

資料 2 に係る参考文献

- N. B. Akesson and W. E. Yates: Physical Parameters Relating to Pesticide Application, in Roberts, R.B. Pesticide Spray Application, Behavior, and Assessment: Workshop Proceedings.; USDA Forest Serv. Gen. Tech. Rep. PSW-15, 68p (1976). の抜粋データ ... 1
- 独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター; 平成 18 年度革新的農業技術習得研修 農業機械開発・実用化機種の特徴と活用上の留意点 研修テキスト 抜粋 (平成 18 年 11 月) 2

粒径分布 (累積%, 体積ベース)

粒径 μm	Fine aerosol	Coarse aerosol	Fine spray	Medium spray	Coarse spray	Very coarse spray
	微粒エアロゾル	粗粒エアロゾル	微粒スプレー	中粒スプレー	粗粒スプレー	粗大スプレー
1-5	5	0.1				
5-10	45	0.4	0.1			
11	50					
10-15	77	2				
15-20	97		2	0.1		
20-40	100	12		2	0.01	0.001
40-60		35	5			
60-80						
86		50				
80-100		59	15.8	6	0.1	
100-120						
120-140					0.4	0.1
130			50			
140-180		100				
180-200			81	17	3	
200-220						
220-240					7	5
240-260						
260-280						
280-300			100	46	14	
278				50		
300-350					24	
350-400					36	
400-450					46	
460					50	
450-500				92	55	
500-600					74	25
600-700					88	
700-800					96	
900						50
800-1000				100	100	100

下線: VMD (volume median diameter)

Table 2 Drop size distribution of aerosols and sprays, cumulative percent by volumeより引用

液滴の最終または定常状態落下速度 (Ft/s)

粒径 μm	落下速度 (Ft/s)	0.3m 落下時間
1	0.00001	2.5時間
5	0.00025	1.1時間
10	0.001	16分
20	0.004	4.2分
50	0.25	4秒
70	0.4	2.5秒
100	0.9	1.1秒
150	1.5	0.7秒
200	2.5	0.4秒
300	3.8	0.3秒
500	7	0.1秒
1500	13	0.08秒
2000	21	0.05秒
5000	30	0.03秒

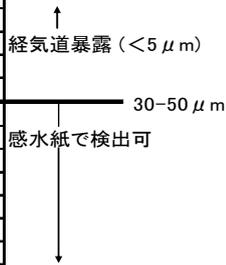


Table 6 Terminal velocities of water drops in still air and numbers per given volume in relation to unit area and air volume. を改変作表

ドリフト低減型ノズルの活用上のポイント

独立行政法人 農業・食品産業技術総合研究機構
生物系特定産業技術研究支援センター
生産システム研究部（特別研究チーム「ドリフト」）

はじめに

2002（平成14）年の無登録農薬使用問題や農作物の安全性確保等、近年の社会情勢を踏まえて、農薬取締法と食品衛生法が翌2003（平成15）年改正され、これに伴い、農薬の安全かつ適正な使用の徹底（使用者への罰則の強化等）とともに、ドリフト（農薬飛散）の防止と周辺環境への配慮が強く求められることとなった。特に、改正された食品衛生法では、使用可能な全農薬成分について全ての農作物に対する残留基準値が設定される制度（いわゆる、ポジティブリスト制）がまさに本年5月29日に導入されたところである。同制度では、ある食品について、国内外において残留基準値が設定されていない農薬成分には0.01ppmという非常に低い基準値、いわゆる一律基準が適用されている。また、残留基準値を超過する農薬成分が検出された農作物には、出荷や流通の停止措置がとられることになる。

これまでのドリフトに関する実態調査結果等からは、ドリフトに起因する他作物への農薬残留が一律基準である0.01ppmを超過する可能性を完全には否定できないことが示唆されている。このため、農業現場においては、ドリフトによる近接作物への農薬残留基準値超過の発生と、その結果として出荷停止などの経済的危被害等が発生するのではとの懸念が高まっている。このため、農薬及び防除機に関係する公的機関を中心に、ドリフトの現状把握とその防止対策に関する調査及び試験研究が精力的に進められている。

