

# カラマツ枯損被害の把握のための無人航空機の活用

## －空撮時期と飛行高度の検討－

小野寺賢介・徳田佐和子・和田尚之

### はじめに

無人航空機（以下、UAV）の活用が様々な分野で進んでいます。森林保護においても、突然大発生する病虫害への対策において UAV の活用が期待されています。空中から森林を広域監視できるリモートセンシングの分野では、これまで人工衛星や有人航空機が用いられてきました。しかし、運用コストが非常に高い、必要な時期の写真が手に入るとは限らない、解像度が低くて被害を判別できないことがある、等の問題がありました。UAV はこうしたリモートセンシングの課題を解消できる可能性のあるツールとして注目されています。

### UAVで病虫害を把握するための課題

森林害虫は広大なエリアのどこかで、予告なく大発生します。対策が遅れて被害が拡大してしまうと、駆除等に係る労力が増大してしまうので被害の早期把握が重要です。広域の森林で被害を効率的に監視あるいは把握するためには、低コストでありながら十分な精度で被害木を発見できる調査技術が必要です。被害調査にかかるコストを抑えるためには、適切な時期に調査を実施する計画が必須です。また、被害木が数本程度の小規模な被害も見落とすことのない精度で広域を短期間で把握できる技術を開発することが大切です。

被害調査の計画において注意が必要なのは、害虫が発生する時期と被害を認識できる時期が同じであるとは限らないことです。例えばカラマツヤツバキクイムシ（以下カラマツヤツバ）被害の場合、カラマツヤツバは春から活動を始めますが、UAV で観察できるような異常がすぐにカラマツに発現するわけではありません。被害を容易に発見できる時期を明らかにしておかないと効率的な被害把握ができません。

調査の精度については、容易に低空を飛行可能な UAV なら解像度の高い画像で小規模な被害を発見することが可能です。一方で飛行高度が低すぎると撮影範囲が狭くなってしまいます。調査効率をあげるために、小規模な被害を識別可能な範囲で最適高度を決定することが重要になります。

### カラマツの大規模枯損被害の発生

2016年に道東から大規模なカラマツ枯損被害が報告されました。このときのカラマツの枯損原因はカラマツヤツバと記録されています。2013年10月に発生した雪害、少雨による乾燥、カラマツハラアカハバチによる連年の葉食被害によって衰弱したカラマツが攻撃されたと推測しています。被害地は100km<sup>2</sup>以上の広範囲に散在していました。UAVを用いることで広域被害を効率的に把握できることが期待できました。そこで道総研林業試験場では被害地の空撮調査を実施し、効率的に被害を把握する方法を検討したので以下にその結果を報告します。

### 何月に空撮するとよいか

着葉期の空撮画像から枯損木を識別することは容易です。その中から新規に発生した枯損木を分類できれば、被害の進行状況も分かります。枯損木が多数確認できたとしても、そのほとんどが実は前年までに発生した古い枯損木である可能性もあります。前年の撮影画像と見比べることができれば新たに発生した枯損木の本数が分かりますが、そのような画像が手に入ることは稀です。

そこで、本調査では新規の枯損木を発見するために樹冠の変色に注目しました。カラマツヤツバによる被害を受けたカラマツの葉は、枯損に到る前に緑色から黄色を経て赤色に変色していきます（写真-1）。赤や黄色への変色が発生する季節や変色が継続する期間に空撮すれば新規被害木を分類できます。そこで、カラマツ樹冠の変色経過を追跡するために、2017年および2018年の6~8月に各月1度ずつカラマツ林を連続で空撮しました。空撮に使用したUAVはDJI社製Phantom4 proです。撮影時の飛行高度は149mで、搭載されているデジタルカメラを真下に向けて毎回定位置から同じ構図で撮影しました。この方法の場合、画像には約5haの範囲が入ります。空撮地点数は、2017年57地点、2018年63地点で、2年連続で撮影した地点もあるので、合計で92地点です。空撮に要した日数は、天候によって半日しか空撮できなかった日も含めて各月3~5日間でした。

