

# 高品質安定生産を目指す秋田県の水稲湛水直播における 一発処理型除草剤の性能の完全発揮のための 合理的雑草防除体系に関する研究

三浦 恒子

キーワード 水稲、湛水土中直播栽培、一発処理型除草剤、雑草ヒエ、イネ、安定生産

## 目 次

1. 緒言	1	試験 1 ピラゾレート粒剤少量散布による除草効果	17
2. 水稲湛水土中直播栽培における一発処理型除草剤によるイネの分けつ発生への影響	8	試験 2 復元田無代かき、復元田代かき直播栽培における、ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理効果の変動	18
2-1. 抄録	8	3-4. 結果および考察	19
2-2. はじめに	8	3-5. 小括	24
2-3. 材料および方法	8	4. 水稲湛水直播栽培における一発処理型除草剤有効利用のための落水出芽中のプロメトリン・ベンチオカーブ粒剤の少量散布による除草効果	25
試験 1 一発処理型除草剤使用により抑制を受ける分けつの次位・節位	8	4-1. 抄録	25
試験 2 剤型および種類を異にする一発処理型除草剤の分けつ発生への影響	9	4-2. はじめに	25
試験 3 一発処理型除草剤の吸収が促進される条件での節位別分けつへの抑制	10	4-3. 材料および方法	25
試験 4 一発処理型除草剤による第 2 節からの 1 次分けつ発生の抑制程度がイネの収量および玄米品質に及ぼす影響	10	試験 1 落水出芽期間に少量散布した P T 粒剤が直播イネの苗立ちに及ぼす田面の停滞水の影響	25
2-4. 結果および考察	11	試験 2 実規模の湛水直播水田での P T 粒剤の少量散布と一発処理型除草剤の体系処理における除草効果	26
2-5. 小括	15	4-4. 結果および考察	27
3 水稲湛水土中直播栽培における一発処理型除草剤の使用条件拡大のための初期除草剤ピラゾレート粒剤の少量散布	16	4-5. 小括	29
3-1. 抄録	16	5 総合考察	30
3-2. はじめに	16	6 謝辞	32
3-3. 材料および方法	17	引用文献	33
		Abstract	36

## 1 緒 言

### 1-1. わが国における水稲直播栽培の普及状況と秋田県での普及上の課題

日本における水稲 (*Oryza sativa* L.) の主な栽培方法は機械移植栽培であり、育苗箱への播種後数週間の育苗を経て、専用の移植機を用いて苗が水田に移植される。移植栽培では 10 a 当たりの直接労働時間が 26.4 時間と省力化が進んでいるなかで、「育苗」と「田植

え」の作業がその 25 % を占めている (農林水産省 2010)。これに対して直播栽培は、イネの種子を直接水田に播種するため、育苗から移植までの作業を省略できることから、稲作経営の規模拡大や、複合経営の推進を支援する手段として普及に向けて取り組まれている。秋田県の稲作は作付面積と収穫量が全国第 3 位にあるが、区画と営農の大規模化が進む一方で、農業就業者の減少と高齢化が顕在化しており、省力栽培技術である直播栽培への転換が不可避である。

直播栽培には、代かきした水田に播種する湛水直

2013 年 3 月 28 日受理

<sup>1)</sup> 秋田県農業試験場

播と畑状態の水田に播種する乾田直播がある（秋田県農業試験場 2003）。全国の水稲直播栽培面積は、1998年に7,972 haであったが、2008年には18,603 ha（速報値）に増加した。様式別にこの期間の推移をみると、湛水直播は3,644 haから12,486 ha（速報値）に、乾田直播は4,329haから6,074ha（速報値）に増加しており、湛水直播が顕著に増加した。しかし、直播栽培の普及面積は水稲栽培の全体の約1%である（農林水産省 2010）。秋田県の水稲直播栽培面積は1997年の113haから2010年には1,152haに増加し、水稲栽培面積の1.3%に達した。その93%は湛水直播栽培で、秋田県においてはこの様式が主流である。

移植栽培と比較した場合、直播栽培で生産された米の収量と外観品質に関して、秋田県では以下の課題がある。玄米の外観品質・整粒歩合は同等かそれ以上である（吉永ら 2008）が、収量が10%程度低下する（秋田県農林水産部水田総合利用課 2008）。普及上の障害となる収量の低下に対し収量増加を目的に初数を増加させると、登熟歩合が低下し（三浦ら 2007）、玄米の外観品質が低下する傾向にある（吉永ら 2008）。すなわち、直播栽培での玄米外観品質を移植栽培での玄米と同等かそれ以上とするには、10%程度の収量低下が不可避となる（吉永ら 2008）。直播栽培が秋田県の稲作経営にこれまで以上に取り入れられるためには、省力化と同時に、整粒歩合が高く玄米外観品質が優れる「高品質」と、目標収量を安定して確保する「安定生産」を可能にする技術が必要である。すなわち、秋田県の具体的な目標である収量570 g m<sup>-2</sup>、一等米（整粒歩合70%以上）比率90%以上（秋田県農林水産部水田総合利用課農産・複合推進班・2011）を、直播水稲において実現するための技術開発が必要である。

## 1-2. 直播栽培に求められる栽培技術の個別課題

湛水直播栽培技術のうち、生産者から要望の多い個別課題は、鳥害の回避、出芽と苗立ちの安定化、イネの生育量の確保および雑草防除の安定化である（独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構 東北農業研究センター 2003）。

出芽と苗立ちの安定化については、次のような研究と技術開発が進められた。湛水直播栽培では土壌表面に播種すると、出芽しやすい（嶽石・福田 1990）が、浮き苗や転び苗が生じやすく、出穂後の倒伏にもつながる（古畑 2009）。また、浮き苗や転び苗の発生程度が大きいと初収量が減少する（周ら 2003）。土壌表面播種での問題点の解消には土壌中への播種が、鳥害の防止（高城ら 2000）とあわせて有効である。しかし、土中播種では出芽率が低下しやすい（嶽石・福田 1990）ため、酸素の供給を目的とする過酸化カル

シウム粉粒剤の粉衣（山田 1951、中村 1976）や土壌還元抑制を目的とする落水出芽（大場 1997、本馬ら 1999）などの出芽促進技術が開発され、全国に普及した。これらの技術により湛水直播栽培での苗立ちの安定化が図られた。

秋田県においては、直播栽培で作付けの多い水稲品種「あきたこまち」の耐倒伏性は「中」で、直播栽培では成熟期の稈長が82 cmを超えると倒伏の恐れがある（秋田県農林水産部水田総合利用課 2011）ことから、土壌表面播種を避けて土壌中への播種が多く行われている。土中播種の場合、過酸化カルシウム粉粒剤の粉衣量を、低コスト化のため乾初重の2倍量から1倍量に減量しても、落水出芽を行うことで目標の出芽・苗立ち数が得られること（若松・三浦 2004）や出芽と苗立ちに適した温度条件が播種後10日間の平均気温で14℃以上であること（三浦・若松 2006）など、出芽と苗立ちの向上に有効な知見が得られている。

生育量の確保については、全国および各地域において直播イネの生育相の解析に関する研究が展開され、その成果に基づく栽培マニュアルなど（農林水産省 2010）を通じて、普及が進められている。秋田県においては、移植栽培と同等の「あきたこまち」の玄米収量570 g m<sup>-2</sup>を目標とした、生育の各段階における苗立ち数から穂数までの理想生育量（三浦ら 2007）、理想生育量を満たす苗立ち数確保のための播種適期、過酸化カルシウム粉粒剤の粉衣量および粉衣方法、必要な落水出芽の期間、生育期間中の水管理、幼穂形成期および減数分裂期の追肥の必要性和登熟期の倒伏の可能性の診断、肥効調節型肥料の側条施肥（若松ら 2005、三浦ら 2011b）など、穂数の確保と収量の安定化に寄与する研究成果が得られている。これらの成果が「水稲直播栽培指針（2003）」や「水稲直播栽培技術講習テキスト（2008）」に含められ、普及の場で活用されている。また、湛水直播栽培の播種様式では条播が主流であるが、点播では群落条件下でのイネの受光態勢や耐倒伏性が条播より向上する（吉永 2002）ため、生育量の確保を目的に点播播種機も導入されつつある。そこで、点播播種機の弱点である作業速度の遅さを改良した高速点播播種機が開発された（Katahira *et al.* 2011）。

以上のことから、気象の影響による収量の変動は依然として大きい（秋田県農林水産部 2011）ものの、イネの生育量確保のための栽培技術は秋田県においても確立されつつある。

秋田県における水稲移植栽培では安定生産と高品質の両立が求められることから、次位・節位別分けの有効化とそれぞれの分けつごとの玄米の収量性と整粒や窒素濃度などの品質の解析結果（金ら 2005）に基づいて、収量性と品質で優れる強勢茎主体に穂数を

確保することが奨励されてきた。同様に、直播栽培においても 1 穂着粒数や玄米窒素濃度が適正な高品質安定生産に寄与する穂の確保が重要であり、それらは、主稈と第 2～5 節から発生する 1 次分げつおよび第 2 節の 1 次分げつから発生する 2 次分げつである (若松ら 2006)。これらの分げつの多くは、6 月下旬から 7 月上旬にあたる有効分げつ決定期までに発生し、それ以降に発生した分げつが有効化した穂では整粒率 (RS-2000 静岡製機 (株) 製による測定値) が低下する (松波ら 2010)。また、上記の節位からの分げつを主体として目標の穂数を確保し、その上で有効茎歩合を 80 %程度とした湛水直播栽培の試験で、目標収量  $570 \text{ g m}^{-2}$  に近い収量  $553 \text{ g m}^{-2}$  を、2.5 (1 等の中～下) の玄米外観品質と 75.4 % の高い整粒歩合および 6.0 % の適正な玄米タンパク含有率が確保できることが示されている (三浦ら 2011b)。

### 1-3. 雑草防除における問題点

前述のようにイネの出芽と苗立ちの安定化および生育量の確保についてはこれまでも十分に研究され、問題が解決されつつあるが、雑草防除についての研究と技術開発はこれらに比べて不十分であり、以下のような問題点が残されている。

直播水稻に農薬登録された除草剤の種類数は、1994 年 5 月時点では湛水直播には 32 剤、乾田直播には 35 剤 (森田 1995) と、移植水稻に登録された除草剤数に比べて少なかった。2011 年 2 月時点では「移植後 1 回の処理で一年生雑草と主要多年生雑草の防除が可能 (宮原 1992)」な、移植栽培で一発処理除草剤に区分される約 140 剤のうち 41 剤が直播水稻に農薬登録され、使用できる一発処理型除草剤の種類数は 1994 年時点での 3 剤から増加したが、依然として少ない。除草剤の種類数が限られる状況にあるものの、移植栽培と同様に湛水直播栽培においても一発処理型除草剤は薬剤による雑草防除の基幹技術となっていることから、直播栽培で一発処理型除草剤のイネへの安全性と除草効果に関わる性能が移植栽培でのようには十分に発揮されないことが、解決を要する課題となっている。すなわち、秋田県を含む寒冷地では、一発処理型除草剤の直播水稻の区分における農薬登録での処理早限となるイネの特定葉齢への到達日と、処理晩限となる雑草ヒエの特定葉齢への到達日とがしばしば近接または逆転し、処理可能な期間が極めて短いか無くなる。処理可能な期間が短いことは、早限以前に処理された場合にはイネに対する生育抑制 (以下、薬害)、晩限以降に処理された場合には除草効果の低下をもたらすことから、以下の 2 点に集約されるように一発処理型除草剤の性能を十分に発揮しにくい要因となる。

第 1 の要因は薬害である。除草剤が持つイネに安

全で雑草のみを枯死させる選択性の確保には、イネの苗と雑草との生育ステージの差が重要である (森田 1995) が、直播栽培では除草剤使用時のイネの葉齢が移植栽培でのイネに比べて 2～3 少ない (Miura and Morita 2010) ことから、除草剤処理後のイネは生育や分げつ発生の抑制などの薬害を受けやすく、その結果、茎数・穂数不足となりやすい。よって、除草効果の安定した、一発処理型除草剤のイネへの影響の回避と、上述した高品質安定生産のための低節位の 1 次分げつからの穂数の確保を、ともに可能とすることが、直播栽培での高品質米安定生産技術として重要となる。

新規除草剤の農薬登録に係わる実用性の評価試験において、直播水稻での薬害はこれまで、苗立ち数や生育期の茎数および収量に対する影響の程度で評価されてきた (藤田 1999、酒井ら 2002)。ここでは次位・節位別の分げつ発生に対する影響は考慮されておらず、低節位の分げつ確保の観点からは十分とは言えない。そのために秋田県において、直播栽培を高品質安定生産技術として普及する上では、このことを踏まえた一発処理型除草剤の薬害判定の基準が必要である。

一発処理型除草剤については、秋田県農林水産技術センター農業試験場において、財団法人日本植物調節剤研究協会より受託の、農薬登録に必要な除草効果と薬害試験の一部としての水稻関係除草剤第二次適用性試験が実施されており、直播水稻での薬効・薬害、使用時期のデータが蓄積されている。しかし、第二次適用性試験は全国的に統一された除草剤の処理量、薬効・薬害の調査方法のもとで実施されるため、節位別の分げつ発生への影響などの課題についてはこれとは別に、独自の研究として実施する必要がある。

第 2 の要因は、移植栽培に比較して除草効果が発揮されにくく、結果として除草剤の使用回数が増加 (渡邊・川名 2006) することである。一発処理型除草剤の多くの剤での直播栽培における使用可能期間は、薬害を生じないイネ 2 葉期を早限、雑草ヒエの枯殺限界の 2.5 葉期を晩限とする期間である。イネへの生育抑制を防ぐためには、イネの 2 葉期以降に一発処理型除草剤を散布しなければならない。しかし、秋田県の湛水直播栽培の定点調査圃では、播種からの出芽揃いまでの平均日数は 13 日で、出芽揃いの時点ではイネ 2 葉期には達しておらず (秋田県農林水産部編集 2011)、1993 年の東北地方の湛水直播栽培で測定された雑草ヒエの葉齢は播種 15 日後で 2.5 葉期を超える (森田 1995) ことを勘案すると、寒冷地では一発処理型除草剤の使用可能期間が短い。秋田県農業試験場における一発処理型除草剤の使用可能期間についての実測事例は以下のようなものである。2002 年に 3 圃場 (田口ら 2003)、2008 年から 2011 年までの各年に 1 圃場を用いて、5 月 10 日前後を播種期として実施された合計 7 事例の

湛水直播栽培において、イネの2葉期から雑草ヒエの2.5葉期までの日数は、1日：4事例、2日：1事例、4日：2事例となり、使用可能期間は1～4日で、過半年では1日であった。すなわち、寒冷地の秋田県では、一発処理除草剤の使用基準でイネに対する安全性と除草効果が両立する使用可能期間は極めて短い。

また、落水出芽法における、土壌還元を抑制するための落水期間は、土壌条件により異なり（仙北地域振興局ら 2009）、重粘土壌など土壌還元が起りやすい水田ではしばしば2週間を超える。その結果、落水期間中に雑草ヒエの葉齢が一発処理型除草剤の枯殺限界を超え、再湛水後の適期散布を逸する場合がある（酒井・佐藤 1998、山本・菊池 2006）。

これまで直播栽培では、雑草ヒエの1.5葉期程度までに使用する「初期除草剤」を処理した後、除草効果の持続が不足した場合に「一発処理型除草剤」を処理する（福島ら 2000）、または、初期除草剤を使わずに一発処理型除草剤のみを処理し、その除草効果が十分発揮できなかった場合に、中干しの約10日前から中干し期間中に使用する「中・後期除草剤」を処理する（渡邊・川名 2006）除草剤の使用体系がとられている。中・後期除草剤の使用は2回以上に及ぶこともあり、この場合には省力技術とされる直播栽培においても、雑草防除に関しては省力化に対応していないことになる。直播栽培をさらに普及させるためには、上述のような、初期除草剤や一発処理型除草剤処理での雑草の残存を前提に、その後の一発処理型除草剤や中・後期除草剤を主力とする（その除草効果が十分発揮されなかった場合には次に処理可能な除草剤がない）「後半巻き返し型」（三浦 2010）から、はじめから一発処理型除草剤の性能を確実に発揮させて雑草を残存させない「先手必勝型」（三浦 2010）の除草剤使用法への転換が重要である。

#### 1-4. 雑草ヒエについて

本研究で主な対象とした雑草ヒエは全国的な主要雑草で、古くから水田雑草の中心的な位置を占めてきた（森田 2001）。日本国内における野生のヒエ属植物は外部形態および生態学的に、タイヌビエ（*Echinochloa oryzicola* Vasing.）、ヒメタイヌビエ（*E. crus-galli* (L.) Beauv. var. *formosensis* Ohwi）、イヌビエ（*E. crus-galli* (L.) Beauv. var. *crus-galli*）、ヒメイヌビエ（*E. crus-galli* (L.) Beauv. var. *praticola* Ohwi）の4単位に分類されている（藪野 1975）。4種の雑草ヒエを生産現場において、防除の必要な生育初期に地上部の形質で正確に識別することは必要である（森田 2001）が、難しいとされている。本研究においても、試験圃場に発生したタイヌビエとイヌビエを調査時に識別できなかったことから、雑草ヒエ（第1-1図）と

まとめて記載した。

日本において普遍的な水田雑草であるタイヌビエ（藪野 1975）については、試験研究に必要な休眠覚醒種子を得るための貯蔵条件（片岡・金 1977）や水田土壌中での種子の休眠と死滅要因（宮原 1972）など発生生態に関する研究が行われてきた。雑草ヒエの雑草害については、イネ群落中での存在時期による減収への影響の差異（野田ら 1971）など競合に係わる側面から、雑草ヒエに誘引されたアカスジカスミカメ（*Stenotus rubrovittatus*）による玄米外観品質の低下（後藤ら 2000）など虫害の助長の側面まで多岐にわたって研究されてきた。雑草ヒエの防除方法については、深水や有機質資材の散布など耕種的防除（笠原 1954、民間稲作研究所 1999）も研究されたが、それらに比較して省力的であることから、現在では除草剤による化学的防除が主流となっている。一発処理除草剤の全てが雑草ヒエに効果を示す成分を含有し、また4葉期を超える高葉齢に達した雑草ヒエに対応する専用の中・後期除草剤などが開発、実用化されている。

一発処理除草剤の性能を十分に発揮させるためには、除草剤を適切に使用することが求められている。そのためには雑草ヒエの葉齢の進展を予測することが重要で、有効積算気温（土井・村上 1977、森田 1999）や水田地温（内野 2002）を用いた葉齢進展モデルが作成された。

近年、全国的には雑草ヒエの重要性は低下傾向にあるが、秋田県の水稲栽培において雑草ヒエの要防除面積は水稲作付面積の98%を占め（財団法人日本植物調節剤研究協会東北支部 2011）、2010年にはほぼ全ての水田で使用された一発処理除草剤に加えて、その前に散布する初期除草剤が48,891 ha、その後に散布する雑草ヒエ専用の中・後期除草剤が12,114 haの水田に使用されており、これらの合計面積は水稲作付面積の68%を占めた。このように、秋田県において雑草ヒエは、一発処理除草剤のみでは完全に防除されず、移植・直播水田を通して依然として主たる難防除雑草である。

#### 1-5. 「あきたe c o らいす」での直播栽培の展開について

消費者は「減農薬」によって栽培されたコメを求めており、生産者は「省力・低コスト」、「農薬被ばくの回避」、「有利販売による所得の向上」を求めている。これをうけて秋田県農林水産技術センター農業試験場において2004年に減農薬のプロジェクトが発足し、その成果をもとに2008年に減農薬防除体系を秋田県産米のスタンダードとする「あきたe c o らいす」プロジェクトが確立された（秋田県農林水産部水田総合利用課農産・複合推進班 2011）。「あきたe c

「おらいす」は、JAS 有機や特別栽培米なども含むが、施肥方法を問わない、農薬の使用成分回数が 10 回以下で生産されたコメの総称であり、「低コスト省力生産」、「環境に配慮した生産」および「販売を意識した生産」を内容とする。また、「あきた e c o らいす」を 2020 (平成 32) 年までに秋田県内の水田面積の 90 % に普及させることが目標となっている (秋田県農林水産部水田総合利用課農産・複合推進班 2011)。以上のことから、省力技術である直播栽培で「あきた e c o らいす」によるコメを生産するためには農薬使用回数を低減する必要がある。

「節減対象農薬の延べ有効成分回数」の中での除草剤に関して、移植栽培の「あきた e c o らいす」では、代かきと移植の間の日数を短縮し、代かきから 10 日以内に一発処理除草剤を散布できるように代かき・移植作業を設定すると、雑草ヒエが 2 ~ 2.5 葉期の時期に一発処理除草剤散布が可能となり除草効果が安定し、初期剤や中・後期剤の使用を省略できる (三浦・藤井 2010)。一方、湛水直播栽培においては前述のとおり、5 月 10 日前後に播種した場合にイネが 2 葉期以降で雑草ヒエが 2.5 葉期以前となる一発処理除草剤の使用期間は 1 ~ 4 日と短いことから、生産者の段階では 3 ~ 4 成分の一発処理型除草剤の処理のみでは十分な除草効果を得られず、雑草ヒエと広葉雑草に効果

の高い 1 ~ 4 成分の中・後期除草剤を 1 ~ 2 回追加で散布する体系処理が多く行われている。この体系処理における除草剤の延べ有効成分回数は 4 ~ 8 回あるいはそれ以上となる。「あきた e c o らいす」の中で直播栽培を推進するためには、一発処理型除草剤の性能の十分な発揮 (三浦・藤井 2010) による、使用除草剤の延べ有効成分回数の計画的な削減が欠かせない。

以上のことから、本研究では、秋田県での水稲湛水直播栽培の雑草防除技術に関して、1) 一発処理型除草剤による湛水直播イネへの影響 (薬害) を分げつ構成から解析し、影響を受ける分げつの次位節位とその分げつが高品質安定生産に及ぼす影響を明らかにし、これまで着目されていなかった収量と品質に寄与する分げつへの影響を指標とした一発処理型除草剤の薬害評価法を確立するとともに、2) 一発処理型除草剤の前処理として初期除草剤を少量散布することにより再湛水後の一発処理型除草剤の使用可能期間 (日数) の拡大を図り、新たな除草体系を確立すること、を目的とした。また、秋田県で移植栽培を中心に推進されている、栽培期間中の農薬の成分使用回数を低減した「あきた e c o らいす」を直播栽培で展開するための除草体系を実証した。

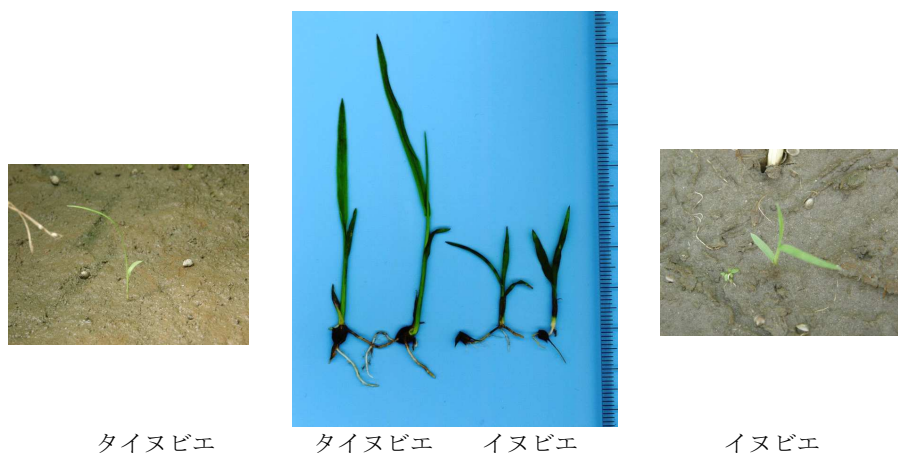
三浦：高品質米安定生産を目指す秋田県の水稲湛水直播における一発処理型除草剤の性能の完全発揮のための合理的雑草防除体系に関する研究

第 1-1 表 本研究で対象とした雑草の和名と学名

生活型	科	和名	学名
一年生	アカバナ科	チョウジタデ	<i>Ludwigia epilobioides</i> Maxim.
	イネ科	イヌビエ	<i>Echinochloa crus-galli</i> (L.) Beauv. var. <i>crus-galli</i>
		タイヌビエ	<i>Echinochloa oryzicola</i> Vasing.
	オモダカ科	ヘラオモダカ	<i>Alisma canaliculatum</i> A. Br. et Bouche
	カヤツリグサ科	タマガヤツリ	<i>Cyperus difformis</i> L.
		ハリイ	<i>Eleocharis congesta</i> D. Don
	キク科	タウコギ	<i>Bidens tripartita</i> L.
	ゴマノハグサ科	アゼナ	<i>Lindernia procumbens</i> (Krock.) Borbàs
		アメリカアゼナ	<i>Lindernia dubia</i> (L.) Penn.
	ツユクサ科	イボクサ	<i>Murdannia keisak</i> (Hassk.) Hand. -Mazz.
	ミゾハコベ科	ミゾハコベ	<i>Elatine triandra</i> Schk. var. <i>pedicellata</i> Krylov
	ミズアオイ科	コナギ	<i>Monochoria vaginalis</i> (Burm. f.) Presl var. <i>plantaginea</i> (Roxb.) Solm. -Laub.
		オモダカ科	オモダカ
多年生	カヤツリグサ科	イヌホタルイ	<i>Scirpus juncooides</i> Roxb. var. <i>ohwianus</i> T. Koyama
		クログワイ	<i>Eleocharis kuroguwai</i> Ohwi
		マツバイ	<i>Eleocharis acicularis</i> (L.) Roem. et Schult. var. <i>longiseta</i> Sven.
		ミズガヤツリ	<i>Cyperus serotinus</i> Rottb.