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構生物系特定産業技術研究支援センター（生研センター）においては、これまでの防除機に関する研究開発の蓄積を活かしつつ、農薬関連の公的機関及び防除機メーカー等と連携をとりつつ、ドリフト防止対策関連の技術開発や試験研究を精力的に進めている。そこで、ドリフトに関する問題点やその発生要因について整理するとともに、現在各方面において取り組まれているドリフト防止対策とこれに関わる様々な研究開発の動向等について紹介するとともに、昨年度生研センターが開発したドリフト低減型ノズルを活用したドリフトに配慮した散布技術について紹介する。

1. 農薬散布時のドリフトが問題となる背景

1) 「ドリフト」とは何か？

農薬は、微細な粒子として散布され、作物に付着することで作用する。ここで、農薬粒子が散布された状態で風が作用する時、粒子が風に乗る、散布された位置から遙かに離れた場所にまで到達することがある。このとき、本来付着すべき作物が存在する場所（散布対象ほ場）外に浮遊、あるいは、飛散してしまう現象を「ドリフト（drift）」と呼んでいる。ドリフトには、①ほ場外に飛散した農薬が落下（散布対象外のものに付着）すること（直接的ドリフト）、②大気中への拡散及び蒸散、③土壌中への浸透など多様な現象を含むものである。ただし、今回

の食品残留基準におけるポジティブリスト制で問題となるのは、隣接ほ場の他作物等にドリフトした農薬が付着するもの、すなわち、「直接的ドリフト」である。

2) 「ドリフト」の問題点

農薬散布時のドリフトが問題とされる点を列記してみると、以下のとおりと考えられる。

- (1) 環境負荷の増加要因：散布対象となるほ場外にドリフトした場合には、ドリフトした農薬が投下された範囲においては、いわゆる環境負荷が増大することになる。
- (2) 薬害の発生要因：散布対象ほ場外に農薬がドリフトし、そこに対象外の作物が存在した場合には、条件によっては生育障害などの薬害を生ずる恐れがある。
- (3) 法的な問題又は懸念：
 - ・近隣居住地域や公共施設へのドリフト（「農薬取締法」で防止遵守義務）
 - ・収穫物への農薬残留（登録外の作物での検出、残留基準値超過の懸念）
（いわゆる「ポジティブリスト制（食品衛生法に基づく）」に関係）
 - ・公共用水域の農薬混入（各種水質基準超過、水産動植物に対する危被害の懸念）
- (4) 散布技術上の問題
 - ・農薬散布時の資材、コスト、エネルギー及び労力等のロス（損失）である。
 - ・散布作業者が農薬被曝を被る要因になる。

2. 農薬散布時のドリフト発生要因

農薬散布は、農薬成分を含んだ微粒子を散布対象作物に対して散布し、作物体表面に付着させることである。ここで、散布された農薬粒子は作物に到達するまでの間に作物とは異なる方向へ飛行する作用を受けた場合にドリフトが生じることになる。

ドリフト発生要因としては、①散布時の薬剤粒子径（剤型、ノズルの形状、散布量等も影響）、②散布高度（ノズルの取付高さ）、③風速、④ブーム長さ、⑤粒子の「やせ細り（蒸散）」、⑥散布液の物理性（粘弾性、表面張力）、⑦散布速度（ノズルの取付角度、空気せん断）等の項目が挙げられている^{1,2)}。その中で特に①～③が影響度の大きな要因と評価されている。これら複数の要因の中には人為的に制御することは難しいものがあるため、農薬散布においてドリフトは避けられない現象といえる。

3. ドリフト発生の実態

図1の写真に示すとおり、大型散布機であるブームスプレーヤ、スピードスプレーヤのみならず、手持ちノズルを用いた散布作業時においても、ある程度のドリフトがごく普通に発生していることが示唆される。



キャベツ(200L/10a)

わい化リンゴ(400L/10a)

ミカン(400L/10a)

図1 農薬散布作業の例（ ）内は推定散布量

ここで、実際の農薬散布時のドリフトを調査した事例を見ると、これまでに表1のような調査結果が示されており、特に、スピードスプレーヤのように広範囲かつ高能率な散布機でのドリフト発生のリスクが高いことが確認されている。

