mの低コスト防護柵を設置した。低コスト防護柵の設置の際には、作業員（県林務職員又は森林所有者）が3名の区間について作業時間を記録し、算出した人工数から、防護柵の設置距離100m当たりの労務費を計算した。労務単価は、農林水産省・国土交通省（2021）の愛知県における普通作業員の単価を使用した。また、設置した低コスト防護柵によるシカ等侵入防止効果を検証するため、設楽では低コスト防護柵を設置した2020年8月から2021年10月まで、神殿では、柵内での苗木植栽が行われた2021

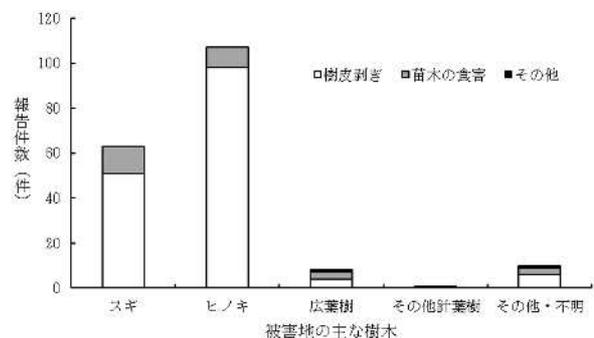
年3月から2022年2月までの期間において自動撮影カメラを柵沿い（外側）に設置し、柵周辺のシカ等の有無を確認するとともに、現地での柵破損状況と植栽木の被害の有無について確認した。

III 結果と考察

1. 森林被害モニタリング手法の確立

(1) 森林被害実態のモニタリング

Web アンケートが開始された2015年1月から2021年12月までに286件の森林被害情報が寄せられた。そのうち被害ありの情報が236件、被害なしの情報が50件であった。被害ありのうち、被害地点の主な樹種及び被害の内容が分かる報告189件について見ると、被害地点の樹種は、スギ63件・ヒノキが107件となりスギ・ヒノキが全体の約90%を占め、被害内容では、樹皮剥ぎ被害が159件と約84%を占め、苗木の食害28件、その他2件となり（図一3）、県内では人工林での樹皮剥ぎ被害が多いと推定された。ただし、Web アンケートでは、県や市町村、森林組合の職員等が主な報告者となっており、報告者が立ち入る頻度が高い人工林で多く報告されているとも予想される。また、被害内容についても、樹皮剥ぎ被害は、被害部位が大きく、発見しやすいことも報告件数が多い要因だと考えられる。

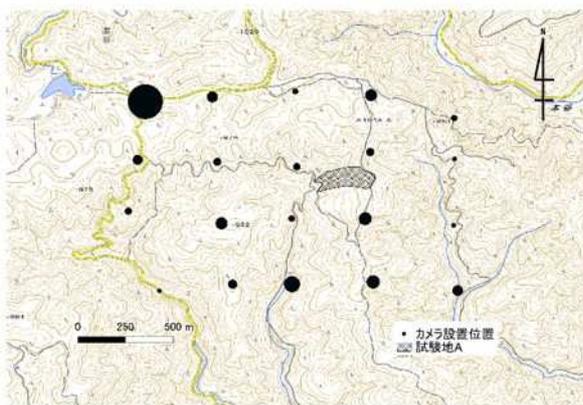


図一3 Webアンケートでの樹種・被害内容別の報告件数

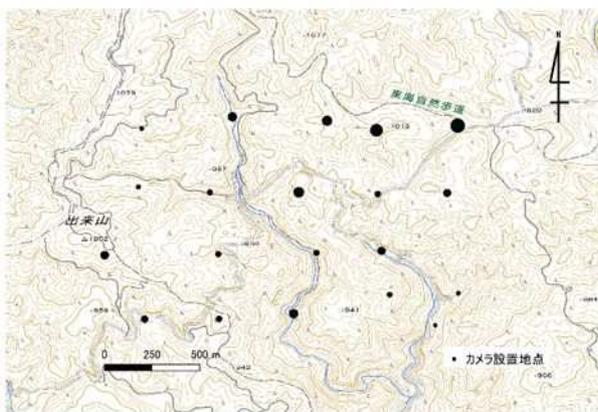
2. 生息状況モニタリング手法の確立

(1) 自動撮影カメラ調査

調査期間におけるエリア①の撮影頻度は、約 0.4～44.9 頭/30 日（平均 9.1 頭/30 日）であり、エリア②では約 0.3～14.9 頭/30 日（平均 5.4 頭/30 日）となった。自動撮影カメラの設置位置によって撮影頻度が大きく異なり、エリア①では、北西に位置する平らな地形で穏やかな小川のある広葉樹林地点が特に撮影頻度が高く、エリア②でも、北東に位置するなだらかな地形のブナ・モミ林地点において撮影頻度が最も高くなっており、なだらかな地形等がシカにとって生息に好適な環境であると考えられる（図—4、5）。



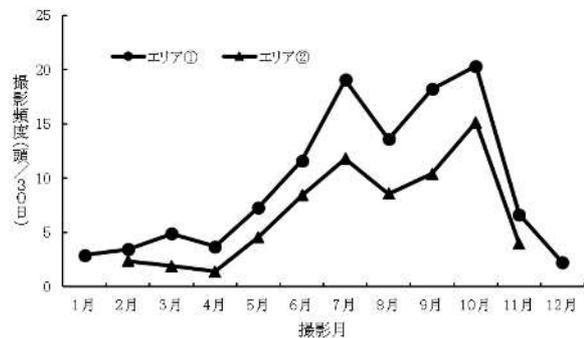
図—4 エリア①におけるシカ撮影頻度
（撮影頻度が高いと黒丸が大きい）



図—5 エリア②におけるシカ撮影頻度
（撮影頻度が高いと黒丸が大きい）

一方で、エリア①地内の再造林地（試験地 A）周辺に設置されたカメラの撮影頻度は高くはなかった。本来であれば、再造林地のような箇所は、草本類も繁茂し、シカの採食場所として好適な環境だと考えられる。試験地 A は、周囲に防護柵を設置しており、防護柵に一定の防除効果があることが示唆された。

また、2020 年 1 月から 12 月までの月ごとの撮影頻度の推移を見ると、両エリアとも冬期は低く、夏期にかけて増加し、10 月がピークとなり（図—6）、シカの季節による活動性の変化を示していると考えられた。特にエリア①の撮影頻度が最も高かった地点では、9 月までほとんど見られなかったオスが、10 月及び 11 月では全体の 30%・67% を占めており、繁殖期にオスの活動性が高まっていることが確認された。

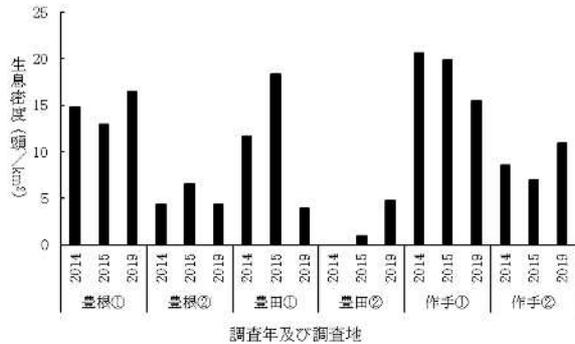


図—6 2020年における月ごとの撮影頻度

(2) 区画法調査

頭数密度は、豊根①・②で約 16 頭/km²・約 4 頭/km²、豊田①・②で約 4 頭/km²・約 5 頭/km²、作手①・②で 15 頭/km²・約 11 頭/km²であった（図—7）。2014、2015 年に行われた同じ箇所の結果（石田ら 2016）と比較したところ、概ね横ばい傾向であったが、これまで低密度であった豊田②では、2014 年・2015 年では約 0 頭/km²・約 1 頭/km²に対し、2019 年では約 5 頭/km²と増加傾向が見られた。また、2014 年・2015 年の調査と同様に近接

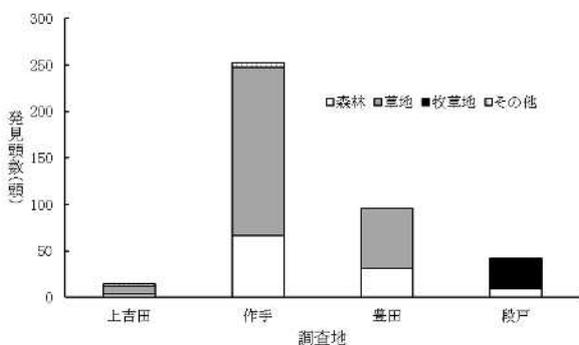
している場所でも生息密度の差が大きい場合が多く、豊根①、作手①のような牧場や休耕田等の草地といった好適な餌場周辺の森林で密度が高くなっていると考えられる。



図—7 区画法によるシカ生息密度

(3) ライトセンサス調査

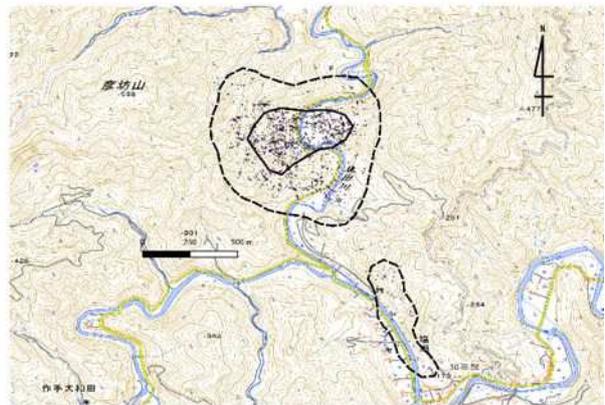
発見頭数は、上吉田約 0.3 頭/km、作手約 3.5 頭/km、豊田約 3.2 頭/km、段戸約 1.4 頭/km であった。上吉田及び作手は、2015 年夏季の約 0.1 頭/km・約 2.5 頭/km (石田ら 2016) と比較して増加が確認された。また、シカが確認された環境は、段戸では牧草地在約 76%、上吉田・作手・豊田では、休耕田や田畑の縁等の草地が約 53%・72%・68% を占めており (図—8)、シカの分布には 2. (2) の結果や石田ら (2019) と同様に牧草地や草地といった好適な餌場の有無が影響していると考えられる。



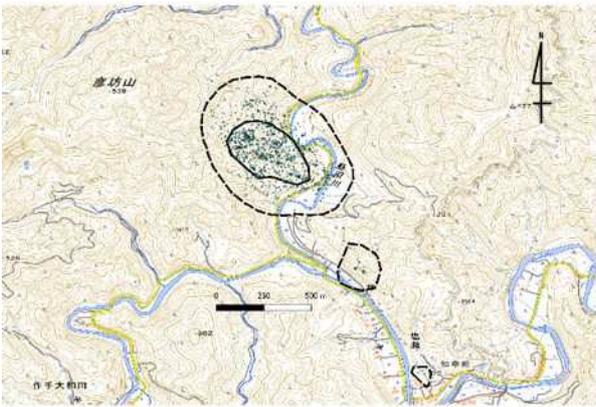
図—8 ライトセンサス調査における環境別発見頭数

(4) GPS 行動圏調査

メスジカの S1・2 は、追跡期間を通して季節移動はなく、定住性が高かった。一方でメスジカ C3 は、2020 年 3 月から 4 月までは、茶臼山の牧草地周辺の森林を利用し、4 月下旬から 10 月下旬までにかけて津具村の集落周辺の森林を利用していた。その後、茶臼山の牧草地周辺に戻り 11 月上旬に静岡県浜松市内の森林へ季節移動とみられる約 20km の移動を行い、2021 年 3 月末に再び茶臼山の牧場周辺に移動した。S1・2 の全追跡期間における行動圏とコアエリアは、S1 で 78.6ha・15.2ha、S2 で 57.5ha・11.6ha であった (図—9、10)。C3 の移動時を除いた期間の行動圏とコアエリアは、津具村周辺の森林では 54.6ha・11.8ha、浜松市の森林では 69.7ha・14.1ha であり (図—11)、S1・2 の個体と概ね同程度であった。

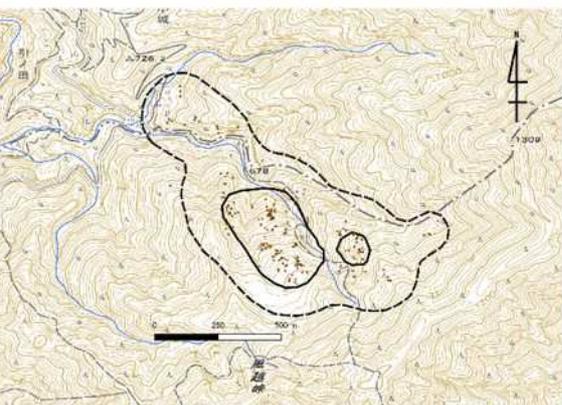
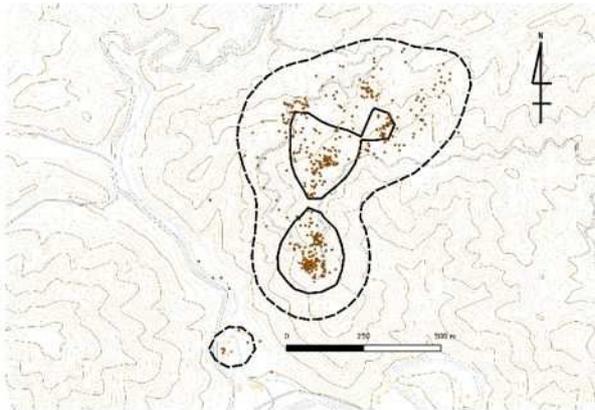


図—9 メスジカS1の行動圏(破線)及びコアエリア(実線)

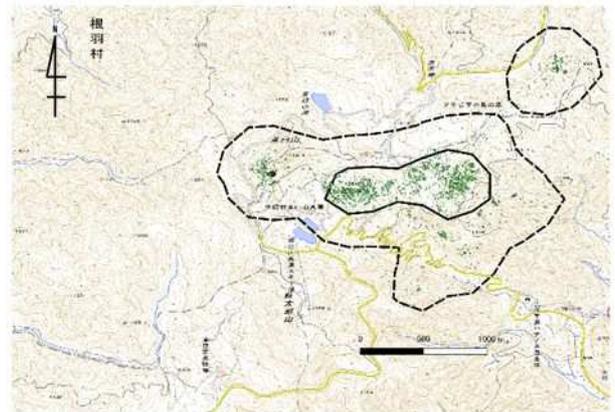


図—10 メスジカS2の行動圏（破線）及びコアエリア（実線）

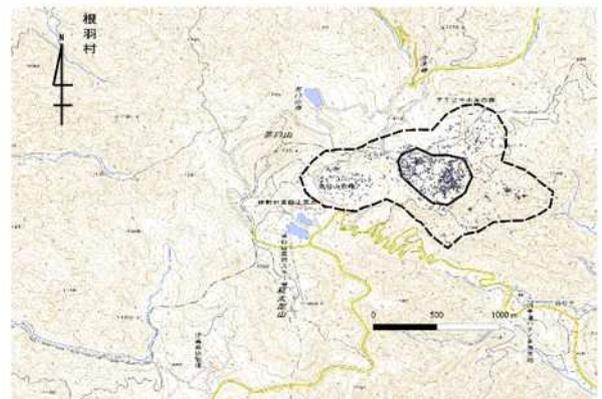
オスジカである C1・2 は、追跡間での季節移動はなく定住的であった。全追跡期間の行動圏・コアエリアは、C1 で 335.2ha・60.5ha、C2 で 140.0ha・21.3ha であった（図—12、13）。D1 は、追跡開始から3か月後の2019年6月上旬に段戸国有林から岐阜県恵那市内の森林への約30km程度の長距離移動をしており、生まれたと考えられる場所からの分散行動が確認された。長距離移動までの期間における行動圏・コアエリアは、83.2ha・20.5haであり、長距離移動後では501.2ha・74.2haであった（図—14）。



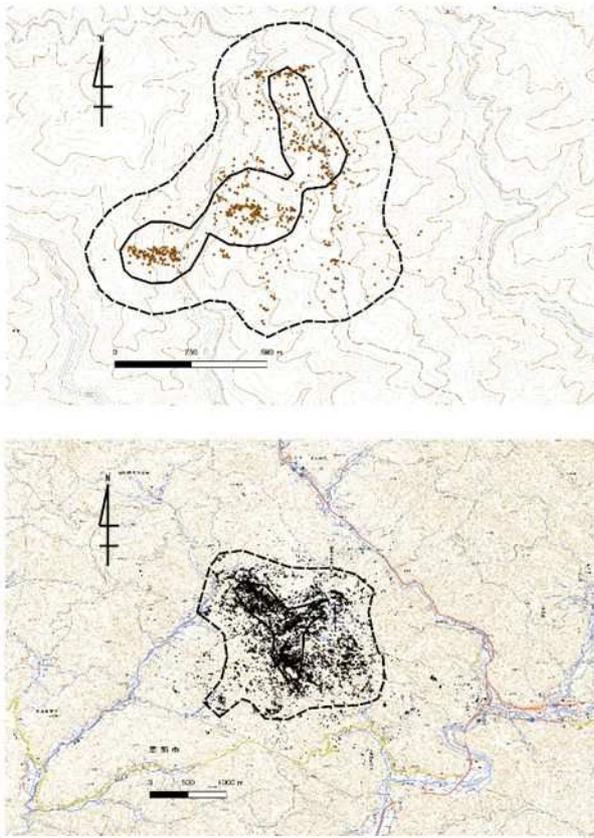
図—11 メスジカC3の津具周辺（上）及び浜松（下）での行動圏（破線）及びコアエリア（実線）



図—12 オスジカC1の行動圏（破線）及びコアエリア（実線）



図—13 オスジカC2の行動圏（破線）及びコアエリア（実線）



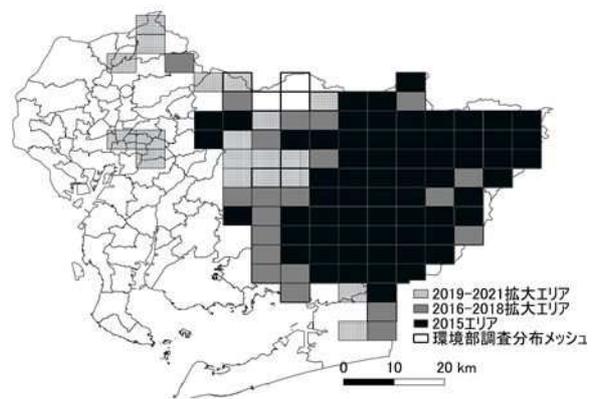
図一14 オスジカD1の段戸（上）及び恵那（下）における行動圏（破線）及びコアエリア（実線）

シカの利用する環境に着目すると、S1・2は、日中に広葉樹林を、夜間は河川敷・道路等を選択的に利用していた。前回の報告（石田ら 2019）でもあるように、人間活動が活発な日中については、森林を利用し、人間活動が低下する夜間に餌資源が豊富となる草本類が豊富な集落や河川敷等を採食場所として利用していると考えられる。また、牧草地周辺に生息するC1・2は、冬期において日中に森林を利用し、夜間には牧草地を利用しており、春・夏期になると日中・夜間ともに牧草地を利用していた。C3・D1の個体も牧草地やゴルフ場といった餌場に好適な場所を利用しており、牧草地やゴルフ場といった施設への依存度が高いと考えられる。

（5）Web シカ目撃情報調査

Web アンケートが開始された 2015 年 1 月から 2021 年 12 月までに 3,085 件の目撃情報があり、そのうちシカが 2,732 件、カモシカが 353 件だった。シカ目撃報告について発見年別に見ると、2015 年から 2017 年までは、161～362 件であったが、2018 年以降は年間 400 件以上の目撃報告が寄せられていた。

収集された目撃情報による生息分布について評価するため、2015 年時における県環境部（現環境局）が実施している聞き取り、アンケートによる生息分布調査（愛知県 2017）（以下、環境部調査）と Web アンケート結果を比較すると、環境部調査でシカの生息分布とされた 85 の 5km メッシュのうち Web アンケート調査では 61 メッシュと約 72% の充足率であり、環境部調査では生息分布とされていない 4 メッシュでも目撃情報が報告された（図一15）。また、Web アンケートについて 2016 年から 2018 年までの報告では、2015 年より 21 メッシュ、2019 年から 2021 年までの報告では更に 19 メッシュ増加し、2015 年における環境部調査結果と比較すると、充足率は約 96% になり、環境部調査では生息分布とされず、目撃報告のあったメッシュは 23 に増加した。これは、Web アンケー

