

## ノビエの葉齢予測式から推定した 青森県における水稲湛水直播栽培の一発処理剤散布適期

木村 利行\*

Right application time of one-shot herbicide in direct seeding cultivation  
of paddy field estimated by prediction plant age in leaf number of *Echinochloa* spp. in Aomori.

Toshiyuki Kimura\*

**要約** 水稲湛水直播栽培の雑草防除を一発処理剤のみで行うための条件を、青森県内4地域の平均値によるシミュレーションで推定した。播種方式は、浸種籾の鉄コーティング表面播種（以下、鉄直播）と催芽籾のカルパーコーティング土中播種（以下、カルパー直播）とした。ノビエの葉齢は、下限温度を9℃とした代かき翌日からの有効積算気温による一次式から推定した。北海道と東北地方の試験事例を用いて予測精度を検証した結果、誤差の平均値は-0.2日、RMSEは1.6日であった。イネ1葉期到達日は既存のDVR式で予測した。東北地方の試験事例による予測精度は、カルパー直播は誤差の平均値が-0.5日、RMSEが1.7日、鉄直播は誤差の平均が-1.1日、RMSEが1.1日であった。これらの予測式は、誤差の偏りが最大で1日程度と良好な予測精度であった。青森県内の4地点を対象にしたシミュレーションの結果、カルパー直播ではノビエの殺草限界を3.5葉期とする一発処理剤で6日の散布適期が確保された。鉄直播ではカルパー直播よりイネ1葉期到達日が約5日遅く、ノビエの殺草限界が3.5葉期では不十分で、殺草限界が4葉期の場合に4日の散布適期を確保した。

**キーワード**：一発処理剤，ノビエ，水稲湛水直播，有効積算温度，葉齢  
One-shot herbicide, Direct seeding cultivation of paddy field, *Echinochloa* spp.,  
Effective accumulated air temperature, Plant age in leaf number

### 緒 言

青森県における2017年の湛水直播栽培面積は約800haで、その播種方式には鉄コーティング種子による表面播種（以下、鉄直播）、カルパーコーティング種子による土中播種（以下、カルパー直播）、べんがらモリブデンコーティング種子による土中播種（以下、べんモリ直播）などがみられる。青森県では、カルパー直播が中心に普及していたが、2015年頃から鉄直播が急激に増加し、近年はこれらに加えてべんモリ直播が導入されつつある。直近では、鉄直播、べんモリ直播、カルパー直播の順に取り組みが多い。これらにはそれぞれ利点があり、生産者はコーティングの作業性や栽培管理のし易さ、資材費、自らの技術の習熟度などを考慮して、播種方式を

選択していると思われる。

湛水直播栽培における一発処理剤の散布適期は、イネの葉齢が処理早限、ノビエの葉齢が処理晩限の指標となる。しかし、イネの出葉が遅れるなどの理由で早限と晩限が逆転し、一発処理剤の散布適期を確保できない事例がよくみられる。この対策として、初期剤と一発処理剤による防除体系が確立され（三浦2016）、水稲への安全性と安定した除草効果が確保されるようになっている。2017年現在、青森県においても、この除草体系が湛水直播栽培における除草管理の主流になっている。

しかし、湛水直播栽培で更なる省力・低コスト化を図るためには、移植栽培でみられるように一発処理剤のみでの雑草防除で、農薬費および労力を削減することが望まれる。このようなことから、低コストに使用できる一

\* 地方独立行政法人青森県産業技術センター農林総合研究所 〒036-0522 青森県黒石市田中 82-9  
Agriculture research institute, Aomori prefectural industrial technology research center  
82-9 Tanaka, Kuroishi, Aomori 036-0522, Japan

第1表 ノビエの葉齢と代かき翌日からの有効積算気温による一次式

下限温度	Y = aX + b		決定係数
	a	b	
10℃	0.0284	0.0945	0.88
9℃	0.0255	-0.0724	0.90
8℃	0.0231	-0.0199	0.91

Yはノビエの葉齢, Xは代かき翌日からの有効積算気温 (n=27)。

発処理剤の普及のため、除草剤の利用開発に関する試験研究事業を担う(公財)日本植物調節剤研究協会は、2017年から湛水直播栽培における一発処理剤のみでの雑草防除の実用性を評価する試験区分を新設している。