表1 農薬散布時のドリフトの実態調査例^{注1)}

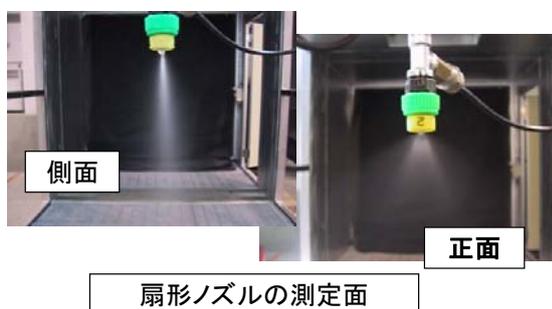
散布機の種類・条件		距離別ドリフト率(%) ^{注2)}					
		5m	10m	20m	30m	40m	50m
ブームスプレーヤ	95パーセンタイル・ワースト値	1.44	0.40	0.09	-	-	-
	50パーセンタイル値	0.08	0.03	0.01	-	-	-
スピードスプレーヤ	95パーセンタイル・ワースト値	15.67	6.32	1.33	0.57	0.29	0.16
	50パーセンタイル値	1.07	0.39	0.13	0.05	0.02	0.02

- 注1) 環境省による委託調査結果⁴⁾より。実際の農地よりもドリフトしやすい条件も含まれる。
 2) ドリフト率: 単位面積当たり理論散布量に対する各距離での単位面積当たり落下量割合
 3) 風下側のみ解析対象。平均風速が4m/s超の事例は除く。
 4) スピードスプレーヤの40m及び50mの50パーセンタイル値は推定値。

ここで、ドリフト発生の第1の要因は「粒子径」とされていることから、国産ブームスプレーヤのノズルの噴霧粒径（体積中位径、Volume Median Diameter、VMD）を見ると、60~90 μ m程度、噴霧中の50 μ m以下粒子の体積割合は50%（100 μ m以下は90%）程度である。



