

無人航空機を用いた松くい虫防除の技術体系

試験研究計画名：無人航空機による森林病虫害防除システムの実用化
地域戦略名：海岸林の高度機能発揮による沿岸農地での農業生産推進
研究代表機関名：静岡県農林技術研究所 森林・林業研究センター

地域の競争力強化に向けた技術体系開発のねらい：

松くい虫は、全国の被害量が約 40 万 m³（平成 29 年度、林野庁）の我が国最大の森林病虫害です。静岡県には延長 100km にもおよぶ海岸松林があり、沿岸の農地を飛砂や飛塩から防いでいます（写真 1）。現在、松くい虫の被害対策は、薬剤散布等による予防対策と、被害木の伐倒くん蒸等の駆除対策により総合的に実施されています。

薬剤散布等による予防対策は、主に有人ヘリコプターによる空中散布が行われています。農林用のヘリコプターが急減していることから、代替手段の確保が求められています。代替手段の一つとして無人ヘリコプターによる散布が期待されますが、従来、無人ヘリコプターの操縦には高度な技能が求められてきました。また、操作できる人員が不足していること、マツ林を上から見下ろして操縦するために高所作業車を用意しなければならないことなどが問題とされてきました。本研究では、操縦が容易で、かつ付帯作業を減らすことにより低コスト化した、無人ヘリコプターによる自動薬剤散布技術を開発しました（写真 2）。

また、被害木の駆除対策では、地上から被害木を探索することに多大な労力がかかっており、被害木を効率的に探索する技術が求められています。近年、様々な分野で活用が始まっているドローンを使うことにより、松くい虫被害木を上空から探索することで、調査の大幅な効率化が期待できます。このため本研究では、ドローンを用いた松くい虫被害調査技術を開発しました。



写真 1 沿岸農地とそれを守る松林



写真 2 無人ヘリコプターの自動薬剤散布

技術体系の紹介：

1. 無人ヘリコプターを用いた自動薬剤散布技術

無人ヘリコプターを自動で制御して薬剤を散布する技術です。基礎的な操縦技能を持つ者であれば、ナビゲーター要員なしで散布できます。手順は次の通りです。まずドローンや無人ヘリコプターに搭載したレーザースキャナで森林の上空約 70m から計測し、森林立体地図を作成します。そして、森林立体地図上に飛行経路と散布範囲を設計します。設計した経路と散布範囲を無人ヘリコプターにプログラム

し散布します（図1）。

静岡県袋井市のクロマツ林で実証実験を行い、自動航行、農薬効果や農薬飛散に関する性能を確認しました。無人ヘリコプターは設計した経路どおりに自動航行しました。農薬効果は、農薬の落下分散状況、散布した枝を与えたカミキリの生死、樹木の病徴を調べました。農薬飛散は、散布区域の周囲に飛散した量を調べました。それぞれにおいて従来技術と比較し同等以上の性能をもつことを確認しました。特に、農薬効果に関連する農薬の落下分散は、散布のムラを表す指標（薬剤付着面積の標準偏差）が $1.29\text{mm}^2/\text{cm}^2$ となり、無人ヘリコプターの自動操縦の $1.54\text{mm}^2/\text{cm}^2$ 、有人ヘリコプターの $2.80\text{mm}^2/\text{cm}^2$ より小さい値を示し、従来の方法と比較して均一性が高いことがわかりました（図2）。



