

航空機（無人ヘリを含む）を利用した農薬散布の 現状と研究課題

その2 散布方法の改善と今後の研究課題

農林水産航空協会農林航空技術センター

なかじま みつる さおとめ あつし まえざわ よしあき
中島 満・五月女 淳・前沢 嘉彰
やなぎ しんいち うえまつ つとむ
柳 真一・植松 勉

はじめに

ヘリコプターを利用した農薬散布の特徴は、自らを浮揚・飛行するための主回転翼（メインローター）の回転によって生ずる押し下げ気流の利用による効率的な散布・投下、簡易なヘリポート、飛行高度・速度の自在な操縦性等その利便性にある。しかし、この押し下げ気流は農薬等の散布・投下に当たって有利に働いたりあるいは欠点として作用することもある。また、飛行高度、速度等利便性を求め過ぎると運行作業の安全性に影響する。このため、1960年代から作物病虫害の効果的な防除を前提に飛行作業や周辺環境に対する安全性と効率的な農薬散布技術の確立を目指して試験研究・調査が継続的に実施されてきた。ここでは、ヘリコプターの特性を利用した空中散布が、いかに理にかなった散布法であるか、またいかに安全性に配慮して散布装置および散布方法の改善などの技術開発を行ってきたか、その技術レベルはどこまでできているか、粒剤散布を除き液剤についてその概要を紹介し、今後の課題について述べる。

I 有人ヘリの特性と航空防除への利用

有人ヘリを利用した農薬等の散布は、主回転翼が周りの空気を下方に押しやることによって生ずる押し下げ気流を利用して行われる。この押し下げ気流は、主回転翼を貫流する下方への空気の流れて、一般にダウンウォッシュ（Down wash：以下DWと略）と呼んでいる。このDWは、前進飛行時には図-1のように変化し、空気の流れは機体後方に流れる。これを後流と言ひ、DWをも意味する用語として用いられている（臼井，1996）。

Current status of aerial application of pesticides and future tasks in studies. 2. Improvement of aerial application technique and future tasks in studies. By Mituru NAKASIMA, Atsuchi SAOTOME, Yoshiaki MAEZAWA, Shin-ichi YANAGI and Tutomu UEMATSU

（キーワード：航空防除，無人ヘリコプター防除，空中散布，ダウンウォッシュ，短縮ノズル，カーテン散布，片側散布，額縁散布，ドリフト防止）

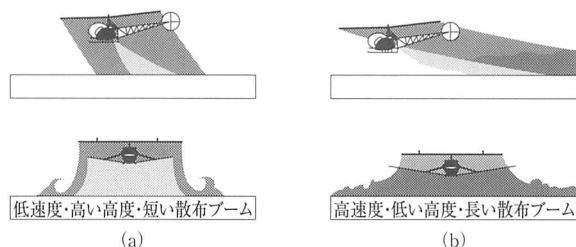


図-1 散布速度・高度とダウンウォッシュ (MOOR, 1966)

このDWの影響下に散布された液滴（散布粒子）は、押し下げ気流に乗って作物に到達するので、散布粒子がDWに乗っている限り機体直下に落下する。しかし、主回転翼の翼端部分では舞上がり気流（翼端渦流）による乱流が起こる（Akesson and Yates, 1963；市川ら，1994）。この乱流に巻き込まれた散布粒子は、粒子径が大きい場合には自然風の影響をあまり受けずに機体直下付近に落下するが、微細な液滴の場合には落下途中で自然風の影響を受けつつ自然落下するためドリフトが発生する要因となっている。

II 散布方法と粒子構成および防除効果

散布液は経済性の面から高濃度・少量で、その粒子は散布の均一性と植物体表面の被覆率を確保するために必然的に微細であることが要求される。これに応える技術として微量散布が生まれ、それに見合う適正な粒子の確保のために遠心力を利用したロータリーアトマイザーが開発された。微量散布の普及と並行して液剤散布、少量散布等多様な散布技術が生まれた。このような状況の中で、作業効率・防除効果に影響せずドリフトしやすい極微細な粒子をいかに抑制するかが課題となった。

1 液剤・液少および微量散布における散布粒子径および被覆率と防除効果の関係

散布粒子を制御する技術は、防除効率や防除効果を高める上で散布方法の如何を問わず重要な課題である。散布粒子や落下分散の調査は、従来、調査紙に落下・付着

した粒子（spot）を解析する方法で行われていた。その後、調査紙に付着した粒子を測光・解析する画像解析装置や噴霧粒子（液滴）径を直接的にレーザーで計測する Particle sizer 等を利用することにより粒度分布や体積中位径（以下、VMD と略）の測定に有効であることを明らかにした（中島，1987）。これにより、粒子径・粒子構成等の情報が容易に得られるようになった。