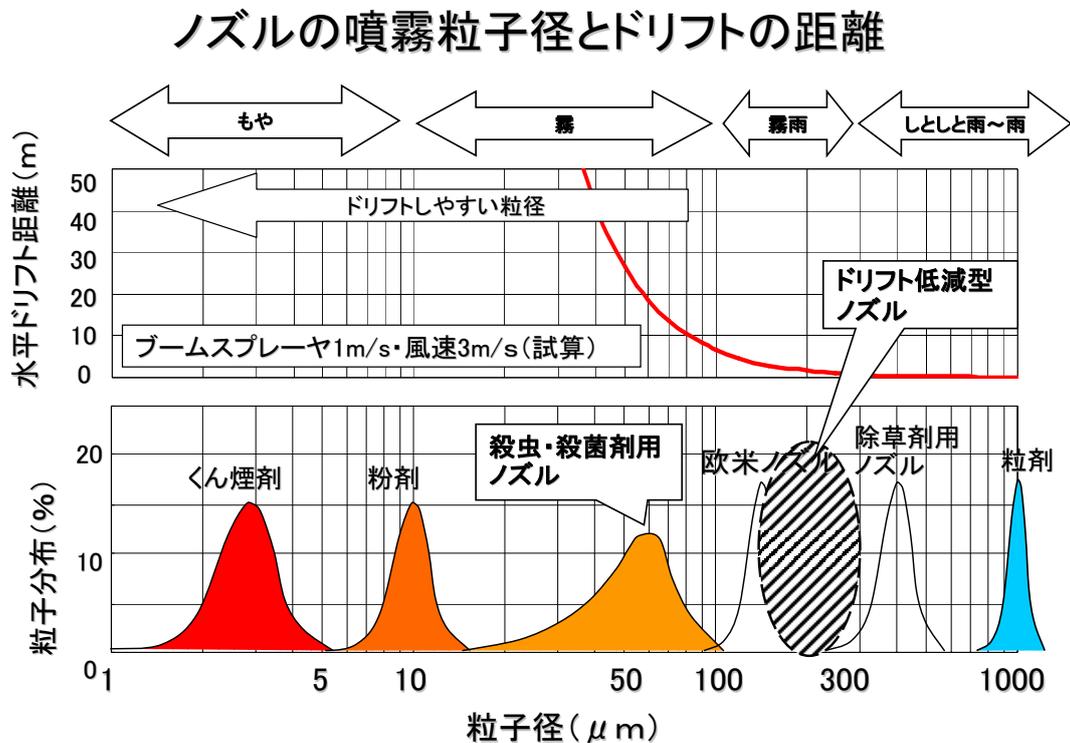
国産及び欧米ノズルの測定例



種類(パターン)	噴霧圧力 (MPa)	噴霧量 (L/min)	測定高さ (cm)	噴霧粒径・分布 (側面測定)	
				VMD (μ m)	100 μ m以下体積割合(%)
慣行(扇形)	1.0~2.0	1.1~1.6	30	60~90	60~85
慣行(中空円錐形)	1.0~2.0	0.8~1.2		70~90	65~80
米国一般型(扇形)	0.2~0.5	0.3~0.5		110~130	30~40
米国ドリフト低減(扇形)	0.2~0.5	0.5~0.7		150~220	10~25

図2 国産慣行及び欧米製ノズルの噴霧粒径測定例

ここで、慣行ノズルの主体である $100\mu\text{m}$ 以下の噴霧粒子は、図3に示すように、ゆうに 10m 以上のドリフトを発生する危険がある。また、スピードスプレーヤーでは粒径 $90\sim 100\mu\text{m}$ 程度とブーム用よりは大きな粒径の粒子が噴霧されるノズルが慣行に用いられているが、噴霧を機体に装備した大型送風機で放射状に拡散して散布する機構をもつため、ブームスプレーヤー以上にドリフト発生の懸念は大きい。



Institute of Agricultural Machinery / BRAIN / NARO

図3 ノズルの噴霧粒子径とドリフトの距離

4. ドリフト防止対策への取り組み状況

1) 「地上防除ドリフト対策マニュアル（（社）日本植物防疫協会編）」について

農薬取締法改正により従来以上のドリフト防止対策が必要との情勢から、平成15年5月、農薬及び防除機に関係する公的機関及びメーカーが連携して「ドリフト対策連絡協議会」が発足し、その活動の結果、同年7月ドリフトの実態把握とその防止対策の必要性を啓発、周知する目的で、「農薬散布時のドリフト防止対策ガイドンス」がとりまとめられた。

その後さらに、ポジティブリスト制導入が明示され、本格的な防止対策が不可欠となったことを受け、平成16年から国の補助事業が開始され、これを受けた(社)日本植物防疫協会（日植防）が防除機メーカーを含む検討チームを編成し、全農、公立試験研究機関及び生研センター等の関係機関と連携しつつ、ドリフト防止及び低減に向けた調査及び試験研究を実施してきた。

そこで得られた知見をもとに、平成17年12月には「地上防除ドリフト対策マニュアル（以下、マニュアル）」がとりまとめられた¹⁾。今後、ドリフト防止対策の基本的な事項は、同マニュアルを指針に考慮されるものと考えられる。

2) ドリフト防止の対策例（「地上防除ドリフト対策マニュアル」より）

前記のマニュアルに、現時点で考え得る対策の多くが記されており、詳細はここで記述できないが、日植防のホームページからはマニュアルの全編が閲覧可能である¹⁾。

ここでは、マニュアルから、基本的な事項と主に防除機に関する対策を幾つか抜粋して列記する。

(1) ドリフトの危険性の認識

農薬散布作業は常にドリフトの危険性（リスク）があること、また、ポジティブリスト制の実施以降、ドリフトが近接する別作物への農薬残留要因となるリスクも高いことを認識する必要がある。近接作物への農薬残留試験の結果を見ると、作業者が目視で判断できない僅かなドリフトも条件によっては問題となり得る残留値を示す可能性がある。したがって、散布作業時に噴霧のドリフトが容易に目視で観察される状況では、即刻対策が必要と考えてよい。

