

1. 委託事業名： サーマル（熱赤外）カメラ搭載ドローンによる早期の松枯れ調査手法の開発

2. 委託事業者名： 委託団体： 昭和設計株式会社

連携大学： 静岡県立農林環境専門職大学 短期大学部

生産科学科 講師 星川健史

3. 研究成果概要：

【背景】

クロマツの海岸林は、高潮や津波から地域を守るとともに、観光資源として魅力ある風景（白砂青松）を創り出す、地域にとってかけがえのないものである。（写真1）

しかし、海岸林の中には、維持管理の手が行き届かず、我が国最大の森林害虫病の要因となる松くい虫により甚大な被害を受け、消滅が懸念される地域も見受けられている。



写真1： 三保松原と富士山

本研究の実験場所の一つである三保松原は、世界文化遺産の構成遺産として厳格な管理が行われており、被害率は低位に抑えられ健全な松林が維持されている。この状態を継続することが重要であるが、仮に被害木が少数でも残ってしまうと、次のシーズンに爆発的な感染拡大が起こる危険性が高い。そのため、少数の感染木を正確かつ効率的に見つける必要がある。

【目的】

松くい虫被害は、マツ材線虫病と呼ばれ、マツノマダラカミキリ（以下、「カミキリ」と示す）により運ばれた体長1ミリメートルにも満たないマツノザイセンチュウ（以下、「センチュウ」と示す）が、松の樹体内に侵入することにより、通水阻害を起こし、松枯れが発生するものである。（写真2）



写真2： マツノマダラカミキリ(左)、マツノザイセンチュウ(右)

秋から枯れはじめる「感染後期」のクロマツは、伐倒駆除によりセンチュウの感染拡大を抑制できる。しかし、夏ごろ、センチュウに感染した「感染初期」のクロマツは、見た目では認識できないため、対処が困難となっている。（図1）

こうした中、感染初期は、葉の光合成が上手くできないため、感染木の表面温度は非感染木よりも3～4℃高い状況になることが、本研究の連携大学である静岡県立農林環境専門職大学の星川講師の既往の研究で確認されている。（写真3）

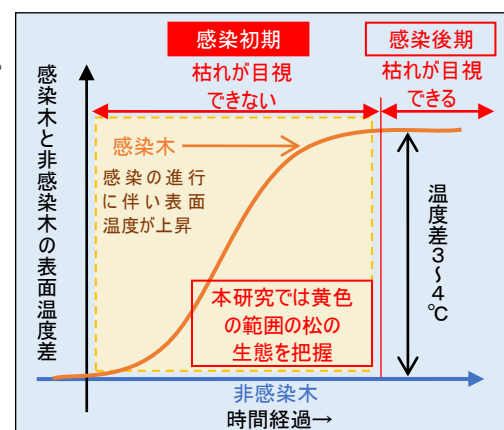


図1： 松枯れの時間経過による温度変化のイメージ

そこで、本研究では、サーマル（熱赤外）カメラを搭載したドローンにより、表面上では認識できない感染初期のクロマツの生態を把握するとともに、効率よくかつ的確に調査する方法を確立することを目的とした。

【研究結果及び成果】

1. 松枯れの調査

感染木の実態を把握するため、7～11月までの期間、磐田市の福田漁港及び静岡市の三保松原の海岸林において、サーマルカメラ搭載ドローンにより、松林の詳細な温度データを取得した。（写真4、5）



写真4： 本研究で使用したサーマルカメラ搭載ドローン

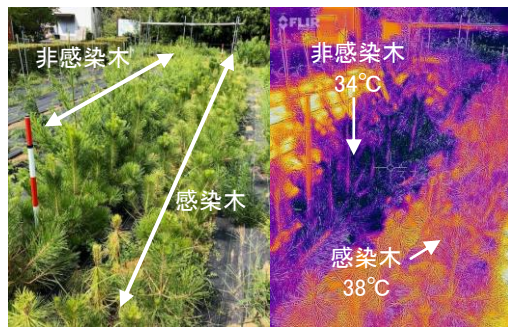


写真3： 静岡県立農林環境専門職大学の星川講師による実験圃場における先行実験可視画像(左)、サーマル画像(右) (2019年8月26日)



