最新の航空写真技術を活かした

# 松くい虫被害ピンポイント防除マニュアル

~高精度な被害木発見から完全駆除まで~



# 平成22年3月

この冊子は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「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(平成18~21年度)」の成果に基づいて制作されました。

# 最新の航空写真技術を活かした 松くい虫被害ピンポイント防除マニュアル ~高精度な被害木発見から完全駆除まで~

# 目次

| 1   | なぜ松くい虫防除に航空写真なのか?・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・1   |
|---|--|
|   | 1.1 松を枯らすマツノザイセンチュウとマツノマダラカミキリ 1   |
|   | 1.2 松くい虫防除の手法あれこれ 3  |
|   | 1.3 なぜ防除はうまくいかなかったのか? 5  |
|   | 1.4 航空機を使った松くい虫被害木探査の「これまで」と「これから」 7   |
|   | 1.5 航空写真を使った探査が威力を発揮する場面 9   |
|   | コラム 人工衛星画像ではダメなわけ 10   |
| 2   | オルソ写真ってなに?・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・11   |
|   | 2.1 オルソ写真とは 11   |
|   | 2.2 オルソ写真の作り方 13   |
|   | 2.3 簡易オルソには注意を 15  |
| 3 航空写真を発注する・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ |  |
|   | 3.1 被害木探査のための航空写真を手に入れるには 17   |
|   | 3.2 撮影範囲の指定 17   |
|   | 3.3 使用レンズと撮影縮尺 19  |
|   | 3.4 使用フィルム 21  |
|   | 3.5 撮影時期および判読精度を上げるための工夫 23  |
|   | 3.6 オルソ写真の作成と色調補正 25   |
|   | 1) アナログ写真のデジタル化 2) オルソモザイクの作成 3) 色調補正 4) 出力  |
|   | 3.7 経費について 29  |
|   | コラム アナログとデジタルで異なるカラー画像処理 30  |
| 4   | 写真判読・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・31  |
|   | 4.1 人の目だからできること 31   |
|   | 4.2 写真上で松くい虫被害木を探す 33  |
|   | 1) 写真上でのアカマツ・クロマツの見え方 2) 松針葉変色木の見え方 3) 林況による<br>見え方の違い 4) 見え方による区分 : 判読基準 5) 見間違えられやすい事例 |

| 4.3 作業精度を確保できる被害量 41   |
|--|
| 4.4 「見えない」被害木 41   |
| 4.5 判読作業の実際 43   |
| <ul> <li>1)判読作業の手順2)作業が容易な例:海岸砂丘地松林3)作業がやや困難な例:</li> <li>平坦地のアカマツー広葉樹混交林4)作業がやや困難な例:スギ林の散在する丘陵地の</li> <li>アカマツ林5)作業が困難な例:丘陵地のアカマツー広葉樹混交林で太陽高度が低い例</li> </ul> |
| コラム 判読技術の修練 53   |
| コラム デジタル3Dビューワーを使った写真判読 54   |
| 被害木情報の管理・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・55  |
| 5.1 写真判読結果から被害木情報へ 55  |
| 5.2 システムを構成するソフトウェア 55   |
| 5.3 PhotoDISP を使った写真判読結果のデジタル化 57  |
| 5.4 写真画像の準備 57   |
| 5.5 オルソフォトレイヤー 59  |
| 5.6 被害木情報レイヤー 61   |
| 5.7 PhotoDISP を使う 65   |
| <ol> <li>1)動作環境 2) インストール 3) PhotoDISP 画面上の各機能と役割 4) PhotoDISP の<br/>基本操作 5) PDA へのデータの転送 6) PDA からのデータの回収</li> <li>5.8 被害木情報データベースの運用 77</li> </ol>         |
| 被害木現地誘導システムの実現・・・・・・・・・・・・・・・・・・77   |
| 6.1 写真画像と被害木情報の活用:画面の案内で被害木にたどり着く 79   |
| 6.2 PhotoNAVI を使う 81   |
| 1)使用機材と必要な周辺機器 2)ナビゲーション機の準備 3)PhotoNAVI 画面上の<br>各機能と役割 4)PhotoNAVIの基本操作   |
| 6.3 PhotoNAVI を使った被害木確認作業の実際 95  |
| <ol> <li>PDA (Mio P360)の起動 2)外部アンテナの接続 3)PhotoNAVIの準備 4)内蔵</li> <li>GPS の起動 5)画面操作と被害木の特定 6)現地でのデータの収集 7)作業の中断・終了</li> </ol>                                 |
| 6.4 収集したデータのフィードバック 101  |
| コラム 斜め撮影写真からでもできる被害木位置特定 102   |
| さらなる活用へ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・102  |
| 7.1 位置情報を利用した自律航行型無人ヘリの運用 103  |
| 7.2 他の森林病虫獣害への応用 104   |

5

6

### 1 なぜ松くい虫防除に航空写真なのか?

1.1 松を枯らすマツノザイセンチュウとマツノマダラカミキリ

松くい虫被害は日本のマツ林に深刻な被害を与え続けてきました。長年にわたる懸 命な防除にもかかわらず被害地域は拡大を続け、今や被害の中心は東北地方や高標高 地域などの寒冷地にうつっています。国外でも、松くい虫被害は韓国、中国、台湾で 大問題となっており、1999年には侵入が警戒されていたヨーロッパ(ポルトガル)に も発生し被害が拡大しつつあります。

長年、松の木を加害する昆虫が原因と考えられていた松くい虫被害が、実はマツノ ザイセンチュウを病原体とする伝染病だと解明されたのは 1971 年のことでした。この 病気には「マツ材線虫病」という名が与えられており、これがいわゆる松くい虫被害 の正式名称です。松の木を枯らし、枯れ木の中で増殖したマツノザイセンチュウは、 同じ枯れ木の中で育ったマツノマダラカミキリ(またはその近縁種)に乗って運ばれ、 周囲の健全な松の木に感染します。それで、このようなカミキリムシを運び屋、ある いは媒介者(ベクター)と呼んでいます。

マツノマダラカミキリの成虫は生きた松の枝の樹皮を餌にしています。成虫が樹皮 を食べるとき、マツノザイセンチュウは枝にできた傷口から松の木の体内に侵入しま す。侵入したセンチュウはただちに松の木の体内に広がり、周辺の細胞に作用し、そ の結果、松の木は樹脂が出せなくなり、やがて水を吸い上げられなくなって枯れてし まいます。樹脂が出なくなった死にかけの松はマツノマダラカミキリにとって絶好の 産卵場所となります。こうして、マツノザイセンチュウに感染して枯れた松の中で、 センチュウは増殖し、カミキリは卵から幼虫へと成長し、樹の中にトンネル(さなぎ になる部屋なので「蛹室(ようしつ)」と呼ばれます)を掘って冬を待ちます。

冬を越え、春も終わる頃になるとトンネルの中のカミキリの幼虫はさなぎに、さら に成虫になります。このタイミングを見計らって、センチュウはカミキリの体にとり つきます。そして、成虫となったカミキリが枯れ木から飛び出し、餌となる生きた松 にたどり着くことで、新たな犠牲者(松)が発生するのです。

### 「空中写真」と「航空写真」

飛行機やヘリコプター、気球などを使って空中から撮影された写真を空中写真または航空写真と 呼びます。学術的には国土地理院が用いている「空中写真」が標準と言えますが、本冊子では「航 空機、とくに飛行機から撮影する写真」であることを強調するため、主に「航空写真」の用語を 用いています。



激しい松くい虫被害に見舞われたクロマツ林(秋田市浜田, 2005年)



マツノマダラカミキリ成虫(左)とマツノザイセンチュウ(右)、および マツノマダラカミキリの気管に潜んでいたマツノザイセンチュウの群れ(中央)



マツ材線虫病をめぐる、マツーマツノマダラカミキリーマツノザイセンチュウの生活環

### 1.2 松くい虫防除の手法あれこれ

「松くい虫被害」の正体は松の木の伝染病ですから、松くい虫防除は害虫防除では なく、伝染病対策と考えなければなりません。

現在のところ、マツノザイセンチュウに感染してしまった松を救う治療薬はありま せん。松を松くい虫被害から救うために私たちができることは、まだ病気にかかって いない木がマツノザイセンチュウに感染することを防ぐ「予防」と、病気で枯れてし まった松から翌年マツノザイセンチュウをもったマツノマダラカミキリが飛び出すこ とを防ぐための「駆除」の2つだけです。

**予防**のための手法として広く用いられているのが、松生木の枝葉に殺虫剤を撒き付けておき、枝を食べにやってきたカミキリ成虫を殺してマツノザイセンチュウの感染を防ぐ「予防散布」です。予防散布には、有人へリコプターやラジコン操作の小型へリコプターを使った方法の他、地上から噴霧器で薬剤を散布する方法や、個々の木に取り付けたスプリンクラーを使う方法などがあります。いずれも、カミキリ成虫が枝を食べに来る時期の前から、成虫の活動期間を通じて、薬剤が効果を保つように実施される必要があります。この他に、松生木に殺線虫剤を注射しておいて、マツノザイセンチュウの感染を防ぐ「樹幹注入」という方法も広く用いられ、効果を発揮しています。マツノザイセンチュウに抵抗力のある松を選び出して育成する抵抗性育種もすすめられ、すでに苗木が生産されて各地で植林されています。

**駆除**では、枯れ木に産みつけられたマツノマダラカミキリが成虫になって脱出する までに、木ごと処理して中のカミキリを死滅させます。被害木を伐り倒して処理する ので「伐倒駆除」と呼ばれます。カミキリを死滅させる方法として、くん蒸剤処理、 焼却、炭化、チップ化などがあります。被害木を埋めて成虫の脱出を阻止したり、脱 出した成虫を殺す昆虫病原菌を使う方法もあります。駆除では、カミキリの生息する 枯れ木のほぼ 100%を見つけて処理しなければ防除効果は上がりません。1本の被害木 が処理されずに残れば、そこから発生するカミキリ成虫がまき散らすマツノザイセン チュウで数十本、数百本の松が枯れてしまうことがあるからです。感染源対策である 伐倒駆除が徹底されなければ、松くい虫被害がおさまることはありません。



松くい虫防除の方法

### 1.3 なぜ防除はうまくいかなかったのか?

予防と駆除を組み合わせた防除により見事に守られている松林が各地に存在する一 方、多くの地域では懸命の防除にもかかわらず松くい虫被害の拡大を抑えることがで きていません。なぜ、防除はうまくいかなかったのでしょうか?

まず第一に、日本の松に対するマツノザイセンチュウの異常なまでの病原力の強さ をあげることができます。これに、マツノマダラカミキリの線虫媒介能力の高さ、線 虫と媒介者に都合のよい日本の夏の高温乾燥が相まって、松くい虫防除を非常に困難 なものにしています。

感染力、加害力がとても強い松くい虫被害を抑えようとすれば相当の資金と労力が 必要になりますが、今の日本では松林にかけられる予算や労力は限られています。ま た、防除は自治体等によって行われるので、予算年度をまたぐ作業の計画や実施がで きなかったり、行政区界や官民境などの境界を越えた作業ができなかったりするので、 一体的・戦略的な防除の実施は困難です。また、かつて松林は燃料や肥料の供給源と して人々の生活に密接に結びついていましたが、燃料革命以降は人の目が向かなくな り荒れるに任されています。このような松林にはマツノマダラカミキリの繁殖源にな る弱った木が多く、もし松くい虫被害木が発生しても発見が遅れたり、駆除の手が入 らなかったりすることが多くなります。松くい虫被害の拡大には社会的な要因も影響 しています。

防除手法が正しく理解されないまま適用されていることが、防除失敗の直接的な、 そして最大の原因です。例えば予防散布は、駆除などの手法により十分にマツノマダ ラカミキリの密度が下げられた状態のもとで、その地域の成虫発生時期に合わせて実 施されることが必要ですが、現実にはこれらの基準を満たさない例が散見されます。 駆除では、マツノマダラカミキリの発生時期より前にすべての被害木を処理すること が要求されますが、被害木を発見できなかったり(発見もれ)、カミキリ発生時期まで に処理しきれなかったり(駆除もれ)する場合が少なくありません。特に、被害発生 先端地域では、新しい被害木を確実に見つけ出して駆除し、被害拡大を防止すること が重要ですが、このような地域では松林が多く残っているため、かえって少数の被害 木を発見するのは困難です。こうして、新たな感染源となる被害木は見落とされ、松 くい虫被害は新たな地域に蔓延していくのです。



伝染病である松くい虫被害では、少数の被害木放置が大きな被害拡大につながる

 $\mathbf{5}$ 

### 1.4 航空機を使った松くい虫被害木探査の「これまで」と「これから」

被害木の発見もれ、駆除もれは松くい虫防除の重大な問題点とされてきました。

伐倒駆除を実施するには、まず被害木を探さなければなりません。この被害木探査 は通常、担当者が見通しのきく道路などを巡回して行います。典型的な松くい虫被害 木では夏~秋に針葉が赤茶色に変色するので、そのような木を探すのは容易に思える かも知れません。ところが、地上からの探査では、地形的に影になってしまう所や、 平坦地でも道路から遠い所にある被害木は見つけられません。林内に分け入って探す ような場合には、曇天下、あるいは晴天下だと樹冠部の針葉の色がほとんどわからず、 被害木を見落とすことがよくあります。

このような地上探査の欠点を補う方法として、空中探査の有効性が早くから指摘さ れ、実際に防除に熱心な自治体ではヘリコプターを使った被害木探査が導入されてい ます。ヘリ探査により、確かに被害木の発見効率は高まりますが、現実問題として、 限られた飛行時間内で調べたい範囲の全体を十分な精度で探査することは困難でした。 また、被害木を見つけたとしても、その正確な位置を記録できないため、地上での作 業の時に見つけることができず、結果的に駆除もれとなってしまうことも問題となっ ていました。

そこで私たちは、これからの松くい虫被害木探査の方法として、航空写真オルソ画 像の利用を提案します。適切に撮影された航空写真を使えば、探査者は必要な範囲の 全体について、十分に吟味する時間をもって、被害木探査を行うことができます。赤 外カラー写真を導入すると、松くい虫被害木と健全木の見分けがいっそう容易になり ます。写真をオルソ化すると、画像上のあらゆる地点について正確な位置情報(緯度、 経度)を取得することができ、森林作業者は GPS を使って林内に点在する被害木を探 し出すことができるようになります。

この冊子では、松くい虫被害木探査のための航空写真の手配の仕方から、写真を用 いた被害木判読法、さらに、付録のソフトウェアを使った被害木位置情報の取得と被 害木情報の管理、写真画像と被害木位置情報を用いたグラフィカルな林内ナビゲーシ ョンまでの一連の手法について説明していきます。



針葉の変色状態がわからない

地上探査、ヘリコプターによる空中探査の限界

### 1.5 航空写真を使った探査が威力を発揮する場面

広範囲を一定精度で探査でき、しかも被害木の位置情報まで得られる、と一見いい ことづくめの航空写真を用いた被害木探査ですが、苦手もあります。まず、狭い範囲 に被害木が密集するような状態になると、写真上で一本一本の被害木を見分けること が難しくなります。しかし、そのような場所は普通地上からでも「被害木がありそう」 と見当がつくので、地上から調査した方が手っ取り早いでしょう(ただし、被害木の 発生している地域の位置を正確に特定するような用途であれば、航空写真を使った探 査は非常に有効です)。また、紅葉する広葉樹やカラマツが松と混生している地域の晩 秋の写真などでは被害木を探し出すことが難しくなります。地形が急峻な場所では、 写真に写る影の部分が多くなり、被害木の発見効率が悪くなります。

航空写真を使った被害木探査を最も有効に活用するため、私たちは以下のような場 面での使用を推奨します。

### (1) 被害発生先端地、または十分に被害発生が抑制された広い松林

広大な松林に点在する被害木を確実に発見し、その位置情報を取得できることがこ の方法の最大の利点です。寒冷地で被害侵入が警戒されている地域やまだ被害量が少 ない地域、防除で被害発生が抑制された海岸松林などは、この方法が最大に威力を発 揮できる場面と言えます。

### (2) 道路が整備されていない平坦地、丘陵地の松林

地上からの遠望で直接確認できない部分のある松林では、この方法の導入が検討さ れるべきです。探査者が林内に分け入って探したところで、十分な精度の調査はなか なか望めません。また、海岸最前線のクロマツ密生地は人が分け入ることさえ困難で すが、上空からの林冠の観察は容易で、航空写真による探査が有効です。

### (3) 寒冷地

寒冷地では松くい虫被害による針葉変色木が年間を通じて発生するため、常にいろ いろな変色状態の被害木が混在した状態となり、直接観察で一定精度の探査を行うこ とは困難です。マツノマダラカミキリの産卵時期に衰弱した被害木がちょうど変色す る頃に撮影された写真を使い、きっちりと判読・区分することでこの難点を解消でき ます。

# 人工衛星画像ではダメなわけ

リモートセンシングと言えば高解像度人 工衛星画像、航空写真は時代遅れ、のような 反応をする人がいますが、この理解は正しい でしょうか?