連続撮影の画像から変色した樹冠の個体を追跡して、変色の発生月と持続期間を調べました。その結果、変色の発生数が最も多かった月は2017年で7月、2018年で8月であり、年によって異なることが分かりました（表-1）。2018年は変色した樹冠数が少なかったとはいえ、8月にしか変色が確認されませんでした。また、2017年の6~7月に変色が始まったカラマツのおよそ半数の樹冠については変色が1か月しか持続していませんでした（表-1）。北米においてキクイムシ類の攻撃を受けた常緑針葉樹では、葉が変色している期間が1~4年続くようです（Mikkelsen et al. 2013）。葉の変色の持続期間が短いカラマツは、他の針葉樹に比べて新規被害の発見が難しい樹種と言えるでしょう。なお、9月以降についてはカラマツハラアカハバチの葉食被害の発生によって樹冠の状態が分からなくなりました。年間に一度しか空撮できない場合、変色した樹冠を一番多く確認できる時期は2017年では7月でした（表-2）。2018年については8月にしか変色が発生しなかったため、8月の空撮が必須でした。このことから、年間に2回空撮できる場合は、7月と8月に空撮すれば変色した樹冠の確認数が最大になり効率的な被害調査が実施できたこととなります。

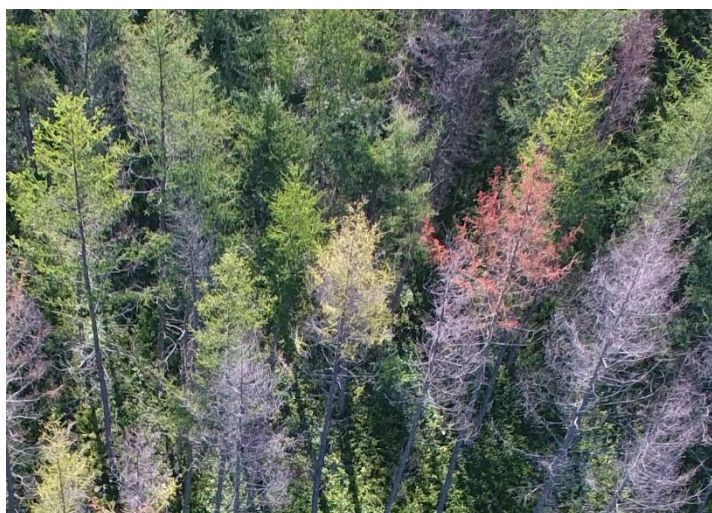


写真-1 樹冠が変色したカラマツ

緑色から黄色、赤色に変化した後に、灰白色の枝だけ残して落葉する。

表-1 2017年、2018年に変色が確認された樹冠のうち、変色の初確認月および変色が続いた期間別樹冠数

(2017年)	樹冠の変色が続いた期間			合計
	変色の初確認月	1か月	2か月	
6月	9	18	5	32
7月	154	120	—	274
8月	44	—	—	44
合計	207	138	5	350

(2018年)	樹冠の変色が続いた期間			合計
	変色の初確認月	1か月	2か月	
6月	0	0	0	0
7月	0	0	—	0
8月	33	—	—	33
合計	33	0	0	33

9月以降の状態はハバチ被害により不明。

### 適切な空撮高度は？

UAV の飛行が通常許可されている高度ぎりぎりの 149m からの空撮画像でも、カラマツの枝まで識別が可能なので鮮明なため、樹冠の色による被害木の識別はまったく問題ありません。そこで、150m 以上の高度でも同じ精度で枯損木等の識別が可能なのか検討するために、高度 300m、500m から空撮を 11 地点で実施し、各高度で認識できた枯損木や変色した樹冠や生立木の数を比較しました。

高度 500m からの空撮画像では、撮影できる範囲が 149m の画像のおよそ 11 倍で約 55ha になり、樹冠がかなり小さく感じます。しかし、モニターで拡大してみると 500m からの画像でもカラマツの樹冠のみならず枝ぶりまで捉えることができます（写真-2）。今回の 11 地点で高度 150m から確認できたカラマツの平均本数は生立木 278 本、枯損木 77 本でした。150m での確認本数と 300m、500m での確認本数との差を誤差本数とすると、生立木、枯損木ともに誤差率（誤差本数/150m での確認本数）はおおむね 10~10% の範囲に収まりました（図-1）。一部の調査地では枯死木の誤差率が 20% に達しましたが、これは枯損後に時間の経過とともに枝が消失して幹だけになったような枯死木を見落としてしまうことがあるため、新しい枯死木に限定すると誤差は小さいと推測しています。精度の許容範囲はデータの使用目的により変わります。被害地における枯死木の本数割合を早急に把握するために、例えば被害を 10 段階程度で分類したい場合には実用に十分な精度と考えています。誤差率の中央値やばらつきは飛行高度の高い 500m の方が大きくなりました。誤認識が起きるのは、隣接している 2 本のカラマツの樹冠が融合して 1 本に見える場合や、一部の枝が枯れているが枯死してはいない個体が 500m からは枯死しているように見えた場合等がありました。

