

水田における田面水の流れと水稻除草剤のジャンボ剤およびFG剤の拡散に及ぼす風の影響

徐 錫元*・木村 祐介**

Effects of winds on flowing of water in the paddy rice fields and on diffusion of throw-in type granule pack (Jumbo) and self-dispersible floating granules (FG) formulations of rice herbicides

Seok Weon Seo* and Yusuke Kimura**

要約：水田における田面水の流れとジャンボ剤や自己拡散型浮遊粒剤（FG剤）の拡散に及ぼす風の影響について調査した。田面水は風の影響を受け風上から風下に流れる。その流れは、中央部よりも畦畔沿いで緩やかであった。畦畔沿いでは、田面水は横への広がり妨げられ畦畔に接しながら畦畔沿いを風下に流れて行く。田面水の流速は風が強いほど速かった。風速が3.5~6.4 m / 秒の時、風下畦畔岸中央部での流速は0.5~1 m / 秒であったと推定できた。1 ha 規模大区画水田において、ジャンボ剤やFG剤は風上から散布したものは風下側に崩壊しながら流れていくが、風下側から散布したものは散布後の暫くの間、大部分は風下側で崩壊し滞留した。このため、散布2時間後、風下側の田面水中の有効成分濃度は風上側よりも高かった。戸外では常に風が吹いており、ジャンボ剤やFG剤は風下に流れるため、これらを水田内に均等に散布するしないに関わらず、散布後の初期（散布2時間後）では、有効成分は均一には拡散していない。その後、いずれも24~96時間の間に濃度は均一になる。均一散布でない風上1辺畦畔散布も実用的な省力散布方法である。

キーワード：水稻除草剤, 風向, 田面水の流れ, ジャンボ剤, 自己拡散型浮遊粒剤 (FG剤)
rice herbicide wind direction flow of paddy water throw-in type granule pack (Jumbo) formulation self-dispersible floating granules (FG) formulation

緒 言

戸外では、風向や風速の異なる風が常に吹いている。田面水は、風の影響を受け水田内を風上から風下に流れる。これに従い、水田に散布された自己拡散型製剤のジャンボ剤やフロアブル剤、自己拡散型浮遊粒剤（以下、FG剤）も風上から風下に流れていく（徐ら2020, 2021, 2022, 2023a）。

しかし、水田内の田面水の流れる速度は、全てどこも

が均一ではなく、風上畦畔下やその付近では無風・微風状態で、田面水の流れは緩慢である（徐ら2023b）。これは、水面より高い畦畔が壁となって風上からの風を遮るためである。

このように田面水の流れは風の影響を受けているのに対し、ジャンボ剤の散布は従来から水田内に均等に散布するとされている（小川2013）。本報では、水田中央部と水田周縁畦畔沿いの田面水の流れと、ジャンボ剤およびFG剤の拡散に及ぼす風の影響について調査した。

*元協友アグリ株式会社 **協友アグリ株式会社

〒103-0016 東京都中央区日本橋小網町6番1号山万ビル11F seoseokweon30@gmail.com

Kyoyu Agri. Co., Ltd. : Yamaman Bldg.11F., 6-1 Koami-chou, Nihonbashi, Chuo-ku, Tokyo, 103-0016 Japan

実験方法

1. 水田内の田面水の流れに及ぼす風向の影響

第1実験 水田に対して風が斜めに吹いている時の田面水の流れ

実験は2023年5月5日(代掻き後)に、千葉県柏市の21a(長辺97×短辺22m)の長方形水田で行った(第1図、第2図)。水深は6~8cmであった。田面水の流れの観察は、4辺の畦畔から行った。

本実験および以下の一部の実験では、田面水の流速を測定したが、これは田面水の動きを撮影したタイマー付きの動画を基に、田面水が流れた一定の距離とそれに要した時間から算出したものである。

第2実験 水田に対して風が真っすぐに吹いている時の田面水の流れ

実験は2020年6月3日(移植5日後)に、石川県白山市内の30a(長辺100×短辺30m)の長方形水田で行った(第3図)。水深は6~10cmであった。

2. ジャンボ剤・FG剤とその有効成分の拡散に及ぼす風向の影響

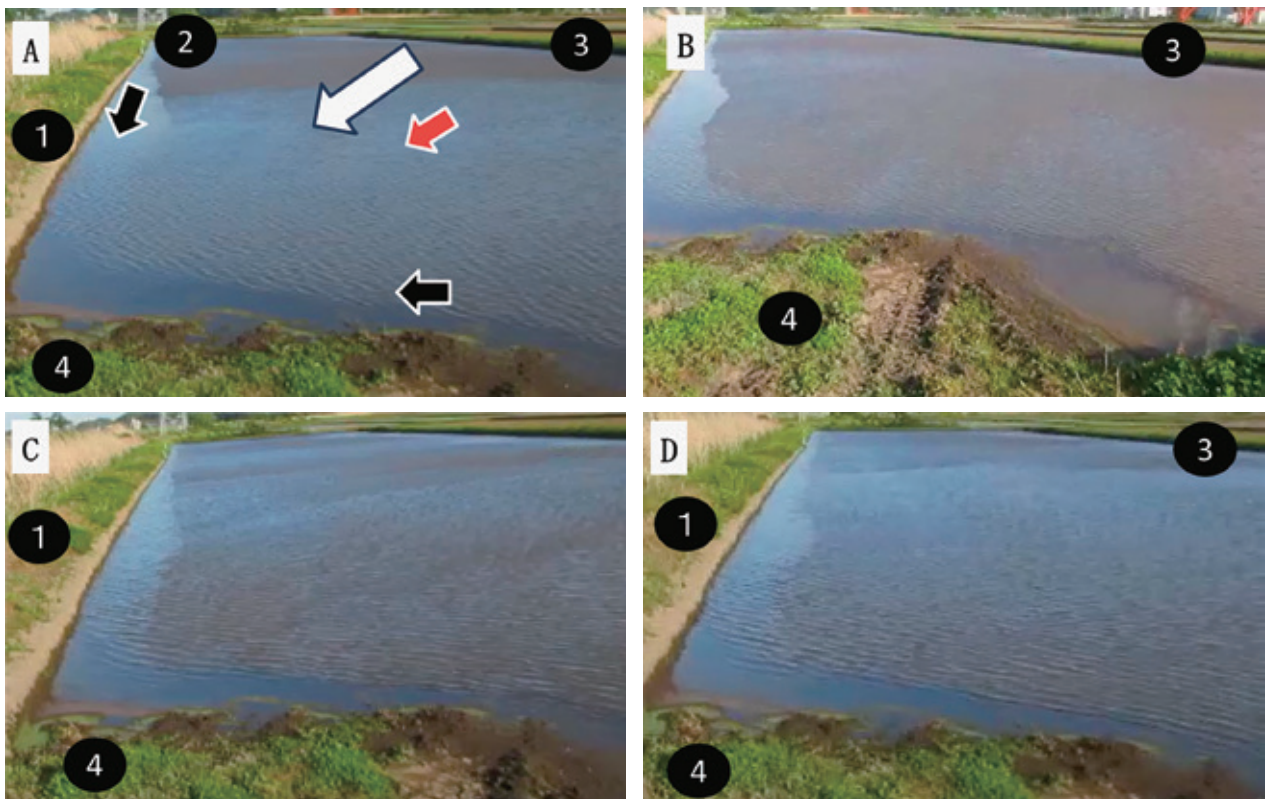
以下の実験では、ピラクロニル(有効成分含有率5.0%)・プロピリスルフロンの(同2.25%)・プロモブチド(同