人工衛星画像と航空写真では大きな違い が3つあります。

### 1)衛星では、データをとる時期を決められない。

地球観測衛星は地球を周回していて、月に数回の割合で同じ所に巡ってきます。し かし、地上の観測は上空に雲がない時にしかできないため、特定の地点の画像取得数 は実は極めて少ないのが現実です。いつ撮影できるか全くわからず「この時期の画像 が欲しい」と言われても確約できないのです。松くい虫被害木探査のように、観測の タイミングが重要な場合には、これが重大な問題となります。

### 2)衛星画像のほとんどが、鉛直ではなく斜め撮影である。

地球観測衛星では、翌日の天気予報を参考にカメラの向きを変えて雲の少ない地域 を撮影することで画像取得回数を増やしています。そのため、現在ではほとんどの衛 星画像が斜め撮影です。斜め画像でも画像処理によってあたかも鉛直画像のように修 正することができますが、傾斜の大きい山岳地などを対象とした場合などには不具合 が出ます。地表を観測するのに、鉛直で撮影された画像に勝るものはありません。

### 3) 航空写真の方が解像度が高く、解像度の設定も自由である。

衛星画像の解像度は新型衛星ほど高く、最近では数十 cm の解像度を誇るものもあり ます。しかし、航空写真では 10~20cm の解像度を実現でき、しかもその設定は利用者 に任されています。公称値で数倍しかない解像度の違いが、実際に画像を使った作業 でどれほど大きな効果となるかは、実際に体験すれば納得できるはずです。

2 オルソ写真ってなに?

### 2.1 オルソ写真とは

オルソ (ortho) 写真では、すべての物体が真上から見た形になっていて(正射投影)、 地図と位置関係がぴったり合っています。人間の目やカメラは、1つの穴から見る形 になっていて、画像の中心(光軸)部分は真上から見たように写りますが、中心から 離れるほど、物体は斜めから見た形で写るようになります(倒れ込み)。また、高さの あるものほど、倒れ込みが大きくなっています(中心投影)。

中心投影の写真を正射投影に変換するには、次の2つのことをしなければなりません。

1) 画像中心からの距離と、その対象物の高さによって生じるズレ(倒れ込み)を、 本来の位置に修正する。

2)標高の高い所にあるものは大きく写り、標高の低い所のものは小さく写っている ので、その差を修正する。

航空撮影では、対象地のすべての地点が複数の写真に写り込むようになっています (17 ページ)。例えば、1本の樹木が異なる位置から撮影された2枚の写真(ステレ オ)に写っていた時、その木のわずかな位置のズレ(視差差)を計測することで高さ を推定することができます(32 ページ)。この高さと画像中心からの距離を使うと、 中心投影で生じるズレを取り除くことができるのです。

つまり、オルソ写真というのは、すべての物体を真上から見た真の正射画像ではな く、中心投影で撮影された写真の画像を補正して、可能な限り正射に近づけた画像な のです。



### オルソ画像の説明図

写真下寄りの集落の形状がオルソ写真では圧縮されていることが分かります。オルソ化された 写真では画像の形状に歪みがなく、位置が正しく補正されているので、写真上で位置、距 離、面積が計測できます。



精密オルソ画像上の既存地形図(1/25,000)情報 写真のもつ情報量の多さと正確さがわかります。

### 2.2 オルソ写真の作り方

航空写真のオルソ化とは、一組のステレオ写真を用いて(1)画像中心からの距離と対 象物の高さによって生じるズレと、(2)標高差によって生じる拡大・縮小、の2つの要 素を計算しながら、組写真のどちらか一方に修正を加えて新たな画像を作成すること です。

この作業に、かつては図化機(アナログ式)を使用していました。左右一対の写真 を、撮影した時の飛行機の傾きを再現するように手作業で配置し、写真に写った地上 の目標物を基準にして地形の凹凸を推定し、位置ズレと拡大縮小を補正しながら、連 動する焼付機で新たな画像を作成する、という大変な作業でした。

現在では、デジタル処理でオルソ写真を作成することができるようになっています (デジタルオルソ)。まず、撮影された写真を高精度なスキャナで読みとってデジタル 化し、計算機上で、一組のステレオ写真に写った同じ被写体(対ポイント)の視差差 から標高を算出する作業を行います。これを多くの点について行うことで、その画像 の標高(正確には表面形状)のモデルを作成します(数値表面モデル:DSM)。この 表面モデルを使って、画像上の小区画(画素)を正射影の位置に再配列することで、 オルソ化された画像が得られます。

アナログであれデジタルであれ、オルソ写真作成には航空写真と地上を重ね合わせ る位置の基準(標定点)と、撮影時の飛行機の位置と傾き(外部標定要素)が必要に なりますが、最近の航空撮影では、撮影中の飛行機の位置と傾きをリアルタイムで計 測する GPS/IMU の導入により作業工程が大きく改善され、従来とは比べものになら ないほど短期間で、高精度なオルソ写真を手にすることができるようになっています。



### アナログ式図化機を使ったオルソ画像の作成

小区画ごとに図化機で地表面の凹凸をトレースしながら、連動する焼き付け機で高さによるズレ、 拡大縮小を補正して新たな写真画像を作成します。



近年格段に発展した、オルソ写真作成の作業工程

GPS: 全地球測位システムIMU: 慣性計測装置

### 2.3 簡易オルソには注意を

空中写真からオルソを作成するには一組のステレオ写真を用い、地形の凹凸を推定 しますが、既存の地形図データを用いることでも簡易なオルソ画像を作成することが 可能です。1枚の航空写真と、その撮影範囲に相当する数値地図データ(標高データ) を用い、両者の位置を合わせた上で数値地図データの凹凸に従って写真を修正処理し て作成します。パソコンで簡単にできるこのようなオルソ写真を「簡易オルソ」と呼 ぶことにします。

ステレオ写真を用いた精密オルソと簡易オルソの違いは何でしょう。

それは、地形の凹凸データの信頼性です。数値地図データの代表的なものは、国土 地理院が発行している 50m メッシュデータです。これは、2万5千分の1地形図上に 50m 交点をのせ、等高線から各点の標高を計測・計算して作られた数値標高モデルで す。地形図の等高線は 10m 間隔なので、等高線と等高線の間にある交点は均等割で計 算されます。ここで考えていただきたいのは、等高線の信頼度です。等高線は、地形 の大体の姿をみるには役立ちますが、現地計測を代用するほどの精度はもっていませ ん。より細かい 10m メッシュデータも提供されていますが、これは 50m メッシュデ ータを細分したものであり、精度の点で元図の信頼性を越えるものではありません。 このような数値地図データをもとに作成したオルソ画像は、微地形を再現していない ため実際の地形に合うはずがなく、山地では 10~30m ほどズレるような事態が突発的 に生じます。

現場計測に使用できるだけの均一な位置精度をもっていない簡易オルソでも、ただ 眺めるだけの画像ならよいでしょう。平地だけを対象とするのであれば簡易オルソで もほどほど使えます。しかし、傾斜のある山地を対象とする場合には、精密オルソ画 像を使用するべきなのです。





地形図から読みとられる標高データの精度の限界

### 3 航空写真を発注する

### 3.1 被害木探査のための航空写真を手に入れるには

航空写真を利用した松くい虫被害木探査を行うのであれば、まずは航空写真を撮影 することが必要です。ここで必要な航空写真とは、相当の技術と精度で撮影され、松 くい虫被害木探査という用途に合わせて調整されたものでなければなりません。

このような航空写真を手に入れようとすれば、航空撮影を業務としている会社に撮 影、オルソ化、印刷を発注することが必要となります。発注の際は、「どのような地域 (撮影範囲)を」「どのような条件(撮影縮尺、使用フィルム、撮影時期)で」撮影し、 どのような成果品(単写真プリント、オルソモザイク画像ファイル)が必要なのかを 提示し、業者から見積もりをとることが必要です。専門の業者に適切な航空撮影を発 注することが「航空写真を利用した松くい虫被害木探査」の最初の作業になります。

### 3.2 撮影範囲の指定

撮影範囲は探査を実施したい松林をカバーする必要がありますが、広い面積を撮影 するにはそれだけ経費が必要になります。先に述べたように、航空探査が威力を発揮 するのは、道路がないなどの理由で地上から被害木を探すのが難しい場所や、被害発 生初期でまだ発生する被害木の本数が少ないような場所なので(9ページ)、そのよう な場所を選んで設定することが大切です。

航空写真の撮影は、事前に計画された飛行コースを直線的に飛ぶ飛行機から、一定 間隔で連続的にシャッターを切る形で行われます。広い面積をカバーするには、平行 な何本かのコースで撮影を繰り返します。このことから、航空撮影では、蛇行するよ うな形状や、とびとびの地域を撮影範囲に指定すると効率が悪く不経済になることが わかります。なお、撮影縮尺 1:10,000 のフィルム写真であれば、単一コースで地上約 2.3km の幅の範囲をカバーすることができます。

航空撮影では、単一コース内の連続する写真は約 60%の重なりをもって撮影され、 各コースは約 30%の重なりをもって撮影されます。こうすることで、地表のあらゆる 地点が複数の写真に写ることになります。このように複数の写真に写すことで、撮影 範囲のあらゆる地点を立体視(31ページ)することが可能になっています。





GPSによる空中写真撮影システム



撮影写真の重なり具合

航空撮影の概略

## 3.3 使用レンズと撮影縮尺

通常の航空撮影では、一回の撮影で広い面積をカバーできる広角レンズ(15cm)が 主に使用されます。しかし、広角レンズには、撮影面の周辺部で「ゆがみ」が大きく なるという欠点があります。森林を撮影した航空写真を見ると、中心部に写っている 木は真上からの樹冠投影像となっていますが、周辺部では画面の外側に倒れた形とな ります。このような写真をオルソ化しても像の形が変わることはなく、写真判読で特 定される木の位置(写真上で根元になっている場所)と現地調査での樹冠の位置に差 が生じ、また樹冠の形についての情報も精度が低下します。さらに、大きな木の樹冠 に囲まれた小さな木の樹冠が写りにくく、見落としの原因になります。

被害木の見落としを最小限にし、写真情報を現地作業に生かすことをめざす松くい 虫被害木探査用の航空写真として、私たちは撮影面のゆがみの少ないセミ広角レンズ (21cm)での撮影を推奨します。

航空撮影では飛行高度を調整することで撮影縮尺を調整できます。つまり、低く飛 べば狭い範囲を、高く飛べば広い範囲を撮影できます。私たちは、写真上での松くい 虫被害木判読作業の精度を落とさず、かつ一回撮影での撮影範囲をなるべく広くとる ことのできる撮影縮尺として1:10,000が適当と判断しました。<u>判読作業にはこの写真</u> を2倍伸ばしにして焼き付けた写真(1:5,000相当)を使用するのがよいでしょう。



広角(15mm)とセミ広角(21mm)で撮影された航空写真の比較

同じ場所を移した赤外カラー航空写真の縮尺を調整し、辺縁部を切り出したもの。広角写真 では樹冠の傾きが大きく、広角写真で中央右寄りに見えている林冠ギャップが確認できなく なっています。



撮影縮尺1:5,000の写真



撮影縮尺1:10,000の写真

1:10,000写真の2倍伸ばし (1:5,000相当)

写真縮尺とその拡大画像

### 3.4 使用フィルム

ナチュラルカラー写真には私たちの目に映るままの色が表現され、直感的に理解し やすいという利点があります。ところが松くい虫被害木では、健全な針葉が色褪せ、 その後、黄色~赤茶色~くすんだ茶褐色、と連続的に変化していくため、色の「変わ り目」を判断することが困難です。また、被害木探査の前段階として対象地域の林相 (樹種) 区分をしておくと作業が効率的になりますが、ナチュラルカラー写真上で同 じように濃い緑に写るスギなどの針葉樹と松を区別するのは容易でありません。

植物の葉緑体には近赤外線を強く反射する特徴があります。このため、植物の健全 度把握に赤外カラー写真が広く使われてきました。私たちもプロジェクト研究を通し、 適切に画像処理された赤外カラー写真では、松健全木(濃い赤色)と松くい虫被害等 による変色木(青ないし白みを帯びた赤色)の写り方の差がより明確になることを確 認しました。また、赤外カラー写真を使うと松と他樹種(スギなど)との区別も容易 になります。これらのことから、赤外カラー写真は松くい虫被害木の探査という用途 に適していると言えます。

赤外カラー写真は松くい虫被害の早期検出に使えるのではないか、と期待されたこ とがありました。しかし、松くい虫被害(マツ材線虫病)の症状の進行は急激なので、 赤外線を使えば肉眼よりずっと早期に針葉変色が検知できる、というようなことはあ りません。松くい虫被害の探査に赤外線を使う理由は、「早くわかるから」ではなく「は っきりわかるからである」と理解して下さい。