2種類の葉菜類におけるドリフト程度別の作物残留

ドリフトの程度	チンゲンサイ				キャベツ	
	A農薬		B農薬		A農薬	B農薬
	1日後	7日後	1日後	7日後	1日後	1日後
多	0.47	0.06	1.95	1.23	0.08	0.24
少	0.02	<0.01	0.09	0.04	<0.01	0.01
極少	<0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01

- 日植防研（2005）：単位ppm
- ゆるやかな気流のもとでA剤とB剤を混用散布
- 風下側の同一距離に2種類の作物と感水紙を設置して調査。
- B剤の有効成分量はA剤の4倍



図4 ドリフトによる農薬の作物残留程度

(2) 対策の要否の判断

現場のドリフト発生リスクを検討し、対策の要否を的確に判断することが必要である。散布機器や作業方法は固定しても、ほ場、作物及び気象条件等は時間経過とともに流動的であるため、散布作業毎に判断する必要がある。

(3) 近接作物の農薬残留リスク

ドリフトにより近接作物に農薬が付着し、さらにこれが残留するリスクは、①使用農薬の近接作物への基準値設定状況、②近接作物のタイプと収穫時期（農薬成分の残留リスクが変動）、に影響を受ける（図5）。つまり、使用農薬の残留基準値が低い、軽量で可食部位に農薬が付着しやすい、散布直後に収穫される等の条件が重なるほど高くなる。逆にこれらの条件が成立しないほど、残留リスクが低くなる。したがって、リスクの度合いに応じた防止対策を講ずるのが効率的である。