22.5%)粒剤(以下、PPB剤)のジャンボ剤とFG剤を供した。両方とも同一の自己拡散型浮遊粒(FG)を基にしたものである。FG剤はFGをそのまま製品としたものであり、ジャンボ剤はこれを40gずつ水溶性フィルムパックに包装したものである(協友アグリ株式会社、徐2021)。薬量は両方とも400g/10aであるが、ジャンボ剤は10パック/10aである。水田の形状および耕種概要は第1表に、薬剤散布条件については第2表に示した。

第3実験 1ha規模大区画水田において向かい合う長辺の風上と風下畦畔からジャンボ剤を半量ずつ均等に散布した場合

1). ジャンボ剤の拡散観察

散布は2020年5月29日(移植13日後)に富山県下新川郡朝日町にある0.92ha(長辺161×短辺57m)の長方形水田で行った(第4図、第5図)。必要パック92個を風上と風下となる2本の長辺畦畔を歩行しながら46個ずつをほぼ等間隔に畦畔から4m以上先に散布した。この散布のための畦畔歩行距離は全水田周縁畦畔の約74%であった。散布時の水深は8~10cmであった。散布後、ジャンボ剤の拡散状況を観察し、また散布2時間後に以下の方法で田面水を採取し各有効成分濃度を測定した。



第1図 水田に対して風が斜めに吹いている時の田面水の流れ(千葉県柏市, 2023年5月5日)

注1)第1図と第2図は同一水田である。

注2)Aを基準として、BはAの4秒後、Cは26秒後、Dは33秒後の様子。

注3)図中の数字は、各々畦畔を示す(以下同様である)。1と3は長辺、2と4は短辺畦畔。また、図中の白矢印は風向、赤矢印は水田中央部での田面水の流れ、黒矢印は畦畔付近での田面水の流れの方向を示す(以下同様である)。

第1表 第3実験および第4実験における供試水田の形状および耕種概要

実験 番号	剤型	散布方法 ¹⁾	試験 年度	試験水田場所	栽培方法	圃場形状			品種名	使用苗	代掻日	移植日	減水深 (cm/日)	除草剤体系処理の有無		
						形	短辺 (m)	長辺 (m)						面積 (ha)	処理日	薬剤名 ²⁾
3	ジャンボ剤	風上と風下長辺畦畔か らの散布	2020	富山県 下新川郡朝日町	移植栽培	長方形	57	161	0.92	コシヒカリ	稚苗	5月13 日	5月16 日	<1	5月16 日	シクロスル ファミロン (0.4%)・プレ チラクロール (4.0%)粒剤
4 ³⁾	FG剤	風上長辺1辺畦畔散布	2020	富山県 下新川郡朝日町	移植栽培	長方形	70	139	0.97	てんこもり	稚苗	5月20 日	5月22 日	1	5月23 日	

1) 散布を行う畦畔位置は第5図と第6図に示した。

2) 括弧内は有効成分含有率。

3) 実験番号4は、前報(徐ら2022)の試験番号7と同一試験である。

第2表 第3実験および第4実験における供試薬剤、散布方法ならびに散布条件

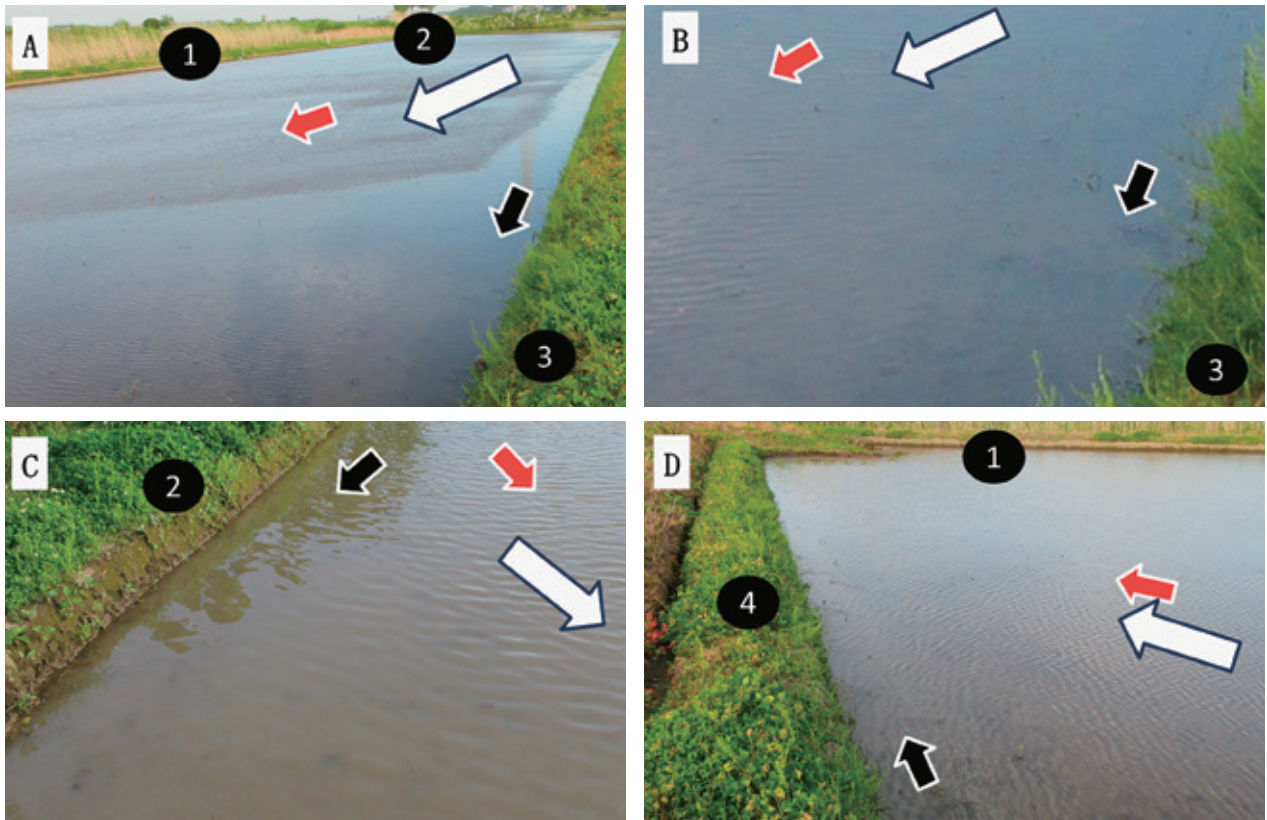
実験 番号	薬剤名 ¹⁾	剤型	散布方法 ²⁾	散布薬量 (kg) ³⁾	散布日	散布時の 雑草発生状況	散布時の藻類等 浮遊物発生状況	散布時の状況		
								散布時の 湛水深 (cm)	散布開始後2時 間の10分間平均 風速(m/秒) ⁴⁾	散布開始後2 時間の風向 ⁴⁾
3	ピラクロニル (5.0%)・プロ ピリスルフロン (2.25%)・プロモプ チド(22.5%)粒剤	ジャンボ剤	風上と風下長辺畦畔か らの散布	3.68	5月29 日	発生初期 (ホタルイ1葉期)	風下畦畔側に泡・藻類等が1 ～5m幅で広がり淀んでいる	8～10	2.6～4.4	北～北北東
4		FG剤	風上長辺1辺畦畔散布	3.88	5月29 日	発生前	無	6～10	3.2～5.2	北～北北東

