

UAV 空撮画像によるカバノキ科樹木の着花判読—撮影時期と判読性

森林総合研究所

倉本 恵生

森林総合研究所 北海道支所

古家 直行

はじめに

花粉症対策には毎年の花粉生成量を飛散前に把握することが重要である。そのため、原因樹木の樹冠を熟練者が地上から目視し雄花着生量を把握する調査がスギ・ヒノキで実施されている(2)。北海道の主要花粉症であるシラカバ花粉症においても、原因となる主要なカバノキ科樹木について調査が行われている(3,7)。冬季に落葉し雄花芽が葉芽と別に着くカバノキ科樹木では雄花の視認性が高く、地上目視による着生量評価は飛散花粉量の有効な指標であることが示されている(8)。またシラカバ花粉症の場合は、花粉発生源のほとんどが自然林であり、伐採などの対策ではなく、飛散量の予測をもとにした医療や生活上の対策がより重要となってくる。

しかしながら、シラカバ花粉症の原因となるカバノキ科樹木は実際には 20 種類以上にわたり、様々な立地に生育する。花粉症としての通称からシラカンバのみが原因樹種と誤解されやすく、着花量の観測もほとんどがシラカンバを対象に実施されているが、主要なカバノキ属 3 種(シラカンバ・ウダイカンバ・ダケカンバ)でも着花量の年次変動が種間で異なることが示されている(3,5,6,7,8)。また、開花の早いハンノキ属や、分布に地域性の高いアサダ属などでは着花量に関する情報がない。本質的には着花量の観測は主要な樹種だけでも複数を対象に実施する必要があることが示唆される。ただし多種・多地域の調査を熟練者が地上目視で行うことは事実上不可能と言える。

そこで地上目視評価の代替・改良技術として、筆者らは UAV (無人回転翼飛行機 Unmanned Aerial Vehicle) による低空撮画像からの判読を検討している。UAV 空撮は従来の空中写真より低高度で任意の場所での撮影が可能であることから、着花量評価のツールとしての活用が期待される。しかし得られる画像が実際に判読に適するののか、そのための撮影高度や時期等の撮影条件についてはいまのところ一切の情報がない。

本論では判読性確保のための撮影条件として、落葉から開花までの異なる時期の撮画像の判読性を検討し、最適な撮影時期について考察した。

調査地と方法

調査は森林総合研究所北海道支所樹木園(札幌市豊平区羊ヶ丘 42°59'55"N 141°23'31"E)で行った。本樹木園は平坦地に造成されており、カバノキ科樹木が幅 20m、長さ 60m ほどの区間内に樹種ごとに区割りされて各種 4~

20 本植栽されている(図 1)。

UAV の飛行撮影に先立ち、撮影対象となるカバノキ科樹木の着花調査を地上目視による所定の方法で行った。調査は、広葉樹の着果度を樹種・個体間にわたって統一的な基準で評価するための方法(8)を適用して行った。計測は双眼鏡を用い、測定者による偏差を排除するため、全個体の計測を同一の調査者(倉本)が担当した。この結果を基に、UAV 空撮画像の判読において、着花の見られない個体を対象から取り除いて分析を行った。



図 1. 調査地(森林総研北海道支所樹木園)

点線で囲まれた部分がカバノキ科集植区画。区内白線が UAV の標準飛行ルート

UAV の飛行撮影は残雪の状態や各樹種の花芽の発達段階を考慮し、2016年の春に3回に分けて行った(表 1)。調査区画全体をカバーするよう縦断飛行ルートを 5m おきに設定し、UAV を計画ルートにそって飛行させながら一定時間間隔で画像を記録した。各撮影時には飛行高度を変えて行い、その事前検討に基づいて、本論では対地高度 30m(樹冠上方 10m 程度)の画像を用いて検討を行った。飛行撮影に使用した UAV は DJI 社 Phantom III professional で、撮影カメラは本機種に予め搭載されているものを使用した。

本論では最も汎用的な方法を意識し、撮画像には加工を施さず、パソコンの画面上での拡大操作だけを用いて、画像上での雄花の判読性を確認した。この際には重複画像による立体視も行わず、単一の原画像からの判読によった。判読性の確認は、地上目視と同様に調査者偏

Shigeo KURAMOTO (Department of Forest Vegetation, Forestry and Forest Products Research Institute (FFPRI), Tsukuba 305-8687), Naoyuki FURUYA (Hokkaido Research Center, FFPRI, Sapporo 062-8516)