図1 無人ヘリコプターの自動航行の軌跡

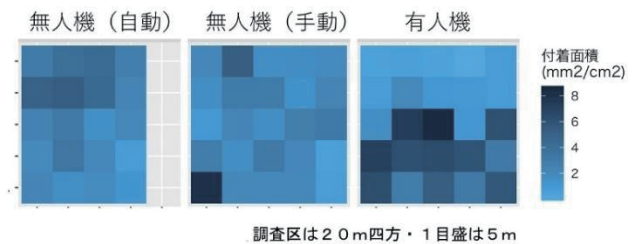


図2 実証試験における農薬の落下分散
落下した薬剤量を色の濃淡で示している。
色の濃淡が均一なほど、散布のムラが少ない。

2. ドローン用いた松くい虫調査技術

小型のドローンに軽量のマルチスペクトルカメラを搭載して空中写真を撮影することにより、単木単位での被害木の判別を行いました（写真3）。マルチスペクトルカメラ（Sequoia）で撮影した画像を、写真測量アプリケーションのPix4D mapper を用いて処理し、被害度を判別するための植生指数地図と、個体を認識するためのカラー画像地図を作成しました。これらの地図を地理情報システム（GIS）上で重ねて表示させて目視による判読を行いました。被害木本数は25本と判読されましたが、現地調査で確認したところ、24本は枯死・衰弱しており、1本は健全木（黄葉したツタ類が絡まっていた）で、25本以外で枯死・衰弱した個体は見つかりませんでした。管理道上から目視により確認する方法では、被害木の79%にあたる19個体しか確認できないことに対して精度は高く、ドローンを用いた空撮では0.9haの調査地をわずか5分間で終えることができ、効率的な検出法と判断できました（図3）。



写真3 ドローンを用いたマツ林の空撮状況



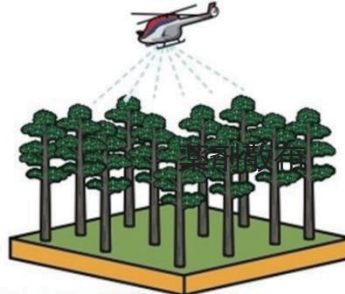
図3 被害木の位置図

3. 無人航空機を用いた松くい虫防除体系

現在、松くい虫の被害対策は、薬剤等による予防対策と、被害木の伐倒くん蒸等の駆除対策により総合的に実施されています。予防対策での薬剤散布には、開発技術の無人ヘリコプターを用いた自動散布技術を用いることができます。駆除対策での被害木探索には、ドローンを用いた松くい虫調査技術を用いることができます。これらはいずれも、従来技術より高い効果・省力・低コストであり、両者を活用することで松くい虫から海岸林を守る防除体系ができると考えます（図4）。

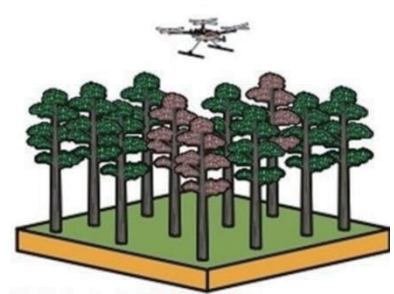
松くい虫の防除には、被害対策を前提とした海岸林のグランドデザインを描くことが重要です。防潮堤の建設にあたっては、天端から無人航空機を離発着・操縦できるようにすることなどの工夫があると良いでしょう。また、無人航空機の散布ができない農地・住宅に隣接した幅約10mの地帯には松くい虫防除の必要のない広葉樹を植栽します。

無人ヘリコプターで自動薬剤散布



病虫害の防除

ドローンで被害マップ作成



被害木の伐倒駆除

図4 無人航空機を活用した松くい虫防除体系

技術体系の経済性は：

経営改善効果

1) 薬剤散布技術

従来の無人ヘリコプターを用いた薬剤散布は1ヘクタールあたり105千円（平成28年度）でしたが、無人ヘリコプターを用いた自動薬剤散布技術によって80千円となり24%のコスト削減効果があると試算されました（表1）。理由は、ナビゲーター要員や散布区域を示す標識、高所作業車が不要になること、落下判定紙による薬剤落下確認が不要になることからです。平成31年3月現在、高所作業車を使用せず目視外で飛行させる場合のルールづくりが進められています。

表1 自動散布技術の導入前後におけるコストの比較

（単位：円/ha）

費目	金額（従来）	金額（新技術）	増減	増減理由
薬剤費	30,694	30,694	0	
散布作業費	8,060	4,030	-4,030	ナビゲーター要員が不要
散布用標識設置費	6,970	0	-6,970	自動航行では標識が不要
薬剤落下確認費等	8,986	0	-8,986	自動航行ではむらなく散布できるため
事業用機械 機器損料等	20,656	24,293	3,637	自動航行機能の付加による 無人ヘリ損料の増額
高所作業車設置費	5,590	0	-5,590	自動航行では目視確認が不要
自動航行経路設計費	0	2,643	2,643	自動航行で必要
間接経費・消費税	23,962	18,251	-5,711	
合計	104,918	79,911	-25,007	

