

水田の田畑輪換利用における 生産性および作業性向上に関する研究

進藤 勇人

キーワード：作業性，作溝チゼル，水稻，生産性，施肥溝切り機，側条施肥，
湛水直播栽培，田畑輪換，ネギ，無代かき，

目 次

第 1 章 緒言	1	4-2 材料および方法	
		4-3 結果および考察	
第 2 章 スタブルカルチと縦軸駆動ハローを用いた播種床造成による水稻無代かき湛水直播栽培の特徴と水稻生育	4	4-4 摘要	
2-1 はじめに		第 5 章 作溝チゼル付き施肥溝切り機による溝切りと側条施肥がネギの生産性に及ぼす影響	25
2-2 材料および方法		5-1 はじめに	
2-3 結果および考察		5-2 材料および方法	
2-4 摘要		5-3 結果および考察	
第 3 章 水田の田畑輪換利用における水稻無代かき湛水直播栽培の効果	12	5-4 摘要	
3-1 はじめに		第 6 章 総合考察	33
3-2 材料および方法		謝辞	
3-3 結果および考察		要約	
3-4 摘要		引用文献	
第 4 章 ネギ栽培における施肥溝切り機を用いた溝切りおよび定植作業性の向上	18		
4-1 はじめに			

本報告は，岩手大学大学院連合農学研究科博士学位論文を一部改変したものである。

第 1 章 緒言

稲作を主体とした経営体は米価の低迷によって経営が厳しくなっており，所得の増加と経営の安定化のために転換畑作物導入による複合経営や規模拡大を進めている。経営耕地面積が 10ha 以上の経営体の割合は 2015 年で 47.6% と，2005 年の 34.1% から 13.5% 増加し，100ha 以上が 8.2%（農林水産省 2015）と規模拡大が

顕著となっている。水田作での規模拡大や園芸品目との複合化には作業適期が制限される春作業での労働ピークの緩和が必要で，育苗作業や田植え時の苗補給がないことで春作業時間を短縮できる直播技術への期待が大きい。全国の水稲直播面積は年々増加傾向にあり，2014 年は 26,798ha（全水稻作付面積の約 1.7%）で，そのうちの 17,812ha が湛水直播である（農林水産省 2016）。秋田県の直播面積は 1,095ha で，取り組み経

営体数が 468 となっている（県水田総合利用課調べ 2014）。近年は水田作に対する補助政策変更の影響もあり、県内の直播面積はやや減少傾向にあるが、1 経営体あたりの直播面積は増加傾向にある。

水田作の規模拡大を進める生産者は、水稻作だけではなく収益向上が見込める水田転換大豆作やネギやエダマメ等も導入しているため、水田の田畑輪換利用が拡大している。田畑輪換時の復元田では一般的に連作水田に比べて水稻の生育が旺盛になり倒伏しやすいため（大竹ら 1988, 和田ら 1994, 進藤ら 2005）、倒伏回避の観点から無窒素肥料で栽培されることが多い。直播水稻は省力技術として期待が大きい、移植水稻に比べて倒伏しやすいため、直播栽培を復元田に導入しにくいことも直播面積が増加しない一因となっている。

水田の畑転換に関し、日本海側に多い粘質のグライ土水田では、転換時のほ場の排水確保と砕土性の向上が重要であり、明きょや心土破碎耕が基本技術となっている。しかし、基本的な排水対策のみでは不十分な場合も多く、水稻作で代かきをしない不耕起栽培を行うことでグライ層が低下して、土壌が酸化的になること（金田ら 1993）、無代かき栽培を行うことで同じ土壌含水比でも砕土性が高まること（大谷ら 1996）が報告されており、水稻作の期間から畑地の特性を獲得する手法が提案されている。これらの報告のように、排水不良田の田畑輪換利用で転換作物の生産性を向上させるには、水稻作から排水性を悪化させない農法の導入が有効であり、代かきをしない栽培法の導入の効果は大きい。直播栽培で代かきをしない播種方式としては、灌水前に播種をする乾田直播があり、播種機や播種方式がそれぞれ開発されている（松村ら 1994, 大谷ら 1997, 濱田ら 2007, 荻原 2008）。これらの播種機はトラクタのアタッチメントで、麦類の播種ができるなど高い汎用性を有する。しかし、日本海側積雪地帯では麦類の作付けが少ないため、播種機を麦類と水稻の播種に汎用利用することに対する利点が少ない。また、限られた期間に播種以外の耕起や防除等の作業を行う必要があるため、トラクタが複数台必要になることもあり、秋田県での乾田直播面積は、直播面積の 5% 以下に留まっている（県水田総合利用課調べ 2014）。

これらの理由から日本海側積雪地帯に位置する秋田県の直播栽培は湛水直播が主流となっている。そこで、湛水直播栽培でさらなる省力・低コスト化を目指すには播種までの作業全体を高能率化する必要性が高く、播種前の耕うんや代かき作業の作業能率改善が必須な状況にある。特に、代かき作業は取水開始日や地域での用水利用の順番といった水利環境の影響を受けやすいため、一般的に代かきハローの大型化による高速化がはかられている（新農林社 2017）。また、代かき作業の省力効果を最大化するには最小限耕うん法の観点

から、代かきをせず灌水前に砕土・整地する無代かき栽培への転換が考えられる。無代かき栽培は乾田状態で春作業を行うため、以下に示す耕起や砕土・整地に畑作用として普及している高速作業機類を用いることが可能である。すなわち、耕起には PTO 駆動を伴わないことで高速作業可能なスタブルカルチ、砕土と整地には砕土性能が高く、ほ場表面の乾燥しやすい土壌のみを浅耕する縦軸駆動ハローの導入である。

水田畑転換ほ場で園芸作目の導入関し、秋田県ではエダマメ、キャベツ、スイカ、ネギの導入について報告（片平ら 2004a）など、多くの研究事例がある。これらの作目の中でも、ネギは定植から収穫調製までの機械化が進展しており（屋代 2013a）、生産現地への導入がエダマメと並んで容易な作目といえる。ネギは沖縄県を除く日本全国で生産出荷されており、葉鞘部を伸長・軟白させる根深ネギと葉身部を食用とする葉ネギに分類され、前者が関東・東北地域、後者が関西地域での消費が主流である。2011 年度産ネギの全国作付面積は 23,100ha、そのうち東北地域で 3,270ha、関東・東山地域で 9,730ha、中国地域で 1,460ha、九州地域で 2,890ha である。収穫量は全国で 485,100t、東北地域で 62,800t、関東・東山地域で 235,600t、中国地域で 25,100t、九州地域で 43,100t となっている（農林水産省 2011）。ネギの販売価格は 2001～2004 年で 1kg あたり平均 299 円と同時期のキャベツが 1kg あたり 89 円であることと比較して高く、収益性が高い農産物といえる（農林水産省 2007）。しかし、ネギを含む農産物の生産地は、65 歳以上の基幹的農業従事者が 60% を占めるなど高齢化と若い担い手の減少が明らかであるため（農林水産省 2012）、高能率な農業機械導入による作業能率の向上や作業工程の統合による省力化が望まれている。また、肥料価格は近年の尿素やリン鉱石などの輸入価格の高騰に伴い、2003 年度の肥料価格を 100 と指数化した場合に 2008 年度指数が 196 と約 2 倍に高騰している（農林水産省 2008）。その結果、生産地では生産性改善の観点から作業の効率化と施肥量の削減が急務な現状にある。そこで、著者らはそれらの技術的要望に応えるため、施肥溝切り機の開発と肥効調節型肥料の全量基肥施肥技術を報告した（片平ら 2006, 片平 2013）。前記したネギの施肥溝切り機はマメトラ農機から市販され、生産現地に導入が進んでいる。

施肥溝切り機は、ロータリの後方に 2 基配置し、深さ調節が可能な施肥オープンとはつ土板、溝底整形板で構成される。はつ土板と溝底成形板では植え溝の成形（作溝）を行い、施肥オープナは作溝と同時に植え溝底面に条施肥をそれぞれ行う。ネギの苗は作成された植え溝底面中央部に簡易移植器などで定植するによって、施肥溝切り作業時の条施肥が苗の側方に位置する側条施肥となるため、溝切りと側条施肥作業の統合

が可能となる。施肥溝切り機は、作業の統合によって慣行作業と比較して 90%の省力化率まで作業を改善することが秋田県能代市での現地試験で実証されている（片平ら 2006）。しかし、施肥溝切り機を用いた作業は従来の歩行管理機による植え溝切り作業と異なり、本体に付属した施肥オープンナが植え溝底に側条施肥するため、植え溝底土壌の膨軟化と側条施肥位置がネギ苗の定植や生育と収量に与える影響に関する検証が不足していた。側条施肥と作物生育の関係については、施肥位置の違いが水稻の窒素利用率に与える影響について報告（佐藤ら 1984, 三枝 1999）されているが、露地野菜栽培ではキャベツの報告（藤原ら 2000）があるのみで事例が少ない。その理由としては技術確立に際して栽培技術・土壌肥料・機械開発といった多面的な技術の融合が必要な点があげられる。また、水稻作付け時の代かきにより密度の高いすき床が形成される水田転換畑（山根ら 1982）やロータリ耕を主体とした露地畑では植え溝底面が硬く、簡易移植器などによる定植作業で定植精度や能率の低下が生産現場で問題になっている。そこで、それらの問題に対応するため、省力・低コスト化に実績を持つ施肥溝切り機を基幹とし、新たに植え溝底の土壌を深く切削して膨軟化する作溝チゼルを取り付け、作業精度や能率の改善について検討した。

本論文は、秋田県の基幹作目である水稻を基に、水田に直播と園芸作目を導入した高度利用による生産者の規模拡大と新たな担い手の育成を実現することを目的とし、水田の田畑輪換利用技術に関して作業機械、土壌肥料、栽培技術などを含んだ総合的かつ包括的研究である。

第 1～6 章で構成し、第 1 章が緒言、第 2 および 3 章が無代かき湛水直播栽培に関して、第 4 および 5 章がネギ栽培に関しての報告である。以下に各章の概要を示す。

第 2 章は、水稻直播栽培での春作業の効率化を目標に、高速作業可能なスタブルカルチと縦軸駆動ハローで播種床を造成し、そこに高精度湛水直播機で過酸化カルシウム粉粒剤粉衣種子を土中条播する水稻無代かき湛水直播栽培について検討した。水稻無代かき湛水直播栽培では慣行の湛水直播栽培と比較し、播種床造成の作業時間と燃料消費量、水稻の生育・収量に与える影響を調査した。

第 3 章は、水田の田畑輪換利用を念頭に無代かき湛水直播栽培を行い、復元田での直播栽培で問題となる水稻の倒伏軽減と畑転換時に重要な跡地土壌の碎土性や土壌の変化を調査し、その効果を検討した。

第 4 章は、ネギの定植・植え溝切り作業を効率化する新たな作業技術の確立を目的に、施肥溝切り機を基幹とし、新たに植え溝底の土壌を深く切削して膨軟化する作溝チゼルを取り付けた場合の植え溝切り作業と

簡易移植器を用いた定植作業において、植え溝底土壌の膨軟化と側条施肥の方法が定植精度とネギの生育と収量に与える影響を検討した。

第 5 章は、夏どり、秋冬どりの 2 作型のネギ栽培において、施肥オープンナや作溝チゼルによる土壌の膨軟化と施肥位置の効果を明らかにするため、これらの組み合わせた試験を行い、作業機械、土壌肥料、栽培技術などの多面的な側面から検討した。

第 6 章は、第 2～5 章で検討した無代かき湛水直播とチゼル付き施肥溝切り機を用いたネギ栽培の水田の田畑輪換利用における意義について、総合的に考察を加えた。

第2章 スタブルカルチと縦軸駆動ハローを用いた播種床造成による水稻無代かき湛水直播栽培の特徴と水稻生育

2-1 はじめに

水稻の湛水直播は水田に灌水した後に播種する方法で、一般的に代かきをしてから播種する。湛水直播は2000年に覆土量を自動制御する機構等を装備した高精度水稻湛水条播機が開発・市販化され、代かきをしたほ場でも安定した播種深さで播種できるようになり、苗立ちが安定化した（西村ら2007）。また、播種機構は多目的田植機のアタッチメントとして装着可能で、0.4～0.5 ha/hの高いほ場作業量を有する（西村ら2007）。高速で多条化した播種機や田植機の普及は水稻の規模拡大を進展させた。他方、播種までの作業全体を高能率化するためには、播種前の耕うんや代かき作業の作業能率を高める必要がある。特に代かき作業は取水開始日や地域での用水利用の順番といった水利環境の影響を受けやすいため、代かきハローの大型化や高速化がはかられているが（新農林社2017）、代かきをせず、灌水前に砕土・整地する無代かき栽培への転換がその解決策になると考えた。乾田状態での耕うん、砕土・整地では主に畑作用として普及している高速作業機を用いることが可能になる。本研究では耕起にはPTO駆動を伴わないことで高速作業可能なスタブルカルチと砕土性能が高く、ほ場表面の乾燥しやすい土壌のみを浅耕可能な縦軸駆動ハローに着目した。

水稻の無代かき栽培は移植栽培で多くの知見があり、代かきをしないことで土壌の粒状構造が維持され、酸化還元電位の低下程度が小さくなり（熊野ら1985）、水稻の生育後半まで根活性が高く維持されること（三原2009、金田2012）、高温時の玄米品質が低下しにくくなり（金田2012）、玄米タンパク質含有率が低くなること（松田2009）が明らかにされている。直播栽培で代かきをしない播種方式としては、灌水前に播種をする乾田直播があり、播種機や播種方式が開発されている（松村ら1994、大谷ら1997、濱田ら2007、荻原2008）。これらの播種機はトラクタのアタッチメントで、麦類の播種ができるなど高い汎用性を有する。しかし、日本海側積雪地帯では麦類の作付けが少ないため、播種機を麦類と水稻の播種に汎用利用する利点が少ない。また、限られた期間に播種以外の耕起や防除等の作業も行う必要があるため、トラクタが複数台必要になるといえる。そこで、本研究では移植部や直播部などのアタッチメントを交換することで移植や直播作業に汎用利用できる多目的田植機に着目し、アタッチメントとして直播部を装着した乗用高精度播種機による無代かき播種作業体系の確立について検討した。

無代かき湛水直播栽培については、水稻と大豆での水田輪作において、代かきをしないことで跡地での大豆の生産性が向上することや水稻は無代かき栽培であっても代かき栽培と同等の収量を得られることが報告されている（松波ら2013）が、播種床造成時の土壌水分と砕土率、作業体系での作業能率と燃料消費量や無代かき水稻の苗立ち、生育の特徴について、詳細に検討されていない。

