



あたらしい 農業技術

No. 695

カンキツの病害虫防除における
ドローンの利用法

令和5年度

要 旨

1 技術、情報の内容及び特徴

- (1) ドローンのうち、マルチローター式無人航空機による薬剤散布は、効果と効率性の両立を図るためには、樹上を螺旋状に飛行するよりも、樹列上などを直線的に飛行する方が良く、その際の散布粒径は 100 μm を基準に調整します。
- (2) 斜度 15 度以上の急傾斜地で散布を行う場合は、斜面を上下方向に散布幅に合わせて等間隔で自動飛行することを基本とします。緩傾斜地や平坦地では植栽や風向き等に応じて稜線方向に等間隔の経路や樹列上の経路を飛行させることも可能です。
- (3) 飛行・散布条件を設定するには、散布面積、飛行間隔、飛行行程数、散布水量に基づき、ノズルからの吐出量に合わせて飛行速度を設定します。
- (4) 樹高 2 m 程度の樹であれば、黒点病、青かび・緑かび病、ゴマダラカミキリ等に対し、登録薬剤のドローン散布は慣行の手散布とほぼ同等の効果が得られます。

2 技術、情報の適用効果

- (1) 斜度 25 度のカンキツ園で農薬散布するには、散布機の始動から停止に手散布で 2 時間 (/10a) を要するのに対し、ドローンでは 15 分で完了できます。
- (2) ドローン散布では 1 日あたり急傾斜地 150a に散布が可能と推定されます。年間 9 回の薬剤散布のうち 6 回をドローン散布、3 回を手散布とすると、薬剤散布に関連した作業は 10a あたり年間 270 分と推定され、最大で手散布の 20% に短縮が可能です。

3 適用範囲

- (1) 全てのカンキツ品種に対して、圃場の条件を問わずドローンの利用が可能です。周囲への薬液の飛散に注意する必要があり、周辺の環境によっては導入を控える必要があります。

4 普及上の留意点

- (1) ドローンはヤマハ発動機(株)製試作機、エンルート社製試作機や XAG 社製 P-20 を用いて試験を行いました。試験結果は他機種にも特性に応じて応用可能ですが、本格導入の前に、小規模で散布試験を行い、効果や運用上の課題を十分に検討してください。
- (2) ドローンの運用にあたっては航空法を遵守し、「無人マルチローターによる農薬の空中散布に係る安全ガイドライン」等を参考にしてください。
- (3) 農薬の濃厚少量散布にあたっては農薬取締法を遵守してください。
- (4) ドローンの運用は農業者やそのグループが運用する場合と、事業者へ委託する場合が想定され、運用コストや求められる運用条件が異なります。
- (5) ドローン散布の効率性を最大限発揮させ運用コストを低くするためには、1 日あたりの散布面積を広くする必要があり、散布機の性能にあった作業計画や合意形成が必要になります。
- (6) 本技術の導入を図る上で、農業経営戦略上の位置づけを明確化する必要があります。
- (7) 「かんきつ」や「みかん」における空中散布用の農薬登録は拡大が図られていく見込みであり、農薬登録に応じて防除モデルを更新する必要があります。

目 次

はじめに	1
1 ドローンの運用方法	1
(1) 飛行経路と散布粒径（平坦地での検証）	1
(2) 急傾斜地における飛行経路	2
(3) 散布機の吐出量と飛行速度の設定	2
2 ドローン散布による防除効果	3
(1) 黒点病	3
(2) 貯蔵病害	4
(3) ゴマダラカミキリ	4
3 防除モデルと散布の効率性	5
(1) 温州ミカンのドローン防除モデル	5
(2) 薬剤散布の効率性	5
おわりに	6
参考文献	7
用語解説	7