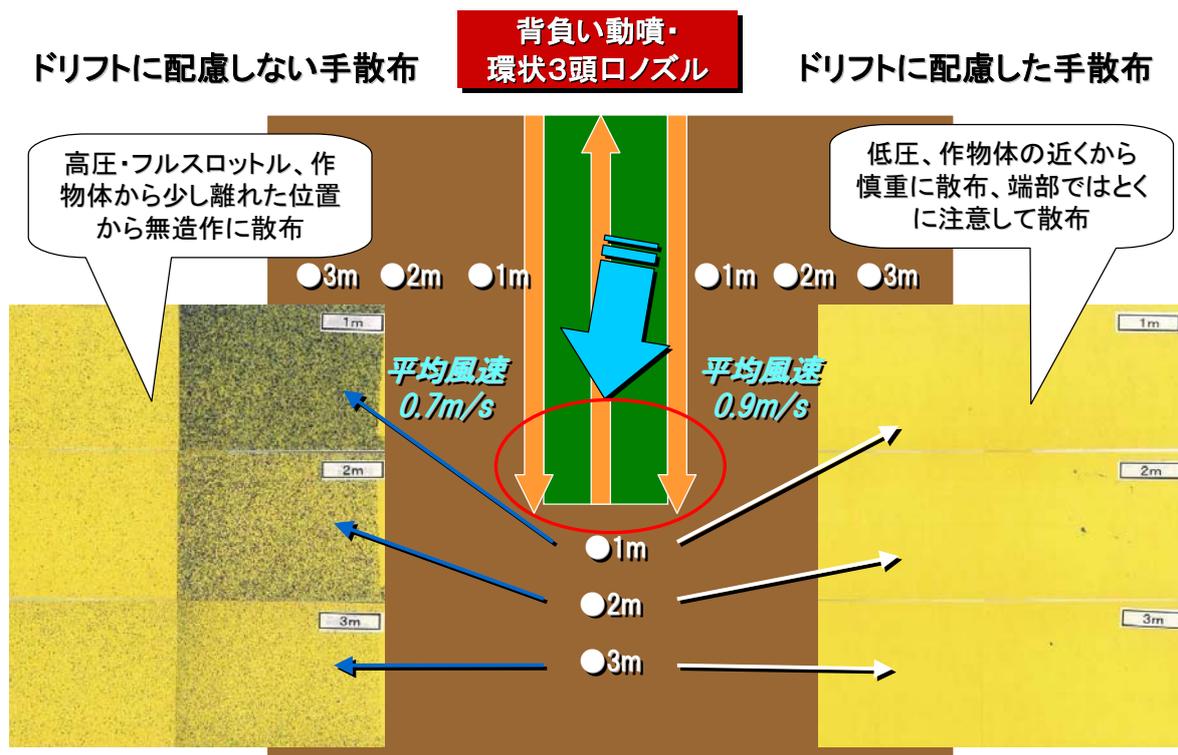
(社)日本植物防疫協会資料より

図5 作物のタイプによる農薬残留リスク

(4) 基本的な対策と補完的な対策

ドリフト防止対策は、基本的な対策と補完的な対策に分けて考えられる。

基本的な対策とは、散布作業時に、ドリフトを防止あるいは低減する効果の高い方法、機器の操作等を励行することである。すなわち、①風速、風向、②散布方向や位置、③適切な機器操作（適正圧力）、④適正な散布量、⑤薬液タンクやホース等の散布機器の洗浄等への配慮した散布方法を実施することである。前記のマニュアルにも示されているが、図6にその一例を示すように、上記の基本的なドリフト低減対策を徹底して実施することにより、ドリフトによる近接作物へ農薬残留リスクは大きく低下することになる。



(社)日本植物防疫協会資料より

図6 基本的散布操作の励行によるドリフト低減事例

また、積極的にドリフトしにくい噴霧を発生するノズル、あるいは、ドリフトを抑制する機能を有した散布機を採用することも基本的な対策の延長にある。これは、後述する「ドリフト低減ノズル」等が該当する。ただし、冒頭でも述べたように、以上のような基本的な対策は、ドリフトのリスクを低減はできるが、農薬の散布という技術の特性上、ドリフトの完全な排除は本来困難なものである。したがって、散布自体に係わる技術ではないが、ドリフトを低減するために補完的な対策を講じることも有効な場合が多い。

ここで、補完的対策の例としては、①近接作物栽培者等との連携、②緩衝地帯の設置、③遮蔽物（例えば、植物、ネット等）を利用、④ドリフトしにくい、あるいは、残留基準値が問題となりにくい農薬（例えば、粒径やその散布方法等からドリフトが少ないとされる粒剤等）の利用、⑤ドリフトのリスクが少ない散布法、あるいは農薬散布以外の防除手段の活用、さらには、総合的病害虫管理（いわゆる、IPM）の導入等があげられる。

5. ドリフト低減ノズル

ドリフトの発生要因から見て、ドリフト低減に最も効果的と考えられるのは、ドリフトしにくい粒径の噴霧粒子（すなわち粗大粒子）を生成するノズルを使用することである。そこで、生研センターでは、防除機及びノズルメーカーと共同で、慣行ノズルに比べてドリフトし難い噴霧粒子を多く発生するノズルを開発した。その特徴は以下のとおりである。

1) 主な仕様：開発ノズル（I及びII型の2種類）の仕様を表2に示す。両ノズルの常用圧力、

噴霧量、取付部管用ねじ等の仕様は慣行ノズルと同等であり、既存の国産ブームスプレーヤーに装着して、慣行と同等の作業方法及び能率での作業が可能である（表2、図7）。

表2 開発ノズルの主な仕様

種類(噴板呼称)	I型(φ0.8)	II型(φ0.8)	参考:慣行(φ1.3)
装着可能散布機	トラクタまたは乗用管理機搭載式ブームスプレーヤー (ノズル取り付け間隔:30cm)		
装着部の規格(管用ネジ)	SW13.8またはW20		W20
噴霧形状	扇形		中空円錐形
噴霧角 (度)	70	100	80
噴霧生成方式	空気非混入	空気混入	空気非混入
噴霧圧力(常用) (MPa)	1.0~2.0		同左
噴霧量(常用) (L/min)	1.0~1.4	0.9~1.3	0.8~1.2
粒径(体積中位径:VMD) (μm)	110~180	240~330	60~80
100 μm以下粒子体積割合 (%)	20~45	5~15	65~90
散布量(適応範囲) (L/10a)	75(作業速度0.7m/s)~200(同0.3m/s)		同左