本研究は水稻作の規模拡大に不可欠で作業適期が制限される春作業の効率化を目標に、高速作業可能なスタブルカルチと縦軸駆動ハローで播種床を造成し、そこに高精度湛水直播機で過酸化カルシウム粉粒剤粉衣種子を土中条播する無代かき湛水直播栽培について検討し、播種床造成の作業時間と燃料消費量、水稻の生育・収量を慣行の湛水直播栽培と比較した。

2-2 材料および方法

1) 試験場所とほ場条件

試験は2009～2012年の4年間、秋田県農業試験場内（秋田市雄和相川）の細粒強グライ土壌（作土の土性：LiC）の水田で行った。試験ほ場は日減水深が1～2cm程度で、試験開始前年の2008年は代かきをした湛水直播栽培を行った。ほ場区画は長辺200m、短辺50mの1haで農道ターン方式のほ場であるが、耕うんや代かきなどの播種床造成作業は、ほ場内旋回で行った。なお、本試験ほ場の取水開始日はいずれも5月1日である。

2) 作業体系と試験機の構成

無代かき湛水直播栽培は代かき作業の省略と播種前の作業を効率化するため、表2-1、図2-1に示す作業体系で行った。

耕起は4月上旬から5月上旬に作業幅3.4mのスタブルカルチ（SC11A、スガノ農機）で行った。砕土・整地は、土壌が砕土に適した土壌水分に低下した時期の4月下旬から5月上旬に作業幅2.9mのスパイラルローラを取り外した縦軸駆動ハロー（バーチカルハローVHB3000、スガノ農機）を用いて6～8cmの深さで行った。その後、土塊を軟らかくすることを目的に播種日の3～4日前に灌水し、播種前日まで浅水の湛水管理をした。播種時は荒代かきができる程度の湛水条件に調整し、5月9～14日に乗用高精度湛水直播機（NSU67-DS6NKF、クボタ）により土中条播した。播種後は出芽促進のため落水管理し、出芽率10%を目安に再湛水した。落水期間は8～12日であった。再湛水後は中干しまで湛水管理した。慣行の代かき体系は4月下旬から5月上旬に作業幅2.8mのロータリ（KRF280、小橋工業）で耕うんし、灌水後に作業幅4.1mの代かきハロー（HWS-4100BR、松山）で荒代かきと植代かきを同日に行った。播種前日から落水を開始し、

播種は無代かき直播と同日に行い、以降の水管理は同様とした。トラクタは2012年の耕起、耕うん、代かき作業を除き、フルクローラトラクタ（MK-140S，出力113.2kW，諸岡）を使用した。スタブルカルチでの耕起作業はエンジン回転を2,200rpmに設定し、PTO動力を使用する作業機ではPTO変速1の定格回転（540rpm，エンジン回転2,250rpm）で作業した。2012年の耕起、耕うん、代かき作業にはセミクローラトラクタ（EG105，出力77.2kW，ヤンマー）を使用した。

3) 試験区の構成と耕種概要

試験区は無代かき区、代かき区の2区を設定し、それぞれを1ha区画水田で4年間連続して実施した。供試は場は作土が粘質で砕土性が低いことから、播種精度を確保するために慣行法として代かきを2回実施している。無代かき区と代かき区は場のJIS A 1206による土壤塑性限界含水比は、それぞれ0.357と0.400であった。品種は「あきたこまち」を用い、催芽した種子を同量（質量比，乾粒換算）の過酸化カルシウム粉粒剤でコーティングして湛水土中条播（条間30cm）した。播種量（乾粒換算）は3.6～4.4kg/10aであった（表2-1）。施肥は、速効性窒素肥料とリニア溶出型肥効調節型肥料70日タイプが窒素成分で1:1に配合された肥料（窒素：リン酸：カリ＝12%：16%：14%）を7.4～

8.3kg・N/10aの窒素量で播種機に装着された施肥装置で側条施肥した（表2-1）。なお、追肥はすべての年次で実施しなかった。水稻の生育ステージを表2-2に示す。生育ステージは幼穂形成期が7月20～24日，出穂期が8月7～13日，成熟期が9月17～10月4日あり，各年次の試験区間の差は2日以内であった。

4) 調査項目

(1) 作業能率と燃料消費量

2009～2011年の耕起、耕うん、砕土・整地、代かき作業は、ほ場の長辺に25mの作業速度調査区を設置し、作業速度を算出した。また、作業時間はそれぞれの作業の開始から終了までの時間を計測して算出した。土壌の砕土率（20mm未満の土塊の質量比率）と含水比（105℃，24時間）は、作業終了後に任意の3地点から各作業の耕深までの土壌を採取して測定した。燃料消費量はトラクタに流量計（DE-FL，BANZAI）を取り付けて測定した。

表2-1 各試験区の作業日と耕種概要

年次	試験区	耕うん・ 耕起	砕土整地	播種前湛 水開始	代かき	落水開 始日	播種	播種後再 湛水開始	播種量 (kg/10a)	施肥窒素 量 (kgN/10a)
2009	無代かき	4月7日	4月30日	5月7日	-	5月9日	5月10日	5月22日	3.6	7.4
	代かき	4月24日	-	5月4日	5月6日	-	-	5月22日	3.6	
2010	無代かき	4月27日	5月3日	5月10日	-	5月13日	5月14日	5月22日	4.4	8.1
	代かき	4月27日	-	5月4日	5月8日	-	-	5月22日	4.4	
2011	無代かき	5月4日	5月6日	5月9日	-	5月11日	5月12日	5月20日	4.4	8.3
	代かき	4月26日	-	5月6日	5月8日	-	-	5月20日	4.4	
2012	無代かき	5月1日	5月2日	5月6日	-	5月8日	5月9日	5月20日	4.3	8.0
	代かき	5月1日	-	5月3日	5月5日	-	-	5月20日	4.3	

注1) 荒代かきと植代かきは同日に行った。

注2) 播種後の再湛水は観察により出芽率10%を確認してから実施した。

注3) 播種量は乾粒換算値である。



図2-1 無代かき湛水直播の播種床造成と播種の状況（左 スタブルカルチによる耕起作業，中央 縦軸駆動ハローによる砕土・整地作業，右 高精度湛水直播機による播種の状況）

表 2-2 無代かき栽培が水稻の生育ステージに及ぼす影響

年次	試験区	幼穂形成期	出穂期	成熟期
2009	無代かき	7月20日	8月12日	10月4日
	代かき	7月22日	8月11日	10月2日
2010	無代かき	7月20日	8月7日	9月17日
	代かき	7月21日	8月8日	9月18日
2011	無代かき	7月21日	8月11日	9月26日
	代かき	7月21日	8月11日	9月26日
2012	無代かき	7月20日	8月9日	9月20日
	代かき	7月20日	8月10日	9月20日

注1) 幼穂形成期は幼穂の長さが2mmになった日を示す。
 注2) 出穂期は出穂した穂が全体の穂の40～50%になった日を示す。

(2) 水稻の苗立ちと生育

苗立ち率は播種 29～35 日後（2009 年 6 月 8 日，2010 年 6 月 14 日，2011 年および 2012 年 6 月 13 日）に 1m（50cm×2 条）の苗立ち本数を 24 カ所で調査し，面積あたり播種量と 1 粒あたり種子重量から算出した。また，中庸な生育の 25 個体を 4 カ所から採取し，100 個体について草丈，不完全葉を第 1 葉とした主稈葉齢を調査した。また播種深度は白化茎長を測定する方法で求めた。各試験区とも苗立ち調査区のうち 1m² あたり苗立ち数が平均値±3本の調査区を生育調査区として 6 区設定し，定期的に茎数（穂数），稈長（成熟期）を調査した。有効茎歩合は，穂数を茎数の調査により得られた最高茎数で除して算出した。また，苗立ち 1 本あたりの分けつの増加率を明らかにするため，茎数を苗立ち本数で除して分けつ増加比を算出した。

(3) 中干し期間の土壌水分

中干し期間には土壌水分の推移を明らかにするため，2010 年に土壌水分計（センサ 10HS，Decagon）をほ場の 3 カ所に設置し，深さ 0～10cm までの体積含水比（cm³/cm³）を測定した。測定間隔は 1 時間とし，24 時間の平均値を日別土壌体積含水比とした。中干し期間は無代かき区が 19 日間（7 月 2 日～7 月 20 日），代かき区が 25 日間（7 月 2 日～7 月 26 日）であった。7 月の灌水日は無代かき区が 7 月 21 日と 7 月 27 日，代かき区は 7 月 27 日のみであった。なお，降水量は気象観測システム（AMeDAS，気象庁）雄和観測所の日別データ（気象庁 HP 引用）を用いた。

(4) 収量および収量構成要素と玄米品質

成熟期に生育調査の面積あたり穂数の平均値±3本の稲体を採取し，着粒粒数，登熟歩合を測定した。収量は生育調査区の近傍から 1.2m（4 条）×3m の区画を刈り取りし，1.9mm ふるいで調製してから，玄米水分を 15%に換算して算出した。さらに，得られた玄米を

用いて千粒重と玄米タンパク質含有率を測定した。玄米タンパク質含有率はケルダール法で求めた窒素含有率にタンパク質換算係数 5.95 を乗じてから，水分 15%に換算して算出した。玄米外観品質は（一財）日本穀物検定協会仙台支所に目視による調査を依頼した。

(5) 統計処理の方法

土壌体積含水比を除く各調査データは，試験区と年次を要因とした二元配置分散分析を行い，試験区間の比較をした。土壌体積含水比は同じ日の測定データを用いて，t-検定により試験区間の比較をした。

2-3 結果および考察

1) 各試験区の作業内容と作業能率

2009～2011 年における無代かき区および代かき区の耕起，耕うん，砕土・整地，代かき作業の作業速度と砕土率を表 2-3，各作業の作業能率と燃料消費量を表 2-4 に示す。また，両区の播種床造成全体の作業能率を図 2-2，燃料消費量を図 2-3 に示した。なお，播種作業時間は 2.2～2.5h/ha で，無代かき区と代かき区の間で明確な差異は認められなかった。

無代かき区のスタブルカルチによる耕起作業の速度は平均値で 1.80m/s であり，代かき区のロータリによる耕うん作業速度は平均で 0.84 m/s であった。土壌砕土率は無代かき区が 36.5～50.4%で平均 41.2%，代かき区は 32.9～34.9%で平均 33.6%であった。作業時の無代かき区と代かき区の土壌含水比はそれぞれ平均 0.65 と 0.83 であり，各年次とも無代かき区が同等からやや低かった。無代かき区と代かき区は耕起，耕うん方法が異なるが，無代かき区において砕土率が高くなったのは土壌含水比が塑性限界含水比に近かったためと考えられた。無代かき栽培を 4 年間継続した水田と代かきを継続した水田では，ロータリによる砕土性を比較した場合，無代かきほ場で融雪後の土壌が乾きやすく，同じ含水比でも砕土率が高くなることが報告（大谷ら 1996）されている。連作 2，3 年目である 2010 年と 2011 年における無代かき区は代かき区と比較して土壌含水比が低く，砕土率が高いなど，大谷らの報告と一致した傾向であった。ただし，スタブルカルチはチゼルとカゴローラによる破碎，鎮圧により耕起する機構で，ロータリづめの回転により切削で砕土するロータリとは砕土方法が異なることから，無代かきを継続したほ場でのスタブルカルチによる砕土性と土壌含水比との関係について，今後詳細に検討する必要がある。

無代かき区の縦軸駆動ハローによる砕土・整地の作業速度は平均値で 0.89 m/s であり，代かき区の代かき速度（荒代かきと植代かきの平均値）は平均値で 0.73 m/s であった。また，無代かき区における作業後の土壌含水比は平均 0.52 で，砕土率は平均 68.8%であった。スタブルカルチにより耕起したほ場での縦軸駆動ハロ

一による砕土作業において、代かき以上の作業速度を維持しながら65%以上の砕土率が得られた。これは、土壌含水比が耕起時よりも低下したことに加え、縦軸駆動ハローは乾燥した田面表層のみを砕土するためと考えられた。

無代かき区の耕起作業時間は0.88～1.01 h/haであり、代かき区の耕うん作業時間1.57～1.86 h/haと比較して平均で46%少なかった。また、無代かき区の燃料消費

量は11.4～14.6 L/haとなり、代かき区の16.3～19.7 L/haと比較して平均で27%少なかった。無代かき区で用いたスタブルカルチは作業幅が3.4mとロータリの2.8mより広く、かつPTO駆動を伴わずにチゼルによる効率的な破碎耕であることから、表2-3に示すとおり作業速度が2倍以上で作業時間が減少したため、ロータリ耕と同等以上の砕土率を確保した上で燃料消費量が減少したものと考えられた。

表2-3 各試験区の作業速度と土壌砕土率

年次	試験区	耕起・耕うん				砕土・整地、代かき			
		耕深 (cm)	作業速度 (m/s)	砕土率 (%)	含水比	耕深 (cm)	作業速度 (m/s)	砕土率 (%)	含水比
2009	無代かき	11.0	1.96	50.4	0.57	7.0	1.06	67.3	0.46
	代かき	10.0	0.81	34.9	0.87	—	0.75	—	—
2010	無代かき	11.5	1.82	36.6	0.60	6.0	0.79	73.5	0.48
	代かき	11.0	0.88	32.9	0.81	—	0.72	—	—
2011	無代かき	11.0	1.61	36.5	0.79	8.0	0.82	65.7	0.63
	代かき	11.0	0.84	32.9	0.81	—	0.73	—	—
平均	無代かき	11.2	1.80	41.2	0.65	7.0	0.89	68.8	0.52
	代かき	10.7	0.84	33.6	0.83	—	0.73	—	—

注1) 代かきの作業速度は荒代かきと植代かきの平均値。

表2-4 各試験区の作業能率と燃料消費量

年次	試験区	耕起・耕うん				砕土・整地		代かき		代かき内訳			
		作業 時間 (h/ha)	同左 比 (%)	燃料 消費 (L/ha)	同左 比 (%)	作業 時間 (h/ha)	燃料 消費 (L/ha)	作業 時間 (h/ha)	燃料 消費 (L/ha)	荒代かき		植代かき	
										作業 時間 (h/ha)	燃料 消費 (L/ha)	作業 時間 (h/ha)	燃料 消費 (L/ha)
2009	無代かき	0.90	53	14.0	75	1.30	19.9	—	—	—	—	—	—
	代かき	1.70	(100)	18.7	(100)	—	—	2.40	26.0	0.94	11.0	1.46	15.0
2010	無代かき	0.88	56	11.4	70	1.61	19.8	—	—	—	—	—	—
	代かき	1.57	(100)	16.3	(100)	—	—	2.64	28.3	1.30	13.4	1.34	14.9
2011	無代かき	1.01	54	14.6	74	1.77	21.8	—	—	—	—	—	—
	代かき	1.86	(100)	19.7	(100)	—	—	2.51	28.7	1.16	15.1	1.35	13.6
平均	無代かき	0.93	54	13.3	73	1.56	20.5	—	—	—	—	—	—
	代かき	1.71	(100)	18.2	(100)	—	—	2.52	27.7	1.13	13.2	1.38	14.5