樹冠の色についても、150m 以上からの空撮画像で見間違いがありました。変色の度合いが小さい場合に正常な生立木に見える場合や、逆に生立木が変色しているように見える場合がありました。今回の調査地点では、高度 500m からの画像で赤変木を過剰にカウントし、黄変木を過小にカウントしていました（表-3）。特に黄変木については、変色が始まったばかりで黄緑色に見える樹冠と健全木の緑との識別が困難な場合がありました。赤変木については、変色後に時間経過と共に落葉が進

表-2 異なる空撮回数、飛行時期の計画で調査した場合に変色確認したと想定されるカラマツの樹冠数と全数に対する割合

(2017年)					
空撮回数	空撮した月			変色確認した樹冠数	全数に対する割合 (%)
	6	7	8		
1	○			32	9
1		○		297	85
1			○	169	48
2	○	○		306	87
2		○	○	341	97
2	○		○	196	56
3	○	○	○	350	100

(2018年)					
空撮回数	空撮した月			変色確認した樹冠数	全数に対する割合 (%)
	6	7	8		
1	○			0	0
1		○		0	0
1			○	33	100
2	○	○		0	0
2		○	○	33	100
2	○		○	33	100
3	○	○	○	33	100

○は該当月に空撮したことを意味する。



写真-2 高度 500m から空撮したカラマツ人工林の画像

黒い枠は 150m から空撮した場合に得られる画像の範囲を示す。

み赤色が薄くなった個体と枯死木の識別が困難な場合があります。

以上のように高度が上がるほど精度が若干低下しますが、広域の情報を取得する必要がある森林管理者にとって、150m 以上からの空撮を実施するメリットは大きいです。小班全体を一度に撮影範囲に収めることが出来れば、各小班の面積が分かっているので本数密度の算出も容易です。また、撮影範囲が広いので低空での空撮の場合に必要な画像を結合する手間が不必要です。広葉樹と針葉樹の識別も 500m からの空撮であれば容易なので混交率の把握も容易です。

### まとめ

UAV を利用して害虫による被害木を把握する方法について研究を進めてきました。今回の調査結果では、樹冠が変色した時期が年によって異なっていました。今後も調査事例を増やして変色する時期が異なる原因等を明らかにすることができれば、さらに効率的に調査できるようになるでしょう。広域の森林を監視するために、いかに効率的に飛行するかが重要です。150m 以上で空撮する場合のノウハウを今後も蓄積していく必要があると考えています。今回は、高度 500m において水平方向の移動はほとんど行いませんでした。好天時に垂直方向の上昇下降のみ行ったので、目視外飛行にもならず困難はまったくありませんでした。今後も森林ならではの UAV 運用・活用方法を検討していきます。

(保護種苗部保護グループ)

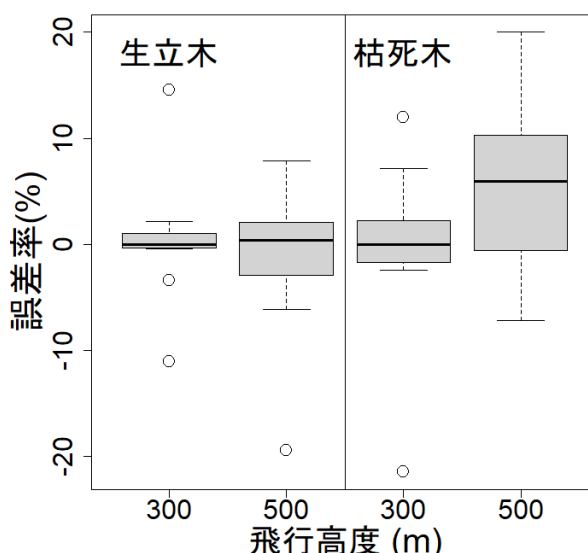


図-1 空撮高度の異なる画像を用いて識別したカラマツ生立木と枯死木の誤差

高度 150m からの空撮画像の識別数を真の値とした場合。

表-3 空撮高度により異なる赤変、黄変した樹冠の確認数

高度 (m)	赤変木	黄変木
500	43	10
300	36	13
150	38	16

※ 調査を実施した 11 地点の合計

### 引用文献

Mikkelsen KM, Bearup LA, Maxwell RM, Stednick JD, McCray JE, Sharp JO (2013) Bark beetle infestation impacts on nutrient cycling, water quality and interdependent hydrological effects. *Biogeochemistry* 115: 1–21