1) 括弧内は有効成分含有率(%)。

2) 散布を行う畦畔位置は第5図と第6図に示した。

3) 散布薬量は400g/10a。

4) 気象庁AMEDASの当該市での観測値。



第2図 第1図の4辺畦畔沿いでの田面水の流れ(千葉県柏市, 2023年5月5日)

注) 第1図とはほぼ同時刻での観察。A～Dは畦畔②③④の畦畔沿いでの田面水の流れを示している。

2). 有効成分の田面水中濃度調査

2-1) 田面水の採取

有効成分の拡散性を明らかにするため、田面水を散布2時間後に採取した。採取は前報(徐ら2020, 2022)に従い、畦畔から3m内側の内周がなす四角形を縦横に各々2等分してできた四角形の頂点9地点で(第5図)、田面と水面のほぼ中央部から田面水約200mLをガラス瓶に採取し、冷蔵保存し分析に供した。分析は有効成分であるピラクロニル、プロピリスルフロンおよびプロモブチドの3成分について行った。

2-2) 有効成分の田面水中濃度の分析

採取した田面水5mLに同量のアセトニトリルを加え5分間超音波処理した。得られた溶液を孔径0.45 μ mのメンブレンフィルターでろ過したものを分析試料とした。分析は高速液体クロマトグラフにより行なった。カラムはYMC-Pack ODS-AM12S05-1506WT(粒子径5 μ m, 内径6mm, 長さ150mm), 移動相はアセトニトリル/メタノール/0.1%リン酸水溶液=10/45/45(V/V/V), 流量は1.0mL/min, カラム温度は40 $^{\circ}$ C, 波長は230nm, 注入量は500 μ Lであった。定量範囲は0.02~10mg/Lで、0.02mg/L以下のものについては定量範囲外であった。

2-3) 水稻に対する薬害の有無と除草効果

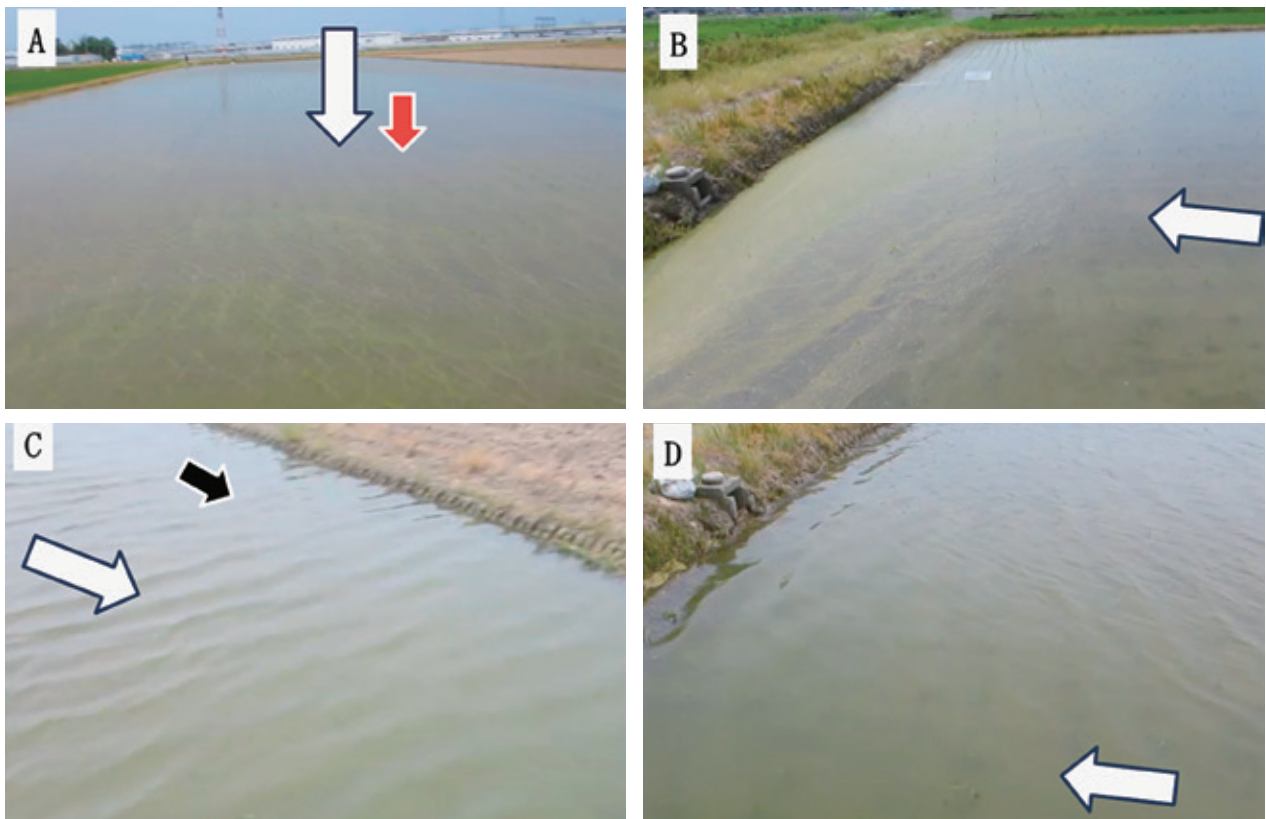
散布20日後に圃場を1周しながら達観により水稻への薬害調査を行った。また、散布50日後に前報(徐ら2022)の方法により除草効果を調査した。

第4実験 1ha規模大区画水田において長辺の風上1辺畦畔からFG剤を散布した時のFG剤の拡散

本実験は前報(徐ら2022)の試験番号7として行った実験で、水稻への薬害・除草効果については前報で報告した。本報では未発表の有効成分の拡散について報告する。

散布は2020年に富山県下新川郡朝日町にある0.97ha(長辺139 \times 短辺70m)の水田で行った。FG剤の散布方法は、風上長辺1辺畦畔散布(徐ら2020, 2022)であった。散布に必要なFG剤3.88kgを、風上長辺1辺畦畔を歩きながらハンドスコップを用いて2, 3m以上先の水田内に向けて散布した(第6図)。この散布のための畦畔歩行距離は全水田周縁畦畔の約33%であった。散布時の水深は6~10cmであった。