注1) 図中の左比は同一年次もしくは平均値の代かきを100と場合の無代かき区の比率。

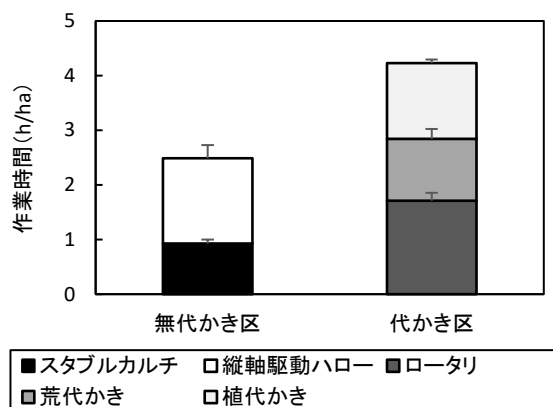


図2-2 各試験区の播種床造成作業時間の合計 (2009～2011年)

注1) 図中の垂直線は標準偏差を示す。

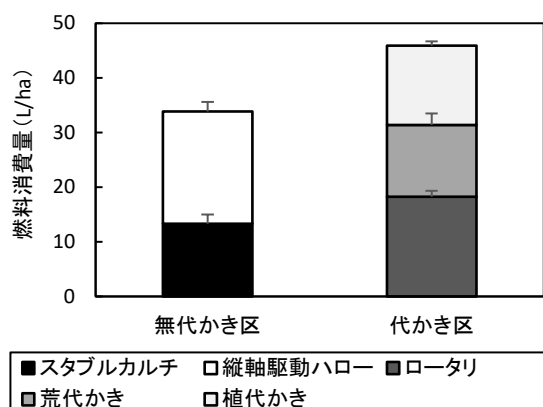


図2-3 各試験区の播種床造成作業での燃料消費量の合計 (2009～2011年)

注1) 図中の垂直線は標準偏差を示す。

無代かき区の砕土・整地作業の作業時間は 1.30～1.77 h/ha であり、代かき区の荒代かきの平均値 1.13 h/ha や植代かきの平均値 1.38 h/ha と比較して長かった。また、燃料消費量は 19.8～21.8 L/ha で作業時間と同様に多かった。しかし、荒代かきと植代かきの 2 回を合計した代かきの作業時間と燃料消費量はそれぞれ 2.40～2.64 h/ha と 26.0～28.7 L/ha であり、無代かき区の砕土・整地より作業時間が長く、燃料消費量も多かった。

無代かき区と代かき区での体系全体の作業時間はそれぞれ平均値で 2.49 と 4.23 h/ha であり、燃料消費量はそれぞれ平均値で 33.8 と 45.9 L/ha であった。無代かき区は代かき区に比べて作業時間が平均 41%，燃料消費量が平均 26%減少した。無代かき区は代かき区より苗立ち率が高く、主稈葉齢も同等であること（後述）を考慮すると、本無代かき区はスタブルカルチによる作業時間と燃料消費量の減少、代かき 1 回分の作業の省略による効果で作業時間と燃料消費量の減少に寄与できる体系と考えられた。一方で、代かき区の荒代かきまでの作業時間と燃料消費量はそれぞれ、2.84h/ha と 31.4L/ha であり、無代かき区はこれと比較すると、作業時間で 12%の減少、燃料消費量で 8%の増加となる。播種作業に必要な代かき程度は土壌条件によって異なることから、今後異なる土壌条件や代かき程度での検討が必要である。

他方、無代かき体系の耕起、砕土・整地作業は乾田状態での作業になるため降雨条件に左右されやすい。著者らは本体系を秋田県能代市で現地実証し、48kW 級トラクタでの作業能率と 2006～2015 年の気象観測システム（AMeDAS、気象庁）による日別降水量を用いて、作業可能降水量を作業可否条件（農林水産省 1987）とした作業可能面積を試算した（進藤ら 2016）。その結果、作業可能面積はトラクタ 1 台で平均 17.7ha（最高 24ha、最低 6ha）と試算された（表 2-5）。しかし、年次によっては 6ha の作業可能面積と試算されることから、代かき栽培への対応も考慮した柔軟な作業計画

の策定が必要である。

農業機械の省エネ利用マニュアル平成 27 年度版－（日本農業機械化協会編、2016）では、74kW 級トラクタに装着したスタブルカルチ（作業幅 2.5m）が粘質な未耕起水田において、ロータリ耕（作業幅 2.4m）に比べて、面積あたり燃料消費量が 66%削減されたこと、縦軸駆動ハローの耕うん体積当たり燃料消費量がロータリ耕より少ないことを示している。無代かき直播体系はそれと同様に燃料消費量を削減できるスタブルカルチと耕うん体積当たり燃料消費量が少ない縦軸駆動ハローを深さ 6～8cm の浅耕で砕土率を高くした体系であるため、燃料消費量が削減できたものと考えられた。ただし、本試験の作業能率と燃料消費量は、機関出力 113.2kW の大型フルクローラトラクタによる結果であることから、現在水田作で多く用いられている 74kW 級以下での検討も必要である。

2) 各試験区での水稻の苗立ちと茎数

播種後 29～35 日後の苗立ち本数、苗立ち率および水稻生育を表 2-6 に示した。

無代かき区の砕土整地後の砕土率は前項で示したとおり 63.4～73.5%で稲わらも十分に埋没し、3～4 日間の浅水の湛水管理後に湛水直播機で播種が可能であった。無代かき区と代かき区の苗立ち本数は、それぞれ平均値で 104 本/m² と 93 本/m²、苗立ち率はそれぞれ平均値で 71.7 % と 64.0 % であった。苗立ち本数はすべての年次で目標とする 85 本/m² 以上（秋田県稲作指導指針 2016）が得られ、無代かき区の苗立ち率が代かき区より高かった。無代かき区と代かき区の草丈は、それぞれ平均値で 21.6cm と 21.0cm、葉数はそれぞれ平均値で 5.4 葉と 5.3 葉であり、いずれも明確な差異は認められなかった。湛水直播水稻では代かき強度を高めた土壌は、保水性が高く通気性が低下するため、落水状態でも苗立ち率が低下すること（古畑ら 2005）、麦稈施用により土壌酸化還元電位が低下すると出芽・苗立

表 2-5 作業可能降水量を作業可否条件とした無代かき体系の播種床造成可能面積

	チゼルプラウ (作業能率5ha/日)		縦軸駆動ハロー (作業能率3ha/日)		チゼルプラウ＋ 縦軸駆動ハロー体系
	作業可能日数	作業可能面積	作業可能日数	作業可能面積	作業可能面積
	日	ha	日	ha	ha
平均	11.6	58.0	6.2	18.6	17.7
最高	15	75	9	27	24
最低	6	30	2	6	6

注 1) 作業可能降水量(mm)は、チゼルプラウを当日 5、前日 20、前々日 30 とし、縦軸駆動ハローを当日 1、前日 5、前々日 20 とした。

注 2) 作業期間は、チゼルプラウを 4 月 20 日～5 月 4 日の 15 日間、縦軸駆動ハローを 4 月 25 日～5 月 4 日の 10 日間とした（実証地域の取水日は 5 月 5 日）。

注 3) 降水量のデータは、気象観測システム（AMeDAS、気象庁）能代観測所の 2006～2015 年の 10 年分を用いた。

ちが低下すること（井澤ら 1985）が報告されている。また、無代かき栽培では土壌の粒状構造が維持され酸化還元電位の低下程度が小さくなること（熊野ら 1985）が報告されている。以上から、無代かき区は代かきを省略して出芽時に落水管理をしたため、土壌の通気性が維持され酸化還元電位の低下程度が小さくなり、土壌還元の影響が小さくなったことで苗立ち率が代かき区より高くなったものと考えられた。

無代かき区の播種深度は 4.2～6.8 mm で代かき区の 8.2～14.4 mm と比較して各年次とも浅かったが、目標の播種深度としている 10mm 以内（秋田県稲作指導指針 2016）を確保したうえで、覆土が十分にされていたため、種子の露出による鳥害はみられなかった。

茎数の推移と有効茎歩合を図 2-4、分けつ増加比の推移を図 2-5 に示した。

6 月下旬の無代かき区と代かき区の茎数は、それぞれ平均値で 542 本/m² と 449 本/m² であり、無代かき区が多かった。しかし、苗立ち 1 本あたりの分けつの増加率を示す分けつ増加比では無代かき区と代かき区でそれぞれ、平均値で 5.19 と 4.88 で同等であった。6 月下旬の無代かき区の茎数が代かき区より多いのは、表 2-6 が示すとおり苗立ち本数が多いことが要因といえる。

7 月上旬の無代かき区と代かき区の茎数は、それぞれ平均値で 668 本/m² と 659 本/m² で同等であった。また、無代かき区と代かき区の穂数は、それぞれ平均値で 490 本/m² と 457 本/m² で有意な差異が認められなかった。有効茎歩合はそれぞれ平均値で 76.4% と 72.6% であり、無代かき区が高かった。一方、7 月上旬の無代かき区と代かき区の分けつ増加比はそれぞれ平均値で 6.42 と

表 2-6 各試験における水稻の苗立ち率と苗立ち期の生育

年次	試験区	碎土率 (% 20mm>)	苗立ち数 (本/m ²)	苗立ち率 (%)	草丈 (cm)	主幹葉齢 (葉)	播種深度 (mm)
2009	無代かき	67.3	104 (4.1)	81.8	18.4	4.6	4.3
	代かき	—	91 (2.9)	71.5	18.4	4.4	8.2
2010	無代かき	73.5	112 (5.0)	68.2	23.3	5.9	4.2
	代かき	—	103 (4.5)	62.7	21.9	5.4	14.4
2011	無代かき	65.7	98 (3.9)	64.9	23.4	4.8	6.8
	代かき	—	92 (3.8)	61.2	22.5	4.8	8.5
2012	無代かき	63.4	103 (4.8)	71.6	21.2	6.3	5.7
	代かき	—	87 (2.8)	60.5	21.4	6.4	8.5
平均	無代かき	67.5	104 *	71.7 *	21.6 ^{n.s.}	5.4 ^{n.s.}	5.2 ⁺
	代かき	—	93	64.0	21.0	5.3	9.9

注 1) カッコ内は標準偏差を示す（各年次 n=24）。

注 2) 表中の*, +はそれぞれ, 試験区と年次を要因とした二元配置分散分析で試験区間に 5%, 10%水準で有意差があることを示し, n.s.は 5%水準で有意差がないことを示す。

注 3) 播種深度は水稻の白化茎長を測定する方法で求めた。

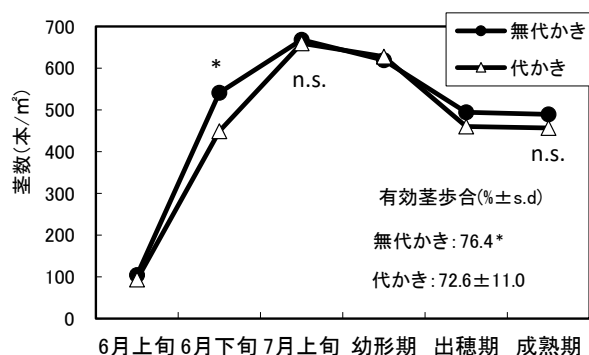


図 2-4 茎数の推移と有効茎歩合
(2009～2012 年の平均値)

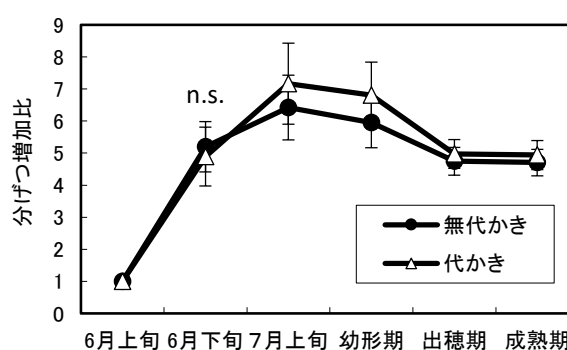


図 2-5 分けつ増加比の推移
(2009～2012 年の平均値)

注 1) 図中の垂直線は標準誤差を示す。

注 2) 分けつ増加比＝調査時の茎数（本/m²）/苗立ち本数（本/m²）。

注 3) 図中の n.s. は、同一の調査時期における試験区と試験年次を要因とした二元配置分散分析で試験区間に 5%水準で有意差がないことを示す。

7.16 であり、無代かき区が低くなる傾向であった。成熟期では無代かき区と代かき区でそれぞれ、平均値で 4.71 と 4.94 で同等であった。

2010 年の中干し期間における土壌体積含水比 (cm^3/cm^3) と日別降水量を図 2-6 に示した。7 月 9 日から 7 月 14 日まで連続的な降雨が観測され、その期間の積算降水量は 145.5mm であった。中干しを開始した 7 月 2 日から 7 月 9 日 (降雨は深夜) までの土壌体積含水比は、無代かき区が代かき区より低下が速かった。特に 7 月 9 日の無代かき区と代かき区の含水比はそれぞれ、0.294 と 0.366 で有意 (5%水準) に低かった。また、連続的な降雨後の 7 月 16 日以降も同様の傾向であり、7 月 20 日の無代かき区と代かき区の含水比はそれぞれ 0.269 と 0.330 で、無代かき区の含水比が速く低下したため、中干し期間を代かき区より 6 日間短くし

た。以上から、無代かき区は苗立ち本数が多いことで早期に有効茎が確保され、中干し開始後に代かき区より速く土壌水分が低下するため、無効分げつの発生が抑制されて、有効茎歩合が高まり、代かき区と同等以上の穂数が得られたものと考えられた。

3) 倒伏程度と収量および玄米品質

無代かき直播が倒伏程度、精玄米重、収量構成要素、玄米品質、玄米タンパク質含有率に及ぼす影響を表 2-7 に示した。

無代かき区と代かき区の稈長はそれぞれ、平均値で 87cm と 86cm で同等であり、倒伏程度はそれぞれ平均値で 2.1 と 1.3 で有意な差がなかった。点播や散播では播種深度が浅くなると押し倒し抵抗値が小さくなり、倒伏指数が大きくなることが指摘されている (吉永ら