（１）適正な粒子径の目安

空中散布と地上散布、また空中散布における微量・少量散布と液剤散布では単位面積当たりの薬剤成分量に基づく投下量は同じである。しかし、散布液の粒子径、作物体表面の被覆率・付着効率等が異なる。中島（1991）は、液剤少量散布において散布液の粒子径といもち病防除効果の関係について、防除効果に粒子径が影響することを認めた。そして、噴霧粒子径が大きいと防除効果が劣るが、その理由として粒子径の大型化は単位面積当たりの粒子数の減少を招き被覆率が低下することによると推察している。戸崎（1998）は、地上散布（動力噴霧器）においても同様に噴霧粒子が微細であるほど防除効果の面では有利であるが、ドリフトの面では不利となるとしている。BROOKS（1947）は液滴径および風速とドリフト距離との関係を明らかにし、BIRD ら（1996）は固定翼機における散布で 200 μm 以下の液滴径のドリフト量は一般に実施されている空中散布の液滴サイズ（VMD：300 μm ）に比べて 10 倍になること、Spray Drift Task Force（SDTF, 1997）は 141 μm より小さい液滴の構成粒子割合を減らすとドリフトは著しく減少するとし、臼井（1996）は回転翼機の DW 機能を考慮し、実用的な見地（防除効果とドリフト防止）から適正な粒子径を 80～400 μm 程度と判断している。

（２）ノズルの種類および吐出圧と散布液の粒子構成との関係

微量・液少散布にはロータリーアトマイザーが、液剤散布には液圧を利用したホローコーンノズルが使われる。一般に、ノズルの吐出圧を高めると粒子構成は微細化の方向にシフトし、地上落下割合は低下する。この低下傾向は、飛行高度を高めるとさらに助長され、ドリフトを助長する原因ともなるので重要な意味を持っている。しかし、ノズルの吐出圧が低いと大粒子の発生が多くなり、植物体表面の被覆率の低下を招き防除効果に影響する。そこで、それぞれ散布装置の吐出圧および散布液の粘性と粒子構成との関係について調査した。

① ロータリーアトマイザーの回転数および吐出量と粒子構成：微量散布におけるロータリーアトマイザーの通常の使用範囲での平均粒子径は 80～140 μm である

が、回転数を上げると過大粒子は減少し、過小粒子は増加する。また、吐出量の増加に伴い過大粒子が増加し、過小粒子が減少する傾向を示す（中島，1988）。しかし、実際には供給液量を増すと回転数は低下し、それに伴う粒子径の大型化、粒径分布の拡大化の傾向が認められる。このため臼井（1997）は比較的飛散が少なく、ポタ落ちの少ない適正粒子量から見て、中型機の少量散布の吐出量では、回転数が 5,000～6,000 rpm での運用が適切であるとした。

② ホローコーンノズルの規格、吐出圧と粒子構成：中島（1988；89）は、オリフィスディスクとコアーを組み合わせて粒子構成を調査し、吐出圧は粒子構成にさほど影響しないが、コアーが大きく関与し、次いでオリフィスディスクが関係し、この両者の組み合わせの影響が大きいことを認めた（図-2）。そして、臼井（1997）は、高濃度・少量散布を基本とする空中散布におけるコアーとディスクの関係を取りまとめ、80 μm 以下の微細粒子、また 400 μm 以上の大粒子を少なくすることは可能であっても、好ましくない粒子をゼロにする組み合わせは見あたらないと考察している。

③ マイクロホイルノズルの適用性：ドリフト防止に設計された液剤散布装置「MICROFOIL」用のノズルがある。このノズルによる粒子組成は 1 mm を越える大型粒子が多いことなどの問題点があげられているが、0.3 mm 以下の粒子（spot）が極端に少ないのでドリフト防止に有効と思われる（中島，1994）、さらに検討の余地がある。

（３）助剤添加による噴霧粒子径の調整および拡張性向上

① 水分蒸発防止剤（アロン A）の利用およびドリフト防止効果：水で希釈して散布する少量散布や液剤散布においては噴霧粒子の落下途中において水分蒸発が大きく、自然風や上昇気流の影響を受けやすい（田中，1968）。このため山元ら（1973～77）は水分蒸発を防止する蒸発抑制物質を探索し、ポリアクリル酸ソーダ（アロン A）は増粘効果・水分蒸発抑制効果に優れ、その添加により落下分散にはさほど変化は見られないが微粒子は減少し、粒度構成は均一化されることを明らかにした。例えば、アロン A 添加によって 0.2 mm 以下の粒子（spot）は少なくなり（図-3）、落下時間は短くなり、イネ株間への到達性も増加し、防除効果も高まることを認めた。そして、無添加区では 0.1 mm 以下の粒子（spot）が 5% 含有されるのに対して添加区では 0%、また 0.2 mm 以下の粒子は無添加区の 42% に対し添加区は 28% となること等を確認した。このアロン A 添加効

Nozzle 散布液	吐出圧 (kg/cm ²)	VMD (μm)	D 50 (μm)	粒径別相対量 (%)		
				15.5~ 80.9	80.9~ 427.6	427.6~ 1503.9
D 6-25 水	2.0	143	132	17.3	81.8	0.4
	2.5	152	123	23.3	74.4	2.0
	3.0	149	120	25.5	71.7	2.4
	3.5	148	122	24.1	73.4	2.1
	4.0	161	130	21.5	74.3	3.8
D 6-45 水	2.0	232	169	14.4	76.2	9.3
	2.5	194	145	20.0	73.5	6.2
	3.0	193	135	23.4	69.3	6.8
	3.5	196	143	22.4	69.9	7.3
	4.0	218	207	10.1	84.6	4.5
D 6-46 水	2.0	286	230	18.3	58.5	23.1
	2.5	357	302	8.7	60.7	30.5
	3.0	331	274	11.2	62.0	26.7
	3.5	327	269	11.8	61.8	26.3
	4.0	327	264	10.4	62.7	26.7