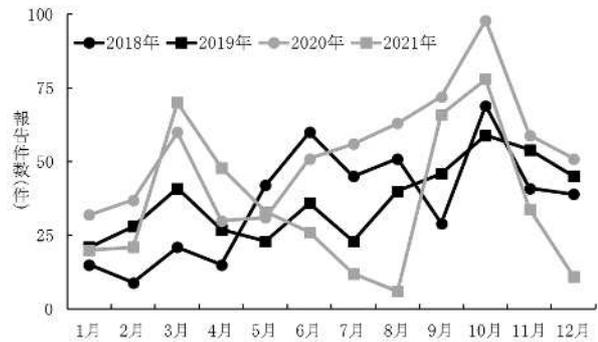


図一15 環境部調査（2015年）及びシカ情報マップでシカ目撃報告があった5kmメッシュ

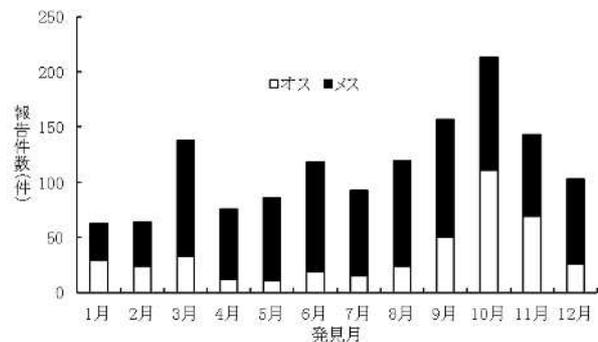
トへの報告件数増加に伴って精度が向上しつつ、シカの生息分布拡大状況を反映できているためだと考えられ、省力化やリアルタイムでの状況確認が可能なことに加え、従来のアンケート調査と同程度の精度であることから Web アンケート調査が有効であることが示された。

2018年から2021年までの月ごとの報告件数は、図—16のように推移しており、年毎に変動はあるものの2. (1)の自動撮影カメラ調査結果と同様に冬期は報告件数が少なく、10月がピークであり、10月、11月のオスの報告割合も高くなっていた(図—17)。また、2. (1)では、3月の撮影頻度も低かったのに対し、Web アンケートでは報告件数が多くなっていた。これは、2. (1)では標高が高くシカの活動性が低いままなのに対し、Web アンケートでは、低標高地のシカの活動性の高まりや、シカ情報マップでは2. (4)のように越冬地からの季節移動を行う個体の影響を反映している可能性があり、Web アンケート調査でも安定して情報収集ができれば、シカの生息分布の拡大やシカの季節による活動性の推移を把握できると考えられる。江口ら(2021)では、Web アンケートの目撃報告において、ニホンカモシカ目撃数/シカ目撃数(以下、カモシカ比)がシカ密度に負の相関があり、Web アンケートから得られるカモシカ比は、シカ密度評価に有用な情報とされている。

以上のことから、Web アンケート調査は、安定的に情報を収集することで、生息分布の拡大や季節による活動性の変化等を大まかに把握することが可能であり、調査範囲や調査時期に制約がある実地調査を補完する手法として有用であると考えられる。また、Web アンケートの目撃情報とシカ生息密度の関係が明確になれば、過去の実地調査の結果から生息密度の変化をリアルタイムで把握できる可能性がある。



図—16 Webアンケートでの月別シカ目撃報告件数の推移



図—17 2018年から2021年におけるWebアンケートでの雌雄別シカ目撃報告件数

3. 被害管理手法の開発

(1) 捕獲効率化手法の開発

収集した動画映像について、7,553(うちシカ3,607)の映像が得られ、シカが映っていた動画から634,452のフレームが得られた。これらのフレームの80%を用いて学習モデルを構築し、残り20%を用いてシカの検出精度を検証したところ、平均適合率は85.4%となった。また、本学習モデルを動物自動識別アプリとしてホームページ「<http://www.mtg-forest.com/index.php/works/adammmm>」において公開し、自動カメラにも搭載した機器を作製した。

(2) 防護柵におけるシカ等侵入検知システムの開発

ア. 効果的なセンサー設置位置の検討

月ごとの全カメラにおける撮影頻度は、0.9～24回/30日となり、9月が最も高く10月、11月と冬期に近づくにつれ頻度が低くなった。また、シカ等がいずれかのカメラで撮影された日数をカメラ稼働日数で除した侵入日率は、0.2～1.0となり、特に9～11月、1月で高くなった(図-18)。このことから、柵内の苗木への被害の危険性は、シカ等の季節による活動性の変化と同様に推移すると考えられる。また、牧草地や草地と同様に、再造林地はシカ等にとっての好適な餌場になると考えられ、特に下草が繁茂する夏期から秋期にかけてシカ等を誘引しやすい状況にあることが予想される。以上のことから、防護柵内の苗木被害を抑えるためには、夏期から秋期の時期における侵入の早期発見が重要であると考えられる。

シカ等の撮影頻度の高かった9月、10月における各カメラの撮影頻度は、0～180回/30日、0～74.5回/30日となり、カメラごとに大きく異なっていた。また、各カメラでシカ等が撮影された日数をいずれかのカメラで撮影された日数で除した検知率は、9月0～67%、10月0～62%となり、撮影頻度と同様にカメラごとに差があり、センサー機器の設置位置によって侵入検知の効率に大きな影響があると

考えられる。また、各カメラの撮影頻度及び検知率を用いてIDW(逆距離加重内挿)法により空間補間を行うと図-19、20のようになり、北東側にある林道沿いのなだらかな地形、中央付近の谷筋(沢)の地点で撮影頻度及び検知率が高くなった。

このことから、本調査地では、北東側にシカ等が防護柵内へ侵入しやすい地点があると予想され、侵入後に尾根部や谷筋といった傾斜が緩やかな場所や、餌や水分を摂れる地点を好んで利用していると予想される。以上により、まず防護柵を適切に設置するのが難しい又は乗り越え等のシカ等が侵入しやすい候補地を選定し、候補地近辺の傾斜が緩やかな地点、餌や水分を摂れる地点にセンサー機器を設置することで効果的に侵入検知が可能になると考えられる。また、本調査地の北側と南側のように防護柵内の再造林地が急傾斜等で複数の区域に分かれる場合は、シカ等が区域間の移動をしないことも予想される。そのため、それぞれの区域でシカ等が侵入しやすい候補地がある場合は、各エリアにセンサー機器の設置を検討することも必要である。

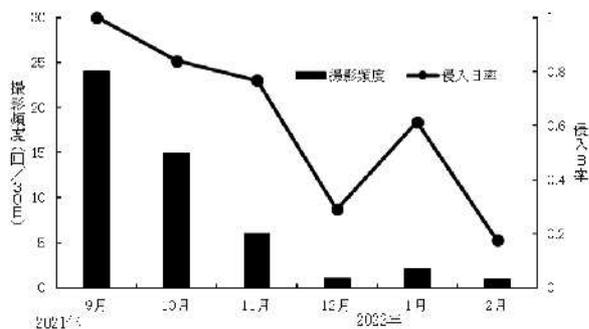
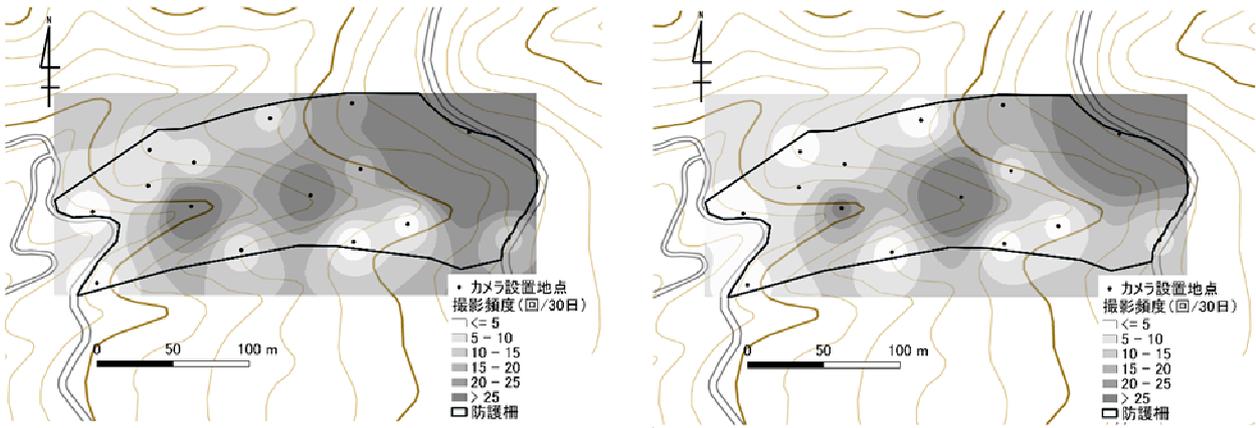
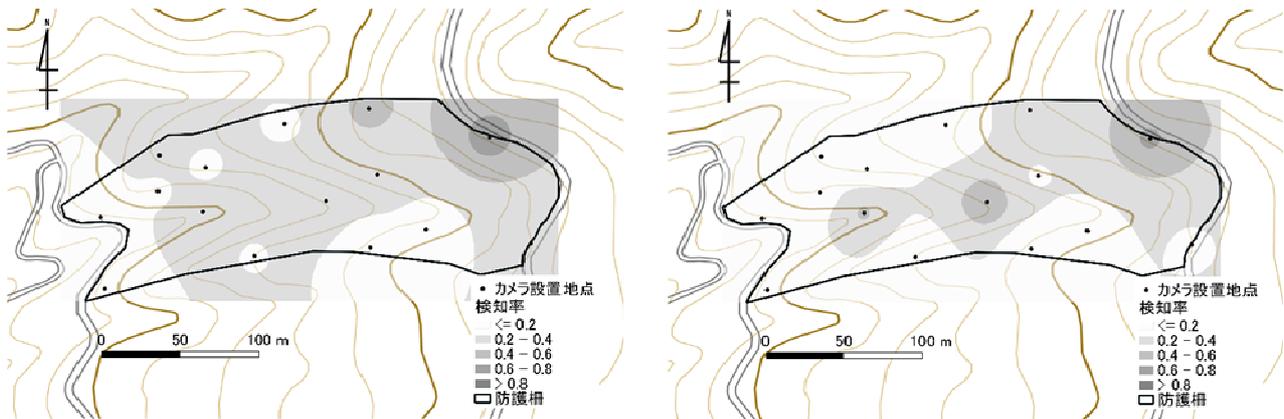


図-18 防護柵内15台カメラの撮影頻度(左軸)及び侵入日率(右軸)の月別推移



図—19 防護柵内におけるシカ等撮影頻度（IDW補間） 左が9月、右が10月



図—20 防護柵内におけるシカ等検知率（IDW補間） 左が9月、右が10月

イ. 侵入検知に適したセンサー機器の検討

アの15台のカメラのシカ等撮影状況について、日中と夜間に分けて比較したところ、撮影回数は、日中で58回に対し夜間は529回と約9倍の差があった(図—21)。また、2.(4)でもあるように、シカ等は夜間に牧草地等を餌場として利用する傾向にあり、再生林地においても夜間に侵入の危険性が高いと考えられるため、センサー①については、夜間での反応状況を検討した。センサー①の反応状況は図—22に示すようになり、誤検知と思われるノイズが多く発生することやシカ等が往来した時の反応回数が少ないこともあり、センサー①の反応状況からシカ等の往来を検知することは難しいと考えられた。そこで、人感(赤外線)

センサーの感度を自動撮影カメラのレベルに変更することを想定して、アの15台について、夜間に撮影されたもののうち、シカ等であった割合(以下、シカ等検知率)を月ごとに見ると、9月で74%、10月で55%(図—23)であり、シカ等またはその他の動物であった割合(以下、動物検知率)は、9月で79%、10月で69%とシカ等の撮影頻度が高い月では高い精度で防護柵内へ侵入した動物の検知が可能であることが分かった。

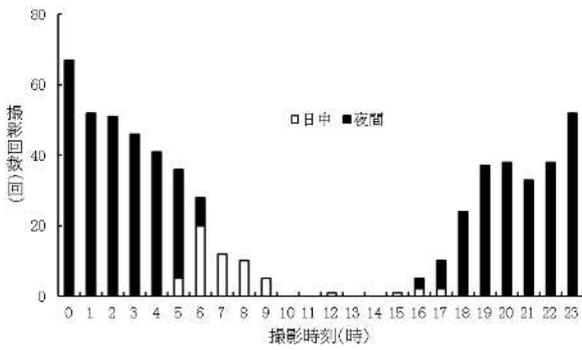


図-21 防護柵内のカメラでの時刻別シカ等撮影回数

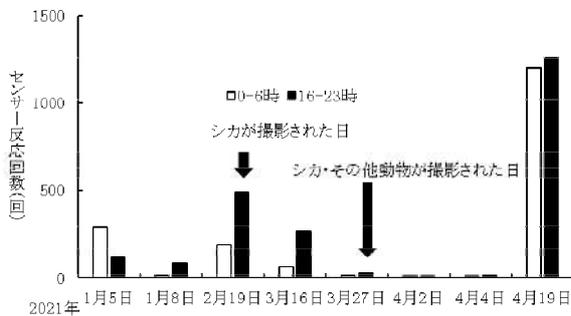


図-22 夜間における人感(赤外線)センサー反応状況の例
 (黒い矢印がない日・時間帯は、動物が撮影されておらず全て誤検知)

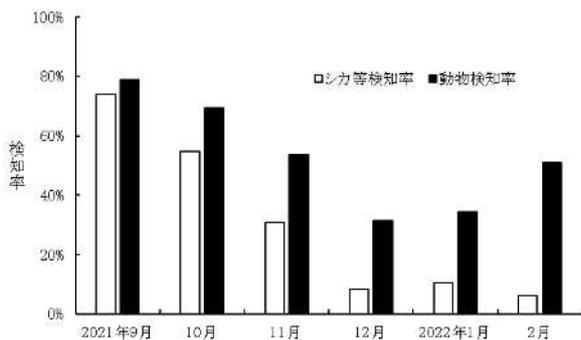


図-23 防護柵内15台カメラから得た夜間におけるシカ等検知率及び動物検知率

センサー②については、テグスを水平に設置する高さを、地上から、約30~40cm(以下、高さa)、50~70cm(以下、高さb)、約70~110cm(以下、高さc)、40cmと50cmに各1本(以下、高さd)の4条件で試験を行った。その結果、高さa・b・dで延べ15回反応があり、高さcでは反応がなかった。また、ヒトによる反応を除いた14回のうちシカ等による反応が9回、テグスの設置不良等が原因とみられる誤検知が5回であり、シカ等以外の動物による反応はなかった(図-24)。センサーが反応するまでにシカ等がセンサー付近に往来した日数は、高さaで0~10(平均2.2)日、高さbで0~2(平均1.0)日、高さdで0~3(平均0.6)日となり、高さb・dでは、シカ等が往来する2日目程度での検知が可能であることが分かった(図-25)。高さaだとシカ等がテグスを跨ぐ様子、高さcだとシカ等が頭部を下げて歩行してテグスに引っかからずに横切る様子が見られたことから、シカ等の体格と歩行姿勢を考慮し、テグスの設置高さは、40~70cm付近が検知に適していると考えられる。

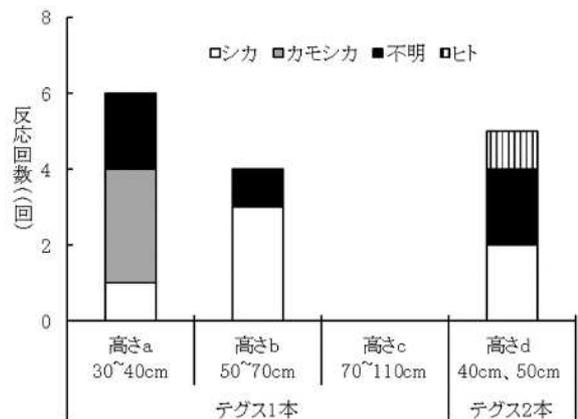
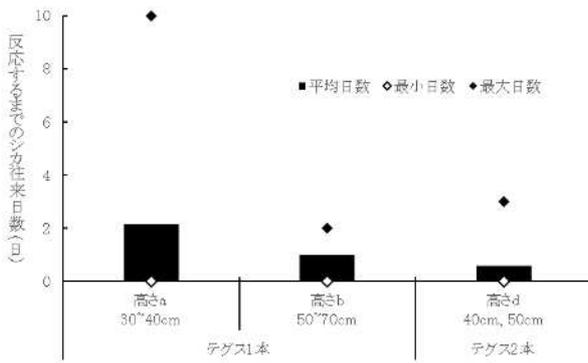


図-24 高さ、内容別の磁石着脱式センサー反応回数



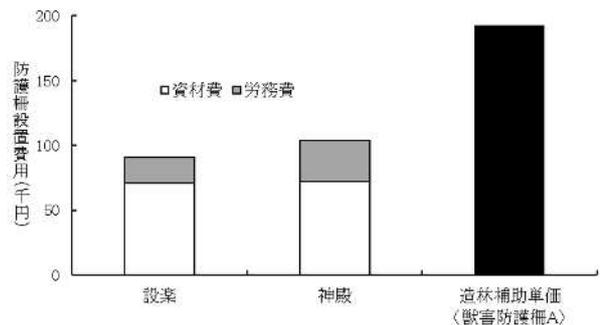
図—25 磁石着脱式センサーが反応するまでにシカ等がセンサー付近に往来した日数

ウ. 侵入検知機器の開発

自動判別カメラの判別結果を LPWA 通信で通知する機器の開発を行い、試作機を試験地 B に 2022 年 2 月の 1 ヶ月間設置した。その結果、期間内におけるシカ等の往来はなかった。防護柵内や防護柵沿いで撮影した映像での自動判別の精度を検証するため、2020 年から 2021 年に県内で収集した映像について、3. (1) の動物自動識別アプリを用いて判別し、実際の撮影状況と比較した。その結果、シカ等の適合率は、87~100% (平均 95%) となり、正確に判別できることが確認できた (表—2)。

(3) 低コスト防護柵の実証試験

設楽では、低コスト防護柵を設置した 67.9m について作業時間を測定したところ、休憩時間を除いた作業時間は 1 時間 48 分だった。設置費用の計算結果を図—26 に示す。人工数から労務費を計算すると設置距離 100m あたり 20,181 円だった。また、使用した資材の数量と購入価格から資材費を計算すると 100m あたり 70,645 円となり、労務費と資材費の合計が 90,826 円になった。神殿では、設置距離 10m の区間について 3 区間 (計 30m) の作業時間を計測した。3 区間の合計は 1 時間 15 分であり、労務費は 100m あたり 31,720 円だった。設楽と同様に資材費についても計算すると 100m あたり 72,390 円であり、労務費と資材費の合計が 104,110 円になった。県造林事業標準単価表 (愛知県 2021) における獣害防護柵 A の標準単価は、



図—26 低コスト防護柵の設置費用 (100m 当たり)

表—2 自動識別アプリで判別した映像の概要及び適合率 (映像数の内訳は、人が判別した結果を示す)

No.	撮影期間	撮影地	映像数 (本)					適合率
			シカ	カモシカ	其他動物	誤作動	計	
1	2020. 11. 4~2021. 10. 1	設楽町田峯	70	55	26	125	276	92%
2	2020. 10. 15~2021. 10. 6	設楽町田峯	83	12	18	85	198	100%
3	2021. 3. 17~2021. 9. 26	豊田市神殿町	155	6	24	100	285	97%
4	2021. 3. 14~2021. 10. 4	豊田市神殿町	83	2	16	84	185	87%
5	2020. 8. 20~2021. 6. 29	設楽町東納庫	115	66	40	113	334	99%
全体			506	141	124	507	1,278	95%

100mあたり193,000円であることから、本試験で設置した低コスト防護柵は従来の防護柵よりも低コストであることが示された。

設置した低コスト防護柵の侵入防止効果の検証では、設楽・神殿両試験地で柵沿いに設置した自動撮影カメラで柵外にいるシカ等が撮影され、柵の周辺にシカ等が生息していることが確認できた。設楽では、カメラでシカ等が柵内に侵入した様子はなく、現地での確認でも動物が原因と考えられる柵の破損や植栽木の被害は確認されなかった。一方、神殿では、2021年3月に倒木によるネット上部の垂れ下がり及び地上約50cm程度の位置に縦約10cm、横約25cmの穴被害を各1箇所ずつ確認し、補修した。また、2022年3月には、動物による引き上げが原因だと思われる裾浮きが見られた。裾浮き部分は、アンカー杭及び押さえロープには被害がなかったが、ネット本体が破損しており、結果的に動物が侵入できるサイズの裾浮き(穴)になっており、柵内に動物の足跡が見られたことから、シカ等が柵内に侵入した可能性が考えられる。従来の防護柵でも動物による穴あき被害はあるが、アニマルネットは、従来の防護柵より耐久性が低いため、弛み等の動物が噛みつける場所があると破損の危険性が高いと考えられる。確認された裾浮き部分では、本来は打込むべきアンカー杭が1本確認できず、設置不良による被害だと予想される。そのため、アニマルネットを使用する際には、従来の防護柵以上に弛み等がないように適切に設置する必要があると考えられる。また、本試験では、モニタリング期間が1年6ヶ月程度であり、長期的な検証は行っていない。設置期間が長くなると、ネットの劣化や弛み等が生じる危険性もあるため、今後においても定期的に防護柵の点検を行いながら、ネットの経年による劣化状況等を確認し、維持管理費の観点も踏まえて中長期的にシカ等の防除が可能かどうか検証し