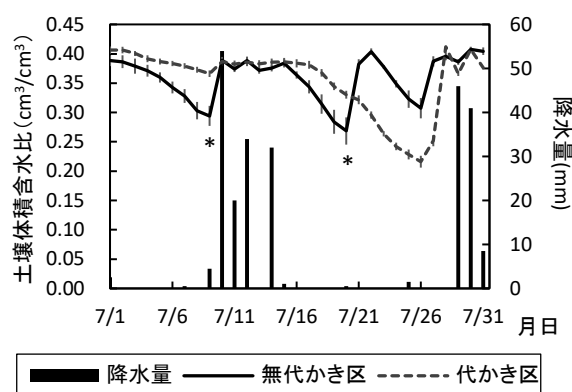


図 2-6 中干し期間の土壌体積含水比と降水量 (2010 年)

注 1) 中干し期間は無代かき区が 7 月 2 日～7 月 20 日、代かき区が 7 月 2 日～7 月 26 日である。

注 2) 無代かき区は 7 月 21、27 日、代かき区は 7 月 21 日にかん水した。

注 3) 図中の * は、同日の試験区間において 5%水準で有意差があることを示す (t 検定)。

表 2-7 各試験区での収量と収量構成要素、玄米品質

年次	試験区	稈長 (cm)	倒伏程度 (0-4)	精玄米重 (kg/10a)	穂数 (本/㎡)	籾数 (千粒/㎡)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	玄米外観 品質 (1-9)	玄米タンパ ク質含有率 (%)
2009	無代かき	86 (0.6)	2.3	570 (2.8)	497	27.9	92.7	23.0	2.4	6.1 (0.2)
	代かき	88 (2.5)	2.1	582 (2.4)	507	29.7	89.8	23.0	3.2	6.4 (0.2)
2010	無代かき	88 (2.4)	1.8	530 (4.2)	429	28.0	86.9	23.4	3.5	6.2 (0.2)
	代かき	91 (1.1)	2.0	524 (1.7)	418	28.8	86.6	23.1	3.0	6.4 (0.2)
2011	無代かき	88 (1.4)	1.7	563 (2.4)	434	31.9	81.0	23.5	2.3	6.3 (0.2)
	代かき	83 (3.3)	0.3	543 (6.1)	394	27.7	88.2	23.9	1.8	6.6 (0.4)
2012	無代かき	84 (0.9)	2.5	626 (3.0)	597	35.0	88.7	22.8	2.5	6.2 (0.1)
	代かき	82 (1.1)	0.9	623 (3.6)	509	30.4	90.1	22.8	2.7	6.2 (0.2)
平均	無代かき	87 ^{n.s.}	2.1 ^{n.s.}	572 ^{n.s.}	490 ^{n.s.}	30.7 ^{n.s.}	87.3 ^{n.s.}	23.2 ^{n.s.}	2.7 ^{n.s.}	6.2 *
	代かき	86	1.3	568	457	29.2	88.7	23.2	2.7	6.4

注 1) カッコ内は標準偏差を示す。

注 2) 表中の*は試験区と年次を要因とした二元配置分散分析で、試験区間に 5%水準で有意差があることを示し、n.s. は 5%水準で有意差がないことを示す。

注 3) 玄米外観品質は 1 の評価が最も高く、1 が 1 等上、2 が 1 等中、3 が 1 等下、4 が 2 等上、5 が 2 等中、6 が 2 等下、7 が 3 等上、8 が 3 等中、9 が 3 等下を示す。

2001a) . その一方で、点播水稻は散播に比べ有効茎歩合が高いことで耐倒伏性に関連した稈の形質に優れ、倒伏が生じにくいことも示されている(吉永ら 2001b). 無代かき区では播種深度が代かき区より浅いものの有効茎歩合が高いため、耐倒伏性に関連した稈の形質に優れていることで倒伏程度が有意に大きくならなかったと推察される. ただし、本試験は条播であるため、無代かき直播の耐倒伏性に関する形質について今後検討が必要である.

無代かき区と代かき区の精玄米重は、それぞれ平均値で 572 kg/10a と 568 kg/10a で同等であった. また、収量構成要素である穂数、粒数、登熟歩合、千粒重では有意な差がなかった. 無代かき区と代かき区の玄米外觀品質はいずれも平均値で 2.7 と同等であった. 玄米タンパク質含有率はそれぞれ平均値で 6.2% と 6.4% であり、無代かき区が 0.2 ポイント低かった. 玄米タンパク質含有率が低いことは重粘土水田における無代かき移植栽培の場合に、代かき栽培と比べて易有効水分量が多く、重水素でラベルした重水を灌漑水として利用した実験で水稻の吸水速度が速く、玄米窒素濃度が有意に低いとの報告(松田ら 2009) と一致しており、直播栽培でも移植栽培と同様の特性が維持されたといえる.

以上のことから、スタブルカルチと縦軸駆動ハローで播種床を造成し、播種を乗用高精度湛水直播機で行う無代かき湛水直播栽培は、慣行の代かき体系より苗立ち率がやや高く、同等の精玄米収量が得られることが明らかになった. さらに播種床造成作業では、作業時間が平均 41%, 燃料消費量が平均 26% 減少したことから、効率的な大規模営農への貢献が期待できる.

2-4 摘要

本章では水稻湛水直播栽培における耕うん、整地作業を効率化するため、スタブルカルチと縦軸駆動ハローで播種床を造成し、湛水後落水したほ場での播種を乗用高精度湛水直播機で行う無代かき湛水直播栽培を検討した. 試験は 4 年間実施し、播種床造成での作業能率と燃料消費量、水稻の生育と収量、玄米品質を調査した. 播種床造成作業ではスタブルカルチによる耕起と縦軸駆動ハローによる砕土・整地で 63.4~73.5% の砕土率が確保できた. 造成された播種床は 3~4 日間浅水の湛水管理をして土壌を軟らかくすることで、乗用高精度湛水条播機により過酸化カルシウム粉粒剤粉衣種子を播種できた. 無代かき区の播種床造成では、同一トラクタで行った代かき区と比較して作業時間で平均 41%, 燃料消費量は平均 26% 減少した. 無代かき区の苗立ち率は平均 71.7% で代かき区よりやや高く、十分な苗立ち本数が得られた. 無代かき区は中干し時の土壌水分の低下が速く、無効分げつの発生が少ないこ

とで有効茎歩合が高くなり、代かき区と同等以上の穂数が確保された. 無代かき区の精玄米収量は代かき区と同等であったが、玄米タンパク質含有率はやや低かった.

以上のことから、本章で検討した無代かき湛水直播栽培は、水稻の生育、収量を低下されることなく、春作業を省力化できる技術として効率的な大規模営農への貢献が期待できる.

第3章 水田の田畑輪換利用における水稲無代かき湛水直播栽培の効果

3-1 はじめに

第2章では水稲湛水直播栽培における耕うん、整地作業を効率化するため、スタブルカルチと縦軸駆動ハローで播種床を造成し、湛水後落水したほ場での播種を乗用高精度湛水直播機で行う無代かき湛水直播栽培を検討し、播種床造成作業での作業時間が短縮可能で、燃料消費量が削減できることを示した。また、そのときの水稲の精玄米収量は代かき体系と同等で、玄米タンパク質含有率が低くなることを明らかにしている。

水田の田畑輪換時の復元田では一般的に連作水田に比べて水稲の生育が旺盛になり倒伏しやすいため、倒伏回避の観点から無窒素肥料で栽培されることが多い。直播水稲は移植水稲に比べて倒伏しやすいため、直播栽培を復元田に導入しにくいことも直播面積が増加しない一因となっている。八郎潟干拓地の移植栽培では、復元初年目に代かきをした場合、無窒素で栽培されるが、無代かき移植では育苗箱全量施肥で慣行施肥量の半量施肥で代かきの無窒素栽培と同等の収量が得られることが明らかにされている。これは代かきをしないことで作土の土壤窒素発現量が減少するためと考えられている（進藤ら 2005）。

一方粘質のグライ土水田の転換利用では、転換時のほ場の排水確保と砕土性の向上が重要であり、明きょや心土破碎耕が基本技術となっている。しかし、基本的な排水対策のみでは不十分な場合も多く、水稲作で代かきをしない不耕起栽培を行うことでグライ層が低下して、土壤が酸化化的になること（金田ら 1993）、無代かき栽培を行うことで同じ土壌含水比でも砕土性が高まること（大谷ら 1996）が報告されている。排水不良田の田畑輪換利用では水稲作から排水性を悪化させない農法の導入が有効であり、代かきをしない栽培法

の導入の効果は大きい。

そこで第3章では水田の高度利用の観点から田畑輪換利用を行うために、代かきをしない無代かき湛水直播栽培を導入した場合の復元田での水稲の倒伏軽減効果および跡地土壤の砕土性や土壤の変化を調査し、その効果について検討した。

3-2 材料および方法

1) 試験場所とほ場条件

試験は2008～2010年の3カ年、秋田県秋田市の秋田県農業試験場内水田ほ場で行った。ほ場区画は長辺200m、短辺50mの1haで、土壤は細粒質強グライ土である。供試ほ場は前年に大豆（品種：リュウホウ）を作付けしたほ場の復元初年目である。2008年と2010年は同一ほ場である。土壤砕土性の調査は、同一ほ場または隣接ほ場の水稲作付け後もしくは翌年の水稲作付け前に、同一条件で8～10cm（平均8.8cm）の耕深でロータリ耕うんした後に行った。

2) 復田時の作業体系と試験区の構成

復元初年目の同一ほ場内に無代かき区および代かき区の2区を設けた。ほ場と作業の来歴の詳細を表3-1に示した。

3カ年とも水稲作付け前にレーザ均平を行った。作業はレーザブラウ（12inch、8連、LCPQY128H、スガノ農機）で耕起し、直装式レーザレベラ（作業幅5m、LL5000、スガノ農機）で高低差±2.5cmを目標に行った。ブラウの耕深は2008、2009、2010年でそれぞれ、11、12、14.5cmである。レーザ均平作業後、無代かき区は縦軸駆動ハロー（VHB3000型、スガノ農機、スパイラルローラ未装着）で砕土整地した。代かき区は同一ほ場の一部を代かきハロー（HWS-4100BR、松山）で代かきを行った。代かき後のほ場は全体を湛水管理し、落水後に播種した。無代かき区と代かき区の試験面積はそれぞれ82a、18aである。両試験区は窒素肥料を施用せず、追肥も行わなかった。

表3-1 試験ほ場の来歴と播種前の作業の概要

年次	区名	前々作	前作	作業日					生育ステージ		
				均平作業		砕土・整地			幼穂形成期	出穂期	成熟期
				ブラウ	レベラ	縦軸ハロー	砕土率(%)	代かきハロー			
2008	無代かき	乾直	大豆	4月7日	4月15日	5月4日	89	－	7月22日	8月11日	9月29日
	代かき					－	－	5月8日	7月22日	8月11日	9月29日
2009	無代かき	乾直	大豆	1月6日	4月1日	5月6日	91	－	7月20日	8月10日	9月30日
	代かき					－	－	5月8日	7月19日	8月10日	9月30日
2010	無代かき	無代かき 湛直	大豆	3月30日	4月9日	5月3日	86	－	7月21日	8月7日	9月16日
	代かき					－	－	5月8日	7月20日	8月7日	9月17日

注1) 幼穂形成期は幼穂の長さが2mmになった日を示す。

注2) 出穂期は出穂した穂が全体の穂の40～50%になった日を示す。

注3) 成熟期は達観で籾の黄化率が90%に達した日を示す。

3) 耕種概要

播種は無代かき区、代かき区ともに6条多目的湛水直播機(条間30cm, NSU67-DS6NKF, クボタ)を用いて湛水(潤土)土中条播方式で行った。播種日は2008, 2009, 2010年でそれぞれ、5月13日, 5月10日, 5月14日である。水稻品種は「あきたこまち」を用い、浸種、催芽後、酸素供給剤(商品名:カルパー粉粒剤16)を乾粒比等倍でコーティングして、供試した。播種量(乾粒換算)は2008, 2009, 2010年でそれぞれ、3.5, 3.1, 4.3 g/m²であった。播種後は出芽率10%まで落水管理し、その後再湛水した。水稻の生育ステージを表3-1に示す。幼穂形成期(以降、幼形期とする)が7月19~22日, 出穂期が8月7~11日, 成熟期が9月16~30日で、処理間の差は1日以内であった。

4) 調査項目

(1) 水稻の苗立ち率, 生育, 収量調査

6月上旬に1m(50cm×2条)の苗立ち本数, 草丈, 葉数, 白化茎長(播種深度)を24カ所調査し、面積あたり播種量と1粒あたり種子重量から苗立ち率を算出した。その平均値に近い苗立ち調査区のうち6区を以降の生育調査区として、草丈, 茎数(穂数), 葉緑素計値(葉色素計 SPAD502, コニカミノルタ)を生育ステージごとに調査した。また、成熟期に生育調査の平均穂数と同数の稲体採取し、定法に従い着粒数, 登熟歩合を測定した。また、生育調査区の近傍から1.2m(4条)×3m刈り取りを行い、1.9mm篩で調製し、玄米水分を15%に換算して収量を算出した。さらに、得られた玄米を用いて千粒重を測定した。また、穀粒判別器(RGQI10A, サタケ)で整粒数を測定し、整粒率を算出した。

(2) 水稻の時期別窒素吸収量

各区から水稻の幼穂形成期, 穂揃い期, 成熟期に中庸な生育の1条から地上部50cm分を4箇所採取し、

通風乾燥(80℃, 48時間)後に乾物重を測定した。その後、0.5mmメッシュ以下に粉碎して一定量を硫酸分解したのち、窒素リン自動分析装置(TRAACS2000, ブラシルーベ)で、窒素濃度を測定した。窒素吸収量は乾物重に窒素濃度を乗じて求めた。調査は2008, 2009年のみ行った。

(3) 土壌の碎土率

耕うん後の土層全体から採取した土壌を篩目20mmの篩を用いて調製し、土塊の最長径20mm未満の土壌の重量比率を算出して、土壌碎土率とした。あわせて、土壌含水比を乾熱法(105℃, 24時間)で測定した。

(4) 土壌断面調査

水稻を作付けした翌年4月に土壌断面調査を行った。調査は、2010年4月20日(2009年水稻作付け翌年), 2011年4月18日(2010年水稻作付け翌年)に実施し、土壌層位別に酸化・還元状態の指標である土色, ジピリジル反応, 斑紋・結核を調査した。

(5) 統計処理の方法

試験区と年次を要因とした二元配置分散分析を行い、試験区間の比較をした。

3-3 結果および考察

1) 水稻の苗立ちと苗立ち期の生育

無代かき区の碎土・整地後の碎土率を表3-1に、復元田における無代かき直播が水稻の苗立ちに及ぼす影響を表3-2に示す。

無代かき区の碎土・整地後の碎土率は、86~91%と高かった。観察では均平作業時にも碎土されるため、その後の縦軸駆動ハローによりさらに碎土率が高まったと考えられた。なお、播種作業は市販の湛水直播機で行ったが、代かき区と同程度の作業時間で播種可能であった。無代かき区の苗立ち本数は3年間の平均値で85.2(81.7~90.7)本/m²で、目標である80~95本/m²(秋田県稲作指導指針2016)が確保され、代かき区と同等