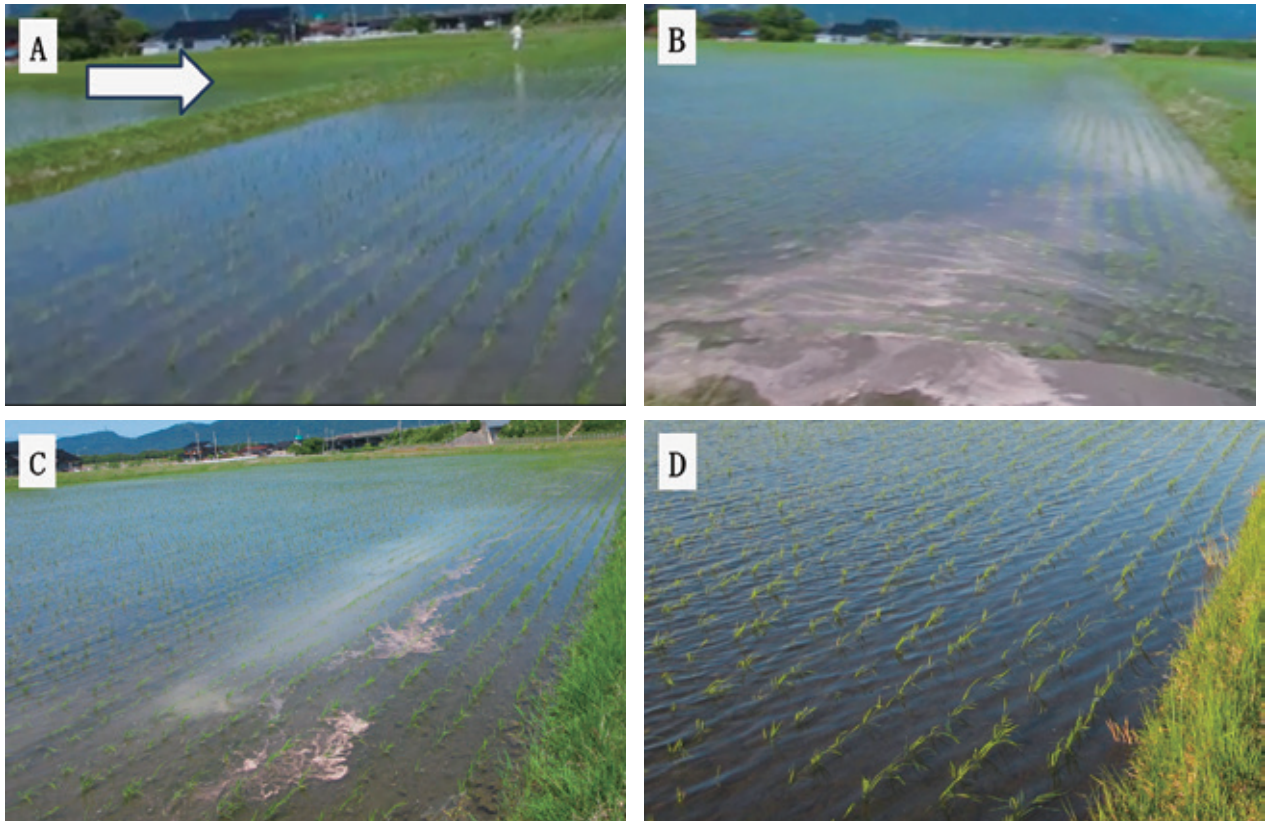
散布後、FG剤の拡散を観察した。また、散布2時間後に第3実験と同様な方法で田面水を採取し各有効成分の濃度を測定した。



第3図 水田に対して真正面に風が吹く時の田面水の流れ(石川県白山市, 2020年6月3日)

注1) A: 風下側から見た水田全景(9時30分), B: 風下畦畔側に広がる藻類(9時30分), C: 畦畔沿いを風上から風下に流れる田面水(12時30分), D: 風下畦畔岸に流れる波(12時30分)。

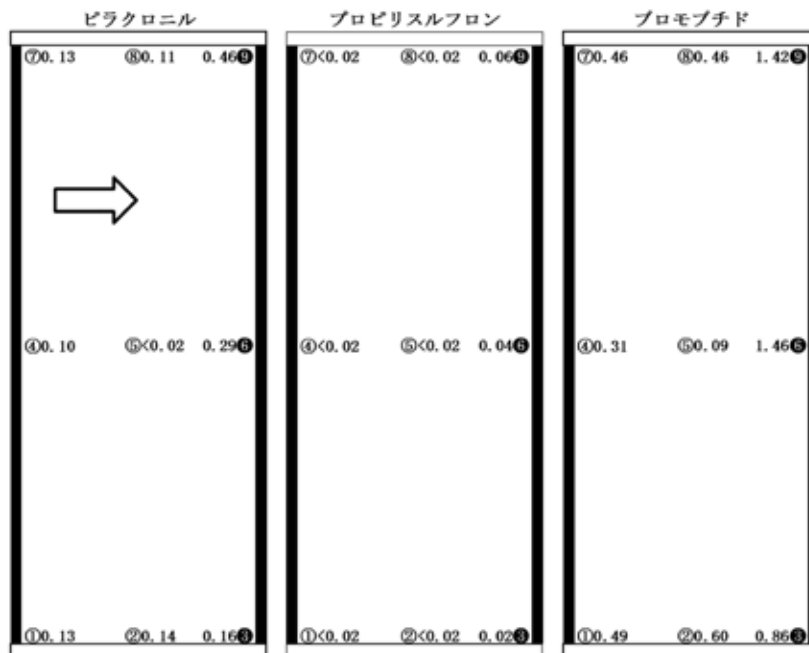
注2) 白矢印: 風向, 赤矢印: 圃場中央部での田面水の流れの方向, 黒矢印: 畦畔沿いでの田面水の流れ。



第4図 風上と風下長辺畦畔から均等に散布されたジャンボ剤の水中での拡散(富山県朝日町, 2020年5月29日)

注1) 2人の散布者によって同時に風上と風下畦畔から散布が行われた。

注2) A：風上畦畔からのジャンボ剤散布後の風上畦畔側の様子(散布開始1分後)。B～D：風下畦畔から散布されたジャンボ剤の拡散。Bは風下畦畔からの散布2分後、Cは同30分後、Dは同4時間後。

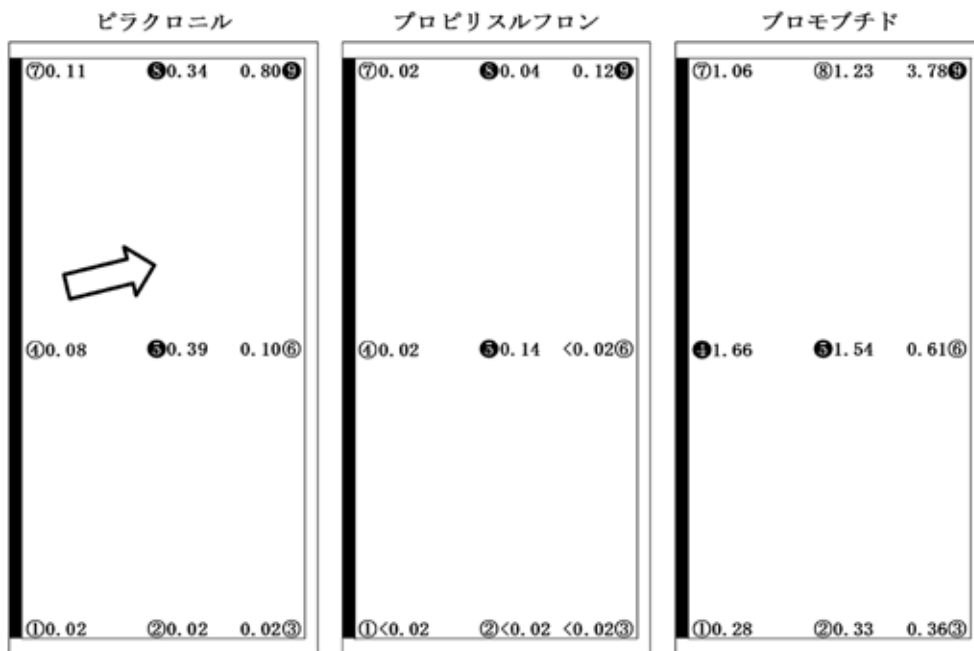


第5図 風上と風下の長辺1辺畦畔から均等にジャンボ剤を散布した時の散布2時間後の田面水中有効成分濃度 (mg/L)