ていく必要がある。

IV まとめ

森林被害及びシカの生息状況のモニタリングでは、従来の実地での調査とWebアンケートでの情報収集の2通りで実施し、低コスト及び省力的に実施可能なWebアンケート調査でも安定した情報収集を行うことで、大まかな森林被害状況やシカの生息状況の傾向を把握することができることを確認できた。従来の生息状況調査は、シカの生息密度等の森林被害対策を検討する上で重要なデータを取得できるが、人手や費用によって、実施箇所や実施時期が制限される。Webアンケートシステムは、県内全域及び常時データ収集が可能なことが利点であり、従来の実地調査を補完する手法として有用であると考えられる。また、シカ生息密度とWebアンケート調査の結果の関係性が明確になれば、過去の実地調査結果とWebアンケート調査の結果から生息密度の変化をリアルタイムで把握し、省力的に被害対策を検討できる可能性がある。

被害管理手法の開発では、低コスト若しくは省力化に資する技術の開発を行った。防護柵内で自動撮影カメラによる調査では、生息状況調査の結果と同様に活動性が高まる夏期～秋期にかけてシカ等が侵入する頻度が高くなり、特に夜間に侵入していることが明らかになった。また、防護柵内の尾根筋や谷筋等の緩やかな地形、餌や水資源が豊富な地点にセンサー機器を設置することで効果的に侵入検知が行えることが分かった。人感(赤外線)センサーでは、感度が高すぎるとノイズが多く発生し、検知が困難だが、シカ等による柵内侵入の危険性が高まる夏期～秋期の夜間において、感度を自動撮影カメラ程度に変更することで検知が可能であり、磁石着脱式センサーでは、テグスを高さ40～70cmで設置することで効果的に検知

が可能であることが分かった。また、人感（赤外線）センサーは、検知対象と接触しないのに対し、磁石着脱式センサーでは検知対象と接触する等異なった性質を持っている。そのため、開けた場所では人感（赤外線）センサー、柵沿い等のシカ等が通る方向が定まっている場所なら磁石着脱式センサーを設置する等、現場の地形や、動物の種類をより明確に確認したい等の使用者の求める精度によって使い分けることでより効果的な侵入検知システムを構築できると思われる。防護柵の実証試験では、設置に要する費用が従来の防護柵より安価であることを確認できたが、設置不良が原因と考えられる裾浮きがあり、従来の防護柵以上に適切な設置の徹底が必要だと分かった。今後においても、継続的に見回りを行い、ネットの劣化状況等を確認して長期的な侵入防止効果を検証する必要がある。

県内のシカの生息数は、劇的に減少するとは考えられず、被害対策が必須な再造林地は増加していくことが予想される。従来の防護柵においても穴や裾浮きといった被害が確認されており、適切な設置の徹底や定期的な見回り・補修作業は必須となっている。本研究で取組んだ侵入検知システムでは、検知結果を LPWA 通信を介してメールによる通知が可能となっており、見回り作業の労務費軽減や省力化に資する技術であるが、本県の民有林では、LPWA 通信網の整備が進んでいないのが現状である。通信網の整備・維持コストを踏まえると、シカによる被害対策だけでなく、林業における労働安全や作業の効率化に資する技術について併せて検討し、一体的な通信網の整備が必要である。このように、中長期的にシカ被害対策を行うためには、今後においても確実な防除を前提に林業の幅広い分野と一体となり、ICT 化等の低コスト・省力化技術について検討・取り組んでいくことが求められる。

引用文献

- 愛知県（2017）第2種特定鳥獣保護管理計画（ニホンジカ管理）
- 愛知県（2021）造林事業標準単価表
- 江口則和・狩場晴也・石田朗・竹内豊・寺田行一・早川雅人・佐藤亮介（2021）野生動物の目撃情報を用いたニホンジカ密度評価手法の検討．中部森林研究 69：93-96
- 江口則和・栗田悟（2013）ニホンジカ等による森林被害の効率的防除に関する研究．愛知林セ報 50：1-7
- 石田朗・江口則和・山下昇（2016）ニホンジカ等による森林被害の軽減化技術の確立．愛知林セ報 53：6-14
- 石田朗・釜田淳志・江口則和・栗田悟（2019）ニホンジカによる森林被害の防除手法の開発．愛知林セ報 56：19-29
- 小林元男・熊川忠芳（2002）ニホンジカによる被害実態と防除法の確立．愛知林セ報 39：1-8
- 小林元男・熊川忠芳（2005）ニホンジカによる樹木被害の生態的防除に関する研究．愛知林セ報 42：14-23
- 農林水産省・国土交通省（2021）令和3年3月から適用する公共工事設計労務単価表

林業用ドローンによる苗木等の運搬方法の検討

2020 年度～2021 年度

藏屋健治

要 旨

森林資源の循環利用を推進していく中で伐採後の再造林に係る費用の増加が問題となっており、再造林を行うための資材等の運搬に係る労働負荷の軽減や低コスト化が望まれている。これらを解消するため、県内の植栽地において林業用ドローンによる苗木等の運搬を試みた。その結果、ドローンによる運搬は、1 人日当たり約 500～750kg の運搬能力を有しており、人力運搬に比べて約 2.5～2.8 倍の運搬量があることが分かった。また、資材 1kg 当たりの運搬経費（人件費のみ）は、人力運搬では約 83 円に対しドローン運搬では約 31 円となり、約 50 円の経費節減につながることも分かった。また、今回の実証結果から、ドローンの往復に係る飛行時間は、100m 延長するごとに約 35 秒伸びること、運搬距離に関係なく下り運搬が上り運搬に比べて約 30 秒多く掛かることも分かった。

I はじめに

愛知県では、森林資源を持続的に活用していくために、森林資源の循環利用を推進している。しかし、木材価格の低迷や、伐採後の再造林に係る費用の増加が問題となっており、主伐・再造林が進みにくい状況となっている（林野庁 2021）。また、コンテナ苗などの再造林に必要な資材等の重量が重くなる傾向にあるため、資材運搬に係る労働負荷も大きくなる傾向となっている。このため、再造林を行うための資材等の運搬に係る経費の低コスト化や労働負荷の軽減が望まれている。

これらのことから、本研究では林業における資材等の運搬コストの低減及び就労者の労働負荷の軽減を目指すため、林業用ドローン（以下、ドローン）を用いた資材等の運搬について実証を行い、その効果について検証した。

II 方法

1. 実証地の概要

今回、ドローンを用いた資材等の運搬の実証を行った場所は、豊田市神殿町山ノ入、豊田市神殿町中切及び北設楽郡豊根村上黒川字久羅沢の 3 ヲ

所である（図-1）。



図-1 各実証地の位置

まず、豊田市神殿町山ノ入の実証地の概要は、植栽面積が 1.34ha、運搬した資材はコナラコンテナ苗 1800 本、運搬距離は水平距離で 29～145m、高低差が 10～60m である。1 フライト当たりの運搬量は、コナラコンテナ苗が平均 7.5kg/回であった。この実証地では、ドローンの発着位置を植栽地の下部に設置し、上げ荷で苗木の運搬を行い、合計 58 回の往復時間で検証を行った（図-2）。

Kenji KURAYA : Examination of transportation methods for saplings, etc. using drone for forestry



図-2 実証地の位置図 (豊田市神殿町山ノ入)
(図上の赤点は苗木等の荷下ろし地点)

次に、豊田市神殿町中切の実証地の概要は、植栽面積が 0.40ha、運搬した資材はコナラコンテナ苗 480 本と単木保護資材 480 本、運搬距離は水平距離で 15~100m、高低差が-48~10m である。1フライト当たりの運搬量は、コナラコンテナ苗が平均 7.5kg/回、単木保護資材が平均 9.5kg/回であった。この実証地では、ドローンの発着位置を、植栽地を横断する林道に設置し、上部に 2ヶ所、下部に 14ヶ所運搬した。運搬した資材は、苗木と単木保護資材で、道路の下部に運搬した 44 回分の往復時間で検証を行った (図-3)。



図-3 実証地の位置図 (豊田市神殿町中切)

最後に、北設楽郡豊根村上黒川字久羅沢の実証地の概要は、植栽面積が 0.40ha、運搬した資材は

スギコンテナ苗 600 本、コナラコンテナ苗 150 本と獣害防止柵資材 467m 分で、運搬距離は水平距離で 90~231m、高低差が 25~95m である。1フライト当たりの運搬量は、スギコンテナ苗が平均 10.2kg/回、コナラコンテナ苗が平均 8.2kg/回、獣害防止柵が平均 8.5kg/回であった。この実証地では、最初に獣害防止柵を運搬し、設置した後、苗木の運搬を行った。ドローンの発着位置は、獣害防止柵の運搬と苗木の運搬で同じ位置とし、実証地に隣接する林道で全体が確認できる位置とし、獣害防止柵の運搬で 58 回、苗木の運搬で 10 回の往復時間で検証を行った (図-4、図-5)。

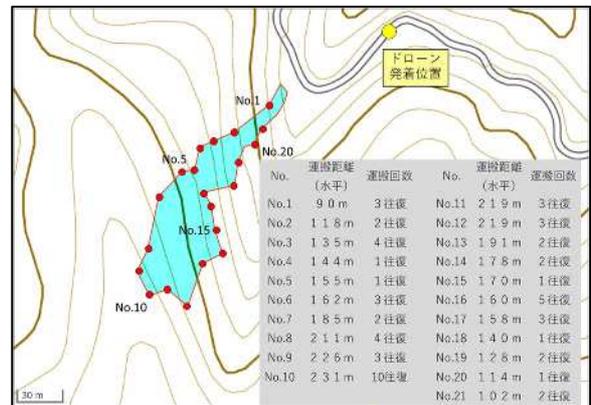


図-4 実証地の位置図 獣害防止柵資材運搬 (豊根村上黒川字久羅沢)

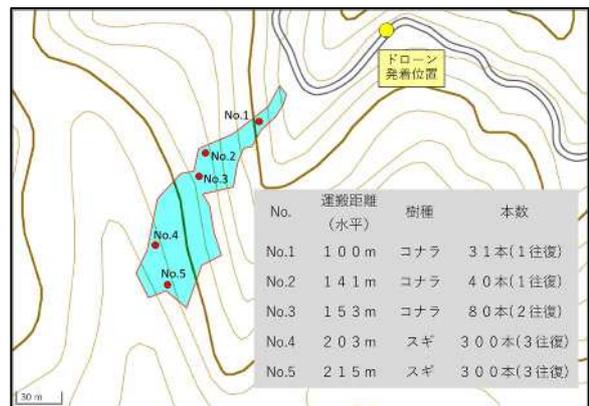


図-5 実証地の位置図 苗木運搬 (豊根村上黒川字久羅沢)

2. 使用したドローンと計測方法

(1) 使用したドローン

今回、使用したドローンは、株式会社マゼック製の「森飛」で、全長・全幅がともに980mm、全高が752mm、バッテリーを含まない機体重量は10.7kgである。この機体の飛行能力は、最大飛行時間は30分、最大飛行速度は通常モードで30km/h、高速モードで58 km/hである（写真-1）。



写真-1 使用したドローンと荷掛けフック

このドローンに付属している荷掛けフックには大きな特徴があり、荷物の重量がかかっているときはロックがかかっているが、荷物が地面に接地し、テンションがなくなると自動的にフックが開き、荷物を開放するというシステムとなっている。これにより、荷受け地点でフックを外すための作業がいらなくなるという利点がある。

このドローンを使用した運搬の方法は、事前に設定された飛行ルートを航行する自動飛行を主体とし、オペレータが1人で操作する1オペレーション型（以下、1オペ型）と、出発地点と荷下ろし地点にそれぞれオペレータを配置しドローンの操作を手動で行う2オペレーション型（以下、2オペ型）の2種類がある。1オペ型の特徴は、ドローンに電動ウインチが搭載してあり、荷下ろしの際、ドローンの高度を下げることなく、ウインチを使用してワイヤを下げることで積荷を切り離すことが出来ることである。また、すべての操作を1で行う

ことが出来るため、人件費の抑制につながることも特徴の一つである。これに対し、2オペ型の特徴は、荷下ろし地点にオペレータを配置することで、荷下ろし地点を細かく配置することが出来ることである。また、ウインチを搭載していないため、運搬量を大きくすることができるのも特徴である（表-1）。

今回は、県内での運用実績の多い2オペ型で実証を行った。

表-1 使用したドローンの運用方法

項目	自動飛行&ウインチ型 (1オペ型)	2オペ型
運搬方法	出発点に操縦者を1名配置して、自動飛行	出発点と荷下ろし地点にそれぞれ操縦者を配置(2名)して手動飛行
運搬可能量	8.0kg (ウインチの限界値)	10.4kg
荷下ろしの方法	ウインチによりワイヤを下げて地面に設置させて切り離す	操縦により飛行高度を下げて地面に設置させ切り離す
メリット	操縦者1名で運行可能なため人件費の抑制に繋がる	ウインチが非搭載のため、運搬可能量が多くなる

(2) 時間計測項目

今回の実証で調査した計測項目は、豊田市の2実証地では、ドローンが離陸してから苗木等を下して発着位置まで戻ってくるまでの時間と、着陸してから荷掛け等を行い離陸するまでの時間を計測した。豊根村の実証地では、ドローンが離陸してから苗木等を下ろすまでの時間、下ろしてから発着位置まで戻ってくるまでの時間、着陸してから荷掛け等を行い離陸するまでの時間を計測した。

III 結果と考察

1. 運搬能力の検証

各実証地の時間計測の結果を表-2から表-5に示す。

表-2 時間計測の結果
(豊田市神殿町山ノ入)

運搬項目	調査項目	平均時間
苗木運搬	往路+荷下ろし+復路(A)	1分39秒
	荷掛け(B)	40秒
	荷掛け+バッテリー交換(C)	1分37秒
	1フライト当たりの合計 $A + (6 \times B + C) / 7$	2分27秒
	※ 平均運搬距離(水平)は86m ※ 7フライトに1回バッテリーを交換	

表-3 時間計測の結果
(豊田市神殿町中切)

運搬項目	調査項目	平均時間
苗木保護材運搬	往路+荷下ろし+復路(A)	2分 2秒
	荷掛け(B)	29秒
	荷掛け+バッテリー交換(C)	1分27秒
	1フライト当たりの合計 $A + (4 \times B + C) / 5$	2分43秒
	※ 平均運搬距離(水平)は62m ※ 5フライトに1回バッテリーを交換	

表-4 時間計測の結果
(豊根村上黒川・苗木運搬)

運搬項目	調査項目	平均時間
苗木運搬	往路+荷下ろし(A)	1分 5秒
	復路(B)	49秒
	荷掛け(C)	1分29秒
	荷掛け+バッテリー交換(D)	2分17秒
	1フライト当たりの合計 $A + B + (2 \times C + D) / 3$	3分39秒
	※ 平均運搬距離(水平)は185m ※ 3フライトに1回バッテリーを交換	

表-5 時間計測の結果
(豊根村上黒川・獣害防止柵運搬)

運搬項目	調査項目	平均時間
獣害防止柵運搬	往路+荷下ろし(A)	1分10秒
	復路(B)	1分 3秒
	荷掛け(C)	1分 6秒
	荷掛け+バッテリー交換(D)	1分43秒
	1フライト当たりの合計 $A + B + (2 \times C + D) / 3$	3分31秒
	※ 平均運搬距離(水平)は176m ※ 3フライトに1回バッテリーを交換	

各実証地での1フライト当たりの合計時間は、豊田市神殿町山ノ入で2分27秒、豊田市神殿町中切で2分43秒、豊根村上黒川の苗木運搬が3分39秒、獣害防止柵資材運搬が3分31秒という結果になった。

今回の検証では、各実証地とも人力運搬を実施していないが、林業事業者からの聞き取り調査を基に、人力運搬で行った場合の往復時間を豊田市の2実証地では、1往復平均20分、豊根村の実証地は1往復平均30分と仮定し、1日当たりの実労働時間を6.4時間として計算すると、各実証地の1日当たりの運搬回数は表-6のとおりとなった。

表-6 各実証地の1日当たり運搬回数

実証項目	ドローン運搬	人力運搬(推定値)
豊田市神殿町山ノ入 (苗木運搬)	157回/2人	19回/1人
豊田市神殿町中切 (苗木・単木保護材運搬)	141回/2人	19回/1人
豊根村上黒川 (苗木運搬)	105回/2人	13回/1人
豊根村上黒川 (獣害防止柵運搬)	109回/2人	13回/1人

また、ドローンでの運搬を 10kg/回、人力運搬を 15kg/回と仮定すると、各実証地の 1 日当たりの運搬量は表-7 のとおりとなった。

表-7 各実証地の 1 日当たり運搬量

実証項目	ドローン運搬	人力運搬 (推定値)
豊田市神殿町山ノ入 (苗木運搬)	1570kg/2人	285kg/1人
豊田市神殿町中切 (苗木・単木保護材運搬)	1410kg/2人	285kg/1人
豊根村上黒川 (苗木運搬)	1050kg/2人	195kg/1人
豊根村上黒川 (獣害防止柵運搬)	1090kg/2人	195kg/1人

なお、今回の実証においてドローン運搬を 2 オペ型で行ったため、1 日の作業で 2 人工が必要となってくる。

これらの結果から、1 人 1 日当たりの運搬量を計算すると表-8 のとおりとなった。

表-8 各実証地の 1 人 1 日当たり運搬量

実証項目	ドローン運搬	人力運搬 (推定値)
豊田市神殿町山ノ入 (苗木運搬)	785kg	285kg
豊田市神殿町中切 (苗木・単木保護材運搬)	705kg	285kg
豊根村上黒川 (苗木運搬)	525kg	195kg
豊根村上黒川 (獣害防止柵運搬)	545kg	195kg

この表から、運搬距離の差があるものの、ドローンの運搬能力は、1 人 1 日当たり約 500~750kg あり、人力運搬と比べると 2.5~2.8 倍の差があることが分かった。

これらの結果を基に、運搬に係る経費について考察する。ドローンの操作を林業事業体の作業員が行うと仮定し、ドローン操作の person 費と人力運

搬の person 費が同額の 1 日当たり 2 万円と設定すると表-9 のような結果が得られる。

表-9 1 人日当たり運搬量と運搬経費

項目	1 人日当たり運搬量		1kg 当たり運搬経費	
ド ロ ー ン	山ノ入	785kg		25円
	中切	705kg	640kg (平均)	28円
	上黒川	525kg		38円
	上黒川	545kg	37円	
人 力	山ノ入	285kg		70円
	中切	285kg	240kg (平均)	70円
	上黒川	195kg		103円
	上黒川	195kg	103円	

※ 運搬経費は労務のみで算出しており、ドローン本体等の経費等は含まない

この結果から、1kg 当たりの運搬経費は、ドローン運搬では 31 円、人力運搬では 83 円となり、ドローンを活用することで運搬経費を抑えることが可能であると考えられた。

2. 運搬距離と飛行時間

ドローンの往復時間が運搬距離によってどのように変化するかを検証するため、各地点の水平距離とその地点での往復時間の関係を検証した (図-6、図-7)。

豊田市神殿町山ノ入と豊根村の実証地では、ドローンの発着位置より標高の高い位置に運搬したため「上り運搬」、豊田市神殿町中切はドローンの発着位置より低い位置に運搬したため「下り運搬」として検証を行った。

これらの結果から、ドローンによる運搬は、上り運搬、下り運搬ともに運搬距離と往復時間には正の相関関係があることが分かった。また、回帰式にあるように、上り運搬、下り運搬ともに傾きが 0.35 となっているため、ドローンによる運搬は、

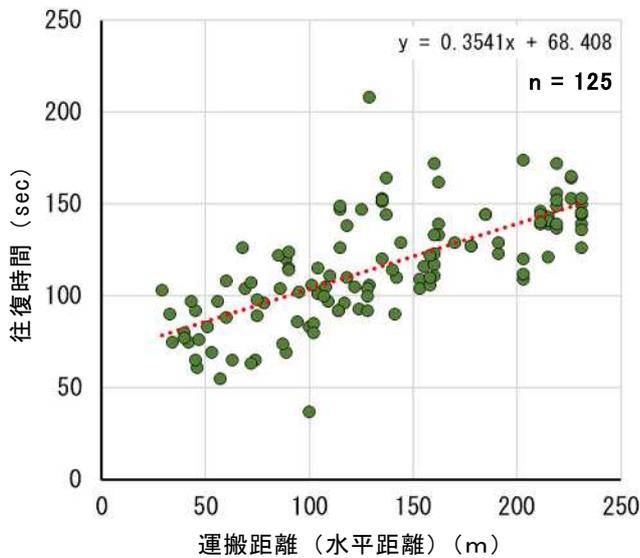


図-6 運搬距離と往復時間（上り運搬）

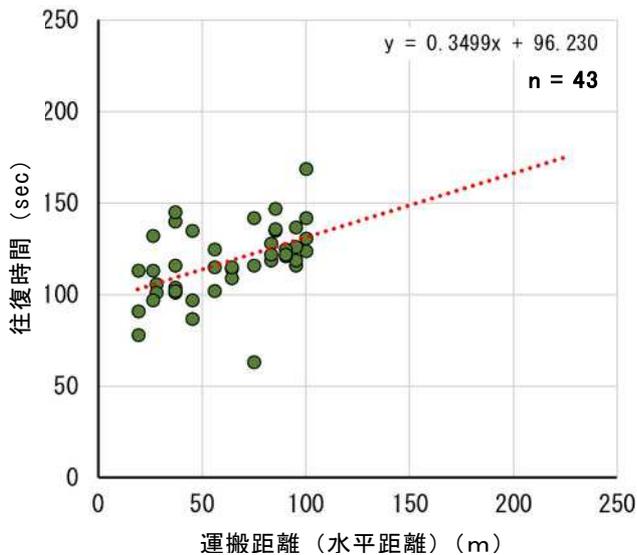


図-7 運搬距離と往復時間（下り運搬）

運搬距離 100m毎に約 35 秒長くなることが分かった。また運搬距離に関係なく、上り運搬と下り運搬では、約 30 秒の運搬時間の差があることも分かった。この理由として、上り運搬の場合は、ドローンを離陸させながら運搬が開始出来るが、下り運搬の場合、離陸が完了してから運搬を開始しなければならないため、その差が表れたと考えられた。