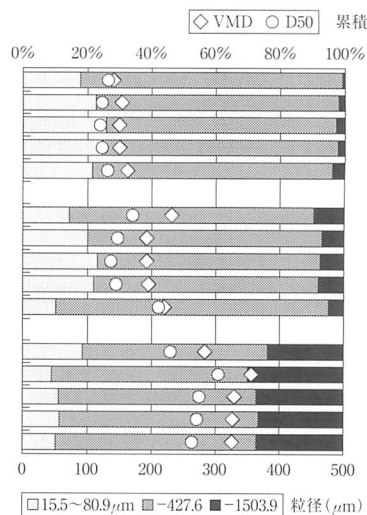


図-2 液剤散布における落下分散と粒子径との関係 (中島ら, 1996)

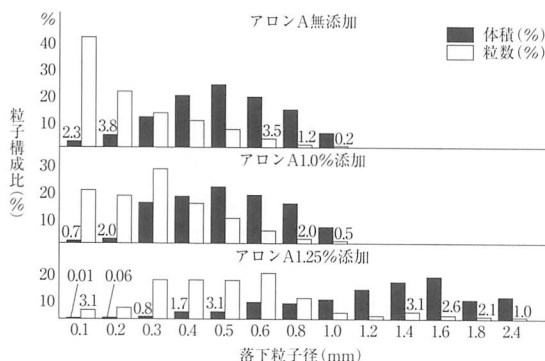


図-3 水分蒸発防止剤 (ドリフト軽減剤) アロン A の添加効果 (山元ら, 1998)

果をドリフトとの関係から見て、近似的には「ドリフトの大きさ $\approx$ 無風での落下時間 $\times$ 風速」とされているので、アロン A 添加によって落下途中での水分蒸発が抑制されることによる落下時間の短縮と消失する微細粒子の減少を通じたドリフト軽減効果は非常に大きいといえる (中島, 1998)。

② シリコン系界面活性剤利用による拡張性向上：対象作物や対象病害虫によっては空中散布による防除効果は地上散布と比較するとやや劣ることが少なくない。この原因として高濃度微量散布の単位面積当たりの散布液量は、地上散布の約 1/30 以下であり、散布液の作物体表面の被覆率が防除効果に関与する大きな要因と考えられた。そこで、五月女 (1998) は防除効果の安定化を図ることを目的に、シリコン系界面活性剤の加用による拡張性の向上効果を室内で検討した。その結果、供試

した界面活性剤のなかでも SILWET 408 の拡張効果は高く、乳剤等すべての薬剤で表面張力の低下、拡張性の増加を認めた。そして、当該拡張剤を添加しても VMD に影響せず、拡張効果は面積比で約 10 倍となった。さらに、葉いもちに対して薬液散布量を半減しても通常散布量の無添加区とほぼ同等の効果を示した。

(4) マイクロカプセル化農薬

マイクロカプセル剤 (MC 剤) は残効性の延長による防除適期の拡大、危被害軽減等安全性を促進する製剤として 1970 年代に期待されて検討されたが、安定した防除効果が得られず当初は実用化には至らなかった。その後、MC 剤は固着性、有効成分の保持に優れる特性を持ち、さらに、対象害虫への付着量も増加すること、航空防除による液剤少量 (8 l/ha) 散布、無人ヘリによる液剤 (30 l/ha) 散布で、殺虫効果はいずれの場合も乳剤と同等の効果が認められること等が明らかにされ (市川ら, 1991), 1995 年に水稻カメムシに、1996 年に松くい虫に適用登録された。

III 液剤・液剤少量および微量散布における散布装置・散布方法の改善

ドリフトの大きな原因となる翼端渦流の影響を回避するため、特性を異にする機種ごとにブーム長、ノズル取り付け位置と薬剤の落下分散およびドリフトとの関係について検討した。

1 ブーム長と落下分散およびドリフトとの関係

① 小型機におけるブーム長と落下分散：山元ら (1983~86) は、小型機 (ベル 47 G 3 B, Simplex

1300, D 6-45) を用い、飛行高度 8 m, 速度 35 mph 下でブームスパンの長さを 2 m, 5 m および 9 m で風速 0.8~1.2 m/秒の向かい風条件下で比較し、落下指標、被覆面積および落下量でみた落下幅はスパン 2 m で 10 m, スパン 5 m と 9 m でともに 20 m 程度であることを認め、翼端渦流による噴霧粒子の舞い上がりは 5 m および 2 m では観察されないことを明らかにした。そして、スパン 2 m での薬剤の落下分散状況は、従来の長いブームと比較して遜色なく、ドリフトは極めて少なくなることを確認した（山元ら, 1987）。

② 中型機におけるブーム長と落下分散：中型機（ベル 206 B, Simplex 4900 型（改）, D 6-45）を用い、ブームスパン 9 m, 飛行高度 10 m, 速度 45 mph, 風速 0.4~2.6/秒の風条件下での薬剤の落下分散状況は、5 m または 6 m に短縮しても主要な分散幅は小型機同様大差はなく、ドリフトは少なくなることを確認した（山元ら, 1987）。

