

# サーマルカメラで松枯れの拡大を防ぐ

## —サーマル(熱赤外)カメラ搭載ドローンによる感染初期の松枯れ調査手法と対処方法の開発—

昭和設計株式会社 望月智晴

### 1. はじめに

本研究は、静岡市産学交流センターの「令和2、3年度 地域課題に係る産学共同研究委託事業」に民間代表として参画し、静岡県立農林専門職大学短期大学部生産科学科の星川健史講師及び静岡県農林技術研究所森林・林業研究センターの加藤徹科長の3者で共同研究を行なった。

クロマツ海岸林は、潮風や飛砂を防止するとともに高潮や津波から地域を守る等の重要な役割を担っている。また、美しい海岸と相まって白砂青松の魅力ある風景を織りなし、観光資源としても地域にとってかけがえのないものとなっているが、(図-1)のように全国で松枯れが進み、危機的な状況となっている。

このクロマツ海岸林を次世代に継承するためには、松枯れの主原因となっているマツノザイセンチュウ(以下、「センチュウ」と称す)による「マツ材線虫病」を抑制することが求められている。

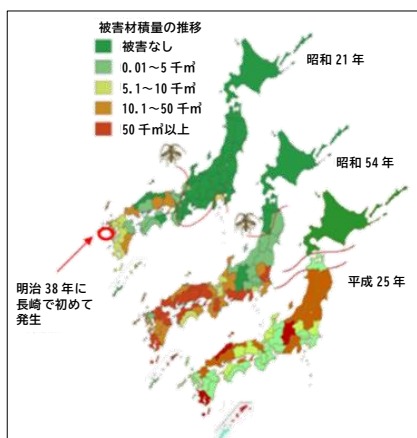


図-1: マツノザイセンチュウによるマツの被害推移 (出典: 林野庁HP)

研究を始めた令和2年度には、見た目では判別できない夏前に、センチュウに感染した感染初期木と健全木の樹冠表面に温度差が発生することが確認できた。

しかしこの時点では、感染初期木の枯れ始め

の時期、健全木との温度差等の生態が解明されておらず、現地での確に感染初期木を抽出することが困難な状況であった。(図-2、3)

そこで、令和3年度には、圃場において意図的にセンチュウに感染させた感染初期木と健全木について、サーマルカメラで時間経過による樹冠表面温度差等の変化を確認していき、松枯れがどのよ