以上の結果から、ドローンによる苗木等の運搬について、距離が 200m未満の場合は、1日当たり約 1000~1500kg 運搬が可能であり、1人当たりの運搬量は、人力運搬に比べて約 2.5~2.8 倍多いことが分かった。また、作業員の労務費だけで計算した 1kg 当たりの運搬経費は、人力運搬では約 83 円に対しドローン運搬では約 31 円であり、ドローンを活用することで 1kg 当たり約 50 円の経費節減につながることも分かった。また、ドローンの往復に係る飛行時間は、100m延長するごとに約 35 秒伸びること、運搬距離に関係なく下り運搬が上り運搬に比べて約 30 秒多く掛かることも分かった。

引用文献

- 林野庁（2021）森林・林業白書．林野庁
- 林野庁（2021）造林のためのドローン活用事例集．林野庁
- 林野庁（2021）ドローンを活用した新たな造林技術の実証・調査事業．林野庁

強度間伐地における施業効果の評価（第1報）

2019年度～2023年度

門屋 健・岩下幸平*

要 旨

近年、森林施業の低コスト化などを目的に、強度間伐施業が行われている。強度間伐は、下層植生の導入による表面土壌の保護や針広混交林化に有効であり、また、人工林の公益的機能の向上への寄与も期待されている。本県でも2009年から“あいち森と緑づくり税”の事業の中で強度間伐を推進しているが、表面土壌の流亡や下層植生の構成樹種の推移等については未解明であり、2回目間伐の適期についての調査データも求められている。そこで県内3箇所の施業地における表面土壌流亡の継続的な調査と下層植生の調査を実施した。その結果、間伐後、細土の流出は減少し安定してきていること、流出量には様々な要因が関与しており、その内、降水量、調査地の傾斜、上層木の樹種が関与していることが認められた。また、過去の強度間伐施業地40箇所の再調査では、下層植生の植被率は5～100%と調査地により様々であった。一方、低木層の木本種の増加が調査地の75%で見られたが、林冠部の多くは閉鎖傾向であった。

I はじめに

スギ、ヒノキなどの人工林の森林施業の中で間伐は重要な施業の一つであるが、近年、森林施業コストの低減などを目的に、強度間伐施業が行われる森林が増加している。また、強度間伐は、コスト低減だけではなく、広葉樹の進入により、表面土壌の保護や針広混交林化にとって効果的であると言われている。加えて水土保持機能の向上や生物多様性の増加等の公益的機能改善への寄与も期待できる。

愛知県でも“あいち森と緑づくり税”を導入し、2009年から人工林整備事業の中で強度間伐を推進している。しかしながら、間伐後の下層植生の被覆による表面土壌の流亡や針広混交林化に重要な構成樹種の推移等については未解明な部分も多い。また、県内では過去の強度間伐施業地の再調査による2回目間伐の検討についても未実施であり、再調査によるデータの収集が求められている。

そこで本研究では、2019年度に強度間伐施業を行った岡崎市、新城市、設楽町の3箇所に調査地を設置し、土壌流出量の継続的な調査と下層植生の調査を行い、また、2012、2013年度に実施した既調査地において再度植生調査を行うことにより、強度間伐の施業効果を明らかにし、今後の強度間伐施業の推進に資することを目的とする。

II 方法

1. 施業効果のモニタリング

(1) 土壌流出量調査

2019年度に、あいち森と緑づくり税を活用した人工林整備事業により強度間伐施業が実施された事業地3箇所（表-1、図-1）に試験地を設定した。各試験地では、土砂受け箱（幅25cm×高さ15cm×奥行き20cm、塚本2010）を4基ずつ設置（写真-1）し、2019年10月から2021年12月にかけて、まとまった降雨イベント後に土砂受け箱に流入したリターと土砂を回収した。回収物は、

試験地	岡崎市	新城市	設楽町
場所	岡崎市夏山町稲葉沢	新城市横川字倉木	設楽町西納庫字平山
標高	60m	50m	600m
地形概要	斜面中～下部 北東の平衡斜面	斜面中～下部 北東の平衡緩斜面	斜面中～下部 南西の平衡斜面
樹種	スギ・ヒノキ	スギ・ヒノキ	スギ・ヒノキ
林齢(年)	30-60	20-60	16-50
植栽木立木密度	1,160本/ha	1,068本/ha	1,150本/ha
本数間伐率	40%	39%	37%

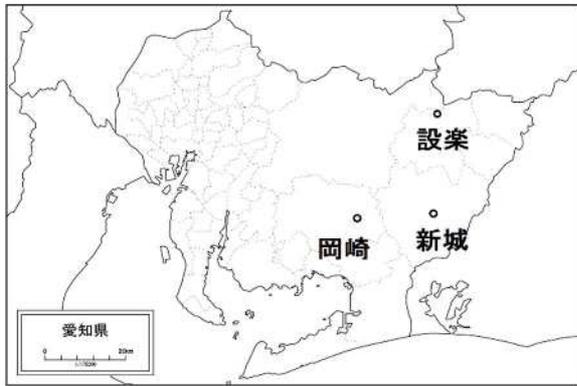


図-1 土砂流出量調査地位置図

85℃で24時間乾燥後、リターと土砂に分け、土砂については径2mmの円孔篩で礫(2mm<)と細土(2mm≧)に分別し、それぞれ重量を測定した。調査期間中の降雨量は、農研機構メッシュ農業気象データシステムから各調査地のデータをダウンロードして使用した。



写真-1 土砂受け箱の設置状況

(2) 調査地の植生調査

各調査地の土砂受け箱設置箇所近くに斜面と平行にライン(40m長)を設置し、そのライン上下1mの幅内に生育する木本植物について、種名と個体数を記録した。また、垂直方向については、①樹高50cm未満②4m未満③8m未満④8m以上の4階層に分けて記録した。調査は、2021年の10月に実施した。

(3) 調査地の開空度調査

開空度調査は、各調査地の土砂受け箱上部(地上高1.2m)からデジタルカメラ(使用レンズ:シグマ4.5mm F2.8 EX DC HSM)で全天空写真を撮影(写真-2)し、LIA32(ver. 0.3781、山本2008)の処理ソフトウェアを用いて開空率を算出した。



写真-2 天空写真撮影による開空度調査

2. 2回目間伐施業の検討

(1) 下層植生調査

2009、2010年度に強度間伐施業を実施し、2012、2013年度に植生調査を実施した県内40箇所(図-2)の調査地について、2019~2021年度に再調査を実施した。調査方法は、前回調査を行った調査地に設置した20×20mの方形区内の木本種について、種名と個体数を記録した。また、垂直方向の階層分けについては、1.(1)と同様である。

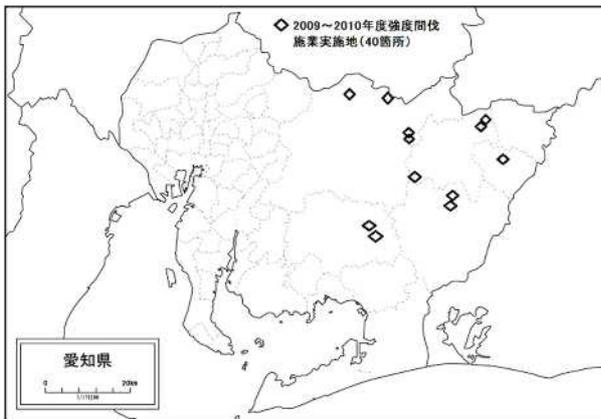


図-2 再調査地位置図(既設40箇所)

※◇の各調査地には、複数の調査地を含む

(2) 開空度調査

2.(1)の40箇所の調査地内20×20m方形区中心付近から全天空写真を撮影した。開空率の算出については、1.(3)と同様である。

III 結果と考察

1. 施業効果のモニタリング

(1) 土壌流出量調査

土壌流出量調査は、2019、2020年度に3回、2021年度は5回実施した。調査期間中の総流出量は、新城市が最も少なく、続いて岡崎市、設楽町の順番であった(図-3)。3調査地ともリターの割合が最も多く、設楽町は、リターの割合が47.3%、細土の割合が41.5%、岡崎市はリターの割合が68.8%、細土が9.4%、新城市はリターの割合が

55.0%、細土が27.9%と調査地により割合が異なっていた。図-4に、各調査地の間伐前後の土砂流出量の違いを示す。調査地により回収期間が異なるためY軸の数値は1ヶ月当たりの流出量として示した。新城市、設楽町では、間伐後の流出量の減少が見られ、割合から細土と礫の流出量が低下したのがその要因であると考えられた。一方、岡崎市については、リターの流出量が増加したため、間伐後の全体の流出量の増加がみられた。

次に3年間の各調査地の土砂受け箱ごとの流出量の推移を図-5に示す。X軸の数字は、土砂回収作業の何回目かを表し、1~3回目が2019、2020年度、4~8回目が2021年度のデータである。Y軸の数値は、降雨の影響を平均化するため物質移動レート($\text{g} \cdot \text{mm}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)を用いた(Miura et al. 2002、2003)。リターについては、設楽町では2021年の移動レートが、岡崎市、新城市では、2021年10月~12月回収の8回目の移動レートが高くなった。また、土砂受け箱の設置場所による差もみられた。礫についてはどの調査地においても、8回目のデータが高くなった。この原因は明らかではないが、土砂受け箱上部斜面の土砂とリターの状態が時間経過により変化することが、回収時の流出量に影響を与えている可能性があるかと推察された。一方、細土については、バラツキはあるものの、期間の前半、間伐前後に値は大きかったが、その後継続して低い値を示していることから、間伐施業後、

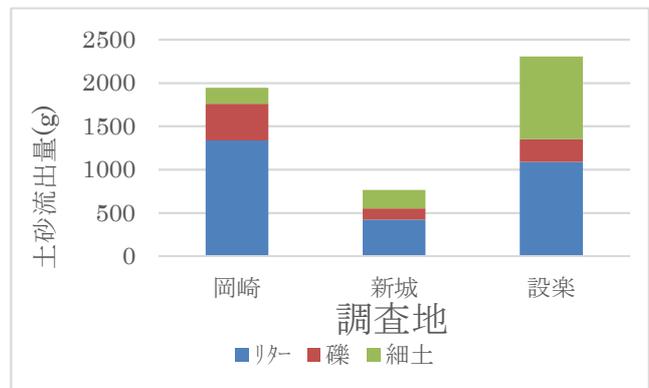


図-3 調査地の土砂流出量(2019~2021)

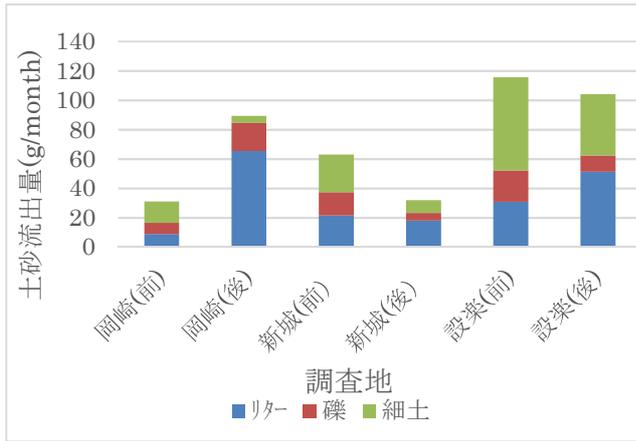


図-4 調査地の間伐前後の土砂流出量の違い

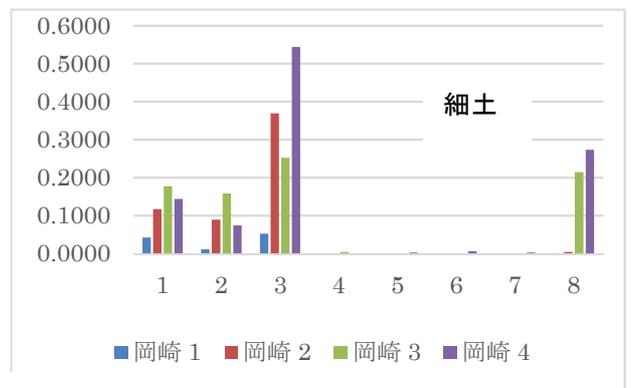
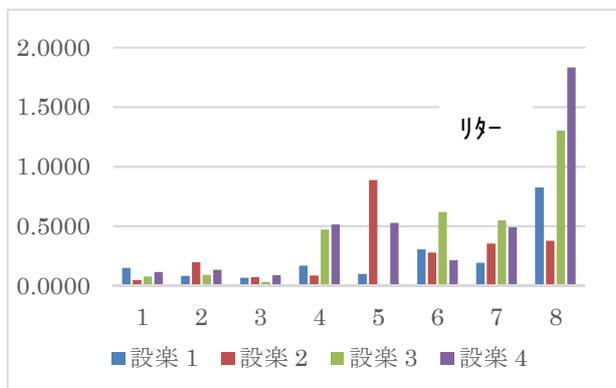
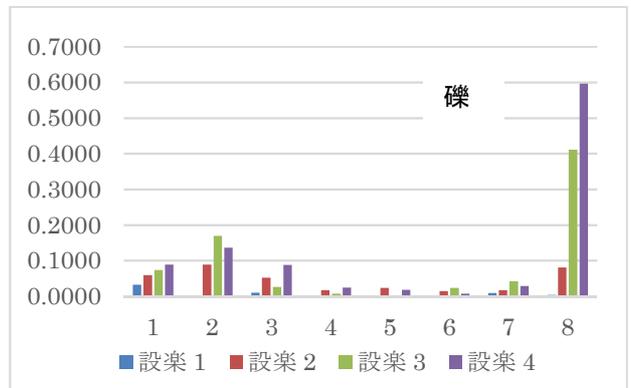
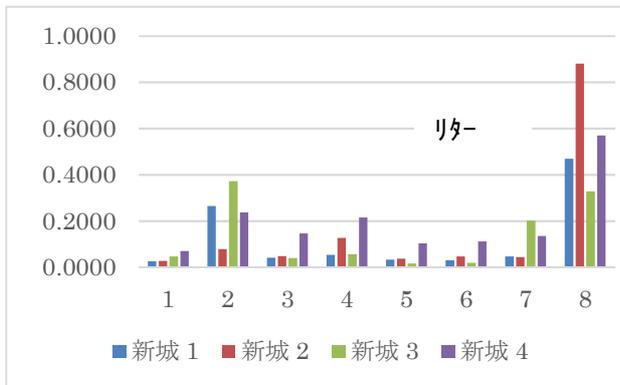
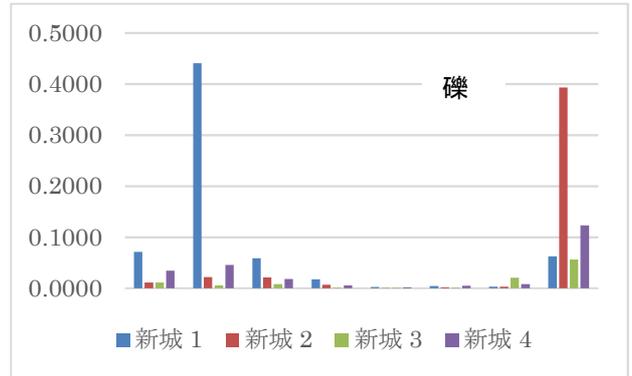
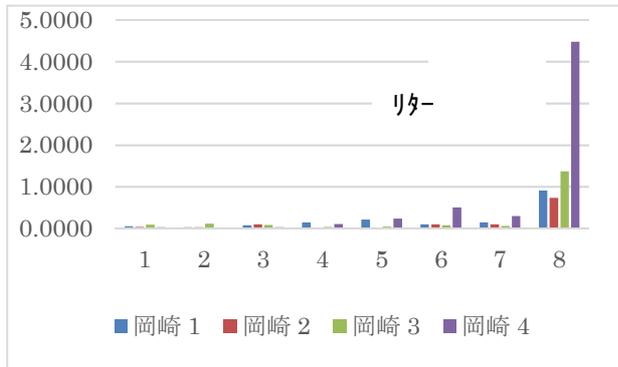
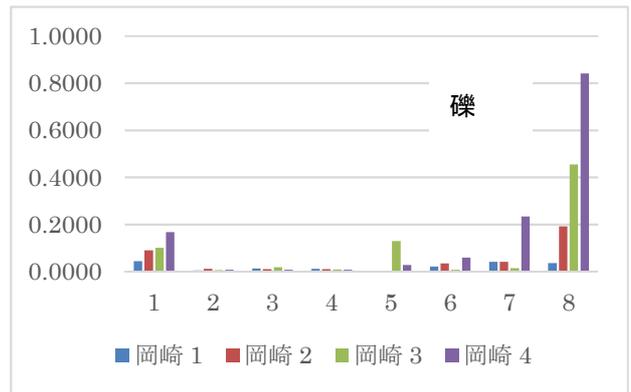


図-5-1 各調査地のリター、礫、細土流出量の推移

※X軸：流出土砂回収回数（回目）、Y軸：移動レート（ $g \cdot mm^{-1} \cdot m^{-1}$ ）

凡例 1～4：各調査地の土砂受け箱 No.