はじめに

温州ミカンをはじめとするカンキツ類の需要は生産量を上回っており、市場から増産が求められています。担い手の減少が進むなかで増産を行うためには、労働生産性向上が可能な技術の導入が必要です。また、カンキツ園の40%はスピードスプレーヤ(SS)が使用できない斜度15度以上の急傾斜地に立地しており、農薬散布は肉体的負担が大きいことから、省力化が急務となっています。そこで近年の発展が目覚ましく、地形を問わず運用できるドローン(マルチローター式無人航空機)による農薬散布法を検討しました。

1 ドローンの運用方法

(1) 飛行経路と散布粒径(平坦地での検証)

ア 樹上の螺旋飛行と樹列上の直線的飛行での液滴の付着性の比較

図1Aに示したように、XAG社製市販機(P-20)を使用して樹ごとに螺旋飛行しながら散布すると、樹列上を直線的飛行して散布する場合(図1B)と比べ、樹冠内に設置した感水試験紙の液滴による被覆面積率は高くなります(図2)。しかし、螺旋飛行による散布は、直線的飛行と比べ約3倍の時間がかかりました。

イ 散布粒径と液滴の付着性

直線的飛行で散布粒径が100~195 μm の範囲では、粒径が小さいほど被覆面積率が高く、100 μm では螺旋との差が小さくなりました(図2)。効果と低コストの両立を図るために、100 μm 程度の小さな散布粒径で直線的な飛行経路をとるのが効率的と考えられました。

(A) 樹上を螺旋飛行



(B) 樹列上を直線的に飛行

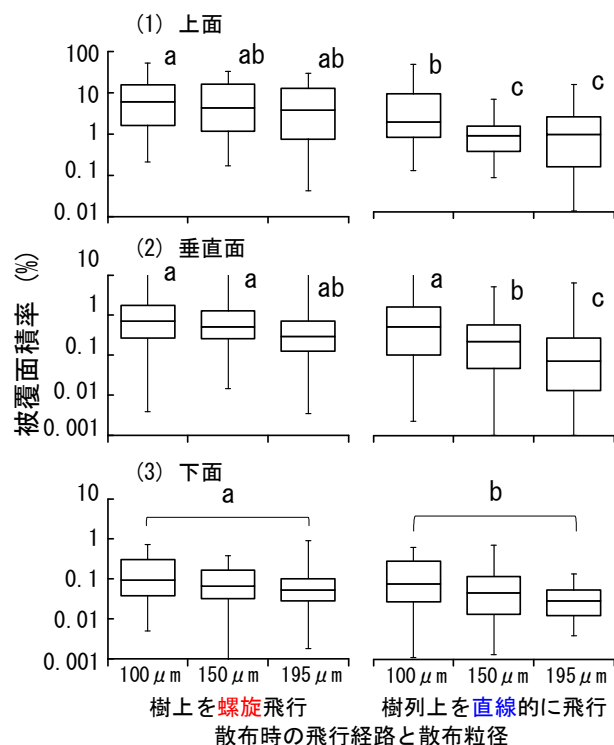


図2 飛行経路と散布粒径別の散布液滴による被覆面積率(増井ら, 2021) 各面で同一英字間に有意差なし(二元配置分散分析後のTukeyのHSD検定)

図1 平坦地での飛行経路の比較
散布水量: 10L/10a

(2) 急傾斜地における飛行経路

斜度 25 度の急傾斜地カンキツ園で、数値標高モデル (DEM) による自動飛行機能を搭載したヤマハ発動機社製試作機を用いて、図 3 に示したように、(A) 斜面の稜線に沿って樹上を飛行する経路、(B) 稜線上を 2 m の等間隔で飛行する経路、(C) 斜面を上下方向で 2 m の等間隔で飛行する経路の 3 パターンで薬剤散布を行い、液滴による樹冠内 (地上 1 m) での付着性を評価しました。その結果、飛行経路間で樹冠内の被覆面積率に大きな違いは見られませんでした (図 4)。

急傾斜地の樹冠の高度に変動が大きい条件で安全に飛行を行う必要があること、傾斜地では谷側からの上昇気流が発生し散布液滴が山側に流されやすいことも考慮すると、斜面を上下方向に等間隔で飛行する経路 (図 3 C) が推奨されます。