注) ■は散布を行った風上畦畔部位(左側)と風下畦畔部位(右側)。□は散布を行わなかった畦畔部位。

①～⑨は水田内での採水位置。各成分とも白抜き数字は濃度の上位3地点。

図中の矢印はジャンボ剤散布時の風向を示す。



第6図 風上長辺1辺畦畔からのFG剤散布2時間後の田面水中有効成分濃度 (mg/L)

注) ■FG剤の投げ込みを行った風上畦畔部位, □投げ込みを行わない畦畔部位。

①~⑨圃場内での採水位置。各成分とも白抜き数字は濃度の上位3地点。

図中の矢印はFG剤散布時の風向を示す。

結果および考察

1. 水田内の田面水の流れに及ぼす風向の影響

第1実験 水田に対して風が斜めに吹いている場合

観察時、戸外では風の音が聞こえ、砂ほこりが舞い、樹木の枝葉が大きく揺れ、帽子が飛ぶ程の強い風が吹いていた。隣接市の我孫子におけるアメダス (AMeDAS) の観測データによると、観察時の風速は6.1~7.7m/秒(10分間ごと)で、最大瞬間風速は12.4~14.9mであった(気象庁)。これらのことから、本観察は、最大瞬間風速が14m前後と推定される強風下での田面水の動きであったと考えられる。第1図に水田の風下短辺畦畔から見た水田全体の風向と田面水の流れを、また、第2図に同水田の4辺の畦畔付近での田面水の流れを示した。いずれも図中の数字は4辺の畦畔の位置、白矢印は風向、赤矢印は水田中央部での田面水の流れる方向、黒矢印は畦畔沿いの田面水の流れる方向を示している(以下、同様)。風は水田に対して斜めに風上から風下に向かって吹き瞬間的に強まったり弱まったりした。風向より、水田を囲む4辺の畦畔の中、L字形に隣接する2辺の②③は風上畦畔、①④は風下畦畔であった。

田面水は、水田中央部では風の方向と同じく斜めに風上から風下に流れていた(第1図、第2図)。観察時、風が強まったり弱まったりし、それに伴い波の動きも異なった。第1図Aは、風がやや弱まった時の田面水の状態で、波は水田中央部で一時緩まった状態であった。

この時、風が急に強まり4秒後には同Bのように、波は風下の短辺畦畔岸まで約50m程の距離を流れた。このことは、瞬間的に、田面水は10m/秒以上の速さで風上から風下に流れたことになる。その後、瞬間的な風の変化により風上から風下への田面水の流速は変化し(同C・D)、風が強くなると波の動きは速くなり田面水が濃くなった。また、弱くなると、波は途中で緩まり田面水は淡くなった。

4辺の畦畔から1~2m程度の畦畔沿い(以下、畦畔沿い)では、田面水は横への広がりが妨げられ畦畔に接しながら、風上の②③が接する角を境として左右に、②の畦畔沿いの流れは①の畦畔角方向に(第2図A・C)、また①の畦畔沿いの流れは④の畦畔角方向に流れていた(第1図A~D)。一方、③の畦畔沿いの流れは④の畦畔角方向に(第2図A・B)、また④の畦畔沿いの流れは①の畦畔角方向に流れ(第1図A、第2図D)、両者が合流する①と④の角で水田中央を風上から風下に斜めに流れてきた流れ(赤矢印)と混ざり合った(第1図A)。なお、第1図に示した④の畦畔角部分は、畦畔④の端で本田に突き出した長さ2m、幅2m程の農道から本田に通じる乗り降り部分である。

4辺の畦畔沿いは、水田中央部と比較し流れが緩やかで色が淡かった。その中、特に風上の②③の畦畔沿いの流れは顕著で、水の動きが無いようにも見える部分もあった(第2図A~C)。これは、水面より高い畦畔が壁となって風上からの風を遮り畦畔下や畦畔付近を無風

または微風状態とするためである（徐ら 2023b）。また、風下畦畔沿いでは、風上からの横に広がろうとする田面水の流れを風下畦畔が阻むため、流れはやや緩まると考えられる（第1図A~D）。

第2実験 水田に対して風が真っすぐに吹いている場合

観察時、風は畦畔のナギナタガヤが揺れる程度で、帽子が飛ぶ程ではなく、水面には小波が見られた。観察を行った3時間（9時半~12時半）の隣接市の金沢市でのアメダスの平均風速（10分間ごと）は3.5~6.4 m/秒、また最大瞬間風速は5.5~9.7 m/秒であった（気象庁）。風は短辺風上畦畔から真正面（真向い）の短辺風下畦畔に向けてほぼ真っすぐに吹いていた。田面水は風向と同じく風下畦畔に向かってほぼ真っすぐに流れ、波も風下畦畔岸に向かって流れた（第3図A~D）。その中、同Aは観察開始時（9時30分）の風下畦畔から見た水田全景で、同Bは風下畦畔側を横から見た様子である。風上側から風下側に藻類が浮遊し流れていたが、その後、これらは時間の経過に従い風下畦畔岸に吹き寄せられ3時間後には消えて見えなくなった（第3図D）。また、田面水は風下畦畔岸で行き止まりとなるが、風下畦畔岸では1秒間に2~3個の波が次から次へと行き当たり上下左右に跳ね返され砕けて畦畔岸前で田面水は混ざり合った（第3図D）。このことは、田面水は理論的には1分間に120~180回、畦畔岸に行き当たり畦畔岸前で混ざり合っていたことになる。風下畦畔岸前で、このように田面水が混ざり合うことにより、畦畔岸に到達した藻類は田面水に混ざり見えなくなり、また、後述のジャンボ剤の有効成分は分散・拡散し濃度が均一になっていくと考えられる。なお、風下畦畔岸中央部手前から畦畔岸まで1m間の波の到達時間は1~2秒で、田面水の流速は0.5~1m/秒であったと推定できた。

2. ジャンボ剤・FG剤の拡散に及ぼす風向の影響

第3実験 1ha規模大区画水田における向かい合う長辺の風上と風下畦畔からジャンボ剤を半量ずつ均等に散布した時のジャンボ剤と有効成分の拡散

1) ジャンボ剤の拡散

アメダスによる朝日町での散布開始から4時間後までの風速（10分間ごと）は2.6~5.2m/秒で（気象庁）、風向は北・北北東・北東でほぼ同一方向であった。風上から散布したジャンボ剤のバックは破れると、中のFGは風下畦畔に向かって流れ、風上畦畔側の水中ではFGの組成成分の集積は見られず澄んでいた（第4図A）。一方、風下側畦畔から散布したバックは、向かい風や、風上畦畔沿いに吹き寄せられた泡や藻の影響で、前方の風上側への前進が大きく阻まれた（第4図B）。このためバックが破れFGが崩壊した後も可視可能な褐色系の浮力剤や白色系の増量剤等の組成成分は風下畦畔側に広く滞留し田面水は白濁した。この状態は散布30分後でも見られ