Measuring flower productivity of Betulaceae trees using image interpretation of UAV aerial photographs - searching optimum flight season for legibility of species

差を排除するため、地上目視の調査者（倉本）が担当した。事前の画像検討により、今回のように撮影高度が低い場合には、画像辺縁部の樹冠は極端に倒れ込んだ状態に写しこまれ、中央部（機体直下）の画像に比べて判読が難しいことが示されている(1)。そこで各撮影時期の樹種ごとに、直下画像の得られた個体4~5本を対象に、それらの画像を用いて、地上目視と同等の判読を行った。これにより、地上目視と同様に評価が可能と判断される場合には、判読可能、困難と判断される場合には判読不能と判定した。地上目視による評価では、2段階の評価に基づく指数の算出を行っている(3,5,7)。まず樹冠内からランダムに50cm長の枝を20本（個体によっては10本）探索し着花の有無を評価し、着花枝率を求める。次に、枝あたりの平均着花数を評価する。着花枝率に枝あたりの平均着花数を乗じて着花指数を算出し、これを着花数の指標としている。そこで画像の判読性の判定は、着花枝率、枝あたり着花数の2指標に分け、各々の判定が画像から可能であるかを判断した。

結果

1)撮影時期と背景および雄花芽の状態

3月下旬(3月23日)では調査区全域で積雪がみられ、撮影画像の背景に雪(白色)が写りこんでいた。ハンノキ属はいずれも開花しており、雄花は伸び出し下垂し、橙色・暗紅色を呈していた。一方、カバノキ属・アサダ属の雄花芽は休眠状態であった。

4月上旬(4月9日)には融雪が進み、一部の個体の下に雪が残るが、ほとんどは背景に落葉等が写りこんでいた。雄花芽の状態は3月下旬と同じであった。4月下旬(4月28日)には残雪は完全になくなり、ハンノキ属の雄花は開花を終えて落下していた。一方、カバノキ属・アサダ属の雄花序は開花にむけて成長し、黄色・橙色に呈色していた。これらの状態を表-1に集約して示した。

表-1. 撮影時期と背景(残雪)および雄花芽の状態

撮影時期	残雪	雄花芽の状態		
		ハンノキ属	カバノキ属	アサダ属
3月23日	あり	開花	未開花	未開花
4月9日	なし (一部残)	開花	未開花	未開花
4月28日	なし	落下	開花寸前	開花寸前

2)地上目視による着花状況

ウダイカンバでは大径木を含むいずれの個体にも着花がみられなかった。他の樹種には着花がみられたが、ダケカンバとハンノキで個体差が大きかった。

3)画像の判読性

判読結果を表-2に集約して示した。3月下旬の画像ではハンノキ属は着花枝率については全個体が判読可能であり、着花数についてもおおそ判読可能であった(図3)。一方、カバノキ属では判読性が低く、着花数については一部の条件の良い個体を除いては判読不能であり、地上目視から着花量が多いことが分かっているが画像か

らは判読できない場合があった(図4)。またアサダ属では着花枝率・着花数とも判読不能であった。4月上旬では残雪条件で個体差があり、残雪のある個体では判読可能であるが、消雪している個体では判読不能であった(図5)。雄花芽の条件はいずれの樹種とも残雪のある3月下旬と同じであるが、印象として判読が困難であった。

4月下旬の画像ではカバノキ属・アサダ属の雄花の成長が進んでおり、3月下旬の画像よりもむしろ判読性が高まった(図6)。ただし判読は着花枝率に限られ、着花枝数の判定は困難であった。

表-2. 撮影時期と樹種による画像の判読性

樹種	3/23 (残雪あり)		4/28 (残雪なし)	
	判読性(判読可個体%)			
	着花枝率	着花数	着花枝率	着花数
<ハンノキ属>				
ハンノキ	100	60	-	-
ケヤマハンノキ	100	60	-	-
コバノヤマハンノキ	100	80	-	-
<カバノキ属>				
シラカンバ	40	20	100	0
ダケカンバ	80	20	80	0
ウダイカンバ	-	-	-	-
<アサダ属>				
アサダ	0	0	100	0

