

マツ材線虫病被害拡大を阻止するための 高精度枯損木探査技術に向けて

中村克典 : 生物被害研究グループ
■専門分野 : 森林昆虫学・マツ材線虫病
中北 理 : 森林管理研究領域長
■専門分野 : 森林航測・森林リモートセンシング

1. マツ材線虫病対策への空中探査の導入と問題点

マツ材線虫病（いわゆる、松くい虫被害）は、マツノマダラカミキリ等の媒介昆虫が運ぶマツノザイセンチュウを病原体とする、マツ類樹木の伝染病です。東北地方では、1975年に宮城県石巻市で初めて発生が確認されてから分布が拡大し、現在の被害発生の北限は秋田県八峰町～岩手県紫波町～同大船渡市に達しています。国内における分布拡大の最前線である東北地方は材線虫病対策の最重点地域となっています。

マツノザイセンチュウは、媒介昆虫マツノマダラカミキリの成虫が餌である生きたマツの枝の樹皮を食べるときにマツの体内へと侵入します（図-1）。材線虫病に感染して衰弱したマツは樹脂（松ヤニ）を出せなくなり、加害する昆虫に抵抗できなくなります（この時点で針葉にはまだ変化がなく、緑色のままです）。マツノマダラカミキリの雌成虫はそのようなマツを探して卵を産みつけます。症状が進んで針葉が変色し、枯死してゆくマツの中で、マツノザ

イセンチュウは繁殖し、マツノマダラカミキリは幼虫となって成長します。

翌年（場合によっては翌々年）の初夏になるとマツノマダラカミキリは幼虫から蛹、さらに成虫となって、すっかり枯れてしまった被害木から飛び出します。このとき、マツノザイセンチュウは被害木から持ち出され、新たな感染が引き起こされます。ですから、材線虫病の発生、拡大を阻止するには、感染源（マツノザイセンチュウをもったマツノマダラカミキリの発生源）となるマツ枯損木を着実に伐倒処理することが最も重要です（吉田、2006）。

ところが、地上からの調査でマツ林に散在する枯損木を漏れなく発見することは、実は非常に困難な作業です。そこで、材線虫病対策に熱心な地域や自治体では、航空機やヘリコプターを使った空からの枯損木探査を導入する例が増えています。