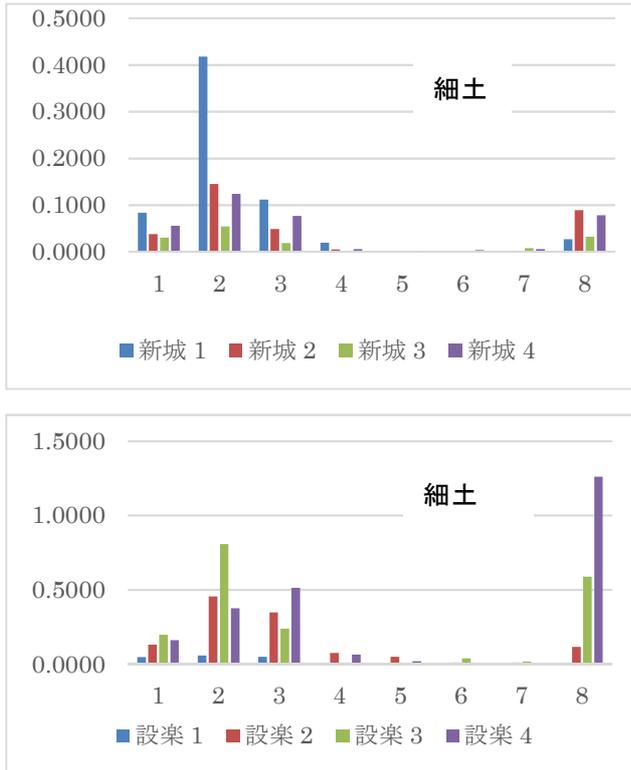


図-5-2 新城、岡崎市の細土流出量の推移

年数の経過により林内の表土流亡が安定し、土砂流出が減少するという既往研究の結果（杉本ら 2011）を支持した。

続いて、流出量に影響がある要因について、重回帰分析により検討を加えた。降水量、調査地の傾斜、調査地上層木の樹種（スギ、ヒノキ、スギ・ヒノキ混）を説明変数に、土砂流出量（総回収物、分別各種）を目的変数にして解析した結果を表-2に示す。この結果、礫、リター、総回収物については、上記の3説明変数である程度説明できると考えられた。しかしながら、現地調査の結果、個々の土砂受け箱のデータのバラツキ（場所、時期）、土砂受け箱上部斜面状態の違い（リター、植物の被覆、斜面に置かれた間伐木の状態（井川原ら 2004）や立木、枯れ枝の状況等）、様々な要因が土砂の移動に複合的に影響を与えていることが推察できた。また、降雨パターンも調査年により変動が大きいことが観察されたことから、今後も継

続してデータを収集し、その要因を解析する必要性が認められた。

表-2 重回帰分析の結果

土砂回収物	重相関係数R	決定係数R ²	補正R ²	F値
リター	0.796	0.634	0.534	0.011
礫	0.854	0.729	0.656	0.009
細土	0.701	0.491	0.353	0.002
総回収物	0.789	0.623	0.520	0.052

(2) 調査地の植生調査

調査地の下層植生の植被率は5~10%で、木本種の出現種数は、岡崎市で13種、新城市で11種、設楽町で14種であった。また、高木性樹種の種数割合は、岡崎市46%、新城市54%、設楽町14%で、本数割合はそれぞれ48%、89%、13%であった。新城市の特長としては、ツブラジイの実生が多く、本数割合で56%、続いてアラカシが同17%であった。岡崎市ではアラカシの本数割合が31%で、他の調査地との違いとしてスギとヒノキ実生が見られた。多様性を示すShannon-Wienerの多様性指数H'（伊藤ら1977）は、岡崎市で3.04、新城市で2.09、設楽町で3.29であった。3調査地間の類似度は（Jaccardの共通係数、伊藤ら1977）、設楽-新城で0.087、設楽-岡崎で0.038、新城-岡崎で0.143となり、各調査地間の木本種の種組成の違いがみられた。

(3) 調査地の開空度調査

3箇所の開空率の推移を図-6に示す。3箇所とも間伐前後で開空率は増加した。間伐後2年経過時の調査では、調査地により間伐直後からの数値の増減は異なっていた。設楽町では、調査地内の倒木が発生したことにより、開空率の増加が確認された。今後もその推移を継続的に調査する必要があると思われた。

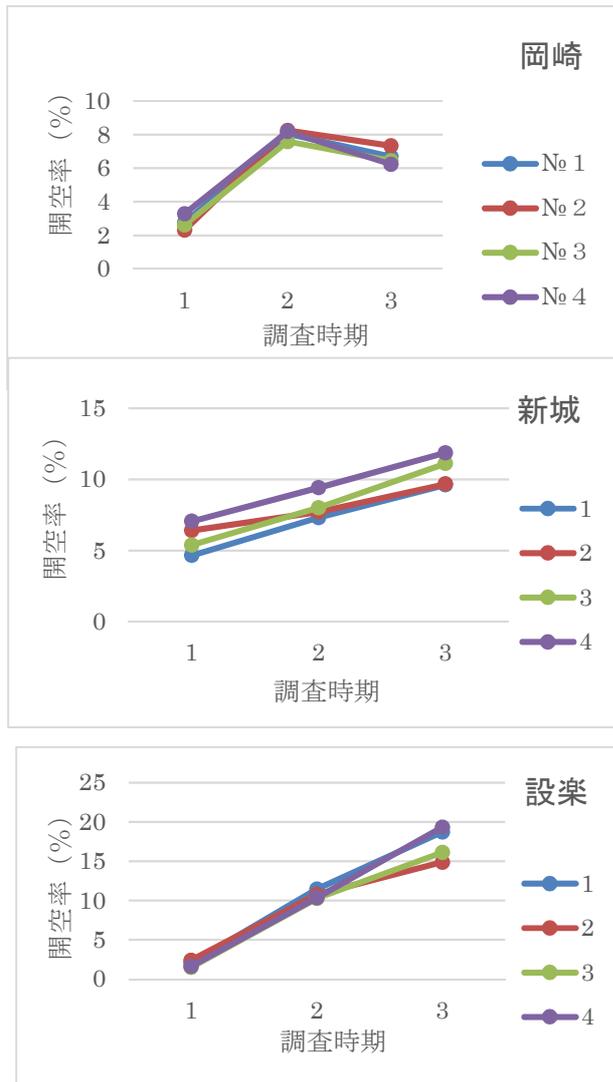


図-6 3調査地の開空率の推移

X軸：1は間伐前、2は間伐直後、3は2021年
No.1~4：土砂受け箱No. (撮影位置)

2. 2回目間伐施業の検討

(1) 下層植生調査

強度間伐施業後調査を行った40箇所の調査地について、7、8年後の植生調査の結果を表-3に示す。下層植生(H)の木本種数、優占種の推移について、40箇所中21箇所で種数は増加した。植被率については1回目調査では、すべて50%以下であったが、2回目調査では、50%以上の調査地が2割を占め、19箇所が前回調査

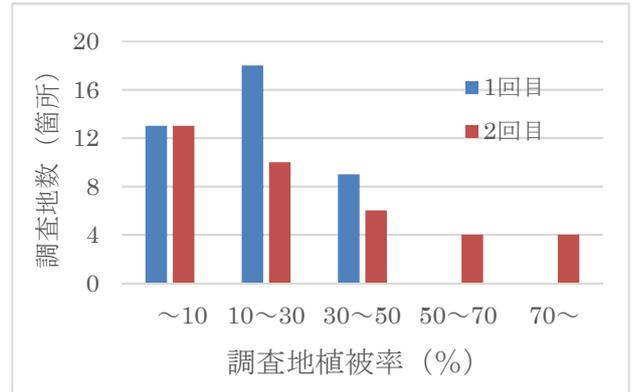


図-7 下層植生の植被率の頻度分布

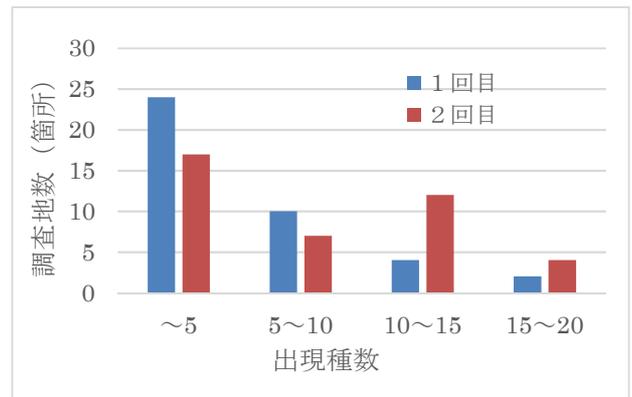


図-8 低木層の出現種数の推移

より増加していた(図-7)。一方、低木層については、75%の30箇所で種数の増加がみられた(図-8)。このことから、間伐後下層植生で生育する個体の一部が定着し、成長したものと考えられた。これら調査地の低木層に優占する樹種は、道沿いや伐採跡地などの比較的明るい立地に生育するコアジサイ、ヤブムラサキ、陽生樹のアセビが多くの調査地で出現していることから、林内環境は比較的明るい状況であることがわかる。しかしながら、低木層出現種の中から将来的に上層木優占種へと生育すると思われる樹種は、アラカシ、ツブラジイが個体数では候補として挙げられるが、その他の種が乏しい状態であることから、2回目の間伐については、下層植生に出現する高木性樹種が成長する環境作りを、各調査地の現状を十分把握した上で講じる必要があると思われた。

表-3 各調査地の木本植物種数と優占種 ((1):1回目調査、(2):2回目調査、H:下層植生、S:低木層)

No	調査地 市町	大字以下	調査年 (1)	種数		調査年 (2)	種数		2012-13年優占種		2019-21年優占種	
				H(1)	S(1)		H(2)	S(2)	No.1	No.2	No.1	No.2
奥01	東栄町	振草古戸大手13	2012	15	2	2020	17	3	コアシ サイ(2)	クロモジ (1)	クロモジ	コアシ サイ
奥02	東栄町	振草古戸大手13	2012	8	2	2020	12	3	コアシ サイ(3)	クロモジ (1)	コアシ サイ	クロモジ
奥03	東栄町	振草古戸大手12-1	2012	13	2	2020	19	1	コアシ サイ(2)	クロモジ (1)	クロモジ	コアシ サイ
奥04	東栄町	振草古戸大手12-1	2012	4	1	2020	10	4	コアシ サイ(2)	クロモジ (2)	クロモジ	コアシ サイ
奥05	東栄町	振草古戸大手8	2012	9	4	2020	10	4	コアシ サイ(2)	クロモジ (1)	クロモジ	カナクギ ノキ
奥06	東栄町	振草古戸大手8	2012	7	0	2020	3	0	ヤマアジ サイ(+)	-	クロモジ 9	コアシ サイ4
奥07	東栄町	振草古戸大手8	2012	6	1	2020	2	1	ヤマアジ サイ(2)	-	ヤマアジ サイ	クロモジ 2
奥08	設楽町	豊邦段戸山1-489	2012	18	4	2020	9	4	コアシ サイ(1)	スズ タケ(1)	コアシ サイ	ヤブ ムラサキ
奥09	設楽町	豊邦段戸山1-489	2012	22	0	2020	13	0	スズ タケ(2)	-	コアシ サイ	ヒノキ
奥10	設楽町	豊邦段戸山1-473	2012	11	1	2020	5	1	シロモジ (1)	-	ツツジ 9	コアシ サイ4
奥11	設楽町	豊邦段戸山1-473	2012	18	2	2020	6	3	シロモジ (2)	リュウブ (1)	ツツジ sp	イヌツゲ 5
奥12	設楽町	豊邦段戸山1-475	2012	11	0	2020	11	1	ミヤコザ サ(3)	-	ツツジ sp	ヒノキ
奥13	設楽町	豊邦段戸山1-475	2012	11	1	2020	8	0	ミヤコザ サ(4)	-	スギ	ヒノキ8
奥14	設楽町	豊邦段戸山1-447	2012	7	0	2020	10	2	スズ タケ(+)	-	ムラサキシキブ 9	タカノツメ4
奥15	設楽町	豊邦段戸山1-447	2012	18	0	2020	8	3	スズ タケ(+)	-	スギ 7	コアシ サイ3
奥16	設楽町	豊邦段戸山1-447	2012	19	3	2020	17	9	アセビ (1)	シロモジ (1)	ヒノキ	スギ
奥17	岡崎市	石原町相野76	2013	17	5	2021	15	4	コシダ (3)	ウラジ ロ(2)	ヒサカキ	アラカシ
奥18	岡崎市	石原町淀野123-9	2013	14	7	2021	19	9	ウラジ ロ(2)	アラカシ(1)	アラカシ、チャノキ	-
奥19	豊田市	浅谷町上平649-1	2013	41	8	2020	29	15	ヤブ ムラサキ(3)	ベニシダ (1)	モミ	アラカシ
奥20	豊田市	上仁木町貝戸ヶ入	2013	33	5	2020	25	15	ヒサカキ(2)	ヤマツツジ (1)	ヤマツツジ	ヒノキ
奥21	豊田市	下仁木町井ノ平	2013	26	6	2020	10	15	ケチチ ミザ サ(3)	ベニシダ (2)	ヒサカキ	コアシ サイ
公01	新城市	中島金剛地1-2	2012	28	19	2019	25	14	アセビ (1)	アラカシ(1)	ヤブ コウジ	アカシデ
公02	新城市	中島金剛地1-2	2012	20	11	2019	30	18	コシダ (2)	アラカシ(1)	ヒノキ	ヒサカキ
公03	新城市	中島金剛地1-2	2012	26	6	2019	28	9	アセビ (1)	アラカシ(1)	ヒノキ	アカシデ
公04	新城市	中島金剛地1-2	2012	5	0	2019	26	15	ヒサカキ(1)	コアシ サイ(1)	ヒノキ	ヤブ コウジ
公05	新城市	中島金剛地1-2	2012	7	0	2019	20	13	アセビ (2)	アラカシ(2)	ヒノキ	ヤブ コウジ
公06	新城市	中島金剛地1-2	2012	7	7	2019	21	14	ヒサカキ(2)	アラカシ(1)	ヒノキ	ヤブ コウジ
公07	新城市	中島浜入場24-1	2012	30	7	2019	20	14	スズ タケ(3)	シキミ(1)	ヤブ コウジ	ヒサカキ
公08	新城市	中島浜入場24-1	2012	18	14	2019	27	10	スズ タケ(2)	アラカシ(1)	シキミ	ヤブ コウジ
公09	新城市	中島浜入場24-1	2012	26	4	2019	26	13	スズ タケ(2)	タカノツメ(1)	ヤブ コウジ	シキミ
公10	新城市	中島スサノ口5-2	2012	11	11	2019	22	5	アブ ラチャン(1)	フイチゴ (1)	ヒサカキ	コアシ サイ
公11	新城市	中島スサノ口5-2	2012	13	10	2019	14	11	フイチゴ (1)	-	ヤブ コウジ 7	コアシ サイ6
公12	新城市	中島スサノ口5-2	2012	37	0	2019	12	12	フイチゴ (1)	-	コアシ サイ	アブ ラチャン3
公13	設楽町	津具釜石17-1	2012	14	17	2020	9	16	ツタウルシ(2)	ケチチ ミザ サ(1)	ヤブ コウジ	モミ イチゴ
公14	設楽町	津具中手向2-80	2012	13	12	2020	13	7	コアシ サイ(2)	-	コアシ サイ	ムラサキシキブ
公15	岡崎市	木下町嶋18	2013	30	9	2021	29	14	アカシ (1)	アセビ (1)	ヒサカキ	アセビ
公16	岡崎市	木下町河原田118-1	2013	25	4	2021	31	18	ヒサカキ(3)	ミヤコザ サ(2)	ミヤマシキミ	ヒサカキ
公17	岡崎市	石原町淀野118-1	2013	18	4	2021	23	8	マダ ケ(2)	チャノキ(1)	チャノキ	アラカシ
公18	豊田市	大多賀町下平5-16	2013	23	6	2020	25	10	アセビ (2)	-	コアシ サイ	サクラsp
公19	豊田市	大多賀町八子15-4	2013	28	10	2020	14	20	アセビ (2)	コアシ サイ(2)	ヤマツツジ 6	ハ イカツジ 5

※ 2012-2013年優占種：植物名の後の()内数字は被度の値、2019-2021年優占種：植物名の後の数字は個体数(10個体以下の場合表記)

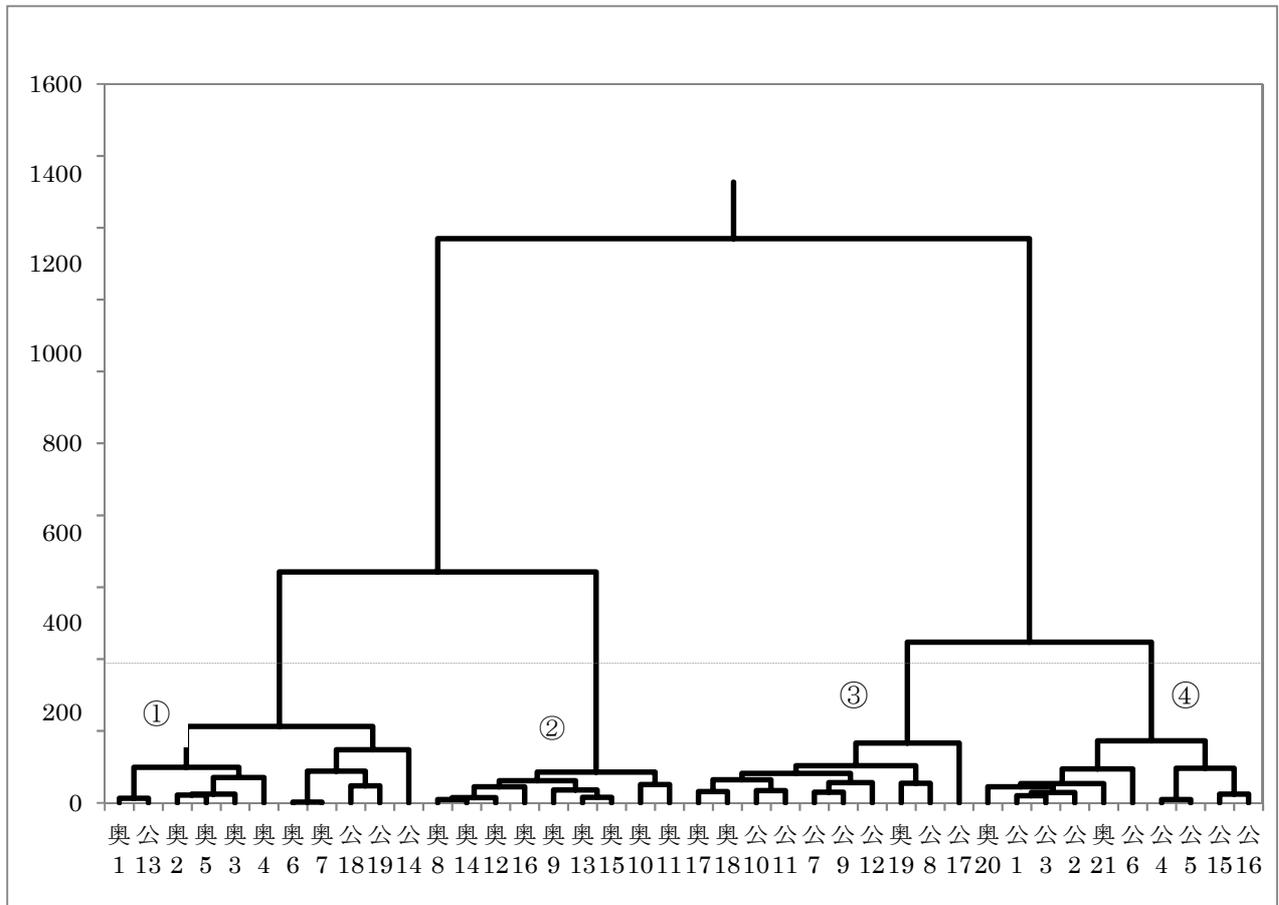


図-9 調査地（40箇所）のデンドログラム

次に、40箇所の調査地について、植生調査から得られた調査地間の類似度（Jaccardの共通係数）、各調査地のShannon-Wienerの多様度指数（H'）、木本種数、高木性樹種数、高木性樹種の常緑樹の割合（2回調査分）と調査地の標高データを用いてクラスター分析を実施した。なお、距離計算には、ユークリッド距離とワード法を用いた。得られたデンドログラムを図-9に示す。40箇所の調査地は大きく2つのクラスターに分かれた。それぞれのクラスターは更に2または3個のクラスターに分けられた。大きな2つのクラスターの内、1つ目は①東栄町、設楽町津具の一部、豊田市大多賀のグループと②設楽町段戸と津具の一部のグループに、2つ目は、③岡崎市、新城市、豊田市の一部、④岡崎市、新城市、豊田市の残り調査地にグループに分け

られた。2つの大きなクラスターは調査地の地理的な差違から、また、①と②のグループについても、同様に地理的な差違でクラスター分けされたと考えられた。③と④については、調査地の標高と今回調査した調査地の常緑の高木性樹種の割合によりクラスター分けされたと考えられた。

(2) 開空度調査

40箇所の開空率の値は、4.81～17.89%で平均は7.88%であった。図-10に、調査地の開空率の頻度分布を示す。40箇所の内、80%が10%以下で林冠部はやや閉鎖傾向であった。次に、上層木の樹種別の開空率の違いを図-11に示す。今回の調査地においては、開空率10%以上の比較的林冠が開いている調査地は、スギ・ヒノキの混交林での割合が高かった。

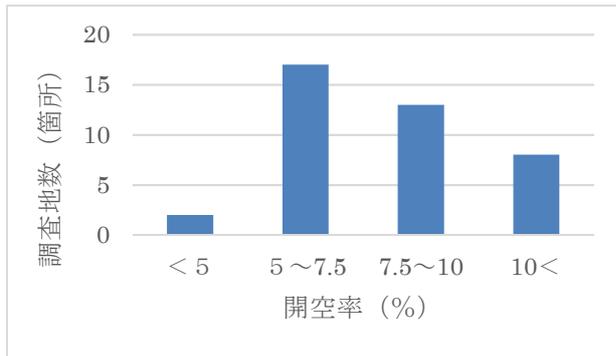


図-10 各調査地の開空率の頻度分布

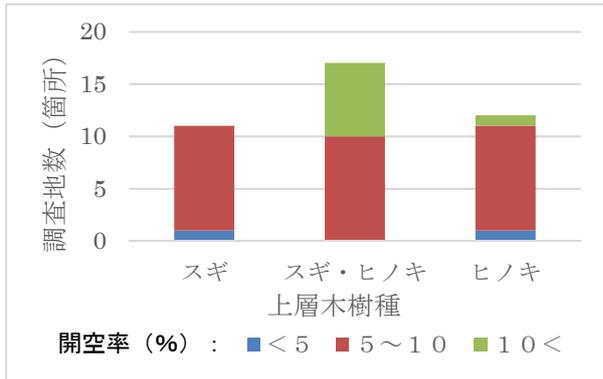


図-11 上層木樹種別の開空率

以上の結果、2019年に強度間伐を実施した3箇所の事業地では、土壌流出量の内、細土については間伐後の土壌の安定化により、流出量が低下したと考えられた。また、その他の流出量については、様々な要因の関与が推察できるため、今後も継続的にデータを収集し、分析する必要性が認められた。