うに進むのか等を明らかにするとともに、その結果に基づき、広大なクロマツ海岸林等で効率的に調査を行うための調査手法を整理した。

また、感染初期木の適切な対処方法についても明確にした。

### 2. 課題・問題点

感染初期木の調査手法及び発見後の対処方法を開発するため、3つの課題を挙げ検証することとした。

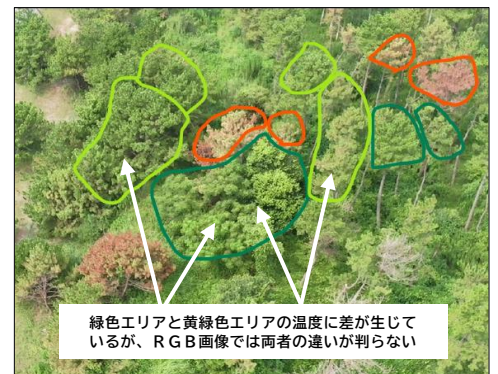


図-2: RGB画像による感染初期木の目視検出



図-3: サーマル画像による感染初期木の目視検出

### 【課題①】

サーマルカメラは他のカメラと比較し、感染初期木の検出に本当に適しているのか。

### 【課題②】

サーマルカメラにより樹冠表面温度を測定する場合、日射量等外的要因が影響するが、外的要因を考慮した「感染初期木の温度」はどの程度か。

### 【課題③】

感染初期木を発見した後の適切な対処方法は何か。

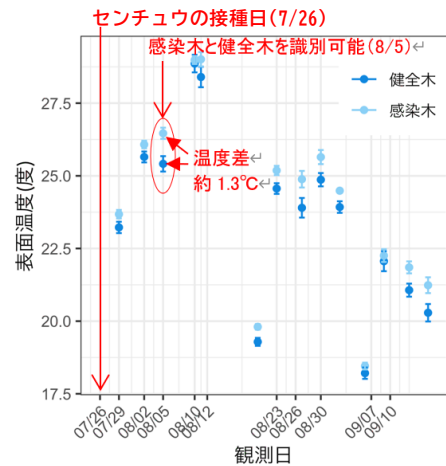


図-4：サーマルカメラの変化

## 3. 対応策・工夫・改善点と適用結果

### 【課題①】

サーマルカメラは他のカメラと比較し、感染初期木の検出に本当に適しているのか。

### 【検証】

#### (1) クロマツの成木調査（磐田市福田海岸）

津波対策として堤防を大規模改修するためにクロマツの伐採が予定されている磐田市福田海岸の海岸林(以下、「福田」と称す)において、静岡県や磐田市の協力により、7～10月まで感染初期木の病状の変化を調査した。

具体的には、胸高直径 10～20 cm の成木にセンチュウを 1 本当り約 3 万頭を接種し、強制的に感染初期木とした 25 本とセンチュウを接種していない健全木 10 本の樹冠表面温度の変化をサーマルカメラ搭載ドローンで、植生指数 (NDVI) の変化をマルチスペクトルカメラ搭載ドローンで計測し、感染初期木の発見までの期間を比較した。

また、小田式松脂滲出調査法により、松脂樹脂量も計測した。

福田での計測結果は、7/26 にセンチュウを接種した後、サーマルカメラでは約 2 週間後の 8/5 に感染初期木において明確な温度変化が観測できた。(図-4)

一方、マルチスペクトルカメラで植生指数 (NDVI) の変化が観測できたのは、センチュウを接種してから約 5 週間後の 9/6 であった。

#### (2) クロマツの幼木調査（浜松市浜北区）

静岡県農林技術研究所森林・林業研究センター(以下、「センター」と称す)の試験圃場では、センチュウを接種し強制的に感染初期木とした 6 本とセンチュウを接種していない健全木 3 本について、樹冠表面温度、水ポテンシャル(水分保持量)、松脂樹脂量の変化を測定した。

センターでの計測結果では、感染から一定時期を経過した幼木をサーマルカメラで計測した樹冠表面温度と水ポテンシャル(図-5)は、同時期に大きな変化を示し、樹冠表面温度と水ポテンシャルには、明らかに相関関係があると考えられる。

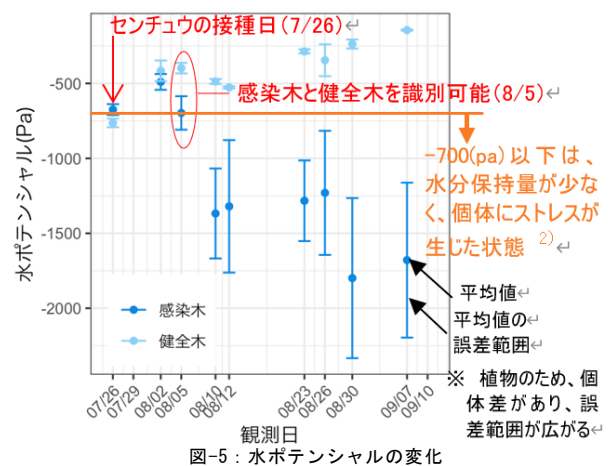


図-5：水ポテンシャルの変化

また、松脂樹脂量の変化は、樹冠表面温度及び水ポテンシャルの変化より後に起こっており、樹冠表面温度を計測することで松脂樹脂量よりも早く被害を発見できる可能性が明確となった。

**【成果】**

クロマツの成木調査及び幼木調査の結果から、感染初期木を最も早く検知できるサーマルカメラの活用が「感染初期木の検出に適している」ことが確認できた。また、感染初期木と健全木の温度差は最大1.5℃程度であったことも確認できた。(図-6)