ウダイカンバは雄花芽の着生が無いため判読できなかった。また4月28日撮影ではハンノキ属の雄花は落下しており判読できなかった。

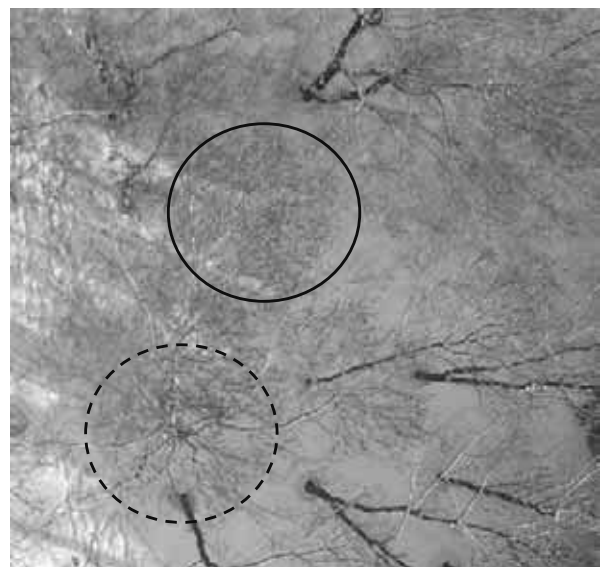


図-3. 残雪期(3月23日)のハンノキ樹冠 着花数も視認できる(多い:実線, 中程度:点線)

考察

1)撮影時期と判読性

本研究の結果から、背景が白色となる残雪期に撮影を行うほうが、消雪後撮影よりも判読性が高いことが示された。ただし樹種によっては消雪後ではあるが雄花芽が

成長した時期のほうが判読に適することが分かった。



図-4. 残雪期 (3月23日) 撮影のシラカンバ樹冠



図-5. 融雪期 (4月9日) 撮影のダケカンバ樹冠
左個体は雄花芽が背景に同化し判読できないが、右個体は残雪との対比で視認することができる (拡大表示)

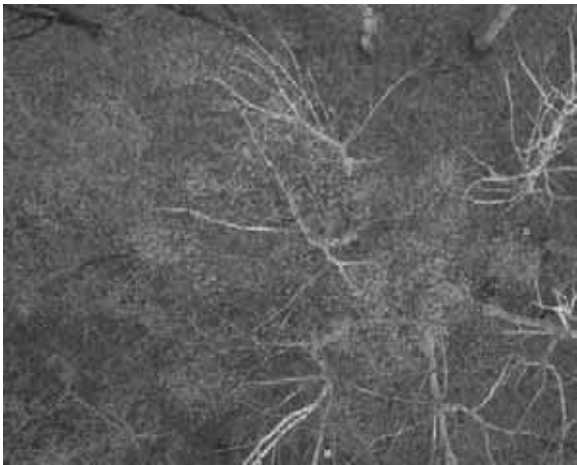


図-6. 開花直前 (4月28日) のシラカンバ樹冠
雄花芽が成長し背景と異なる色調を呈することで判読しやすくなっている (拡大表示)

残雪期の撮影で判読性が高いのは、背景が白色であり判読対象となる雄花芽とのコントラストが明確であるからと考えられる。逆に、消雪が進むと背景と雄花芽のコントラストが明確でなくなり、雄花芽が成長しているハンノキ属でさえ判読しにくくなると考えられる。

樹種によって残雪期においても判読性が低かったのは、雄花芽が休眠状態であり判読に十分な大きさで無かったと考えられる。とくにアサダやシラカンバは雄花芽が他の樹種より小さいうえに小枝が多く、雄花芽を視認しづらかったと推察される。一方で、今回着花のみられなかったウダイカンバについては、着花のみられた別の調査地での検討によって、残雪期の方が画像判読しやすい可能性が示されている(1)。休眠状態でも花芽が大きく判読の邪魔になる小枝が少なればハンノキ属以外の樹種でも残雪期の方が判読に適すると想定される。例数が十分ではないが、雄花芽の大きいダケカンバでシラカンバに比べて残雪期の判読性が高いのも、このことを示唆するものである。

判読指標についてみると、いずれのケースでも着花枝率は空撮画像から判定可能であるが、枝あたりの着花数については一部の場合を除けば判定が事実上困難であると考えられる。このことは UAV 空撮の原画像からは現行の着花指標を得ることが難しいことを示している。