調査地の下層植生については、強度間伐後2年経過した時点では、植被率も低く、木本種の種数も豊富とは言えなかった。岡崎市、新城市の調査地は、カナメモチーコジイ群集の標徴種コジイ(ツブラジイ)、アセビ、ソヨゴが出現し、ヤブツバキクラスの種もそれぞれ半数程度を占めていた。岡崎市については、チャノキ、フユイチゴが出現していたことから、植生区分としては下級単位のチャノキ亜群集に分類される種構成であると思われた(宮脇 1985)。設楽町の調査地は標高も他調査地と異なり600mと高く、そのため構成種が異なっていた。区分種の

比較により、シキミーモミ群集に分類される種組成であり、そのことが Jaccard の共通係数値の差として現れたと考えられた。これら3箇所の調査地については、強度間伐実施後2年しか経過しておらず、今後も継続して植生動態を調査する必要性が認められた。

次に、2012、2013年に強度間伐施業を実施した40箇所については、今回の調査で9箇所が下層植生の植被率が60%を超えていた。植被率が60%を超えている森林は、30%未満の森林と比較して、単位面積当たりの土砂流出率が97%減少するという報告(Mizuno et al. 2021)もあり、これら9箇所については、公益的機能が十分発揮されることが期待できると思われた。一方、18箇所については植被率が30%未満であったため、今後、2回目の間伐も含めて、現地状況を十分に把握した上で、考えられる選択肢から適切な森林施業を検討することが必要であると思われた。

引用文献

- 井川原弘一・渡邊仁志・横井秀一(2004)ヒノキ人工林における間伐木の処理方法と土壌浸食量の関係. 中森研 52 : 267-270
- 伊藤秀三・宮田逸夫(1977)群落の種多様性. (群落の組成と構造. 伊藤秀三編 朝倉書店). 76-111
- Miura S, Hirai K, Yamada T(2002)Transport rates of surface materials on steep forested slopes induced by raindrop splash erosion. J. For. Res. 7:201-211
- Miura S, Yoshinaga T, Yamada T(2003)Protective effect of floor cover against soil erosion on steep forested with *Chamaecyparis obtusa* and other species. J. For. Res. 8:27-35
- 宮脇昭(1985)日本植生誌 中部. 至文堂

Mizuno T, Kojima N, Asano S(2021)The risk reduction effect of sediment production rate by understory coverage rate in granite area mountain forest. Sci. Rep. 11:14415

杉本純佑・鈴木保志・後藤純一（2011）列状間伐実施後のスギ人工林における土砂移動量と下層植生現存量．森利誌26：105-109

塚本次郎（2010）移動土砂量の簡易測定法（改訂版 森林立地調査法．森林立地調査法編集委員会編、博友社）．195-196

山本一清（2008）LIA32 ver. 0.3781．URL：
<http://www.agr.nagoyau.ac.jp/~shinkan/LIA3.2/download.html>

業 務 報 告

研究課題	循環型林業の推進のためのスマート林業及び木材利用の推進
課題名	航空レーザ計測データを活用した溪床の安定勾配の検証
担当者	(主) 岩川昌暉 (副) 藏屋健治
期間	2021年度～2023年度

I 目的

本県では、森林土木事業で治山ダム等を設置する際、安定勾配を基にした計画勾配係数を用いて堤高を決定するが、県の基準が制定されてから年月が経過している。近年、県内各地で局所的な大雨が発生したり、「令和2年7月豪雨」などの記録的な集中豪雨が頻発しており、こうした気象条件の変化に対応した治山ダムの設置が求められている。そこで、本研究では県内の溪流の溪床勾配について、航空レーザによる調査と現地測量による調査により評価するとともに、現在の気象条件に適応した安定勾配に関する指標を作成する。

II 昨年度研究内容

1 溪床勾配の状況調査

(1) 現地調査 (2) 航空レーザ計測データ解析

III 研究結果

1 溪床勾配の状況調査

(1) 現地調査

治山ダムの堆砂状況を把握するため、調査地として東栄町及び豊根村から地質区分ごとに花崗岩で3か所、領家変成岩で1か所、第三紀層で2か所を選び、合計36基(1963年～1998年設置)の治山ダムを調査した。その結果、満砂した治山ダムが32基、満砂していない治山ダムが4基あった。満砂した治山ダムを地質区分ごとに分けると花崗岩で18基(1976年～1998年設置)、領家変成岩で3基(1983年～1994年設置)、第三紀層で11基(1963年～1986年設置)であった。満砂した治山ダムについては現地測量を行い、堆砂勾配を求めた。

(2) 航空レーザ計測データ解析

県が2018年以降取得した航空レーザ計測データを活用するため、データを解析するソフトを検討した結果、治山現場でも使われ、赤色立体図から縦断図等を作成することのできるソフトを用いることに決定した。満砂した治山ダム32基について現地測量の測点を考慮して赤色立体図上で測点を取り、水平距離、垂直距離、堆砂勾配を求めた。現地測量の結果と赤色立体図の結果を比較するために堆砂勾配の差を求めた結果、32基中22基について差が2度以下であった。この結果から航空レーザ計測データを活用することで現地調査を行わずに堆砂勾配が求められる可能性が示唆された。

IV 本年度以降の予定

1 溪床勾配の状況調査

(1) 現地調査 (2) 航空レーザ計測データ解析

2 溪床の安定勾配の検証

(1) 堆砂勾配と現溪床勾配の比較

V 備考

なし

研究課題	循環型林業の推進のためのスマート林業及び木材利用の推進
課題名	航空レーザ計測データを活用した簡易な森林資源量評価手法の開発
担当者	(主) 岩下幸平 (副) 狩場晴也
期間	2019年度～2021年度

I 目的

現在、林業事業者は間伐・皆伐の施業において出材材積を推定する場合、標準地プロット調査を実施し概算材積等の算出をおこなうことが多い。しかしながら、標準地プロットの設置箇所次第で、結果が大きく左右されることが現場の課題としてあり、概算材積算出の精度の向上および省力化を図るうえで誰でも客観的に材積等の森林資源量を把握できる技術が求められている。そこで、近年、現場への普及が期待されているリモートセンシング機器を用いた効率的な森林資源量評価手法の開発を行う。

II 昨年度研究内容

- 1 効率的な材積等測定手法の検討 (1) リモートセンシング機器による森林資源量調査
(2) 測定手法マニュアルの作成
- 2 伐採現場における実証試験 (1) 出材現場における精度の検証
- 3 既存林分収穫予想表の検証

III 研究結果

1 効率的な材積等測定手法の検討

(1) リモートセンシング機器による森林資源量調査

東栄町足込黒畑と豊田市和合町の皆伐予定森林にて、Litchi for DJI Drones によって地形に沿って飛行させた当センター所有の DJI Phantom4 pro+ によって鉛直方向および斜め方向の撮影を行った。また調査範囲内に GCP を 3 点設置し、RTK 受信機によって位置を測量した。これら写真と GCP 座標を用いて三次元モデルを作成した。

(2) 測定手法マニュアルの作成

撮影と 3D モデルの作成、樹頂点抽出についてマニュアルを作成した。

2 伐採現場における実証試験

(1) 出材現場における精度の検証

東栄町足込黒畑と豊田市和合町の調査地について、伐採後についても伐採前と同様に撮影を行い三次元モデルを作成した。10m×10m のプロットを東栄町では 2 つ、豊田市では 3 つ設け、伐採後の画像からプロット内の全て根株の位置を目視で抽出した。伐採前の三次元モデルから作成した DSM と県航空レーザ計測データの DEM から DCHM を作成し、局所最大値フィルター法によって樹頂点を抽出した。その際、71 通りのフィルターサイズで抽出し、根株の位置と個数の対応から正解率を算出した。応答変数を抽出の正解率、説明変数をフィルターサイズとして一般化線形混合モデルにより最も正解率の高いフィルターサイズを求めたところ、 $0.03x+0.5m$ が正解率の推定値が最大となった。

上記のフィルターサイズによって調査地全域から抽出を行い、その抽出結果について、県航空レーザ計測データによる抽出結果、ラジコンヘリに搭載したレーザ計測機による森林計測サービスを実施している A 社の抽出結果、UAV による航空写真による森林計測サービスを実施している B 社の抽出結果と比較した。なお A 社による計測は低空からレーザを高密度かつ斜め方向も含めて照射しているため最も抽出精度が高いと考えられるため、これを基準に比較した。その結果、B 社の東栄町の試験では抽出本数が過剰になったが、それ以外では全て抽出本数は A 社より少なくなった。また当センター UAV による抽出は県航空レーザ計測データによる抽出と比較的値が近かったため、今回開発した手法は県航空レーザ計測と同等の精度があり、補助的に用いることが可能だと考えられた。

3 既存林分収穫予想表の検討

本県の高齢級な人工林に対応する新たな林分収穫予想表の作成に向け、国内で開発された林分収穫予想表について検討したところ、多くは既存の林分収穫予想表作成支援システムを使用していた。また林分の地位の推定において地形や緯度経度など地理情報を用いている例があった。

IV 本年度以降の予定

なし

V 備考

終了課題につき、研究報告を参照のこと。

研究課題	循環型林業の推進のためのスマート林業及び木材利用の推進
課題名	エリートツリーの種苗生産技術に関する研究
担当者	(主) 狩場晴也 (副) 豊嶋勲
期間	2020年度～2022年度

I 目的

現在、低コスト造林を推進するため、成長及び材質に優れたスギ・ヒノキのエリートツリーへの関心が高まっており、エリートツリー由来の苗木を効率的かつ安定的に供給することが求められている。しかし、苗木の安定供給に向けて、効率的に種子を生産する手法は確立されておらず、(国研) 林木育種センターから導入するエリートツリーについて、本県の気象・土壌条件における成長特性が明らかとなっていない。そこで本研究では、エリートツリー由来の苗木の安定供給に向けて、効率的に種苗を生産する手法を確立するとともに、本県における成長特性を調査し、本県の気象・土壌条件で成長の優れる系統を把握する。

II 昨年度研究内容

- 1 エリートツリー種子の効率的な生産手法の開発
 - (1) 採種台木の育成・管理方法の検討
 - (2) 効率的な挿し木増産技術の検討
- 2 育林方法の検討
 - (1) 苗木の現地実証調査

III 研究結果

- 1 エリートツリー種子の効率的な生産手法の開発
 - (1) 採種台木の育成・管理方法の検討

スギ9系統96本及びヒノキ9系統96本の採種台木について、固形肥料による対照区及び液体肥料で肥料条件を変えた試験区をスギ・ヒノキでそれぞれ設け、施肥を開始し、樹高及び根元径を測定した。施肥を開始した2021年5月時点において、スギの樹高は24～74cm、ヒノキの樹高は37～102cmであった。施肥の試験区別での12月までの樹高成長量は、スギで対照区が平均146cmに対し、液体肥料で対照区より濃度が2倍相当の試験区では平均163cmとなり、成長量に差が見られた。ヒノキでは対照区が平均64cmに対し、液体肥料で対照区より濃度が2倍相当の試験区及び対照区よりリン酸とカリウムが多い試験区で平均69cmであった。
 - (2) 効率的な挿し木増産技術の検討

スギ3系統、ヒノキ2系統について、通常穂(30cm)、ミニ穂(15cm)、マイクロ穂(10cm)の3条件で2021年4月に挿し付け、8～10月に発根状況を確認した。その結果、発根率は、スギ通常穂58～93%、ミニ穂38～80%、マイクロ穂0～4%であり、ヒノキ通常穂5～62%、ミニ穂35～48%、マイクロ穂13～25%となり、マイクロ穂では発根率が低くなった。また、スギ及びヒノキの荒穂各5本について、通常相当(20cm以上)、ミニ相当(10～15cm)、マイクロ相当(10cm以下)の穂がそれぞれ何本作製できるか確認した。その結果、スギでは、1本の荒穂から通常相当1～6本、ミニ相当8～17本、マイクロ相当36～67本となり、ヒノキでは、通常相当1～6本、ミニ相当4～13本、マイクロ相当11～45本となった。
- 2 育林方法の検討
 - (1) 苗木の現地実証調査

現地実証調査を行うため、エリートツリー(スギ13系統117本・ヒノキ4系統37本)の挿し木苗を育成した。2021年4月に発根させた挿し木苗を成長に適した肥料・培地への移植を行い、2022年1月に樹高および根元径を測定した。その結果、平均樹高は、スギ苗木で41.7～61.1cm、ヒノキ苗木で35.1～42.1cmであり、山地植栽可能な樹高が30cm上となる苗木の得苗率は、スギ75%(13系統88本)、ヒノキ76%(4系統28本)であり、多くの苗が2022年春に植栽可能となった。

IV 本年度以降の予定

- 1 エリートツリー種苗の効率的な生産手法の開発
 - (1) 採種台木の育成・管理方法の検討
 - (3) ジベレリン散布調査
- 2 育林方法の検討
 - (1) 苗木の現地実証調査

V 備考

- 1 (2) 効率的な挿し木増産技術の検討は、2022年度から新規課題で実施予定

研究課題	循環型林業の推進のためのスマート林業及び木材利用の推進
課題名	ICTを活用した森林被害管理手法の開発
担当者	(主) 狩場晴也 (副) 豊嶋勲
期間	2019年度～2021年度

I 目的

県内におけるニホンジカ（以下、シカ）の個体数はいまだ増加傾向であり、皆伐再造林等を進めていくうえでその森林被害対策が大きな課題となっている。これまで被害実態の調査や個体数推定手法の開発等を行ってきた。しかしながら、今後も中長期的に継続していくシカ被害対策を進めるにあたって、より効率的にシカ及びカモシカ（以下、シカ等）の生息状況及び森林被害を把握するモニタリング手法を確立することが肝要であり、森林内における被害管理手法についても同様に求められる。そこで本研究では、低コスト・省力的な森林被害及びシカの生息状況のモニタリング手法の確立並びに被害管理手法の開発を行う。

II 昨年度研究内容

1 被害管理手法の開発

III 研究結果

1 被害管理手法の開発

防護柵内におけるシカ等侵入検知システムを開発するため、効果的なセンサー機器設置位置及び検知に適したセンサー機器について検討した。センサー機器設置位置の検討では、防護柵に囲まれた再造林地での自動撮影カメラ調査（15台）を2021年9月から2022年2月まで行い、その結果、撮影頻度は、9月が24回/30日と最も高く、冬期に近づくにつれ頻度が低くなった。また、撮影頻度の高かった9月・10月における各カメラの撮影頻度は、0～180回/30日・0～74.5回/30日となりカメラごとに大きく異なっていた。防護柵内の尾根筋や谷筋等の緩やかな地形、餌や水資源が豊富な地点で撮影頻度が高くなっており、それらの時期・地点においてセンサー機器を設置することで効果的に侵入検知が行えることが分かった。センサー機器の検討では、人感（赤外線）及び磁石着脱式センサーを用いて調査を行った。その結果、人感（赤外線）センサーでは、シカ等による柵内侵入の危険性が高まる夏期～秋期の夜間において、感度を自動撮影カメラ程度に設定することで検知が可能であり、磁石着脱式センサーでは、テグスを高さ40～70cmで水平に設置することで効果的に検知が可能であることが分かった。

設楽町東納庫で2020年8月、豊田市神殿町で2020年11月に設置した低コスト防護柵について、モニタリング調査を行った。両試験地で柵沿い（外側）に設置した自動撮影カメラでは、シカ等が撮影されており、柵の周辺にシカ等が生息していることが確認された。設楽では、カメラによる確認でシカ等が柵内に侵入した様子はなく、現地での確認でも動物が原因と考えられる柵の破損や植栽木の被害は確認されなかった。一方、神殿では、2022年3月に動物による引き上げが原因だと思われる裾浮きが見られた。裾浮き部分は、アンカー杭及び押さえロープには被害がなかったが、ネット本体が破損しており、結果的に動物が侵入できるサイズの裾浮き（穴）になっており、柵内に動物の足跡が見られたことから、シカ等が柵内に侵入した可能性が考えられた。確認された裾浮き部分では、本来は打込むべきアンカー杭が1本確認できず、設置不良に起因する被害だと予想される。そのため、低コスト防護柵を使用する際には、従来の防護柵以上に弛み等がないように適切に設置する必要があると考えられた。

IV 本年度以降の予定

なし

V 備考

終了課題につき、研究報告を参照のこと。

研究課題	循環型林業の推進のためのスマート林業及び木材利用の推進
課題名	作業の省力化に向けた林業機器等の改良
担当者	(主) 藏屋健治 (副) 岩川昌暉
期間	2020年度～2021年度

I 目的

循環型林業を推進するにあたり、伐採後の再造林を行うための資材等の運搬に係る労働負荷の軽減や低コスト化が望まれている。また、伐採時に生じるかかり木の安全かつ労働負荷の少ない処理方法の開発も求められている。これらの問題を解決しなければ、林業就労者の確保及び労働安全の確保は難しいと考えられる。

そこで、林業における労働災害防止及び就労者の労働強度の軽減を目指し、本県に適した機器等の利用による資材等の運搬方法を検討する。また、伐倒作業についても機器の改良について検討する。

II 昨年度研究内容

- 1 作業の省力化に向けた作業システムの検討
- 2 安全性の向上に向けた林業機器等の検討

III 研究結果

1 作業の省力化に向けた作業システムの検討

再造林を行う際に必要な苗木等の運搬について、林業用ドローンを活用した運搬方法の検討を行った。豊田市地内の私有林2か所(1.34ha、0.40ha)と北設楽郡豊根村地内の私有林1か所(0.40ha)において、(株)マゼックス製の2オペレーション型の林業用ドローンを使用して、スギ、コナラのコンテナ苗、獣害防止用資材の運搬を行った。

その結果、1サイクル当たりの運搬時間及び1日当たりの運搬回数について、豊田市地内の2か所では147秒及び157回(平均運搬距離86m)と163秒及び141回(平均運搬距離62m)、北設楽郡豊根村地内では215秒及び107回(平均運搬距離181m)となった。これらから、1サイクルでのドローン運搬量を10kgと仮定すると、1人1日当たりの運搬可能量は、豊田市地内で785kgと705kg、北設楽郡豊根村地内で535kgと算定され、ドローン運搬が人力運搬に比べて約2.5倍運搬できる結果となった。

2 安全性の向上に向けた林業機器等の検討

かかり木処理の効率的な方法として、プラロック(ローププラー)を使用した処理方法について、適応可能かどうかの検討を行った。使用実績について調査したところ、3事例を把握することが出来た。

IV 本年度以降の予定

なし

V 備考

研究内容のうち、「1 作業の省力化に向けた作業システムの検討」について、研究報告「林業用ドローンによる苗木等の運搬方法の検討」を参照のこと。

研究課題	循環型林業の推進のためのスマート林業及び木材利用の推進
課題名	早生樹の材質特性に関する研究
担当者	(主) 岩川昌暉 ・ 藏屋健治
期間	2020年度～2022年度

I 目的

戦後造林された森林資源は成熟期を迎え、今後主伐・再造林の増加が予想される。再造林において植栽や下刈りなどの多額の初期費用を要すが、その費用を回収できる主伐までの期間が非常に長いことが、森林所有者の関心を造林に向きにくくしている。そのため、スギ・ヒノキ等の従来の造林樹種以外の選択肢が求められており、比較的短伐期での収穫が可能な早生樹が注目されている。しかし、早生樹の材質特性については未解明であり、利用するには材質特性を明らかにする必要がある。そこで本研究では、早生樹の材質特性を明らかにし、その利用法を検討することを目的とする。

II 昨年度研究内容

1 早生樹の材質調査

(1) JIS試験による材質調査

2 早生樹の材質特性の解明

(1) 早生樹の材質特性の評価 (2) 利用法の検討

III 研究結果

1 早生樹の材質調査

(1) JIS試験による材質調査

2020年に自生木等の調査を実施した57本のセンダンのうち、矢作川及び豊川河川敷等から6本を伐採、製材、乾燥を行い、材質調査を行った。その結果、平均収縮率は放射方向で0.14%、接線方向で0.26%、繊維方向で0.02%、気乾比重は0.55、曲げ強度は $82\pm 22\text{N/mm}^2$ 、曲げヤング率は $7045.7\pm 1241.4\text{N/mm}^2$ であった(すべて平均値)。

2 早生樹の材質特性の解明

(1) 早生樹の材質特性の評価

1 (1) の結果、曲げ強度と曲げヤング率には正の相関 ($r=0.83$) が見られた。また、曲げ強度と応力波伝播速度では正の相関 ($r=0.65$) が見られ、曲げヤング率と応力波伝播速度でも正の相関 ($r=0.53$) が見られた。その結果、応力波伝播速度から曲げ強度及び曲げヤング率を立木段階で求められる可能性が示唆された。

地上高、系統を要因として調べたところ、地上高、系統ともに曲げ強度と曲げヤング率に影響を与える可能性が示唆された。

(2) 利用法の検討

県内の家具メーカーと利用法の検討を行い、センダンを使用したダイニングテーブル(2脚)及びダイニングチェア(8脚)を製作した。

IV 本年度以降の予定

1 早生樹の材質調査

(1) JIS試験による材質調査

2 早生樹の材質特性の解明

(1) 早生樹の材質特性の評価

V 備考

なし

研究課題	森林の整備による多面的機能の発揮
課題名	早生樹の種苗生産及び育林技術に関する研究
担当者	(主) 岩下幸平 (副) 狩場晴也
期間	2021年度～2023年度