③ ローターブレード 3 および 5 枚機種におけるブーム長と落下分散：ローターブレード（主翼）3 枚および 5 枚（ヒューズ 300・500 D）の 2 機種についてもブームを 5 m 以下にすることで、翼端渦流による噴霧粒子の舞い上がりはほとんどなく、ドリフトは極めて少なく、フルスパン（通常 9 m）と同様の落下分散幅が得られ、散布能率に支障がないことを確認した（山元ら, 1988）。

これらの結果から、いずれの機種においてもブームスパン 9 m を 5 m 前後に短縮しても散布基準の有効散布幅を十分確保でき、翼端渦流による舞上がりによるドリフトを極端に少なくすることができることを確認し、飛行諸元はそのままとし、ブームスパンを短縮した散布法が提案された。この提案を踏まえて、さらにノズル取り付け位置を狭くしたドリフト防止改良散布装置（ブーム幅：1.9 m）を用いたカーテン散布により松くい虫防除試験が行われ、その改良効果と防除効果が確認された（竹下ら, 1986）。以後、松くい虫防除においては散布環境・条件に応じてカーテン散布を行うことでドリフトを軽減し、的確に散布対象に落下させる手法が採られるようになった。水稻・畑作物病害虫防除では、カーテン散布の実用性について、現在、散布装置、使用ノズル、ブームスパン等を変えての検討や風向・風速等の気象条件に応じた額縁散布方式等の検討が続けられている。

2 片側散布と落下分散およびドリフトとの関係

主要機種のベル 206 B と中型機用液剤散布装置（Simplex-4900）の片側ブームを用い、落下指数、被覆率および飛散距離を調査した結果、片側散布による有効散布幅は多少狭まるが、ドリフト防止効果は顕著であっ

た。そして、散布除外区域の周辺におけるドリフト防止対策として片側散布による額縁散布方式の積極的な対応を指摘している（臼井, 1992）。しかし、カーテン散布と同様に水稻や畑作物の病害虫防除への普及に際して、ノズルや風向・風速の条件に応じた運行方法等の検討が残されている。

IV 無人ヘリによる空中散布技術の開発

作業環境の変化や有人ヘリの運行困難な地域における円滑な防除の推進のため無人ヘリ（遠隔誘導式小型飛行散布装置：Radio controled aero spraying systems: RCASS）が開発された。開発に当たって基本設計や試作・改良実験は RCASS 開発会議の主導の基に実施され、基礎フライト試験や公開模擬散布試験を経て、1989~90 年に水稻、畑作物、野菜、果樹等の病害虫防除の実用化促進および新分野開発試験が全国的に実施され、1991 年に水稻の病害虫防除に実用化された。そして、1992 年に畑作物、1993 年に野菜、1995 年に果樹の病害虫防除に、また、1994 年には移植水稻の除草剤に実用化された。

一方、高性能無人ヘリ（RPH 2）は無人ヘリの利用が注目を集める中で、航空防除と一体化あるいは併用することもできる大型でかつ高性能の無人ヘリ散布システムとして開発された。開発に当たっては研究会が設置され、その主導の基に設計に取りかかり（1995 年）、液剤散布装置の開発を待って、1999 年に実用化された。

1 無人ヘリの散布飛行諸元の確立

（1）散布飛行諸元と散布装置

無人ヘリ（R-50）を用いた基礎試験において R 50 型液剤少量散布装置（L-09 A）により適当な粒子径（VMD：109 μ m）が得られること、飛行速度は 15~25 km/h, 散布飛行高度は 3~4 m および散布間隔は 5 m でほぼ斉一な落下分散状況（CV：15.7）を示すことが明らかにされた。そこで、1989 年に 5 県下において水稻・野菜の少量散布（8~10 l/ha）による病害虫防除試験が実施された。その結果、落下分散や付着状況は良好で、作業効率は高く、ドリフトも少なく、水稻病害虫防除試験においても優れた効果を認め（尾田, 1989；本郷・斉藤, 1989；高沼, 1989；高沼ら, 1991；西野目, 1989）、実証試験においても防除効果、作業効率の高いことが確認された。しかし、野菜病害虫防除試験においては、薬剤の落下分散等に問題はないが、葉裏への付着がやや不十分であることが指摘（岩田, 1989）され、実用性の判断は見送られた。その後、液剤散布を可能にするために液剤少量散布装置（L-09 A）を基本にその仕

様変更, 改修等様々な部分改良が加えられて, 散布方法, 適用機種ごとに性能確認を得て現在の散布装置の方式が定められた。

(2) 散布飛行速度と薬剤の落下分散

薬剤散布に当たって有人ヘリと同様に回転翼機の吹き下ろし速度機能を有効に利用するため, 市川ら (1991) は, 畑作物のダイズを対象に R-50 を用いて飛行速度の違いが吹き下ろし速度, 薬剤の分散, 株の部位別付着にどのように影響するかを調べた。その結果, 飛行速度 10, 20 km/h におけるヘリ直下および飛行コースの左右両辺部 (高さ 170 cm 地点, 株直上および株内) における吹き下ろし速度はヘリの飛行速度に反比例して変化することを認めた。そして, 速度 20 km/h では DW による横方向の流れで株内部には到達し難いのに対して, 10 km/h では株内部に到達しやすいことを示し, ダイズのように上位葉が繁茂している作物でも薬剤の分散パターンは飛行速度の影響を受け, 飛行速度 20 km/h では「集中型」となるが, 10 km/h では「横拡がり型」となり株内部や葉裏への付着も期待できることを示すとともに, DW を有効に働かせるためには飛行速度を遅くすることが大切であることを指摘した。