た（第4図C）。これらの中には、風上畦畔側から散布されたジャンボ剤由来の風下畦畔側に流れてきた組成成分も含まれていたと考えられる。これらは、時間の経過に伴い風下畦畔岸まで徐々に吹き寄せられ拡散していき、散布4時間後の観察では田面水は澄み白濁は見られなくなり（第4図D）、組成成分の一部が畦畔際で見られた程度であった。なお、風下畦畔付近の田面には、ジャンボ剤の拡散不良によって十分に拡散できずに田面に沈下した白色系の増量剤等（徐 2023）が見られた。

2) 有効成分の拡散

散布2時間後の採水9地点での有効成分の濃度を第5図に示した。3成分とも水田内に拡散し各地点から検出され、いずれも同様な傾向を示した。ピラクロニルを例に水田を縦方向にみると、濃度は風上畦畔側①④⑦で0.10~0.13mg/L、中央部②⑤⑧で0.02以下~0.14mg/L、風下畦畔側③⑥⑨で0.16~0.46mg/Lと、風下畦畔側は風上畦畔側や中央部よりも濃度が高く、有効成分は風下畦畔側に偏っていた。本剤のピラクロニル含有率は5%であるので（協友アグリ株式会社）、湛水深が10cmの時にピラクロニルが水中に均一に拡散したと仮定した時の理論濃度は0.2mg/Lである。従って、これらの濃度は風上畦畔側では理論濃度の0.5~0.65倍、中央部で<0.1~0.7倍、風下畦畔側で0.8~2.3倍であった。これらのことは、散布後の初期の段階では、ジャンボ剤の組成成分の拡散は風の影響を強く受けており、風上畦畔から散布されたものは風下側に流れていくのに対し、風下畦畔から散布されたものは風上への拡散が妨げられ風下畦畔側に滞留し、有効成分濃度が他よりも高いことを示唆している。

本剤中の有効成分中、ノビエに対する除草効果はピラクロニル由来である（牛口ら 2014）。本試験と同じPPB剤のFG剤やフロアブル剤を散布し、散布48~96時間後に水田各地点から採取した田面水に催芽タイムピエ種子を浸漬したバイオアッセイ試験では、ピラクロニル濃度が0.08mg/L（FG剤、徐ら 2022）、または0.03mg/L（フロアブル剤、徐ら 2021）で催芽種子は枯死した。本試験での散布2時間後のピラクロニル濃度は、採水地点⑤を除き他の8地点で0.10mg/L以上であったことから、散布2時間後の田面水中の有効成分濃度は均一ではないが、水田内の隅々までノビエ催芽種子を枯殺する濃度にはほぼ達していたと考えられる。

3) 葉害の有無と除草効果

達観調査により、水稻への葉害は見られなかった。また、除草効果は高くその後の追加防除は不要であった（第3表）。

第4実験 1ha規模大区画水田における長辺の風上1辺畦畔からFG剤を散布した時のFG剤と有効成分の拡散

散布開始後2時間の風速は3.2~5.2m/秒、風向は北~

北北東ではほぼ同一方向であった。FG 剤散布後、FG 剤は主として風下側に向かって流れ消波域が広がっていき散布 30 分後、2 時間後、対岸岸には組成成分の浮力剤や増量剤の到達が視認できた(徐ら 2022)。

散布 2 時間後に採水した 9 地点での有効成分濃度を第 6 図に示した。3 成分とも水田内に拡散し各地点から検出されが、採取地点間での濃度差が大きく水田内に均一に拡散していなかった。各有効成分は成分によってやや異なるが、水田を縦方向から見ると、概ね 3 成分とも濃度は風上畦畔側で低く、風下畦畔側③⑥⑨≒中央条②⑤⑧>風上畦畔側①④⑦の順で高かった。このことは、有効成分は風上から水田中央・風下側に流れ集積したと考えられる。特に採水地点⑨は 3 成分とも最も高かった点については、田面水が風下畦畔角の地点⑨方向に流れ有効成分が集積したためと考えられる。

前述したように、本剤を散布した田面水のタイヌビエ促芽種子枯殺濃度は 0.08mg/L (FG 剤, 徐ら 2022), または 0.03mg/L (フロアブル剤, 徐ら 2021) である。本試験での散布 2 時間後のピラクロニル濃度は、採水 9 地点の中、6 地点で 0.08mg/L 以上、3 地点で < 0.02mg/L であった。このことから、散布 2 時間後の田面水中の有効成分濃度は均一ではないが、水田の 2 / 3 の地点でタイヌビエ促芽種子を枯殺、また 1 / 3 の地点で生長阻害する濃度に達していたと考えられる。

なお、本実験では前報(徐ら 2022)で報告した通り、水稻に対する薬害は見られず、また高い除草効果が得られた(第 3 表)。

第 3 表 第 3 実験および第 4 実験における除草効果と水稻への薬害の有無

実験番号	除草効果 (残草本数・本/m ²)				水稻への薬害の有無
	ノビエ	ホタルイ類	他	合計	
3	0.01	0.04	0	0.05	無
4 ¹⁾	0	0.2	0	0.2	無