赤外カラー写真は松くい虫被害木探査に有効ですが、普段目にする世界とは異なる 色調の写真を使った判読作業では、実際の色(ナチュラルカラー写真)はどうなって いるのか確認したい場面が少なくありません。これらのことから私たちは、松くい虫 被害木の判読作業では赤外カラー写真を主に利用し、可能であればナチュラルカラー 写真を併用する、という方針を提案します。

※コダック社の航空撮影用赤外カラーフィルムは 2009 年 11 月に製造中止が発表されました。今後、 赤外カラー写真を利用するにはデジタル撮影のもので代用していかざるを得ません。デジタルカラー 写真の特徴、問題点については 30 ページのコラムを参照下さい。





ナチュラルカラー写真



赤外線カラー写真(色調補正なし)



赤外線カラー写真(色調補正あり)

同じ場所を撮したナチュラルカラー航空写真と赤外線カラー航空写真 および色調補正の効果

赤外カラー写真は、適切に色調補正をすることで写真のもつ情報を鮮明に引き出せるようになります。 色調補正の詳細については27ページを参照して下さい。

### 3.5 撮影時期および判読精度を上げるための工夫

松くい虫被害木探査のための航空写真では、撮影時期が極めて重要なポイントにな ります。

西南日本の暖地では、松くい虫被害木の発生時期は夏~秋の一時期に集中します。 このような場所で被害木をもれなく検出するには、<u>松くい虫被害の発生期間の終わり</u> <u>頃(9~10月)以降</u>に撮影を実施すればよいでしょう。ただし、撮影時期が遅すぎる と、写真判読結果が伐倒駆除作業の現場に渡るのが遅れ、期限までに駆除作業が完了 できなくなってしまうかもしれません。また、落葉広葉樹の紅葉により判読がむずか しくなる、太陽高度が低くなって影の多い写真になる、などの問題も生じてきます。 撮影時期の決定には、地域ごとに異なるいろいろな条件を加味する必要があります。

寒冷地では、年中を通じて松くい虫被害木が発生するという特徴があります。一方、 マツノマダラカミキリ成虫の産卵時期は寒冷地でも夏の一時期に限られるので、秋~ 春の成虫のいない時期に衰弱した枯れ木にはカミキリが生息せず、したがってこれら の被害木は感染源とはなりません。このような場所では、カミキリの生息する被害木 を優先的に伐倒駆除する必要があります。私たちはプロジェクト研究を通し、そのよ うな防除優先度の高い被害木(要防除木)を検出できる<u>最適な撮影時期は10月後半~</u> <u>11月前半である</u>、と判断しました。ただし、この時期になると太陽高度の低下や紅葉、 さらに日本海側では天候不順などの判読精度を下げる悪条件も重なってきます。もし 可能であれば、夏以降複数回撮影された判読結果を重ね合わせると、判読精度は高く なります。

寒冷地で、カミキリの生息しない被害木を積極的に駆除対象から外し、防除努力を 要防除木に集中することで駆除作業の効率を上げようとする考え方があり、「秋田方 式」と呼ばれています。航空写真による被害木探査でカミキリの生息する木だけを効 率的に拾い出せれば秋田方式の実践に都合がよいのですが、上に示した 10 月~11 月 の撮影を実施しても、写真には冬~春に枯れた木、あるいは前年以前に枯れた木など が写り、被害木と判定されてしまいます。これらの防除優先度の低い被害木を排除す るには、カミキリ成虫発生時期直前に航空写真を撮影しておいて、そこに写っていた 被害木は秋撮影の写真判読の際に選ばないようにするとか、カミキリ成虫発生時期の 前に対象地域の枯れ木をすべて処分しておく、といった手間が必要になります。



マツノザイセンチュウを人工接種したクロマツでの針葉変色の進展 (秋田県立大学構内、2006年)





### 暖地と寒冷地での松くい虫被害木の発生とマツノマダラカミキリ生息状況の 関係を示す模式図

西南日本の暖地では、被害木の多くがカミキリ成虫の活動時期に合わせて衰弱するため、大半の 被害木がカミキリの産卵対象となり(青字)、翌年の成虫発生源(=要防除木)になります。これに対 し、寒冷地では一年を通して被害木が発生するため、カミキリ成虫のいない時期に衰弱した被害木 は産卵対象とはならないので、要防除木とはなりません。

### 3.6 オルソ写真の作成と色調補正

撮影された写真をデジタル化し、調整してプリントまたは画像データとする過程は 発注先の航空撮影会社が行うことになるので、ここでは概略のみ説明します。

### 1)アナログ写真のデジタル化

撮影されたフィルムをデジタル処理が可能な画像ファイルにするため、スキャナで 読みとります。航空写真の読みとりには、平面精度や色深度などの点で非常に高い性 能が求められるので、専用の機材を使用する必要があります。ファイルは通常 tiff フ ォーマットで出力されます。

### 2) オルソモザイクの作成

撮影された写真(単写真)は、そのままでは中心投影になっているため(11ページ)、 地図に重ねることも、写真同士を繋ぎ合せることもできません。まずは、写真1枚1 枚を正射投影に変換する必要があります。航空写真撮影では、対象地のあらゆる地点 が複数の写真に写るようになっており、複数の写真を使うことで立体視ができるよう になり、これを基にそれぞれの写真について表面モデル(DSM)を作成できます(13 ページ)。DSM を使って写真内での高低差の影響を取り除くことで、単写真を正射変 換することができます。正射変換された写真は地図とぴったり合うようになり、画像 ファイルを繋ぎ合せることで、調査対象地域をカバーする大きな1枚のオルソ画像と することができます。



航空写真測量用スキャナ(ライカ DSW700)



単写真のオルソ化とオルソモザイクの作成

### オルソモザイク

「モザイク」は断片を並べて1枚の絵にしたもの。オルソ化された複数枚の航空写真を繋ぎ合わ せて、広い地域をカバーする大きな一枚の写真にしたものをオルソモザイクと呼びます。 3) 色調補正

単写真を繋ぎ合せる際には、各写真間の色の違いや色のムラをなくし、また被害木 が判読しやすくなるように色調補正を行います。

判読しやすい写真にするには、画像のヒストグラムを広げ、表現できる階調をなる べくフルに使う必要があります。つまり、暗い部分はより暗く、明るい部分はより明 るくすることにより、地物の輪郭をくっきりさせるわけです。しかし、補正しすぎる と暗い部分が真っ黒になったり(つぶれ)、明るい部分が真っ白になったり(トビ)す るため注意が必要です。

写真には、部分的に明るい所や暗い所があります。そのため、写真全体を対象に色 調補正を行うと十分にヒストグラムが広げられず、くっきりした画像が得られません。 そこで、明るい部分は明るい部分だけで、暗い部分は暗い部分だけで色調補正を行う ようにします。色ムラについても、同様に部分的に色調補正をし、全体的に均一な色 調になるように仕上げます。

赤外カラー写真(フォルスカラー)の場合には、写真に表現されている色は実際に 肉眼で見える色とは異なるので、作業者の「目」に合わせて調整するという方法は使 えません。色調を決定するには、松被害木が健全木からうまく分離できるように調整 する必要があります。この調整の具合により、赤外カラー写真に写る被害木は白っぽ くなったり青っぽくなったりしますが、重要なことは、健全木とのコントラストを大 きくして、判別しやすくなるように心がけることです。一方、赤外カラー写真に表現 されている色調は人工的に調整されたものであって、色自体が絶対的な基準とはなら ないことを、判読者は十分に理解しておく必要があります。

### 4)出力

出来上がった画像ファイルはそのまま管理ソフトの PhotoDISP で扱うことができ ます(57 ページ)。一方、実体鏡下で立体視するためには、調査地をカバーする立体 視用の2倍伸ばしの単写真が必要です。



### 色調補正の例

色調補正前の画像では、①の部分が明るく②の部分が暗くなっています。また、全体的に青っぽく、 色むらもあります。色調補正後の画像では、それらは見られません。ヒストグラムを見てみると、色調補 正前には①の部分は比較的明るい側に寄っていて暗い部分の諧調のデータがなく、逆に②の部分 では比較的暗い側に寄っていて明るい諧調のデータがありません。色調補正後の③④のヒストグラム では、グラフの裾野が広がり全ての諧調にデータが存在するようになっています。また、ヒストグラムの 山の位置も中心近くに来るよう調整されています。このように全体の色調が均一になるように部分的 な補正を繰り返し行います。

### 3.7 経費について

「航空写真を利用したい」と思った人がまず行き当たる問題に「お金はいくらかか るのか?」ということがあります。

フィルム写真による一般的な航空測量の場合、飛行料金として1時間当たり20~30 万円(これに、基地となる空港から調査地への往復の経費が加算される)、撮影費に1 コース当たり20~30万円(使用機材により変動)、画像処理・オルソ作成に1枚(1 対のステレオ写真から作成)あたり数万円の経費がかかります。このことから、ある 地域の精密オルソ画像を得ようと思えば、経費の目安として、おおよそ百万円程度を 見込んでおけばよいことになるでしょう。もちろんこの値段は、対象地の地理的条件 や撮影範囲の広さによって大きく変わってきます。また、防除のための松くい虫被害 探査を実施するような事業体であれば、撮影の発注には入札がかかることとなり、料 金は業者間の競争で決まる、という部分も出てきます。

デジタル撮影の場合、現時点ではまだ機材が高価なため、多少経費が上積みになる 可能性があります。ヘリコプターは飛行料金が固定翼機よりも高く設定されているこ とが多いようです。松くい虫被害探査にヘリコプターを利用しているような自治体で あれば、航空写真による被害木探査の導入は精度だけでなくコスト的にも有利な方法 になると私たちは考えています。

# アナログとデジタルで異なるカラー画像処理

航空撮影では、高解像度の写真を短い間隔で撮影し続けなければならないことがよ くあります。アナログカメラならカラーフィルムに次々と写し込んでゆくだけの作業 ですが、これをデジタルカメラで行おうとすると、撮影した画像データをディスクに 記録する作業を短時間に、しかも連続的に行わなければなりません。ここで、データ の量が問題となってきます。白黒画像に比べて、カラー画像は3~4倍も情報量と大き くなるため、高解像度画像ではカメラからディスクへの転送が間に合わなくなります。 そこで、高解像度の白黒(パンクロ)画像を基盤となる濃淡画像にして、そこに低解 像度のカラー画像から解像度を合わせるように補間処理して求めた色調と彩度の情報 を統合させ(HIS-RGB 変換)、見かけ上高解像度なカラー画像を作成するという手法 が編み出されました。

こうして作られる画像をパンシャープン画像と呼びます。もともと衛星画像で用い られていた技術ですが、デジ



られていた技術ですが、デジ タル航空カメラにも使用さ れることがあります。 パンシャープンのカラー 画像は高解像度に見えても、 あくまで<u>擬似的な高解像度</u> 画像であり、よく見ると色の にじみが見られます。「色」

にじみが見られます。「色」 についても十分な解像度が 求められる松くい虫被害探 査のような用途にパンシャ ープン画像を用いようとす る場合には、このことに注意 する必要があります。 4 写真判読

### 4.1 人の目だからできること

要防除木をもれなく、確実に見つけ出すことがこの一連の作業の最大の目的です。 赤外カラー写真を使い、撮影条件を調整することで見つけやすくなっているとは言っ ても、被害木の発見を妨げる要因はまだたくさんあります。ノイズに満ちた現実の松 林を写した写真から、高精度に被害木を検出する優秀な検知器として人間の目に勝る ものはない、と私たちは判断しました。

ここで示す方法は、前章の手順で得られた航空写真(赤外カラー写真を主とし、可 能であればナチュラルカラー写真を併用する)を判読し、要防除木である可能性の高 い被害木を見つけ出すためのものです。要防除木を探し出すという作業は、防除の成 否に関わる責任の重い作業であり、また松くい虫防除の現場を知る者によってこそ高 い精度が期待できます。ですから、ここで示す方法は、主として、松くい虫防除の実 務担当者が実行することを想定しています。

航空写真を使うことの大きなメリットとして「立体視」があります。三次元(立体) の世界に生きている私たち人間は、写真画像であっても立体的に見ることによってよ り鮮明に情報をとらえることができるようになります。例えば、立体視することで樹 冠の形状が明確に認識できたり、高い木の間に埋もれた被害木が見えてきます。樹冠 部の枯れ葉と地上の落ち葉では、写真に写る色はほとんど同じですが、高さの違いか ら簡単に区別できるようになります。的確に撮影された航空写真を現地の事情に通じ た人が実体鏡を使って立体視することを、私たちは精度の高い被害木探査の方法とし て推奨します。

立体視の詳細については下記の成書を参照下さい。

### (参考文献)

渡辺宏(1993)「最新森林航測テキストブック」日本林業技術協会、東京、264p. 村井俊治(2008)「空間情報ガイド空中写真・衛星画像」日本地図センター、東京、82p.