I 目的

近年、成長が早く材質も優れていると言われる早生樹への関心が高まっており、他県においては、センダン、コウヨウザン、ユリノキ等について育成方法に関する研究が進められている。しかしながら、本県における気象・土壌条件に応じた樹種や施業体系等が明らかになっていない。そこで本研究では、早生樹のうち、県内において生育数が多く需要が見込めるセンダンを対象とし、本県の気象・土壌条件に応じたセンダンの成長特性を明らかにする。

II 昨年度研究内容

- 1 育苗方法の検討
- 2 育林方法の検討

III 研究結果

1 育苗方法の検討

2020年の県普及プロジェクトにて県内に自生するセンダンから通直性・応力波伝播速度に基づいて選抜された優れた20株のうち9株から採取した種子576個(各親株より64個ずつ)を4月に森林・林業技術センターに整備した苗畑に播種し、IB化成S1号を5m²あたり1kg施肥した。その結果、豊川3より得た核果は、全体の発芽核果率が91.3%に対して68.8%であった。また1月に成長量を調査したところ、全体の平均苗高が81.6cmに対して50.3cmと低かった(表-1)。以上のことから、発芽核果率や成長には親株によって差があるため、これらについても優れた株より得た種子を造林に使用することが望ましいと考えられた。

育苗期間中発生した被害としてヨモギエダシャク幼虫による子葉・本葉・軸の食害が5、6月に、ゴマダラカミキリ成虫による緑枝の食害が7、8月に、ニホンジカの角擦りによる剥皮・枯死被害が11月に発生した。ヨモギエダシャクによる食害は枯死や成長の鈍化を、ゴマダラカミキリによる食害は曲がりや分岐等の樹形の乱れを、シカによる剥皮被害は枯死をもたらしと考えられた。特にヨモギエダシャクについては発芽して間もない株から被害が発生するため、発芽期からの防除の必要性が考えられた。また霜や低温が原因と考えられる先端の枯損が発生したが、一般化線形混合モデルを用いて根元径が先端の枯損の発生に与える影響を調べたところ、先端枯損の発生率は根元径が5mm未満では2割以上となり、1cmを超えると1%未満となった。そのため、12月までに根元径1cm以上を育苗の目標とすべきであると考えられた。

2 育林方法の検討

上記1で育成した苗を、豊田市小渡町(240本)、岡崎市大代町(30本)、新城市玖老勢(60本)、当センター試験林(50本)に植栽するよう所有者と調整し、大代町、玖老勢、試験林については植栽を完了した。

表-1 各親株から得た核果の発芽と苗の成長

親株	発芽核果率 (%)	平均根元径 (mm)	平均苗高 (cm)
庄内4	98.4	8.05	88.6
庄内5	95.3	7.48	78.0
庄内9	96.9	6.49	68.1
庄内10	92.2	8.32	88.9
東5	89.1	7.17	75.4
豊川2	90.6	7.82	80.0
豊川3	68.8	6.68	50.3
矢作3	95.3	7.37	88.3
矢作4	95.3	8.70	104.4
全体	91.3	7.51	81.6

IV 本年度以降の予定

- 1 育苗方法の検討
- 2 育林方法の検討

V 備考

なし

研究課題	森林の整備による多面的機能の発揮
課題名	コンテナ苗の生産技術の高度化に関する研究
担当者	(主) 豊嶋勲 (副) 狩場晴也
期間	2021年度～2023年度

I 目的

循環型林業を推進する中、再造林・育林経費の低コスト化が求められている。従来のコンテナ苗生産手法をより効率化するため、発芽率の高い選別種子とセルトレイを活用した生産手法の開発及び植栽後に良好成長を示す苗の育成方法を確立するとともに、閉鎖型採種園での花粉症対策品種の成長促進による効率的な種子生産技術を開発する。

II 昨年度研究内容

1 育苗技術の高度化

- (1) 種子選別機評価 (2) セル苗等活用の育苗方法検討 (3) 少花粉ヒノキ種子生産技術検討
(4) 挿し木苗育苗方法検討 (5) 少花粉特性の判別方法

2 植栽育成技術の高度化

- (1) スギ・ヒノキ2年生実生苗の成長調査 (2) スギ挿し木1年生苗の成長調査

III 研究結果

1 育苗技術の高度化

(1) 種子選別機評価

SQI (閾値スギ:138、ヒノキ:88) 別の発芽試験の結果、発芽率はスギのA : 70%、B : 15%、ヒノキのA : 50%、B : 10%であった。

(2) セル苗等活用の育苗方法検討

生産者圃場で10月にセルトレイに播種し、6月まで温室で育苗した。6月にコンテナへ移植後、12月まで成長調査を実施した。その結果、セルからコンテナ植替え時の樹高はおおむね10cmであった。12月時点での苗高30cm以上の苗は大口町で50%、豊橋市で70%であった。これにより播種から育苗期間が1.5年での出荷の可能性が示された。

(3) 少花粉ヒノキ種子生産技術検討

採種台木について、エコロング[®] 413とハイコントロール085の液肥を用いた成長試験を実施した。エコロング (濃度1倍、1.5倍、2倍) は濃度が高くなるに従い苗の成長量が大きかった。ハイコントロールは1倍と2倍で成長は同程度であった。

(4) 挿し木苗育苗方法検討

北設楽7号、新城2号では通常穂の発根率5~62%、ミニ穂35~48%、マイクロ穂13~25%であった。

(5) 少花粉特性の判別方法

7月中旬に育苗地及び当センターで、採種木及び4年生苗の枝葉にジベレリン濃度20ppm、100ppmの条件で浸漬処理を1回行った。1月に雄花着生を目視観察した結果、処理濃度が高い系統で着生が多い傾向があった。

2 植栽育成技術の高度化

(1) スギ・ヒノキ2年生実生苗の成長調査

2020年度に設楽町で植栽したコンテナ苗 (植栽時スギ53cm(n=400)、ヒノキ38cm(n=560)) の成長の追跡調査を行った。スギは樹高109±45cm(Ave+SD)、ヒノキは樹高101±29cm(Ave+SD)であった。スギはウサギによる食害のため樹高が著しく小さい個体があり、樹高の変動係数が41%と大きかった。

(2) スギ挿し木1年生苗の成長調査

4月に少花粉スギコンテナ苗を植栽 (植栽時樹高約30cm) した。12月時点での樹高は、51±13cm (n=50)、枯死は全体の1割であった。

IV 本年度以降の予定

1 育苗技術の高度化

- (1) 種子選別機評価 (2) セル苗等活用の育苗方法検討 (3) 少花粉ヒノキ種子生産技術検討
(4) 挿し木苗育苗方法検討 (5) 実生コンテナ苗の水管理方法検討 (6) 少花粉特性の判別方法

2 植栽育成技術の高度化

- (1) スギ・ヒノキ2年生実生苗の成長調査 (2) スギ挿し木苗の成長調査 (3) 締固めによる影響調査

V 備考

なし

研究課題	森林の整備による多面的機能の発揮
課題名	強度間伐地における施業効果の評価
担当者	(主) 門屋健 (副) 岩下幸平
期間	2019年度～2023年度

I 目的

近年、林業経営コストの低減などを期待され、強度間伐が実施されている。強度間伐は、コスト低減だけではなく、広葉樹が進入しやすく、針広混交林化や複層林化にとって効果的であると言われていいる。また、水土保全機能の向上や生物多様性の増加等の公益的機能改善への寄与も期待できる。しかしながら、間伐後の下層植生の被覆による表面土壌の流亡や混交林化に重要な構成樹種の推移等については未解明である。また、過去の強度間伐施業地の再調査による 2 回目間伐の検討についても、県内では未実施である。そこで本研究では、施業地の土壌流亡の継続的な調査と既調査地の再調査により、強度間伐の施業効果を明らかにすることを目的とする。

II 昨年度研究内容

- 1 施業効果のモニタリング
- 2 2 回目間伐施業の検討

III 研究結果

1 施業効果のモニタリング

3 箇所（岡崎市、新城市、設楽町）の 2019 年度強度間伐施業地において、土砂受箱による土砂流出量調査を 5 回実施した。採取土砂は、リター、礫、細土に分別し秤量した。調査期間中の土砂流出量は、新城市が最も少なく、続いて岡崎市、設楽町であった。3 調査地ともリターの割合が最も多く、岡崎市（68.8%）、新城市（55.0%）、設楽町（47.3%）の順であった。3 調査地の下層植生の植被率は 5～10%と低く、木本種の種数も 11～14 種であった。その内、高木性樹種の種数割合は、14～54%、本数割合は 13～89%であった。各調査地間の類似度（Jaccard の共通係数）は、設楽－新城で 0.087、設楽－岡崎で 0.038、新城－岡崎で 0.143 といずれも低く、各調査地間の種組成の違いが見られた。全天空写真の撮影により開空度を調査した結果、間伐前後で値の増加が見られ、1 年経過後でも著しい低下は見られなかった。

2 2 回目間伐施業の検討

強度間伐施業後 7、8 年経過した 40 箇所の調査地の植生調査を実施した。その結果、下層植生の植被率は、5%以下から 100%近い調査地まで幅広く、木本種の種数については、増加、減少の調査地が半々であった。一方、低木層の木本種の種数は、調査地の 75%の 30 箇所が増加または同数で、間伐後の低木層への植物の定着、成長が認められた。開空度は 4.8%～17.9%であったが、調査地の 80%が 10%以下で閉鎖傾向であった。

IV 本年度以降の予定

- 1 施業効果のモニタリング
- 2 2 回目間伐施業の検討

V 備考

なし

研究課題	森林の整備による多面的機能の発揮
課題名	竹林駆除技術の開発
担当者	(主) 藏屋健治 (副) 岩川昌暉
期間	2020年度～2022年度

I 目的

近年増加している放置竹林は、その拡大の速さと植生等への排他性により、森林の健全性や持続性を脅かすだけでなく、公益的機能を大きく損ねる原因となっているため、その対策が求められている。

竹林駆除の計画を策定する際、竹林の拡大速度を把握することは重要な要素であると考えられる。また竹林の物理的駆除には複数年にわたる全稈伐採と矮性竹の除去が必要とされるが、適用済注入剤等の農薬を使用することで完全な駆除に必要な年数を短縮できる可能性がある。

そこで、本研究では竹林の拡大速度を把握し、適用済農薬の試験的な使用および全稈伐採とその後の矮性竹処理によって、従来よりも短時間で実施可能な竹林駆除技術を開発する。

II 昨年度研究内容

- 1 実態調査 (1) 拡大速度調査
- 2 駆除技術調査 (1) 駆除技術 (2) 駆除効果

III 研究結果

1 実態調査

(1) 拡大速度調査

国土地理院が公開している1990年、2015年の幸田町のオルソ画像から、33か所の竹林について、面積を測定した。その結果、各箇所が増加率は-0.2倍～10.5倍で平均値は1.8倍であった。詳細については解析中。

2 駆除技術調査

(1) 駆除技術

調査地として一辺20mの区域を2個連続して設定し、それぞれの中心に一辺10m四方の方形プロット(薬剤処理区と非処理区)を設定した。幸田町で2か所、設楽町で1か所の調査地を設置し、2020年7月に幸田町、2021年7月に設楽町の薬剤処理区内及び周囲5m幅に生存する竹稈に適用済農薬のラウンドアップマックスロードの原液を10mL注入した。注入後、4か月経過後の枯死率は幸田町では平均95%、設楽町では89%であった。各地区の竹については注入後6か月経過した時点で伐採を完了した。

(2) 駆除効果

竹の伐採後の植生回復について調査するため、上記3か所で、伐採前につる性植物を除く木本類の植生調査を行い、幸田町で42種、設楽町で38種を確認した。また、幸田町の2か所において、2021年1月に竹を伐採した後、11月に木本類の植生調査を行い、合計33種を確認した。伐採前に比べて種数が減少した理由は、伐採後に光条件が改善され、カラスザンショウが早期に群生し、ほかの木本類の成長を抑制したためと考えられた。

IV 本年度以降の予定

- 1 実態調査 (1) 拡大速度調査
- 2 駆除技術調査 (1) 駆除技術 (2) 駆除効果

V 備考

なし

調 查 報 告

研究課題	森林の整備による多面的機能の発揮
課題名	既存試験地の継続調査
担当者	(主) 藏屋健治・豊嶋勲
期間	2021年度～2025年度

I 目的

当センターで実施した試験課題の中で設定した植栽地等の試験地でモニタリングを行い、維持・管理を通じて問題点の有無を明らかにするとともに、無花粉スギと静岡ヘテロ系統等の挿し木から採穂園の造成を中心に行う。

II 昨年度研究内容

- 1 海岸クロマツ林の継続調査
 - (1) 植栽地のモニタリング
- 2 無花粉スギ試験地の維持管理
 - (2) 遺伝資源保存林整備

III 研究結果

- 1 海岸クロマツ林の継続調査
 - (1) 植栽地のモニタリング

2020年3月にクロマツコンテナ苗を植栽した試験地において、植栽木の枯損状況、樹高・根元径を四半期ごとに計測した。その結果、植栽2年目での植栽木の枯損は発生していなかった。植栽2年目の成長量については、菌根菌の接種の有無による成長量の差はみられなかった。また、700日タイプの肥料を施肥した1年生苗と100日タイプの肥料を施肥した2年生苗の成長量が多い傾向にあった。

- 2 無花粉スギ試験地の維持管理
 - (2) 遺伝資源保存林整備

無花粉70系統、静岡から入手したヘテロ3系統及び六本スギ、傘スギ、秋田県由来の品種アオヤジロの挿し木苗を植栽し、無花粉スギ等の採穂園を試験林に造成した。植栽地は、シカ防護柵を設置し、獣害対策を行った。

4月に新潟大学と共同で額田育種地における県保有のスギ系統（東加茂、北設楽、南設楽、額田、岡崎から25系統）の枝葉サンプルを送付し、無花粉ms-1遺伝子の有無を確認した。その結果、無花粉性の系統は確認されなかった。

IV 本年度以降の予定

- 1 海岸クロマツ林の継続調査
 - (1) 植栽地のモニタリング
- 2 無花粉スギ試験地のモニタリング
 - (1) 試験林試験地のモニタリング
 - (2) 遺伝資源保存林整備
- 3 有用広葉樹、針広混交林試験地の維持管理
 - (1) 間伐
 - (2) 樹幹解析
- 4 里山整備林の維持管理
 - (1) 植生調査
 - (2) 除伐

V 備考

なし

研究課題	森林の整備による多面的機能の発揮
課題名	樹木加害性昆虫の被害発生状況調査
担当者	(主) 岩下幸平 (副) 豊嶋勲
期間	2018年度～2021年度

I 目的

伐採時期の長期化や強度の間伐、温暖化に伴う森林環境の変化等により、新たな害虫の発生が懸念される。また、害虫被害は伐採木だけでなく、生立木にも及ぶ場合がある。そのため、今現在、もしくは今後拡大し得る樹木の昆虫被害の状況を伐採木と生立木の両方において把握することは、早期対策のためにも重要である。そこで、県内における害虫の被害発生状況を調査する。

II 昨年度研究内容

- 1 伐採木における昆虫被害調査
- 2 生立木における昆虫被害調査
 - (1) クビアカツヤカミキリの調査

III 研究結果

- 1 伐採木における昆虫被害調査

過去にマダクロホシタマムシによるヒノキへの被害が続いていた豊橋国有林にて新規の被害は確認されなかった。
- 2 生立木における昆虫被害調査
 - (1) クビアカツヤカミキリの調査

愛知県内におけるクビアカツヤカミキリの被害は 2020 年度以前と比較して新規市町村への拡大は確認されなかった。一方でクビアカツヤカミキリと同様に広葉樹生立木を加害する外来カミキリムシであるツヤハダゴマダラカミキリの侵入が名古屋市、みよし市、豊田市で確認された。

植栽サクラ類の抽出試験として、当センター敷地内の植栽されたサクラを落葉期である 10 月に Phantom4 pro+ を用いて空撮し 3D モデリングを行った。その結果、樹高については細い枝条が再現されないために低く算出されてしまうが、主幹の分岐等は再現されることがわかった(図-1)。また被害が主に発生する主幹の色彩も把握できたため、落葉期における調査は被害木の抽出と管理に資することがわかった。



図-1 植栽サクラ類の航空写真から作成した点群

- ## IV 本年度以降の予定
- なし

- ## V 備考
- なし

資 料

〔資料〕－1

林木種子の発芽検査（2021年度）

林木育種担当 浅岡 郁雄・伊藤 和哉*

当センターが林木育種地等で採取した林木種子の2021年度検査結果は下表のとおりである。
検査方法については既報（愛知林セ報 36, 1999）に従い、純度測定、重量測定、発芽試験を行った。

表 樹種別の発芽率

樹種	採種年	採種地	系統数	純度 (%)	1000 粒重 (g)	発芽率 (%)	1g 当 り理論 発芽数 (本/g)	備 考
スギ	2019	額田林木育種地	25 系統混合	97.07	3.794	19	49	
〃	2021	額田林木育種地	25 系統混合	98.01	3.873	33	84	
〃	2021	下山林木育種地	12 系統混合	99.30	2.725	35	128	少花粉 カメムシ防除
ヒノキ	2020	額田林木育種地	25 系統混合	99.05	2.071	3	14	
〃	2020	鳳来林木育種地	25 系統混合	99.06	2.255	30	132	カメムシ防除
〃	2021	額田林木育種地	25 系統混合	99.34	2.191	17	77	
〃	2021	額田林木育種地	25 系統混合	99.68	2.238	28	125	カメムシ防除
〃	2021	鳳来林木育種地	25 系統混合	99.17	2.248	10	44	
〃	2021	鳳来林木育種地	25 系統混合	98.92	2.296	26	112	カメムシ防除
クロマツ	2021	田 原 市 (普通母樹林)	—	99.71	13.45	79	59	

* 現東三河農林水産事務所

〔資料〕－ 2

公表実績等 (2021 年度)

1. 成果発表

発表者	演題	発表会名	年月日	場所
藏屋 健治	海岸クロマツ林の効果的な再生手法の開発	令和3年度第61回愛知県治山研究発表会	2021.10.13	森林保全課*1
岩川 昌暉	木製構造物(溪間工)の耐久性調査	〃	〃	〃
藏屋 健治	海岸クロマツ林の効果的な再生手法の開発	令和3年度愛知県森林・林業技術センター試験研究成果発表会	2021.11.3 ～11.30	森林・林業技術センター*2
豊嶋 勲	コンテナ苗を用いた森林造成の実用化	〃	〃	〃
藏屋 健治	県産材を使用した床構面の開発*3	2021年度アグリビジネス創出フェア in 東海	2022.1.20 ～1.21	AP名古屋(愛知県名古屋市)
藏屋 健治	ドローンによる苗木等の運搬	令和3年度林業普及指導事業成果発表会	2022.2.10	自治研修所(愛知県名古屋市)
岩下 幸平*4	リモートセンシングによる森林計測の比較	〃	〃	〃

*1 感染症対策のため紙面にて発表 *2 愛知県森林・林業技術センター「WEB 公開デー」内で発表
*3 NPO 法人東海地域生物系先端技術研究会 HP 上で Web 展示 *4 現新城設楽農林水産事務所

2. 論文(審査あり)

著者	表題	発行
岩下 幸平*1	愛知県内の里山林における掃除伐が更新に与える影響 中部森林研究 第69号:47-50 2021.5	中部森林学会
江口 則和*2 石田 朗*3 狩場 晴也 竹内 豊	野生動物の目撃情報を用いたニホンジカ密度評価手法の検討 中部森林研究 第69号:93-96 2021.5	中部森林学会

*1 現新城設楽農林水産事務所 *2 人間環境大学 *3 現東三河農林水産事務所

3. 報文 (査読なし)

著 者	表 題	発 行
飯島 勇人* ¹ 石田 朗* ²	ニホンジカによる立木の剥皮発生に影響する要因の地域間での類似点と相違点—複数県のデータを用いた検証— 日本森林学会誌 第103巻 第5号:344-350 2021.10	日本森林学会
岩下 幸平* ³ 松井 悠樹* ⁴	中国南部からの外来種と考えられるノメイガ <i>Eumorphobotys eumorphalis</i> (Caradja,1925)の日本からの初記録 蛾類通信 No.300:683-684 2022.1	蛾類学会

*1 国立研究開発法人森林研究・整備機構森林総合研究所

*2 現東三河農林水産事務所

*3 現新城設楽農林水産事務所

*4 鳥取大学

4. 学会発表 (口頭発表)

発 表 者	演 題	発 表 会 名	年 月 日	場 所
門屋 健 鈴木 万里子 加藤 充俊	小型培養器を用いた菌床栽培試験とその利用	第11回中部森林学会大会	2021.11.14	名古屋大学大学院生命農学研究科 (愛知県名古屋市)* ¹
江口 則和* ² 岩下 幸平* ³ 安達 貴広* ⁴	樹冠投影面積と立木密度から胸高直径を推定する技術	〃	〃	〃