1) 前報(徐ら 2022)の試験番号 7 の結果。

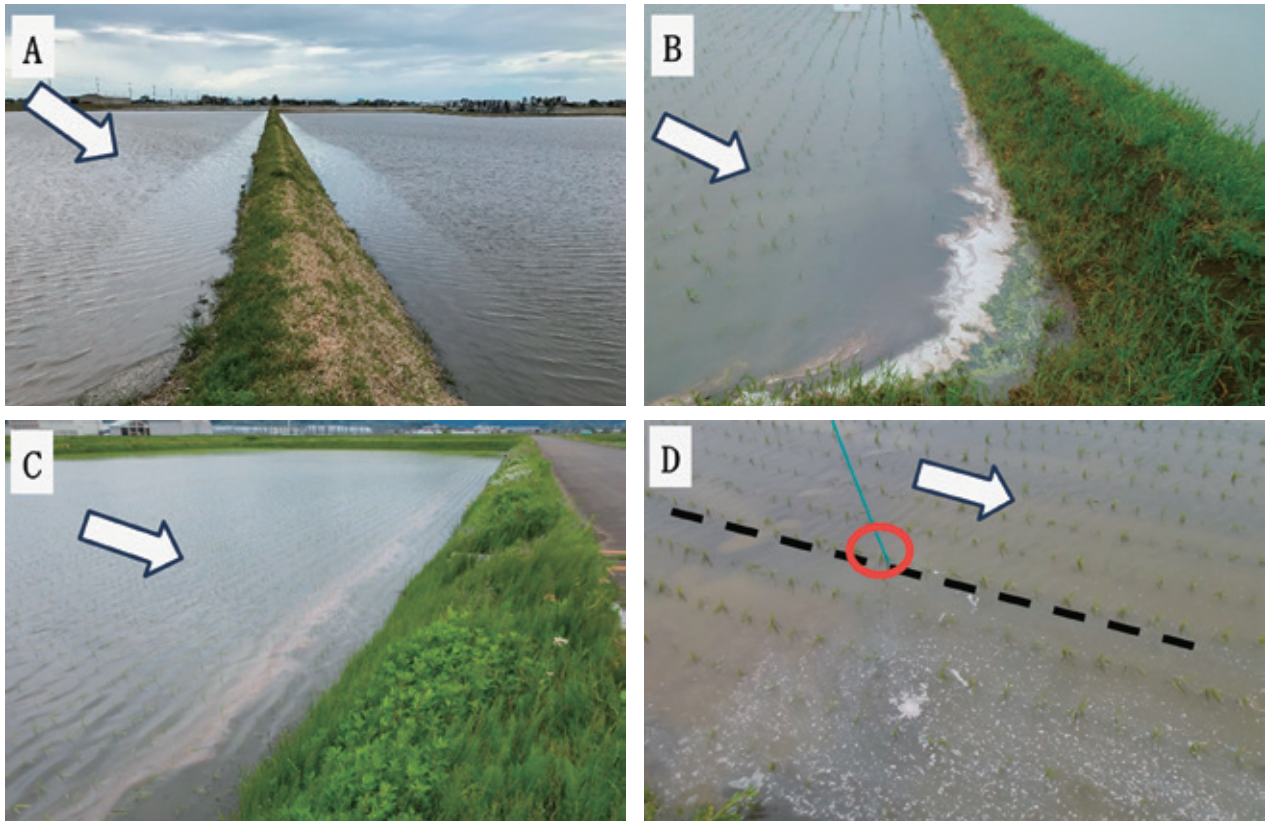
総合考察

水田は四方を畦畔・溝畔・農道等で囲まれ、野外では常に風が吹き風向や風速が変化している。このため、水田は風向によって風の受け方が異なり、風は正面・背面から、また、横から、さらには斜めから吹く。これに従い、田面水の流れも水田内を、正面に、横に、更には斜めにと変化している。しかし、1 筆の水田であっても場所により田面水の流速は異なり、畦畔沿いは水田中央部よりも緩かった。特に風上畦畔沿いは顕著で、水面より高い畦畔が風を遮るために田面水の動きが緩く畦畔沿いを風

下側に流れて行くが、流れが非常に緩く止まっているように見えることもある(徐ら 2023b)。一方、風下畦畔沿いでは、横に広がろうとする流れを畦畔が阻むため流れはやや緩くなり畦畔沿いを風下側に流れていく。畦畔沿いの流れが中央部よりも緩いことは、他でも一般的に見られることである(第 7 図 A)。風上から流れてきた田面水は、次から次へと風下畦畔岸に到達し跳ね返り畦畔岸前で混ざり合っている。水面には、藻類・雑草の切茎葉根部・浮き苗・藁等が、また、散布後の早い時期ではジャンボ剤や自己拡散型浮遊粒剤 (FG 剤) の可視可能な除草剤組成成分等が浮遊しているが、これらは風の影響を受け風下畦畔角に、または風下畦畔岸に寄せられる(第 7 図 B・C)。

風速が速い程、田面水の流速は速い。その関係は水田に対する風向、水田の大きさや形、水田周辺の環境、水深等によって影響され一概には言えず複雑であると考えられる。しかし、第 1 実験の 21a の水田において、観察時の風速は 6.1~7.7m/秒 (10 分間ごと) で、最大瞬間風速は 12.4~14.9m/秒であった(気象庁)ことから、最大瞬間風速が 14m/秒前後では、水田中央部の流速は 10m/秒程度であったと推定した。風上畦畔と風下畦畔距離が 100m の場合、本水田では風上から散布されたジャンボ剤や FG 剤の組成成分は約 10 秒後には風下畦畔岸に到達し始めていると推定される。ただ、同一水田で同一風速であっても風向が変化すれば田面水の流れる方向も変化し、流速も変化する可能性もある。これらの点については更に検討を要する。また、第 2 実験の 30a 水田において、風速が 3.5~6.4m/秒では、風下畦畔中央岸付近での流速は 0.5~1m/秒であった。このことは、本水田において風上畦畔と対岸の風下畦畔間が 100m である場合、風上畦畔から散布されたジャンボ剤やその組成成分は 2~4 分後には風下畦畔岸に到達し始めていると推察される。なお、大区画水田におけるピラクロニル含有のジャンボ剤や FG 剤の風上 1 辺または 2 辺畦畔散布では、散布後 20~30 分頃には風下畦畔岸付近に、これらの白色系の増量剤や褐色系の浮力剤等の可視可能な組成成分が帯状に集積し、散布 1~2 時間後の調査では同時に有効成分も検出されている(徐ら 2020, 2022)。実際の有効成分の到達はそれよりも早いと考えられる。このことから、可視可能な組成成分の風上畦畔付近への到達は、可視困難な有効成分の到達の指標とされている(徐ら 2020, 2022)。

第 3 実験及び第 4 実験に用いた PPB 剤のジャンボ剤と FG 剤は、同一の自己拡散型浮遊粒 (FG) を基にしたものである。FG 剤は散布直後より FG の拡散が開始するが、ジャンボ剤の拡散は散布 5~10 秒後に小包パックのフィルムが崩壊し始めてからである。両製剤とも FG は同一なものであることから基本的に田面水中でのジャ



第7図 風の影響を受けた田面水の流れ

- 注) A：中央部よりも畦畔沿いで田面水の流れが緩やかな様子(富山県朝日町, 2021年4月28日)。
 B：ジャンボ剤の組成分・雑草切断葉等が風下畦畔角に到達している様子(山形県酒田市, 2018年5月17日)。
 C：FG剤の組成分が風下畦畔沿いを平行に到達している様子(青森県黒石市, 2022年6月6日)。
 D：畦畔から散布されたジャンボ剤が横風の影響を受け畦畔前方に進まず風下側に流れて行く様子(北海道岩見沢市, 2017年5月27日)。注)畦畔から約2m離れた赤丸部分にジャンボ剤バック5個を散布。散布1分52秒後。

ンボ剤とFG剤の流れは同じであると判断できる。第3実験および第4実験の結果より、ジャンボ剤またはFG剤は、風上畦畔から散布されると風下側に流れて行き風下畦畔沿いには可視可能な組成分が漂着する。また、風下から散布されると風上側への流れが阻まれ風下畦畔沿いにこれらが滞留している。なお、ジャンボ剤やFGを圃場の全周縁(全畦畔)から散布した場合、一部の畦畔は風上でも風下でもなく、これらの畦畔に対して風は横風となる。この場合、そこから散布されたジャンボ剤は前方にはほとんど進まず風下側に流れ、また中から流出してきた自己拡散粒(FG)も風下側に流れていく(第7図D)。

以上のようにジャンボ剤およびFG剤の拡散は、風の影響を受けた田面水の流れに乗っている。このため、散布初期の散布2時間後の水田中の有効成分濃度は、第3実験の水田の向かい合う風上と風下の各長辺畦畔より全量を均等に散布した場合(散布のための畦畔歩行距離は水田全周縁畦畔の約74%)も、また、第4実験の風上1辺畦畔から全量を散布した場合(同約33%)も均一ではなく、いずれも地点間で大きく異なっていた。ただ、