2) 判読性改善に向けた課題

本研究の結果、UAV 画像からのカバノキ科樹木の着花判読における撮影は一部の樹種を除けば、残雪期に行くと背景とのコントラストが明確になり、高い判読性が得られることが示された。残雪期の判読が困難な樹種は雄花成長時の色調が明確であり、消雪時ではあるがむしろ雄花成長時に行くと判読性が高いことが示された。これらのことからいずれの樹種も適期に撮影を行えば UAV 空撮画像からの着花判読が可能なが示された。ただし判読は現行の着花評価に必要な 2 指標のうち着花枝率に限って有効であり、原画像による着花数の評価は困難であることも示された。

また本研究では残雪期の撮影は、研究開始時期の関係からハンノキ属の開花が始まった 3 月下旬に行っている。予測を行うには、開花前より早い時点の撮影が望ましいため、雄花芽の休眠している早い時期でも判読が可能かさらに検証する必要がある。ただし、ハンノキ属はシラカンバやアサダに比べ雄花芽が大きく(倉本未発表)、ウダイカンバの検証例とあわせて考えても、花芽休眠時期でも判読が可能ではないかと予想される。

本研究の判読では原画像を用い、画面上での拡大表示以外は、空撮画像の処理を行わなかった。このことから、適切な時期と高度で撮影を実施すれば、原画像の目視判読でも大まかな着花評価が可能なが示唆される。実用に向けて判読の精度と効率性を高めるためには、画像の解像能向上、オルソ化や立体視判読などの画像処理、および着花指標の再検討が必要である。前二者は画像からの情報量を向上させる改善方向であり、コストと汎用性を考慮すると立体視が最も実施しやすい方法であると考えられる。着花指標の再検討については、これまでの地上目視観測で得られたデータを分析して、着花枝率と

枝あたり着花数に関する関係を整理する必要性がまずあげられる。また、2つの指標のうちどちらが着花指数への寄与が大きいかが検討することも有効である。これらの結果によっては、画像の判読性向上を待たずとも、着花枝率のみを画像から判読することで着花を評価することが可能になるかもしれない。また、画像からの判読に適した着花評価指標の検討も重要である。単位枝を一定数判定する現行方式にかわり、堅果の着果判定で用いられているような単位時間あたりの計測数で表す方式(4)などが画像からの判読には有効な可能性も考えられる。

まとめ

本研究では UAV 空撮の撮影条件のひとつとして、撮影時期を検討した。一部の樹種を除けば残雪時期の撮影が判読性からみて望ましく、雄花芽が成長していない(伸びていない)状態でも判読は可能である。残雪期に判読できない樹種は、消雪後の雄花が成長した時期に撮影を行えば他の樹種とは逆に判読が可能である。したがって樹種にあった時期に撮影を行えば、画像に加工を施さない状況であっても判読可能な画像が得られることが示された。

今後は撮影労力軽減とより早い予測の観点から、より早い時期にどの樹種でも判読可能になるような撮影条件や判読方法を検討する必要がある。

謝辞

本研究は新技術開発財団「植物研究助成」の支援を受けて実施した。UAV の空撮および着花調査に際しては、森林総研北海道支所地域連携推進室、さっぽろ羊ヶ丘展望台の協力のもと実施した。関係各位に深謝いたします。

引用文献

(1)古家直行・倉本恵生 (2016) カンバ着花調査における

- UAV 空撮技術活用の可能性. 日本写真測量学会平成 28 年度秋季学術講演会要旨集
- (2)清野嘉之・奥田史郎・竹内郁雄・石田清・野田巖・近藤洋史 (2003) 強い間伐はスギ人工林の雄花生産を増加させる. 日林誌 85:237-240
- (3)倉本恵生・高橋正義・古家直行・伊藤江利子 (2013) 択伐施業林におけるウダイカンバの着花パターン. 北方森林研究 62 : 43-46.
- (4)正木隆・阿部真 (2008) 双眼鏡を用いたミズナラの結実状況の評価. 日林誌 90 : 241-246
- (5)水井憲雄 (1991) 種子重-種子数関係を用いた落葉広葉樹種子の結実豊凶区分. 日林誌 73 : 258-263
- (6)佐々木忠兵衛 (1985) 道央自生広葉樹の着果の周期. 日林北支論 34 : 130-133.
- (7)八坂通泰 (2005) シラカンバ, ダケカンバの花粉生産および飛散特性. 日林誌 87 : 20-26.
- (8)Yasaka, M., et al. (2009) Prediction of birch airborne pollen counts by examining male catkin numbers in Hokkaido, northern Japan. *Aerobiologia* 25 : 111-117