第 1-2 表 本研究に用いた除草剤の系統、一般名および化学名

系統	一般名	化学名
フェノキシ	シハロホップブチル	butyl(R)-2-[4-84-cyano-2-fluorophenoxy]phenoxy]propionate
カーバメート	ベンチオカーブ	S-4-chlorobenzyl diethylthiocarbamate
酸アミド	カフェンストール	N,N-diethyl-3-mesitylsulfonyl-1H-1,2,4-triazole-1-carbox-amide
	プロモブチド	(RS)-2-bromo-N-( $\alpha,\alpha$ -dimethylbenzyl)3,3-dimethyl-butylamide
	メフェナセツト	2-benzothiazol-2-ylpxy-N-methylacetanilide
スルホニルウレア	ピラゾスルフロ	ethyl 5-(4,6-dimethoxypyrimidin-2-ylcarbamoylsulfamoyl)-1-methylpyrazole-4-carboxylate
	バンスルフロメチル	methyl- $\alpha$ -(4,6-dimethoxypyrimidin-2-ylcarbamoyl-sulfamoyl)- <i>o</i> -toluate
ダイアゾール	ピラゾレート	4-(2,4-dichlorobenzoyl)-1,3-dimethylpyrazol-5-yl toluene-4-sulfonate
ダイアジン	ベンタゾン	3-isopropyl-1H-2,1,3-benzothiadiazin-4-(3H)-one2,2-dioxide
トリアジン	プロメトリン	N <sup>2</sup> ,N <sup>4</sup> -di-isopropyl-6-methylthio-1,3,5-triazine-2,4-diamine
尿素	ダイムロン	1-( $\alpha,\alpha$ -dimethylbenzyl)-3- <i>p</i> -tolylurea
ピリミジジオキシ 安息香酸	ピリミノバックメチル	methl 2(4,6-dimethoxypyrimidin-2-yloxy)-6-(1-methoxy-iminoethyl)benzoate
芳香族カルボン酸	フェントラザミド	4-(2-chlorophenyl)-N-cyclohexyl-N-ethyl-4,5-dihydro-5-oxo-1H-tetrazole-1-carboxamide
その他	ペントキサゾン	3-(4-chloro-5-cyclopentylloxy-2-fluorophenyl)-5-isoprpylidene-1,3-oxazolidine-2,4-dione



第 1-1 図 秋田県の水田における主な雑草ヒエであるイヌビエとタイヌビエの 2 ~ 2.5 葉期の形態

## 2 水稲湛水土中直播栽培における一発処理型除草剤によるイネの分けつ発生への影響

### 2-1.抄録

直播栽培の一発処理型除草剤の薬害は、農薬登録のための全国的に統一された適用性試験を通して苗立ち数、生育期の茎数および収量への影響によって評価されてきた。しかし、秋田県の直播栽培での収量解析において、発生位置の異なる分けつからの穂が収量性と品質を異にすることが知られているため、移植栽培に匹敵する収量性と品質を目指す県内の直播栽培の現場では、次位・節位別の分けつ発生への影響を考慮した一発処理型除草剤の薬害の判定が必要となる。本研究では、圃場またはガラス室において、秋田県の湛水直播栽培で普及している数種の一発処理型除草剤の基準量を使用早限に処理し、分けつ発生と抑制を次位・節位別に詳細に調べ、新たな薬害評価法を提案した。一発処理型除草剤ピリミノバックメチル・プロモブチド・ベンスルフロンメチル・ペントキサゾン (PBBP) 水和剤をイネ (品種「あきたこまち」) の 2.5 葉期に処理した場合、第 2 節からの 1 次分けつの発生頻度は無処理区の 63 %と、有意に低下した。一方、第 7 節からの発生頻度は無処理区より高く、分けつ発生総数とその有効化率では同等であった。しかし、PBBP 水和剤処理では収量と品質確保に有効な第 2～5 節からの 1 次分けつと第 2 節からの 1 次分けつからの 2 次分けつの数が有意に減少した。また、同じ有効成分の PBBP 剤においても、水和剤での第 2 節からの 1 次分けつの発生頻度は粒剤に比べて著しく低下し、剤型による違いが認められた。さらに、PBBP 水和剤、同粒剤と成分の異なるカフェンストロール・ダイムロン・プロモブチド・ベンスルフロンメチル (CDBB) 粒剤の処理により第 2 節からの 1 次分けつの抑制程度が異なり、精玄米重と精玄米の整粒率は抑制程度の増大に伴って低下した。

### 2-2.はじめに

水稲直播栽培の雑草防除の問題点の一つは、除草剤処理時にイネの苗が移植栽培に比較して若いために薬害が発生しやすいことで、それは茎数および穂数の減少につながる。農薬登録に際しての適用性試験においては、直播イネへの薬害は、苗立ち数、生育期の茎数や収量で評価され、次位・節位別の分けつ発生への影響、すなわち分けつの構成までは考慮されてこなかった。秋田県における直播栽培では 1 穂着粒数や玄米窒素濃度が適正で、高品質米生産に寄与する穂の確保が重要であり、それらは、主稈と第 2 節～5 節から発

生する 1 次分けつおよび第 2 節の 1 次分けつから発生する 2 次分けつであることが明らかにされている (若松ら 2006)。秋田県における湛水直播栽培では低節位の分けつ確保を重視するため、除草剤の影響については、茎数、すなわち分けつの総数のみではなく分けつの次位・節位に関する情報が必要である。直播栽培におけるコメの高品質安定生産につながる雑草防除体系を確立する目的で、分けつの発生と抑制を受ける次位・節位とその程度に基づいた一発処理型除草剤の直播イネへの影響評価について検討した。

湛水土中直播栽培を対象に、圃場条件下での 1) イネ 2.5 葉期を処理早限とする一発処理型除草剤の、イネの次位・節位別の分けつの発生への影響、2) イネ 2 葉期または 2.5 葉期を処理早限とする 4 種類の一発処理型除草剤について第 2 節、第 3 節からの 1 次分けつの発生に及ぼす剤型と成分の影響、および、3) ガラス室条件下での圃場条件より高い気温条件下での、一発処理型除草剤のイネの第 2 節、第 3 節からの 1 次分けつの発生への影響、を調べ、さらに、4) 3 種類の一発処理型除草剤により、第 2 節からの 1 次分けつ発生の抑制と玄米収量および玄米の品質への関係を圃場条件下で解析した。

### 2-3.材料および方法

#### 試験 1 一発処理型除草剤使用により抑制を受ける分けつの次位・節位

秋田県の直播栽培において使用の多い、イネ 2.5 葉期を処理早限とする一発処理型除草剤ピリミノバックメチル・プロモブチド・ベンスルフロンメチル・ペントキサゾン水和剤を用いて、分けつ発生の抑制を受けやすいイネの節位を、高品質米生産に寄与する穂となる次位・節位に着目して検討する。

#### 1) 耕種概要

試験は 2005 年に秋田県農林水産技術センター農業試験場 (秋田市雄和) の面積 500 m<sup>2</sup>、細粒質グライトの水田圃場で行った。N : 5.5 g m<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 7.3 g m<sup>-2</sup>、K<sub>2</sub>O : 6.4 g m<sup>-2</sup>を化成肥料で播種時に側条施肥で施肥した。水稲品種「あきたこまち」の種子を浸漬・催芽後、播種前日に専用コーティングマシンにより、過酸化カルシウム (16 %) 粉粒剤を乾粒重比 1 倍量で粉衣した。乾粒換算で 4 g m<sup>-2</sup>の種子を専用播種機により播種深を 5～10 mm に設定し、湛水土中条播として 5 月 12 日に播種した。播種後落水管理を行い、播種した粒数の 10 %が出芽した時点で湛水を開始した。圃場内の平均的な苗立ちの部分に、プラスチック段が



第2-1表 供試一発処理型除草剤の除草剤名、略号、有効成分含有率、使用量および処理時期

除草剤名	略号	有効成分含有率	10aあたり使用量	本試験での処理量(製剤m <sup>2</sup> )	本試験での処理時期(使用基準の処理早限でのイネ葉齢)	処理の有無と処理日			
						試験1	試験2	試験3	試験4
ピリミノバックメチル・プロモブチド ・ベンスルフロンメチル ・ペントキサゾン水和剤	PBBP 水和剤	0.83%・17%・ 1.3%・2.8%	500ml	0.5ml	2.5葉期	2005年 6月1日	2007年 5月30日	2006年 5月22日	2011年 6月1日
ピリミノバックメチル・プロモブチド ・ベンスルフロンメチル ・ペントキサゾン1キロ粒剤	PBBP 粒剤	0.45%・9.0%・ 0.75%・2.0%	1kg	1g	2葉期	無し	2007年 5月28日	無し	2011年 5月30日
シハロホップブチル ・ピラゾスルフロンエチル ・プロモブチド・メフェナセット 1キロ粒剤	CPBM 粒剤	1.5%・0.3%・ 6.0%・7.5%	1kg	1g	2.5葉期	無し	2007年 5月30日	2006年 5月22日	無し
カフェンストロール・ダイムロン ・プロモブチド・ベンスルフロンメチル 1キロ粒剤	CDBB 粒剤	3.0%・6.0%・ 6.0%・0.75%	1kg	1g	2葉期	無し	2007年 5月28日	無し	2011年 5月30日
無処理区	—	—	—	—	—	設置	設置	設置	無し

ール製の1 m×1 mの正方形の枠を設置し、除草剤処理区と対照として除草剤を処理しない区(以下、無処理区)を無作為に3反復として設け、試験区とした。なお、以下の試験での供試水稻品種と種子の調整は試験1と同様とした。

## 2) 供試除草剤

秋田県における直播栽培で最も広範囲に用いられている一発処理型除草剤である、ピリミノバックメチル・プロモブチド・ベンスルフロンメチル・ペントキサゾン水和剤(以下、PBBP水和剤)を、同剤の処理早限のイネの2.5葉期にあたる6月1日に、製品量で0.5 ml m<sup>2</sup>を約5 cmの水深で処理した(第2-1表)。試験期間中、試験区の減水深は1 cm日<sup>-1</sup>以下であった。無処理区では随時手取り除草を行い、雑草害による分げつ発生の抑制を防いだ。

## 3) 分げつ発生調査

試験区内の連続するイネの10個体に節位別に異なる色のリングを付けて区別し、分げつの次位、節位を、4葉期を超えた2005年6月10日から7月15日まで調べた。分げつ茎の呼称は、第1葉(不完全葉)の基部から発生した分げつを第1節からの1次分げつとした(星川1975)。発生した1次分げつの節位毎に2次分げつを区別し、2次分げつの発生数は1次分げつからの発生節位を無視して一括して示した。分げつの発生頻度は、分げつの総発生数を調査個体数で除して100を乗じて求めた。分げつの有効化率は、有効分げつ総数を分げつ発生総数で除して100を乗じて求めた。

## 4) 気温測定

播種後から除草剤処理時期の気温測定には、試験場

内に設置されている気象観測装置を用いた。播種翌日から10日間の平均気温は、湛水直播水稻の出芽速度および苗立ち率に影響を及ぼす(三浦ら2006)ことから、毎時の測定の前平均値として日平均気温を求め、10日間の平均気温として示した。

## 試験2 剤型および種類を異にする一発処理型除草剤の分げつ発生への影響

秋田県の生産現場において用いられているイネ2葉期または2.5葉期を処理早限とする剤型と成分を異にする4種類の一発処理型除草剤を用いて、第2節、第3節からの1次分げつ発生の抑制における剤型および成分の影響の差異を解析する。

### 1) 耕種概要

試験は2007年に秋田県農林水産技術センター農業試験場(秋田市雄和)の圃場で、気温の測定を含めて試験1と同様の手順で行った。播種は5月12日とした。

### 2) 供試除草剤

試験1で使用したPBBP水和剤と同成分で剤型の異なる1キロ粒剤(以下、PBBP粒剤)および秋田県の水稲直播栽培での使用頻度の高い一発処理型除草剤である2種の1キロ粒剤のシハロホップブチル・ピラゾスルフロンエチル・プロモブチド・メフェナセット1キロ粒剤(以下、CPBM粒剤)、カフェンストロール・ダイムロン・プロモブチド・ベンスルフロンメチル1キロ粒剤(以下、CDBB粒剤)を、第II-1表に示す条件で処理した。これらの除草剤において、イネの分げつ抑制に影響があると思われる成分は、雑草ヒエ

に有効であるピリミノバックメチル、ペントキサゾン、カフェンストール、メフェナセットと、多年生雑草等に有効であるベンスルフロンメチル、ピラゾスルフロンエチルである。

供試剤の処理早限にあたるイネ 2 葉期は 5 月 28 日、イネ 2.5 葉期は 5 月 30 日であった。処理時の水深は、秋田県農作物病虫害・雑草防除基準（秋田県 2011）によって水和剤は約 5 cm、粒剤は約 3 cm とした。対照として無処理区を設置した。無処理区は随時手取り除草を行い、雑草害による分げつ発生の抑制を防いだ。無処理区ではイネ 2 葉期に水和剤の試験区と合わせて水深 5 cm とした。試験期間中、試験区の減水深は 1 cm 日<sup>-1</sup> 以下であった。

### 3) 分げつ発生と生育の調査

試験区内の連続するイネの 10 個体について、第 4 節からの 1 次分げつの発生を確認した後の有効茎決定期である 6 月 19 日に、葉齢と第 2、3 節の 1 次分げつの発生数を調査した。また、最高分げつ期である 7 月 13 日に、試験区枠内の 2 条各 30 cm を対象に上記の 10 個体を含むイネの茎数を調査した。

### 試験 3 一発処理型除草剤の吸収が促進される条件での節位別分げつへの抑制

気温の高い条件下でイネによる除草剤の吸収が促進され、薬害が助長されることを想定し、ガラス室内で圃場条件より高い気温を設定し、秋田県の生産現場で用いられているイネ 2.5 葉期を早限とする 2 種類の一発処理型除草剤のイネの第 2 節、第 3 節からの 1 次分げつの発生への影響を解析する。

#### 1) 栽培概要

農業試験場のガラス室において、2006 年 5 月 13 日に、縦 48 cm×横 29 cm×高さ 15 cm のプラスチック製バット内に試験 1、2 で使用した水田からの土壌を無施肥で代かき後に充填し、播種深度 5～10 mm で 1.5 cm の間隔として 1 列に 25 粒ずつ条播し、播種した籾数の 10 % が出芽した時点から約 1 cm の湛水とした。試験は 3 反復とした。

#### 2) 供試除草剤

試験 1、2 で用いた除草剤から、秋田県の直播栽培において長期間、広範にわたり使用されている PBBP 水和剤と CPBM 粒剤を選び製品量で各 0.5 ml m<sup>-2</sup>、1 g m<sup>-2</sup> を処理早限のイネ 2.5 葉期にあたる 5 月 22 日に処理した（第 2-1 表）。処理時の水深は約 3 cm とし、その後も同じ水深を保った。対照として無処理区を 3 反復設置し、随時手取り除草を行い、雑草害による分げつ発生の抑制を防いだ。

#### 3) 分げつ発生と茎数の調査

各試験区の連続するイネの 10 個体について第 2、3 節からの 1 次分げつの発生と茎数を播種から 7 月 12 日まで調査した。実際には 6 月 23 日まで分げつの発生が見られた。イネ 1 個体あたり茎数として、10 個体の茎数の合計を 10 で除して求めた。

#### 4) 気温測定

ガラス室内に設置したデータロガー（おんどとり TR-71U、株式会社ティアンドディ社製）を用いて測定した。

### 試験 4 一発処理型除草剤による第 2 節からの 1 次分げつ発生の抑制程度がイネの収量および玄米品質に及ぼす影響

3 種類の一発処理型除草剤を用いて、第 2 節からの 1 次分げつ抑制の程度が異なる圃場条件下の直播イネにおける玄米収量および玄米の品質の差異を、玄米整粒率を指標として解析する。本試験により、秋田県の直播栽培における目標収量 570 g m<sup>-2</sup> を、玄米の品質を高く維持して確保するには、第 2 節からの 1 次分げつによる有効穂が重要であることを実証する。

#### 1) 耕種概要

試験は 2011 年に秋田県農林水産技術センター農業試験場（秋田市雄和）の圃場で、気温の測定を含めて試験 1 と同様の手順で行った。播種は 5 月 10 日とした。

#### 2) 供試除草剤

試験 1、試験 2 で第 2 節からの 1 次分げつの発生を抑制した PBBP 水和剤、同成分の PBBP 粒剤、対照区として試験 2 で使用し第 2 節からの 1 次分げつの抑制がほとんど見られなかった CDBB 粒剤を選び、第 2-1 表の条件で処理した。除草剤処理時の水深は、秋田県農作物病虫害・雑草防除基準（秋田県 2011）によって水和剤では約 5 cm、粒剤では約 3 cm とした。試験期間中、試験区の減水深は 1 cm 日<sup>-1</sup> 以下であった。

対照区としての除草剤無処理区を設けず、また除草剤を処理した試験区に雑草は残存せず、分げつ抑制に影響しないと判断して手取り除草を実施しなかった。

#### 3) 分げつ発生と生育の調査

試験区内の連続するイネの 10 個体について、第 4 節からの 1 次分げつの発生を確認した後の有効茎決定期である 6 月 22 日に、葉齢と第 2 節、第 3 節の 1 次

分けつの発生数を調査した。また、最高分けつ期である 7 月 15 日と、穂揃い期である 8 月 15 日に、試験区内の 2 条各 30 cm を対象に上記の 10 個体を含むイネの茎数および穂数を調査した。

#### 4) 収量と玄米品質の調査

試験区内の分けつを調査した 10 個体を含む、2 条 30 cm のイネを株元から刈り取り、乾燥調整後に粒厚 1.9 mm 以上の精玄米重を水分 15.0 % に換算して収量を算出した。株式会社サタケ製穀粒判別器 RGQI10A を用いて、得られた精玄米における整粒の粒数割合(以下、整粒率)を測定した。

### 2-4. 結果および考察

#### 1) 播種翌日から 10 日間の日平均気温および処理時の気温

播種翌日から 10 日間の平均気温の平均値は、試験 1 では 13.6 °C、試験 2 では 13.5 °C、試験 4 では 15 °C で、播種早限とされる 12 °C よりは高く、好適出芽・苗立ちとなる 14 °C (秋田県農林水産部農林水産部水田総合利用課農産・複合推進班 2011) に近かった。試験 3 では 20.3 °C で、14 °C からは 6.3 °C 高くなった。すなわち、4 試験とも低温により出芽が抑制される温度条件では無かった。また、除草剤処理日の日平均気温は、試験 1 で 23.2 °C、試験 2 のイネ 2 葉期処理で 13.4 °C、イネ 2.5 葉期処理で 19.0 °C、試験 4 ではイネ 2 葉期処理で 13.8 °C、イネ 2.5 葉期処理で 16.1 °C。試験 3 は 26.6 °C であったことから、異常な低温や高温の問題は無かった。試験 3 では他の試験に比較して相対的に高い温度が得られた。

#### 2) 次位・節位別の分けつ発生と有効化率 (試験 1)

PBBP 水和剤区および無処理区とも第 2 節からの 1 次分けつの発生を 6 月 17 日に確認した。その後も分けつ発生は続き、両試験区において 3 次分けつの発生を 7 月 15 日の調査まで確認した。10 個体の分けつ発生総数は PBBP 水和剤区で 92 本、無処理区で 97 本と同等で (第 2-2 表)、これまでの薬害の評価法では薬害が無いと判断する結果である。

第 2-2 表 除草剤処理が直播イネの分けつの発生および有効化、高品質米生産に寄与する分けつ数とその有効化率に及ぼす影響 (試験 1、2005 年)

試験区	分けつ発生総数		有効化総数		高品質米生産に寄与する分けつ <sup>2)</sup>		有効化率 <sup>3)</sup> (%)
	(本)	N.S.	(本)	N.S.	(本)	(%)	
PBBP 水和剤区	92 (8.2)	N.S.	67 (7.5)	N.S.	42 (3.2)	*	72.8 (1.8) N.S.
無処理区	97 (10.7)		73 (10.3)		52 (3.8)		75.3 (3.3)

1) 分けつ発生数および分けつ有効化数は主茎を除く 10 個体あたりの数値。

2) 高品質米生産に寄与する分けつは、有効化した第 2 節～5 節からの 1 次分けつ、第 2 節からの 1 次分けつからの 2 次分けつとした。

3) 有効化率 = 有効分けつ総数 ÷ 分けつ発生総数 × 100 として求めた。

4) カッコ内は標準誤差を示す (n=3)。

5) 無処理との比較で、\* は 5% 水準で有意なことを、N.S. は有意差の無いことを示す (t 検定)。

一方、次位・節位別の分けつの発生頻度は (第 2-1 図)、1 次分けつでは、PBBP 水和剤区の第 2 節では 60 % に、無処理区と比較して有意に減少した。1 次分けつ第 3 節から第 6 節ではほぼ 100 % となり、無処理区と同等であった。第 7 節からの発生頻度は PBBP 水和剤区で多い傾向であった。2 次分けつでは、第 2 節からの 1 次分けつから発生した分けつの発生頻度が無処理区の 223 % に対して処理区では 124 % と有意に低下した。このことは、第 2 節からの 1 次分けつ発生数の違いに起因していた。