2 無人ヘリによる農薬の散布濃度, 散布量, 付着量および防除効果

農薬の単位面積当たり投下量は地上散布と空中散布で同量であり, 空中散布は少量の高濃度液を均一に散布することで効果を上げている。しかし, 地上散布と比較した場合, 作物に対する薬剤の付着成分量は空中散布の方が多い傾向にあるにも関わらず, 必ずしも防除効果に結びつかないことがある。地上散布と空中散布では散布粒子径・濃度, 表面被覆率, 付着効率等で基本的に違いがある。これら違いによる付着状態が効果に影響しているのではないかと考えられた。そこで, 適正な散布方法を確立するため, 散布量と被覆面積率・付着量, 散布量・濃度と薬剤の付着状態および効果の関係について検討した。

中島 (1991~96) は, 散布方法の違いにより作物の部位別付着量は異なることを認めた。例えば, パレイショでの付着量は, 葉身・葉裏ともに地上散布より多い。しかし, ハクサイ等の葉裏では地上散布の 2/3, ダイズでは草冠部で地上散布の 2 倍であったのに対して, 莢で 1/5~1/6 程度であった。そこで散布量と付着量との関係について検討し, パレイショ等では両者間に関係は認められないが, ハクサイ等では散布液量と被覆面積率あるいは付着量とに間に正の相関を認めた。しかし, 既往の試験成績から散布量と防除効果の関係を取りまとめた

が, 両者に明瞭な関係は見いだせないとし, 散布液量の差は有効成分の付着量には影響しないが被覆面積率には関係していると考察した。一方, 橘ら (1993) は, 散布量を多くしてもカンキツの樹冠頂部や外周部の葉表・葉表面の顕著な付着性は向上しないが, 樹冠内部や葉裏等付着性の劣る部位では散布量が多いと明らかに防除効果が優ることを認めた。

3 無人ヘリによる病虫害防除の作業効率

① 水稻病虫害防除における作業効率: 無人ヘリ (R-50) の散布性能・飛行諸元からみて計算上では 6 分/ha の散布が可能である。臼井 (1989) は, 現地試験の結果を取りまとめ, 実際には薬剤の積み込み, 移動等の時間を要するため, 16 分/ha 程度であるとした。その後, 殺虫殺菌剤や除草剤散布において, 効率性や散布精度の高さが再確認された (三原, 1997)。

② その他作物の病虫害防除における作業効率: レタス等の野菜における作業効率は, 水稻と同程度であることが現地試験で認められていた。無人ヘリ稼働時間はダイズでは 1.2 分/10 a, アスパラガスでは 5.8 分/10 a であるとし, 水稻と比べて圃場規模が小さく, また圃場が分散しているため作業効率が悪く防除経費の増加が予想されるが, 作業の負荷軽減に有効であると考察している (神谷, 2000; 神谷・有賀, 2001)。カンキツでは, 作業環境が比較的好条件の緩傾斜地で実施し, 作業時間は手散布の 1/22, スピードスプレーヤー (SS) の 1/5, 合計時間は手散布の 1/10, SS の 1/3 で作業能率は極めて高く, 傾斜園地の作業性が劣る園地ではより優位性が発揮されるものと推察している (鈴木・栗山, 2000)。一方, 急傾斜園地において夏期防除を実施し, 防除時の所要時間は手散布の 1/29, 移動距離は 1/56, 心拍数は手散布区に比べて低く, 回復も早く, 快適な散布手段と見られ, 年間作業を無人ヘリ防除を 6 回組み入れて労働負担で比較した場合, 当然のことながら疲労度が非常に軽減され, 作業能率が高まることを認めている (池内ら, 2000)。

4 水稻用除草剤散布法の確立

除草剤の空中散布に当たり留意することは周辺作物等に対する影響である。そのため, 散布装置の開発と散布法の確立には細心の注意が払われた。

水稻湛水直播栽培における無人ヘリによる除草剤散布の現地適応試験の結果, 液剤の高濃度散布 (3, 4 l/10 a) は慣行散布に比べて除草効果が高く, 散布時間も短く (5~6 分) 適用の可能性を認めた。しかし実用化のためにはドリフトをより少なくする散布基準を確立して周辺の感受性の高い作物への被害防止を図る必要性が指