湛水直播栽培におけるイネとノビエの葉齢進展には地域差があり、寒冷な地域では温暖な地域に比べて、イネよりノビエの葉齢進展が早い傾向がある(小山2016)。従って、寒冷地である青森県では、一発処理剤における処理早限と処理晩限の逆転が生じやすいと考えられる。また、種子予措の違いから、鉄直播はカルパー直播に比べてイネ1葉期到達日が5日ほど遅れる傾向がある(木村2016)。一方、イネとノビエの成長速度は、日平均気温による生育予測が可能であり(堀江・中川1990, 村上ら1990)、これを活用したシミュレーションにより、各地域の気象条件や播種方式に基づいた一発処理剤の散布適期を試算できる。これまで青森県において、湛水直播栽培の播種方式別に一発処理剤の散布適期を検討した研究事例はみられないことから、本報では、日平均気温の平年値からイネ1葉期到達日とノビエの葉齢を予測し、一発処理剤のみで湛水直播栽培の雑草防除を行う条件を推定した。

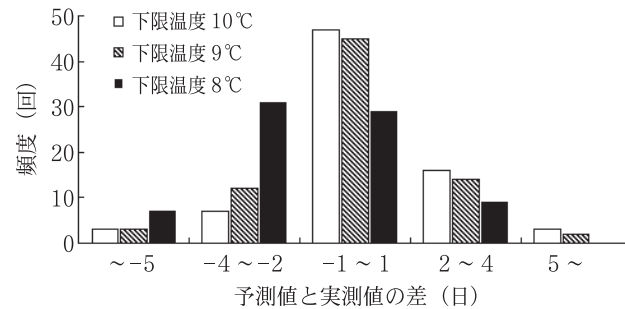
## 方 法

ノビエの葉齢とイネの1葉期到達日を、日平均気温を使用して予測した。ノビエの葉齢を推定する予測式は、目的変数をノビエの葉齢、説明変数を有効積算気温とする一次式とした。日本植物調節剤研究協会の委託試験により青森県産業技術センター農林総合研究所(以下、青森農林総研)が実施した水稻関係除草剤適2試験成績(以下、適2試験成績)のうち、「水稻関係除草剤適2試験成績収録(直播栽培・畦畔・耕起前等・休耕田)」から、葉剤処理時のノビエの最大葉齢、イネの平均葉齢とその暦日、代かき日、日平均気温を参照し、解析に供した。ノビエの葉齢は1~5葉期を対象にした。代かき翌日からの日平均気温による有効積算気温を説明変数とし、有効温度の下限值は8℃, 9℃, 10℃の3段階とした。対象年次は2012~2016年の5か年とした。イネ1葉期到達日は、既存の日平均気温に基づくDVR式(木

第2表 ノビエ葉齢予測式の予測誤差(日)

下限温度	誤差の平均値			誤差のRMSE		
	全地点	北海道	東北	全地点	北海道	東北
10℃	0.3	0.2	0.3	1.7	2.1	1.5
9℃	-0.2	-0.6	0.0	1.6	1.8	1.5
8℃	-1.5	-2.7	-1.0	2.2	3.0	1.9

n = 76

第1図 ノビエ葉齢における予測誤差のヒストグラム  
n = 76

村2016)を用いて、鉄直播とカルパー直播を対象に予測した。なお、このDVR式は、鉄直播では積算水温を50℃・日とする浸種粉によるコーティング種子、カルパー直播では鳩胸状態の催芽粉によるコーティング種子を用いて作成されている。

予測式の精度検証は、適2試験成績のうち2014~2016年を対象にした。試験場所は、北海道の2場所(日本植物調節剤研究協会北海道試験地、北海道立総合研究機構上川農業試験場)ならびに東北地方の5場所(岩手県農業研究センター、宮城県古川農業試験場、秋田県農業試験場、山形県農業総合研究センター、福島県農業総合センター会津地域研究所)の試験事例を対象にした。なお、カルパー直播は、北海道と東北地方の両方で試験が実施されていたが、鉄直播については、北海道による試験事例が得られなかったため、東北地方の事例のみを対象にした。