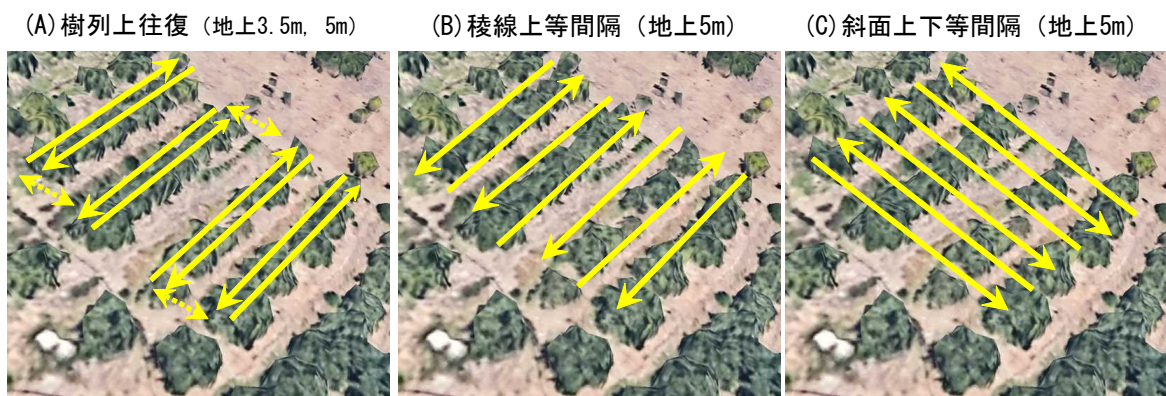


図 3 斜度 25 度の急傾斜地での飛行経路の比較 散布水量：8L/10a

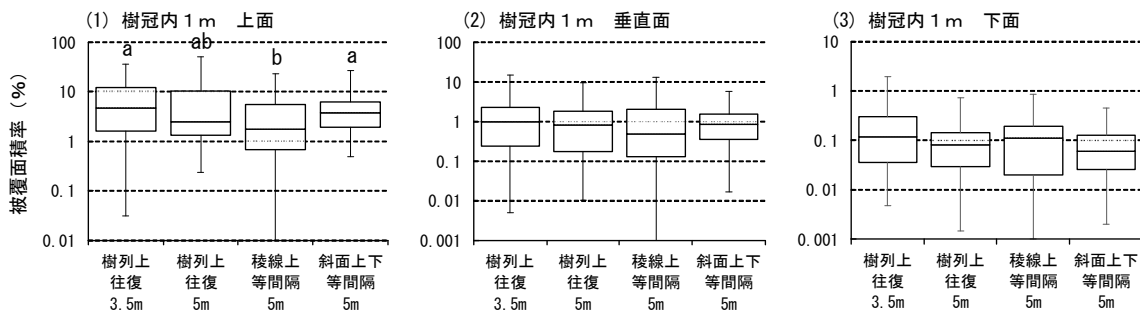


図 4 斜度 25 度の急傾斜地での飛行経路別の散布液滴による被覆面積率 (散布粒径 $100 \mu\text{m}$)
上面は同一英字間に有意差なし (分散分析後の Tukey の HSD 検定)、垂直面と下面は飛行経路の影響はなし。飛行経路の下に記した数値は飛行高度を示す。

(3) 散布機の吐出量と飛行速度の設定

急傾斜地や平坦地など圃場の立地条件に合わせて、樹列上を飛行する場合 (図 3 A) や、散布機の散布幅に合わせて等間隔 (図 3 B, C) で飛行する場合などに合わせて、散布条件を設定する必要があります。散布面積、飛行間隔、飛行行程数、散布水量が決まれば、ノズルからの吐出量に合わせて飛行速度を図 5 に準じて設定することが可能です。この際に