摘された（岡田ら，1994）。宮原ら（1995）は，ドリフトをより少なくするため R-50 用液剤散布装置（L 12-A）のノズルの大きさ等の改良によって，一定の改善効果を認めた。しかし，適用に当たっては周辺作物の種類と風向・風速に対応した距離の散布除外区域を設定し，実施することが必要であることを指摘した。一方，フロアブル剤散布のために液剤散布装置の噴霧部を除去した特殊装置による滴下法が開発された。小貫（1992）は，この装置を用いて畦畔から 10 m 離れた散布により，ドリフトがなく，除草効果が高く，実用性が高いことを認めた。また，斉藤（1993）は，同剤をこの滴下装置で散布し，所定の風速下であれば畦畔から 5 m 以上離れた位置から滴下すれば水田外へのドリフトはないと考えた。その後，この滴下法の実用性は現地試験の中で確認され，実用化された。

V 高性能無人ヘリ（RPH 2）の開発

従来の有人小型機の能力をさらに向上させた無人ヘリの機種を開発し，有人中型機との組み合わせで一体化した運用が航空防除の推進に必要と考えられ，散布資材の搭載量 60 kg 程度の高性能無人ヘリ（RPH 2）の開発とその散布システムの開発が同時並行して進められた。

1 RPH 2 の液剤（少量）散布飛行諸元および散布装置の開発と実用性評価

① 散布飛行諸元の策定および液剤（少量）散布装置の開発：仮飛行諸元の速度および高度を設定して試験した結果，飛行速度 30 km/h，飛行高度 5 m で液剤・少量散布ともに飛行間隔 10 m まで均一性を認め，この散布飛行諸元が適正であると判断した（中島・柳，1997；98）。そして，散布装置のポンプ形式はペーンポンプ，吐出方式はドライブームノズル方式，吐出量は 4～15 l/分，ブーム幅は 3.4 m とし，液剤少量（8 l/ha）および液剤散布（30 l/ha）を目的に設計・製作された RPH 2 用液剤（少量）散布装置と機体との適合性を確認した（中島，1998；柳・中島，1998），散布性能試験を実施した。

② 水稻病虫害防除における液剤・液剤少量散布の実用化：この改良散布システムを用いて，水稻における液剤少量散布の実用性評価試験を栃木県および新潟県で実施した。そして RPH 2 による液剤少量散布での防除効果は無人ヘリあるいは有人ヘリ散布とほぼ同等であることが確認された（栃木県植防協・防除所，1988；小野塚，1999）。また，液剤少量・液剤散布においても同等の効果を認めた（柳，1999）。茎葉における MEP 等の付着量は，RPH 2>R 50>地上散布の順で，玄米，稲

わらでは検出限界以下（中島・柳，1999），散布作業者に対しても散布飛行の基本操作を遵守すれば健康に好ましくない影響を及ぼすことはない量である（斉藤・中島，1998）ことを確認した。また作業性は，液剤少量散布において休憩時間を含めて能率的に作業を実施すれば 8 ha/時間であるが，オペレーターの習熟等によってさらに高まると推察した（斉藤ら，1998）。これらの試験調査結果を踏まえて，1999 年に水稻病虫害防除における液剤および液剤少量散布が実用化された。その後の作業性調査によると，作業時間に飛行時間の占める割合が 50%（液剤少量散布）～54%（液剤散布）であったが，実績を重ねることにより作業能率の向上が図れること（中島，1999），また事業レベルにおける液剤少量散布の作業量は 7.20 ha/h 程度であることが確認された（袖山，2000）。

③ 畑作物・野菜における実用化：1999 年度からダイズ・ムギ等の畑作物，パレイショ・キャベツ等野菜にも拡大し，病虫害防除試験，作物残留試験，作業性調査等を実施した。そして，所定の飛行諸元でパレイショ病虫害防除試験において，落下分散・付着状況は良好で，防除効果は地上散布と同等あるいはやや高く，薬害，散布風圧による損傷も認められないこと（今田ら，1998～00），オオムギ（埼玉県植防，2000）やダイズ（大庭・三浦，2000）においても落下分散はほぼ均一で，また比較的繁茂した株内の下位葉にも薬剤の付着を認め（柳ら，1998），散布は圃場状態（降雨直後の悪条件）に関係なく散布できること等の利点も挙げられた。一方，中島（2000）はパレイショ等で DW による倒伏が認められた。多くは回復するが，付傷による病害の誘発が懸念されたため，飛行高度を 5 m から 7 m にすることで倒伏は回避されるが，ホバリング（空中一時停止）や低速時の機体直下では避けられないので，飛行高度に注意が必要なことを指摘した。これらの結果を踏まえて，ムギ，ダイズ，パレイショ，ヤマノイモおよびキャベツの液剤散布に実用化された。

VI 今後の課題

有人・無人ヘリを利用した農薬散布に当たって回転翼機の特性である押し下げ気流の長所を生かし，一方では欠点である翼端渦流の影響を回避し，また防除効果や作業効率に影響を及ぼさずにドリフトを軽減するための散布方法の改善・装置の改良や製剤・助剤の利用等その概要について述べた。農薬等の化学物質と環境の問題は農業技術全体のバランスの中で考えなければならない課題であるが，できるだけ環境への影響を少なくするという

視点での空中散布技術の開発が求められている。農薬散布による環境への影響はほとんどがドリフトに起因する(守谷, 1998)と言われているようにその焦点はドリフト問題に絞られるため、空中散布を始めた当初から最重要課題として取り組んできた。ドリフト問題の難しさは、風向、風速・大気の安定性等気象条件が常に一定ではないことにある。散布高度と観測高度が異なることや大型化した有人ヘリの散布飛行試験のための試験地の確保が困難であることもその原因となっている。微量散布、液剤少量散布および液剤散布において、航空防除技術の目指すゴールは作物の病害虫・雑草による被害を効率的に防ぎ、かつ可能な限りドリフトをゼロに近づけることにある。