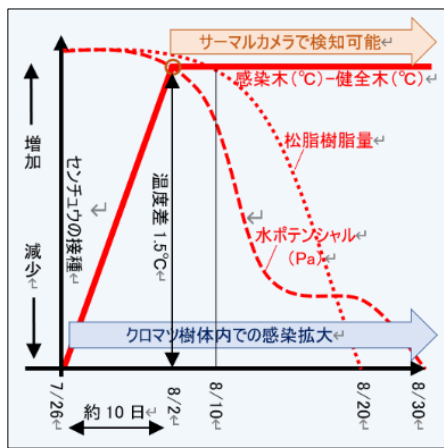


図-6：感染したクロマツの生態イメージ

**【課題②】**

サーマルカメラにより樹冠表面温度を測定する場合、日射量等外的要因が影響するが、外的要因を考慮した「感染初期木の温度」はどの程度か。

**【検証】**

サーマルカメラで計測される物体の表面温度は、一般的に気温、湿度、日射量等の外的要因の影響を受け変動することが知られており、樹冠の表面温度でも同様の事象が起こると考えられる。こうした中、これらの外的要因を考慮したクロマツの樹冠表面温度が算定できれば、調査時に感染初期木と健全木の温度差から、感染初期木を効率良く発見することが可能になると考え、「感染初期木の温度」の推定式を検討した。

**【成果】**

課題①で計測したクロマツの樹冠表面温度と外的要因の関係を検証した結果、関係の見られる気温、湿度、日射量の3項目の値を用いて重回帰分析を行い、クロマツの樹冠表面温度の推定式を求めた。

その後、樹冠表面温度の実測値と推定式から求めた値の差を見ると、台風等の影響により計測日

によってはバラツキが見られるものの、天候が良好な日の両者の差は殆ど生じないことが確認できた。このため、調査時には、この値を感染初期木の樹冠表面温度の目安(しきい値)とすることで、効率良く感染初期木を検出することが可能と考える。(図-7)

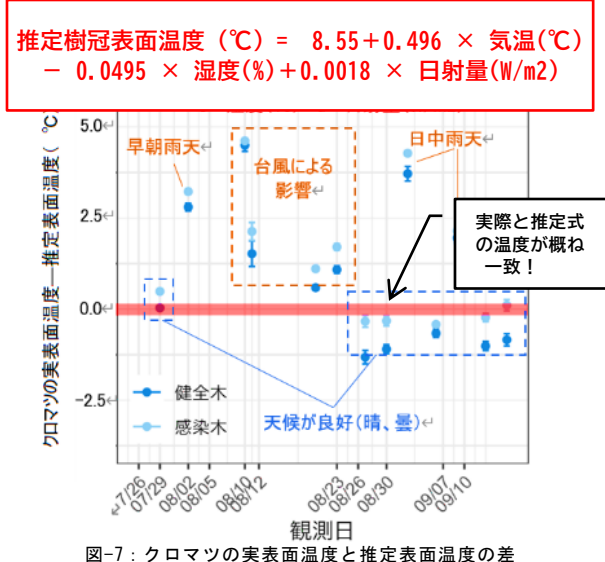


図-7：クロマツの実表面温度と推定表面温度の差

**【課題③】**

感染初期木を発見した後の適切な対処方法は何か。

**【検証】**

クロマツの成木調査を実施した福田において、センチウを3万頭接種したクロマツ25本のうち20本に対し、マツ材線虫病に対する予防効果が高く、県内で一般的に用いられている樹幹注入剤のマツガードとマツの生育期に少量の注入で防除が有効と言われているマッケンジーの2種類を試験投与した。

樹幹注入剤を投与したタイミングは、①センチウの接種直後、②センチウの接種後の1週間後、③センチウの接種後の1ヶ月後とした。

樹幹注入剤の効果判定は、小田式松脂滲出調査法により、松脂樹脂量を5段階で評価した。

**【成果】**

センチウを接種した20本のクロマツのうち19本は、樹幹注入剤の使用の有無に関わらず、8/20に樹脂の滲出が停止した。(図-8)

また、樹幹注入剤の使用により松脂樹脂量が低

下するまでの期間を伸ばすことが可能であることを分析したところ、センチウ未接種と樹幹注入剤を使用した場合の松脂樹脂量には変化が見られなかった。このため今回の検証では樹幹注入剤の効果は無かったものと判断される。