本剤のノビエに対する有効成分であるピラクロニル(牛口ら2016)濃度は、すでに水田の隅々までタイヌビエ促芽種子の枯死、または生育抑制をもたらす濃度であった。なお、散布2時間後の採水9地点における各有効成分濃度は、第3実験および第4実験のいずれにおいても1成分の濃度が高い地点ほど他の2成分の濃度も高かった。このことは、各有効成分は、水溶解度は各々大きく異なるが(日本植物防疫協会2016)、散布2時間後では、各成分の水溶解度とは関係なく3成分とも風の影響を受けた水の流れに従い水田内をほぼ同一方向に移動していることを示唆している(徐ら2020)。

従来より、各ジャンボ剤の散布方法について、ラベル上の使用上の注意事項には、「10a当たり〇個(〇は薬剤によって異なる)の割合でバックを水田に均等に投げ入れる」とされているが(小川2013)、水田全周縁畦畔から均等に散布しても、戸外では風が吹いているので、元々、ジャンボ剤やFG剤は散布後の初期、風下に流れるため有効成分は水田内に均等に拡散しないのである。言い換えるならば、均等に散布することは、必ずしも散布後の初期では有効成分の均等な拡散には繋がっていない。こ

れまでの結果より、1 ha 規模大区画水田において有効成分が水田内にほぼ均等に拡散するのは、水田全周縁畦畔からの均等散布、また風上小L字2辺畦畔散布、風上1辺畦畔散布のいずれにおいても、散布24~96時間後である(徐ら2016, 2019, 2020, 2022)。これは、ジャンボ剤・FG剤では有効成分は散布後直ぐには全量が田面に落下せず、散布96時間後でも散布量の半量近くが水中に浮遊しているためである。田面水は、その間に、風向の変化に伴い流れも変化しながら水田中を動き攪拌され、有効成分の濃度の均一化が進む。なお、アメダスの資料によると、風は1日の中でも夕方から翌朝にかけて弱く日中で強い(気象庁)。また、風向は刻々と変化し1日の中でも風上と風下が逆になることもある。これらのことも田面水中の有効成分の均一化に寄与していると考えられる。有効成分の拡散には、風の他にも薬剤の自己拡散力、濃度勾配、田面水の対流の影響(花山・安中2011)も考えられるが、風と比較しどの程度の影響があるかは不明である。

田面水とは水田の水面から底の田面までの水である。しかし、水田内の同一地点であっても水面からの深さによって風の影響が異なることから、その流速は水面近くで速く田面近くで遅いと考えられる。この点については、さらに調査が必要である。

野外では、常に風向・風速の異なる風が吹いている。これにより田面水の動きも変化している。このような田面水の流れの変化の中、上記特性を持つ供試したジャンボ剤やFG剤は、1 ha 規模大区画水田であっても水田全周縁畦畔や本田内を歩行しながら均等に散布しなくても、水田全周縁畦畔からの、また、風上1辺畦畔からだけの散布が可能である(徐ら2019, 2020, 2022)。この散布時間は、1 ha 当たりジャンボ剤で約4分(徐ら2020)、またFG剤で約2~3分(徐ら2022)で、従来の水田全周縁畦畔と本田内からの、また最近の本田に入らない水田全周縁畦畔からの散布の散布時間約13~15分程度(徐2024)よりも大幅に省力的である。

引用文献

- 花山 奨・安中武幸 2011. 植生下における田面水の対流を誘発する要因について. 土壌の物理性118, 19-24. 気象庁. 過去の気象データ検索.
<https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/>
 (2024年2月1日アクセス確認)
- 協友アグリ株式会社. 水稲除草剤.
https://www.kyoyu-agri.co.jp/prod/product/?taxSearch_product_cat=64
 (2024年2月1日アクセス確認)
- 日本植物防疫協会2016. 「農薬ハンドブック2016年版」, 日本植物防疫協会, 東京, pp.565-824.
- 小川 圭 2013. 2012 最新除草剤・生育調節剤解説(追補). 小川 圭編集, 日本植物調節剤研究協会企画, 全国農村教育協会, pp. 3-103.
- 徐 錫元・千葉 丈・高橋仁久・松本直剛・松田 繁・西原良一・浜谷雅司・富田享博・池田芳治・安藤敏 2016. 1 ha規模大区画水田における水稲除草剤ジャンボ剤の水田内に入らない畦畔からの投げ入れ散布. 東北の雑草15, 6-10.
- 徐 錫元・高橋仁久・工藤 航・浦山洋二郎・西原良一・濱谷雅司・松本直剛・松田繁・川瀬英夫 2019. 1 ha規模の大区画水田における水稲除草剤ジャンボ剤の畦畔からの投げ込み散布. 雑草研究64(2), 1-5.
- 徐 錫元・堀 洋一・早山智博・浦山洋二郎・西原良一・浜谷雅司・工藤 航・嘉藤久恭・堀 洋一・工藤 敦・小出正雄・吉村沙季・大谷幸一 2020. 1 ha規模大区画水田における数種ピラクロニル含有ジャンボ剤の風上畦畔からの投げ込み散布. 雑草研究65(4), 1-8.
- 徐 錫元 2021. 新規製剤の自己拡散型浮遊粒剤(FG剤)を活用した水稲除草剤省力散布技術. 技術と普及58(11), 48-51.
- 徐 錫元・堀 洋一・直井康裕・高橋勝弘・嘉藤久恭・柳澤計雅・邊見 龍・山田そよ子 2021. 水稲除草剤ピラクロニル含有フロアブル剤の風上畦畔からの散布. 雑草研究66(3), 149-155.
- 徐 錫元・大門 浩・山田そよ子・柳澤計雅・税田武衛・直井康裕・嘉藤久恭・高橋勝弘・西原良一・仁川直人 2022. 1 ha規模大区画水田におけるピラクロニル含有自己拡散型浮遊粒剤(FG剤)の風上畦畔からの散布. 雑草研究67(1), 13-20.
- 徐 錫元 2023. 水稲除草剤ジャンボ剤の拡散を阻害する諸要因. 九州の雑草52, 25-31.
- 徐 錫元・嘉藤久恭・羽田恭平・高橋勝弘・河村敏貴・山田そよ子・小坂部陽平・濱中康弘・山本七海 2023a. 水稲除草剤自己拡散型浮遊粒剤(FG剤)の散布方法別散布時間の測定事例. 東北の雑草22, 1-8.
- 徐 錫元・嘉藤久恭・羽田恭平 2023b. 水稲除草剤FG剤(自己拡散型浮遊粒剤)の風上畦畔散布において畦畔付近への散布がFG剤の緩慢な拡散と白濁の滞留を引き起こす原因. 東北の雑草22, 9-13.
- 徐 錫元 2024. 1 ha規模大区画水田における水稲用除草剤の粒剤, ジャンボ剤, 自己拡散型浮遊粒剤(FG剤)およびフロアブル剤の散布時間の比較. 東北の雑草23, 11-19.
- 牛口良夫・岡本憲一・高橋勝弘・池田芳治・佐柳和典 2014. 水稲用除草剤ピラクロニルの開発と普及. 雑草研究59(2), 106-111.

(2024年9月3日受理)