BIRD ら (1996) は、効果的なドリフト制御は気象条件(風速、大気の安定性)に関わる制限と併せてノズルおよび散布法の明確化が最善のアプローチであるとし、SDTF (1997) は、ドリフトレベルは、①十分な被覆面積と防除効果を満たすより大きなサイズの液滴の適用、②風向・風速に合わせた散布コースの調整、③散布高度の制御、④できるだけ短い実用的なブームの使用、⑤風速の弱い時の散布、によって最小限度にとどめることができると総括している。これらは飛行高度・速度を異にし、かつ DW をほとんど利用できない固定翼機における対策である。回転翼機は固定翼機に比べてより強い DW 機能を有しているため、これら 5 項目にプラスしてその機能利用を図ることが肝要である。

薬液の落下分散に関わる要因と得られた諸改善技術を取りまとめると図-4 のようになる。散布飛行の遵守事項を基本原則とし、現在でも実施可能な① DW を有効に働かせるための飛行高度・速度、②機種ごとの DW の特性と風向・風速を考慮した飛行方法、③短縮ブーム・カーテン散布や片側散布を取り入れた額縁散布、④水分蒸発防止助剤の利用、⑤無人ヘリによる額縁散布、⑥あるいはこれらの組み合わせによる散布方法、を実散布に当たって積極的に取り入れる方向での検討がまず必要である。その上で散布環境に応じた実用的なノズルの適宜交換、散布法・製剤の特性を考慮した選択等の採用や機種ごとの散布性能も視野に入れての検討も必要となるであろう。

現在、散布精度の向上(防除効果と散布区域外ドリフトの制御)を図るため、① GPS (Global Positioning System) を利用した機体位置・地形確認や風向・風速の察知による散布タイミングの制御、速度・高度に対応した吐出量制御を可能にする「精密散布制御システム」の開発、およびその散布飛行を正確に把握するための「飛行・散布記録システム」の実用化、②これらと発生予察や被害許容水準を組み合わせ、適期散布や散布量節減のための「精密散布技術の開発」等にも取り組んでいる。一方、一定サイズのより均一な適正粒子が得られれば、短縮ブーム等と併せて DW の有効利用によってドリフト問題は解決できる。分子膜を利用した製剤の開発や静電農薬散布技術等の周辺技術の開発にも期待した