使用する機種で設定可能な吐出量や飛行速度を予め確認しておく必要があります。

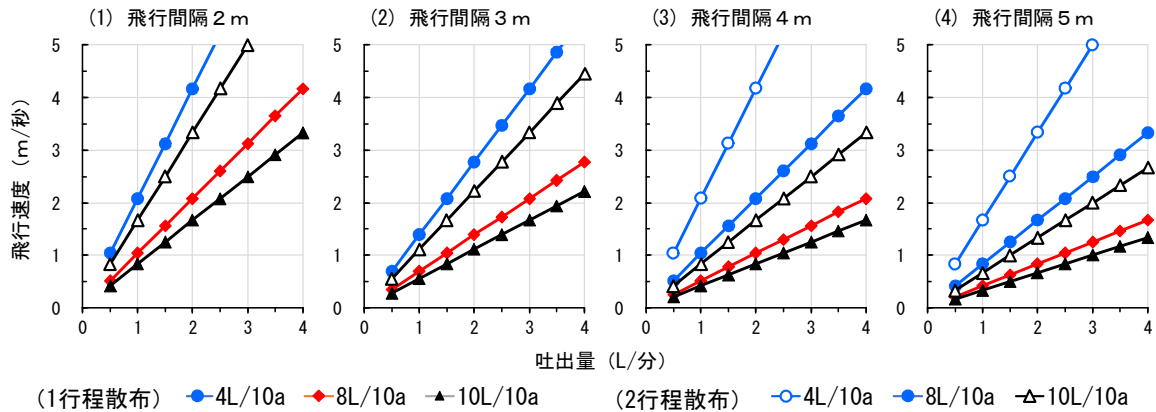


図5 異なる散布間隔、散布行程数、散布水量における吐出量と飛行速度の関係

$$Y = (\text{散布面積 } \text{m}^2 \times \text{行程数} \times X) \div (\text{散布間隔 } \text{m} \times 10\text{a 散布量 } \text{L} \times 60)$$

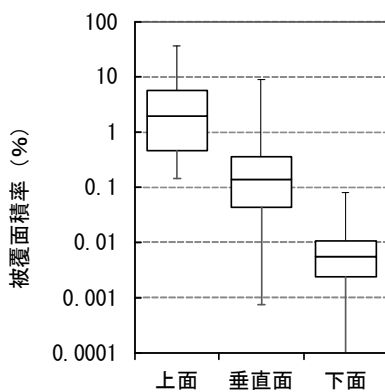
Y: 飛行速度 (m/秒) X: 吐出量 (L/分)

2 ドローン散布による防除効果

(1) 黒点病

ジマンダイセン水和剤 5 倍 (4L/10a) のドローン散布は、樹冠内の地上 1 m に設置した感水試験紙 (上面) への被覆面積率 (中央値) が数%であれば (図 6 A)、手散布とほぼ同等の防除効果が得られます (図 6 B)。散布水量が少ないことから、横風等により散布ムラが生じないように注意する必要があります。

(A) 液滴の付着



(B) 黒点病の発生程度

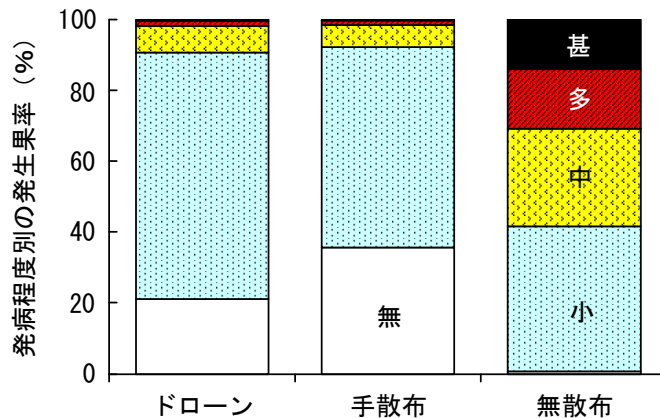


図6 ドローン散布によるジマンダイセン水和剤 (5 倍希釈) の付着状況 (A) と黒点病発生程度 (B)