### 写真上の情報から被害木を検知し判読にいたる2つの道筋

人の目による作業は、単に感知能力が高いだけでなく、状況判断や経験に基づいてノイズに対応 できる点で機械に勝ります。ただし、「あいまいさ」や「迷い」など特有の欠点があることにも注意が 必要です。







### 視差差とは

右目と左目の見え方の違いを視差と呼びます。異なる高さの 物を見たときの視差の差を視差差といい、空中写真を観測し た場合、人間の目ではその違いを高さと認識します。上の図 を立体視できれば、3番が一番高くせり上がって見えるはず です。

立体視の原理

### 1)写真上でのアカマツ・クロマツの見え方

広葉樹などに紛れた一本一本のアカマツやクロマツを樹種判定することは、他の針 葉樹に比べても困難な部類に入ります。アカマツとクロマツではクロマツの方が判定 が容易ですが、これは主幹と枝、葉の「つくり」が違うからです。クロマツは主幹が はっきりしていて、太枝がなく、堅い感じです。一方、アカマツは「フサフサ」した 感じで、太枝が分かれているものは樹冠だけ見ると数本に見えることがあります。樹 冠の色や形は、アカマツが黄緑系で柔らかい感じ、クロマツは濃緑系で締まった感じ です。このような点を手がかりに、写真上でも両者の区別は可能です。

アカマツやクロマツが集まって林分をなしている場合、アカマツ林は黄緑系の柔ら かい樹冠群、クロマツ林は濃緑系で締まった樹冠群で、判別は容易です。

### 2) 松針葉変色木の見え方

ナチュラルカラー写真では、当然のことながら、松の健全木は緑に、被害木は黄色 →→黄褐色→赤褐色に写ります。緑色に濃淡が見られる場合には、色の違いが松の健 全度を反映していることがあります。また、アカマツとクロマツでは被害に応じた色 の出方に微妙な違いがあります。

赤外カラー写真では、松健全木は濃赤色~濃灰色に写り、被害木は青~緑がかって 見えます。針葉の脱落した枯れ木は白~緑色で表現されます。<u>健全木と被害木の間の</u> <u>色の違いはナチュラルカラーのものよりはっきりしていて、この点が松くい虫被害木</u> <u>の探査に赤外カラー写真を使うことの大きな利点です</u>。ただし、これらの色調は撮影 条件や画像処理によって変化する、ということを心得ておく必要があります。

### 3)林況による見え方の違い

手入れ不足のため広葉樹や松以外の針葉樹が侵入したアカマツ・クロマツの造林地 では、樹冠の配列が不整形になり、天然林では樹種が入り乱れた模様となります。こ のような場面で的確に松を判別するには、前述の単木的特徴を把握することが重要で す。色調から被害木は容易に見分けられますが、それが松なのか他樹種なのかの識別 が、ここでは大変重要になってきます。



### 4) 見え方による区分:判読基準

針葉の色の変化が強調された赤外カラー写真を使うことで、航空写真上で被害木を 探すことは容易になります。しかしそれでも、撮影時点で十分に針葉が変色していな かった木や、樹冠の小さな木などでは写り方が微妙で、判断に悩むことがあります。 また、前年以前の古い枯れ木(マツノマダラカミキリは生息していないことが多く、 防除の優先度は低い)の樹冠は独特な形をしているのですが、色だけで判断すると要 防除木と区別できません。逆に、このような写真上での「見え方」の情報を利用する ことで、私たちはマークされた被害木が要防除木であるかどうかを区別しやすくなり ます。

要防除木判定のための「判読基準」として、私たちは以下の5つのランクないし区 分を設定しました。

### A:判読容易

立体視なしでも十分に確認できる被害木、あるいは立体視下で容易に判読できる被 害木。主に、上層木で樹冠の大きい被害木や疎開林分での被害木が該当する。夏~秋 に撮影された写真であれば、要防除木である可能性が非常に高い。

### B:判読やや困難

立体視下で、注意して見ることによって確認できる被害木。上層木に挟まれた中・ 下層の衰弱・枯死木で、樹冠が相対的に小さいものなどが該当する。誤読の可能性も あるので、伐倒駆除の際には現地確認が必要である。

### X:針葉脱落

古い枯死木で針葉が脱落しているため、枝分かれの目立つ特徴的な形状を示す。ただし、アカマツではクロマツほど枝の突出が顕著でない。その形状から立体視なしでも判読容易なものが多く、立体視下では小径木でも判読可能である。すでにマツノマ ダラカミキリは生息していないことが多いので要防除木である可能性は低い。

### G:集団枯損

被害木が集中し、単木レベルでの指定が困難な区画。確実に要防除木が含まれるの で伐倒駆除作業は必須であり、駆除木の選定は現地で行った方がよい。

### Q:要現地調査

太陽高度や地形の関係で影が強い場合など、写真からは要防除木の存否について確実な判断ができない区画。現地調査による確認が必要である。



### 5)見間違えられやすい事例

以下では、実際の松くい虫被害木の写真判読で問題となる、見間違えの起こりやす い事例について説明します。

### (1) 他樹種

### ・スギ

樹冠の形は丸みある円錐形(円筒円錐形)。赤外カラー写真で生立木は濃灰色に写り、 混在するアカマツ生立木との区別は容易です。ただし、衰弱木は青~緑色、枯死木は 白~青色がかかり、松被害木と似ているので注意が必要です。

### ・カラマツ

カラマツは秋に針葉が変色して赤外カラー写真では黄白色に写り、松被害木とそっ くりに見えます。判読のポイントは枝張りに注意することです。樹冠の形は鋭角円錐 形で枝張りが顕著です。紅葉前の生立木は赤外カラー写真で明るい赤色(アカマツ・ クロマツより白っぽい)、ナチュラルカラー写真では薄い緑で、<u>アカマツ・クロマツに</u> <u>比べ枝張りが明瞭</u>です。

### ・ニセアカシアの枯れ

ニセアカシアは海岸林などでよくクロマツと混交していて、枯れ木や紅葉した木は 松被害木に感じが似ており、まぎらわしいので注意が必要です。赤外カラー写真で生 立木は鮮紅色で、マツとは微妙に違っています。また、他の広葉樹に比べ、春は遅く 開葉し、秋には早く落葉します。落葉の進んだ時期の赤外カラー写真ではX区分の松 被害木と間違いやすくなります。判読のポイントとして、ニセアカシアは「群れ」を なし、樹冠が不規則で丸みをもっており、高さが揃っています。ナチュラルカラー写 真では、やや白っぽい緑に写ります。

### ・紅葉した落葉広葉樹

松くい虫被害木探査のための写真撮影時期は広葉樹が紅葉する頃にあたるので、ナ チュラルカラー写真では見分けが困難です。樹高の低い枯れ木は特に松被害木と間違 えやすいので気をつけます。また、落葉後の広葉樹は判読基準ランクXの松被害木と 間違われます。判読のポイントは、枝張りに注目することです。松などの針葉樹は通 直で枝張りが円錐形でまとまっていますが、広葉樹は不規則な枝張りで樹冠不整形に なります。



### (2) ツルの巻きついた松

手入れの行き届かない人工林では、フジやツタウルシなどのツル植物が巻き付いて 松の樹冠を被うことがあります。これらの植物が秋に紅葉すると、赤外カラー写真で は被害木と同じく青〜緑色に発色して見えるので、非常にまぎらわしいことになりま す。注意して観察すれば、樹冠の変色部が不規則な形になっているので判別できます。

### (3) 松の部分枯れ

松の枯れた部分が判読されるもので見間違いではないのですが、大きく枝分かれし た部分が雪や風で折れた場合など、航空写真では単独の被害木に見える場合がありま す。また、寒冷地では全身の枯れになる前段階として枝枯れが見られる場合がありま す。枯れた時期や状態(材が乾燥しているかどうか)によってはカミキリが生息して いて感染源となることもあるので、防除の要否については現場での判断が必要です。

### (4) 地表面の浮き上がり

航空写真立体視で、小空間地(裸地)が空中に浮き上がって「白色斑点」に見える 現象で、錯覚の一つです。夏に撮影されたコントラストのはっきりしている写真でよ く体験します。問題となる小空間地が左右2枚の対写真のどちらかのみに写っていて、 もう一方の写真では樹木の陰影等で欠けている場合に起こります。

見破り方としては、<u>対写真の両方に同空間が写っているかどうかを確認してみる</u>と よいでしょう。

ナチュラルカラー 赤外カラー ツル植物の 巻きつき (岩手県紫波町五ツ森 200.11.10撮影 1:5,000) 松の枯死木に絡みついた フジの紅葉 松の部分枯れ (秋田県秋田市夕日の松原 2007.10.25撮影 1:5.000) 風や雪による枝枯れの他、松くい虫被害 が徐々に進行する場合にも樹体の一部だ けに枯れが見られることがあります。 松被害木と見間違えられやすい事例:その他

### 4.3 作業精度を確保できる被害量

人間の作業の特性として、数が多くなるとミスが多くなる、ということがあります。 例えば、一枚の写真の中から一本の被害木を探すのであれば誰もが確実に正解できる はずですが、同じ大きさの写真に 100 本の被害木が含まれていたら、見つけられる本 数は人によって大きくばらつくでしょう。このばらつきを抑えることができなければ、 「被害木をもれなく確実に探す」という目的は果たせません。

しかし、航空写真を使ってまで被害木を探さなければならない場所とは、地上調査 では見つけられないくらい被害木の発生量が少ない場所、あるいはしっかりと守られ てきた重要な松林であるはずです。被害量が多い場所では、一本一本の被害木をター ゲットにしたピンポイント的な防除法より、松林全面を対象とした従来型の防除法の 方が効果的です。この冊子で示している航空写真を使った高精度な被害木探査技術は、 広い松林に少ない数の被害木が散在しているような場面で、もっとも効果を発揮する 手法なのです。

航空写真を使った被害木探査で十分に作業精度を確保できる被害量は<u>1ha あたり20</u> <u>本程度まで</u>と考えて下さい。

### 4.4 「見えない」被害木

航空写真を使った被害木探査では、被害木は上空から「見える」ことが前提となっ ています。しかし現実の松林には、樹冠部が上層木に覆われていて上空からは見るこ とのできない枯れ木(被圧木)や、幹は死んでいるのに枝葉はまだ生きている被害木 (未変色感染木)が存在します。これらの木でもマツノザイセンチュウとマツノマダ ラカミキリを宿していれば要防除木なのですが、残念ながらこれらの木を写真判読で 見つけ出すことはできません。

この点は、航空写真を使った被害木探査の弱点です。しかし、これらの木は、通常 の地上からの目視による被害木探査でもやはり見つけることはできないので、写真に よる探査が従来の方法に劣っていることを意味するわけではありません。

被圧木や未変色感染木も含めて完璧に要防除木を処理するには、岩手県で実施され ている「山そうじ」のような、きめ細かい松林の管理が必要です。

山そうじ

松くい虫被害防止のための徹底した松林の手入れのこと。被害木だけでなく、マツノマダラカミキ リの繁殖源となる可能性のある気象被害木や被圧枯死木の完全な処理を目指します。近年岩手県で は、被害木が発生した際に周囲の松生木の樹脂流出調査を行うことで、未変色感染木を発見し処分 する手法も導入しています。



「見えない」被害木:被圧木と未変色感染木

### 1) 判読作業の手順

### (1) 立体視のための準備

航空写真で撮影された対象地の地表面の情報を詳しく読みとるには、立体視が非常 に有効です。縦または横に連続する2枚の航空写真には重なり合って写っている部分 があり、2枚の写真を使うことでその部分を立体視することができます。

①判読したい地域が写った連続する2枚の写真を準備し、各写真の中心点をマークします。また、お互いの写真の中心点に相当する点を探してマークします(これらの点を「主点」と呼びます)。各写真にマークされた2つの主点を線で結びます(「主点基線」)。②2枚の写真の主点基線が一直線になるように、かつ一定(60%重複の写真なら約25cm)の間隔に配置します。③実体鏡を主点基線に平行に整置します。

46~52ページの図版の上部におかれた2枚の写真は、裸眼立体視用の配置になって います。簡易実体鏡を使うと(慣れれば裸眼でも)立体視できます。

### (2) 林相区分

林相とは、樹種を目安に区分した森林の姿です。写真判読で松くい虫被害木を探す 場合、事前におおまかな林相区分をしておくと作業が楽になります。松林、あるいは 松を含む林分を特定しておくことで、探す努力を集中するべき場所が明確になり、そ れぞれの林相の中での松の見え方を意識した探し方ができるようになるからです。

次項以降に示す実例では、説明のため林相区分を線で示していますが、写真上で特 徴を把握できるならあえて線を記入する必要はありません。ただし、判読に慣れない うちは、線でくくった方が作業がしやすいかも知れません。

### (3) 被害木の指定

実体鏡下で、林相を意識しながら、上述した「見分け方」にそって被害木を探し、 判読基準ランクを与えます。記録用の写真の見つけた被害木に軟質色鉛筆または顔料 インクのペン (消しゴムで消せるもの)でマークを付けます。被害木の集団 (G) や「被 害木があるかも知れないがよく見えない区域 (Q) は線でくくります。次項以下の実例 を参照して下さい。



航空写真立体視の手順



### 判読作業に使用された写真の例

判読された被害木が白のペンで赤外カラー写真上に直接マークされています。この例では、目立つ被 害木(判読基準ランクA)は〇印で、針葉脱落木(ランクX)は×印で示されています。

### 2) 作業が容易な例:海岸砂丘地松林

人工林等の単純な松林で地形の起伏が緩やかな場所であれば、写真判読作業は容易 です。手入れが悪くて松の被圧木が多くなってきたり、広葉樹が侵入してくると、見 分けなければならない情報が多くなって判読者をわずらわせますが、林相を区分する と情報が整理され作業が楽になります。

右ページの例の写真は、秋田市北部「夕日の松原」内の海岸砂丘クロマツ林を 10 月 末に撮影したものです。対象地にはアカマツ林や広葉樹林、およびそれらの混交林が 含まれます。セミ広角カメラによる撮影なので、樹木の倒れ込みが小さく、画像全体 に渡って判読しやすい写真になっています。なお、ここでは写真左側が北になってい ます。

東側(写真上側)に分布するアカマツと広葉樹の混交林は、不整形な広葉樹の樹冠 とアカマツの柔かい樹冠の織りなす模様が特徴です。空間地はササと灌木で占められ ています。北側(写真左側)はアカマツとクロマツの混交林、写真中央部はアカマツ 林で占められています。西側(写真下側)は、海岸林を代表するクロマツ林となって おり、樹冠の締まった感じが見てとれます。林相ごとの見え方の違いを確認してみて 下さい。

赤外カラー写真で、アカマツは淡赤色系に、クロマツは濃赤色系に写っています。 被害木は青~緑がかった色で表現されています。アカマツはクロマツにくらべ柔らか い感じで、微妙な違いがあります。

### 【使用写真】

対象地:秋田県秋田市下新城中野(秋田県立大学秋田キャンパス付近) 撮影年月日:平成21年10月25日 撮影時刻:10時7分~10時9分(赤外カラー写真)

10時49分~10時55分(ナチュラルカラー写真)

- 焦点距離:214.88mm
- 撮影縮尺:1:10,000

2倍伸写真を反射鏡付実体鏡下で判読



### 判読作業の実際 1. 海岸砂丘地松林

上段2枚の赤外カラー写真は裸眼立体視用の配置になっています。

### 3) 作業がやや困難な例:平坦地のアカマツー広葉樹混交林

8月末撮影の写真です。対象地は秋田市郊外の「小泉潟」に沿う小さな地形変化の あるアカマツ林で広葉樹を混じえています。広角カメラによる写真のため、写真周辺 に近い部分では樹木の倒れ込みが見られ、慣れていないと判読の妨げになるかも知れ ません。夏の強い日差しのため反射光が強く、他の時期の赤外カラー写真の色表現と 異なるので注意が必要です。

この例では、混交するスギや広葉樹とアカマツとの判別が作業の要点となります。 赤外カラー写真上で、アカマツ被害木は濃い青緑色で表現されています。脱葉の進ん だ被害木は先端が白色で、枝の突出がみられます。健全なアカマツは灰紫色に写り、 スギに比べ樹冠が散開しています。スギは円筒円錐形が整然とし、アカマツよりは濃 色で表現されています。広葉樹は枯れ木以外は濃赤色です。公園の芝生地は白色に近 い薄桃色となっています。判読事例を参考に立体写真で観察し、確認して下さい。

ナチュラルカラー写真で見ると、アカマツ被害木は赤茶色~茶色~白色(脱葉木)と まちまちです。スギはアカマツより濃緑にみえ、広葉樹は濃緑色です。

### 【使用写真】

対象地:秋田県秋田市潟向(小泉男潟) 撮影年月日:平成18年8月27日 撮影時刻:12時28分~12時52分(赤外カラー写真) 11時37分~12時01分(ナチュラルカラー写真) 焦点距離:152.58mm 撮影縮尺:1:5,000 密着写真を反射鏡付実体鏡下で判読