空中探査の導入により、枯損木の発見効率は飛躍的に向上すると考えられますが、ここでさらにひとつの問題が発生します。それは、空中探査で見つけ

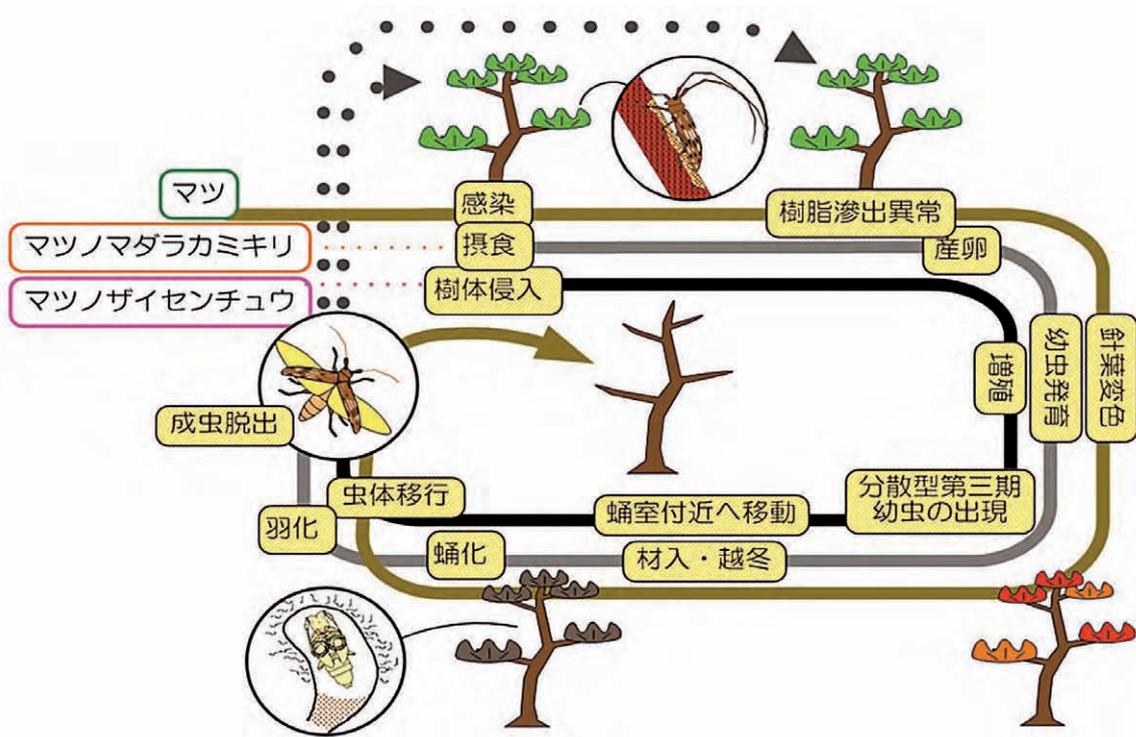


図-1. マツ材線虫病の感染環

た枯損木に伐倒処理作業者が到達するための目印がないということです。道のない山の中で、地図上に示された一点に正確にたどりつくことの困難さは、想像すればおわかりいただけることと思います。その地図上の点の位置さえ十分な精度で決められたものでないとすれば、なおさらのことです。しかし、これらの問題は、デジタルオルソ写真やGPSといった近年の技術革新の成果を応用することで解決できると期待されます。

森林総合研究所を中核機関とする研究プロジェクト「航空写真とGISを活用した松くい虫ピンポイント防除法の開発」(先端技術を活用した農林水産高度化事業、平成18年～21年)では、航空写真をベースとした高精度な要防除木(材線虫病被害木のうち、マツノマダラカミキリが生息して放置すれば感染源になるもの；後述)の検出技術と、検出された要防除木の位置座標情報を利用した林内誘導ナビゲーションシステムの開発がすすめられています。

以下、このプロジェクトの背景と概要について説明します。

2. 航空写真をめぐる技術の進歩

マツ枯損木の空中探査の手順としてもっとも単純なのは、調査者が機体に入り込んで直接枯れ木を探索し、位置を特定するという方法です(吉田ら、1997)。しかし、この方法では調査時間が限定され、広い範囲にわたって十分な精度の調査を実施することは困難です。ここで、航空写真を使うことにすれば、調査者は得られた写真画像上で、広域にわたり一定の精度で枯損木探査を実施できるようになります。

しかし、航空写真自体は地図上の緯度、経度のような位置情報を備えておらず、また画像には写真特有のゆがみ(近いものほど大きく写り、画面の周囲では外側に傾いて写る)があるため、このままでは判読された枯損木の正確な位置を特定できません。

これを可能にするのがオルソ（正写投影）処理です。従来、この作業には対空標識の設置や撮影後の評定など膨大な作業が必要でした。しかし、最近では、GPSを利用した正確な飛行コース制御やデジタル画像処理などにより、格段に正確なオルソ写真をすみやかに作成することができるようになっています（中北、2006）。

GPSについては今さら説明するまでもないかもしれませんが、人工衛星からの電波を使って地球上の位置を測定する技術で、カーナビゲーションシステムという形で既に広く実用化されています。近年、国土地理院によって電子基準点が整備されたこともあり、現在では測定精度を数cmから十数cmの単位に制御することも可能になっています（中北、2006）。

3. 被害木検出への赤外カラー写真の利用

衰弱した樹木では葉群の赤外線反射率が低下することから、森林被害モニタリングに赤外カラー写真がよく利用されます。材線虫病被害の調査でも赤外カラー写真の応用が試みられましたが（小林ら、1976；小原、1978）、材線虫病による針葉変色の進行は早く、赤外領域に変化が現れると直ちに可視領

域でも変色が確認されるようになってしまうため、赤外写真を使うことの有効性は認められていませんでした。

しかし、東北地方などの寒冷地では症状の進行が遅れるので、赤外写真を使うことにより、まだ針葉変色に至っていない衰弱木を早期に検出できる可能性があります。また、赤外カラー写真では、適切な画像処理を加えることにより通常のカラ写真より枯損木が明瞭に判読できるようになります（図-2）。このような画像を用いることで、枯損木の検出のための写真判読作業は容易になり、判読精度も向上すると期待されます。

以上のような利点があることから、本プロジェクトでは赤外カラー写真による被害木検出を標準的な手法と位置づけることにしました。ただし、マツ以外の樹種が混在するなど微妙な判読が必要な場合には、通常のカラ写真を補助的に利用することが推奨されます（板垣ら、2007）。

4. 要防除木を選別するための撮影・判読

東北地方などの寒冷地では、寒さのため症状の進行が遅れ、材線虫病被害木は夏の後半から秋にかけてだらだらと発生し、翌春、気温が高くなるとまた



図-2. ナチュラルカラー写真（左）と赤外カラー写真（右）に写ったマツ枯損木。矢印は枯損木のある位置を示す。

発生するという経過を示します(市原ら、2007)。一方、媒介昆虫マツノマダラカミキリの産卵時期は夏の一時期に限られ、雌成虫はちょうど産卵時期に衰弱した木にしか卵を産むことができません。このため、寒冷地では、材線虫病被害木のかかなりの割合でマツノマダラカミキリの産卵が見られないことになります(星崎ら、2005)。産卵されていない被害木からマツノマダラカミキリが発生することはなく、したがって放置しても感染源とはなりません。このような木を伐倒処理の対象から外し、感染源となる可能性の高いマツノマダラカミキリに産卵された被害木(要防除木)に防除努力を集中することができれば、寒冷地での材線虫病防除を効率化できます(小林、2005)。