予測式による一発処理剤散布適期のシミュレーションは、鉄直播とカルパー直播のそれぞれについて、代かき日を5月12日、播種日を5月15日として行った。なお、播種日は、青森県における湛水直播栽培の播種適期の標準的な日とした。代かき日は、各播種方式に基づく栽培マニュアル(青森県2008, 農研機構近畿中国四国農業研究センター2010)を参照し、播種3日前とした。一発処理剤散布適期の早限は、カルパー直播、鉄直播ともにイネ1葉期到達日とした。晩限については、ノビエの2.5, 3.0, 3.5, 4.0葉期の各葉齢に達した日の前日(例えば、5月31日に対象葉齢に達した場合は5月30日)とした。対象地点は、青森市、黒石市、十和田市、むつ

第3表 イネ1葉期到達日の予測誤差(日)

播種方式	対象地域	誤差の平均値	RMSE
カルパー直播	北海道・東北(n=16)	-1.2	2.3
カルパー直播	東北(n=10)	-0.5	1.7
鉄直播	東北(n=8)	-1.1	1.1

市とした。それぞれの日平均気温の平年値は、気象庁のホームページから青森地方気象台、黒石アメダス観測所、十和田アメダス観測所、むつ特別地域気象観測所のデータをダウンロードした。

## 結 果

### 1. 予測式と予測精度

青森農林総研における適2試験成績による5月第3半旬～6月第1半旬の平均気温は、2012年が14.0℃で平年(14.7℃)より低く、2013年が14.6℃で平年並み、2014～2016年は16.1～17.0℃で平年より高かった。

ノビエの葉齢と代かき翌日からの有効積算気温との関係から、決定係数が0.88～0.91の一次式が得られた(第1表)。これらの予測精度を検証した結果、誤差のRMSEは下限温度10℃が1.7日、同9℃が1.6日で、同8℃は2.2日と最も大きかった(第2表)。北海道と東北地方の全地点を対象にした誤差の平均値では、下限温度10℃が+0.3日葉、同9℃が-0.2日であったが、同8℃は-1.5日と最も大きく、実測日よりも予測日が高い傾向であった(第1図)。北海道と東北地方で分けした場合の予測誤差も同様の傾向であった。

イネ1葉期到達日の予測精度を検証した結果、カルパー直播の全地点における誤差の平均値が-1.2日、RMSEが2.3日であった(第3表)。カルパー直播では、北海道において予測誤差が大きい事例がみられ、北海道を除く東北地方のみでは誤差の平均値が-0.5日、RMSEが1.7日であった。鉄直播では、誤差の平均値が-1.1日、RMSEが1.1日であった。

### 2. シミュレーション結果と一発処理剤散布適期

各ノビエ葉齢の到達日は、下限温度が低い条件ほど早まる傾向であった(第4表)。また、ノビエが0.5枚展葉するのに要する日数は、2～3日であった。

イネ1葉期到達日は、鉄直播がカルパー直播より5日程度遅かった(第5表)。

第6表には、シミュレーション結果から推定された一発処理剤散布適期を示す。表中の日数は、それぞれの地点における播種方式別のイネ1葉期と各ノビエの葉齢の到達日の差を示す。従って、負の値は一発処理剤散布適期の早限と晩限が逆転し、薬剤の散布可能期間が設定されなかったことを意味する。各地点の5月第2半旬～6

第4表 下限温度別の各ノビエ葉齢の到達日(月/日)

下限温度	地点	2.5葉	3葉	3.5葉	4葉
10℃	黒石	5/31	6/3	6/6	6/8
	青森	6/1	6/4	6/7	6/10
	十和田	6/3	6/6	6/9	6/12
	むつ	6/7	6/10	6/14	6/17
9℃	黒石	5/30	6/2	6/5	6/8
	青森	5/31	6/3	6/6	6/9
	十和田	6/2	6/5	6/8	6/11
	むつ	6/5	6/8	6/12	6/15
8℃	黒石	5/29	6/1	6/4	6/6
	青森	5/30	6/2	6/5	6/7
	十和田	5/31	6/3	6/6	6/9
	むつ	6/2	6/6	6/9	6/12