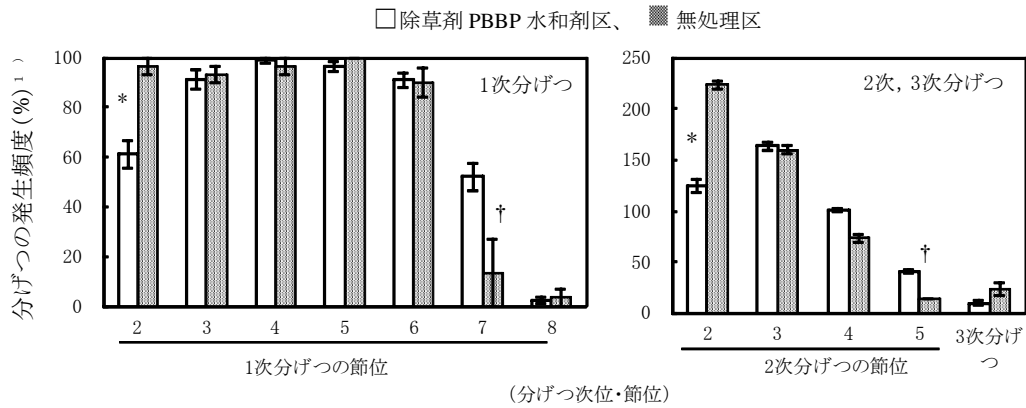
第 2-2 図には次位・節位別分けつの有効化率を示した。1 次分けつでは第 2 節から第 5 節までは平均約 95 % の有効化率で、処理の影響は認められなかった。第 6 節ではやや低下して、第 7 節では 50 % 以下となり、2 次分けつでは各節位とも 1 次分けつより低いものの、同様に処理の影響は認められなかった。

PBBP 水和剤の処理早限における処理によって第 2 節からの 1 次分けつの発生が抑制され、一方で高節位である第 7 節からの 1 次分けつ発生数が増加した。このことは茎数の補償作用が働いた結果 (梅津ら 1992、藤田 2000) と考えられた。

若松ら (2006) は直播水稻の穂相について解析し、第 7 節からの 1 次分けつおよび、同伸葉同分けつ理論より第 7 節からの 1 次分けつと同時に発生すると考えられる 2 次分けつの穂への有効化率は 60 % 以下であり、また、高節位および 2 次分けつが有効化した穂では、低節位の 1 次分けつに比べて 1 穂あたりの玄米重量は少なく、タンパク質含有率は高くなる傾向にある、としている。本試験でも PBBP 水和剤区で増加した第 7 節からの 1 次分けつは有効化率では無処理区より低下し、高品質米生産に寄与する分けつとして期待できない。試験 1 では収量の調査を欠くが、PBBP 水和剤区において高品質米生産に寄与する穂となる分けつが減少した (第 2-2 表)。分けつ数の減少は、その後の 1 穂着粒数の増加や出穂期以降の気象の推移などの要因により収量の減少をもたらさない場合もあるが、寒冷地での高品質米安定生産の観点からは第 2 節からの 1 次分けつの不足は薬害の一つとするべきである。

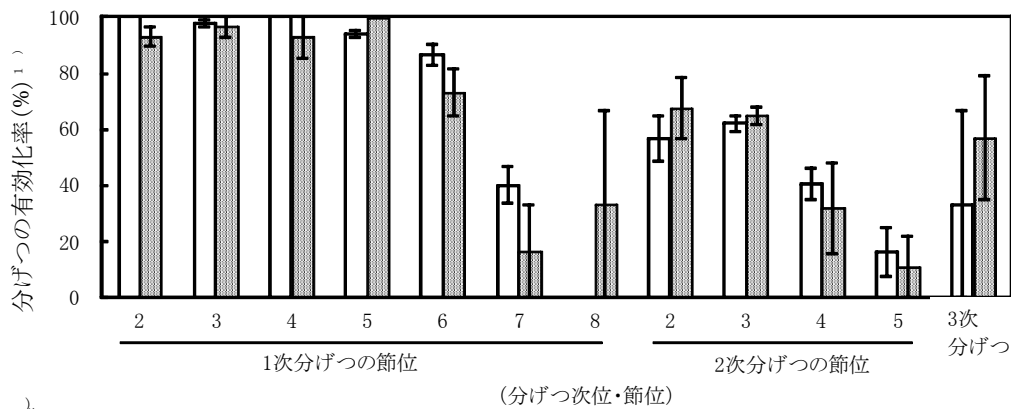
#### 3) 剤型と成分組成を異にする一発処理型除草剤の分けつ発生への影響 (試験 2)

第 2-3 表に第 2 節、第 3 節からの 1 次分けつの発生頻度を示した。無処理区での発生頻度は、第 2 節から 50 %、第 3 節から 73 % と、試験 1 に比べて低下した。イネ 2.5 葉期の除草剤処理翌日に 27 mm 日<sup>-1</sup> の降雨 (アメダスデータ大正寺 2007 年 5 月 31 日) があつた。試験区はプラスチック段ボール製の枠を挿入して設置したため、畦畔漏水の影響をほとんど受けないことから、水深が増した状態が数日間続いた。直



第2-1図 一発処理型除草剤の処理が直播イネの分げつの節位別構成へ及ぼす影響 (試験1、2005年)

- 1) 分げつの発生頻度=分げつの発生数÷調査個体数×100として求めた。
- 2) 図中の\*は試験区間で5%水準、†は10%水準で有意差のあることを示す。無印は有意差のないことを示す (t検定)。
- 3) 図中の縦棒は標準誤差を示す (n=3)。



第2-2図 一発処理型除草剤の処理下での直播イネの分げつの有効化の次位・節位別変動 (試験1、2005年)

- 1) 各次位節位分げつの有効化=各次位節位の有効分げつ数÷各次位節位の分げつ発生数×100として求めた。
- 2) 図中の縦棒は標準誤差を示す (n=3)。

播イネでは葉齡 2.2 前後に湛水深が 5 cm から 4 cm 増加すると第 2 節からの 1 次分げつの発生率が低下する (佐々木ら 2002) とされていることから、本試験では測定値を欠くものの除草剤処理後の止め水期間内に圃場全体で水深が深くなったため、その影響を受けたものと考えられた。

第2-3表 剤型と種類を異にする除草剤の処理による直播イネの低節位の1次分げつ節位別発生への影響 (試験2、2007年)

試験区	1次分げつの発生頻度(%) <sup>2)</sup>	
	第2節	第3節
PBBP水和剤	3 (3) b	43 (20) a
PBBP粒剤	40 (10) ab	57 (12) a
CPBM粒剤	23 (3) ab	67 (7) a
CDBB粒剤	43 (30) a	67 (30) a
無処理	50 (15) a	73 (12) a

- 1) 分げつ発生は6月19日に調査した。
- 2) 分げつの発生頻度=分げつの発生数÷調査個体数×100として求めた。
- 3) カッコ内は標準誤差を示す (n=3)。
- 4) 各節の異なるアルファベットは試験区間に Tukey法で5%水準で有意差のあることを示す。

第2節からの1次分げつの発生頻度は、PBBP水和剤区で無処理区より有意に、また、他剤より著しく低下した。統計的に有意ではないが第3節からの発生頻度も低い傾向にあった。PBBP水和剤区で、同じ成分で剤型が異なるPBBP粒剤区よりも第2節からの1次分げつの発生頻度が低下したのは、秋田県農作物病害虫・雑草防除基準 (秋田県 2011) に準じて、水和剤処理時の水深を粒剤よりも約 2 cm 深い 5 cm にしたことも一因と考えられた。しかし PBBP 粒剤区では、第3節からの1次分げつ発生がやや少ない傾向であったことを考慮すると、PBBP 両剤に共通する成分が強く関与したものと推察された。CPBM 粒剤区では、有意差は見られなかったが、第2節からの1次分げつ発生頻度が低下した。CPBM 粒剤の有効成分のうち、プロモブチドを含まない混合剤であるピラゾスルフロンのメフェナセット・シハロホップ粒剤 (有効成分含有率: 0.3%・7.5%・1.5%。10 a あたり使用量 1kg) のイネ 2.0 葉期処理で、出芽と草丈および葉齡の強い抑制がみられている (須田・三浦ら 1999)。また、2011

(平成 22) 年度版秋田県農作物病害虫・雑草防除基準において CPBM 粒剤の処理早限はイネの葉齢 2.0 (秋田県 2011) であるが、同剤が初めて掲載された 2007 年の防除基準 (秋田県 2007) においては、イネへの安全性を考慮して処理早限は葉齢 2.5 とされていた。すなわち、CPBM 粒剤区では、ピラズスルフロシ・メフェナセット・シハロホップ粒剤と CPBM 粒剤に共通する成分により分けつが抑制されたと推察された。CDBB 粒剤区では第 2 節からの 1 次分けつの発生頻度は供試除草剤の中で最も高く、無処理区と同等であった。

第 2-4 表 剤型と種類を異にする除草剤の処理による直播イネの有効茎決定期の葉齢および最高分けつ期の茎数への影響 (試験 2、2007 年)

試験区	葉齢	茎数(本 $m^{-2}$ )	対無処理区比(%)
PBBP水和剤	6.5 a	523 (37) a	76
PBBP粒剤	6.4 a	605 (18) a	88
CPBM粒剤	6.5 a	721 (70) a	105
CDBB粒剤	6.7 a	664 (47) a	96
無処理	6.6 a	689 (32) a	100

1)葉齢は6月19日に、茎数は7月13日に調査した。  
 2)カッコ内は標準誤差を示す(n=3)。  
 3)同一アルファベットは試験区間にTukey法で5%水準で有意差の無いことを示す。

4) イネの有効茎決定期の葉齢および最高分けつ期の茎数(試験 2)

第 2-4 表に有効茎決定期の 2007 年の 6 月 19 日のイネの葉齢と、最高分けつ期である 7 月 13 日の茎数を示した。処理区の葉齢は 6.4 ~ 6.7 の範囲で、無処理区と同等であり、イネの葉齢進展に除草剤の剤型と成分組成の影響は認められなかった。茎数は、PBBP 水和剤区において 523 本  $m^{-2}$  と、有意差はないものの無処理区と比較して 24 %減少した。

秋田県における目標収量 570 g  $m^{-2}$  のための最高分けつ期に確保すべき茎数は 600 本  $m^{-2}$  で、下限 500 本  $m^{-2}$ 、上限 700 本  $m^{-2}$  とされており(三浦ら 2007)、PBBP 水和剤区の茎数は下限値に近く、収量の減少が懸念される値であった。

前項で述べたように、PBBP 水和剤区では第 2 節からの 1 次分けつの発生が強く抑制され、第 3 節からの 1 次分けつの発生も少ない傾向であったことから、これらの節位から発生する 2 次分けつも減少したためと考えられた。また、試験 2 では、第 4 節からの 1 次分けつより後に発生する分けつ調査を欠くが、PBBP 水和剤処理のために湛水深を増した影響が強く、試験 1 で見られた高節位および高次位の分けつの発生による、補償作用による茎数の回復が無かったと推察される。剤型を異にする PBBP 粒剤では有意差は無いものの無処理区と比較して 12 %減少した。前項で述べた、第 2 節、第 3 節からの 1 次分けつ発生が減少傾向が茎数に影響したと考えられた。他の粒剤の処理区での茎数は無処理区と同等であった。

試験 2 の結果から、湛水土中直播水稻において一発処理型除草剤の種類により収量と品質の面から重要な穂となる第 2 節からの 1 次分けつ発生の抑制程度が異なることが明らかとなり、抑制された場合には最高分けつ期の茎数が減少する傾向となることが示された。本試験では、次位・節位別の分けつの有効化の調査を欠くが、高品質米生産に寄与する分けつの発生が抑制され、最高分けつ期の茎数も不足する生育相をもたらす可能性のある種類の一発処理型除草剤については、使用時期を含めた安全使用に十分に留意する必要がある。

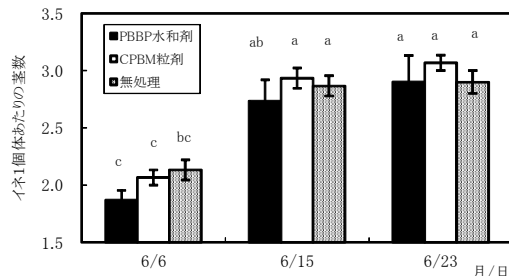
5) ガラス室内での高温条件下での節位別分けつの発生抑制 (試験 3)

圃場での試験 1、試験 2 に比べてそれぞれ 3.4 °C、7.6 °C 高い条件下での PBBP 水和剤および CPBM 粒剤処理区における第 2 節、第 3 節からの 1 次分けつの発生頻度は無処理区と同等で、圃場での試験 1、試験 2 で観察された PBBP 水和剤による低節位 1 次分けつの発生の抑制は認められなかった (第 2-5 表)。茎数の推移は、分けつ開始時期にあたる 6 月 6 日では CPBM 粒剤処理区や無処理区に比べて PBBP 水和剤処理区で

第 2-5 表 相対的な高温条件下での直播イネの低節位の 1 次分けつ発生に及ぼす一発処理型除草剤の影響 (試験 3、2006 年)

試験区	1次分けつの発生頻度(%) <sup>2)</sup>	
	第2節	第3節
PBBP水和剤	83 (8.8) a	83 (6.7) a
CPBM粒剤	93 (3.3) a	93 (6.7) a
無処理	97 (3.3) a	87 (8.8) a

1)播種翌日から10日間の日平均気温20.3°C、一発処理型除草剤を処理した日(5月22日)の平均気温は26.6°Cであった。  
 2)分けつの発生頻度=分けつの発生数÷調査個体数×100として求めた。  
 3)カッコ内は標準誤差を示す。  
 4)各節の同一アルファベットは試験区間にTukey法で5%水準で有意差の無いことを示す。



第 2-3 図 相対的な高温条件下での直播イネ 1 個体あたりの茎数に及ぼす除草剤処理の影響 (試験 3、2006 年)

1)播種翌日からの10日間の日平均気温は20.3°C、一発処理型除草剤処理日の日平均気温は26.6°Cであった。  
 2)イネ1個体あたりの茎数は10個体の茎数の合計を10で除して求めた。

やや少ないが、分けつ発生が終了した6月23日には他の区と同等になった(第2-3図)。

試験3は、試験1、試験2より高い気温条件下でイネの除草剤吸収が促進され、分けつ発生の抑制が助長されることを想定して、ガラス室内で実施した。しかし、本試験では、供試除草剤の分けつ発生に対する影響は認められず、このことは26℃程度の気温条件がイネの除草剤吸収よりは、分けつ発生を促進する方向に作用したものと考えられた。一方、「散布後著しい高温が続く場合、初期生育が抑制される」といった注意事項が、多くの種類の一発処理型除草剤の使用基準に記載されていることから、上記に關与する気温の限界値や変温の影響などについて、今後さらに検討を要する。

#### 6) 剤型と成分組成を異にする一発処理型除草剤の分けつ発生への影響(試験4)

第2-6表に、収量と玄米品質への影響に関する試験4での第2節、第3節からの1次分けつの発生頻度を示した。第2節からの1次分けつの発生頻度は、PBBP水和剤区と同粒剤区で、CDBB粒剤区より有意に低下した。PBBP水和剤区と同粒剤区では有意差は無いが、PBBP水和剤区で低下した。第3節からの発生頻度は3試験区とも同等であった。第2節からの1次分けつの抑制は、PBBP水和剤区、同粒剤区、CDBB粒剤区では試験2と同様の状況を設定できた。

第2-6表 直播イネの収量と品質への影響に関する試験における剤型と種類が異なる除草剤処理によるイネの低節位の1次分けつ節位別発生への影響(試験4)

試験区	1次分けつの発生頻度(%) <sup>2)</sup>	
	第2節	第3節
PBBP水和剤	16 (3) b	59 (7) a
PBBP粒剤	22 (2) b	52 (8) a
CDBB粒剤	42 (4) a	62 (13) a

- 1)カッコ内は標準誤差を示す(n=3)。
- 2)分けつの発生頻度=分けつの発生数÷調査個体数×100として求めた。
- 3)各節の異なるアルファベットは試験区間にTukey法で5%水準で有意差のあることを示す。

#### 7) 有効茎決定期のイネの葉齢および最高分けつ期の茎数(試験4)

第2-7表に有効茎決定期の2011年の6月22日のイネの葉齢と、最高分けつ期の7月15日の茎数を示した。除草剤処理区の葉齢は6.4～6.5の範囲で、3試験区で同等であり、イネの葉齢進展に除草剤の剤型と成分組成の影響は認められなかった。茎数は、試験2に比較して全試験区で著しく減少し、3つの試験区で、目標収量570 g m<sup>-2</sup>のために最高分けつ期に確保すべき茎数の下限500本 m<sup>-2</sup>(三浦ら2007)を下回った。

PBBP水和剤区では352本 m<sup>-2</sup>と有意差はないものの、他の2試験区と比較して50～60本 m<sup>-2</sup>程度減少した。試験4において、最高分けつ期の茎数が減少した要因としては、2011年6月23日、24日、27日のそれぞれ93.5 mm、105.5 mm、64.5 mmの降水量(気象庁気象統計情報/日ごとの値/大正寺/2011年/6月)による水深の増加が考えられた。すなわち6月23日、24日の豪雨の後6月25日に圃場を排水し水深を低下させたが、試験区においては、枠を設置しているため、測定値を欠くものの水深の減少は緩やかとなった。また、27日にも64.5 mmの降雨があった。直播栽培において、イネ8～9葉期にあたる6月下旬から7月上旬に15 cmの湛水深を保つと、高次位・高節位の分けつの発生が抑制され、分けつ発生総数は25%減少する(三浦ら2008)とされている。本試験区内では降水量から推察すると湛水深が15 cm以上となり、分けつの発生が抑制されたと考えられた。茎数は減少したものの、試験区間の比較では試験2と同様の状況を設定できた。

第2-7表 剤型と種類を異にする一発処理型除草剤による有効茎決定期の直播イネの葉齢および最高分けつ期の茎数への影響(試験4、2011年)

試験区	葉齢	茎数(本 m <sup>-2</sup> )
PBBP水和剤	6.5 a	352 (39) a
PBBP粒剤	6.5 a	426 (86) a
CDBB粒剤	6.5 a	422 (58) a

- 1)葉齢は6月22日に、茎数は7月15日に調査した。
- 2)カッコ内は標準誤差を示す(n=3)。
- 3)同一アルファベットは試験区間にTukey法で5%水準で有意差の無いことを示す。

第2-8表 剤型と種類を異にする一発処理型除草剤による直播イネの穂数および収量・整粒率への影響(試験4、2011年)

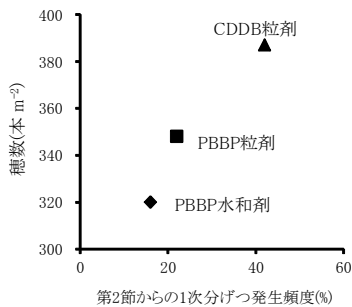
試験区	穂数(本 m <sup>-2</sup> )	精玄米重(g m <sup>-2</sup> )	整粒率(%)
PBBP水和剤	320 (20) N.S.	462 (31) N.S.	84 (0.1) *
PBBP粒剤	348 (68) N.S.	486 (93) N.S.	86 (1.3) N.S.
CDBB粒剤	387 (52)	628 (56)	87 (0.5)

- 1)穂数は穂揃い期の8月15日に調査した。
- 2)カッコ内は標準誤差を示す(n=3)。
- 3)表中\*はDunnett法でCDBB粒剤を対照として、5%水準で有意差のあることを、N.S.は有意差の無いことを示す。
- 4)整粒率は株式会社サタケ製穀粒判別器RGQ110Aにより測定した。

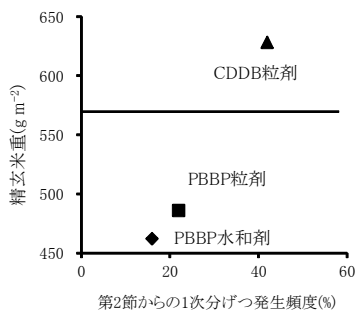
#### 8) イネの穂数および精玄米重と整粒率(試験4)

第2-8表に穂揃い期の2011年8月15日のイネの穂数と、精玄米重を示した。穂数は、試験4の3試験区において有意差はないものの、第2節からの1次分けつへの抑制程度が大きかったPBBP水和剤では、抑制程度が小さかったCDBB粒剤区と比較して、17ポイント減少した。PBBP粒剤では、最高分けつ期の茎数はCDBB粒剤区と同等であったが、穂数はCDBB粒剤区と比較して10ポイント減少した。このことは、

有効化率の高い低節位の分げつ発生が抑制されたことによる推察された。すなわち、試験 4 における各試験区での穂数は第 2 節からの 1 次分げつの発生頻度と強く関連していた(第 2-4 図)。精玄米重は、PBBP 水和剤、同粒剤で CDBB 粒剤と比較して有意差はないものの目標とした  $570 \text{ g m}^{-2}$  には達しなかった。一方、CDBB 粒剤区で  $628 \text{ g m}^{-2}$  と目標の  $570 \text{ g m}^{-2}$  を確保できた。直播栽培において、収量・品質に寄与する分げつを確保し、深水処理により高次位・高節位の分げつの発生を抑制した場合には、1 穂粒数が増加して総粒数の増加により、増収することが明らかとなっている(三浦ら 2008) ことから、CDBB 粒剤区では 6 月下旬の降雨により同様の状態になったと推察された。



第 2-4 図 剤型と種類を異にする一発処理型除草剤による直播イネの第 2 節からの 1 次分げつの抑制と穂数との関係 (試験 4、2011 年)

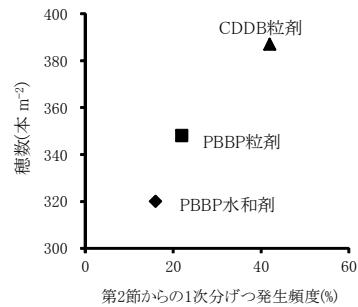


第 2-5 図 剤型と種類を異にする一発処理型除草剤による直播イネの第 2 節からの 1 次分げつの抑制と精玄米重との関係 (試験 4、2011 年)

精玄米重も第 2 節からの 1 次分げつの発生頻度と強く関連していた(第 2-5 図)。玄米の整粒率は、3 試験区とも 80 % 以上となり、高い値となった。その中の比較ではあるが、玄米の整粒率も第 2 節からの 1 次分げつの発生頻度と強く関連していた(第 2-6 図)

以上のことから湛水直播栽培において、ある種の一発処理型除草剤の早限処理に起因する第 2 節からの 1 次分げつへの抑制が起きて、特に高次位・高節位の分げつの発生が低下した場合には、収量と品質の低下がもたらされることが明らかになった。本試験で用いた

PBBP 水和剤、同粒剤の使用にあたっては、早限での処理を避ける除草体系が必要になると考えられた。



第 2-6 図 剤型と種類を異にする一発処理型除草剤による第 2 節からの 1 次分げつの抑制と玄米の整粒率との関係 (試験 4、2011 年)