> 判読作業の実際 2. 平坦地のアカマツー広葉樹混交林 上段2枚の赤外カラー写真は裸眼立体視用の配置になっています。

### 4) 作業がやや困難な例:スギ林の散在する丘陵地のアカマツ林

丘陵地等では広い面積が単純な松林で占められているようなことはまずなく、広葉 樹の混交した林分やスギ、カラマツ等の人工林などと複雑に入り組んだ状態で分布し ています。こういった場合には、おおまかに林相を区分して目に入る情報を整理し、 頭をすっきりさせて判読作業にあたるとよいでしょう。

秋田市郊外の丘陵地の8月末撮影の写真です。アカマツ林の他にスギ人工林も散在 しています。広角カメラによる写真のため、写真周辺では樹木の倒れ込みがあり、こ ういう部分では樹冠形状よりも樹全体の形による判読が有効になります。

赤外カラー写真上で、アカマツ健全木は濃灰色~淡灰色に、スギ健全木は黒色~灰 黒色と対照的な色相となっており、区分が容易です。アカマツ被害木は典型的には青 緑色で写っていますが、被害程度によって薄い灰色に近い色合いで表現されるものも あります。スギ枯死木も青緑色となっているので、樹形(円筒円錐形)や周囲の樹種 から判断します。

写真の上側では倒れ込みが生じていますが、スギ人工林の整然とした林分があり、 その下側の林道に沿ってアカマツ林分が分布しています。広葉樹林は赤色系で明瞭で す。広葉樹とアカマツとの混交林が各所にくくられています。写真下方に写っている 施設の左上のアカマツ林はやや黒っぽくなっています。このように、地形や混み具合 によって同じ松林でも色合いが変化することがあるので注意して下さい。写真中央上 側にスギ若齢林分がありますが、ここでは地表のササ、草本や灌木の影響で、やや赤 っぽい黒色に写っています。裸地は青白色で草本群落はピンク色です。写真中央のア カマツ被害木が集団をなしている部分を括ってランクGとしてあります。

### 【使用写真】

対象地:秋田県秋田市手形山 撮影年月日:平成18年8月27日 撮影時刻:12時28分~12時52分(赤外カラー写真) 11時37分~12時01分(ナチュラルカラー写真) カメラの焦点距離:152.52mm 撮影縮尺:1:5,000 密着写真を反射鏡付実体鏡下で判読





判読作業の実際 3. スギ林の散在する丘陵地のアカマツ林 上段2枚の赤外カラー写真は裸眼立体視用の配置になっています。

### 5)作業が困難な例:丘陵地のアカマツー広葉樹混交林で太陽高度が低い例

秋の遅い時期になると太陽高度が低くなるため影が出やすく、特に地形の起伏のあ る所ではその影響が大きくなります。右の例の写真では、南東斜面では影のため判読 が極めて困難になっています。さらにこの対象地では、広葉樹林やスギ、カラマツの 植林地も分布し林相が入り組んでいる上、広葉樹やカラマツが紅葉してしまっている ため、判読作業をさらに困難なものにしています。

赤外カラー写真では、この時期の広葉樹は白色~黄白色で表現されていて判別が容 易になっています。カラマツも紅葉していて、広葉樹と同じ白色~黄白色に写ってい ますが、先端がとがり、枝が突出していることから、広葉樹とは区分されます。ただ し、アカマツの針葉脱落木に酷似しているので注意が必要です。同様に、落葉の早い 広葉樹もアカマツ針葉脱落木に似ていますが、アカマツ被害木は青緑色~灰色(灰白 色)の色彩が顕著で、影に隠れたものでなければ判読可能でしょう。アカマツ生立木 は赤色~濃赤色で樹冠が散開していますが、スギはアカマツに比べて樹冠がまとまり、 整然としていますので注意すれば樹種区分は可能でしょう。

紅葉時期のナチュラルカラー写真では、黄色系の広葉樹林とカラマツ林、鮮やかな 緑色のアカマツ林が顕著です。アカマツ被害木は灰褐色~茶褐色で、被害木の多い混 交林では灰緑模様として表現されています。

松くい虫防除のための被害木探査では、要防除木の見落としは命取りになります。 撮影条件などで判読が困難な写真を使用する場面では、判読基準ランクGやQを指定 して、要防除木があるかないかの判断を現地作業にゆだねることも大切です。

### 【使用写真】

対象地:岩手県紫波郡紫波町犬吠森(五ツ森山) 撮影年月日:平成 20 年 11 月 10 日 撮影時刻:12時15分~13時10分(赤外カラー写真)

11時10分~11時11分(ナチュラルカラー写真)

焦点距離:214.88mm

撮影縮尺:1:10,000

2倍伸写真を反射鏡付実体鏡下で判読



(A):判読容易(Bに対して相対的) (B:判読やや困難(Aに対して相対的) ○ :要現地調査 〇:針葉脱落

空間地 裸地

> 判読作業の実際 4. 丘陵地のアカマツー広葉樹混交林で太陽高度が低い例 上段2枚の赤外カラー写真は裸眼立体視用の配置になっています。

# 判読技術の修練

航空写真から松くい虫被害木を正しく見つけ出すためには、判読技術を身につける ことが必要です。高い判読技術は、(1)航空写真の基礎知識と、(2)対象地での現場経 験、に基づく航空写真立体視によって習得されます。

航空写真は使用するカメラ、フイルム、撮影縮尺、カメラの向き、写真処理、拡大・ 縮小、撮影季節や時刻等によってそれぞれ異なった特性をもちます。航空写真につい ての詳細な解説は他の教科書にゆずりますが、基礎的な知識をわきまえることで、写 真の特性に応じた判読が可能になります。このマニュアルでは、赤外カラー航空写真 (撮影縮尺 1:10,000) での松くい虫被害木の判読を勧めていますが、判読技術を高め ればそれ以外の航空写真でも松くい虫被害木の判読は可能です。

机上の知識だけでは判読技術は向上しません。航空写真を判読したら、一部でも良 いので必ず現地に出かけましょう。林相や樹種、地表を覆う草本類、地形的特徴など を現場で確認し、記録しましょう。この積み重ねが判読技術の向上につながります。

実際に業務として航空写真判読を行っている人から直接習うことは、もっとも効率 的な判読技術の習得法です。私たちはプロジェクト研究の中で、松くい虫被害防除や

航空写真判読経験の異なる人たち を対象に、判読手法講習の効果に ついて調べてみました。すると、 写真判読経験者、未経験者のどち らのグループでも、講習前と講習 後では講習後の判読精度が高くな りました。この結果は、未経験者 でも講習を受けることで相当の判 読技術が習得できることに加え、 経験者はさらに修練を積むことで 判読技術が向上することを示して います。



2008年10月6日、秋田県立大学で実施された 松くい虫被害木写真判読実習の様子

# デジタル3Dビューワーを使った写真判読

ステレオ写真を立体視するには、通常、44ページにあるような実体鏡が用いられて きました。しかし、実体鏡による立体視では、(1)本人しか見えない、(2)見える範囲 が狭い、(3)観測点を移動するごとに2枚の空中写真の位置合わせをしなければならな い。(4)ズームが2段階しかない、(5)視差の計測に、熟練を要するマイクロメーター (視差測定桿)を使用しなければならない、など多くの問題点がありました。 2枚の写真画像の機械的な位置合わせや設定はコンピューターの得意とするところ です。そこで、直角に配置された左右2つのディスプレイにデジタル処理された左右 2枚の画像を表示し、ハーフミラーを通して合成された画像を3Dメガネを使って立体 視するビューワーが開発されました。

複数の人が同じ画像を同時に立体視して、あれこれ議論できるのは、3D ビューワー の大きな利点です。また、判読から入力まですべての作業をコンピューター上で行え



3Dビューワー(国際航業 K-Scope)を使った航空写真の立体視

るため、紙に書かれた判読結果 をパソコンに再入力するという 現在の工程上の最大のネックが 解消されます。画像のズームは 無段階で移動も自由、標高の計 測はマウスの簡単な操作ででき るなど、デジタル化された処理 の利点はまだまだあります。

デジタル 3D ビューワーは、人 の目の高性能さと、パソコンの 高速処理能力を統合させた、画 期的な最新科学技術なのです。

### 5.1 写真判読結果から被害木情報へ

前章までで、適切に撮影された航空写真を用いて要防除木らしき(あるいはそうで ない)被害木を見つけ出すことができるようになりました。写真上でマークされた被 害木には、判読時にA、B、X、G、Qの判読基準ランクが与えられており、オルソ写 真を使えばその位置情報(緯度、経度)を知ることができます。さらに、これらの木 について現地調査により樹高や直径等の情報が追加されるかもしれませんし、伐倒駆 除作業に際して判読結果の正誤や「処理されたかどうか」などの情報が付け加えられ るでしょう。このような情報を収集整理すれば、そのまま行政の統計資料として活用 可能でしょう。

私たちは、写真判読結果をオルソ画像に取り込むと同時に被害木の位置情報を取得 し、その他の属性情報(判読基準ランク、サイズ、処理の有無など)とともにパソコ ン上で管理(閲覧、編集、保存)し、さらにそれらの情報を PDA(携帯型情報端末) に転送して林内作業に役立て、持ち帰った PDA から野外で収集した情報を回収するこ ともできる一連のシステムを開発しました。作成される被害木情報のファイルはその ままデータベースとして運用可能です。

### 5.2 システムを構成するソフトウェア

### (1) PhotoDISP(被害木情報管理ソフトウェア)

オルソ写真画像を表示しつつ、被害木情報の閲覧・編集などを行うソフトウェア。 写真判読でマークされた被害木の位置情報の読み取りや、G、Qに指定されたエリアの 指定もこのソフトで行います。事業所のパソコンにインストールして使用します。

### (2) PhotoNAVI (現地誘導ソフトウェア)

画面表示されたオルソ写真画像と現在位置から作業者をマークされた被害木まで誘 導し、また現地でデータの記録・編集などを行うソフトウェア。GPS内蔵型携帯情報 端末(PDA)を使用します。(79ページ以降で詳しく説明)

### (3) データベースソフト(任意)

CSV 形式での入出力に対応したソフトウェアを利用して下さい。短期間・小規模な 事業であれば表計算ソフト(例: MicrosoftExcel)などでデータを管理した方が取り 扱いは容易ですし、お金もかかりません。自動的に割り振られる被害木の固有 ID(64 ページ)を使ってリレーショナルデータベースを構築することも可能です。



デジタル化された被害木情報を統合的に管理・運用する



被害木情報の管理・運用に関わるソフトウェア

### 5.3 PhotoDISP を使った写真判読結果のデジタル化

写真上にマークされた判読結果は、そのままでは「紙情報」でしかありません。デ ータを縦横に活用するにはデジタル化する必要があります。PhotoDISP は写真判読結果 のデジタル化、被害木の位置情報取得を支援するソフトウェアです。大まかな手順の 流れは以下の通りです(機能の詳細は次に述べます)。

①判読対象地域のオルソ写真の画像ファイルを PhotoDISP に読み込み、オルソフォト

レイヤー (59ページ)を作成する。

②入力しようとする区域の写真画像をディスプレイに表示する。

③被害木情報レイヤー(61ページ)を作成する。

④写真に書き込まれた判読結果を参照し、ディスプレイ上で対応する被害木や区画を 選び、登録する。

登録された情報はそのままファイルに記録されるので、作業後にファイルを保存す るなどの手続きは必要ありません。

※パソコン上での画像処理に精通している方であれば、判読結果の書き込まれた写真をスキャンして PhotoDISP に表示し、入力作業を行うこともできます。3D ビューア(54 ページ)があれば、パソコ ン上で直接写真画像を立体視し、判読と同時に入力することが可能で、作業手順は大幅に簡略化され ます。

### 5.4 写真画像の準備

調査対象地域のオルソ写真から、下のいずれかの形式の画像ファイルを準備して下 さい。また、画像に位置情報を与えるため、平面直角座標系(世界測地系)によるワ ールドファイル(~.tfw /~.pbw)を準備して下さい。

◆TIFF 形式(24bit RGB カラー 非圧縮 レイヤーなし)

◆PSB形式(24bit RGB カラー 非圧縮 レイヤーなし)

※シェープファイル (.shp) には対応していません (2010年3月時点)。

### レイヤー

「層」のこと。パソコン画面上の表示は地図画像の上に被害木情報が書かれた透明な台紙を重ね合 わせたようになっていて、台紙を交換したり、何枚かの台紙を重ね合わせることで、表示をさまざ まに切り替えることができます。 ワールドファイル GIS で標準的に用いられている、地図や画像データに位置情報を付与するファイルです。テキス トファイルで、画像左上ピクセルの中心座標とピクセルの距離が記述されています。



### PhotoDispを使った写真画像と写真判読結果の一体管理

判読対象地域のオルソ写真画像ファイルをインポートして(①)ディスプレイに表示します(②)。被 害木情報を記録するための「被害木情報レイヤー」を作成します(③)。写真上で判読された被害 木をディスプレイ上で特定し、登録すると(④)、位置座標が自動的に取得されます。登録した情 報はそのままファイルに記録されます。

### 5.5 オルソフォトレイヤー

オルソ写真の拡大・縮小画像を切り替えて表示できるレイヤーです。PhotoDISP に オルソモザイク画像を取り込むと、切り替え表示可能な拡大・縮小画像のセットから 構成されるオルソフォトレイヤーが自動的に作成されます。PhotoDISP で作成したオ ルソフォトレイヤーは PhotoDISP で閲覧することはもちろん、PhotoNAVI で野外作 業に持ち出すことができます。

オルソフォトレイヤーは PhotoDISP で TIFF 形式や Adobe PSB 形式の画像ファイ ルから作成されます。作成したオルソフォトレイヤーのデータはフォルダ単位で扱い ます。コピーや保存の際はフォルダごとに管理して下さい。

オルソフォトレイヤーに関わる操作は、オルソフォトレイヤーウィンドウ(67ページ)で行ないます。

### ※オルソフォトレイヤーの構造について

PhotoDISP、PhotoNAVIでは、1枚のオルソモザイクから自動的に作成される拡大・縮小画像の セットをひとまとめにして、フォルダ単位で管理します。

高分解能の航空写真画像ファイルは数ギガバイトを超える容量になることがあり、このままでは読 み込みや表示がとても大変です。このような画像をスムーズに表示できるように、PhotoDISP では 表示サイズに応じて異なった解像度のファイルを参照する仕組みになっています。つまり、元の高解 像度画像から縦横画素数を半分、1/4、1/8... に落とした画像を数段階作成し(元の画像ファイルの 大きさにより段階数は変わる)、高解像度の画像は細かく、低解像度の画像は粗く分割して、それぞ れ別個の画像ファイルにしてあります。オルソフォトレイヤーのデータフォルダ内部には 1、2、4、 8・・・と名の付いたサブフォルダがありますが、これらは元の画像からの縮小段階(フォルダ"1" は最大分解能、以降は数字の分だけ解像度を落とした階層)を示しています。この階層化されたファ イルとフォルダは「新規オルソフォトレイヤー作成」メニューにより元の画像ファイルから自動的に 作成されます。