表3-2 復元田における直播が苗立ちおよび生育に及ぼす影響

年次	試験区	苗立ち数 本/m ²	苗立ち率 %	草丈 cm	葉数 葉	白化茎長 mm
2008	無代かき	90.7	72.8	16.8	3.3	3.5
	代かき	78.1	62.7	18.2	3.0	7.4
2009	無代かき	83.2	75.7	16.4	3.5	3.6
	代かき	93.3	84.9	15.7	3.6	5.1
2010	無代かき	81.7	51.1	19.3	4.2	4.5
	代かき	93.9	58.7	20.1	4.5	4.9
平均	無代かき	85.2 ^{n.s.}	66.5	17.5 ^{n.s.}	3.7 ^{n.s.}	3.9 ^{n.s.}
	代かき	88.4	68.8	18.0	3.7	5.8

注1) 調査日は、2008年6月12日, 2009年6月8日, 2010年6月14日である。

注2) n.s.は、二元配置分散分析で有意差(5%水準)がないことを示す。

であった。また、苗立ち率は3年間平均で66.5%と代かき区の68.8%と同等であり、代かき区の88.4 (78.1~93.9) 本/㎡との比較では年次により傾向が異なった。代かきをしないことによる苗立ち率への影響は小さいと考えられた。

6月上旬における無代かき区の草丈、葉数はそれぞれ、3年間の平均値で17.5cm, 3.7葉と代かき区と同等であり、苗立ちの遅れはなかった。一方、無代かき区の白化茎長(播種深度)は3年間の平均値で3.9mmであり、代かき区に比べ、やや短い傾向であった。無代かき栽培は土壌表面が硬いため、播種深度がやや浅くなるものと推察された。この傾向は連作田の場合と同様の傾向であった(進藤ら2017)。

2) 幼穂形成期における水稻生育と生育時期別窒素吸収量

復元田における無代かき直播が幼穂形成期(以下、幼形期とする)の水稻生育に及ぼす影響を表3-3、水稻生育時期別地上部窒素吸収量を図3-1に示す。

幼形期における無代かき区の草丈および茎数は3年間の平均値でそれぞれ64cm, 572本/㎡であり、いずれの年次においても代かき区と比べ、草丈が短く、茎数が少ない傾向であった。また、窒素吸収量は2008, 2009

年でそれぞれ、4.4, 5.5gN/㎡で同様に代かき区より少なかった。3年間の平均値の葉緑素計値は同等で、年次間で一定の傾向が認められなかった。復元田は比較的初期から土壌窒素の無機化が進み、根圏土壌環境が酸化的に推移し、水稻の根活力を高まり窒素を主体とした養分吸収が多くなることで生育が旺盛になり(金田ら1986, 渡部ら1982)、それによる生育過剰が問題になる。得られた結果から、無代かき区の生育は代かき区に比べ抑制されていることから、代かきをしないことで復元田における栄養生長期の生育を抑えられることが明らかとなった。筆者らは無代かきを想定した未攪乱湿潤土(作土)を用いた湛水培養(30℃, 4週間)で、攪乱土壌を用いた場合よりも土壌窒素発現量が減少することを報告(進藤ら2005)している。本試験で得られた結果は、中干しまでの湛水期間の土壌窒素発現量が減少したことを反映している。

一方、成熟期における無代かき区の窒素吸収量は2008, 2009年でそれぞれ12.2, 13.2gN/㎡で代かき区とほぼ同等であった。生育時期別窒素吸収割合をみると、無代かき区は代かき区と比べ、2カ年とも播種から幼形期までで少なく、穂揃期から成熟期で多かった。無代かき区は、幼形期までの窒素吸収量が少なくなるが、それ以降の窒素吸収量が多い「秋まき」的生育パタ

表3-3 復元田における無代かき直播が幼穂形成期の水稻生育に及ぼす影響

年次	試験区	草丈 cm	茎数 本/㎡	葉緑素計値	窒素吸収量 gN/㎡
2008	無代かき	63	512	40.9	4.4
	代かき	67	583	42.5	6.3
2009	無代かき	63	711	42.1	5.5
	代かき	68	743	43.0	6.4
2010	無代かき	65	493	38.2	—
	代かき	68	506	36.6	—
平均	無代かき	64*	572 ^{n.s.}	40.4 ^{n.s.}	5.0
	代かき	68	611	40.7	6.4

注1) 2010年の窒素吸収量は、調査していない。

注2) *は、二元配置分散分析により5%水準で有意差があることを示し、n.s.は有意差がないことを示す。

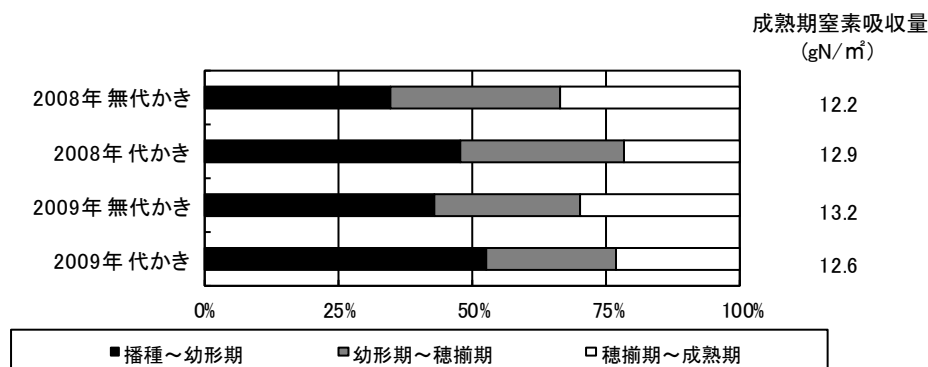


図3-1 無代かき直播が生育時期別地上部窒素吸収割合に及ぼす影響

ーンを示し、成熟期では代かき区と同等の窒素吸収量が得られた。

3) 無代かき直播が倒伏、精玄米収量・品質に及ぼす影響

表3-4に復元田における無代かき直播が倒伏、精玄米収量・品質、収量構成要素を示す。

無代かき区の稈長および倒伏程度は3年間の平均値でそれぞれ、80cmと1.2であり、代かき区に比べて稈長が5cm短く、倒伏程度が0.9小さかった。玄米収量は3年間の平均で524kg/10aと代かき区より20kg/10a少ないが、外観品質および整粒率はそれぞれ、3.1と78.4%で、代かき区よりも同等以上であった。これはいずれの年次でも同様の傾向であった。無代かき区は稈長が短いことで倒伏程度が小さくなり、それにより玄米の外観品質と整粒率の低下を抑制できた。また、無代かき区の収量構成要素は代かき区と比べて穂数、粒

数がやや少ない傾向であるが、登熟歩合がやや高くなり、千粒重が大きかった(表3-4)。これは幼形期までの生育量が少なく、穂揃期から成熟期までの窒素吸収割合が高い生育の特徴を反映したものといえる。これらのことから復元田では無代かき湛水直播を導入することで、倒伏による玄米品質の低下を抑制できることが明らかになった。

4) 無代かき直播跡地土壌の碎土性と土壌断面

無代かきおよび代かき栽培後の土壌採土率の関係を図3-2に示す。また、無代かき直播栽培跡地の土壌断面調査結果とその断面写真を表3-5、図3-3、表3-6、図3-4に示す。

水稻作付け後にロータリで耕うんした際の無代かき区および代かき区の平均碎土率は、それぞれ57.0%、43.6%で無代かき区が有意(1%水準)に高かった。

2011年4月の断面調査では代かき跡の1層(作土)

表3-4 復元田における水稻無代かき直播が倒伏、精玄米収量・品質、収量構成要素に及ぼす影響

年次	区名	稈長		倒伏 程度	精玄米重		穂数	一穂粒 数	粒数	登熟歩 合	千粒重	外観品 質	整粒率	
		cm	sd		kg/10a	sd							粒数%	sd
2008	無代かき	77	2.1	0.3	523	6.5	390	61	23.9	91.1	23.7	3.0	87.1	1.8
	代かき	82	3.3	0.8	552	6.7	428	65	27.7	89.7	23.4	3.0	86.4	1.9
2009	無代かき	81	3.4	2.6	523	7.9	475	57	27.3	93.8	22.9	2.4	81.8	6.7
	代かき	88	3.2	3.7	545	4.8	481	59	28.2	92.7	22.5	3.8	78.2	6.6
2010	無代かき	82	3.2	0.6	525	2.7	397	63	24.9	88.6	23.6	4.0	66.4	6.7
	代かき	85	4.2	1.7	535	5.1	438	56	24.7	86.8	23.3	4.4	63.4	6.6
平均	無代かき	80*	2.7	1.2*	524 ^{n.s.}	1.2	421 ^{n.s.}	60 ^{n.s.}	25.3 ^{n.s.}	91.2*	23.4**	3.1 ^{n.s.}	78.4 ^{n.s.}	10.8
	代かき	85	3.2	2.1	544	8.5	449	60	26.9	89.7	23.1	3.7	76.0	11.6

注1) sdは、標準偏差を示す。

注2) 表中の*は試験区と年次を要因とした二元配置分散分析で、試験区間に5%水準で有意差があることを示し、n.s.は5%水準で有意差がないことを示す。

注3) 玄米外観品質は1の評価が最も高く、1が1等上、2が1等中、3が1等下、4が2等上、5が2等中、6が2等下、7が3等上、8が3等中、9が3等下を示す。

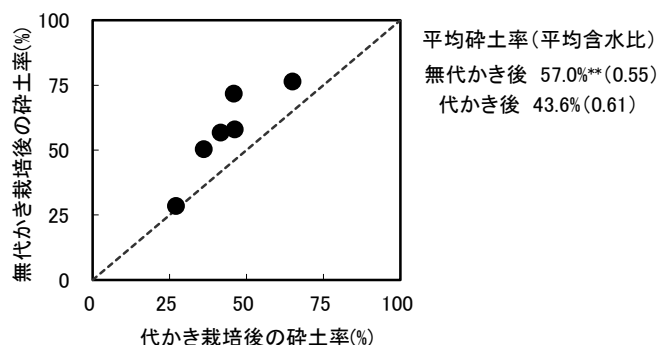


図3-2 無代かき、代かき跡地土壌における碎土率の関係(2008, 2009年)

注1) 同一ほ場または隣接ほ場の水稻作付け後もしくは翌年作付け時に、同一作業機により同じ日に耕うんした無代かき後、代かき後ほ場を対とした。

注2) 土壌は、細粒グライ土、強グライ土(土性: LiC)で、耕うんされた土壌(耕深平均8.8cm)全体から採土した。

注3) **は、二元配置分散分析により1%水準で有意差があることを示す。

の土色は5Y3/2で、ジピリジル反応が(+)であった。一方、無代かき跡では土色が2.5Y3/2とやや酸化的土色で、ジピリジル反応が(-)であることから、代かき跡に比べて作土が酸化的であると判断された。2010年4月の調査では、土色とジピリジル反応は同じであった。しかし土壌が一度還元的になり、その後酸化的になった際にみられる糸根状や膜状の斑紋・結核は無代かき跡で認められなかった。無代かき栽培は湛水期間の作土が酸化的に推移したものと考えられた。また、兩年(両ほ場)とも下層では各項目に変化みられなかった。大谷らはロータリによる砕土性を無代かき栽培を4年間継続した水田と代かきを継続した水田を比較した結果、無代かきほ場は同じ含水比でも砕土率が高くなること、融雪後の土壌水分が低く推移することを報告(大谷ら1996)している。太田らは重粘土水田の田畑輪換時に無代かき移植を導入することで、転換畑のときに獲得した土壌の畑地化形質を維持できることを報告(太田ら2001)している。本試験で得られた結果はこれらの報告と一致していた。以上から無代かき湛水直

播を田畑輪換に導入することは、転換時に重要な土壌の砕土性や排水性を確保しやすくなることが明らかになった。

3-4 摘要

本章では、田畑輪換で代かきをしない無代かき湛水直播栽培を行い、復元田での水稻の倒伏軽減、跡地土壌の砕土性や土壌の変化を調査し、その効果を代かき栽培と比較・検討した。その結果、復元田における無代かき湛水直播は苗立ち率の低下が認められず、幼形期までの生育量を抑制した。また、無代かき湛水直播は稈長が短くなり、倒伏が軽減されて登熟が良好になり、玄米の外観品質が向上した。さらに跡地土壌は砕土性が向上し、作土が酸化的であることを明らかにした。

以上から、無代かき湛水直播は特に粘質で排水不良の水田における田畑輪換に導入することで、技術的問題点の解決に寄与できる。

表3-5 田畑輪換における無代かき直播が土壌へ及ぼす影響(2011年4月18日調査)

層位	深さ cm層界下端	無代かき跡			代かき跡		
		土色	ジピリジル 反応	斑紋・結核	土色	ジピリジル 反応	斑紋・結核
			-~+++			-~+++	
1	11	2.5Y3/2	-	糸根含む、膜含む	5Y3/2	+	糸根あり、膜含む
2	21	5Y3/1	++	糸根含む、膜含む	5Y3/2	++	糸根あり
3	41	7.5Y2/1	+++	膜あり	7.5Y3/1	+++	膜あり
4	56+	7.5Y3/1	+++	なし	7.5Y3/1	+++	なし

注1) 2010年が水稻直播(無代かき、代かき)、2009年は大豆を作付けした。

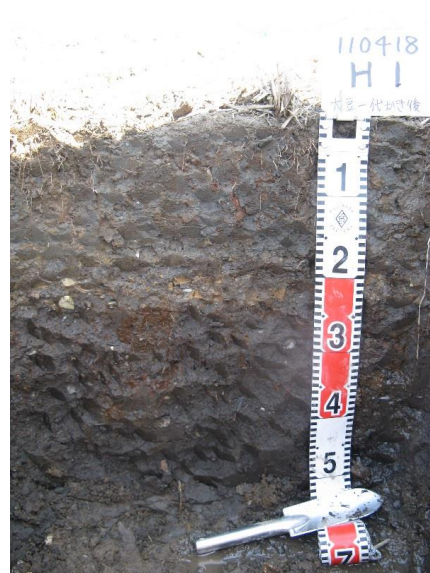


図3-3 田畑輪換における無代かき直播栽培翌年の土壌断面

(左 無代かき湛水直播栽培翌年、右 代かき湛水直播栽培翌年、2011年4月18日調査)