第5表 播種方式別のイネ1葉期到達日(月/日)

地点名	カルパー直播	鉄直播
黒石市	5/30	6/4
青森市	5/31	6/5
十和田市	6/2	6/7
むつ市	6/6	6/11

月第1半旬までの平均気温は、黒石市が14.6℃、青森市が14.2℃、十和田市が13.8℃、むつ市が13.0℃である。地点別の一発処理剤散布適期を比べると、下限温度10℃では、むつ市が黒石市と同日ないし2日長く、同9℃ではむつ市と黒石市が同等で、同8℃ではむつ市が黒石市より1～3日短かった。

## 考 察

### 1. 予測式と予測精度

青森農林総研の試験事例で作成したノビエの葉齢予測式について、その予測精度を検証した結果、下限温度8℃では予測誤差に偏りがみられたが、同9℃ならびに10℃ではRMSEが同8℃より小さく、予測誤差の偏りもみられなかった(第2表、第1図)。また、予測式に基づくシミュレーション結果についてみると、青森県内において温暖な黒石市と寒冷なむつ市の一発処理剤散布適期の差には、下限温度によって傾向に差異がみられた。すなわち、下限温度10℃では、むつ市が黒石市より散布適期が長い傾向であり、下限温度9℃では、むつ市と黒石市が同等であった。湛水直播栽培では、温暖な地域に比べて寒冷な地域ほどイネに対するノビエの葉齢進展が早まる傾向がある(小山2016)ことから、一発処理剤における早限と晩限の逆転は、冷涼な地域ほどその程度が大きくなることが想定される。しかし、下限温度10℃は、この報告と真逆の傾向を示した。小山(2016)に

第6表 下限温度別ならびに播種方式別の一発剤処理期間

下限温度	地点	カルパー直播				鉄直播			
		2.5葉	3葉	3.5葉	4葉	2.5葉	3葉	3.5葉	4葉
10℃	黒石	1	4	7	9	-4	-1	2	4
	青森	1	4	7	10	-4	-1	2	5
	十和田	1	4	7	10	-4	-1	2	5
	むつ	1	4	8	11	-4	-1	3	6
9℃	黒石	0	3	6	9	-5	-2	1	4
	青森	0	3	6	9	-5	-2	1	4
	十和田	0	3	6	9	-5	-2	1	4
	むつ	-1	2	6	9	-6	-3	1	4
8℃	黒石	-1	2	5	7	-6	-3	0	2
	青森	-1	2	5	7	-6	-3	0	2
	十和田	-2	1	4	7	-7	-4	-1	2
	むつ	-4	0	3	6	-9	-5	-2	1

よる報告では、北海道・東北・北陸とその他の西南暖地との2グループによる、全国を対象にした広範囲で比較している。本報のように青森県内を対象にした地理的範囲が狭い条件においては、その地域間差異が明瞭にならない可能性が高い。これらのことから、ノビエの予測式には下限温度に9℃を用いることが妥当と考えられた。

日平均気温に基づく有効積算気温を用いて、ノビエの葉齢予測を行った研究は多くみられる。それらによると、ノビエの葉齢予測を行う場合の下限温度は10℃（土井・村上1977, 酒井・佐藤1998）、8℃（大嶋2008）など、10℃程度とする事例が多い。なお、村上ら（1990）は、6℃が最適としており、前述の研究事例より設定された下限温度はやや低いものの、8℃や10℃とした場合でもノビエの葉齢と有効積算気温との相関係数は高い水準であったとしている。本報では、日平均気温からノビエの葉齢予測を行う場合の下限温度は9℃が妥当であると判断した。これは上記の先行研究と1℃程度の差がみられるものの、大きな乖離はない。また、この予測条件からは、ノビエの葉齢が0.5葉進展するのに要する日数は2～3日と試算された（第6表）。日本植物調節剤研究協会のホームページにおける技術情報（<http://www.japr.or.jp/gijyutu/006.html>）では、0.5葉進展する日数の目安は、東北地方が2～3日程度、北海道が3日程度と示されており、本報の結果は同様の傾向であった。