PhotoDISP や PhotoNAVI での表示画像サイズの拡大、縮小は、異なる階層にある同じ地点の画像 ファイルを切り替えて表示することで実現されています。



オルソフォトレイヤーのデータ構造

読み込まれたオルソモザイクから、解像度と分割数の異なる数段階の画像ファイルのセットが自動 的に作成されます。広範囲の画像は低分解能に、狭い範囲の画像は高解像度にすることで、一時 に読み込まれるファイルサイズを抑制でき、高速な画面表示ができるようになっています。 PhotoDISP、PhotoNAVIではこれらの拡大、縮小画面を含むファイル群をひとまとめにして「オルソ フォトレイヤー」として扱います。

フォルダ

「ファイルの入れ物」のこと。複数のファイルをまとめて扱うときにフォルダ単位で管理します。 ファイルと同様に名前を付けることができます。

### 5.6 被害木情報レイヤー

写真判読結果や現地調査結果の入力や表示には被害木情報レイヤーを使います。表示できる形状にはポイント、ライン、エリアの三種類があり、色を変えたり、調査木 番号や直径などの情報を合わせて表示することができます。

表示される被害木の情報(属性)は、拡張子が.pntのファイルに記録・保存されて います。PhotoDISP と PhotoNAVI で共通のフォーマットなので、オルソフォトレイ ヤーと同様、ファイルを SD カードにコピーして PDA で野外作業に持ち出すことがで きます。記録される属性は 17項目が準備されていて(63~64ページ)、必要に応じ、 木のサイズや特徴、駆除履歴(駆除済みかどうか)、などのさまざまな情報を記録・管 理することができます。また、登録される情報から自動的に生成される固有 ID(個々 の被害木を特定するためのコード)を使って、被害木情報レイヤーのデータをそのま ま被害木データベースとして運用することができます(77ページ)。

被害木情報レイヤーのデータファイルは、カンマ区切りのテキスト形式(CSV 形式) になっています。テキストファイルなのでテキストエディターなどで直接編集するこ ともできますが、区切り文字にカンマを使用しているため、文字にはカンマを使用す <u>ることはできません。</u>

被害木情報レイヤーを新規作成するには

被害木情報レイヤーウィンドウの新規作成ボタンを押して、新規ファイルの保存先と ファイル名を指定します。



被害木情報レイヤーに登録できる形状



被害木情報レイヤーのデータファイル

### ※被害木情報レイヤーに記録される属性一覧

PhotoDISP、PhotoNAVIの被害木情報レイヤーでは17項目の属性を管理します。 \*は固有 ID の一部です(固有 ID については次項を参照)。

種類 P=ポイント、A=エリア、L=ライン

データの表示形状の種類です。

**Enabled** 0=有効、1=無効

画面表示されるデータか否か。被害木情報の登録時には有効になっていますが PhotoDISP や PhotoNAVI で被害木情報を削除すると Enabled 属性は無効になります。データ自体は消去され ないことに注意して下さい。

調査木番号 任意の文字列

作業現場で使用する作業用調査木番号です。システム上の固有識別番号ではありませんので、自 由な文字・数字(例えば現地作業で使用するナンバーテープの記号や数字)を使うことができま す。

### 西暦\* 数值

### **地域\*** 0=A、1=B、2=C

PhotoDISP・PhotoNAVI での表示は「A、B、C」ですが、記録されるデータは数値であること に注意して下さい。

初期設定では「A、B、C」の3種類ですが、最大3文字の任意の名称に変更することができま す。また、4種類以上の地域名を設定することも可能です。PhotoDISP.exe と同じ階層に置かれ た"res"フォルダ内の" ConversionTable.scp"というテキストファイルに書かれているに地区名 のテーブルを編集して下さい。

### **ID\*** 数值

「同年」「同地域」内での被害木の識別 I D。PhotoDISP、PhotoNAVI で被害木を登録する際 に重複がないように自動的に付与されます。

表示形 文字  $(\bigcirc, \triangle, \Box, \times)$ 

ポイント登録の際の画面表示マーク

### 線幅 数值

単位はポイントで10段階(1~10)で指定できます。

### 表示色 8桁カラーコード

ポイント、ライン、エリアの表示色をカラーコードの数字で示します。

### **緯度** 数值(d.dddddd)

緯度(世界測地系)

### **経度** 数值(d.dddddd)

経度(世界測地系)

### 本数・径 数値

被害木本数(または胸高直径などの数値データ)を記録するのに、必要に応じて使用します。

防除 0=未処理、1=防除済み

防除作業済みか否かの記録に使います。

### **新規登録日** 西暦/月/日 (例:2009/10/01)

被害木情報の登録日。PhotoDISP か PhotoNAVI で新規登録した日が記録されます。

**最終変更日** 西暦/月/日(例:2009/10/01)

被害木情報の最終編集日。PhotoDISP か PhotoNAVI で属性情報を編集した日付が記録されます。

メモ 文字列(任意)

<u>カンマや改行を含めることはできません</u>。正常に読み込みできなくなります。

### ライン・エリア 緯度経度の数値を列挙(半角スペース区切り)

ライン、エリアの場合、構成するポイントの座標を列挙します。データベースや Excel などの ソフトウェアで保存・管理する際は半角スペースの区切り文字が消えてしまわないように気を つけて下さい。

### ※固有 ID について

リレーショナルデータベースと連携して運用できるように、PhotoDISP では以下のルールに従って、個々の被害木に固有の識別 ID を与えるようになっています。

### 固有 ID = ①「調査年度」+②「地域」+③「被害木 ID」

①②③を連結したものが被害木の固有 ID です。調査年か地域が違うならば同じ被害木 ID (数値) をもつ木が存在しますが、①~③のすべてが同じ ID は存在しません。<u>単年度で一地域の作業である</u> 場合は、①と②は全て同じで③被害木 ID だけが固有 ID の役割をすることになります。

同じ年度、同じ地域を対象とした複数の被害木情報レイヤーを作成し作業することは避けて下さい。 固有 ID に重複が発生します。

### 5.7 PhotoDISP を使う

### 1)動作環境

- ◆対応 OS: Microsoft Windows 7, Vista, XP, 2000
- すべて 32bit 版のみ対応、サーバーは除く
- ◆推奨スペック: CPU は Intel Core2 Duo 1.5GHz 以上を推奨
- ◆ハードディスク:使用する画像ファイルサイズと同等の空き容量 PDA とのデータの転送用に SDHC メモリーカードおよび対応カードリーダーが 必要です。

### 2) インストール

PhotoDISPを実行するにはパソコンに Microsoft .NET Framework が導入されてい る必要があります。「.NET Framework」がパソコンにインストールされていることを 確認してください。もしパソコンに「.NET Framework」が導入されていなかったら、 マイクロソフトアップデートにアクセスして「.NET Framework」をインストールし て下さい。

PhotoDISPでは、特別なインストール作業は不要です。付録 CD からプログラムフ アイルをパソコンのお好きな所へコピーして下さい。「PhotoDISP」(または 「PhotoDISP.exe」)をダブルクリックすると起動します。

付属の K\_LibGIS.dll は PhotoDISP を起動するのに必要なファイルです。必ず PhotoDISP のプログラムファイルと同じフォルダ内に置いて下さい。

◆「. NET Framework」が導入済みかどうか確認する



# <complex-block><complex-block>



PhotoDISPのインストール

### 3) PhotoDISP 画面上の各機能と役割

初期設定では右ページのような画面で起動します。それぞれの部分の機能と役割の 概略も図に示します。

### 4) PhotoDISP の基本操作

(1) オルソフォトレイヤーでの操作(丸数字は右ページの図に対応)

①オルソフォトレイヤーのリスト

リストされたレイヤーをクリックして選択するとメイン画面に表示されます。オル ソフォトはどれかひとつだけを表示できます。

②新規オルソフォトレイヤー作成

画像 (TIFF または PSB) ファイルから新規オルソフォトレイヤーを作成し、リス

トに登録します。画像ファイルの変換処理は、ファイルサイズや使用するパソコン の性能によりますが、相当の時間がかかりますのでご注意下さい。

③<br />
オルソフォトレイヤーを開く

オルソフォトレイヤーを①のリストに登録します。

④オルソフォトレイヤーの削除

選択されているオルソフォトレイヤーをリストの登録から削除します。パソコンに

保存されている実際のデータは削除しません。

(2) 被害木情報レイヤーでの操作(丸数字は右ページ図に対応)

①レイヤーの表示切り替え

チェックを入れたレイヤーをメイン画面で表示します。同時に複数のレイヤーを表 示することができます。

②被害木情報レイヤーのリスト

クリックして選択されたレイヤーはメイン画面で編集可能になります。

③新規被害木情報レイヤー作成

新規に空の被害木情報レイヤーを作成してリストに保存します。

④被害木情報レイヤーを開く

被害木情報レイヤーを①のリストに登録します。

⑤被害木情報レイヤーの削除

選択されている被害木情報レイヤーをリストから削除します。ファイルに保存され ているデータは削除しません。



A. ツールボタン



B. オルソフォトレイヤーウィンドウ



### C. 被害木情報レイヤーウィンドウ



 ①登録されているオルソフォトレイヤーのリスト (選択されているレイヤーをメイン画面に表示)
 ②新規レイヤーの作成
 ③オルソフォトレイヤーを開く(登録する)
 ④リストからオルソフォトレイヤーを削除  ①表示・非表示切り替え
 ②登録されている被害木情報レイヤーのリスト (選択されているレイヤーを編集対象に)
 ③新規レイヤーの作成
 ④被害木情報レイヤーを開く(登録する)
 ⑤リストから被害木情報レイヤーを削除

### PhotoDISPの画面構成

### (3) メイン画面上でのマウス操作

メイン画面に表示されている写真画像の移動、拡大・縮小、情報を記録する場所の 指定などの操作は、マウスを使って行います。一部機能にはキーボードショートカッ トを準備しています。

### ♦移動

写真画像上でマウスをドラッグします(カーソルが「手のひら」マークになります)。

### ◆拡大

メイン画面上部のツールバーの「拡大」ボタンをクリックします(キーボードショ ートカット:「Ctrl」+「+」キー)。または、マウスのホイールを前に回します。

### ◆縮小

メイン画面上部のツールバーの「縮小」ボタンをクリックします(キーボードショ ートカット:「Ctrl」+「-」キー)。または、マウスのホイールを後ろに回します。

### ◆画面上の指定位置に移動

画面上の任意の位置でマウスをダブルクリックすると、その位置が中心に表示され ます。

### ◆被害木情報の登録、編集

記録したい場所でマウスを右クリックします。次ページ以降を参照下さい。



### (4) 被害木情報の登録・編集・削除

被害木情報の登録・編集・削除は、画面上で対象となる地点にカーソルをあわせ、 右クリックして現れる「コンテキストメニュー」から行います。

情報は現在選択されている被害木情報レイヤーに記録されます。<u>「被害木情報レイヤ</u> 一」で適切なレイヤーを選択状態にしてから作業して下さい。

### ◆情報の新規登録

コンテキストメニューの「登録」から以下の1つを選択します。

### ポイント登録

個々の被害木の指定に使います。画面上の右クリックでコンテキストメニューを出 した地点がポイントの登録場所になります。位置座標は自動的に記録されます。その 後、属性設定ウィンドウで必要な属性を設定して登録します。判読基準ランク(A、B、 X)によって指定する図形(○、□、△、×)や色を変えておくとよいでしょう。

### エリア登録

判読基準ランク G や Q のような区画を指定するときに使います。登録したいエリア の外縁の一点にカーソルをあわせてコンテキストメニューを出し、「登録」→「エリア 登録」を選択した後、画面上をマウスでドラッグして登録するエリアを描いて下さい。 その後、属性設定ウィンドウで必要な属性を設定します。

### ライン登録

現地作業の際に役に立つ道路や境界などの線の情報を記録するときに使います。登録したいラインの端点にカーソルをあわせてコンテキストメニューを出し、「登録」→「ライン登録」を選択した後、画面上をマウスでクリックして登録するラインを描いて下さい。その後、属性設定ウィンドウで必要な属性を設定します。

※登録されたポイント、エリア、ラインには自動的に固有 ID と位置座標が記録されます。固有 ID はデータベースの運用に有効ですが、複数年や複数地域に渡る運用の際には ID の重複を避けるための注意すべき点があります。64 ページ「固有 ID について」を参照して下さい。

※属性情報設定ウィンドウの項目のすべてを入力する必要はありません。何も入力しなかった項目に は初期値が適用されます。また、ラインで入力できる属性は線幅・色とメモしかありません。詳しく は63~64ページ「被害木情報レイヤーに記録される属性一覧」を参照して下さい。



被害木情報の登録・編集・削除のための作業手順



ポイント・エリア登録ウィンドウ(左)とライン登録ウィンドウ(右)

### ◆登録情報の編集

編集したいポイント、エリア、ラインをマウスのドラッグで選択します。PhotoDISP では編集したい登録情報を複数選択して、同時に編集することが可能です。

- ①メイン画面上の<u>任意の位置でマウス右クリック</u>し、コンテキストメニューの「編集」 を選択して編集項目の選択状態にします。
- ②画面上をドラッグして編集したい項目が入るように囲んで下さい(複数選択可能)。選択された項目が点滅します。
- ③複数の登録情報を選択した場合は確認ダイアログが表示されます。全てを編集する 場合は「一括編集」ボタンをクリックします。選択する項目を絞り込む場合は「条 件で絞り込む」ボタンをクリックします。
- ④属性を編集します。編集方法は被害木情報登録と同様ですが、複数選択した場合には各項目にチェックマークが入り、チェックした項目だけが変更されるようになっています。

◆登録情報の削除(無効化)

画面から削除したいポイント、エリア、ラインをマウスのドラッグで選択して右ク リックで「削除」メニューを実行します。操作方法は「登録情報の編集(上記)」に準 じます。

PhotoDISP や PhotoNAVI で被害木情報を削除すると、実際にデータレコードから 抹消されるのではなく"Enabled"属性(63 ページ)が変更されます。削除されたデー タは PhotoDISP および PhotoNAVI 上では無効とされ、画面上に表示されなくなりま す。

### (5) メイン画面に表示できる情報

◆スケールバー

メイン画面右上にスケールバーを表示することができます。単位はメートルです。 ◆被害木情報属性の表示

登録されている被害木情報を表示できます。一度に表示できる属性は1種類です。

### ◆位置座標の表示

オルソ写真画像上のマウスポインタのある場所の位置座標が、メイン画面の右下に 表示されます。「切り替え」ボタンを押すと表示座標を切り替えることができます。(度 →度分秒→平面直角座標系原点からのメートル)