## 2-5.小括

以上の 4 試験から、水稻の湛水土中直播栽培において、一発処理除草剤をその処理早限のイネ 2 ~ 2.5 葉期に使用した場合、収量と品質に寄与する分げつとして重要な第 2 節からの 1 次分げつの発生の抑制が、播種後の苗立ちや初期生育に影響のない気温条件でも起き得ること、その抑制程度は除草剤の成分、種類、気象条件や、水深などにより変動することが明らかになった。また、湛水直播栽培において収量および品質を向上させるためには、第 2 節からの 1 次分げつの発生の抑制を回避して、穂数を確保することが重要である。これまでの苗立ち数および茎数に基づく薬害評価に加えて、第 2 節からの 1 次分げつの発生の抑制程度を指標とすることは、寒冷地北部に位置する秋田県の水稲直播栽培において、高品質米安定生産に寄与する分げつの安定確保の技術確立のために重要であると考えられる。

一発処理型除草剤は湛水直播栽培での雑草防除体系の基幹技術である。しかし、ある種類の一発処理型除草剤使用による第 2 節からの 1 次分げつの発生抑制を防ぐために、これに対応した雑草防除技術が必要である。今後はさらに第 2 節からの 1 次分げつの発生を抑制する一発処理型除草剤の薬害を回避できる条件および使用方法の確立、落水期間に使用可能な除草剤や高葉齢の雑草に適用可能な除草剤の開発・実用化、初期除草剤の前処理による一発処理型除草剤のイネの 4 ~ 5 葉期処理などの新たな体系の確立を通して、高品質米生産に資する除草体系の確立が必要である。

### 3 水稲湛水土中直播栽培における一発処理型除草剤の使用条件拡大のための初期除草剤ピラゾレート粒剤の少量散布

#### 3-1.抄録

直播栽培における一発処理型除草剤の農薬登録上の使用時期の早限は、多くの剤で葉害のおそれのないイネ2葉期とし、雑草ヒエの枯殺限界葉齢の2.5葉期を処理晩限としている。秋田県では、播種期の低い気温条件下でイネの出芽と生育が雑草ヒエのそれより遅延するため、この日数がしばしば1日となり、晩限を超えて散布される場合には除草効果が不十分となる。そのため、残存した高葉齢の雑草ヒエなどの枯殺のために中・後期除草剤の追加・複数回使用が必要となり、直播栽培の雑草防除における省力化を阻む大きな要因となっている。まず、播種後に使用可能な初期除草剤を少量散布することにより初期の雑草の発生と生育を抑制し、一発処理型除草剤の使用可能期間(日数)を拡大させて、十分な除草効果を発揮させることを検討した。イネへの安全性が高く、雑草ヒエやイボクサに効果を示し、播種直後からイネ1葉期までに散布する初期除草剤ピラゾレート粒剤を用いた少量散布について検討した。

その結果、ピラゾレート粒剤の、農薬登録での3kg(製品量)/10aの半量をイネの出芽始期に湛水条件で処理することにより、その後に処理する一発処理型除草剤の使用可能日数が、単独使用の場合の1日から8日以上に拡大した。散布量の低減(少量1区)による除草効果の低下は初期除草剤の効果の許容範囲内であり、残存した雑草は一発処理型除草剤の性能の発揮により枯殺され、中・後期除草剤の追加散布の省略が可能になった。また、一発処理型除草剤の効果の不安定性が危惧される、転換畑からの復元田における無代かき直播栽培圃場や、本体系を試行した生産者圃場において実際に本研究結果の安定性と実用性を確認し、普及可能な技術であることを示した。ピラゾレート粒剤の製造・販売企業が本結果に着目して農薬登録に取り組み、全国の公立農業関係試験研究機関による効果・葉害に関する適用性試験を経て、2009年6月に10aあたりの使用量1.5kg(少量散布)として農薬登録された。

#### 3-2.はじめに

秋田県の水稲直播栽培においては、播種後のイネの葉齢より雑草ヒエの葉齢が速く進展するため(三浦

2010)、一発処理型除草剤のイネに対する安全性と除草効果が両立する使用可能期間(日数)が、1~4日と短くなることがある(田口ら2003、秋田県農林水産技術センター農業試験場において、財団法人日本植物調節剤研究協会から受託している水稲新除草剤第二次適用性試験の調査結果)。その場合、生産現場では雑草の枯殺限界を超えて除草剤が散布されることがしばしば起こり、直播栽培における雑草防除の効果不安定要因の一つとなっている。

一発処理型除草剤より使用時期が早く、残効性が短く、制御可能な雑草種が少ないという特徴で区分される初期除草剤のいくつかの剤が直播水稲に農薬登録されている。その中で、ピラゾレート粒剤(有効成分含有率:10%)はイネに対する安全性が高く(石田ら1984)、雑草ヒエ(石田ら1984、藤田1999)や直播栽培で問題となるイボクサ(荒井ら2007)に対する効果も高い。一方で、農薬登録での使用量(製品)が10aあたり3kgで1キロ粒剤およびフロアブル剤の使用量の3~6倍になること、および初期除草剤の中では価格が高いことが作業性およびコスト面での課題となり、本剤は現場で利用されにくい実態にある。そこで、移植栽培ではいくつかの初期剤の使用方に採用され、「水稲用除草剤では、フロアブル剤などの散布液を通常使用量よりも少なく散布する使い方のことをいう。初期剤や初期一発処理剤を前処理剤として少量散布し、一発剤や中期剤を体系処理して利用される。(独立行政法人 農業・生物系特定産業技術研究機構2006)」を内容とする少量散布の、湛水直播栽培への応用を発想した。すなわち、湛水直播栽培での一発処理型除草剤の使用可能期間(日数)を、単用した場合の1~4日から拡大して除草効果の安定化をはかることを目的に、初期除草剤ピラゾレート粒剤を従来の使用基準における使用量の半量に相当する10aあたり1.5kgで少量散布した場合の適用性を調査した。

一発処理型除草剤の使用可能期間拡大の目的でのピラゾレート粒剤の少量散布を普及技術とするためには、無代かき栽培など除草剤の効果が低下する可能性のある条件での効果の変動を検討する必要がある。秋田県では、2009年度で約37%に達した水田転作面積率(秋田県農林水産部水田総合利用課調べ2010)に対応するため、水田への復元時のイネの倒伏軽減と畑地土壌の特性維持を目的に、無代かき湛水直播栽培が技術開発された(進藤ら2009)。一般的に復元田では畑地化により減水深が増加し(木村1986、足立1979)、無代かき直播栽培とした場合には、代かき直播栽培と比較して、田面水の縦浸透(山下ら1994)や漏水(長野間1998)も増加し、湛水状態を保つことが難しい。そのため、復元田では田面水の移動に伴う一発処理型除草剤の効果の低下が懸念される。

そこで、田面水の移動で一発処理型除草剤の効果



が変動する恐れのある復元田の湛水直播圃場において、ピラゾレート粒剤の少量散布と一発処理型除草剤による体系処理による雑草防除の効果に及ぼす代かきの有無の影響を調査した。さらに、実規模の大区画湛水直播水田でピラゾレート粒剤少量散布を試行した生産者から作業性と除草効果に関する情報を収集した。

3-3. 材料および方法

試験 1 ピラゾレート粒剤少量散布による除草効果

一発処理型除草剤の性能を最大限発揮できる使用可能期間(日数)を単用の場合の1~4日から拡大し、除草効果を安定させることを目的に、使用量(製品)を3g m<sup>2</sup>(10aあたり3kg相当)から2g m<sup>2</sup>(同2kg相当)と1.5g m<sup>2</sup>(同1.5kg相当)へ減量した場合のピラゾレート粒剤の除草効果を明らかにする。

1) 耕種概要と試験区の配置

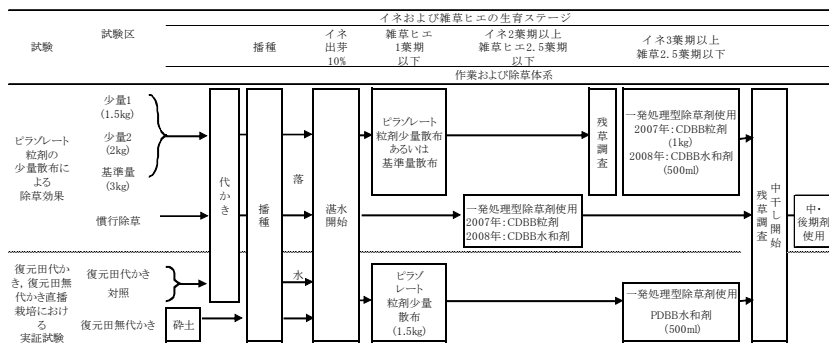
試験は2007年と2008年に秋田県農林水産技術センター農業試験場(秋田市雄和)の面積500m<sup>2</sup>、細粒質グライ土の水田圃場で行った。2007年には5月7日、2008年には5月6日に代かきを行い、N:6.8g m<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:9.1g m<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O:8.0g m<sup>2</sup>を化成肥料で播種時に側条施肥した。水稻品種「あきたこまち」の種子を浸漬・催芽後、播種前日に専用コーティングマシンにより、過酸化カルシウム粉粒剤(成分16%)を乾初重比1倍量で粉衣し、乾初換算で4g m<sup>2</sup>を専用播種機により湛水土中条播として、2007年には5月10日、2008年には5月9日に落水状態で播種した。播種後は落水管理とし、播種した初数の10%の出芽(秋田県農林水産部水田総合利用課2008)を確認した2007年5月22日、2008年5月17日に再び湛水した(第3-1図)。なお、試験2での供試水稻品種と種子の調整は本試験と同様とした。

播種後、塩化ビニル製の畦波シートを用いて2

m×3mの、除草剤処理用の試験区を無作為に2反復で設置した。同時に、プラスチック段ボール製枠を用いて、2007年にはピラゾレート粒剤散布後の除草効果調査用に1m×1mの無除草区を無反復で、一発処理型除草剤散布後の除草効果調査用に0.5m×0.5mの無除草区を2反復でそれぞれ設置した。2008年にはピラゾレート粒剤と一発処理型除草剤のそれぞれの散布後の除草効果調査用に、それぞれ0.5m×0.5mの無除草区を無反復で設置した。

2) ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理

2007年にはピラゾレート粒剤(有効成分含有率:10%)を再湛水2日後(5月24日)に、製品量で1.5g m<sup>2</sup>(以下、少量1区と記す)、2g m<sup>2</sup>(以下、少量2区と記す)、3g m<sup>2</sup>(以下、基準量区と記す)の3水準で処理した。2008年には、再湛水5日後(5月22日)に少量1区のみを設けた。2カ年とも処理時の水深は約3cmとした。体系処理用の一発処理型除草剤としては、2007年には、秋田県の湛水直播水稻栽培で長年使用されているカフェンストロール・ダイムロン・プロモブチド・ベンスルフロンメチル1キロ粒剤(有効成分含有率:3.0%、6.0%、6.0%、0.75%、10aあたり使用量1kg、農薬登録における使用時期:イネ2葉期から雑草ヒエ2.5葉期まで、以下、CDBB粒剤と記す)を、使用条件を満たす6月7日に製品量で1g m<sup>2</sup>を約3cmの水深で処理した。2008年には同水和剤(有効成分含有率:5.5%、10.0%、12.0%、1.4%、10aあたり使用量500ml、農薬登録における使用時期:イネ2葉期から雑草ヒエ2.5葉期、以下、CDBB水和剤と記す)を、使用条件を満たす6月6日に製品量で0.5ml m<sup>2</sup>を約5cmの水深で処理した(第III-1図)。ピラゾレート粒剤処理区で用いた一発処理型除草剤のみをイネ2葉期で雑草ヒエ2.5葉期の2007年5月28日と、2008年5月29日に処理して慣行除草区とした(第3-1図)。



第 3-1 図 砕土・代かき以降の作業とピラゾレート粒剤の少量散布除草体系

- 1) 除草剤の略号については本文を参照
- 2) 図中のカッコ内のキログラム・ミリリットル表示除草剤(製品)の10aあたりの処理量を示す

### 3) 除草効果調査

無除草区で発生した全ての雑草を採取し、草種ごとの個体数と、80℃で48時間通風乾燥後の地上部乾物重を測定した。タイヌビエとイヌビエは区別せず「雑草ヒエ」とした。アゼナ類とミゾハコベを一括して「一年生広葉雑草」とした。無除草区が2反復ある場合には平均値を用いた。観察のみを行った2007年の慣行除草区を除いて、除草剤を処理した試験区の各雑草の草種別の地上部乾物重を測定し、無除草区の地上部乾物重に対する比に100を乗じた残草率を算出し、除草効果を評価した。一発処理型除草剤処理前の2007年6月6日（ピラゾレート粒剤処理13日後）と2008年6月5日（同処理16日後）にピラゾレート粒剤の除草効果を調査した。体系処理の除草効果を、2007年には一発処理型除草剤処理27日後の7月2日に、2008年には同処理24日後の6月30日にそれぞれ調査した。なお、試験2での除草効果調査の方法は本試験と同様とした。

### 4) イネの生育

一発処理型除草剤の処理直前の2007年6月6日に除草剤処理用の試験区内のイネの苗立ち数を、2条各1mを対象に3反復で調査した。2007年7月13日と2008年7月18日に生育期（最高分げつ期）の茎数を、各年の成熟期に穂数を、除草剤処理用の試験区の枠内の条60cmを2反復で調査した。収量は、同各試験区の中央部の3.0m<sup>2</sup>のイネを株元から刈り取り、乾燥調整後に粒厚1.9mm以上の精玄米重を水分15.0%に換算して算出した。

## 試験2 復元田無代かき、復元田代かき直播栽培における、ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理の効果の変動

一発処理型除草剤の効果不足が懸念される復元田での湛水直播栽培において、ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理の効果の変動を、代かきの有無の条件下で確認する。

### 1) 耕種概要

秋田県農林水産技術センター農業試験場において、前作のダイズ栽培時には雑草ヒエが繁茂していた圃場を復元田として「復元田無代かき区（80a）」と「復元田代かき区（20a）」を、また、一発処理型除草剤と茎葉処理除草剤（シハロホップブチル・ベンタゾン液剤）によって雑草が適切に防除されてきた代かき直播イネ連作圃場に「連作田代かき区（以下、対照区と記す）」を設けた。復元田無代かき区では、レーザプラウとレーザレベラにより均平作業後、2008年5月4日に縦軸回転ハローにより砕土・整地し、土壌を飽水

させた後の5月13日に播種し、復元田代かき区ではレーザプラウとレーザレベラにより均平作業後、対照区ではロータリで耕うん後、5月8日に代かき、5月13日に播種した。「復元田」の区では無施肥とし、対照区ではN：7.0g m<sup>-2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>：9.3g m<sup>-2</sup>、K<sub>2</sub>O：8.2g m<sup>-2</sup>を化成肥料で播種時に側条施肥した。乾粒換算で3.5g m<sup>-2</sup>の種子を専用播種機により播種深を5～10mmに設定し、湛水土中条播として5月12日に播種した。播種後落水管理を行い、5月22日に再び湛水を開始した。（第3-1図）。それぞれの区に、0.5m×0.5mのプラスチック段ボール製枠を用いた無除草区を3反復で設置した。

### 2) 供試除草剤

製品量で1.5g m<sup>-2</sup>のピラゾレート粒剤を再湛水翌日の5月23日に約3cmの水深でそれぞれの区に処理した。一発処理型除草剤として、ピラゾレート粒剤処理10日後の6月2日に、秋田県の直播栽培で多く用いられている剤であるピリミノバックメチル・プロモブチド・ベンスルフロンメチル・ペントキサゾン水和剤（有効成分含有率：0.83%、17.0%、1.3%、2.8%、10aあたり使用量500ml、農薬登録における使用時期：イネ2.5葉期から雑草ヒエ3葉期、以下、PBBP水和剤と記す）を製品量で0.5ml m<sup>-2</sup>として約5cmの水深で3区に処理した（第3-1図）。

### 3) 除草効果調査

ピラゾレート粒剤処理10日後の6月2日、一発処理型除草剤の処理の直前に、無除草区とピラゾレート粒剤の試験区内の雑草の種類と葉齢を調査した。一発処理型除草剤処理28日後の6月30日に、50cm×50cmの枠を用いて試験区内の雑草を無作為の3反復で採取し、草種ごとの個体数と乾物重を測定した。

### 4) イネの生育

無除草区を除く各試験区の中心部で、苗立ちの均一な部分の2条各50cmを対象に、苗立ち数および最高分げつ期の茎数と成熟期の穂数を4反復で調査した。収量調査は、試験1と同様に行った。

## 試験3 ピラゾレート粒剤少量散布を試行した現地直播圃場における聞き取り調査

秋田県内で水稲湛水直播栽培にピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理を試行した生産者に面談し、作業性と除草効果などに関するコメントを得た。

### 1) 調査対象

秋田県大仙市（土壌タイプ：細粒質グライ土）、

由利本荘市（土壌タイプ：粗粒質グライ土）、および能代市（土壌タイプ：細粒質グライ土）の各 1 戸の水稲直播栽培生産者（第 3-9 表）

## 2) 調査内容

水稲直播圃場面積、除草体系、除草剤散布方法、体系全体の除草効果およびピラゾレート粒剤の散布における作業性を項目として、大仙市においては 2009 年 10～12 月、由利本荘市、能代市では 2010 年 10～12 月に面談した。

### 3-4. 結果および考察

#### 1) ピラゾレート粒剤少量散布による除草効果（試験 1）

##### (1) 無除草区における草種別の雑草発存量

ピラゾレート粒剤の除草効果調査時における無除草区での雑草発存量は、2007 年、2008 年ともほとんどの雑草種で  $0.5 \text{ g m}^{-2}$  以下であったが、ピラゾレートが強い活性を示す 12 種の雑草（石田ら 1984）のうち、雑草ヒエ、アゼナ類、コナギ、マツパイ、イヌホタルイおよびタマガヤツリが発生し、また直播栽培で問題となるイボクサ（荒井ら 2007）が発生していた。財団法人日本植物調節剤研究会における新除草剤適用性試験での実施基準では「当該地域の代表的な数種の雑草が均一かつ一定量発生することが望ましい」とされている（日本植物調節剤研究会 2004）。また、秋田県の水田における草種別発生面積は、多いものから雑草ヒエ、イヌホタルイ、コナギ、クログワイ、オモダカ、ミズガヤツリ、ヘラオモダカ、マツパイとなっていることから（秋田県農林水産部水田総合利用課農産・複合推進班 2011）、ピラゾレート粒剤の除草効果の評価が可能な条件であった。

一発処理型除草剤の除草効果調査時における無除草区の雑草乾物重は、2007 年にはマツパイ、コナギ、イヌホタルイ、雑草ヒエを主体に、合計で  $125.75 \text{ g m}^{-2}$  で、2008 年には一年生広葉雑草、コナギを主体に合計で  $64.52 \text{ g m}^{-2}$  であった。個体数では、調査を省略したマツパイを除いて、2007 年には、一年生広葉雑草、コナギ、イヌホタルイ、イボクサの順で多く、合計では  $2585 \text{ 本 m}^{-2}$  で、2008 年には一年生広葉雑草、コナギが多く、合計では  $828 \text{ 本 m}^{-2}$  であった（第 3-1 表）。クログワイ、オモダカなど防除が難しいとされ、一発処理型除草剤の防除対象外になっている多年生雑草を除いた一発処理型除草剤の評価の対象草種（日本植物調節剤研究会 2004）の 66 % の種が発生しており、ピラゾレート粒剤の評価と同様に、直播栽培における一発処理型除草剤の除草効果の評価が可能な条件であった。

#### (2) 除草効果

一発処理型除草剤の処理直前での、ピラゾレート粒剤の試験区での残草率は、2007 年で 1 % 以下、2008 年で 7.9 % であり、両年とも試験区間に有意差はなかった。（第 3-2 表）。財団法人植物調節剤研究協会における新除草剤適用性試験での判定基準では、残草率 10 % 以下の場合に「除草効果が極大」（日本植物調節剤研究会 2004）とされ、これに準じると本試験で得られた除草効果は「極大」の範囲であった。

ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理での残草率は、2007 年では少量 1 区では 1.8 %、少量 2 区では 4.9 % で、基準量区での 0.1 % より高いものの 10 % 以下であったことから、本体系処理は高い除草効果を示した（第 3-3 表）。同年の慣行除草区では、残草率を欠く観察調査ではあったものの、マツパイの残存が多く、中干し期間中である 7 月 23 日にベンタゾン液剤の処理を必要としたが、ピラゾレート粒剤の試験区ではその必要が無かった。同様に 2008 年では少量 1 区では慣行除草区で認められたイボクサは残存しなかった。ピラゾレート粒剤の少量散布の効果調査時には残草率で 50 % であったイボクサが、体系処理で用いられた一発処理型除草剤により制御されたと考えられた。ピラゾレート粒剤処理のない慣行除草区において、この時期のイボクサは除草剤による抑制を受けていないが、少量散布であっても本剤がイボクサへ効果（荒井ら、2007）を及ぼしたことがピラゾレート粒剤処理区において一発処理型除草剤の効果を発揮させた要因と推察された。また、慣行除草区では残存した雑草の生育が進み、7 月 9 日にシハロホップブチル・ベンタゾン液剤の処理が必要となったが、少量 1 区ではその必要が無かった（第 3-1 図）。

2 カ年の試験において、播種量の 10 % 程度のイネが出芽した時点で再湛水し、ピラゾレート粒剤を少量散布して、イネ 3 葉期以降に一発処理型除草剤の使用時期を確保した体系において、少量散布 1 区および 2 区は十分な除草効果を示した。

通常、初期剤の除草効果調査は、処理後 20 日頃に行い（日本植物調節剤研究会 2004）、また、直播栽培で基準量を処理したピラゾレート粒剤の除草効果は処理 41 日後まで（中山・高林 1998）調査されている。一方、本研究では、2007 年にはイネが 3.5 葉期である処理 13 日後、2008 年にはイネが 3 葉期である処理 16 日後と、上記より早く除草効果の評価した。本研究では、イネの生育が 3～3.5 葉に到達するまで 20 日より短い期間であった。そのため、一発処理型除草剤の効果確保のためのピラゾレート粒剤少量散布では、基準量の場合よりも残効期間は短くてもよいと考えた。ピラゾレート粒剤の後に使用する一発処理型除草剤の

三浦：高品質米安定生産を目指す秋田県の水稲湛水直播における一発処理型除草剤の性能の完全発揮のための合理的雑草防除体系に関する研究

効果を最大限発揮させる使用可能期間（日数）を、単独使用の場合の1～4日から拡大し、除草効果の安定を目的とする場合には、ピラゾレート粒剤少量散布が有効であるが、一発処理型除草剤の処理がさらに遅れる場合や、中期剤との体系処理の場合には必要な残効期間についての検討が必要である。

第3-1表 ピラゾレート粒剤の少量散布による除草効果試験の無処理区における一発処理型除草剤使用の直前と一発処理型除草剤効果調査時の雑草種別の雑草発生量（試験1）

年次	調査時期	発生量	雑草種							合計 <sup>4)</sup>
			雑草ヒエ <sup>1)</sup>	一年生広葉 <sup>2)</sup>	イヌホタルイ	コナギ	イボクサ	マツバイ	その他 <sup>3)</sup>	
2007	一発処理型除草剤使用の直前	個体数(本 m <sup>-2</sup> )	10	2466	25	70	14	—	—	2585
		乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0.03	0.27	0.08	0.08	0.07	3.13	0.01	3.54
2008	使用の直前	個体数(本 m <sup>-2</sup> )	20	680	8	92	28	—	—	828
		乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0.04	0.33	0.02	0.04	0.04	0.03	0	0.50
2007	一発処理型除草剤効果調査	個体数(本 m <sup>-2</sup> )	16	1283	26	106	18	—	—	1449
		乾物重(g m <sup>-2</sup> )	15.74	6.04	16.06	24.77	1.64	61.1	0.4	125.75
2008	効果調査	個体数(本 m <sup>-2</sup> )	28	4696	28	428	56	—	—	5236
		乾物重(g m <sup>-2</sup> )	4.20	33.88	0.72	12.72	0.96	1.00	11.04	64.52

- 1)「雑草ヒエ」は、タイヌビエとイヌビエを含む。  
 2)「一年生広葉」はアゼナ類、ミノハコベを主に含む。  
 3)「その他」はタマガヤツリ、ハリイ、タウコギ、チョウジタデなどを含む。  
 4)本数の合計は、マツバイとその他を含まない。  
 5)—は調査を行っていないことを示す。

第3-2表 一発処理型除草剤の体系処理前時点でのピラゾレート粒剤少量散布による雑草の種別の残草率(%)（試験1）

年次	調査日	試験区	雑草種ごとの残草率(乾物重%) <sup>1)</sup>							
			雑草ヒエ <sup>2)</sup>	一年生広葉 <sup>3)</sup>	イヌホタルイ	コナギ	イボクサ	マツバイ	その他 <sup>4)</sup>	合計
2007	6月6日	少量1	0 a	0 a	0 a	2.5 a	0 a	0.5 a	0 a	0.5 a
		少量2	0 a	0.2 a	0 a	7.5 a	0 a	0.3 a	0 a	0.5 a
		基準量	0 a	0.3 a	0 a	7.5 a	0 a	0.3 a	0 a	0.5 a
2008	6月5日	少量1	2.0 c	7.5 a	0 a	0 a	50.0 a	35.0 a	0 a	7.9 a

- 1)残草率は、無除草区(第III-1表)に対する各試験区の地上部乾物重比に100を乗じたものを求めた。  
 2)「雑草ヒエ」は、タイヌビエとイヌビエを含む。  
 3)「一年生広葉」はアゼナ類、ミノハコベを主に含む。  
 4)「その他」はタマガヤツリ、ハリイ、タウコギ、チョウジタデなどを含む。  
 5)表中の同一アルファベットは同一草種で試験区間にTukey法で5%水準で有意差の無いことを示す。乾物重比を逆正弦変換して分析した。

第3-3表 ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理の雑草の種別の残草率(%)（試験1）

年次	調査日	試験区	雑草種ごとの残草率(乾物重%) <sup>1)</sup>							
			雑草ヒエ <sup>2)</sup>	一年生広葉 <sup>3)</sup>	イヌホタルイ	コナギ	イボクサ	マツバイ	その他 <sup>4)</sup>	合計
2007	7月2日	少量1	0	0.2	0	0	0	3.8	0	1.8
		少量2	0	2.2	0	0	0	9.8	0	4.9
		基準量	0	0.2	0.3	0	0	0	15	0.1
		分散分析	試験区	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.
2008	6月30日	少量1	0	0	0	0	0	0	0	0
		慣行除草	0	2.9	0	0	69	0.2	0	2.6
		分散分析	試験区	N.S.	*	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.