野外のマツ林には様々な時期に発病した被害木が混在し、それぞれが時間の経過に伴い針葉変色～脱葉の段階を進んでいきます。これを模式的に表したのが図-3です。

ここでは便宜的に材線虫病被害木を未発病(緑)、

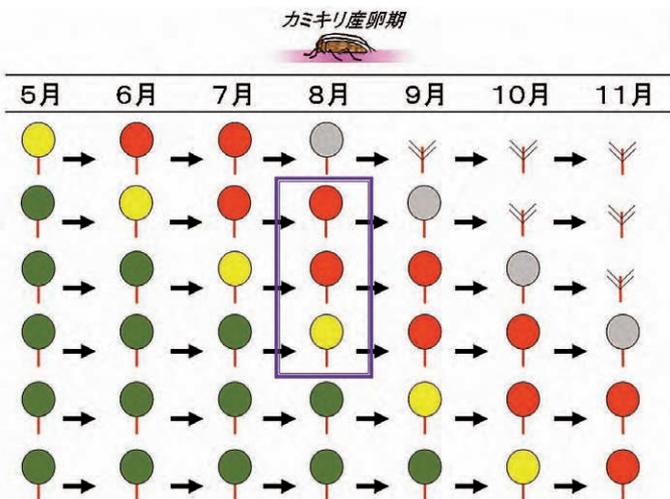


図-3. 要防除木検出に最適な撮影タイミングを考えるための模式図。異なった時期に発病した被害木の針葉変色～脱葉の進行状況を、未発病(緑)→発病初期(黄緑)→変色盛期(赤)→変色末期(灰色)、針葉脱落(枝のみ)の順に示す。マツノマダラカミキリの産卵期は8月で、雌成虫は変色初期から盛期のマツにのみ産卵できると仮定すると、青線枠内の被害木がカミキリの産卵対象となる。

発病初期(黄緑)、変色盛期(赤)、変色末期(灰色)、針葉脱落(枝のみ)に区分し、毎月発病したマツはそれぞれ同じペースで変色～脱葉の段階を進むと仮定します。ここで、マツノマダラカミキリの産卵期は8月にあつて、雌成虫は発病初期(黄)から変色盛期(赤)の被害木にのみ産卵できるとすると、6月～8月に発病した被害木にはカミキリが生息し(=要防除木)、5月以前、あるいは9月以降に発病した被害木にはカミキリは生息しないことになります。

この図に示された条件のマツ林で要防除木を選択的に検出しようとするなら、青線枠で示した要防除木がもっとも判読しやすい状態(赤～灰色)の時期、すなわち9月に撮影した航空写真を使って枯損木を洗い出せばよいでしょう。このように、狙ったタイミングで画像が得られるというのは、航空写真の優れた特徴のひとつです(中北、2006)。

以上の話はあくまで模式図の上でのことであり、現実には、マツノマダラカミキリの産卵時期は年によって若干異なりますし、また発病後の針葉変色～

脱葉の経過は個々の木によってかなり異なることが判明しつつあります。また、アカマツとクロマツという樹種の違いによっても、変色の早晩やカミキリの産卵状況に大きな違いがあることがわかってきました。要防除木を選別するために最適な航空写真の撮影タイミングや判読の手順を提示するには、個々の被害木の変色過程とそれに対応するマツノマダラカミキリの産卵、発育状況に関して、さらに詳しく調べてゆく必要があります。

5. 要防除木の位置情報を防除の現場へ

デジタルオルソ写真を用いることにより、写真上で判読された要防除木の正確な位置座標情報を把握することができるようになりました。この位置座標情報をGPS受信機に入力すれば、現地で要防除木にたどりつくための最低限のシステムが出来上がります。しかし、

これではとても誰もが容易に使用できる道具とは言えません。

私たちが森林内で一定の目標に向かって移動するときには、地図や写真などの画像情報が大いに役に立ちます。そこで、本プロジェクトでは、小型ながらも画像情報を表示できる液晶画面をもち、かつGPS受信機を内蔵する市販のPDA（携帯情報端末）を利用した誘導ナビゲーションシステムの試作に取り組みました（図-4）。試作機本体には、比較的安価で性能的にも満足できる機種（Digiwalker MioP350）を選定し、市販のGISソフトウェア（ESRI ArcPad）から画像や位置情報を操作し、また内蔵GPSを駆動させるシステムとしました。