注1) 2010年が水稻直播(無代かき、代かき)、2009年は大豆を作付けした。

表 3-6 田畑輪換における無代かき直播が土壌へ及ぼす影響 (2010 年 4 月 20 日調査)

層位	深さ cm層界下端	無代かき跡			代かき跡		
		土色	ジピリジル 反応	斑紋・結核	土色	ジピリジル 反応	斑紋・結核
			～～+++			～～+++	
1	10	2.5Y3/2	－	なし	2.5Y3/2	－	糸根含む、膜あり
2	19	2.5Y3/2	－	糸根含む、膜含む	2.5Y3/2	－	糸根含む、膜あり
3	37	2.5Y3/1	－	糸根あり、膜含む	2.5Y3/1	－	糸根含む、膜あり
4	47+	5Y4/1	+++	なし	5Y3/1	+++	なし

注 1) 2009 年が水稻直播（無代かき，代かき），2008 年は大豆を作付けした。

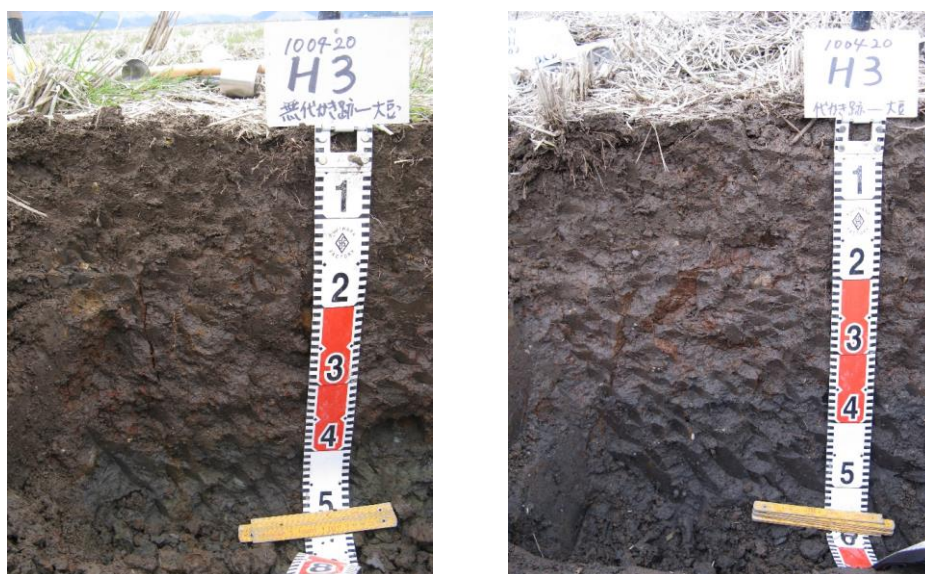


図 3-4 田畑輪換における無代かき直播栽培翌年の土壌断面

(左 無代かき湛水直播栽培翌年，右 代かき湛水直播栽培翌年，2010 年 4 月 20 日調査)

注 1) 2009 年が水稻直播（無代かき，代かき），2008 年は大豆を作付けした。

第4章 ネギ栽培における施肥溝切り機を用いた溝切りおよび定植作業性の向上

4-1 はじめに

ネギは収益性の高い露地野菜であるが、担い手の減少や大区画転換水田での生産を背景にした規模拡大のために、高能率な農業機械導入による作業能率の向上や作業工程の統合による省力化が望まれている。それらの技術的要望について、生産性改善の面では寒冷地でのセル大苗を使用した夏どり作型の開発が主要な成果として報告（本庄 2013）されている。また、作業効率化の面では、平床移植機やそれを活用したマルチステージ移植機の開発（勝野ら 2008, 屋代 2013b）、施肥溝切り機の活用と肥効調節型肥料の全量基肥施肥技術（片平ら 2006, 片平 2013）が報告されている。その中で、施肥溝切り機は植え溝を作ると同時に植え溝底に側条施肥する機能を有しており、マメトラ農機株式会社から市販化され生産地にも普及している。施肥溝切り機は、作業の統合によって慣行作業と比較して90%の省力化率まで作業を改善することが秋田県能代市での現地試験で実証されている（片平ら 2006）。しかし、施肥溝切り機を用いた作業は従来の歩行管理機による植え溝切り作業と異なり、本体に付属した施肥オーブナが植え溝底に側条施肥するため、植え溝底土壌の膨軟化と側条施肥位置がネギ苗の定植や生育と収量に与える影響に関する検証が不足していた。

そこで、本報はネギ生産者の粗収益増加を目的に、定植・植え溝切り作業の効率化に資する新たな作業技術の開発について試験を行った。試験はネギ栽培の省力・低コスト化に実績を持つ施肥溝切り機を基幹とし、新たに植え溝底の土壌を深く切削して膨軟化する作溝チゼルを取り付けた場合の植え溝切り作業と簡易移植器を用いた定植作業に与える影響を検証した。

4-2 材料および方法

1) 試験場所とほ場条件

試験は2010～2013年に秋田県秋田市の秋田県農業試験場内の畑連作ほ場（土壌：表層腐植質黒ボク土）で行った。

2) 供試機械

供試した機械は、市販されている施肥溝切り機（R47, マメトラ農機）に新たに開発した作溝チゼルを組み込んだ作溝チゼル付き施肥溝切り機（以下、供試機と呼称する）である。施肥溝切り作業時は乗用トラクタ（型式：KL3450, 出力：25kW）とロータリに供試機を2台取り付け、トラクタのバッテリー（12V）を電源とする肥

料散布機（PS-50F, タイショー）を供試機の上部に組み込んで施肥した。なお、施肥オーブナの幅は5.2cm, 施肥位置を0～10cmの範囲で可変できる。開発した作溝チゼルは図4-1に示すとおり、全長73.5cm, 質量4.5kgで取り付け部（5.0×5.0×30.0cm）と切削部（1.8×3.2×43.5cm）から構成され、施肥溝切り機の機体中央部にある軸を利用して取り付けられた。なお、作溝チゼルの施工深は、0～30cmの範囲に設定できる。作溝チゼルを施肥溝切り機に組み込んだ供試機の状態を図4-2に示す。

施肥溝切り機で作成した植え溝に対する定植は、市販の簡易移植器（商品名：ひっぱりくん, HP-6, 日本甜菜製糖, 質量12kg）を用いて植え溝切り作業の翌日に行った。

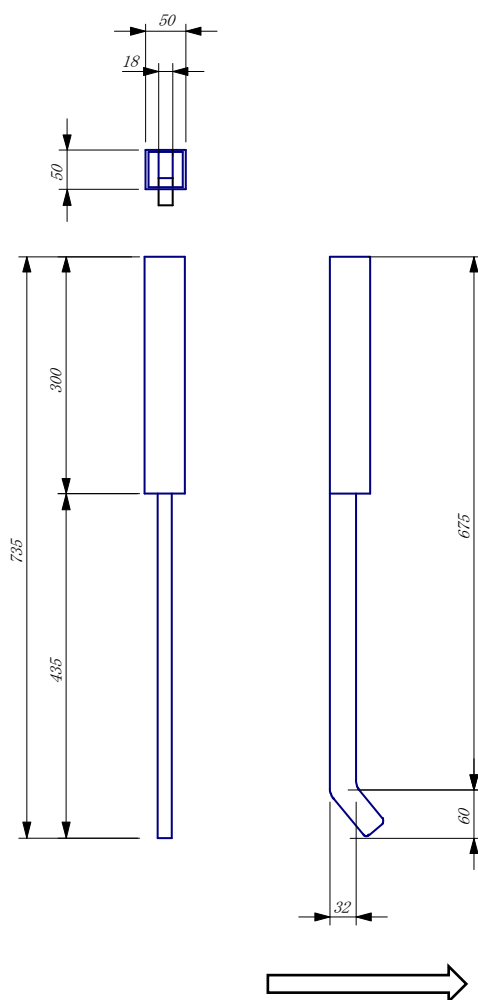


図4-1 作溝チゼルの形状

注1) 矢印は、作溝チゼルの進行方向を示す。

注2) 単位：mm

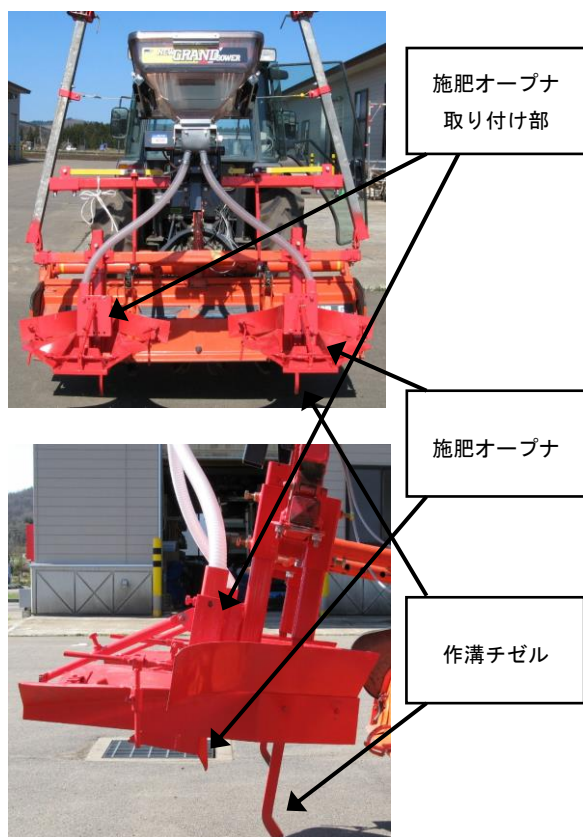


図 4-2 施肥溝切り機と作溝チゼルの配置

3) 試験区の構成と供試材料

各試験区での施肥オープナと作溝チゼルの配置を表 4-1 と図 4-3 に示す。

作溝チゼル・両側側条施肥区（以下 A 区）は、供試機に作溝チゼルと施肥オープナを 2 個組み込んだ。作溝チゼル・片側側条施肥区（以下 B 区）は、供試機に作溝チゼルと施肥オープナを 1 個組み込んだ。片側側条施肥区（以下 C 区）は、供試機に作溝チゼルを配置せず、施肥オープナ 1 個のみを組み込んだ。対照区（以下 D 区）は試験区内を全層施肥し、施肥溝切り機から施肥オープナと作溝チゼルを全て取り外して耕うん同時作溝のみを行った。

表 4-1 試験区の構成

試験区	施肥オープナ		作溝チゼル	施肥方法
	左	右		
A	○	○	○	側条
B*	○		○	側条
C*	○		×	側条
D	×	×	×	全層

注 1) B, C 区では施肥オープナを左側の溝切り機で右側、右側の溝切り機で左側に配置した。



A 区：作溝チゼル・両側側条施肥



B 区：作溝チゼル・両側側条施肥



C 区：片側側条施肥



D 区：対照・全層施肥

図 4-3 施肥オープナと作溝チゼルの配置

A～Cの各試験区では施肥溝切り機を条間100cm、植え溝幅40cm、溝底幅25cm、溝深さ15cm、施肥オープナを試験区設定に併せて供試機の中央から左右5cm離れた位置に深さ3cmで、作溝チゼルを溝底から深さ15cm（A・B区のみ）に設定してから作溝した。D区は作溝チゼルと施肥オープナの設定を除き、A～C区と同様に設定した。なお、作溝作業では作業速度の違いが作業性に与える影響を検証するため、使用したトラクタの走行ギアを調整して作業速度を2段階（2010～11年：高速設定、2012～13年：低速設定）に設定した。各試験区での施肥溝切り作業時の牽引力は、事前にロードセル（TEAC, TT-OR2T）を用いて測定し、A区が3,656N（内訳：ロータリ1,502N、供試機（2台：562N/台）1,124N、施肥オープナ（4本：107.5N/本）430N、作溝チゼル（2本：299.5N/本）599N）、B区が3,440N、C区が2,842N、D区が2,627Nであった。

各試験区は試験ほ場内で2反復するように実験計画法に基づいて割り付けた。

定植試験はチェーンポット（CP-303、日本甜菜製糖）で育苗したネギ（品種：夏扇4号、夏扇パワー）を用いた。各試験年次の耕種概要と供試したネギの苗質を表4-2に示す。ネギ苗は年次平均で草丈が25～36cm、葉数が2～3葉、質量が0.5～2.5g/本であった。

4) 調査項目

(1) 植え溝切り作業

植え溝切り作業では、ほ場の長辺（20m）に5mの作業速度調査区を2区設置して時間を計測し、作業速度を算出した。また、作業能率は直進と旋回時間をそれぞれ測定し、それを一工程あたりの作業面積（40m²）で除して算出した。作業精度は既報で報告（片平ら2006）した測定基準に従い、溝幅（Sw：cm）、溝深さ（h：cm）、溝底幅（Suw：cm）、施肥水平位置（Fw：cm、植え溝中心から肥料までの水平距離）、作溝チゼルと施肥の深さ（hc、Fh：cm、溝底からの垂直距離）を各試験区で調査した。土壌の膨軟度は、矩形板（2.0×10.0cm）の長辺を作成された植え溝底の中央部と端

部分に対して植え溝の作成方向と平行に配置してから98Nで加重し、その際の沈下量（mm）を計測した。なお、ほ場の砕土率（%：2cm以下の土塊の割合）と含水比（%：105℃・24時間）は、植え溝切り作業後に任意の地点から表層10cm以内の土壌をサンプリングして測定した。

(2) 定植作業

定植作業では、ほ場の長辺に5mの作業速度調査区を2区設置して時間を計測し、作業速度を算出した。また、作業能率は直進と旋回を含めた全体作業時間を計測し、一工程あたりの作業面積（20m²：長辺20m×短辺1m）を基に算出した。

定植精度は簡易移植器で各試験区に定植したチェーンポット苗の状態を目視で調査し、以下に示すa～dの基準で分類した。

- a.正常植え：チェーンポット苗のポット部分が土壌で80%以上被覆され、苗の傾斜角が30°以内のもの。
- b.浅植え：チェーンポット苗のポット部分が土壌から20%以上露出しており、苗の傾斜角が30°以内のもの。
- c.斜め植え：チェーンポット苗のポット部分が土壌で80%以上被覆されており、苗の傾斜角が30°～60°の範囲にあるもの。
- d.転び苗：チェーンポット苗のポット部分が土壌から20%以上露出しており、苗の傾斜角が60°～90°の範囲にあるもの。

4-3 結果および考察

1) 植え溝の施工

施肥溝切り機で植え溝を作成した際のほ場状態、作業速度と作業能率を表4-3、2010年と2012年での各試験区の作業速度を図4-4に示す。また、作成された植え溝の形状を表4-4と図4-5に示す。