*1 感染症対策のため WEB で発表

*2 人間環境大学

*3 現新城設楽農林水産事務所

*4 MTG フォレスト株式会社

5. 講演・研修会等

講師	演題	主催等	年月日	場所
村松 司* ¹ 他	令和3年度「緑の雇用」林業作業士（フォレストワーカー）集合研修（2年目）「道具・資材のメンテナンス」	公益財団法人 愛知県林業振興基金	2021.7.5	森林・林業技術センター
竹内 豊 豊嶋 勲 狩場 晴也 岩下 幸平* ²	令和3年度「緑の雇用」林業作業士（フォレストワーカー）集合研修（3年目）「森林施業の体系」	公益財団法人 愛知県林業振興基金	2021.8.31	森林・林業技術センター
豊嶋 勲	コンテナ苗委託試験成果伝達講習	愛知県林業種苗協同組合	2021.10.15	森林・林業技術センター
岩下 幸平* ²	林業におけるドローンの活用事例見学会	農業教育研究会 森林・環境・土木部会	2021.10.19	森林・林業技術センター
藏屋 健治	ドローンによる苗木等の運搬	東三河流域森林・林業活性化センター	2021.12.20	奥三河総合センター（愛知県北設楽郡設楽町）
岩下 幸平* ²	リモートセンシングによる森林計測	〃	〃	〃
村松 司* ¹ 伊丹 哉恵 岩下 幸平* ²	スマート林業担い手育成事業における研修 「ドローンの活用」 「ハーベスタシミュレータ操作体験」	愛知県立田口高等学校	2022.2.16	森林・林業技術センター
加藤 充俊 門屋 健	わんぱく山の樹木について	新城市立八名小学校	2022.2.17	八名小学校（愛知県新城市）

*1 現新城設楽農林水産事務所

*2 現新城設楽農林水産事務所

6. 森林・林業技術センター研修講師

講 師	演 題	年 月 日	場 所
加藤 充俊 村松 司*1 他	林業普及指導研修「新任林業普及指導員」	2021.5.14	森林・林業技術センター
村松 司*1	路網作設高度技術者育成研修	2021.5.25	豊田加茂建設事務所足 助支所（愛知県豊田市）
村松 司*1	測量基礎研修	2021.5.31	森林・林業技術センター
村松 司*1 伊丹 哉恵 白井 真和*2 他	林業架線作業主任者養成研修	2021.6.7-11 2021.6.16-18 2021.7.26-30 2021.8.2-5	森林・林業技術センター
村松 司*1	林業普及指導研修「刈払実習」	2021.10.14	森林・林業技術センター
村松 司*1 他	林業普及指導研修「林業架線研修」	2021.10.21-22 2021.11.4	森林・林業技術センター
村松 司*1 他	機械集材装置運転業務の特別教育	2021.10.27-28	森林・林業技術センター
村松 司*1 伊藤 和哉*3	林業普及指導研修「伐倒技術」	2021.12.22-23 2022.1.5	森林・林業技術センター
村松 司*1	林業普及指導研修「木材加工技術の習得」	2022.3.1 2022.3.4 2022.3.7	森林・林業技術センター

*1 現新城設楽農林水産事務所

*2 現愛知県森林組合連合会

*3 現東三河農林水産事務所

7. 会議等構成員

構 成 員	会 議 名 等	主 催 等	任 期 等	備 考
竹内 豊	中部森林管理局技術開発委員会委員	林野庁中部森林管理局	2021.5.28 ～2022.3.31	令和3年度2回 (WEB開催)
竹内 豊	東海地域生物系先端技術研究会企画運営委員	特定非営利活動法人東海地域生物系先端技術研究会	2021.4.1 ～2022.3.31	令和3年度1回 (WEB開催)
竹内 豊	東三河流域森林・林業活性化協議会委員	東三河流域森林・林業活性化センター	2021.4.1 ～2022.3.31	令和3年度2回 (書面開催)
原田 克巳 ^{*1}	中部森林学会理事	中部森林学会	2021.4.1 ～2022.3.31	令和3年度2回 (WEB開催)
原田 克巳 ^{*1}	(一社)日本木材学会中部支部評議員	(一社)日本木材学会中部支部	2021.4.1 ～2022.3.31	令和3年度1回 (WEB開催)
原田 克巳 ^{*1}	(公社)日本木材加工技術協会中部支部理事	(公社)日本木材加工技術協会	2021.4.1 ～2022.3.31	令和3年度1回 (書面開催)

*1 現公益財団法人愛知県公園協会

[資料] - 3

森林・林業研修実績 (2021 年度)

研修名	実施日数(日)	場所	参加者(延人)	地域別参加者数														
				尾張	海部	知多	西三河	豊田加茂	設楽	新城	東三河	県庁	センター	県有林	その他			
現場技能者養成	刈払機取扱作業者安全教育	2	センター	63	3		1	6	5	3	32	12					1	
	伐木等の業務に係る特別教育	18	センター	627	66	3	18	48	69	18	93	273						39
	伐木等の業務に係る特別教育修了者再教育	1	センター	20				4	8		2	3						3
	危機管理リスクアセスメント	1	センター	5				1	1	1	1	1						
	走行集材機械運転業務特別教育(再教育含む)	1	センター	18	1			4	2	1	4	6						
	伐木等機械運転業務特別教育(再教育含む)	1	センター	20	1			4	10	1	1	3						
	簡易架線集材装置・架線集材機械運転業務特別教育(再教育含む)	2	センター	21				2	6	2	3	8						
	はい作業従事者に対する安全教育	1	センター	15	1			2	2	2	4	3						1
	機械集材装置運転特別教育	2	センター	40	2			10	4	4	8	12						
	計	29		829	74	3	19	81	107	32	148	321						44
現場技能者キャリアアップ	林業架線作業主任者養成研修	17	センター	136				17	51	34		34						
	路網作設高度技能者育成研修	5	豊田市他	12					11		1							
	森林施業プランナー育成研修	0																
	林業現場技能者育成研修	11	センター他	99	11				25	53		10						
	林業安全技術訓練	5	センター	38				12	14		7	5						
	現場マネージャー養成研修	5	センター	27				8	13	4	2							
	枯損木等特殊伐採技術向上研修	12	センター	123	5			5	34	62		17						
	野外レスキュー研修	2	センター他	25	2			2	1	13	7							
	計	57		460	18			44	149	166	17	66						
林業事業体育成	意欲と能力のある林業事業体育成研修会	1	岡崎市	11	1			2	2	3	2	1						
	会計実務者研修	2	岡崎市	21	2			2	6	6	4	1						
	計	3		32	3			4	8	9	6	2						
新技術の習得	サブライフェンマネジメント研修	0																
	航空レーザーデータ活用技術習得研修	1	豊橋市	8			2			1	4	1						
	計	1		8			2			1	4	1						
行政職員研修	一般	測量等基礎研修	1	センター	9				1		7		1					
		計	1		9				1		7		1					
	市町村職員	森林・林業基礎研修	1	岡崎市	15	1			3	4	1	2	4					
		森林整備業務推進研修	1	設楽町	5				2		2	1						
		森林管理研修	1	豊橋市	11	2			2	3		1	3					
		計	3		31	3			7	7	3	4	7					
	林業普及指導	林業普及指導研修	18	センター他	148	9	1	5	14	35	25	26	11	11	11			
		計	18		148	9	1	5	14	35	25	26	11	11	11			
	林政	林務行政の概要(新任者)	1	豊田市	10					2	3	1	1	1	2			
		林務行政の課題(課長補佐・主査級)	1	名古屋	7	1					1		1	3	1			
		森林・林業基礎研修	1	岡崎市	23	1		1	2	4	8		2	5				
		計	3		40	2		1	2	6	12	1	4	9	3			
	その他	センター所長が必要と認めた研修	28	センター他	223	2		2	30	53	44	25	16	44	5			2
合計		143	センター他	1,780	111	4	29	183	365	299	231	429	64	19			46	

[資料] - 4

森林・林業関係相談等実績 (2021年度)

1 手段別

内 容	件数	人数	件数(%)	人数(%)	備 考
来 訪	17	43	22.7	42.2	
電 話	58	59	77.3	57.8	
文 書	0	0	0.0	0.0	
現 地	0	0	0.0	0.0	
そ の 他	0	0	0.0	0.0	
計	75	102	100.0	100.0	

2 利用目的別

内 容	件数	人数	件数(%)	人数(%)	備 考
視 察	2	6	2.7	5.9	
取 材	3	4	4.0	3.9	
実 習	0	0	0.0	0.0	
現 地 指 導	0	0	0.0	0.0	
調 査	14	14	18.7	13.7	
同 定	9	9	12.0	8.8	
技 術	16	23	21.3	22.5	
資 料 提 供	14	15	18.7	14.7	
執 筆 依 頼	0	0	0.0	0.0	
講 演・講 義	0	0	0.0	0.0	
そ の 他	17	31	22.7	30.4	
計	75	102	100.0	100.0	

3 相談者別

利 用 者	件数	人数	件数(%)	人数(%)	備 考
一 般	18	19	24.0	18.6	
林業・林産業者	14	14	18.7	13.7	
林業関係団体	0	0	0.0	0.0	
農 協	1	1	1.3	1.0	
市 町 村	3	3	4.0	2.9	
県・国関係機関	29	34	38.7	33.3	
試験・研究機関	1	5	1.3	4.9	
学 校 関 係	3	19	4.0	18.6	
報 道 関 係	3	4	4.0	3.9	
そ の 他	3	3	4.0	2.9	
計	75	102	100.0	100.0	

4 県内・県外別

区 分	県 内				県 外				計	
	件数	%	人数	%	件数	%	人数	%	件数	人数
来 訪 者	17	23.3	43	43.0	0	0.0	0	0.0	17	43
電 話・文 書	56	76.7	57	57.0	2	100.0	2	100.0	58	59
そ の 他	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0.0	0	0
計	73	100.0	100	100.0	2	100.0	2	100.0	75	102

[資料] - 5 学会発表 (口頭・ポスター) 要旨

小型培養器を用いた菌床栽培試験とその利用

門屋 健、鈴木 万里子、加藤 充俊

第 11 回中部森林学会大会 2021. 11. 14 名古屋大学 (愛知県名古屋市) (WEB 発表)

本研究の背景

- 食用キノコ類の試験研究
保存菌株、野生菌株の子実体形成能や
交配菌株の子実体表現型(形、色等)の確認
...**時間と労力を要する**
- キノコの普及啓発の現場
例)小中学校等での出前授業...シイタケ等の原木栽培体験
...①収穫までに期間を要し、すぐに結果が見られない。
②長期間の管理が難しい。

1

目的

- 前述した2つの課題を解決するため...
 - 小型培養器による菌床栽培試験
→ 省力化、低コスト、低スペース etc
 - 小型培養器とペットボトルを使用した栽培キットの試作
→ 簡易で安価なキットの開発

2

方法 3

- ペットボトルの簡易キット作成手順



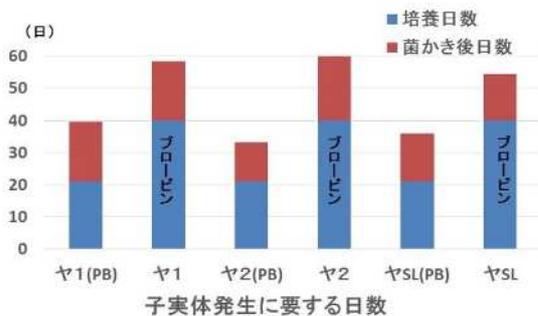
3

結果(子実体発生状況1)



4

各菌系の子実体発生に要する日数



5

結果まとめ

- 今回使用した通常の20%重量の小型菌床でも、子実体発生が可能であった。また、通常使用されるブロービンと比較しても差がない子実体が収穫された。
- 小型培養器の栽培では、種菌接種から発生までの期間が短縮された。
- 温湿度の制御がない簡易なキットでも、キット内の湿度は90%以上に維持され、子実体が正常に発生した。
- ペットボトルの排気口の有無で、内部のCO₂濃度が異なることがわかった。

6

樹冠投影面積と立木密度から胸高直径を推定する技術

江口 則和*¹、岩下 幸平*²、安達 貴広*³

第 11 回中部森林学会大会 2021. 11. 14 名古屋大学（愛知県名古屋市）（WEB 発表）

スギおよびヒノキ人工林における
 **ドローン調査**を想定した
立木サイズ推定手法の検討

○江口則和（人間環境大学・環境科学科）
 岩下幸平（愛知県森林・林業技術センター）
 安達貴広（MTGフォレスト株式会社）

1

難しい点 はじめに

DBHや材積の推定

多くの場合：樹高データを利用
廣瀬ら(2017) 有田ら(2018)

○解析能の高い**LiDAR**を使った研究では？
 →樹冠量（**樹冠体積**、**樹冠投影図**）も利用
根元ら(2012), 大野(2016)

ドローン空撮では**樹冠量の測定が困難** 林野庁(2018)
 →おかげでLiDARほど精度高く推定できない…

2

2つのアイデア（仮説） はじめに

アイデア1

精度の高い**拡張相対成長式**を利用すればいい？

- ・古典的な「**DBH-樹高**」関係式 Osawa et al. (1965)
- ・複雑な数式のため扱いが難しかったが、
ベイズ法により汎用性が向上 伊藤(2015)

アイデア2

形状情報以外を利用すればいい？

樹齢、立木密度、立地環境、測定誤差など
一般化線形混合モデル (GLMM) で組み込めば？

3

モデル1とモデル2の比較 考察

	拡張相対成長式 モデル1	形状以外も利用 モデル2
①精度	●	○
②扱いやすさ	●	△

①モデル2の方が精度が高かった
 ②モデル1の解析にはベイズが必要…
 （モデル2はベイズでなくても大丈夫）

モデル2に軍配! 

4

他研究との精度比較 考察

<ドローン空撮>

先行研究	推定	RMSE
有田ら(2018)	H→DBH	3~8cm
廣瀬ら(2017)	H→DBH	3.88cm

<航空機LiDAR>

先行研究	推定	RMSE
大野ら(2014)	樹冠投影面積→DBH	~2cm

本研究モデル2のRMSE **2.0~2.8cm**
 樹冠量を利用するモデルに精度が近づいた！

5

まとめ

①**形状情報以外**を推定式に組み込むことで
 ドローン空撮調査が**パワーアップ!**
 （LiDARを使う樹冠量利用モデルに匹敵!？）

②今後は、**実際のドローン写真データ**を使って
 作成した推定式の精度を検証する必要

6

*1 人間環境大学

*2 現新城設楽農林水産事務所

*3 MTG フォレスト株式会社

研究報告執筆要領

1. **様式**は、A4判、縦型、横書きで、余白を上下30mm、左右20mmとり、2段組（22字×36行×2、段間7mm）とする。ただし、課題名、著者名、要旨は段組しない。
2. **文字の書体**は、以下のとおりとする。
 - 課題名：ゴシック体、15ポイント
 - 試験期間：ゴシック体、10ポイント
 - 著者名：明朝体、12ポイント
 - 要旨題・大見出し：ゴシック体、10ポイント
 - 要旨文・本文：明朝体（欧文・算用数字はTimes New Roman）、10ポイント
 - 図・表の表題：ゴシック体、10ポイント（欧文・算用数字を含む）
 - 図・表中の文字：ゴシック体（欧文・算用数字を含む）
 - その他：明朝体、10ポイント
3. 欧文および算用数字（単位記号を含む）は半角文字とする。
4. 新仮名遣いにより、学術用語以外は常用漢字を用いる。欧文は、特に必要がある場合に限って用いる。
5. **動物・植物の和名**はカタカナとし、**学名**はイタリックとする。
6. **単位**はSI単位、**年度**は西暦を用いる。（図・表を含む）
7. 原稿には、課題名、試験期間、著者名、要旨、本文、引用文献、著者名・課題名の英文表記を記載する。
8. **著者名・課題名の英文表記**を、1ページ目の最後に記載する。その際、著者名の英文表記は名性の順とし、性はイニシャルの大文字に続けて小型英大文字で表記する。また、本文と英文表記の間にラインを入れる。
9. **著者がセンター報告発行時に当所へ在籍していない場合は**、著者名に注（*）を付け、著者名・課題名の英文表記の次に現所属等を記載する。
10. **文章表現**はできる限り平易にわかりやすくする。
11. **要旨**は500字以内とし、枠を作成しその中に記載する。要旨中では図、表、写真、文献、数式などの引用は避ける。
12. 本文には、**I はじめに**、**II （材料と）方法**、**III 結果と考察（又はIII 結果、IV 考察）**を大見出しとして記載する。
13. **大見出し**は、「**I はじめに**」「**II 方法**」のようにローマ数字（ピリオドなし）を付ける。**中見出し**は、「1.」「2.」の半角算用数字に全角ピリオドを付ける。**以下の見出し**は、「(1)」「(2)」…「ア」「イ」…「(ア)」「(イ)」…「a」「b」…「(a)」「(b)」…とする。
大見出しの前は1行の空白を挿入する。文章は行を変え、1字下げて書き始める。
14. **数式**は本文途中に入れず、必ず別行とし全角1字分下げ、半角文字で記載する。数式の変数はイタリックとし、数式が複数行にわたる場合でも混乱が生じないようにする。
15. **図・表**は本文中に配置し、できる限り文書中に貼り込む。図の表題は図の下に、表の表題は表の上に、「**図-1**」「**表-10**」（ピリオドなし）のような見出しを付け、全角1字分空けて続ける。図の表題は文字揃えセンタリング、表の表題は文字揃え左寄せとする。図・表は必ず本文中に引用する。
16. **グラフのY軸ラベル**は縦書きとする。グラフの説明を記載する。
17. **写真**は本文中に配置し、図として表記する。

18. 引用文献は著者名のアルファベット順に記載する。本文中での引用は該当人名に（年号）あるいは事項に（人名 年号）をつけて引用する。同一人名で同一年号の場合は年号のあとに発表順に a, b, c をつける。誌名の略記法は和文の場合は慣例により、欧文の場合は Forestry Abstract にならう。引用文献の巻、号については、巻に通しページがある場合は巻のみとし、ない場合は巻、号（括弧付き）を併記する。また、号のみの場合は号（括弧無し）を記す。書籍の場合は引用ページと、出版社名を記載する。中黒、括弧、ピリオド、カンマ、セミコロンは全角とする。号はゴシック体とする。

引用文献（記載例）

<雑誌の場合>

笠井美青・丸谷知己（1994）山地河川における立木群による土砂の滞留機構．日林誌 76：560-568

平山一木・竹内英男（1996a）有用木からの種苗増殖技術の開発．愛知林セ報 33：51-58

平山一木・竹内英男（1996b）コナラの育種に関する研究．愛知林セ報 33：59-62

Ochiai Y, Okuda S, Sato A（1994）The influence of canopy gap size in soil water conditions in a deciduous broad-leaved secondary forest in Japan．J Jpn For Soc 76：308-314

<書籍の場合>

渡邊定元（1994）樹木社会学．東大出版会

Levitt J（1972）Responses of plant to environmental stresses．Academic Press

<書籍中の場合>

小林繁男（1993）熱帯林土壌の瘦悪化．（熱帯林土壌．真下育久編，勝美堂）．280-333

Wells JF, Lund HG（1991）Intergrating timber information in the USDA Forest Service．In：Proceedings of the Symposium on Integrated Forest Management Information Systems Minowa M, Tsuyuki S（eds）Japan Society of Forest Planning Press, 102-111

19. 原稿の提出は、まず審査・回覧用として、原稿提出期限までに1部を編集担当者まで提出する。その際、写真は原稿に配置しておく。

次に最終原稿として、別途定める期日までにデータを提出する。その際、写真は別データとする。

業務報告、調査報告執筆要領

1. 様式は、A4判、縦型、横書きで、余白を上下30mm、左右20mmとり、45字×40行を標準とする。
2. 表題には、研究課題、課題名、担当者、試験期間を記載する。
3. 本文には、I 目的、II 昨年度研究内容、III 研究結果、IV 本年度以降の予定、V 備考を記載する。
4. 枚数は、刷り上がり1ページとする。
5. 文字の書体は、欧文および算用数字は Times New Roman、その他は明朝体とし、大きさは、10ポイントとする。
6. 欧文および算用数字（単位を含む）は半角文字とする。
7. その他については、研究報告執筆要領に準ずる。

(2021. 3. 1 改定)

審 査

区 分	一次審査	二次審査	決 裁
管理研修課担当者原稿	：		次長、所長
研究報告原稿	：	資源利用グループ班長 技術開発部長	次長、所長
業務・調査報告原稿	：	資源利用グループ班長 技術開発部長	次長、所長

愛知県森林・林業技術センター報告 No.59

発 行 令和 4 年 7 月

発 行 所 愛知県森林・林業技術センター

愛知県新城市上吉田字乙新多 43-1

電話：0536-34-0321

E-mail：shinrin-ringyo-c@pref.aichi.lg.jp

U R L：https://www.pref.aichi.jp/soshiki/shinrin-ringyo-c/