- 1)残草率は、無除草区(第III-1表)に対する各試験区の地上部乾物重比に100を乗じたものを求めた。  
 2)「雑草ヒエ」は、タイヌビエとイヌビエを含む。  
 3)「一年生広葉」はアゼナ類、ミノハコベを主に含む。  
 4)「その他」はタマガヤツリ、ハリイ、タウコギ、チョウジタデなどを含む。  
 5)表中の\*とN.S.は、二元配置の分散分析において5%水準で試験区間に有意差のあることと、有意差の無いことを示す。乾物重比を逆正弦変換して分析した。

(3) イネの生育と収量

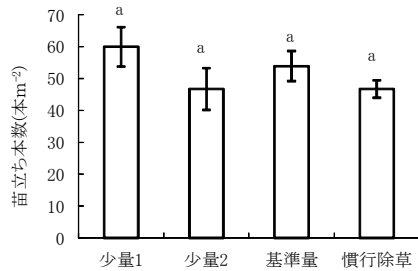
2007年のイネの1 m<sup>2</sup>あたり苗立ち数は、少量1区では60本、少量2区では47本、基準量区では52本、慣行除草区では48本で、少量1区と少量2区では、基準量区、慣行除草区と同等であった(第3-2図)。2007年の少量1区、慣行除草区で、最高分けつ期の茎数、穂数および収量は、それぞれ602、596本 m<sup>-2</sup>、458、442本 m<sup>-2</sup>および522、480g m<sup>-2</sup>であった。2008年は少量1区、慣行除草区で429、479本 m<sup>-2</sup>、393、347本 m<sup>-2</sup>、486、477 g m<sup>-2</sup>であった。少量1区と慣行除草区では、茎

数、穂数および収量には年次間差が見られたものの、試験区間では有意差はなく、ピラゾレート粒剤の少量散布によるイネの生育および収量への影響は無かった(第3-4表)。

試験1において、2カ年とも秋田県の湛水直播栽培の目標収量の570 g m<sup>-2</sup>に達しなかったことについて以下のように考察した。

2007年の秋田県内では、5月下旬の日照不足から苗立ち数が不足傾向で、各地域振興局による湛水直播栽培の定点調査圃(以下、定点圃と記す)の半数にお

いて目標苗立ち本数の 80 ~ 95 本 m<sup>2</sup> に達しなかった。また、全県平均での定点圃における幼穂形成期の葉緑素計値は 39.5 と目標数値の下限值 40 より低かった。しかし、定点圃においてはその後、適切に追肥が



第 3-2 図 ピラゾレート粒剤を少量散布した圃場における直播イネの苗立ち本数 (試験 1)

- 1) 苗立ち本数は 2007 年 6 月 6 日に調査した。
- 2) 図中の縦棒は標準誤差。
- 3) 図中の同一アルファベットは試験区間に Tukey 法で 5% 水準で有意差の無い事を示す。

第 3-4 表 ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理のもとでの直播イネの生育および収量(試験 1)

年次	試験区	最高分けつ期の茎数	穂数	収量
		本 m <sup>-2</sup>	本 m <sup>-2</sup>	g m <sup>-2</sup>
2007	少量1	602	458	522
	少量2	500	391	482
	基準量	526	455	478
	慣行除草	596	442	480
2008	少量1	429	393	486
	慣行除草	479	347	477
分散分析	年次	*	*	*
	試験区	N.S.	N.S.	N.S.

1) 最高分けつ期の茎数は 2007 年は 7 月 13 日、2008 年は 7 月 18 日に調査した。  
 2) 表中の N.S. と \* は、少量 1 区と慣行除草区について処理と年次を要因とした、二元配置の分散分析において少量 1 区と慣行除草区の平均値間で有意差の無いこと、2007 年と 2008 年の平均値間で 5% 水準で有意差のあることを示す。

行われたと推察され、定点圃の平均収量は 570 g m<sup>2</sup> に達しなかったものの 543 g m<sup>2</sup> となった (秋田県農林水産部 2007)。本研究の試験 1 を行った圃場での苗立ち数は、定点圃の傾向と同様に 48 ~ 60 本 m<sup>2</sup> と少なかった。また、通常の除草剤の評価試験においては、剤の直接の影響による収量の減少程度で被害を判断する必要があり、葉色が淡い場合でも追肥を行わない。このために試験 1 では葉色が淡い状態でも追肥をしなかったことが、定点圃に比較して収量が減少した要因と考えられた。2008 年においては、最高分けつ期の茎数が目標数値の下限 500 本 m<sup>2</sup> (三浦ら 2007) に比較して著しく少なくなった。茎数を確保するために、5 葉期までに追肥を行うことが指導されているが (秋田県農林水産部水田総合利用課農産・複合推進班 2011)、2007 年と同様の理由により追肥を行わなかったことから、穂数・籾数不足となり、目標収量に達しなかったと考えられた。

(4) 一発処理型除草剤の使用可能期間(日数)

試験 1 に用いた一発処理型除草剤 (CDBB 1 キロ粒剤、CDBB 水和剤) の農薬登録における使用可能期間は「イネ 2 葉期から雑草ヒエ 2.5 葉期まで」である。これに該当する日数は、慣行除草区では両試験年とも 1 日であったが、ピラゾレート粒剤少量散布と体系処理した場合には 2007 年には 10 日以上、2008 年には 8 日以上に拡大した (第 3-5 表)。

一発処理型除草剤の効果確保のためのピラゾレート粒剤少量散布 (1.5 g m<sup>2</sup>) で、一発処理型除草剤の使用可能期間が慣行除草区での 1 日から 8 ~ 10 日に拡大された。

これまで直播栽培では、発生後の雑草に中・後期剤として処理する茎葉処理除草剤の使用を前提にした除草体系が示されてきた (渡邊・川名 2006) が、日本海側に多い湿田では、ブームスプレーヤーを搭載した水田用乗用管理期 (栽培管理ビークルなど) による茎葉処理の中・後期剤の散布は困難な場合が多い (三浦 2010)。すなわち、下層土壌が「ビークルの車輪の前進と路面間の滑りによって起こる (生物生産機械ハンドブック 1996)」とされる「すべり沈下」しやすいため (田中ら、1967)、複数回の走行によって地耐力が低下し作業機の沈車の要因となるためである。よって、圃場管理上、茎葉処理剤の使用を雑草防除体系の前提とすることは望ましくない。茎葉処理除草剤は鉄砲ノズルなどを用いて畦畔からも散布可能であるが、ノズルからの噴霧量、散布速度および自然の風により散布幅が変わり、散布ムラが生じやすい (生物生産機械ハンドブック 1996) ことから、鉄砲ノズルでの畦畔からの散布では除草効果が不足する場合がある。

本試験の慣行除草区では 2007、2008 年とも中干し期間中に茎葉処理除草剤の使用が必要であったが、ピラゾレート粒剤少量散布との体系処理では不要であった。本試験における体系処理では一発処理型除草剤の使用時期を遅らせることが可能となるため、イネの 7 ~ 8 葉期頃に行われる中干しの時期までに発生する雑草も有効に防除しようと考えた。一発処理型除草剤の使用条件拡大のためのピラゾレート粒剤少量散布は、茎葉処理の中・後期剤除草剤の使用を省略することができ、寒冷地北部日本海側に位置する秋田県の水稲直播栽培においては有効な雑草防除方法になる。また、雑草防除に係わるコスト (除草剤の価格は全農秋田調べ 2011) の面では、ピラゾレート粒剤の基準量と一発処理型除草剤を使用する場合と比較すると、少量散布と一発処理型除草剤による体系処理では、除草剤費を約 25% 削減できる。さらに一発処理型除草剤と中・後期剤としての茎葉処理剤による雑草防除と比較すると除草剤費を 30 ~ 55% 削減できる。

なお、「試験 1」の結果の一部がピラゾレート粒剤の少量散布試験の基礎となり、その後全国の公立農試

三浦：高品質米安定生産を目指す秋田県の水稲湛水直播における一発処理型除草剤の性能の完全発揮のための合理的雑草防除体系に関する研究

第3-5表 ピラゾレート粒剤の少量散布と一発処理型除草剤による体系処理のもとでの直播イネおよび雑草ヒエの葉齢の推移（試験1）

年次	除草体系	イネの生育ステージ					供試一発処理型除草剤の使用時期(日数)
		播種	出芽10%	2葉期	3葉期	3.5葉期	
2007	体系処理	5月10日	5月22日	5月28日		6月7日	発生無し
	慣行除草			2.5			1
	暦日	5月9日	5月17日	5月29日	6月6日		
2008	体系処理				2.0		8
	慣行除草			2.5			1
	暦日	5月9日	5月17日	5月29日	6月6日		

において効果および薬害にかかわる適用性が試験され、2009年6月に10 aあたりの使用量1.5 kg（少量散布）の内容で農薬取締法に基づく農薬登録の内容の拡大となった。

2) 復元田無代かき、復元田代かき直播栽培における、ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理の効果の変動（試験2）

(1) 無除草区の雑草発生量と体系処理による除草効果  
一発処理型除草剤処理直前（6月2日）の対照区の無除草区では、一年生広葉雑草が1葉期で、雑草ヒエとイヌホタルイの発生は無かった。復元田無代かき区では、復元田代かき区より雑草ヒエ、一年生広葉雑草の最大葉齢が0.5および1大きかった。また復元田無代かき区のみでイヌホタルイが発生した。ピラゾレート粒剤を少量散布した区の雑草の発生および最大葉齢は、雑草の発生のない対照区を除き、復元田無代かき区と復元田代かき区では雑草ヒエで1.0であった。（第3-6表）。すなわち、無除草区の雑草の葉齢進展は、対照区と比較して「復元田」で早く、さらに「無代かき」によって早まる傾向にあった。ピラゾレート粒剤の少量散布を行った場合、対照区では雑草が発生しなかったが、「復元田」では雑草ヒエが発生し、その最大葉齢には「代かき」と「無代かき」による差は

無かった。よって、「復元田」でピラゾレート粒剤の少量散布を行わない場合には一発処理型除草剤の使用可能期間が対照区より短くなる可能性があった。また無代かき区では、無除草区の雑草ヒエの最大葉齢から推察して一発処理型除草剤の使用可能期間が代かき区よりさらに短くなる可能性がある。

第3-6表 復元田無代かき、復元田代かき直播における一発処理型除草剤使用直前の雑草の種ごとの最大葉齢（試験2）

試験区	草種	無除草	ピラゾレート粒剤処理
復元田無代かき	雑草ヒエ <sup>1)</sup>	2.5	1
	イヌホタルイ	1	-
	一年生広葉 <sup>2)</sup>	2	1
復元田代かき	雑草ヒエ <sup>1)</sup>	2	1
	イヌホタルイ	-	-
	一年生広葉 <sup>2)</sup>	1	-
対照区	雑草ヒエ <sup>1)</sup>	-	-
	イヌホタルイ	-	-
	一年生広葉 <sup>2)</sup>	1	-

1)「雑草ヒエ」は、タイヌビエとイヌビエを含む。  
2)「一年生広葉」は主にアゼナ類、ミノハコベを含む。  
3) - は発生がないことを示す。

一発処理型除草剤の除草効果調査時（6月28日）の無除草区の雑草乾物重は、復元田無代かき区で7.1 g m<sup>2</sup>、復元田代かき区で21.5 g m<sup>2</sup>、対照区で8.7 g m<sup>2</sup>であった。発生本数は、マツバイと「その他」を除い

第3-7表 復元田無代かき、復元田代かき直播でのピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理による雑草の種別の残草率（試験2）

試験区	雑草種ごとの発生量と処理区での残草率(%) <sup>1)</sup>	雑草種ごとの発生量と処理区での残草率(%) <sup>1)</sup>						合計 <sup>5)</sup>
		雑草ヒエ <sup>2)</sup>	一年生広葉 <sup>3)</sup>	イヌホタルイ	コナギ	タウコギ	その他 <sup>3)</sup>	
復元田無代かき	無除草区雑草発生量	5	648	31	21	51	-	756
	残草率 <sup>1)</sup>	1.2	2.9	1.1	0.6	0.1	1.2	7.1
	残草率 <sup>1)</sup>	0 a	0 a	1 a	0 a	6.9 a	0 a	0.3 a
復元田代かき	無除草区雑草発生量	20	1301	29	56	103	-	1509
	残草率 <sup>1)</sup>	7	7.5	0.2	2.8	0.2	3.9	21.5
	残草率 <sup>1)</sup>	0 a	0.1 a	0.4 a	0.5 a	11.0 a	0 a	0.2 a
対照区	無除草区雑草発生量	3	192	12	4	61	-	272
	残草率 <sup>1)</sup>	0.2	5.3	1.6	0.01g以下	0.4	1.2	8.7
	残草率 <sup>1)</sup>	0 a	0 a	0 a	0 a	0.5 a	0 a	0.04 a

1)残草率は、無除草区に対する各試験区の地上部乾物重比に100を乗じたものを求めた。  
2)「雑草ヒエ」はタイヌビエとイヌビエを含む。  
3)「一年生広葉」は主にアゼナ類、ミノハコベ、「その他」には主にタマガヤツリを含む。  
4) - は測定していないことを示す。  
5)個体数の合計は「その他」を含まない。  
6)表中の同一アルファベットは同一草種で試験区間にtukey法で5%水準で有意差の無いことを示す。乾物重比を逆正弦変換して分析している。

て、復元田無代かき区では 756 本  $m^{-2}$ 、復元田代かき区では 1509 本  $m^{-2}$ 、対照区では 272 本  $m^{-2}$  であった(第 3-7 表)。各試験区に雑草ヒエ、イヌホタルイ、タウコギ、コナギが発生し、ピラゾレート粒剤が高い活性 12 草種(石田ら 1984)の 25%、クログワイ、オモダカなど防除が難しいとされ、直播水稻での一発処理型除草剤の防除対象外になっている多年生雑草を除いた一発処理型除草剤の評価の対象草種(日本植物調節剤研究協会 2004)の 44%の草種が発生しており、直播栽培における体系処理の除草効果の評価が可能な条件であった。

復元田無代かき区の雑草発生量は、復元田代かき区や対照区と比較して少なかった。無代かき栽培では土壌の攪拌が少ないために土壌窒素の無機化が少なく(坂上・松原 1967、進藤ら 2003)、また、イネ近傍へ局所施肥するイネ栽培では条間作土中のアンモニア態窒素が少なくなることから、雑草の生育量が少ない(金田ら 2006)とされる。これらのことから、無代かき区では土壌窒素の無機化が少なく、窒素供給が少ないために雑草の発生量が少なかったと推察した。

ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤の体系処理後には、雑草ヒエと「その他」の雑草は 3 試験区で残存しなかった。イヌホタルイは、復元田無代かき区と復元田代かき区で残存したが、残草率では発生のない対照区と有意差は無かった。タウコギは、復元田無代かき区と復元田代かき区で残草率が 6.9%、11.0%の残草率となったが、対照区の残草率 0.5%と有意差は無かった。一年生広葉雑草とコナギは、復元田代かき区では残存したが、残存しなかった対照区、復元田無代かき区と有意差は無かった。全雑草種の合計値では 3 試験区とも残草率 1%以下と少なく、除草効果は高かった。

試験 2 では一発処理型除草剤を単独使用した試験区を設けていないが、「復元田」と「無代かき」においては、一発処理型除草剤の効果が変動しやすくなると予測される要因について、以下のように考察した。復元田無代かき区、復元田代かき区は、対照区に比較して、落水出芽終了後に再湛水する際に用水量を多く要した。すなわち、転換畑作からの復元(足立 1979、木村 1986)と、無代かき(山下ら 1994、長野間 1998)

により、本研究での圃場の減水深は増大したと考えられた。また、PBBP 水和剤には使用にあたり「除草効果の低下と生育抑制の葉害が発生する恐れがあるので、入水後水持ちの安定した後に散布してください。」との注意事項が付記されている(クミアイ化学工業株式会社 2010)。しかし、ピラゾレート粒剤を少量散布し、一発処理型除草剤の散布を遅らせたことにより、減水深が土壌の水積により減少し(足立 1979)、効果が安定したと考えられた。

復元田無代かき区は、対照区と比較して一発処理型除草剤処理時の無除草区における雑草ヒエの最大葉齢が大きく、雑草ヒエが早くから発生していたと考えた。無代かき直播栽培は、代かき湛水直播栽培に比べて、イネの播種後における雑草ヒエやホタルイの発生時期がばらつく(山下ら 1994)ことから、一発処理型除草剤単用の場合は、イネへの安全性からみた使用早限の前に、早期に発生した雑草ヒエの生育が進み、枯殺限界葉齢に達する場合があると推察された。

以上の結果から、一発処理型除草剤の効果が不安定になりやすいと考えられた「復元田」、特に無代かき条件下においても、一発処理型除草剤の使用条件拡大のためのピラゾレート粒剤少量散布の除草効果は高く、雑草防除技術としての実用性を確認できた。

## (2) イネの生育と収量(試験 2)

苗立ち数は復元田無代かき区で 90.7 本  $m^{-2}$ 、復元田代かき区で 78.1 本  $m^{-2}$ 、連作代かき区で 70.8 本  $m^{-2}$  であり、対照区と比較して有意な差は無かった。収量は 523  $g m^{-2}$ 、552  $g m^{-2}$ 、594  $g m^{-2}$  であり、対照区と比較して有意な差はなく(第 3-8 表)、2008 年の秋田県の直播実証圃の平均的収量である 589  $g m^{-2}$ (秋田県農林水産部水田総合利用課 2009)と同程度であることから、葉害および雑草害は無かったと考えられた。また、玄米の整粒率は、復元田無代かき区: 87.1%、復元田代かき区: 86.4%、対照区: 86.1%と高く、対照区に比較して有意な差はなかった。

対照区と比較して有意差はないものの、復元田では秋田県における目標収量 570  $g m^{-2}$ を確保できず、特に復元田無代かき区では減収程度が大きかった。このことについて以下の様に考察した。

第 3-8 表 復元田無代かき、復元田代かき直播栽培圃でのピラゾレート粒剤の少量散布と一発処理型除草剤による体系処理のもとでの直播イネの生育と収量(試験 2)

試験区	苗立数 本 $m^{-2}$	茎数 本 $m^{-2}$	穂数 本 $m^{-2}$	収量 $g m^{-2}$	整粒率 %
復元田無代かき	90.7(14.5) a	512(82.8) a	390(54.2) a	523(65) a	87.1(1.8) a
復元田代かき	78.1( 9.5) a	583(27.9) a	428(15.2) a	552(67) a	86.4(1.8) a
対照区	70.8(14.6) a	580(16.8) a	453(26.0) a	594(35) a	86.1(1.9) a
参考 目標生育値	95	600	470	570	-

1) 茎数は 2008 年 7 月 12 日に調査した。

2) 整粒率はサタケ社製製粒判別機 RGQ110A により調査した。

3) カッコ内の数値は標準偏差を示す。

4) 表中の同一アルファベットは試験区間に Tukey 法で 5% 水準で有意差の無いことを示す。

5) 目標生育値は平成 23 年度秋田県稲作指導指針 p100 より引用した。

復元田では窒素供給量が増大すると考えられ、移植水稲においても圃場の地力が高い場合は、倒伏し減収する(山野ら 2008)ことから、復元田での直播栽培では、倒伏による減収・品質低下を回避するために無肥料栽培(進藤ら 2010)が選択される。そのため、試験2においても復元田では無施肥とした。また、復元田での湛水直播栽培では無施肥栽培でも倒伏する機会が多く、無代かき直播栽培はこれを回避する目的で開発された。無代かき直播栽培のイネでは幼穂形成期までの窒素吸収量が少なく、幼穂形成期までの生育量が小さいが、その後の窒素吸収量は代かき直播栽培でのイネと同等になる(進藤ら 2010)。すなわち無代かき直播栽培では、幼穂形成期以降の窒素吸収量が多いことから、倒伏回避の必要上窒素追肥を行えない。試験2においても、試験1と同様に除草剤の薬害を判断する目的と、倒伏を回避する目的のため、復元田無代かき区、復元田代かき区においても追肥を行っていない。以上のことが、試験2の復元田において  $570 \text{ g m}^{-2}$  のイネ収量を確保できなかった要因と考えられた。