Institute of Agricultural Machinery / BRAIN / NARO

図7 開発したドリフト低減型ノズルによる噴霧状況

- 2) 噴霧粒径: I型は、噴霧平均粒径が慣行の約2倍(100 μm以下粒子体積割合は1/2~1/3)、II型は、粒径が慣行の3~4倍(100 μm以下粒子体積割合は1/4~1/10)であり、いずれもドリフト低減効果を発揮する仕様(表2)。
- 3) ドリフト低減効果: ほ場境界から距離3~20mの調査区に設置した感水紙への付着液斑を目視判別による指数(液斑被覆面積率に対応した0~10の11段階、生研センター作成標準付

着度指標に準拠)の合計で比較した場合、I型は慣行に比べて約1/2(キャベツ、散布量150L/10a、作業方向に対して追風2m/sの場合)に、II型は、慣行に比べて約1/5(水稻、散布量100L/10a、作業方向に対して横風4m/sの場合)にドリフトを抑制することが可能である(図8)。

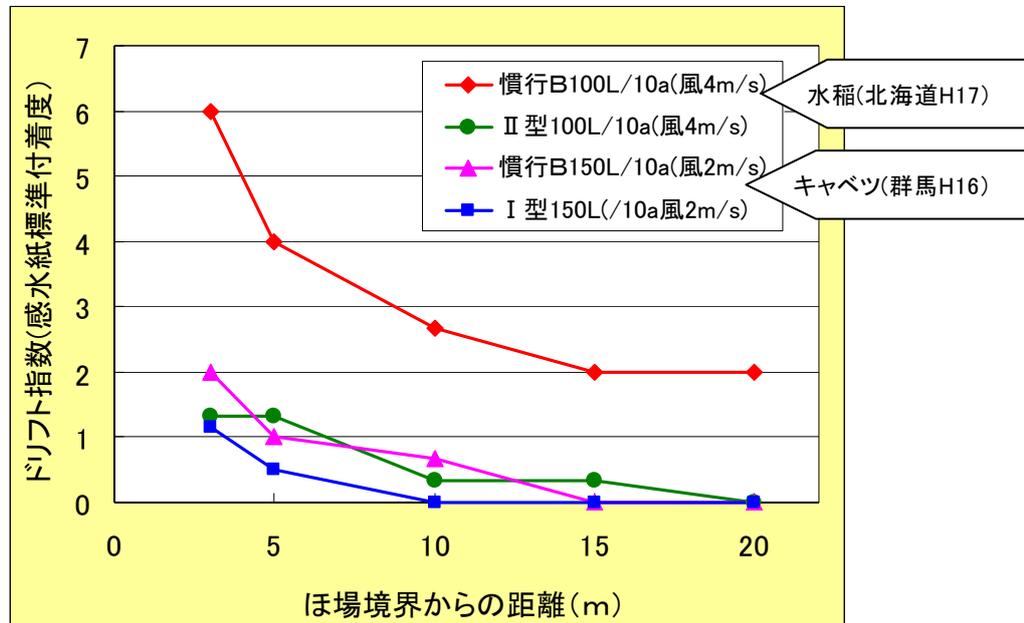


図8 開発ノズルのドリフト低減効果(薬液付着度指数を用いた比較)

4) 開発ノズルは、キャベツの防除効果試験において、慣行と同じ方法(農薬の種類、希釈濃度、散布量)で使用した場合の実用性が確認されており(表3)、対象作物及び病害虫が類似し、散布方法等が同等であれば、ほぼ同様の効果が期待できる。

表3 キャベツ害虫防除効果試験結果^{注)}

ノズル	散布量(L/10a)	食害度 ²⁾	防除効果	
			防除価 ³⁾	対比
I型	200	1.7	54	90
II型	200	1.8	52	87
慣行	200	1.5	60	100
無散布	—	3.8	0	0

注1) 群馬高冷地野菜研究センター(群馬県嬬恋村)
品種: 岳陽、防除対象: コナガ、タマネギウワバ
調査日: H17.9.8(収穫時)

2) 食害度(群馬県)