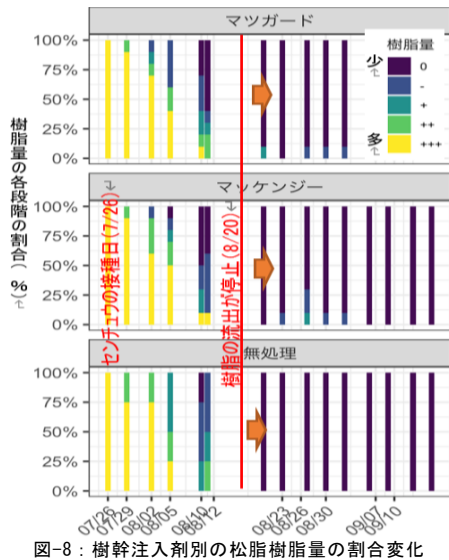


図-8：樹幹注入剤別の松脂樹脂量の割合変化

これらの結果から、マツ材線虫病に感染したクロマツに対する処置としては、現段階においては感染初期木を発見したら早期に伐倒駆除することが、適切な処置と考える。

#### 4. おわりに

本研究において、サーマルカメラが感染初期木の検出に適していることが明確となった。また、感染初期木の樹冠表面温度の推定式を得ることができたことから、サーマルカメラを活用した松枯れ調査手法の有効性が確認できた。引き続き上記手法を用いた松枯れ調査を提案するとともに、今後の課題を述べる。

##### 【松枯れ調査手法】

###### (1) 現地調査

サーマルカメラを搭載したドローンを使用しクロマツ海岸林の状況を静止画に記録する。

記録する静止画像は、正確な温度データを得る必要があるため、クロマツに対しサーマルカメラの角度を付けずに撮影するとともに、クロマツの頂点から高度約 40m程度、3 m/s 程度の低速で撮影していく。

###### (2) マツ材線虫病感染初期木候補の抽出

現地で撮影した静止画像をもとに、調査時の気温、湿度、日射量を変数とした推定式を用いて算出した感染初期木の樹冠表面温度をしきい値とし、GISを用いて感染初期木の候補と判断されるクロマツを抽出し、その位置座標を静止画像から特定する。(図-9)

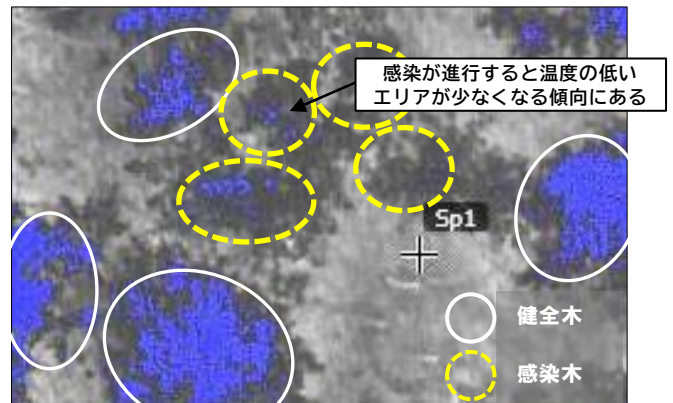


図-9：サーマル画像での感染初期木の抽出(しきい値以下は青)

###### (3) マツ材線虫病感染初期木の特定

(2) で抽出した感染初期木候補の位置を現地で確認し、小田式松脂滲出調査法により松脂樹脂量を1週間程度継続的に調査する。その結果、松脂樹脂量が低下したクロマツを感染初期木として特定し、伐倒駆除等の対処方法を関係者とともに検討する。

##### 【今後の課題】

本研究では、限られたデータをもとに樹冠表面温度の推定式を設定した。今後は、開発した技術を実用化しながらデータを収集し、推定式の精度を高めていくことが必要である。

##### 【最後に】

本研究において開発した技術を、松枯れ調査に限らず様々な分野に応用することで、持続性の高い地域づくりに寄与していきたい。

##### 謝辞

本論文を結ぶにあたり、本研究にご協力いただきました静岡県立農林専門職大学短期大学部生産科学科の星川健史講師及び静岡県農林技術研究所森林・林業研究センターの加藤徹科長並びに本稿の発表にご理解をいただきました静岡市産学交流センターに対し、厚く御礼を申し上げます。