### 3) ピラゾレート粒剤少量散布を試行した現地直播圃場における聞き取り調査(試験3)

一発処理型除草剤の使用条件拡大のためのピラゾレート粒剤少量散布を実規模での水稲湛水直播栽培へ試行した事例での、生産者が指摘した除草効果と散布の作業性の実態と問題点は以下のようであった(第3-9表)。

2009年の大仙市の事例：1 haの大区画圃場において「背負い式動力散布機とナイヤガラホース」により、ピラゾレート粒剤が均一に少量散布された。作業性に問題はなかった。同圃場内では田面の高低差が大きく、特に高い部分では、中干し時期以降に雑草ヒエが残存した。しかし圃場全体として評価した場合に、除草効果は高かった。

2010年の由利本荘市の事例：30 aの圃場において

「周辺からの背負い式動力散布機による散布」で十分な除草効果が得られた。ただし、生産者は「これ以上圃場の区画が大きくなると、圃場内を歩いて散布しなければならない」と考えていた。

2010年の能代市の事例：1 haの大区画圃場において、「背負い式動力散布機による散布」が行われた。「圃場内を歩いて散布」したため、生産者は「重労働」と感じていた。除草効果には問題はなかった。

以上の実規模で試行した生産者の情報を集約して、一発処理型除草剤の処理可能期間を確保し、除草効果を安定させるためのピラゾレート粒剤少量散布は、十分実用性があると判断できた。しかし、圃場内の高い部分では水深が浅くなり、除草効果が低下することから、除草効果を一層安定化させるには、レーザーレベラなどを用いて圃場の均平をはかり、均一な水深を得ることが重要である(岡田ら 1995、大分県担い手育成総合支援協議会 2007)。また、少量散布により従来の散布量に比べると省力化が図られたが、背負い式動力散布機による散布は、大区画圃場においては、依然として重労働であるため、2011年4月に基準量を対象に登録拡大された無人ヘリコプターや播種機に装着した散布機などによるさらに省力的な散布方法の少量散布への適用が必要である。

### 3-5.小括

以上の3試験から、一発処理型除草剤との体系処理のためのピラゾレート粒剤の少量散布は、一発処理型除草剤の早限となる薬害防止のイネ2葉期と晩限となる雑草ヒエの枯殺限界葉齢 2.5 の間の使用可能期間が、単独使用の1日から8～10日に拡大し、薬害もなく十分な除草効果を示すことが明らかになった。また、代かきした連作圃場に比較して、減水深が大きく雑草が早く生育することから一発処理型除草剤の効果が不安定になる可能性のある復元田無代かき直播栽培

第3-9表 ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤による体系処理を適用した秋田県内の湛水直播栽培圃場における作業概要と生産者の評価(試験3)

年次	地区	圃場面積(a)	播種日	播種様式	除草体系			除草体系への評価		
					除草剤名	10aあたり散布量	散布日	ピラゾレート粒剤の散布方法	体系全体の除草効果	ピラゾレート粒剤散布作業について
2009	大仙市	100	5月20日	湛水土中条播	ピラゾレート粒剤	1.5kg	5月26日	背負い式動力散布機にナイヤガラホースを装着して散布	圃場の高い所の一部で雑草ヒエ用の中・後期除草剤を散布したが全体は問題なし	問題なし
					PBBP水和剤	500ml	6月2日			
2010	由利本荘市	30	5月3日	湛水土中条播	ピラゾレート粒剤	1.5kg	5月16日	背負い式動力散布機で圃場周辺から散布	問題なし	問題なし これ以上圃場の区画が大きくなると、圃場の中を歩く必要がある
					PBBP水和剤	500ml	6月2日			
2010	能代市	116	5月11日	湛水土中条播	ピラゾレート粒剤	1.5kg	5月21日	背負い式動力散布機により散布	雑草ヒエが僅かに残草したが、問題なし	大区画圃場のため、圃場内を歩いて散布した。重労働のため省力散布技術が必要 一発処理除草剤は無人ヘリコプターを使用
					CPM1キロ粒剤	1kg	6月10日			

1)PBBP水和剤は本文(試験1)を参照。2)CPM1キロ粒剤はシハロホップブチル・ピラソスルフロエチル・メフェナセット1キロ粒剤を示す。



においても、十分な除草効果を得た。ピラゾレート粒剤少量散布と一発処理型除草剤の体系処理は、一発処理型除草剤の散布時期を遅らせることで、中干し時期までの雑草を抑制できるため、茎葉処理の中・後期剤による防除を省略できた。この体系処理を試行した現地生産者圃場においても、効果は高かった。ただし、1 ha 超える大区画圃場では少量散布でも、「重労働」であることから、2011 年 4 月に基準量を対象に登録拡大された無人ヘリコプターや播種機に装着した散布機などによる、さらに省力的な散布方法の少量散布への適用にむけた検討が必要である。

#### 4 水稲湛水土中直播栽培における一発処理型除草剤有効利用のための落水出芽中のプロメトリン・ベンチオカーブ粒剤の少量散布による除草効果

##### 4-1.抄録

前章と同様の目的で、播種後の落水出芽期間中に散布可能で、落水期間が2週間以上に及ぶ場合に有効である一方、散布後イネの出芽前に湛水となった場合に苗立ち阻害(葉害)のおそれのある初期除草剤プロメトリン・ベンチオカーブ粒剤を用いて少量散布の効果を検討した。

播種 2 日後の落水条件におけるプロメトリン・ベンチオカーブ粒剤の基準量 4 kg (製品量) / 10 a の半量の散布 (少量 1 区) は、イヌホタルイが残存したものの、全体として雑草の発生を抑制した。半量の散布は再湛水後の一発処理型除草剤の使用可能期間を拡大しなかったが、同剤のもつ除草効果を十分に発揮させた。また、基準量の場合に処理後の降雨により発生する苗立ちの阻害を、半量の散布 (少量 1 区) では回避することができ、目標とした収量 (570 g m<sup>2</sup>) を得た。

##### 4-2.はじめに

湛水直播栽培の落水出芽期間中に使用できる数少ない初期除草剤の中で、プロメトリン・ベンチオカーブ粒剤 (成分含有率: 0.80 %・8.0 %、以下、PT 粒剤と記す) はイネの播種直後から出芽前・出芽後に使用できる初期除草剤である。しかし PT 粒剤には、使用に当たり「出芽直前に散布し、帯水する場合は葉害の危険性があるので、降雨が予想される場合には、播種後早い時期に散布してください」、「出芽前に入水を行うと葉害を生じるおそれがあるので、出芽前に入水はさけてください」(クミアイ化学工業株式会社 2010) との農薬登録の使用上の注意事項が付記されて

いる。すなわち、播種後の降雨や落水が不十分で、田面水が残るとき (山本・菊池 2006) にイネに葉害を引き起こし、苗立ち数および穂数を減少させる (三浦・須田 2006)。また、農薬登録での使用量 (製品) が 10 a あたり 4 kg から 6 kg で、1 キロ粒剤およびフロアブル剤の 4 ~ 12 倍と著しく多くなり、さらに初期除草剤の中では価格が高い。すなわち、葉害、作業性およびコスト面での課題により、本剤は現場で利用されにくい実態にある。

一方秋田県では、排水不良により土壌還元の起こりやすいグライ土圃場が全水田面積の約 60 % を占め (秋田県農林水産部水田総合利用課農産・複合班 2011)、グライ土圃場の多い地域では出芽のため落水期間を2週間以上とする場合がある (仙北地域振興局ら編集 2009)。落水期間が長くなることで発生した雑草の生育が進み、再湛水後には雑草ヒエの葉齢が一発処理型除草剤の処理上限の値を超えることがしばしばある。

イネの出芽を確保するために2週間以上の落水期間を必要とする上記のような湛水直播栽培では、第III章で示したピラゾレート粒剤の少量散布を再湛水後に実施しても、落水期間中に雑草ヒエが枯死限界の1葉期を超えるため少量散布の除草効果が不十分になる。この場合には、落水期間中に使用可能で、雑草ヒエに効果の高い PT 粒剤の活用が有効となる。比較的長期にわたる落水期間に発生する雑草ヒエをはじめとする雑草を制御し、一発処理型除草剤の使用可能期間 (日数) を確保し、その除草効果を十分発揮させるための、PT 粒剤の効果的な利用方法を検討する。すなわち、PT 粒剤の問題点である田面水の残存による葉害を防止し、かつ省力化を図るために、前章で示したピラゾレート粒剤の少量散布を踏まえ、一発処理型除草剤との体系処理条件下における PT 粒剤の少量散布の葉害と除草効果を検討した。

2006 年に秋田県農林水産技術センター農業試験場内のガラス室内で PT 粒剤の少量散布と田面水の有無によるイネの生育への影響を調査し、また、秋田県にかほ市の現地生産者圃場において PT 粒剤の少量散布と一発処理型除草剤の体系処理の除草効果と葉害を調査した。

##### 4-3.材料および方法

#### 試験 1 落水出芽期間に少量散布した PT 粒剤が直播イネの苗立ちに及ぼす田面の停滞水の影響

湛水直播栽培における落水期間の PT 粒剤の散布に際して、「葉害回避のため、出芽前に入水を避ける」旨の使用上の注意事項がある。しかし、薬剤の系外流

出を防止するために排水口を閉じることから、降雨時には滞水のおそれがある。散布後の降雨による水の停滞が PT 粒剤の薬害を助長している可能性がある。そこで、PT 粒剤の処理量がイネの薬害に及ぼす影響を滞水の状態から解析した。

### 1) 耕種概要

水稲品種「あきたこまち」の種子を浸漬・催芽後、播種前日に専用コーティングマシンにより、過酸化カルシウム粉粒剤（成分 16 %）を乾粒重比 1 倍量で粉衣した。秋田県農林水産センター農業試験場水田圃場の土壌をあらかじめ代かきして、充填したプラスチック製のコンテナ（長さ 40 cm、幅 30 cm、深さ 5 cm）に 34 粒の粉衣粒を播種深 5 mm として 2006 年 5 月 13 日に播種した。無加温のガラス室に播種したコンテナを設置した。ガラス室内の播種翌日から 10 日間の日平均気温の平均値は 20.3 °C であり、出芽・苗立ちに影響を及ぼす低温条件ではなかった。

### 2) PT 粒剤処理と水管理

播種直後に製品量で 10 a あたり 2 kg の PT 粒剤を処理する区（以下、少量 1 区と記す。）、4 kg を処理する区（以下、基準量区と記す。）をそれぞれ設けた。対照として PT 粒剤を処理しない区（以下、無処理区と記す。）を設けた。それぞれの区に落水管理（以下、「落水」と記す。）と処理後 4 日間を 2-3 mm の滞水とする（以下、「滞水」と記す。）水管理を 3 反復設けた。出芽揃いと判断した 5 月 18 日以降は、薬害が生じるおそれがないことから全ての区を 5 mm の湛水とした。

### 3) 直播イネの出芽・苗立ち数と葉齢の調査

播種 5 日後（5 月 18 日）に、鞘葉が土壌表面に出た状態を出芽と判定して出芽個体数を、また、21 日後（6 月 3 日）に、3～4 葉期に生育した状態を苗立ちと判定して苗立ち個体数とさらにそれ以下の葉期の個体を含めたすべての個体の葉齢を測定した。

## 試験 2 実規模の湛水直播水田での PT 粒剤の少量散布と一発処理型除草剤の体系処理における除草効果

### 1) 耕種概要

試験は 2006 年に秋田県にかほ市の細粒質強グライ土の水田圃場で行った。試験 1 と同様の種子予措を行い、乾粒換算で 4 g m<sup>2</sup> を専用播種機により湛水土中条播として、5 月 15 日に落水状態で播種した。施肥量は地区の慣行に従い、N : 4.8 g m<sup>2</sup>、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 6.4 g m<sup>2</sup>、K<sub>2</sub>O : 5.6 g m<sup>2</sup> を化成肥料で播種時に側条施肥した。播種後は PT 粒剤の使用基準に定められている処理後の落水期間 15 日間を遵守して落水管理を行い、6 月 2

日に再湛水した。

### 2) 除草剤処理と試験区設置

PT 粒剤については、試験 1 と同様に 10 a あたり製品量で 2 kg 処理する少量 1 区、同 3 kg 処理する少量 2 区と同 4 kg 処理する基準量区をそれぞれ 30 a、20 a および 10 a の規模で設けた。PT 粒剤を処理せず再湛水後に一発処理型除草剤のみを処理する慣行除草区を 30 a の規模で設けた。PT 粒剤は播種 2 日後の 5 月 17 日にナイヤガラホースを用いて処理した。一発処理型除草剤は、秋田県農作物病害虫・雑草防除基準（秋田県農林水産部水田総合利用課 2011）に掲載され、県内で長年用いられているシハロホップブチル・ピラゾスルフロエチル・プロモブチド・メフェナセット粒剤（成分含有率 1.5 %・0.3 %・6.0 %・7.5 %、以下 CPBM 粒剤）とし、6 月 3 日に規定量を処理した。慣行除草区内に、除草剤を処理しない無除草区を 1 m×1 m のプラスチック製の枠を用いて設けた。試験区は無反復とした。

### 3) 除草効果調査

無除草区に発生した全ての雑草を採取し、草種ごとの個体数を計測した後、80 °C で 48 時間通風乾燥後の乾物重を測定した。除草剤を処理した区では、試験区内に無作為で 50 cm×50 cm の 2 カ所の枠内に発生した全ての雑草を採取し、無除草区と同様に測定した。タイムビエとイヌビエを区別せず「雑草ヒエ」、アメリカアゼナとアゼナを一括して「アゼナ類」、ハリイとタマガヤツリを一括して「一年生カヤツリグサ」とした。

一発処理型除草剤処理 1 日前で PT 粒剤処理 16 日後にあたる 2006 年 6 月 2 日に慣行除草区と PT 粒剤の試験区での雑草を、また、中干し開始時期にあたる一発処理型除草剤処理 38 日後の 7 月 10 日に、無除草区および PT 粒剤と一発処理型除草剤の試験区における雑草量を体系処理の除草効果として測定した。

### 4) イネへの薬害

PT 粒剤の薬害については、6 月 2 日に目視と苗立ち数により測定した。慣行除草区では苗立ち数を調査しなかった。目視による薬害の判断においては、財団法人植物調節剤研究協会における新除草剤適用性試験での判定基準（2004）に準じ、「苗立ちが抑制され減収程度が 5 % 以内」と推察したものを薬害程度「小」と判定した。

### 5) イネの生育と収量の調査

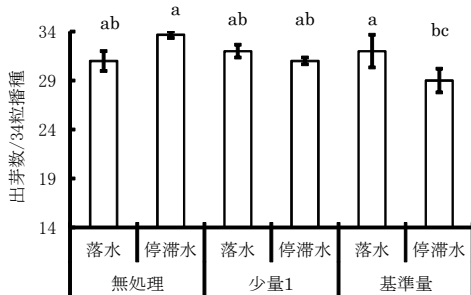
成熟期に、少量 1 区、2 区と基準量区の穂数を、除草剤処理用の試験区の枠内の 1 条 1 m につき 2 反復で調査した。収量は、同各試験区の中央部の 3.0 m<sup>2</sup>

のイネを株元から刈り取り、乾燥調整後に粒厚 1.9 mm 以上の精玄米重を水分 15.0 % に換算して算出した。反復は設けなかった。なお、慣行除草区ではイネの生育と収量の調査を行わなかった。

#### 4-4. 結果および考察

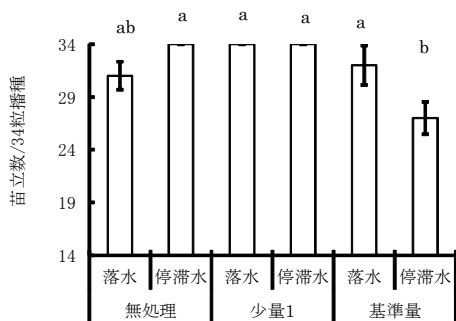
##### 1) PT 粒剤少量散布下の直播イネの出芽・苗立ちに及ぼす停滞水の影響 (試験 1)

停滞水の有無と散布量を要因とした二元配置の分散分析の結果、播種 5 日後の出芽数に対して停滞水の有無、散布量とも有意な効果を示さず、播種 21 日後の苗立ち数に対して、散布量は 1 % 水準、相互作用は 5 % 水準での有意な効果を示したが、停滞水の有無の効果は有意ではなかった (第 4-1 表)。すなわち、播種 5 日後の無処理区と少量 1 区で、停滞水により出芽数は影響されず、基準量区では停滞水により出芽数は減少



第 4-1 図 停滞水の有無の条件下で処理された PT 粒剤の散布量が直播イネの出芽数へ及ぼす影響 (播種 5 日後) (試験 1、2006 年)

- 1) 図中の縦棒は標準誤差を示す。
- 2) 図中の異なるアルファベットは Tukey 法において 5 % 水準で有意差のあることを示す。

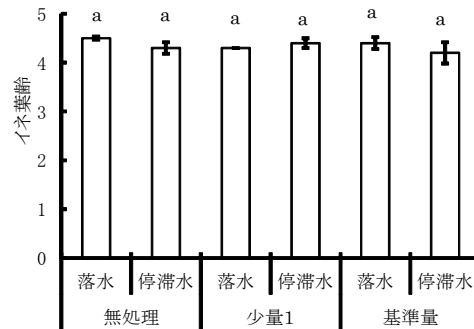


第 4-2 図 停滞水の有無の条件下で処理された PT 粒剤の散布量が直播イネの苗立ち数へ及ぼす影響 (播種 21 日後) (試験 1、2006 年)

- 1) 図中の縦棒は標準誤差を示す。
- 2) 図中の異なるアルファベットは Tukey 法において 5 % 水準で有意差のあることを示す。

傾向にあった (第 4-1 図)。また、苗立ち数は無処理区と少量 1 区で、停滞水により影響されず基準量区では減少した (第 4-2 図)。

苗立ちと判定したイネおよびそれ以下の葉齢のイネについて、無処理区、少量 1 区、基準量区とも、停滞水による葉齢進展の遅れはなかった (第 4-3 図) 以上のことから、少量 1 区では、播種後の PT 粒剤処理後の水が停滞する条件のもとでも、出芽・苗立ち数および葉齢は影響されず、少量散布により葉害は回避できた。



第 4-3 図 停滞水の有無の条件下で処理された PT 粒剤の散布量が直播イネの葉齢へ及ぼす影響 (播種 21 日後) (試験 1、2006 年)

- 1) 図中の縦棒は標準誤差を示す。
- 2) 葉齢の調査は、苗立ち個体とその葉齢以下の個体について行った。
- 3) 図中の異なるアルファベットは Tukey 法において 5 % 水準で有意差のあることを示す。

第 4-1 表 停滞水の有無と PT 粒剤散布量を要因とした二元配置の分散分析の結果 (試験 1、2006 年)

要因	項目		
	播種5日後の出芽数	播種21日後の苗立ち数	播種21日後の葉齢
停滞水の有無	N.S.	N.S.	N.S.
PT粒剤散布量	N.S.	**	N.S.
相互作用	N.S.	*	N.S.

##### 2) 実規模の湛水直播水田における PT 粒剤少量散布の効果 (試験 2)

にかほ市の水田において、播種 2 日後の PT 粒剤散布時には、すべての試験区に雑草は発生しなかった。PT 粒剤を処理しない慣行除草区には、一発処理型除草剤の処理前日の 6 月 2 日時点で、雑草ヒエ、イヌホタルイおよびコナギが発生し、乾物重の合計値で 1.32 g m<sup>2</sup> であった。PT 粒剤の少量 1 区において、慣行除草区と比較で、雑草ヒエは乾物重で 92.3 % 抑制されたが、イヌホタルイは全く抑制されなかった。少量 2 区と基準量区では全ての雑草が枯殺された。少量 1 区はイヌホタルイの残存を除いて、十分な除草効果を発

揮した（第4-2表）。

第4-2表 一発処理型除草剤直前（6月2日）でのPT粒剤少量散布の除草効果（試験2、2006年）

試験区		雑草種			合計
		雑草 <sup>2)</sup> ヒエ	イヌホ タルイ	コナギ	
少量1区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	62	6	0	68
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0.1	0.02	0	0.12
少量2区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0
少量3区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0
慣行除草 区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	446	6	4	452
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	1.3	0.02	-	1.32

1) - は0.01g以下を示す

2)「雑草ヒエ」はタイヌビエ、イヌビエを含む。

### 3) 実規模の湛水直播水田における一発処理型除草剤との体系処理の除草効果（試験2）

一発処理型除草剤処理38日後にあたる7月10日時点で、無除草区には、雑草ヒエ、アゼナ類、イヌホタルイ、コナギ、マツバイ、一年生カヤツリグサが発生し、乾物重の合計値で120 g m<sup>-2</sup>であった。クログワイ、オモダカなど防除が難しく、直播栽培の一発処理型除草剤の対象雑草とされない多年生雑草を除いた一発処理型除草剤による制御の対象雑草種（日本植物調節剤研究協会2004）の約90%の種が発生し、直播栽培における一発処理型除草剤の除草効果の評価が可能な条件であった。PT粒剤処理後に雑草が残存した少量1区、雑草の残存のない少量2区において一発処理型除草剤の除草効果は基準量区と同等に高かった。一方、慣行除草区では雑草の乾物重合計値は無除草区の2.8%と低く、乾物重の大部分はアゼナ類であった（第4-3表）。

第4-3表 PT粒剤と一発処理型除草剤による体系処理の除草効果（7月10日、試験2、2006年）

試験区		雑草種					1年生 <sup>3)</sup> カヤツリグサ類	合計
		雑草 <sup>1)</sup> ヒエ	マツ バイ	アゼナ <sup>2)</sup> ナ類	イヌホ タルイ	コナギ		
無除草区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	490	204	186	8	102	64	1054
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	90.5	3.4	4.6	0.8	16	4.9	120
少量1区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0
少量2区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0
少量3区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0
基準量区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0	0	0	0	0	0	0
慣行除草区	本数(本 m <sup>-2</sup> )	0	0	220	0	0	0	220
	乾物重(g m <sup>-2</sup> )	0	0	3.4	0	0	0	3.4

1)「雑草ヒエ」はタイヌビエ、イヌビエを含む。

2)「アゼナ類」は主にアゼナ、アメリカアゼナを含む。

3)「一年生カヤツリグサ類」はタマガヤツリとハリイを含む。

### 4) 一発処理型除草剤の使用可能期間（日数）（試験2）

播種後16日の5月31日には全試験区でイネが2葉期に達した。また、再湛水後で一発処理型除草剤処理の前日の6月2日には、少量1区と慣行除草区で、雑草ヒエが2葉期、イヌホタルイが1.5葉期であった。少量2区と基準量区では雑草は観察されなかった（第4-4表）。多くの一発処理型除草剤の使用可能期間である「イネ2葉期以上で雑草ヒエ2.5葉期以内」となった日数は、雑草ヒエの葉齢が2葉であった少量1区と慣行除草区については、雑草ヒエが2葉期から2.5葉期に進展する日数は農試ほ場の調査では4日（秋田県農林水産技術センター農業試験場において、財団法人日本植物調節剤研究協会から受託している水稲新除草剤第二次適用性試験の2006年の調査結果）であり、5月31日から6月3日の4日間以上、8日以内と推測され、雑草ヒエの発生のない少量2区と基準量区については散布の晩限を特定できなかったため、それぞれ5月31日から6月3日の4日間以上であった。