写真5： 松枯れ調査の様子

2. 感染初期のクロマツの生態の把握①（合成画像による分析）

(1) 合成画像の作成

調査結果を効率良く分析していくため、分割された写真を合成するアプリケーション Pix4Dmapper を用いて、ドローンで撮影した空中写真を一枚の画像に合成した。

空中写真の被写体には、ひずみが生じているため、位置的な精度が低下している。

このため、Pix4Dmapper の機能を使用し、一般的な地図と同じく、真上から見たような傾きのない、正しい大きさや位置に表示される合成画像（鉛直写真）に変換した。

(2) 分析の位置

磐田市の福田漁港及び静岡市の三保松原の海岸林において調査を実施した結果、三保松原では、センチウによる被害の状況を確認することができなかつたため、福田漁港の海岸林にある 238 本のクロマツを対象に分析を行った。（写真6）

(3) 分析結果

本分析では、感染木と非感染木の温度差を把握し、感染初期の松枯れを抽出することを試みた。解析の対象となる各クロマツの頂点から直径 50 cm の円内にある無数の温度を平均化して、各クロマツの温度とした。その結果、感染木と非感染木の温度差は見られず、感染初期の松枯れを発見できなかった。（写真7、8）



写真6： 磐田市福田漁港の松枯れの様子 (2020年11月)



写真7: 可視画像 (RGB 画像)

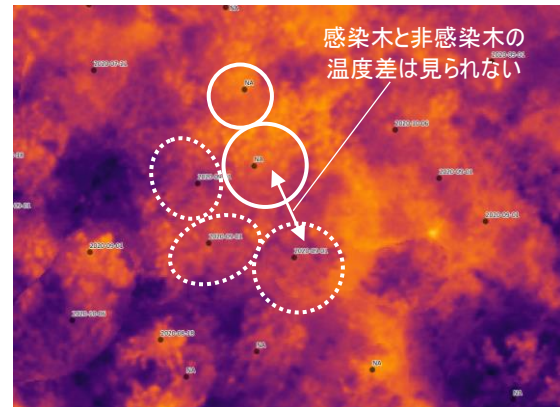


写真8: サーマル画像

(4) 要因分析

感染早期の松枯れを発見できなかった原因を把握するため、サーマルカメラの性能を検証した。その結果、サーマル写真は、写真中央から端部に行くにつれ、温度が低く記録される傾向にあることが確認できた。(図2)

合成画像を作成する際、写真端部で撮影されたクロマツの温度と写真中央付近で撮影されたクロマツの温度が平均化して合成されるため、感染木と非感染木の正確な温度差を検知できなかったと考えられる。

このため、正確な温度差を検知することが可能であると予測される「合成前のサーマル写真や動画」を使用し、分析することが望ましいと考えた。

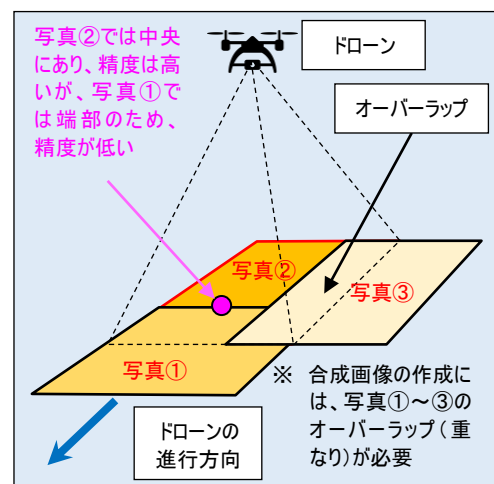


図2: 合成画像の仕組み

3. 感染初期のクロマツの生態の把握② (サーマル写真及び動画による分析)