令和 3 年に 10 年生青島温州を供試し、6/8, 7/20, 8/25 にドローン散布は 5 倍希釈液を 4L/10a、手散布は 600 倍希釈液 500L/10a を散布した。エンルート社製試作機を用いて、樹列上を往復して散布した。

(2) 貯蔵病害

トップジン M ズル 20 倍のドローン散布 (10L/10a) は青かび病、緑かび病や軸腐病に対し、手散布とほぼ同等の防除効果が得られます (図 7)。一方、本剤は黒腐病等の他の貯蔵病害に対する適用はなく、これらの病害が問題となる場合は新たな殺菌剤の適用拡大を行う必要があります。

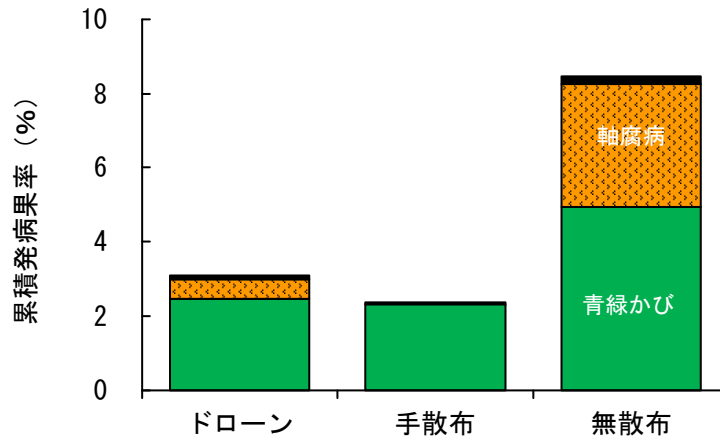


図 7 トップジン M ズルのドローン散布による貯蔵病害に対する防除効果

令和 3 年に 10 年生青島温州を供試し、12/2 にドローン散布は 20 倍希釈液を 10L/10a、手散布は 1000 倍希釈液 500L/10a を散布した。エンルート社製試作機を用いて、樹列上を往復して散布した。12/10-13 に収穫した果実を 12/20 に入庫し 3/18 まで発病を調査した。

(3) ゴマダラカミキリ

ダントツ水溶剤 24 倍のドローン散布 (4L/10a) は手散布と比較し、散布後の枝を成虫に与えると正常に歩行できない苦悶虫の割合が高くなり、殺虫効果がやや低い傾向がみられるものの、一定の殺虫効果がみられ実用的な防除効果を示しました (図 8)。

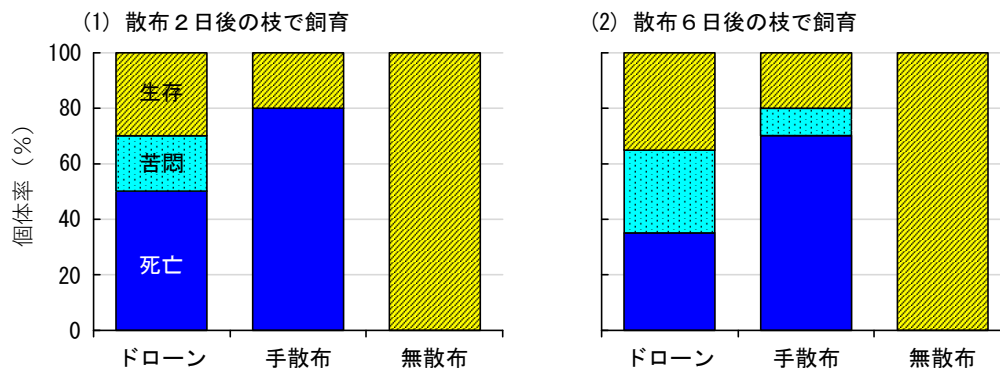


図 8 ダントツ水溶剤のドローン散布によるゴマダラカミキリ成虫に対する殺虫効果

6/7 にドローン散布は 24 倍希釈液を 4L/10a、手散布は 3000 倍希釈液 600L/10a を散布した。ヤマハ社製試作機を用いて、2 m の等間隔で飛行し散布した。