試作機のGPSはマツ林内で十分に機能し、使用者は画面上に示された現在位置と要防除木分布図を手がかりに任意の要防除木に容易に到達することができました。しかしながら、市販のGISソフトウェアを利用したシステムは汎用的である反面、今回のような単用途のシステムとしては操作が煩雑です。また、要防除木情報の管理（単木毎の位置座標情報の表示や処理履歴の入力等）は林内作業を支援するツールに是非とも欲しい機能ですが、汎用のGISソフトでそのような機能を実現することは困難です。伐倒処理の現場での利用を想定すれば、事業所のパソコンで集中管理されるデータベースから各作業班専用のPDAに担当地区の要防除木位置データを切り出したり、持ち帰ったPDAから処理履歴を回収するような仕組みも必要となるでしょう。これらの要件を実現するためのソフトウェア開発が、現在、プロジェクトのメンバーにより進められています。

要防除木の位置座標情報を小型無人ヘリコプターの自立航行システムに取り込む、という利用法も検討しています。位置座標情報にしたがって無人ヘリを要防除木上空に誘導することができれば、要防除木を対象とする小面積少飛散の防除薬剤散布や、ヘリに搭載したカメラによる伐倒処理の確認作業などの用途へ、展望が開けます。



図-4. 林内誘導ナビゲーションシステム（試作機）。液晶画面には調査対象マツ林の赤外カラー写真が表示され、枯損木位置が緑でマークされている。画面中央の▲印は内蔵GPSで取得された現在位置を示す。

6. おわりに

材線虫病被害地としての東北地方には、「寒冷であること」と「被害履歴の浅さ」という2つの大きな特徴があります。最近では東北地方でも西南日本に引けをとらないような激甚な被害がみられる場合がありますが、寒冷な気候のもとで材線虫病の勢力が弱まることは事実です。西南日本に比べれば材線虫病の勢力が弱くマツが枯れにくい、またはマツ枯れが広がりにくいことに加え、侵入以後の歴史が浅いため、東北地方にはまだ材線虫病に蹂躪されていないマツ林が多く残されています。広大なマツ林に発生する少数の枯損木を確実に検知し、処理するための技術はこの地域の材線虫病対策に必須です。また、病気の進行の遅さからマツノマダラカミキリ不在の枯損木が多く発生し、これらと要防除木を区分することで防除を効率化できる（小林、2005）というのも寒冷地ならではの事情です。

航空写真とGPSを利用した材線虫病被害木の検出、要防除木選別技術は、東北地方の実情に応じた材線虫病対策の構築に大いに貢献できるものと信じます。

引用文献

- 星崎和彦・佐野さやか・桜庭秀喜・田淵範子・吉田麻美・及川夕子・蒔田明史・小林一三（2005）被害木の炭化によるマツ材線虫病の防除：媒介昆虫抑制のための戦略と秋田の海岸マツ林における取り組み. 東北森林科学会誌 10(2):82-89.
- 市原優・窪野高德・升屋勇人・小岩俊行（2007）寒冷地のマツ材線虫病枯死過程における水分生理状態. 森林総合研究所東北支所研究情報 6(2):1-6.
- 板垣恒夫・田代隼人・黒川朝子・高橋由起夫・中村克典（2007）空中写真によるマツ材線虫病被害木の予備判読と課題、日本森林学会北海道支部論文集 55:86-88.
- 小林富士雄・山根明臣・遠田暢男・山崎三郎（1976）地上撮影の赤外カラー写真によるマツ異常木判別の可能性. 日林論 87:305-306.
- 小林一三（2005）松くい虫被害の研究および対策の今昔物語（2）冷涼な地に適した防除システムの構築に向けて. 林業と薬剤 171:7-10.
- 小原忠夫（1978）空から診断：赤外カラー写真による松くい虫被害調査. 森林航測 118:10-16
- 中北理（2006）驚愕！最新の空中写真技術 実は… . 森林技術 776:14-15.
- 吉田成章・田畑勝洋・中村克典（1997）松くい虫枯損木のヘリコプターによる探査システム. 森林防疫 538:8-13.
- 吉田成章（2006）研究者が取り組んだマツ枯れ防除：マツ材線虫病防除戦略の提案とその適用事例. 日本森林学会誌 88(5):422-428.

研究情報 2007年度 Vol.7 No.2

平成19年11月20日発行

独立行政法人 森林総合研究所 東北支所

岩手県盛岡市下厨川字鍋屋敷92-25

〒020-0123 TEL 019(641)2150(代)

FAX 019(641)6747

ホームページ <http://www.ffpri-thk.affrc.go.jp/>