イネ1葉期の予測誤差は、実測値より予測値が1日程度早い傾向であったが、その誤差は小さく、良好な精度であったと考える（第3表）。なお、予測誤差は、北海道で大きくなる事例がみられた。供試したDVR式の解析に出現した日平均気温は9.8～22.4℃の範囲（木村2016）であるが、北海道の事例では日平均気温が9.8℃を下回る日が多くみられ、データの外挿が予測精度を低下させた要因の一つとして考えられる。低温条件での予

測精度の向上について今後検討する必要があるが、本報で実施したシミュレーションにおいて出現した日平均気温の最低値は11.7℃であったことから、低温による精度不良は生じなかったと推察する。

以上のことから、ノビエの葉齢ならびにイネ1葉期到達日の予測式の精度は良好であり、シミュレーションを行うための予測精度を確保していると判断した。

## 2. 一発処理剤散布適期

下限温度を9℃としたときのカルパー直播における一発処理剤散布適期は、ノビエの殺草限界が2.5葉期の場合は当日処理となり、十分な散布期間が設定されず、3葉期で2～3日、3.5葉期で6日、4葉期で9日となった（第6表）。このことから、カルパー直播では、イネ1葉期を早限とする一発処理剤の場合、ノビエの殺草限界は最低でも3葉期が必要であり、散布期間に十分な余裕を持たせるための条件として3.5葉期以上の殺草限界をもつ薬剤が望ましいと考えられた。

また、積算水温で50℃・日の浸種粉を用いる鉄直播では、催芽粉を用いるカルパー直播よりもイネ1葉期が5日程度遅くなった。そのため、鉄直播の場合は、殺草限界をノビエ3.5葉期とする一発処理剤であっても十分な散布時期が確保できず、一発処理剤のみで雑草防除するには、ノビエ4葉期を晩限とする薬剤が必要と考えられた。以上の結果は、青森県において、一発処理剤のみで湛水直播栽培の雑草防除を行うための使用条件の指標になると考えられる。

なお、本研究では、べんモリ直播を対象としなかったが、青森農林総研で実施した催芽粉を用いたべんモリ直播の比較試験では、イネ1葉期到達日がカルパー直播と同日であり、差異が認められなかった（未発表）。べんモリ直播では、浸種粉と催芽粉のいずれの種子予措でも実施

できる（農研機構九州沖縄農業研究センター 2017）が、催芽剤を播種してイネの出芽を早めることで、カルパー直播と同様の一発処理剤のみによる雑草防除が可能になると考えられる。

#### 謝 辞

本研究の解析データとして、（公剤）日本植物調節剤研究協会の「水稲関係除草剤適 2 試験成績収録」を参照させて頂きました。また、青森県産業技術センター農林総合研究所の成田薫氏、今格氏、古川大祐氏には、水稲関係除草剤適 2 試験に係る圃場整備や播種作業など、適正な試験の実施に多大なるご協力を賜りました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 引用文献

青森県 2008. 青森型水稲直播栽培技術マニュアル. 1-62.  
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.

堀江 武・中川博視 1990. イネの発育過程のモデル化と予測に関する研究. 第 1 報 モデルの基本構造とパラメータの推定法および出穂予測への適用. 日作紀 59：687-695.

木村利行 2016. 青森県における水稲品種「ほっかりん」の湛水直播栽培適地. 東北の農業気象 60：1-8.

小山 豊 2016. 水稲湛水直播栽培の播種方法によるイネとノビエの葉齢進展の違い. 植調 50：98-103.

三浦恒子 2016. 水稲湛水直播栽培における初期施用除草剤利用技術の開発. 雑草研究 61：79-83.

村上士明・真庭義則・阪上和久 1990. タイヌビエの葉齢進展の推定法とプレチラクロールの散布適期の表示方法. 雑草研究 35：253-260.

農研機構九州沖縄農業研究センター 2017. 水稲べんモリ直播マニュアル. 1-12.

農研機構近畿中国四国農業研究センター 2010. 鉄コーティング湛水直播マニュアル 2010. 1-28.

大嶋保夫 2008. 神奈川県における水田雑草の生育特性. 神奈川県農業技術センター研究報告 150：31-39.

(2018 年 5 月 9 日受理)