被害木情報の一括編集







メイン画面に表示できる情報

### 5) PDA へのデータの転送

PhotoDISP のデータを PDA に入れて野外作業を行うには、現地誘導ソフトウェア PhotoNAVI を PDA にインストールする必要があります。PhotoNAVI のセットアップフ アイルは PhotoDISP から SD カードに転送できます。また、野外作業に使うオルソフォ トレイヤーと被害木情報レイヤーも PhotoDISP から SD カードに転送します。

PhotoNAVI セットアップファイルをSD カードへ転送するには
①パソコンのSDカードリーダーにSDカードを挿入します。
②PhotoDISPで「ファイル」→「PhotoNAVIをインストール」を選択します。
③SDカードが挿入されたドライブを選択して「インストール」を押します。
④コピー完了のメッセージが出たらSDカードを抜いてPDAに挿入します。88~89ページからの解説に従って、PDAにPhotoNAVIをインストールして下さい。

PhotoDISP から SD カードヘデータを転送するには

①パソコンの SD カードリーダーに SD カードを挿入します。

- ②PhotoDISP の「ファイル」メニューから「エクスポート」→「PhotoNAVI へ (SD カード)」を選択します。SD カードに PhotoNAVI がインストールされていない場合は「SD カードが見つかりません」ウィンドウが開くので、指示に従って PhotoNAVIをインストールします。SD カードに PhotoNAVI がインストールされていれば「SD カードへエクスポート」ウィンドウが開き、コピー先が指定されます。PhotoNAVI のデータ保存場所は決まっているためコピー先を変更することはできません。
- ③コピーするオルソフォトレイヤーと被害木情報レイヤーにチェックを入れて「コピ ー開始」ボタンをクリックします。

※選択した被害木情報レイヤーファイルは全て指定されたオルソフォトレイヤーフォルダ内にコピ ーされます。

※<u>SD カードの被害木情報レイヤーのデータは上書きコピーされます</u>。必要な場合にはバックアップ を残して下さい。

※「SD カードヘコピー」ウィンドウのオルソフォトレイヤーリストには、PhotoDISP のオルソフォ トレイヤーウィンドウに登録されているオルソフォトレイヤーだけでなく、SD カードに入っている オルソフォトレイヤーも表示されます。SD カードに入っているオルソフォトレイヤーを選択した場 合には、被害木情報のみがコピーされます。



### PhotoNAVIセットアップファイルのSDカードへの転送



PhotoDISPデータのSDカードへの転送

### 6) PDA からのデータの回収

現地誘導ソフトウェア PhotoNAVI では、野外作業の際に得られた情報を被害木情報 レイヤーに入力することができます。野外で入力された情報を PhotoDISP に回収する には、SD カードから被害木情報ファイルを PhotoDISP にインポート (パソコンにコピ ー) します。野外作業で編集されるのは被害木情報ファイルだけなので、この手順で はオルソフォトレイヤーは転送されません。

### SD カードから PhotoDISP ヘデータを転送するには

①PDA から SD カード取り出して、パソコンの SD カードリーダーに入れます。

- ②PhotoDISP の「ファイル」メニューから「インポート」→「PhotoNAVI から (SD カ
- ード」」を選択し、「PhotoNAVIデーターをインポート」ウィンドウを開きます。
- ※SD カードにすでに PhotoNAVI がインストールされていれば、ドライブを自動的に検出して内部に ある被害木情報レイヤーファイルをリストします。
- ③コピーする被害木情報レイヤーにチェックを入れ、保存先フォルダを選択して「コ ピー開始」ボタンをクリックします。
- ⑤コピー完了後、自動的にファイルは PhotoDISP の「被害木情報レイヤーウィンドウ」 に登録されます。PhotoDISP を起動して回収した被害木情報レイヤーファイルを開き ます。そのまま閲覧や編集ができます。

### 5.6 被害木情報データベースの運用

複数の地域、あるいは複数年度にわたって被害木情報を収集、管理してデータベー ス化することは、松くい虫被害の動向を解析し、防除計画を立案する上で有意義です。 PhotoDISP・PhotoNAVIでは、多地域、複数年にわたるデータを管理できるように個々 の被害木に固有の識別 ID を自動的に与えるしくみになっています(64 ページ)。 PhotoDISP・PhotoNAVIの被害木情報レイヤーのデータはカンマ区切りのテキスト形 式(CSV 形式)で記録されているので、容易に市販のデータベースソフトウェアと連 携させることができます。



③コピーする被害木情報レイヤーを選択し、「コピー開始」ボタンを押す

### PDA(PhotoNAVI)からのデータの回収

### 6 被害木現地誘導システムの実現

### 6.1 写真画像と被害木情報の活用~画面の案内で被害木にたどり着く

カーナビゲーションはすっかりおなじみの道具となっています。GPS を用いて地図 上に現在位置が示されることで、操作者は自分がどこにいて、目的地がどちらにある のかを簡単に、直感的に知ることができます。カーナビほどの多彩な機能はありませ んが、市販の GPS レシーバーでも簡易な地図が表示でき、山歩きなどで重宝されてい ます。

前章までで私たちは、適切に撮影された航空写真上で松くい虫被害木を探し、その 正確な位置(緯度、経度)を得られるようになりました。緯度経度の情報さえあれば、 GPS レシーバーを使ってその緯度経度にあたる位置を探し当てることで、枯れ木にた どり着くことができます。しかし、GPS レシーバーで与えられるのは画面上の数字や 矢印、あるいはせいぜい簡単な地図くらいで、カーナビのように「目で見てすぐわか る作業」にはなっていません。

ここで、せっかく撮った航空写真を活用したいと思います。現在位置表示画面の背 景にその場所の航空写真が表示されていれば、目印となるような建物や道路があまり ない森林内であっても、木の生え方や樹冠の大きさ、形などで、具体的に自分のいる 場所を確認できるようになります。さらに、画面上に被害木の場所をマークしておけ ば、現在位置との関係から、目で見て、容易に目標とする被害木にたどり着くことが できます。

PhotoNAVIは、市販の小型コンピューター (PDA)で動作させることで、上のよう な現地誘導を実現してくれるソフトウェアです。また、このソフトウェアを使えば、 現地で被害木の属性情報(事前の調査でわかっている樹種や胸高直径、枯れ具合など) を確認したり、現地で修正したり、あるいは新しく見つけた被害木を追加するといっ た作業もこなすことができます。「事前調査で枯れ木になってたけど、現地で確認した らただの枝折れだったよ」とか「あれ、今日新しい枯れ木をみつけたんだけど、どこ だったかなぁ?」といった、現場で得られる重要な情報をもれなく収集できるような るのです。 カーナビゲーションシステム
 ▶地図画像+現在位置
 ▶道路走行の用途に特化







ハンディGPSレシーバー
 >現在位置(+簡単な地図画像)
 >汎用性高いが森林管理の場面では
 使いづらさも



 被害木現地誘導装置(GPS内蔵PDA+PhotoNAVI)
 ▶航空写真画像+現在位置による、グラフィカルな林内 ナビゲーション
 ▶松くい虫防除の現場に即した操作体系
 ▶PhotoDISPとの連携によるデータの共有・管理 SDメモリーカードを介し たデータの受け渡し



被害木現地誘導システムの実現

### 1) 使用機材と必要な周辺機器

### (1) PDA 本体:マイタック社 Mio Digiwalker P560 (以下 Mio P560 と略)

森林作業者が携帯できる程度に小型、軽量で、高性能な GPS が搭載されていて、な おかつ大きな見やすい画面をもつというナビゲーション機に必要な条件を満たしてい る上、高価過ぎない(2009年8月時点での実売価格6万円程度)機器として選定しま した。

現地誘導ソフトウェア PhotoNAVI はこの機器での使用を前提に開発されたものなので、他機器での正常な機能は保証できません。

### (2) SDHC メモリーカード

写真画像や被害木情報ファイルをパソコンから取り出して PDA で使用するために 必要です。必要な容量は持ち歩くデータ量によりますが、2~4GB のものなら数千円 で購入できます。Mio P560 は SD カード(旧規格) と SDHC カード(新規格)の両 方に対応しています。このマニュアルでは全て SD カードと表記していますが、実際 に使用するには大容量を扱える SDHC カードをお勧めします。また SDHC カードを 使用する際には、パソコン側でも SDHC カード対応のカードリーダーをお使い下さい。 (3) 外部アンテナ

Mio P560に搭載されている GPS のアンテナは PDA 本体にも内蔵されていますが、 森林内のような受信状態のあまりよくない場所では外部アンテナを使用した方が位置 表示の精度が高くなります。また、内蔵アンテナに頼る場合には PDA 本体を受信状態 のよい位置に保持し続ける必要がありますが、外部アンテナを使用すればそのような 手間が要りません。Mio シリーズ用の外部 GPS アンテナ (MIO PS ANTN) が 5000 円程度で販売されています。

### (4) 補助電源

PDA の内蔵電池は数時間の連続使用で切れてしまいます。1日の山仕事での使用を 考えるなら補助の電源が必要です。乾電池式(PDA 工房社 バッテリーエクステンダ ーII)が 3000 円弱、充電式(バリューウェーブ社 Pocket MOBA SV)が 6000 円程度 で販売されています。



### 被害木現地誘導システムに使用するPDA本体(マイタック Mio Digiwalker P560)





SDHCメモリーカードと PDAへの挿入位置

外部アンテナ



補助電源

### 2)ナビゲーション機の準備

汎用機である PDA を被害木現地誘導の用途に適するように設定を変更し、ナビゲー ションソフトウェア PhotoNAVI をインストールします。85 ページ以降の説明にした がって作業して下さい。なお、PhotoNAVI セットアップファイルは PhotoDISP から SD カードにコピーできます(75 ページ参照)。

PDA の操作には、スタイラスペンなど画面を傷つけない先のとがったものを使い、 画面上の必要な場所をタッチします。Mio P560 では、スタイラスペンは本体左下部に 格納されています(なくしやすいので気をつけて下さい)。

### ※スタティックナビゲーションについて

Mio P560 の GPS には「スタティックナビゲーション」という機能が付加されています。これは、 ナビゲーションソフトなどで表示される現在位置が GPS の受信状態の変化などで小刻みに移動する ことを抑制するものです。カーナビなどで GPS を使っている場合なら、自分自身が移動していない のに画面上の現在位置表示がフラフラ移動するのは気分が悪く、大きな移動がないなら強制的に現在 位置を固定してもらった方がありがたいものです。しかし、松林内での被害木探しのように数 m 歩 いては現在位置を確かめる、といった使用場面では、現在位置を固定されるのは非常に不都合です。 そこで PhotoNAVI では、ソフトウェアから GPS 機能を呼び出す際にスタティックナビゲーション を解除するようにしています。

### 3) PhotoNAVI 画面上の各機能と役割

初期設定では右ページのような画面で起動します。それぞれの部分の機能と役割の 概略も図に示します。



### ※PDA に PhotoNAVI を導入する

### (1) PDA 画面のバックライトの設定

初期設定では節電のため1分間で画面が暗くなる設定になっていますが、森林内での 作業中にすぐに画面が見えなくなるのは困るので5~10分間に設定します。

①「スタート」をタッチします。

- ②「設定」 を選択します。設定画面に変わります。
- ③画面下のタブより「システム」を選択します。



④「バックライト」ボタンを押します。



⑤ 画面下のタブで「詳細」を選択します。

⑥ 「5分」または「10分」を選択します。

⑦ 最後に画面右上の「OK」ボタンを押します。



### (2) ボタンの無効化

PDA 本体下部のボタンを無効化し、誤作動を防ぎます。

- 「スタート」をタッチします。
- ② 「設定」 を選択します。設定画面に変わります。
- ③ 「ボタン」を選択します。



④「1.ボタンの選択」から「ボタン1」を選択します。

⑤「2. プログラムの割り当て:」から「<なし>」を選択します。

⑥ 最後に画面右上の「OK」ボタンを押します。



### (3) 日時の設定

被害木データなどを登録する際には PDA 内蔵時計の日時を取得します。正しいデー タ入力のため、PDA の日時を正しく設定して下さい。

① メイン画面より日付、時間を押します。



- ② 日時設定画面に変わります。正しい時間と日付に修正します。
- 3 最後に、「OK」を押します。

| 🔧 設定            | r× <del>√ ( 12.21</del>               |
|-----------------|---------------------------------------|
| 時計とアラーム<br>●現在地 | 3タッチー                                 |
|                 | 12:25:37 • •<br>2009/12/16 •          |
| ○ 訪問先           | GMT-8 太平洋 米国 ▼<br>19:25:37 ▲ ▼        |
|                 | <ol> <li>2 日付・時間を<br/>合わせる</li> </ol> |
| 時刻 アラーム         | その他                                   |
|                 | А                                     |

### (4) PhotoNAVI のインストール

 被害木情報管理ソフト PhotoDISP から PhotoNAVI のセットアップファイル (PhotoNAVIsetup. cab)をSDカードにコピーし、PDA に差し込みます(75ページ)。
 PDA メイン画面の「スタート」メニューから「ファイルエクスプローラー」を起動します。



③ 「デバイス」→「Storage Card」を選択します。



④ 「PhotoNAVISetup」を選択し、起動します。



⑤ 「インストール」ボタンを押します。インストール場所を指定する画面が表示さ

れるので「¥Storage Card」を選択します。

⑥ 再度「インストール」ボタンを押します。インストールが始まります。



⑦ 正常にインストールが完了したメッセージが表示されます。「OK」を押します。

| 🔧 Z&-F                          | + <b>*</b> x <b>≼</b> € 15:00 ok |
|---------------------------------|----------------------------------|
| PhotoNaviSetup.C<br>ンストールされました。 | AB はデバイスに正常にイ                    |
| さらにデータ記憶領域<br>トールしたプログラムを       | が必要な場合は、インス<br>削除することができます。      |
|                                 | ⑦タッチ                             |
|                                 |                                  |
|                                 |                                  |
|                                 |                                  |
|                                 |                                  |
|                                 | ٨                                |

### (5) GPS の設定

PhotoNAVI の GPS 受信設定を行います。

① 「スタート」メニューで「PhotoNAVI」を選択し、起動します。



②「GPS」メニューを押します。

③「GPS 設定」を選択します。



④ GPSの設定を行います。各項目下記の値を選択して下さい。

「Com ポート選択」→COM2 「Com ポートレート選択」→57600 「GPS 受信間隔」→3 秒間隔 「GPS 航跡間隔」→30 回間隔 「GPS 航跡表示数」→A11 ポイント 最後に「確定」ボタンを押します。



4) PhotoNAVI の基本操作

### (1) PhotoNAVI の起動

PDA 画面左上の「スタート」をクリックして表示されるメニューから「PhotoNAVI」 を探し、選択します。

PhotoNAVI は以前の作業状態を記憶していて、起動すると自動的に前回使用した画像、被害木情報データを読み込みます。ただし、初めて使用するときには、画像、被害木情報データは読み込まれません。データの読込には<u>多少時間がかかります</u>。