(1) 分析対象箇所の抽出

感染初期の松枯れを検出するため、7～8月の調査において、福田漁港の海岸林を空中から斜め45度で撮影したサーマル動画を確認した。

その中から、感染木と非感染木の温度差が発生していると考えられる場所を2地点抽出した。

(2) サーマル写真による分析

対象となるクロマツについて、表面温度と初めて変色を確認した日を整理した結果、感染初期のクロマツは非感染木よりも1～1.5℃程度の温度が高いことが確認できた。

感染木と非感染木の温度差から、感染木を検知できた時期は、変色が始まる約2～11週間前となった。(写真9、図3)

しかし、8月18日以降の調査結果で、感染木と非感染木の明確な温度差を検知することができたが、それ以前に調査した結果からは温度差を検知することができなかった。

8月18日より前の調査では、天候が曇りであり、太陽光が当たりづらくなるため、葉に

明確な温度差が生じなくなる等、調査時の撮影条件が一定でないことが要因であると考えられる。このため、今後、安定した結果を得ることができる撮影条件を明らかにしていくことが課題となった。



写真9: 松の変色開始日と表面温度(°C)の整理
(2020年8月18日撮影)

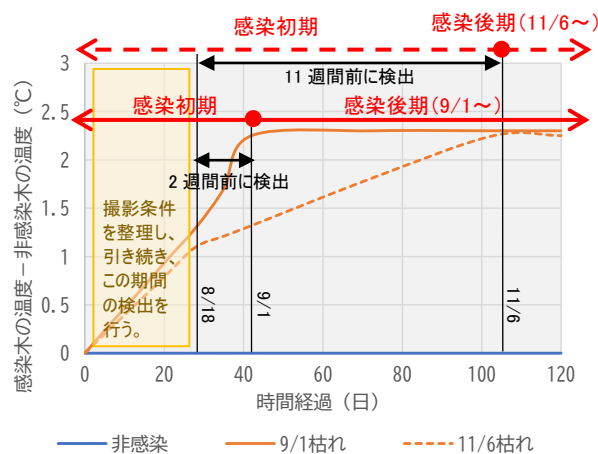


図3: 松枯れの時間経過による温度変化曲線
※ 9/1に変色したもの、11/6に変色したものを抽出
※ 8/18以前の「温度差と時間経過の関係」は想定

4. 調査方法の検討

(1) 感染木の検出方法

現地において、リアルタイムに感染初期と考えられるクロマツを抽出するため、動画及び静止画像撮影を行うとともに、事務所等の室内で感染初期のクロマツを特定するため、静止画像により、感染木と非感染木の表面温度の差で分析を行う。

(2) カメラの仕様

現地において、リアルタイムに感染初期のクロマツを的確に検出していくためには、現地での松の確認も必要となるため、操作画面上において、検出したクロマツの位置をリアルタイムに特定できるサーマルカメラ（DJI社H20Tカメラ等）を使用することが望まれる。

(3) 撮影方法

動画は、晴天時に実施する。サーマルカメラは、日射と同じ方向に向けて撮影するとともに、クロマツ全体の様子が鮮明に把握できる様、クロマツに対して45度の角度で、クロマツの頂点から高度約40~60m程度、3m/s程度の低速により、撮影していく。

また、静止画像は、正確な温度データを得る必要があるため、クロマツに対し、角度を付けないで撮影するとともに、クロマツの頂点から高度約80m程度、3m/s程度の低速により、撮影していく。さらに、分析時には写真の中央付近の被写体のみを分析の対象とする。

【まとめ】

本研究では、感染初期の松枯れの実態を一部把握できたが、松枯れの開始時期やその時点における感染木と非感染木の温度差を解明できなかった。

今後、松枯れの実態を確実に把握していくため、実験圃場において、意図的に感染させた松と健全な松について、サーマルカメラで時間経過による表面温度差を詳細に確認していき、図3の温度差曲線を明確にしていく。また、温度曲線を活用し、感染初期の松枯れを回復させることができる時期や回復方法も明確にしていく。さらに、上記の結果を活用しつつ、広大な海岸林等で効率的に調査を行うための撮影方法の精度もより高めていく。