0: 食害なし、1: 外葉に食害あり

2: 結球葉から2枚目の外葉に食害あり

3: 結球葉から1枚目の外葉に食害あり

4: 結球部に食害あり

3) 防除価: 「食害なし」を100とした指数

5) 利用上のメリットと留意点

これら開発ノズルのうち、II型については、本年5月末のポジティブリスト制施行を踏まえ、農家レベルでの積極的なドリフト防止対策に寄与できると判断されたことから、実用化され、本年3月初旬よりノズルメーカー及び主要防除機メーカーより市販されている。

さらにこれらのノズル以外に、現在、手散布用あるいはスピードスプレーヤ等に装着するノズルがメーカー各社から市販されている。それらは、従来から市販されていた各種ノズルの中

からドリフト低減効果が高く、慣行防除に利用可能な製品、あるいは、メーカー各社がこれまでに独自開発した製品等である。これらは、適切な使用条件下で使用する場合には、従来に比べてドリフト発生リスクを低減することが可能である。

しかしながら、いずれのノズルも、ドリフト発生が避けられない微細な粒子を多少は含んでおり、特に、強風条件下、あるいは、微風下であっても散布地点から至近距離に別ほ場や作物がある場合等でのドリフトを完全に抑制することは困難である。また、これらドリフト低減ノズルは粗大粒子の噴霧であり、微細粒子の多い慣行ノズルよりも作物細部等への付着が劣る場合があり、対象作物、病害虫及び農薬の種類等の条件によっては防除効果が劣る場合も想定される。したがって、基本的には、散布における基本的注意事項を遵守することを優先しながら、現場の目的に応じて最適な種類の製品を適宜選択して利用することが重要である。

なお、スピードスプレーヤについては、ブームスプレーヤ以上にドリフト発生の懸念が大きく、一層のドリフト低減技術が強く求められていることから、生研センターでは、防除機及びノズルメーカーと共同して、ドリフトを低減しつつ、高精度の散布が可能となる「果樹用農薬飛散制御型防除機」の研究開発を現在進めているところである。

おわりに

以上、十分な配慮と対策を徹底することにより、ドリフト発生リスクは大きく低減することが可能であることを述べてきた。これまでに各方面で行われてきたドリフト防止あるいは低減への対策が実を結び、一刻も早く、農業生産現場における懸念が払拭されることが望まれる。

しかしながら、ドリフトは、気象、散布機、ほ場、作物あるいは農薬の種類など、複雑な要因が絡む現象であり、その発生自体を皆無にすることが困難なことも事実である。また、農業現場では、経営規模拡大が進み、農薬散布作業においても高能率化が求められている。そこでは、散布機の大型化、高速化、あるいは、作業幅の拡大等が検討されている。ドリフト発生要因から見て、それらの方向は明らかにドリフト発生リスクが高まる恐れがあり、ドリフト防止対策の強化が不可欠である。しかし、現時点でそれらに対応したドリフト防止・抑止技術は十分とは言い難い。したがって、今後もドリフト現象の科学的な解明やこれを防止あるいは回避する技術の研究開発を積み重ねていくことが必要である。

しかしながら、一方では、今回のドリフト問題を契機として、農業生産における安全と安心の保証、あるいは、環境への配慮といった面を重視した新たな防除技術への転換が推進されることに大いに期待するものである。

【参考文献】

- 1) 日本植物防疫協会「農薬散布技術」HP：<http://www.jppn.ne.jp/jpp/public/sanp.html>
・「地上防除ドリフト対策マニュアル」：<http://www.jppa.or.jp/doriftmanual.pdf>
- 2) 斎藤武司：施用法（航空防除等）からの農薬環境負荷軽減対策、22回シンポジウム講要、p.41-63、2002（平14）、農薬製剤・施用法委員会（日本農薬学会）
- 3) 独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構 生物系特定産業技術研究支援センターのホームページ：<http://brain.naro.affrc.go.jp/iam/>
・「農薬散布時のドリフトを大幅に低減するブームスプレーヤ用ノズル」：
http://brain.naro.affrc.go.jp/iam/Urgent/iam_upro127.htm