以上のように、ドローンによる登録薬剤の濃厚少量散布による効果は、慣行の手散布と同等か、やや劣るものの実用的効果がみられました。

3 防除モデルと散布の効率性

(1) 温州ミカンのドローン防除モデル

ドローン用の濃厚少量散布に登録がある薬剤を用いて作成した年間の防除モデルを表1に示しました。県中部地域で防除対象となっている病害虫に対する年間9回の薬剤散布のうち、6回をドローンで実施が可能で、今後の農薬登録を促進することで、ドローンの稼働率を向上させることが可能です。

表1 ドローンによる温州ミカン（青島温州）の年間防除暦モデル

時期	対象病害虫	薬剤	希釈倍率	散布量 (/10a)	散布手段
4月下旬	ミカンハダニ	マシン油乳剤	×100	500L	手散布①
5月上旬	灰色かび病他	スイッチ顆粒水溶剤	×3000	500L	手散布②
5月中下旬	灰色かび病	ナティーボFL	×50	10L	ドローン①
6月上旬	黒点病	ジマンダイセン水和剤	×10	8L	ドローン②
	アザミウマ カミキリ	ダントツ水溶剤	×48		
7月上中旬	黒点病	ジマンダイセン水和剤	×10	8L	ドローン③
	アザミウマ	アグリメック	×24		
8月上旬	黒点病	ナティーボFL	×32	7L	ドローン④
	アザミウマ	アドマイヤーFL	×40		
8月下旬	黒点病	ジマンダイセン水和剤	×10	8L	ドローン⑤
	アザミウマ	アドマイヤーFL	×40		
9月中旬	黒点病	ジマンダイセン水和剤	×600	600L	手散布③
	アザミウマ	キラップ	×2000		
	ミカンハダニ	ダニゲッターFL	×2000		
11月下旬	貯蔵病害	トップジンMブル	×20	10L	ドローン⑥

*2023年7月現在の農薬登録に基づき作成した。

(2) 薬剤散布の効率性

斜度25度の急傾斜地でドローン（ヤマハ発動機社製の試作機）を用いて、斜面を上下方向に2mの等間隔で飛行し（図3C）、薬剤散布を行うと、散布機の始動から停止まで10aあたり15.4分で完了でき、手散布（128分）より大幅に短縮が可能です（表2）。また、ドローン散布では離陸から散布開始までに行う調整に時間がかかっており、これを効率化することで時間短縮が可能です。

ドローン散布では1日あたり25度の急傾斜地150aに散布が可能と推定されます（表3）。この効率で年間9回の薬剤散布のうち6回をドローン散布、3回を手散布とすると（表1）、薬剤散布に関連した作業は10aあたり年間270分と推定され、最大で手散布の20%に短縮が可能です（表3）。

各防除時期に7日間ドローンを稼働し、 $150 \times 7 = 1050a$ に年間6回散布すると、延べ6300aに散布できることとなります。ドローンを自主運用する場合、ドローンの減価償却費や、保険、メンテナンス等の諸費用の合計が年間100万円と仮定すると、10aあたり1回の散布に必要な機体関連費用は約1600円となります。これに人件費を加えるとドローンの運用コストの概略を推定できます。

表2 防除作業で散布機の始動から停止までに要した時間（斜度25度）

時期	ドローン (3.4a 27樹あたり)				手散布 (3樹あたり)			
	散布量 (/10a)	離陸後時間 (秒)			散布量 (/10a)	動噴始動後時間 (秒)		
		散布開始	散布終了	着陸		散布開始	散布終了	動噴停止
5月19日	8L	70	245	277				
6月7日	4L	270	420	475	600L	120	410	470
7月11日	8L	160	344	370	600L	110	495	525
8月1日	7L	65	240	274	600L	90	388	440
8月23日	8L	87	260	289	600L	100	450	483
平均時間 (秒)		130	302	337		105	436	480
* 推定時間 (秒/10a)		130	888	923		105	7690	7733
	(分/10a)			15.4				128.9