### (2) 画面の移動・拡大・縮小

### ◆画面の移動

スタイラスペンを画面に当ててスライド(ドラッグ)させます。

◆画面の拡大・縮小

画面下部メニュー領域の「拡大」「縮小」ボタンをタッチして表示を変更します。

### (3) GPS の起動・停止

画面下部メニュー領域の「GPS」ボタンをタッチします(背景が水色に変わります)。 「測位計算中」の表示が消えるまでしばらく待つと、画面上に現在位置マーク(⊕)が 表示されます。GPSを停止するには、再度「GPS」ボタンをタッチします(背景が白 に戻ります)。

※GPS アンテナは本体に内蔵されています。受信中はなるべく本体を覆うものがない状態に保つ必要があります。森林内での作業には、受信感度がよく、本体の保持状態を考えなくても良い外部アンテナの利用を推奨します (95ページ)。

※GPS を起動するときには、現在位置が写真画像の範囲内にあることを確認して下さい。写真画像 に含まれる範囲外で GPS を起動しても正常に動作しません。



PhotoNAVIの起動





画面の移動



画面の拡大縮小、およびGPSの起動

### (4) 被害木情報の登録・編集・削除と目的地設定

スタイラスペンを被害木の上に置いて長押します。「編集」「削除」は画面上の登録 された項目が選択された時のみ使用可能です。サブメニューが表示されます。

### ♦登録

### ポイント登録

被害木情報を登録します。「ポイント属性設定」画面に必要な項目を入力します。

### エリア登録

エリアを登録します。アイコンが鉛筆マークに変わりますので、目的の範囲をスタ イラスペンでなぞって下さい。ペンを画面から離すと登録画面が現れるので必要な項 目を入力します。

### ◆編集

登録されたデータを編集します。

### ◆削除

登録されたデータを削除(無効化)します。

### ◆目標

移動先が遠く、現在位置と目的地が PDA 画面上におさまらない場合に、目的地を「目 標」に設定しておくと、現在位置と目的地を結ぶ直線が画面上に表示されます。この 線を目当てにして、目的地に向かうことができます。

この機能は、GPS が起動された状態で使用して下さい。

### (5) PhotoNAVI の終了

被害木情報レイヤーに書き込まれたデータは登録、編集等を行った時点で保存され るので、作業が終了後はそのまま PhotoNAVI を終了することができます。

「ファイル」から「終了」を選択して PhotoNAVI を終了します。



ファイル GPS 表示 被害木 🔍 🔍 💘

サブメニュー表示 必要な項目を入力します。

PhotoNAVIでのポイント登録





PhotoNAVIでのエリア登録



93

サブメニュー表示

必要な項目を入力します。

# 6.3 PhotoNAVI を使った被害木確認作業の実際

PhotoNAVIのインストールされた PDA を使って、松林内で指定された被害木に到達 する手順を紹介します。

### ※液晶画面が見えにくい場合

Mio P560 の画面は直射日光下では非常に見えにくくなります。画面を確認する必要のある場合には、 少し暗い場所に移動して下さい。

### 1) PDA (Mio P560) の起動

本体下縁右側のスイッチを右にスライドして電源を ON にします。<u>数秒待つ</u>と Windows の起動画面が現れ、続いて Today 画面が表示されます。スライドスイッチが すでに右にスライドされているときには、本体上縁左側の「再開」ボタンを押して PDA の画面を表示します。

### 2) 外部アンテナの接続

必要に応じ、外部アンテナを準備します。PDA本体裏側のコネクタのカバーを外し、 ケーブルを接続します。アンテナ本体はなるべく上空を遮断するものがない状態に置 く(例えば、帽子の上にマジックテープで固定する)ようにして下さい。



PDAの起動、再開



外部アンテナを利用した林内作業

### 3) PhotoNAVI の準備

スタートメニューから PhotoNAVI を選択・起動します。作業に使用する写真画像、 被害木情報データが自動的に読み込まれた場合はそのまま作業に入ります。

※表示されているファイルを確認するには「ファイル」→「現在ファイルの名称」を使います。

作業に使用する画像が読み込まれていない場合には、「ファイル」→「オルソフォト 読込」で使用したい画像の含まれるオルソフォトレイヤー (フォルダ)を指定します。

作業に使用する被害木情報データが表示されていない場合には、「ファイル」→「被 害木情報読込」で使用したい被害木情報ファイルを指定します。

### ※作業中に画面が暗くなってしまったら

PDA の省電力機能によるものです。画面をタッチするか、それでもダメなら本体左上縁部の「再開」ボタンを押すと元に戻ります。

### 4) 内蔵 GPS の起動

画面下部メニュー領域の GPS 接続ボタンをクリックし、内蔵 GPS を起動します(ボ タンの背景が水色になります)。測位が完了して使用可能になるには多少の時間がかか りますが、上空が遮断されていない場所で起動した方がスムーズに起動します。

測位が完了すると、画面上に現在位置を示すマークが表示されます。

GPS 測位中は、<u>3秒間隔で画面の再表示を繰り返す</u>仕様になっています。多少画面 がちらつきますが、異常ではありません。

### ※現在位置マークが動かなくなってしまったら

林内を移動しているのに、画面の現在位置マークが動かなくなってしまった場合、スタティックナ ビゲーション (83 ページ) がはたらいてしまっている可能性があります。一旦、PhotoNAVI を終了し、 さらに電源を切って、しばらくしてから PDA を再起動して下さい。



作業用写真画像の読込



内蔵GPSの起動



現在位置座標の表示

### 5) 画面操作と被害木の特定

画面に表示された現在位置と、探したい被害木の位置が重なるように林内を移動し ます。画像に示された林相や樹冠の形状が移動の際の手がかりになります。また、<u>画</u> <u>面上側は常に北を指す</u>ことに注意して下さい(方位磁石があると便利です)。

GPSの誤差や(下記参照)、マークされた樹冠と幹の位置のずれ(木が大きく枝分か れしていたり、傾いている場合)のため、目的とする被害木に近づいても<u>被害木のマ</u> 一クと現在位置マークが一致するとは限りません。実際の使用にあたっては、この点 を十分に理解して下さい。

画面で指定された位置に来てみて候補になる被害木が複数見られるような場合には、 写真画像にある樹冠の形や配列から判読された被害木を推定します。

◆写真画像の表示サイズは画面下部メニュー領域の拡大・縮小ボタンを使って変更で きます。縮小しすぎると被害木のマークが重なって作業しづらく、拡大しすぎると林 内で自分のいる位置が把握しにくくなるので、作業に適当な表示サイズに切り替えて 使用します。なお、<u>画像の表示切り替えには多少の時間がかかります</u>。「処理中」のメ ッセージが出ている間は他の操作をしないで下さい。

◆画面の周辺部分や外側を見たいときには、見たい部分を画面中央に持ってくるよう にスタイラスで画面をドラッグします(91 ページ)。このとき、<u>画面に置いたスタイ</u> <u>ラスをすぐに移動しないと編集メニュー(93 ページ)が現れてしまう</u>ので注意して下 さい。編集メニューは画像上のどこか別の場所を軽くタッチすると消えます。ドラッ グされた画面からは現在位置マークが消え、代わりに青色の「現在位置」ボタンが現 れます。現在位置表示に戻すには、「現在位置」ボタンをタッチします。

◆森林内は受信状態が悪いので、内蔵 GPS による測位には<u>半径 10m 前後の誤差が生</u> <u>じることがあります</u>(誤差の程度は樹冠による上空の遮断状態により変わります)。ま た、受信する衛星が切り替わる場合などには、移動していないのに画面上の現在位置 がブレることがあります(しばらくすると安定します)。森林内でナビゲーション機を 使用する時には、GPS の特性と衛星電波の受信状態を意識することが大切です。



ナビゲーション機をつかった被害木の特定



効率的な作業のための拡大・縮小表示の切り替え

GPS作動中に表示位置を移動した場合、「現在位置ボタン」が表示されます。 このボタンをタッチすると現在位置を 中央にした画面に戻ることができます。



GPS動作中の現在位置復帰

### 6) 現地でのデータの収集

画面上でマークされた被害木をスタイラスで長押しすると編集メニューが現れ(93 ページ)、その木についての情報を編集することができます。

写真判読結果からもれていた被害木を現地で見つけた場合などには、画面上の該当 する地点をスタイラスで長押しすると編集メニューが現れ、新たな被害木情報を登録 することができます。同様にして、エリアの情報も新規登録することが可能です。

### ※マークが重なっていて選びたいマークを選択できない場合

「拡大」ボタンで画面を拡大すると、マークの間隔があいて、指定しやすくなります。

### 7) 作業の中断・終了

作業をしないときには電池の消耗を抑えるために、本体上縁左側の「再開」ボタン を押して画面表示を消すことができます。GPS 測位を停止するには、画面下側メニュ 一領域の GPS 接続ボタンを押します(ボタンの背景が白くなります)。

作業終了時には「ファイル」→「終了」で PhotoNAVI を停止し、Windows の Today 画面に戻ったら本体下縁左側のスイッチを左にスライドして電源を OFF にします。

### 6.4 収集したデータのフィードバック

PhotoNAVIでは、野外作業時に発見・処理した被害木に関する情報を入力、編集したり、新たに発見した被害木の情報を登録することができます。SD カードに記録された被害木情報レイヤーのデータは管理ソフト PhotoDISP に転送して、保存・編集することができます。現地で更新されたデータを PhotpDISP に反映することにより、現場と事業所での情報の共有が実現されます。

被害木情報データを PhotoDISP で回収する方法については 77 ページ「PDA からの データの回収」を参照して下さい。

# 斜め撮影写真からでもできる被害木位置特定

ー旦精密オルソを作成し、表面モデル(DSM)を準備しておけば、その後は市販の 手持ちデジタルカメラで航空機の窓から撮影した斜め写真からでも被害木の位置を特 定することができます。遠景はぼやけて判読しづらいので、なるべくカメラを下へ向 けて撮影するのがコツです。特殊な機材は必要なく、市販の画像処理ソフトで作業で きます。ヘリコプターからの探査で、被害木のある場所だけを撮影するような場合に

応用でき、経費の節約にも有効で す。ただし、斜め写真をオルソ写 真に展開する際の位置特定が正確 でないと、判読される位置座標に 誤差が生じます。

手順の概略を図に示します。斜 め写真を展開したオルソ写真を PhotoDISP のオルソフォトレイ ヤーとして読み込めば、被害木位 置情報の取得や被害木情報レイヤ ーの作成が可能です。

斜め写真の撮影時刻と航跡デー タを組み合わせるには、GPS ロガ ーに付属のソフトウェアなどを利 用するとよいでしょう。



### 7.1 位置情報を利用した自律航行型無人ヘリの運用

航空写真の判読で得られた松くい虫被害木の位置情報のさらなる活用法として、私 たちのプロジェクトでは、被害木位置情報に基づく小型無人ヘリコプターの誘導に取 り組みました。樹冠により上空を遮られる森林内での作業とは異なり、ヘリコプター に搭載された GPS の精度は高く、被害木位置情報を自律航行システムに取り込んだ小 型へリは的確に指定された被害木の近接上空に到達しました。この技術を応用して、 広く、また複雑な地形のあちこちに分散した被害木がきちんと処理されたかどうかを、 ヘリに搭載されたカメラを使って居ながらにして確認することができるようになりま す。あるいは、立木の近接上空からの小面積、省薬剤の散布という用法が期待できま す。地形条件などにより到達不可能な場所にある被害木に対し、駆除薬剤を散布して 発生するマツノマダラカミキリを減らす、あるいは孤立した生立木に対してスポット 的な予防散布を実施する、などの利用法が考えられます。

写真判読結果をもとに作成されたヘリコプター誘導経路



**自律航行型小型へリコプター** 機体下部にカメラを搭載しています。



機載カメラで撮影された松被害木 の鉛直上空写真

# 被害木位置情報に基づく小型無人へリコプターの運用

カメラによる被害木処理状況調査や小面積、高効率な薬剤散布などへの活用が期待されます。



石川県白山市ロ三方岳のナラ枯れ被害 (2003年9月撮影)

秋田県にかほ市三崎でのナラ枯れ被害の航空 写真探査

(2007年9月撮影、秋田県森林技術センター) 赤矢印はミズナラ被害木、黄色矢印は松くいま 被害木。



### ナラ枯れ防除への適用の可能性

林冠の大径木が加害され、葉の変色時期が一定しているナラ枯れでは、航空写真による被害木 探査が非常に有効であると考えられます。

### 7.2 他の森林病虫獣害への応用

航空写真による被害木探査は、松くい虫に限らず、上空から視認可能な変化が現れ る森林被害なら基本的にどのようなものにでも適用可能です。

松くい虫と並んで日本で大問題となっている森林病害にいわゆる「ナラ枯れ」があ ります。カシノナガキクイムシという小さな甲虫の大量加害と、この虫が持ち込む菌 類によってもたらされるコナラやミズナラの枯損被害が、日本海沿岸地域を中心に広 がっています。この病害に対し、航空写真を利用した広域被害木探査から位置情報の 取得、利用に至る一連の技術がほとんどそのまま適用可能です。ナラ枯れの場合、被 害は大径木に集中し、また葉の変色は夏の一時期に限られることから、写真判読は松 くい虫の場合より容易で、より航空写真による探査に適した事例と言えるでしょう。

松くい虫、ナラ枯れに限らず、森林病虫害への被害対策を広域で考える時には、被 害に遭う可能性のある木の分布を正確に把握することが必須です。しかし、この「当 たり前」の情報が、実はほとんどわかっていません。航空写真や衛星画像などのリモ ートセンシングデータは土地利用形態や植生・樹種を判読するのに非常に有効である ことがわかっており、森林病虫害対策の現場でも広く活用されるようになることが望 まれます。 この冊子は、新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業(旧 先端技術を活用した農林水産研究高度化事業)課題番号 18072「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(平成 18~21 年度)」の成果に基づいて制作されました。

### 課題参画者

中北理(研究統括者:森林総合研究所東北支所)

(以下、ABC 順)

星崎和彦 (秋田県立大学)

井上みずき (秋田県立大学)

板垣恒夫(森林航測研究)

小林一三 (元 秋田県立大学)

黒川朝子 (共立航空撮影株式会社)

蒔田明史(秋田県立大学)

松浦邦昭 (元 森林総合研究所)

室崎英輝 (共立航空撮影株式会社)

長岐昭彦(秋田県農林水産技術センター秋田県森林技術センター)

中村克典(森林総合研究所東北支所)

太田和誠 (元 秋田県立大学)

小澤洋一(岩手県林業技術センター)

齋藤英樹(森林総合研究所九州支所)

高橋健太郎(岩手県農林水産部森林整備課)

高橋由起夫 (共立航空撮影株式会社)

竹花衛(共立航空撮影株式会社)

田代隼人(共立航空撮影株式会社)