2) 松くい虫被害調査技術

従来は、地上から2人で1日あたり3ha弱の被害木調査が可能でした。ドローンを用いた開発技術は、2人で1日あたり50haの現地調査（空撮）を行うことができます。機械機器の購入費用はドローン、マルチスペクトルカメラ、解析用パソコン、写真測量アプリケーションを一式そろえた場合、約200万円ですので、耐用年数を5年、年間の利用面積を2,500haとすると機器類の減価償却費は160円/ha、これに現地調査作業費1,150円/ha、事務所内での解析（3次元モデルの生成、画像地図の作成、被害木の判読）696円/haを含めて試算する合計と合計2,006円/haとなります。従来の調査方法に要する費用は14,000円/haでしたので、86%のコスト削減効果があると試算されました（図5）。

経済的な波及効果

開発技術による松くい虫被害対策コストの削減効果を1ヘクタールあたり3.7万円（自動散布2.5万円、被害調査1.2万円）とすると静岡県内の保全松林7,000ヘクタールで利用されることで年間2.6億円の直接的な波及効果が見込まれます。

こんな経営、こんな地域におすすめ：

無人ヘリコプターを用いた自動薬剤散布技術は、自治体が発注者となる場合を想定しています。従来の無人ヘリコプターでの散布、有人機での散布を行ってきた地域での代替としておすすめします。さらに、有人機での散布の実施が難しくなっている地域での代替としても利用できます。

ドローンを用いた松くい虫調査技術は、自治体が発注者となり、森林組合等が受注者となる場合を想定しています。被害木の駆除にあたり、発注者が積算する段階や、受注者が施行前・施行後に確認する段階で効果を期待できます。

技術導入にあたっての留意点：

無人ヘリコプターを用いた自動薬剤散布技術は、飛行経路等の履歴がデータとして保存されるため、薬剤散布の実績と薬剤の防除効果の因果関係を詳細に検討することができます。従来品の無人ヘリコプターでは自動航行のための設備が備わっていないため、自動航行用の無人ヘリコプターを新たに導入する必要があります。

ドローンを用いた松くい虫調査技術は、広い面積を迅速に調査できるため、駆除の計画が立てやすい、駆除の履行確認がしやすいなどのメリットが考えられます。航空法における飛行禁止空域に当たる地域では、ドローンの飛行に許可が必要です。

研究担当機関名：静岡県農林技術研究所 森林・林業研究センター、ヤマハ発動機（株）、静岡スカイテック（株）

お問い合わせは：静岡県農林技術研究所 森林・林業研究センター

電話 053-583-3121 E-mail forest_kenkyu@pref.shizuoka.lg.jp

執筆分担（静岡県農林技術研究所 森林・林業研究センター 星川健史）

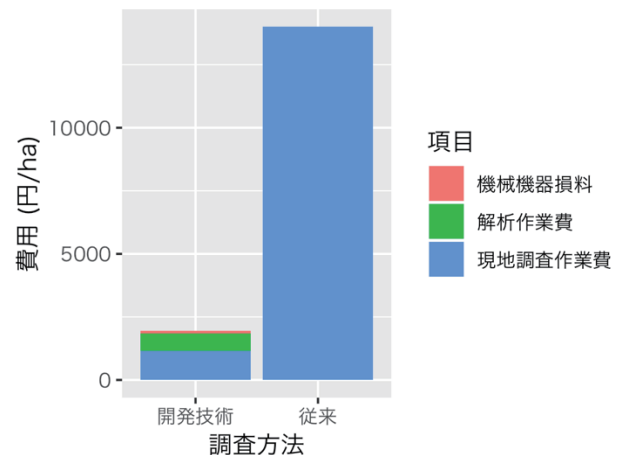


図5 松くい虫被害調査技術におけるコストの比較