植え溝切り後のほ場は砕土率が70～84%で含水比が22～34%の範囲にあり、各年次ともその後の定植に適するとされる砕土率70%以上、含水比50%以下（片平ら2004b）が確保されていた。施肥溝切り機の作業速度は、2010年と2011年が0.28m/s、2012～2013年が0.16m/s

表4-2 各試験年次の耕種概要と供試したネギの苗質

試験年次	品種	播種日	定植日	草丈 (cm)	葉数	質量 (g/本)
2010	夏扇4号	4月5日	6月3日	32 (2.6)	2.3 (0.16)	1.4 (27) *3
2011	夏扇4号	4月7日	6月15日	34 (2.9)	2.3 (0.23)	0.9 (20) *3
2012	夏扇パワー	4月6日	6月13日	— —	— —	— —
2013	夏扇パワー	11月2日 *2	5月1日	36 (2.9)	3.0 (0.00)	2.5 (50) *3
	夏扇パワー	4月3日	5月29日	25 (3.3)	2.0 (0.08)	0.5 (50) *3

注1) () 内数値は、標準偏差を示す。

注2) 2012年11月2日である。

注3) () 内数値は、調査本数を示す。

であった。また、作業能率は2010年と2011年が1.31h/10aと1.51h/10a、2012～2013年が1.70～1.76h/10aであった。なお、2010年度と2012年度にはA～Dの試験区別に作業速度と作業能率を計測した。2010年度の作業速度は各試験区とも0.28m/sであった。同年の作業能率はA、C、D区で1.31h/10a、B区が1.30h/10aであった。2012年度の作業速度はA～C区が0.16m/s、D区が0.17m/sであった。同年の作業能率はA区が1.73h/10a、B区が1.75h/10a、C区が1.77h/10a、D区が1.76h/10aであった。

作業速度と作業能率は2010年と2012年ともに各試験区間に5%水準で有意差がなく、作溝チゼルと施肥オーブナを組み合わせた処理の違いがそれらに影響を及ぼさなかった。施肥オーブナと作溝チゼルの牽引力は、一本あたり107.5Nと299.5Nと測定されており、これらが組み込まれていない供試機単体の牽引力である2,626Nと比較して小さいため、各試験区間の作業速度と作業能率に影響を及ぼさなかった。

各試験区で作成された植え溝は、年次平均値で S_w が設定40cmに対して50～53cm、 S_{uw} が設定25cmに対して19～20cm、 h が設定15cmに対して16～19cmであった。側条施肥は F_w が設定5cmに対してA区が溝底

中央から左右に6cm、B区とC区が溝底中央から左右いずれかに6cm、 F_h が設定3cmに対して2～3cmであった。 h_c は設定15cmに対してA区とB区ともに11cmであった。施肥溝切り機で作成された植え溝は、各調査項目とも試験区間に5%水準で有意差が生じなかった。

作溝チゼルと施肥オーブナの配置は、前記したとおり供試機単体の牽引力と比較して小さいため、作成された植え溝の精度にも影響を与えなかった。他方、2010～2011年と2012～2013年の作業速度にはトラクタの走行ギア設定の違いで0.12m/sの差が生じた。しかし、作成された植え溝形状の測定値は表4-4に示すとおり標準偏差がいずれも小さく、年次間に差がなかった。供試機を用いた植え溝切り作業は作成された植え溝形状から0.28m/s以上での作業速度でも作業が可能と推定されるが、供試するトラクタの機関出力や肥料散布機の繰り出し量を考慮した適正な作業速度の設定が必要である。

以上から、作成された植え溝は、施肥オーブナと作溝チゼルの位置以外の各調査項目で試験区間に差がないため、植え溝底土壌の構造変化が定植の作業能率と作業精度に対して影響を及ぼすといえる。

表4-3 ネギの植え溝切り作業時のほ場状態と作業特性

試験年次	碎土率 (%)	含水比 (%)	作業速度 (m/s)	作業能率 (h/10a)
2010 ^{*1}	84 (7.6)	34 (2.2)	0.28 (0.003)	1.31 (0.004)
2011	85 (3.2)	25 (1.5)	0.28 (0.004)	1.51 (0.294)
2012 ^{*1}	70 (9.2)	22 (2.0)	0.16 (0.005)	1.76 (0.017)
2013	73 (4.7)	43 (2.5)	0.16 (0.009)	1.70 (0.057)
2013	74 (6.3)	33 (0.8)	0.16 (0.004)	1.70 (0.023)

注1) A～Dの試験区別に作業速度と作業能率の調査を実施した。

注2) () 内数値は標準偏差を示す。

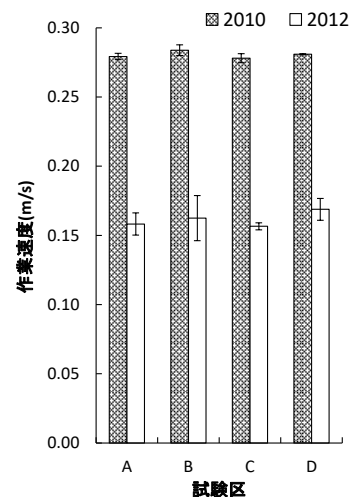


図4-4 施肥溝切り機による植え溝切り作業時の作業速度

注1) 図中の垂直線は標準偏差を示す。

表4-4 施肥溝切り機により作成された植え溝の形状

試験区	S_w (cm)	S_{uw} (cm)	h (cm)	F_w (cm)		F_h (cm)		h_c (cm)
				左	右	左	右	
A	53 (3.5) ^a	20 (3.7) ^a	19 (1.3) ^a	6 (1.3) ^a	6 (1.5)	2 (1.0) ^a	3 (0.6)	11 (1.4) ^a
B	52 (2.5) ^a	19 (3.2) ^a	17 (2.8) ^a	6 (1.5) ^a		3 (0.6) ^a		11 (0.3) ^a
C	50 (3.6) ^a	19 (3.5) ^a	16 (2.9) ^a	6 (1.8) ^a		3 (1.6) ^a		-
D	52 (2.7) ^a	20 (3.4) ^a	16 (2.0) ^a	-	-	-	-	-
設定	40	25	15	5	5	3	3	15

注1) 数値は2010年～2013年の平均値を示す。

注2) () 内数値は標準偏差を示す。

注3) B・C区の施肥水平位置と施肥深さは、左右いずれかの位置を示す。

注4) 異なるアルファベット間に5%水準で有意差あり。

注5) S_w (溝幅), S_{uw} (溝底幅), h (溝深さ), F_w (施肥水平位置), F_h (施肥深さ), h_c (作溝チゼル深さ)。

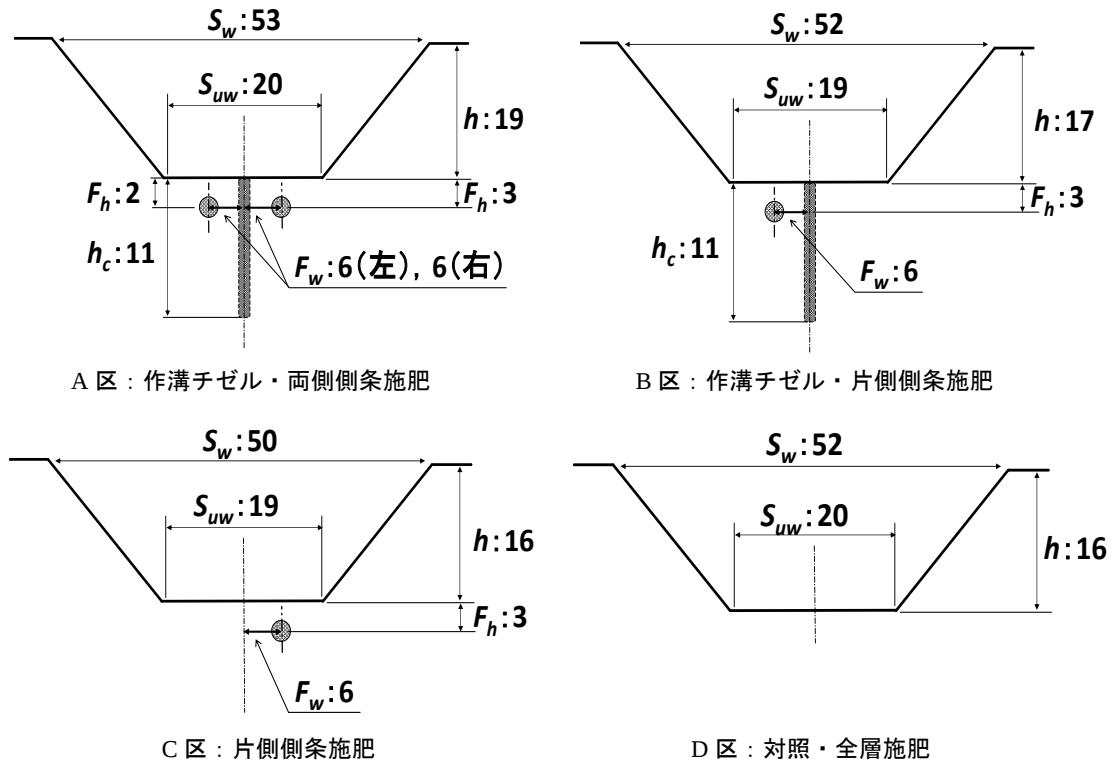


図4-5 施肥溝切り機で作成される植え溝の形状特性

注1) S_w (溝幅), S_{uw} (溝底幅), h (溝深さ), F_w (施肥水平位置), F_h (施肥深さ), h_c (作溝チゼル深さ).

注2) 単位: cm.

2) 植え溝底の土壤構造

各試験区での矩形板沈下量の年次平均値を図4-6に示す.

植え溝底中央部の矩形板沈下量は A 区で 23mm, B 区で 19mm, C 区で 8mm, D 区で 9mm であった. 植え溝底端部での矩形板沈下量は A 区で 16mm, B 区で 15mm, C 区で 6mm, D 区で 7mm であった.

作溝チゼルは植え溝底中央部を切削したため, 作溝チゼンを施工していない C・D 区と比較して植え溝底中央部の矩形板沈下量が 2.1~2.9 倍となり, A・B 区と C・D 区間に 5%水準で有意差が生じた. 心土破碎に使われる作溝チゼルは, 先端から地表面に向けて約 50° の範囲にある土壌を膨軟化する (常松ら 1959). すなわち, 施肥溝切り機に配置した作溝チゼルは, 植え溝底中央部の土壌を深さ 11cm で切削するため, 植え溝底中央部から片側に約 6.5cm, 両側に約 13cm, 植え溝底の 65%に相当する土壌部位を膨軟化すると考えられ, 植え溝底中央部での矩形板沈下量に差を生じさせた. A・B 区の植え溝端部は作溝チゼルによる膨軟化の範囲外であるが, その影響の境界に位置しているため矩形板を加重することで膨軟化部分に向けて土壌の滑りが発生した. そのため, A・B 区の矩形板沈下量は C・D 区よりも 2.1~2.7 倍高く, かつ数値の変動も大きな

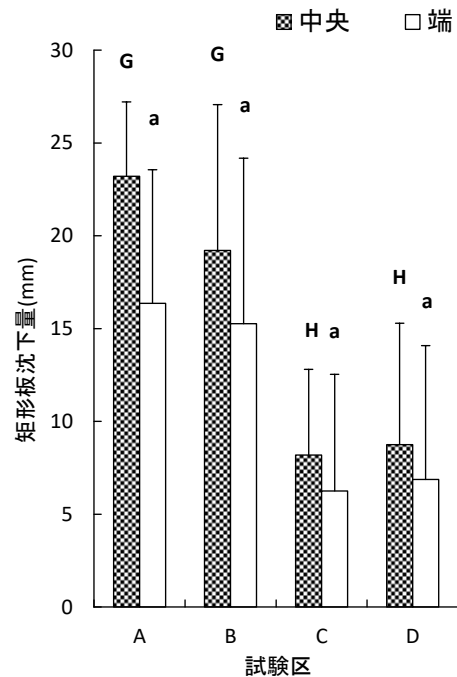


図4-6 各植え溝における矩形板沈下量

注1) 異なるアルファベット間に 5%水準で有意差あり.

注2) アルファベットの大字は中央部, 小文字は端部の差を示す.

注3) 中央と端は測定した植え溝底の部位を示す.

った。

施肥オープナによる作溝を矩形板沈下量で比較した場合、A区とB区の間では溝中央で4mm、溝端部で1mmの差を示した。また、C区とD区では、中央部と溝端部でそれぞれ1mmの差を示した。しかし、各試験区の差は小さく、いずれも5%水準で有意差を示さなかった。施肥オープナは深さ3cm、幅8.6cmの土壤範囲を膨軟化するが、施工部位に粒状肥料を充填するため、作溝直後の状態では土壤膨軟化に対する寄与率が小さくなった。

3) 定植作業時の能率と精度

各試験区に簡易移植器で定植作業を行った場合の作業速度と能率を表4-5に示す。

簡易移植器の作業速度は0.13～0.16m/sの範囲内にあり、各試験区に5%水準で有意差が生じなかった。作業能率は2.08～3.28h/10aの範囲内にあり、作業速度と同様に各試験区間に5%水準で有意差が生じなかった。

作溝チゼル施工による植え溝底土の膨軟化は、半自動移植機の定植作業能率を無施工区と比較して2.1倍に増加することが示されている(片平2013)。半自動移植機は、本体に付属した開閉式の定植部を利用してセル苗を機械的に埋め込む定植方式であるため、植

え溝底土の膨軟化が作業能率に影響を及ぼした。一方、簡易移植器では、機体下部にチェーンボットの高さに該当する3cm程度の植え溝を作成する小型作溝器(幅 b :3.54cm、高さ h :5.20cm、作溝器先端傾斜角 ϕ :25°)が付属している。そのため、簡易移植器での定植は、作業能率に対して小型作溝器による水平牽引抵抗(Z_L)が影響を及ぼすと考えられる。簡易移植器の Z_L は、土壤切断抵抗(Z)と作溝器底面に働く土壤抵抗(Z_w)の和($Z+Z_w$)で求められる。ここで、 Z が($b \times h \times W_0 \times V^{1/2}$)、 Z_w が($\mu \times Z \times \tan \phi$)であることから、 Z_L は $b \times h \times W_0 \times V^{1/2} \times (1 + \mu \times \tan \phi)$ となる(木谷1996)。すなわち、定植は比抵抗(W_0)が3.0N/cm²、摩擦係数(μ)が0.466と仮定した黒ボク土壌に対して平均作業速度(V)0.15m/sで作業した場合、 Z_L が25.5Nと試算できる。なお、機体と苗箱の合計質量(約16kg)は、機体に付属する車輪で保持されるため無視できる。以上から、定植作業時の Z_L は作溝チゼルを施工しない状態でも25.5N程度と小さいため、作業速度と作業能率に及ぼす影響が少ない。