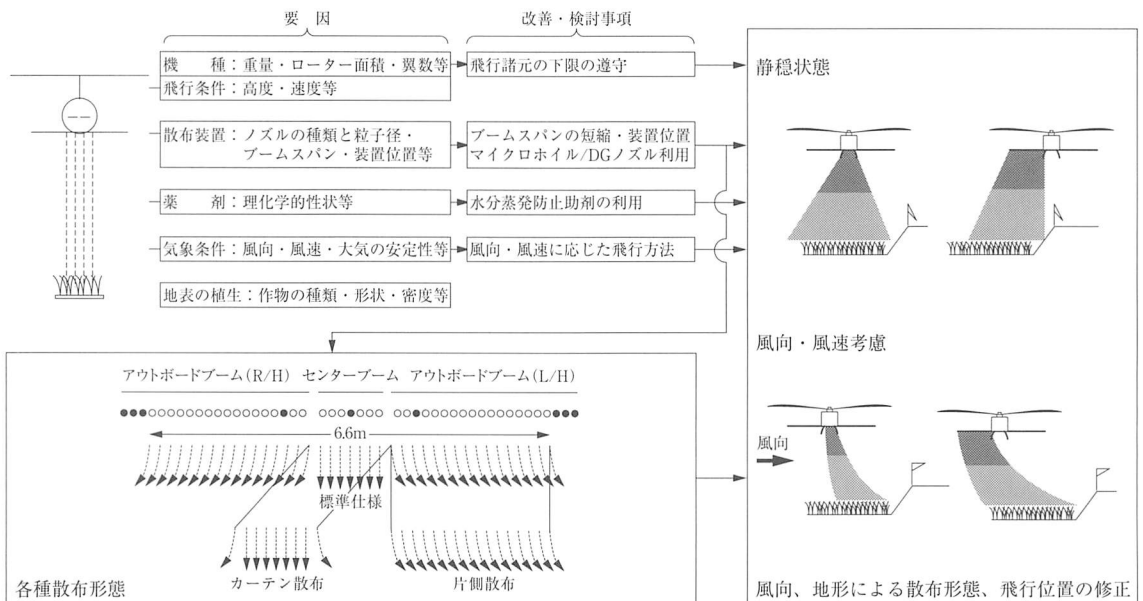


図-4 薬剤の落下分散およびドリフトに関わる要因とその制御

い。

お わ り に

航空防除は、水稻等広い分野での利用が期待され（遠藤・岸野，1965），米どころにおける作型安定に寄与してきた（井上，1987）。また，1993年におけるいもち病や最近における斑点米カメムシ類の多発に対して，一斉広域防除あるいは緊急追加防除でその効果と機動性が発揮されたことに見られるように，最も効率的な防除手段として広く認められている。今後も航空防除技術は生産性の維持・増進が求められている現状において，無人ヘリの利用とともに生産コストの低減化，担い手・労働力不足の補完を可能にする重要な技術として位置づけられていくに違いない。しかし，有害生物の総合防除体系の構築が思索されている現在，いかに空中散布技術が組み入れられるかは，効率性のみならず環境問題に配慮した精緻な散布技術および制御システムの確立にかかっている。また，今日の情報化社会において，空中散布の効果・効率性に対する認識を深め理解を得るためにも，これまで得られている環境負荷軽減対策を積極的に採用した上で，その程度はどのくらいか，その具体的な数値を把握し，その限界に挑戦していくことが，現場の切実なニーズに応えることと併せ，我々関係者に課された義務と考えている。

引 用 文 献

- 1) Akesson, N. B. & Yates, W. E. (1963): J. Royal Aero. Soc.

- 67: 760~767.
 2) BIRD, S. L. et al. (1996): J. Enviro. Quality. 25: 1095~1104.
 3) BROOKS, F. A. (1947): Agr. Engineering. 28: (6): 233~239.
 4) 遠藤武雄・岸野賢一 (1965): 植物防疫 19(10): 400~402.
 5) 福田伸一 (1991): 関東東山病害虫研究会年報 38: 269~271.
 6) 市川良平ら (1994): 日本農薬学会誌 19, S1~S9.
 7) 井上 尚 (1987): 今月の農業 31: 48~51.
 8) 三原 実 (1997): 農業機械学会誌 59: 136~140.
 9) MOORE, R. A. (1966): Third Int. Agric. Avi. Cong. p. 318~323.
 10) 守谷茂雄 (1998): 農薬散布技術, 日本植物防疫協会, 東京, p. 61~65.
 11) 中島 満 (1998): 農薬散布技術, 日本植物防疫協会, 東京, p. 253~268.
 12) Spray Drift Task Force (SDTF) (1997): A summary of aerial application studies. p. 1~12.
 13) 高沼重義ら (1991): 関東東山病害虫研究会年報 38: 137~139.
 14) 田中俊彦 (1968): 農林航空技術ハンドブック, 地球出版, 東京, p. 222~246.
 15) 戸崎紘一 (1998): 農薬散布技術, 日本植物防疫協会, 東京, p. 92~98.

参 考 資 料

山元四郎ら (1973~75) 及び袖山栄次 (2000): 農林水産航空事業新分野開発試験成績書, 昭和42~50, 及び平成12 農林水産航空協会, 東京.
 本郷武・斉藤浩一 (1989), 市川良平ら (1991), 池内温ら (2000), 今田伸二ら (1998~00), 岩田直記 (1989), 神谷勝己 (2000), 神谷勝己・有賀則夫 (2001), 小貫和裕 (1992), 宮原益次ら (1995), 中島満 (1987~88, 91~96, 98~00), 中島満・柳真一 (1997~99), 西野目文男 (1989), 尾田啓一 (1989), 岡田雄二ら (1994), 小野塚清 (1999), 大庭彦次・三浦善夫 (2000), 埼玉県植防 (2000), 斉藤武司 (1993), 斉藤武司ら (1978, 79, 98), 斉藤武司・中島満 (1998), 五月女淳 (1998), 鈴木富・栗山和直 (2000), 橘泰宣ら (1993), 高沼重義 (1989), 武下努ら (1986), 栃木県植防協・防除所 (1988), 白井恵治 (1989, 92, 96, 97), 山元四郎ら (1983~88), 柳真一 (1999), 柳真一・中島満 (1998), 柳真一ら (1998): 農林水産航空技術合理化試験成績書, 昭和51~平成13, 農林水産航空協会, 東京.

！当協会発行の年刊図書・資料！

農薬適用一覧表 2001 年版

—平成13年9月30日現在—

独立行政法人農薬検査所 監修

定価 13,650 円 (本体 13,000 円) 送料サービス

我が国で登録されている殺虫剤, 殺菌剤, 除草剤, 植物成長調整剤の適用作物 (適用病害虫)・目的等の一覧表。

農薬要覧 2001 年版

—平成12 農薬年度—

農林水産省生産局生産資材課・植物防疫課 監修

定価 7,560 円 (本体 7,200 円) 送料サービス

我が国で生産・出荷されている全農薬の数量・金額に関する統計資料。

農薬概説 第四版 2001 年版

—農薬取扱業者研修テキスト—

農林水産省生産局生産資材課・植物防疫課 監修

定価 1,890 円 (本体 1,800 円) 送料 310 円

植物防疫全国協議会 編集

農薬取扱者が知っておかなければならない事項を解説したテキスト。法律や基準などの詳しい解説を掲載。

お申し込みは直接当協会へ、前金（現金書留・郵便為替）で申し込むか、お近くの書店でお取り寄せ下さい。

社団法人 日本植物防疫協会 出版情報グループ 〒170-8484 東京都豊島区駒込1-43-11

郵便振替口座 00110-7-177867 TEL (03)3944-1561(代) FAX (03)3944-2103 メール: order@jppa.or.jp