少量1区では、PT剤を散布しない慣行除草区と一発処理型除草剤散布前日の雑草ヒエの葉齢が同等になったため、雑草ヒエの抑制による一発処理型除草剤の使用可能日数は拡大出来なかった。しかし、少量1区に関しては、一発処理型除草剤散布前日の雑草ヒエの発生量が慣行除草区の10%以下であり（第4-3表）、また、一発処理型除草剤散布後にはアゼナ類が残存した慣行除草区と違って雑草が残存しなかったことから、少量散布を加えたことによる除草効果の向上が認められた。

### 5) 目視と苗立ち数による葉害の評価

落水出芽法の期間中に約50 mmの降雨（気象庁/気象統計情報/日ごとの値/象湯/2006年/5月、6月）が観測された。この条件下でのPT粒剤による苗立ち抑制

第 4-4 表 PT 粒剤少量散布試験における一発処理型除草剤使用直前 (6 月 2 日) での雑草ヒエおよびイヌホタルイの葉齢 (試験 2、2006 年)

試験区	雑草ヒエ	イヌホタルイ
少量1区	2.0	1.5
少量2区	—	—
基準量区	—	—
慣行除草区	2.0	1.5

第 4-5 表 PT 粒剤の散布量が苗立ち次の直播イネの薬害程度に及ぼす影響 (試験 2、2006)

試験区	観察による薬害程度	苗立本数(本 m <sup>-2</sup> )
少量1区	無	106
少量2区	小	84
基準量区	小	89
慣行除草区	散布無し	—

1)薬害程度「小」は、苗立ちが抑制され、減収程度が5%と推定される状態  
 2) - は調査していないことを示す。  
 3)回復無し

第 4-6 表 PT 粒剤の少量散布と一発処理型除草剤による体系処理のもとでの直播イネの成熟期における穂数と精玄米重 (試験 2、2006 年)

試験区	穂数(本 m <sup>-2</sup> )	収量(g m <sup>-2</sup> )
少量1区	482	586
少量2区	376	525
基準量区	399	546

1)回復無し

は、少量 1 区では観察されなかったが、少量 2 区と基準量区では、減収程度が 5 %以内と推定される「小」(日本植物調節剤研究協会 2004)と判断できる薬害程度 (第 4-4 図) であった。すなわち、苗立ち数は、少量 1 区で 106 本 m<sup>-2</sup>、少量 2 区で 84 本 m<sup>-2</sup>、基準量区では 89 本 m<sup>-2</sup> であり、薬害程度「小」の少量 2 区、基準量区では、少量 1 区と比較して、79 %、84 % に減少した (第 4-5 表)。



基準量区



少量 1 区

第 4-4 図 PT 粒剤の少量散布 (右) と基準量散布 (左) での直播イネの苗立ち状態の差異 (一発処理型除草剤散布前日の状態: 試験 2、2006 年)

#### 6) 直播イネの生育および収量

成熟期の穂数および精玄米重はそれぞれ、少量 1 区で 482 本 m<sup>-2</sup>、586 g m<sup>-2</sup>、少量 2 区で 376 本 m<sup>-2</sup>、525 g m<sup>-2</sup>、基準量区で 399 本、546 g m<sup>-2</sup> であった。少量 1 区においては、秋田県の湛水直播栽培の目標収量である 570g m<sup>-2</sup> を確保できた。少量 2 区と基準量区では穂数不足から収量が減少した (第 4-6 表)。少量 2 区、基準量区では苗立ちが抑制され、穂数に影響したと推察された。穂数および収量が減少したことから、減収 15 %以内の薬害程度である「中」(日本植物調節剤研究協会 2004) に相当すると考えられた。

#### 4-5. 小括

PT 粒剤の少量散布との体系処理による一発処理型除草剤の使用可能期間は、雑草ヒエの葉齢から判断して、少量 1 区では慣行除草区と同等であった。しかし、少量 1 区では一発処理型除草剤との体系処理により除草効果は一発処理型除草剤単独の慣行除草区より向上した。すなわち、一発処理型除草剤散布後に、慣行除草区ではアゼナ類が残存したが、少量 1 区では残存しなかった。また、少量 1 区では、薬害による苗立ちの抑制もなく、目標の精玄米重 570 g m<sup>-2</sup> の収量を確保した。また、ガラス室における試験では、少量 1 区では落水条件のみならず、停滞水の存在下でも薬害を回避出来ることが明らかになった。

落水出芽法は湛水直播栽培の土中播種において重要な苗立ち促進技術である (吉永ら 2007) が、土壌が酸化的になるため、イネのみでなく雑草ヒエの生育も促進される (本馬ら 1999)。秋田県で推奨する落水期間は 7 日から 10 日間であるが、県内の土壌還元の高い地域や土壌タイプの場合は、酸化的条件を得るため落水期間を 2 週間以上とする場合がある (仙北地域振興局ら 2009)。落水期間が長くなると、第 III 章で示した湛水土壌処理剤であるピラゾレート粒剤では、散布可能となる落水出芽期間終了後の再湛水時に雑草ヒエが同粒剤の枯殺限界葉齢である 1 葉期を超えることが懸念される。本試験の結果から、このような場合には、落水期間中に処理が可能な PT 粒剤の少量散布が、その後に散布する一発処理型除草剤の効果を安定

させることがわかった。よって、グライ土圃場のような土壌還元が起こりやすい条件や、堆肥などを使用し還元が懸念される圃場において、土壌の酸化的条件を保ち、イネの出芽数を確保するために落水期間を15日以上必要とする場合に、PT 粒剤を少量散布することにより、降雨により滞水してもイネへの安全性が保たれ、雑草ヒエなどを防除し、その後使用する一発処理型除草剤の効果が安定する。この体系処理の除草効果は高く、雑草が残存しないことから中・後期剤の使用を省略することができる。

## 5 総合考察

本研究では、1) 一発処理型除草剤による湛水直播イネへの影響(薬害)を分けつ構成から解析し、分けつ総数すなわち茎数への影響なしに第2節位からの1次、2次分けつの発生が抑制される場合があり、それが整粒率の低下を通して品質に影響することを明らかにした。2) 処理条件を異にするピラゾレート粒剤およびプロメトリン・ベンチオカーブ粒剤を用い、播種後から出芽時のそれぞれの使用時期に少量散布により雑草を抑制し、再湛水後に使用する一発処理型除草剤の使用可能期間(日数)を拡大させた。また初期除草剤との体系処理により一発処理型除草剤の性能を発揮させ、中・後期除草剤の追加使用を不要にした。

各章において考察を加えたが、ここでは成果の活用方策および、本研究で得られた技術の「あきたe c oらいす」への適用と稲作経営への影響を考察した。

### 5-1. 湛水直播栽培のイネにおける一発処理型除草剤による第2節からの1次分けつ抑制の解明意義と生産者への情報提供

一発処理型除草剤について、湛水直播イネでの苗立ちや最高分けつ期の茎数を用いたこれまでの薬害評価法に加えて、収量と玄米の品質に寄与する第2節からの1次分けつの抑制の程度により評価することは、イネへの安全性を量的指標から質的指標へと拡大した点に意義を有する。この新しい薬害評価法は、寒冷地北部に位置する秋田県の水稲直播栽培において、収量と品質に寄与する分けつの安定確保による高品質安定生産と高い除草効果が両立する一発処理型除草剤の使用方法を確立し、普及するために重要である。

本研究で示された薬害の評価法を一発処理型除草剤の使用法の改善につなげるためには、高品質米生産に資するイネ新品種の開発、イネの出芽・苗立ち速度の向上などの作物学的視点とともに、散布技術の高度化、さらに高性能な新たな一発処理型除草剤の開発などの雑草科学的視点が重要である。これらの実現に

は雑草防除の分野を超えた取り組みが必要となる(三浦 2010)。これらの視点からの研究が以下のように取り込まれつつある。薬害の回避に重要であるイネの出芽・苗立ち速度の向上については、過酸化カルシウム粉粒剤を粉衣した種子の加温処理が検討されており(花見・手代木 1998、野村ら 2002)、葉齢進展が早まることから薬害が回避される(荒井 2008)とされ、加温処理は、地域によっては普及が進められている(石巻普及センター 2010)。また、直播イネの出芽始期に散布可能な安全性の高い一発処理型除草剤も開発されてきている(秋田県 2012)。

直播イネの第2節からの1次分けつの発生頻度は、苗立ちしたイネの10個体の第2葉に印をつけ、第2節からの1次分けつ発生の有無を確認することで把握できる。しかし、生産者が行う場合には得られた情報の正確な解析のために、農業試験場などの研究・指導機関のもとで行うことが望ましい。なお、一発処理型除草剤による第2節からの1次分けつの抑制程度は気象条件や水深などで変動することから、今後、試験研究・指導機関などが新たな除草剤および雑草防除体系の情報を生産者へ提供する際に、一発処理型除草剤による影響のみを確認できる試験方法の確立が必要である。

また、本研究ではイネ品種「あきたこまち」を用いたが、秋田県で直播栽培に用いられる他品種についても、収量と品質に寄与する分けつの特定と、それへの一発処理型除草剤の影響の検討が必要である。

一発処理型除草剤による特定の分けつの抑制に関する情報は、秋田県で発行する「稲作指導指針」および「農作物病害虫・雑草防除基準」に反映され、除草剤の安全使用条件として活用される。また直播栽培の新技術の提供においては、栽培技術の各部門の情報にとどまらず、総合的な栽培技術の指導が求められる。

(児玉 2009)。したがって、上記の行政的な情報提供に加えて、直播栽培の技術体系に含めた情報として各農業協同組合の営農指導員や、生産者に直接迅速かつ正確に伝達する方策を検討する必要がある。

### 5-2. 初期剤の少量散布による一発処理型除草剤の使用時期拡大と効果の安定による、新しい体系処理の活用

初期剤の少量散布との体系処理で一発処理型除草剤の効果が安定し中・後期除草剤の使用を省略できることを示したが、これに加えて、イネが十分に生育した後に一発処理型除草剤を散布できることから、2章で示した第2節からの1次分けつの抑制を回避できる可能性がある。

直播栽培での除草剤の使用には、「後半巻き返し型」と「先手必勝型」がある(三浦 2010)。前者では、薬

害の回避のためイネが処理早限の葉齢に達した後に除草剤を使用することから(岩手県 2011)、雑草ヒエをはじめとする雑草が除草剤の処理早限の葉齢を超える場合が多く、その結果、初期除草剤や一発処理型除草剤の性能を十分発揮させられなかった時に中・後期剤の使用(岩手県 2011、宮城県 2011)が指導されている。本研究の結果から、初期除草剤のピラゾレート粒剤あるいはプロメトリン・ベンチオカーブ粒剤の少量散布によって、一発処理型除草剤の使用可能期間(日数)の拡大と除草効果の安定化が図られ、「先手必勝型」の合理的な雑草防除技術の具体例が提示された。

ピラゾレート粒剤少量散布においては、直播栽培で多く用いられる中・後期剤のベンタゾン剤の防除対象外の問題雑草であるイボクサへの効果が認められた。イボクサの防除においては、ベンゾビシクロンを含む一発処理型除草剤、およびモリネートや MCPB を含む中期剤(荒井ら 2007)や、ビスピリバックナトリウム塩(中山ら 2010)、などの後期剤の除草効果が高いが、これらは直播栽培のイネの生育初期には使用できない。イボクサは 8℃で発芽可能とされ(森田 2004)、落水期間中から発生することから、初期剤であるピラゾレート粒剤の少量散布は、直播栽培を連年実施する圃場でのイボクサに対する「先手必勝型」雑草防除技術になり得ると考えられた。

PT 粒剤は農薬登録での基準量では、落水出芽中の降雨などによる停滞水など不適切な条件では葉害を生じることがあるが、少量散布により葉害を回避することができた。また落水期間が長くなり、その期間中に雑草の発生が懸念される(山本・菊池 2006)圃場において、落水期間中の PT 粒剤の少量散布により、再灌水後の一発処理型除草剤の効果が安定した(Miura *et al.* 2011)。しかし、PT 粒剤の少量散布は農薬登録の内容として拡大されておらず、この技術は「農薬登録での基準量以下での応用」として秋田県内の各地域振興局農林部農業振興普及課などの指導の下で実証圏などを通じて生産者に技術指導されている。

これら 2 種類の初期剤の少量散布の選択については、土壌が還元状態になりやすいために落水出芽の期間が 15 日以上必要となる場合はプロメトリン・ベンチオカーブ粒剤を、落水出芽を終了して再灌水後に雑草ヒエが 1 葉期以内で、かつイボクサが発生する場合にはピラゾレート粒剤を選択し、一発処理型除草剤と体系処理することが適当である。

一方、散布方法については、ピラゾレート粒剤の基準量では無人ヘリコプターや播種機に装着した散布機による省力的な散布方法が農薬登録されているが、少量散布ではまだ農薬登録として適用されておらず、今後実用化に向けた検討が必要である。また、プロメトリン・ベンチオカーブ粒剤では、基準量でもピラゾレート粒剤に相当する省力的散布方法がなく、現状で

は主に動力散布機で散布される。散布時期の田面が軟弱であるため、特に大区画水田での動力散布機を背負っての圃場内の移動は重労働となることから、直播栽培での PT 粒剤の省力的散布技術の改良が必要である。

### 5-3. 「あきた e c o らいす」における直播栽培

本研究の成果を、農林水産省の「特別栽培農産物に係る表示ガイドライン」や秋田県の「あきた e c o らいす」における農薬の使用節減の対象である「成分回数」の観点から考察する。

これまで直播栽培においては、代かきから 3 日以内に播種を行うと(田口ら 2003)、イネが 2 葉期以上の時に、雑草ヒエが 2.5 葉期以内になり、一発処理型除草剤の適期使用が可能となることが明らかになっている。しかし、この場合でも、イネ 2 葉期を早限、雑草ヒエの 2.5 葉期を晩限とする一発処理型除草剤では使用可能期間(日数)が 1 日と短くなることから、より長い使用可能期間を有する一発処理型除草剤、すなわち 3 葉期まで枯殺する雑草ヒエの専用除草剤成分を含む 4 成分の一発処理型除草剤と、雑草ヒエと広葉雑草に効果の高い 1～4 成分の中・後期剤の体系処理が指向されている。この場合の体系処理における除草剤の成分数は 6～8 あるいはそれ以上となる。

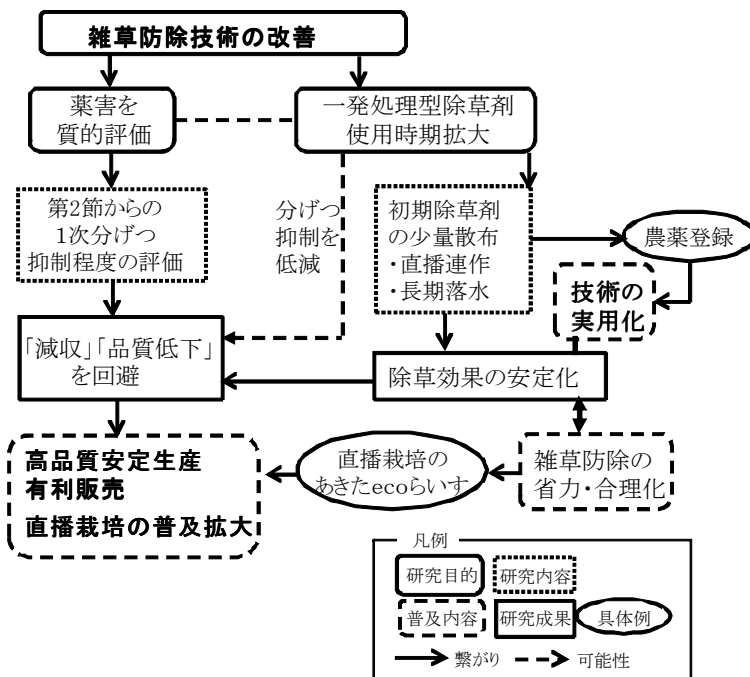
本研究で「先手必勝型」除草体系として示した、1～2 成分の初期剤と、雑草ヒエの枯殺限界を 2.5 葉期とする 3 成分の一発処理型除草剤の体系処理は成分回数を 4～5 に「計画的に低減」でき、コストも 45～75%に低減できる(第 5-1 図)。

直播栽培の「あきた e c o らいす」では、生育調節剤、殺菌剤、殺虫剤の使用が 4～6 成分回数に節減される(仙北地域振興局など 2009)ことから、これに除草剤を加えても合計で慣行栽培の 12～16 成分回数から 10 成分回数以内に節減される。低成分数の初期除草剤および一発処理除草剤の開発が実現すれば、除草剤の使用成分回数のさらなる節減も可能である。よって、本研究で得られた技術を用いることにより、直播栽培においても雑草防除体系での除草剤の成分回数の余裕をもち「あきた e c o らいす」におけるコメを生産できる。「あきた e c o らいす」は、「低コスト省力型生産」、「環境に配慮した生産」および「販売を意識した生産」によるコメを有利販売して、生産者の収益を増加することを目的としている。本研究により、雑草防除方法の改善が図られ、除草剤の使用回数および成分回数の計画的な節減が可能となり、かつ葉害および雑草害が無く移植栽培並の収量と高い品質を確保できる。よって直播栽培における収量と品質を

確保した「あきたecoらいす」の面積を拡大できる。

体系処理	作業・除草剤散布およびイネの生育ステージ				除草剤成分数合計	コスト比
	落水出芽中 または 再湛水後	イネ2～2.5葉期 以上	イネ5葉期以上 または 中干し時期			
	初期除草剤	一発処理型除草剤	中・後期除草剤			
本研究で提示した「先手必勝型」	少量散布 1～2	3	無	4～5	45 ～ 75	
従来の「後半巻き返し型」	1～2	3～4	2～4	6～8 それ以上	100	

第5-5図 本研究成果の、直播栽培における「あきたecoらいす」の雑草防除体系と除草剤の成分回数改善への貢献



第5-2図 研究全体のフロー図

#### 5-4.まとめ

本研究により、湛水直播栽培のイネについて第2節からの1次分けつに着目した高品質安定生産のための一発処理型除草剤の新しい薬害評価法と一発処理型除草剤の使用可能期間（日数）の拡大と効果安定のための体系処理が確立された。直播栽培の大きな課題である雑草防除について、一発処理型除草剤による、イネに対して安全で効果が高く効率的な雑草防除が可能となり、秋田県で営まれる直播栽培の収量性と品質を向

上できる。直播栽培を志向する生産者、また現在直播栽培を行っている生産者にむけて、雑草防除技術のイネへの安全性、省力化および効果の安定化の情報となり、栽培面積拡大を後押しするものとなる。また、本研究で得られた技術を用いて、直播栽培を「あきたecoらいす」へ適用することにより、面積拡大のみならず生産されたコメの有利販売の可能性も見いだされ、稲作経営の収益の増加にも資することができる。

## 6 謝 辞



本研究は、秋田県立大学大学院生物資源科学研究科植物生態生理分野と秋田県農林水産技術センター農業試験場で実施したものであり、遂行に当たっては、秋田県立大学大学院生物資源科学研究科 森田弘彦教授、元秋田県農林水産技術センター農業試験場長 児玉徹氏、元同試験場主席研究員 眞崎聡氏、同試験場作物部長 佐藤雄幸氏をはじめとする多くの方の直接のご指導、励ましを賜りました。また、秋田県立大学大学院生物資源科学研究科 小川敦史准教授、植物生態生理分野の皆様、秋田県農林水産技術センター農業試験場作物部主任研究員 松本眞一氏、同研究員 松波寿典博士、元同臨時職員 加藤瑞恵さん、斉藤夏美さん、同臨時職員 高橋幸子さん、同試験場生産環境部主任研究員 進藤勇人氏、元同試験場研究員 若松一幸氏、秋田県農林水産部農林政策課主査 平川謙一氏、同山本地域振興局農林部技師 田口奈穂子氏、同仙北地域振興局農林部主査 須田康氏、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター上席研究員 中山壮一氏、岩手大学大学院連合農学研究科生物環境科学専攻地域環境工学連合講座 片平光彦准教授、財団法人日本植物調節剤研究協会の皆様をはじめとする多くの方々には試験の遂行に当たって多くの支援を賜りました。

三井化学アグロ株式会社には、ピラゾレート粒剤(商品名：サンバード粒剤)を提供して頂きました。またクミアイ化学工業株式会社には、プロメトリン・ベンチオカーブ粒剤(商品名：サターンバアロ粒剤)を提供して頂きました。

本論文のとりまとめに際しては、秋田県立大学大学院生物資源科学研究科 金田吉弘教授、同 三吉一光准教授にご指導を賜りました。ここに記して上記の皆様にお礼を申し上げます。

(所属・職名などは2011年3月現在で表記)

### 引用文献

- 足立忠司 1979. 田畑輪換と還元田用水量, 土壌の物理性 39:30-34
- 秋田県監修 2007. 「秋田県農作物病害虫・雑草防除基準 平成 19 年度版」、秋田県植物防疫協会、p.304
- 秋田県監修 2011. 「秋田県農作物病害虫・雑草防除基準 平成 23 年度版」、秋田県植物防疫協会、p.280、p.295
- 秋田県監修 2012. 「秋田県農作物病害虫・雑草防除基準 平成 24 年度版」秋田県植物防疫協会
- 秋田県農業試験場編集 2003. 「平成 15 年度版 水稲直播栽培指針」、秋田県農林水産部水田総合利用推進課、pp2-3
- 秋田県農林水産部水田総合利用課編集 2008. 「水稲直播栽培技術講習テキスト」同課、p.12
- 秋田県農林水産部水田総合利用課農産・複合推進班編集 2009. 「平成 21 年度秋田県稲作指導指針」、同班、p.61
- 秋田県農林水産部水田総合利用課農産・複合班編集 2011. 「平成 23 年度秋田県稲作指導指針」、同班、p1、pp.3-6、p.30、pp.89-90、p.96、p.100
- 秋田県農林水産部編集 2007. 「作況ニュース 8 号総括編」同部、pp.13-18
- 秋田県農林水産部編集 2011. 「作況ニュース 8 号総括編」同部、pp.11-16、pp.67-72
- <http://www.pref.akita.lg.jp/www/contents/1303809126024/files/H23sakyouno8.pdf>
- 秋田県仙北地域振興局・平鹿地域振興局・雄勝地域振興局編集 2009. 水稲湛水直播栽培のポイント 県南版. 秋田県米政策事業推進本部
- 荒井三千代・山内敏美・花見厚 2007. 水稲湛水直播栽培におけるイボクサの防除法. 東北農業研究 60:43-44
- 荒井三千代 2008. 福島県の水稲直播栽培における雑草の現状と課題. 植調 42:11-16
- 嶽石進・福田兼史朗 1990. 湛水土中直播栽培の安定化. 秋田県農業試験場研究報告 30:1-16
- 土井康生・村上利男 1977. 北海道におけるタイヌビエの発生生態に関する地域性. 北海道農業試験場研究報告. 119:1-8
- 独立行政法人農業・生物系特定産業技術研究機構編集 2006. 「最新農業技術事典」農山漁村文化協会、p.716
- 独立行政法人農業・生物系特性産業技術研究機構 東北農業研究センター総合第 1 研究チーム編集 2003. 「東北地域の水稲直播に関するインタビューノート-生産者の心を探る-第 1 巻 北東北(青森、岩手、秋田)編」同研究センター水田利用部、p63
- 藤田究 1999. 播種深度の異なる湛水直播水稲の初期生育に及ぼす数種土壌処理型除草剤の影響. 雑草研究 44:43-50
- 藤田究 2000. 砂壤土水田における土壌処理型除草剤の水稲に及ぼす形態的影響解明と適正使用に関する研究. 香川県農業試験場研究報告 53:1-65
- 福島裕助・許斐健治・石丸知道 2000. 水稲湛水直播栽培におけるスクミリンゴガイの食害軽減と雑草防除. 九州農業研究 62:13
- 古畑昌巳 2009. 湛水直播水稲の出芽・苗立ち向上に向けて. 日本作物学会紀事. 78:153-162
- 古谷勝司・片岡孝義 1978. 水田における野生ヒエの生育と種子生産. 雑草研究 23:180-185
- 後藤純子・伊東芳樹・安戸貢 2000. 水田内におけるヒエ類とアカスジカスミカメ(旧称:アカスジメクラカメ)による斑点米との関係. 北日本病害虫研究報告 51:162-164
- 本馬昌直・菊池栄一・三浦恒子・酒井博行・小野寺郁夫・一守貴志・木野田憲久・小菅孝一・寺島一男・渡邊寛明 1999. 東北地域の水稲湛水直播における直播後落