* 手散布の10aあたり推定所要時間は3樹に要した実績から推定される値の2/3とした。

表3 斜度25度の急傾斜地で散布に要する作業時間の推定（単位：分）

	/10a		/10a・年間		/1日可能面積		/1日可能面積・年間	
	ドローン	手散布	ドローン6回 手3回	手9回	ドローン	手散布	ドローン6回 手3回	手9回
1回あたり散布面積→	10a	10a	10a	10a	150a	24a	150a	24a
薬液調整	5	8	54	72	75	19	508	173
散布機準備	20	10	150	90	20	10	150	90
散布機始動～停止*	15	129	479	1160	231	309	2312	2784
片付け	20	20	180	180	20	20	180	180
DEM+飛行プログラム作成			60				900	
合計	60	167	923	1502	346	359	4050	3227
10アール当たり (対手散布%)	60	167	923	1502	23	149	270	1345
	36 %		61 %		15 %		20 %	

* 散布機始動～停止の時間（10aあたり）は表2より引用

** 散布作業6時間（/日）として計算

おわりに

近年、ドローン用の農薬登録が進み、カンキツでは年間の6～7割程度をドローンで実施できるようになりました。この技術を確立するためには、農薬登録をさらに促進し、年間を通してドローン散布が可能とする必要があります。特に、散布ムラにより防除効果が減退するとされているハダニやカイガラムシ類等に対する防除効果の安定化を図り、これらの害虫に対する

農薬登録を進める必要があります。一方、ドローン導入には一定のコストかかることから、導入する面積、年間稼働回数等の計画から実際のコストを推定した上で、ドローン導入の目的や経営戦略上の位置づけを明確にする必要があります。

本研究開発は、「農林水産省委託プロジェクト研究「ドローンやほ場設置型気象データセンサー等センシング技術を活用した栽培管理効率化・安定生産技術の開発」JPJ007158の補助を受けて行いました。

参考文献

- 1) 増井伸一・村田裕行・土田祐大・加藤光弘・小林 泉・猪俣敏一，2021，マルチローター式無人航空機による薬剤散布時の飛行経路と散布粒径がカンキツ樹冠内における液滴の付着性に及ぼす影響．関西病虫研報，63，27-32.

用語解説

1) ドローン

無人機の総称であり、無人航空機の他に水中ドローン、水上ドローン、陸上ドローンなどがあります。無人航空機は固定翼型、回転翼型に分類され、回転翼型はシングルローター（無人ヘリコプター）とマルチローターがあり、マルチローターをドローンと呼ぶこともあります。

2) 被覆面積率

散布した農薬の付着状況を示す指標として使われます。一般的には、濡れた部分が青色に変色する感水試験紙を圃場に設置して散布試験を行い、回収した感水試験紙を画像解析することで被覆面積率を求めています。

3) DEM（数値標高モデル）

地表面を等間隔に正方形に区切り、それぞれの正方形に中心点の標高を持たせたデータをDEMといいます。ヤマハ発動機(株)製試作機では、ドローン散布を行う急傾斜地の圃地で事前に空撮測量を行い、DEMを作成した上で、これに基づいた自動飛行経路を設定しました。機種によってはDEMを用いないで自動飛行する機体もあります。

農林技術研究所果樹研究センター 果樹環境適応技術科長 増井伸一
（現 経済産業部産業イノベーション推進課 課長代理）
果樹環境適応技術科 上席研究員 加藤光弘
（現 果樹生産技術科長）
果樹環境適応技術科 主任研究員 土田祐大
（現 経済産業部食と農の振興課 主任）
果樹環境適応技術科 研究員 村田裕行
（現 中部農林事務所生産振興課 技師）
果樹環境適応技術科 研究員 外岡千智