三浦：高品質米安定生産を目指す秋田県の水稲湛水直播における一発処理型除草剤の性能の完全発揮のための合理的雑草防除体系に関する研究

- 水管理の効果と適用条件. 東北農業研究成果情報. 14:51-52
- 星川清親 1975. 「解剖図説イネの生長」農山漁村文化協会、東京、pp.157-170
- 花見厚・手代木昌宏 1998 水稲湛水直播栽培における酸素供給剤被覆種子の加温による出芽促進. 東北農業研究.36:69-71
- 石田三雄・松井貴志・矢内利明・川久保克彦・本間豊邦・矢内欽次・中川昌之・奥平洋巳 1984. 新除草剤ピラゾレート. 三共年報 36:44-92
- 岩手県監修 2010 「平成 23 年度 岩手県 農作物病虫害・雑草防除基準」社団法人岩手県植物防疫協会、p.344
- 金田吉弘・松橋秀男・鎌田易尾・三浦恒子・片平光彦・児玉徹 2002. 肥効調節型肥料の接触施肥による乾田土中早期湛水直播水稲の全量基肥施肥法. 日本土壤肥料学会誌 73:437-440
- 金田吉弘・佐々木景司・佐藤孝・村井茜・菅原茂幸・佐藤敦 2006. ライシメータ水田における基肥施肥法の違いが、水田雑草の生育と養分吸収に及ぼす影響. 日本土壤肥料学雑誌 77:635-641
- 笠原安夫・木下収 1954. 水田雑草ヒエ防除に関する研究 (第 2 報) 日本作物学会紀事 22:7
- Katahira, Mitsuhiro., Hayato Shindo, Kazuyuki Wakamatsu, Chikako Miura and Motoyasu Natsuga. 2011. Development of multilayer sowing mechanism for high-speed hill drop sowing of paddy rice. Proceeding of international workshop on agricultural and bio-systems engineering 56-61
- 片岡孝義・金昭年 1977. 数種雑草種子の休眠覚醒の貯蔵条件による差異. 雑草研究 22 : 156-158
- 木村清 1986. 復元田の土壤環境と水稲生育. 土壤の物理学性 53:20-24
- 児玉徹 2009 水稲・ダイズ栽培における雑草問題の今日的課題 第 1 部水稲栽培と雑草問題 1.直播栽培の足踏みは雑草問題にあるのか. 日本作物学会紀事 78:264-274
- 金和裕・金田吉弘・柴田智・佐藤馨・三浦恒子・佐藤敦 2005. 中苗あきたこまちの高品質・良食味米安定生産に適した分けつの次位・節位. 日本作物学会紀事 4:149-155
- 児嶋清・住吉正・大段秀記 2000. 播種直後土壌処理剤による水稲湛水直播栽培の初期雑草制御. 雑草研究 45(別):44-45
- クミアイ化学工業株式会社編集 2011. 「'11 クミカ農業の解説書」同社、東京、pp.272-273
- 松波寿典・佐野広伸・三浦恒子・佐藤雄幸 2010. 湛水直播栽培したあきたこまちの高品質・良食味米生産に有効な分けつの発生時期. 日本作物学会紀事 79(別 2)54-55
- 民間稲作研究所編 1999. 除草剤を使わないイネづくり. 農山漁村文化協会、東京、pp.63-188
- 三浦恒子・若松一幸 2006. 水稲湛水土中直播における出芽速度、苗立率と播種後の平均気温との関係. 日本作物学会東北支部会報 49 41-42
- 三浦恒子・若松一幸・進藤勇人 2007. グライ土壌における水稲湛水直播あきたこまちの目標生育量. 東北農業研究 60:27-28
- 三浦恒子 2010. 水稲直播栽培における雑草防除の現状、課題、展望 ー平成 22 年度公開シンポジウムよりー 3. 秋田県の水稲湛水直播栽培における雑草防除体系の展望. 雑草研究 55:94-96
- 三浦恒子・進藤勇人・佐藤雄幸・中山壮一 2009. 水稲湛水直播栽培におけるピラゾレート粒剤の減量使用による雑草防除体系. 東北の雑草 9:22-26
- 三浦恒子・藤井直哉 2010. 「あきた eco らいす」における雑草防除. 東北の雑草 10:6-9
- Miura, Chikako. and Hirohiko Morita 2010. Stabilization on weed management efficacy in direct seeded rice in northern Japan. 3<sup>rd</sup> International Rice Congress Poster Presentation Abstract 4416
- 三浦恒子・進藤勇人・佐藤雄幸・森田弘彦 2011. 秋田県の水稲湛水直播栽培における一発処理除草剤によるイネ(Oryza sativa L.) の低節位分けつ抑制の評価. 雑草研究 56(1):7-13
- 三浦恒子・進藤勇人・松波寿典・佐藤雄幸 2011. 水稲湛水直播栽培におけるシグモイド溶出型被覆肥料を主体とした側条施肥による分けつ制御技術. 東北農業研究 64 27-28
- Miura, Chikako., Suda Kou and Hirohiko Morita, 2011. Effect of reduced rate of application of a herbicide, prometryn+thiobencarb during drainage period on improvement of weed management in direct seeded rice in Akita, northern Japan, 23rd Asian-Pacific Weed Science Society Conference: 359-365
- 宮城県監修 2011. 「宮城県農作物病虫害・雑草防除指針 平成 23 年度版」同編集、p.VI-3
- 宮城県石巻農業改良普及センター 2010. 稲作情報号外 (湛水直播編)「水稲湛水直播栽培作業のポイント」同センター、p.2
- 宮原益次 1972. 水田雑草タイヌビエ種子の休眠性に関する生理生態学的研究. 農事試験場研究報告 16:63-85.
- 宮原益次 1983. タイヌビエその他主要一年生雑草の生態と防除に関する研究. 雑草研究 28:1-11
- 宮原益次 1992. 「水田雑草の生態とその防除」全国農村教育教会、東京、pp.50-52、p.159
- 森田弘彦 1995. 水稲直播栽培における雑草防除の現状と問題点. 植物防疫 49:225-231
- 森田弘彦 1999. 1 時間気温値の加重型有効積算気温を用いた野生ヒエとイヌホタルイの葉齢進展. 雑草研究 44:218-227

- 森田弘彦 2001 日本の稲作と雑草ヒエ、藪野友三郎監修「ヒエという植物」全国農村教育協会、東京、pp49-68
- 森田弘彦 2004 雑草、平井一男・本田要八郎編集「防除ハンドブック イネの病害虫と雑草」全国農村教育協会、東京 p.56
- 長野間宏 1998. 稲作技術の展開方向と土壌物理性的諸問題. 土壌の物理性 79:3-9
- 中村喜彰 1976. 湛水直播用コーティング種子の基礎的研究. 農業機械学会誌 38:75-78
- 中山壮一・高林實 1998. 水稻の湛水直播栽培における芽干しの時期および期間によるピラゾレート剤の除草効果の変動. 雑草研究 33:180-184
- 中山幸典・北野順一・大西順平・川名義明 2011. 水稻乾田直播栽培におけるイボクサの防除方法. 関東東海北陸農業研究成果情報  
[http://www.mate.pref.mie.lg.jp/marc/SEIKA/H22/H22\\_seika08\\_ibokusa.pdf](http://www.mate.pref.mie.lg.jp/marc/SEIKA/H22/H22_seika08_ibokusa.pdf)
- 日本植物調節剤研究協会 2004. 水稻関係除草剤試験実施基準. 同協会、 pp1-6  
[http://www.japrr.or.jp/shiken/files/teki2\\_shiken071019.pdf](http://www.japrr.or.jp/shiken/files/teki2_shiken071019.pdf)
- 日本植物調節剤研究協会東北支部編集 2011. 日本植物調節剤研究協会東北支部会報 46 : 51
- 野田健児・小沢啓男・芝山秀次郎 1971. 水稻の雑草害に関する研究. 雑草研究 12:28-32
- 野村幹生・高橋渉・尾島輝佳・川口祐男 2002. 過酸化石灰被覆剤の加温処理が直播水稻種子の出芽、苗立ちに及ぼす影響 第2報 加温処理開始時期および加温処理後の保存条件が出芽に及ぼす影響. 北陸作物学会報 37:29 ~ 32
- 農業機械学会編集 1996. 「生物生産機械ハンドブック」コロナ社、p535、p545
- 農林水産省 2010 直播栽培の現状について  
[http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/z\\_genzyo/](http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/z_genzyo/)
- 農林水産省 2010 農産物生産費統計  
[http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukei/seisanhi\\_nousan/index.html#y1](http://www.maff.go.jp/j/tokei/kouhyou/noukei/seisanhi_nousan/index.html#y1)
- 大分県担い手育成総合支援協議会 2007. 担い手経営革新モデルの実践事業成果 11. 農事組合法人大肥郷ふるさと農業振興会(日田市)<http://www.agri-oita.net/pdf/jirei/11.pdf>
- 岡田雄二・渡辺耕造・長谷部忠・大塚一雄・藤田耕朗 1995. 大区画水田における水稻散播湛直栽培を前提としたほ場均平化技術. 埼玉県農業試験場研究報告 48:1-13
- 大場茂明 1977. 落水出芽法の由来. 農業技術 52:33-34
- 坂上行雄・松原弘一郎 1967. 水田土壌の有機態窒素の無機化に及ぼす湛水直後土壌かくはんの影響 シロカキ作業に伴う水田土壌肥沃度 (第2報). 日本土壌肥料学雑誌 38:70-73
- 酒井博幸・吉田修一・山本晶子・長田行広・神名川真三郎 2002. 湛水土中直播における数種の土壌処理型除草剤の効果およびイネへの影響. 東北の雑草 2:17-23
- 酒井究・佐藤勉 1998. 水稻湛水直播栽培における除草剤使用適期の推定法. 植調 32 : 106-109
- 佐々木良治・柴田洋一・鳥山和伸 2002. 大区画水田における田面の高低が直播水稻の初期生育と分けつに及ぼす影響. 日本作物学会紀事 71:308-316
- 進藤勇人・村上章・原田久富美・太田健・小林ひとみ 2004. 復田時の水稻不耕起・無代かき移植栽培における育苗箱全量施肥. 東北農業研究 57 : 25-26
- 進藤勇人・片平光彦・佐藤雄幸・松波寿典・佐藤健介・高山真幸・田村保男 2009. 田畑輪換における水稻無代かき湛水直播による倒伏軽減と跡地土壌の碎土性. 東北農業成果情報  
<http://tohoku.naro.affrc.go.jp/seika/jyouthou/H21/suitou/H21suitou028.pdf>
- 須田康・三浦恒子 1999. 直播栽培における除草剤の処理適期. 東北農業研究 52:61-62
- 田口奈穂子・三浦恒子・若松一幸・金和裕 2003. 水稻湛水土中条播におけるノビエ 3.0 葉期一発処理除草剤を適期使用するための代かきから播種までの日数. 東北農業研究 56:43-44
- 高城哲男・三浦嘉浩・小菅浩一 2000. 水稻湛水直播栽培におけるカルガモ被害の耕種的軽減技術. 日本作物学会東北支部会報. 43:1-3
- 田中孝・西村功 1967. 水田におけるトラクタの走行性能判定に関する実験結果の総括的考察. 農業機械学会誌 29 : 45-49
- 内野彰・渡邊寛明・伊藤一幸 2002. 水田地温による寒冷地のタイヌビエ(*Echinochola oryzicola* Vasing.)の葉齢進展と発生周期の推定. 雑草研究 47:66-73
- 梅津敏彦・遠藤昌幸・結城和博・今野周・米野操・武田正宏 1992. 散播による湛水土中直播栽培技術. 山形農業試験場研究報告 26:77-102
- 若松一幸・三浦恒子 2004. 水稻湛水直播栽培における過酸化カルシウム剤粉衣量が出芽・苗立に及ぼす影響. 東北農業研究 57:38-39
- 若松一幸・片平光彦・三浦恒子・山形茂 2005. 肥効調節型肥料の側条施用が水稻湛水土中条播の生育収量に及ぼす影響. 東北農業研究 58:23-24
- 若松一幸・三浦恒子・金和裕 2006. 直播水稻の分けつ発生と次位・節位別分けつ着生粒の特性. 日本作物学会東北支部会報 49:43-45
- 渡邊寛明・川名義明 2006. 直播栽培の雑草管理技術. 農業技術 61:503-508
- 藪野友三郎 1975. ヒエ属植物の分類と地理的分布. 雑草研究 20:97-104
- 山田登 1951. 過酸化石灰による作物に対する酸素の供給(予報). 日本作物学会紀事 21:65-66
- 山本倫子・菊池晴志 2006. 水稻湛水直播における播種後落水期間中に使用出来る初期除草剤の効果. 東北農業研究 59:41-42

三浦：高品質米安定生産を目指す秋田県の水稲湛水直播における一発処理型除草剤の性能の完全発揮のための合理的雑草防除体系に関する研究

山野秀真・田中賢太郎・猪部 巖・出水敦 2008. 2年間の大豆転作が後作の水稲・小麦栽培に及ぼす影響. 大分県農林水産研究センター研究報告. 農業編 2:1-9

山下亨・加藤賢一・工藤篤・今野周・武田正宏 1994. 水稲無代かき作溝直播栽培技術の確立 第2報 雑草発生相の解明. 東北農業研究 47:33-34

吉永悟志 2002. 打込み式代かき同時土中点播機を用いた水稲の湛水直播栽培における生産性の向上および安定化に関する研究. 九州沖縄農業研究センター研究報告 41:53-116

吉永悟志・白土宏之・長田健二・福田あかり・中林光文・横山裕正・木村利行・日影勝幸・小田中温美・浅野真澄・三上雄史・島津裕雄・木川裕美・三浦恒子・若松一幸・山川淳・井上由紀・浅野目謙之・中山芳明・島宗知行・鈴木幸夫・木田義信・佐々木園子 2008.

東北地域における直播水稲の登熟特性と収量・品質関連形質. 東北農業研究センター研究報告 109: 41-82

周紅・森田脩・江原宏 2003. 湛水土中散播イネにおける苗立ち型別の生育と収量の特徴. 日本作物学会紀事 72:177-184

## Abstract

eed management system for rational utilization and high herbicidal efficacy of one-shot herbicide in direct-seeded rice under wet conditions in Akita Prefecture for stable production of high-quality grain

Chikako MIURA

Although crop acreage and rice yield in Akita Prefecture are ranked third in Japan, the total number of farmers has decreased in recent years, and the number of farmers >65 years has increased. To save labor and increase the scale of operations, rice farmers are trying to adopt direct-seeded rice cultivation under wet conditions in Japan. Methods of direct seeding and crop establishment have been recently confirmed. However, with this method, rice yield is 10 % lower than that resulting from mechanical transplanting, which is the most commonly used rice production method.

One of the reasons for the reduced rice yield is the failure of weed management using the direct seeding method. Sequential application of herbicides two to four times per crop is necessary for successful weed management using this method, whereas one application of one-shot herbicide is sufficient while using the mechanical transplanting method. Herbicidal injury is a significant problem in weed management using one-shot herbicides for rice that has been directly seeded because at the time of herbicide application, the rice plants (*Oryza sativa* L.) are less developed in comparison to rice seedlings by transplanting.

In this study, suppression of primary tillers from the second node by one-shot herbicide was investigated as a new indicator of herbicidal injury in direct-seeded rice. Herbicidal application at half of the recommended rate (hereafter: low volume use) of 0.15 g a.i.m.<sup>-2</sup> of pyrazolate and 0.16 kg and 1.6 g a.i.m.<sup>-2</sup> of prometryn and thiobencarb, respectively, in granular form was evaluated to stable the efficacy of one-shot herbicides. In addition, sequential application of herbicide to direct-seeded rice for Akita-eco raisu, an ecological pest management regime for rice that is utilized mainly in transplanted rice in Akita Prefecture, was considered.

### 1. Suppression of primary tillers from the second node by one-shot herbicide in direct-seeded rice

In previous studies, the total number of established seedlings, number of tillers at the tillering stage, and grain yield have been used as indicators of herbicidal injury in direct-seeded rice, however, tiller development in terms of nodal position and order of tillers affect yield and grain quality of direct-seeded rice in Akita Prefecture.

Therefore, information on the nodal position and the order of tillers was collected for this study. Susceptibility of every tiller of direct-seeded rice to one-shot herbicides is an indicator of its adaptability, and is important information in the effort to achieve yield ability and grain quality similar to those of transplanted rice.

The development of tillers at every nodal position was investigated in this study. The order and ratio of productive tillers in direct-seeded rice plants treated with one-shot herbicides at the 2.0- or 2.5-leaf stage, the earliest recommended application stage, were determined from 2005 to 2007 and in 2011 under field and glasshouse conditions. This strategy may be a new method of evaluating herbicidal injury as a result of application of one-shot herbicide.

When a flowable formulation of pyriminobac-methyl, bromobutide, bensulfuron-methyl, and pentoxazone was applied at the

2.5-leaf stage of the rice cultivar Akitakomachi, the rate of development of primary tillers from the second node was suppressed to 60 %. However, the rate of development of primary tillers from the seventh node increased. Therefore, no significant difference was found in the total number of developed tillers in treated and untreated plots. The response depended on the active ingredients and formulation of the one-shot herbicides, and was not observed under higher temperature conditions. Furthermore, the suppression of primary tillers from the second node caused reduced yield and lower crop quality.

## 2. Sequential application with low volume use of pyrazolate and one-shot herbicide to prolong suitable duration for one-shot herbicide application

For use of one-shot herbicide in direct-seeded rice, the earliest recommended application is the 2.0-leaf stage to prevent herbicidal injury. The latest recommended application is the 2.5-leaf stage of *Echinochloa* spp. for optimal effect of one-shot herbicide on weeds. The suitable duration of utilization for one-shot herbicide in direct-seeded rice is one to four days. This is because the leaf stage of *Echinochloa* spp. may exceed that of direct-seeded rice in Akita Prefecture. This short time window in which one-shot herbicide can be applied may result in lack of herbicidal efficacy. Therefore, increasing the number of applications and the times suitable for herbicidal treatment would prevent to save labor in weed management especially for *Echinochloa* spp.

In this study, the herbicidal efficacy of low volume use of pyrazolate was evaluated. The efficacy and duration of application of one-shot herbicide with low volume use of pyrazolate were also investigated. Low volume use of pyrazolate was shown to be effective for use in sequential application as a one-shot herbicide. The suitable duration for application of this one-shot herbicide was prolonged from one day (single application) to eight days. As a result of this sequential application, application of herbicides to foliage during midseason drainage was unnecessary.

To confirm the efficacy of sequential application with low volume use of pyrazolate and one-shot herbicide in direct-seeded rice, these herbicide was applied on a rotational basis to a large (1 ha) field without puddling (hereafter: rota-field). The efficacy of sequential application of this herbicide on a rota-field basis was similar to that in direct-seeded rice in a continuously cropping field with puddling (hereafter: control). In addition, the leaf stage of *Echinochloa* spp. in the rota-field treatment exceeded that of the control field by 1.

Sequential application with low volume use of pyrazolate and one-shot herbicide was an effective and stable weed control system. Use of this system could reduce costs and save labor in farming of direct-seeded rice in Akita Prefecture, further labor-saving methods of spraying were required by farmers.

Based on the results reported here, the company that produces and distributes this granular herbicide containing pyrazolate began herbicide registration with the agricultural public research organization in Japan. The low volume use (0.15 g a.i.m.<sup>-2</sup>) of pyrazolate was first registered in June 2009 based on tests of its herbicidal efficacy and potential for crop injury.

## 3. Sequential application with low volume use of a granular formulation of the prometryn and thiobencarb herbicide during the draining period after seeding and application of one-shot herbicide

A granular herbicide combination product containing prometryn and thiobencarb (hereafter: PT) was registered for application in direct-seeded rice fields as pre- and postemergence treatment during the drainage period just after seeding. The recommended application rate ranged from 0.32 g and 3.2 g to 0.48 g and 4.8 g a.i.m.<sup>-2</sup>. However, PT can cause accidental herbicidal injury to rice seedlings when surface water remains after seeding. Herbicidal injury using PT must be prevented without reducing herbicidal efficacy. In this study, changes in herbicidal efficacy and injury with low volume use of PT were evaluated under field and greenhouse conditions.

With low volume use of PT, sufficient herbicidal efficacy was observed with sequential application of one-shot herbicide. No injury to rice seedlings was observed regardless of the soil surface status (drained or saturated) at PT application time. Although *Scirpus juncooides* Roxb. Var. *ohwianus* T. Koyama survived until the time of one-shot herbicide application, it was controlled by successive application of this one-shot herbicide.

Although low volume use of PT did not prolong the suitable window for application of one-shot herbicide after flooding, it was more effective than a single use of one-shot herbicide. In addition, low volume use of PT prevented herbicidal injury to rice seedlings in the rain, and 570 g m<sup>-2</sup> of the yield target was obtained.

## 4. Summary of results regarding application methods of herbicides in this research

三浦 : 高品質米安定生産を目指す秋田県の水稲湛水直播における一発処理型除草剤の性能の完全発揮のための合理的雑草防除体系に関する研究

1) Methods of evaluation of injury to rice seedlings from one-shot herbicide based on the rate of suppression of primary tillers from the second node in direct-seeded rice

For a new and easy method of evaluating tillers, suppression of tillers must be confirmed, except in the cultivar Akitakomati. In addition, a means of providing this information to farmers must be established.

2) Stability of efficacy of one-shot herbicide using low volume use of pyrazolate and PT

For low volume use of pyrazolate and PT to be widely adopted, the unmanned helicopter and sprayer attached to a seeder that has been routinely used in herbicide application must be adapted for further labor saving and herbicide formulation suitable to low volume use was required.

3) New weed management system in direct-seeded rice adapt to Akita-eco raisu

The new weed management system established in this research was able to reduce the number of active ingredients in the herbicide from the 6 - 8 that have been applied in the past to 4 - 5 in direct-seeded rice. Thus, the results of this research strongly support the promotion of Akita-eco raisu in direct-seeded rice with comparable herbicidal efficacy to herbicide used in transplanted rice.

(Bull.AKITA Agric.Exp.Stn., \*\*, \*-\*, 20\*\*)