各試験区の植え付け姿勢発生頻度の年次平均値を図4-7に示す。

正常に植え付けられた苗の発生頻度は、A区が86%と他区よりも17～31ポイント高かった。斜め植えの苗

表4-5 ネギ定植時の作業速度と作業能率

試験区	作業速度 (m/s)	作業能率 (h/10a)
A	0.15 (0.048) ^a	2.80 (0.755) ^a
B	0.13 (0.037) ^a	2.98 (0.506) ^a
C	0.16 (0.062) ^a	2.80 (1.112) ^a
D	0.14 (0.049) ^a	3.28 (1.338) ^a

注1) () 内数値は標準偏差を示す。

注2) 異なるアルファベット間に5%水準で有意差あり。

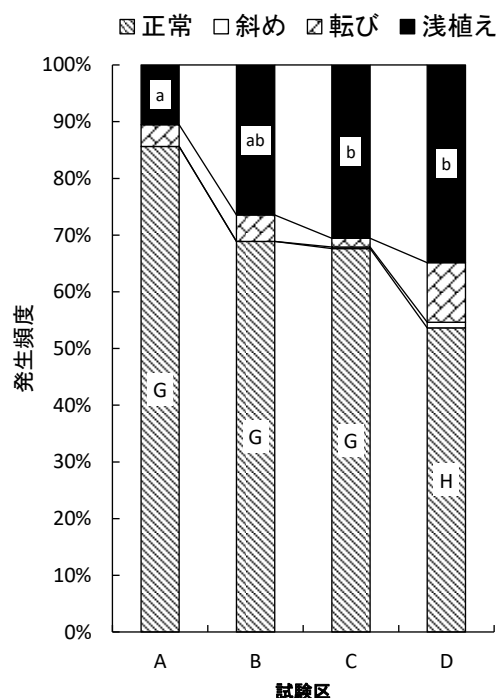


図4-7 各植え溝における定植精度

注1) 異なるアルファベット間に5%水準で有意差あり。

注2) アルファベットの大文字は正常、小文字は浅植えの差を示す。

注3) 転びと斜め植えについては有意差なしのため、記号を省略。

は A～C 区で発生がなく、D 区で 1%発生した。転びで植え付けられた苗は、D 区で 11%と他区よりも 6～9 ポイント多かった。浅植えの苗は A 区が 11%と他区よりも 16～25 ポイント少なかった。

簡易移植器の定植作業精度は、浅植えの発生頻度について A 区と C・D 区間とに 5%水準で有意差が生じた。また、正常植えの発生頻度は、A・B・C 区と D 区の間で 5%水準で有意差が生じた。筆者らが 2009 年度に行った歩行管理機で作成した植え溝に対しての簡易移植器定植試験では、正常に植え付けられた苗の植え付け深さ（溝底からチェーンポット上面までの距離）が平均 1.4cm であった。すなわち、簡易移植器は植え溝底から約 4cm の深さに定植する構造であることから、植え溝底から深さ 4～5cm に相当する浅層土壌の膨軟さが定植精度に影響を与える。施肥溝切り機に作溝チゼルを組み合わせた作業技術では、矩形板沈下量に示したとおり作溝直後の植え溝底に関して作溝チゼル施工による土壌膨軟化の効果が大きく、本体に付属する施肥オープンナが土壌膨軟化に与える影響が小さかった。しかし、簡易移植器の定植作業では付属した小型作溝器が植え溝底の中央部を 25.5N 程度の力で再切削するため、それが施肥オープンナから排出された肥料充填層の一部を攪乱して浅層土壌を膨軟化し、作溝チゼルの効果と併せて植え付け姿勢の改善に影響を及ぼしたと考えられる。特に、A 区は側条施肥の肥料充填層が植え溝底中央の左右両側に配置されているため、肥料充填層の攪乱範囲が B 区と C 区の 2 倍となり、浅植えの頻度を低下して正常植えの頻度を最も高くした。

の各工程を統合した作業が実施可能であり、ネギの初期生育に影響を与える定植精度の向上に寄与する技術といえる。

4-4 摘要

本章では収益性の高い露地野菜であるネギ栽培において、高能率な農業機械導入による作業能率の向上や作業工程の統合による省力化を目的に、施肥溝切り機を用いて作溝チゼルと施肥オープンナを組み合わせた側条施肥の試験区を設定し、植え溝底土壌の膨軟化と側条施肥位置が植え溝切り作業と簡易移植器を用いたネギの定植精度に与える影響について検討した。植え溝切りは、作業能率が 1.31～1.76h/10a、溝幅 50～52cm、溝深さ 16～19cm、溝底幅 19～20cm、側条施肥を溝底中央から水平に 6cm、深さ 2～3cm、作溝チゼルを深さ 11cm で施工した。植え溝底中央部の矩形板沈下量は作溝チゼル施工区と無施工区との間に有意差を示した。定植作業は各試験区間に作業能率の差がなく、正常植えの割合が作溝チゼル・両側施肥区で 86%と最も多くなった。植え付け姿勢は、作溝チゼルと簡易移植器による側条施肥の攪乱が溝底浅層の土壌膨軟化を誘引して改善した。

以上のことから、施肥溝切り機は作溝チゼルと施肥オープンナを用いて溝切り、側条施肥、溝底面の膨軟化

第 5 章 作溝チゼル付き施肥溝切り機による溝切りと側条施肥がネギの生産性に及ぼす影響

5-1 はじめに

第 4 章では、ネギ栽培の溝切り作業において作溝チゼル付き施肥溝切り機は、作溝チゼルによる植え溝底土壌の切削と施肥オープンナによる側条施肥が植え溝底の土壌を膨軟化するため、ネギの定植精度を改善することを明らかにした。また、本機の作業精度は作溝チゼルや施肥オープンナの影響を受けることがなく、定植に適した植え溝の作成が可能であることも示した（進藤ら 2014）。

施肥溝切り機は、本体に付属した施肥機と施肥オープンナを用いて植え溝底に粒状肥料を側条施肥する作業機である。ネギの側条施肥栽培については、同機を用いて植え溝底から深さ 1cm、植え溝の中心から 4cm の位置に肥効調節型肥料を慣行の全層施肥から 18～52 % 減肥した場合に、収量が慣行と比較して黒ボク土ほ場で同等、砂質土ほ場で追肥を 1 回加えることで同程度になることが報告されている（片平ら 2006）。しかし、前記の実証試験は苗の片側に側条施肥して栽培したものであり、施肥位置の違いが生育と収量に与える影響の検討が不足していた。また、本章で報告する施肥溝切り機は施肥オープンナの他に作溝チゼンを搭載したことで植え溝底の土壌を膨軟化する新しい作業技術であるため、それがネギの生育と収量にどのような影響を与えるのか検証する必要がある。側条施肥と作物生育の関係は、施肥位置の違いが水稻の窒素利用率に与える影響について報告（佐藤ら 1984, 三枝 1999）されているが、露地野菜栽培ではキャベツの報告（藤原ら 2000）があるのみで事例が少ない。その理由は作物の栽培試験と同時に施肥に関する試験を行い、それと同時にほ場に側条施肥できる作業機械の開発が必要であるなど、技術確立に際して栽培技術・土壌肥料・機械開発といった多面的な技術の融合が必要なためである。

本章では開発した施肥溝切り機の普及を促進してネギ生産者の粗収益を増加させるため、ネギの定植・植え溝切り作業を効率化する新たな作業技術の確立を目的とした。そこで、側条施肥位置と植え溝底土壌の膨軟化位置がネギの生育と収量に与える影響を解明するため、施肥溝切り機に搭載した作溝チゼルと施肥オープンナを組み合わせた複数の試験区を畑連作ほ場に作成し、2010～2013 年の栽培試験で各処理の効果を検証した。

5-2 材料および方法

1) 試験場所とは場条件

試験は、2010～2013 年に秋田県秋田市の秋田県農業試験場内の畑連作ほ場（土壌：表層腐植質黒ボク土、栽培面積：4a）で行った。

2) 供試機械

供試した機械は市販の施肥溝切り機（R47、マメトラ農機）に作溝チゼンを組み込んだ作溝チゼル付き施肥溝切り機（以下、供試機と呼称する）である。作業は乗用トラクタ（KL3450、出力：25kW、クボタ）に取り付けたロータリの後方に供試機 2 台を配置して行った。肥料はトラクタのバッテリー（12V）を電源とする肥料散布機（PS-50F、タイショー）を供試機の上部に取り付け、施肥オープンナを介して作溝と同時に側条施肥した。

施肥溝切り機で作成した植え溝に対するネギの定植は、市販の簡易移植器（HP-6、日本甜菜製糖）を用いて植え付け深さ約 3cm の条件で植え溝切り作業の翌日に行った。

3) 試験区の構成

施肥と土壌膨軟化の位置がネギの生育と収量に与える影響を検証するため、以下の各試験区を設定した。

各試験区の施肥オープンナと作溝チゼルの配置を表 5-1 に示す。

試験区は施肥位置の効果を検証するため、作溝チゼル・両側側条施肥区（以下 A 区）、作溝チゼル・施肥オープンナ両側・片側側条施肥区（以下 D 区）、ほ場に肥料を全層施肥した対照区（以下 E 区）を設置した。植え溝底土壌の膨軟化位置の検証は、作溝チゼル・片側側条施肥区（以下 B 区）、片側側条施肥区（以下 C 区）、作溝チゼル・施肥オープンナ両側・片側側条施肥区（以下 D 区）を設置した。各区の施工方法は、A 区が供試機に作溝チゼルと施肥オープンナ 2 個、B 区が作溝チゼルと施肥オープンナ 1 個、C 区が作溝チゼンを配置せず、施肥オープンナ 1 個のみ、D 区が作溝チゼルと施肥オープンナ 2 個を配置し、片側の施肥オープンナからの側条施肥、E 区が施肥溝切り機から施肥オープンナと作溝チゼンを全て取り外して耕うん同時作溝のみの設定で、それぞれ行った。

A～E の各試験区では施肥溝切り機を条間 100cm、植え溝幅 40cm、溝底幅 25cm、溝深さ 15cm、施肥オープンナを試験区設定に合わせて供試機の中央から左右 5cm 離れた位置に深さ 3cm、作溝チゼンを溝底から深さ 15cm（A・B・D 区のみ）に設定し作溝した。E 区は作溝チゼルと施肥オープンナの設定を除き A～D 区と同様に設定した。各試験区は試験ほ場内で 2 反復するように実験計画法に基づいて割り付けた。

作溝作業の精度は第 4 章で報告した測定基準に従い、溝幅（Sw：cm）、溝深さ（h：cm）、溝底幅（Suw：cm）、

施肥水平位置 (F_w : cm, 植え溝中心から肥料までの水平距離), 作溝チゼルと施肥の深さ (h_c , F_h : cm, 溝底からの垂直距離) を各試験区で調査した。

表 5-1 作成された植え溝の形状

試験区	施肥オープンナ		作溝チゼル	施肥方法
	1	2		
A	●	●	△	両側側条
B ^{*1}	●	×	△	片側側条
C ^{*1}	●	×	×	片側側条
D ^{*1}	●	○	△	片側側条
E	×	×	×	全層

注 1) B, C, D 区では施肥オープンナ 1 を左側の溝切り機で右側, 右側の溝切り機で左側に配置した。

注 2) ●は肥料の排出あり, ○は肥料の排出なし, ×は施肥オープンナ・作溝チゼルの配置なし, △は作溝チゼルの施工ありを示す。

4) 供試材料

試験は, 各年次ともチェーンポット (CP-303; 264 穴, 株間約 5cm, 日本甜菜製糖) で育苗したネギ (品種: 夏扇 4 号, 夏扇パワー; 各穴 2 粒播種) を用いた。栽培試験は施肥溝切り機を用いた作業技術が作型や肥培管理の違いでも同様の効果であること確認するため, 以下の栽培概要で行った。2010~2012 年度は秋冬どり作型でリニア溶出型 (25℃約 30 日間で 80 %が溶出, 以下 LP30) とシグモイド型 (25℃水中 30 日間溶出抑制, 以降 30 日間で 80 %溶出, 以下 LPS60) の肥効調節型肥料を 1:3 で混合したネギ専用肥料 (N:P₂O₅:K₂O; 20:10:10) を用いた施肥体系とした。2013 年度は夏どり作型で速効性化成肥料 (N:P₂O₅:K₂O; 12:16:12) に 4 回の追肥 (N:P₂O₅:K₂O; 16:4:16) を組み合わせた施肥体系, 秋冬どり作型で速効性化成肥料, LP30 と LPS60 の肥効調節型肥料を 1:3:6 で混合したネギ専用肥料 (N:P₂O₅:K₂O; 25:9:9) を用いた施肥体系で行った。なお, 2013 年度の夏どり作型では生育量を確保するため, 基肥量を側条施肥区で 0.9kg/a, 全層施肥区で 1.5kg/a, 培土時期に併せて合計 1.5kg/a を各区に追肥し, 合計で側条施肥区が 2.4kg/a,

全層施肥区が 3.0kg/a と秋冬どり作型よりも多く設定した。各試験年次での耕種概要と生育・収量調査時期を表 5-2 に示す。

5) 調査項目

(1) 生育調査

生育調査は, 試験区内に長さ 50cm (個体数: 約 20 本) の調査区を 2 区設置し, ネギの生育にあわせて表 2 に示す時期で 4 回実施した。調査は, 調査区間内の個体を全て掘り取った後, 盤茎部から根を切除して草丈, 分岐長, 葉鞘径 (mm: 盤茎から約 20mm 上の長径部), 一本あたり質量 (g: 以下, 一本重) を計測した。収量調査は, 各試験区内に長さ 50cm の調査区と長さ 30cm (個体数: 約 12 本) の調査区をそれぞれ 2 区ずつ設置し, 定植から 128~152 日後に実施した。なお, 設置した各調査区は前者を調製収量, 後者を調製前形態と窒素吸収量の分析に使用した。

(2) 収量調査

収量調査時の調製作業は盤茎部から根を切除した後, 秋田県のネギ出荷規格にあわせて草丈を 60cm に揃えて葉を切断し, 本葉が約 3 枚残るように外葉を除去した。調製されたネギの調査は分岐長, 葉鞘径, 軟白長, 調製質量を計測し, それを基に商品収量と規格茎割合 (2L, 20≤25mm, L, 15≤20mm, M, 10≤15mm, S, ≤10mm) を求めた。収量調査時の調製前形態は草丈, 葉鞘径, 一本重を計測した。

(3) 作物体窒素吸収量

窒素吸収量は, 生育調査と収量調査時に調製前形態調査を行った個体を 70℃に設定したオープンで 48 時間以上乾燥してから粉碎し, それをケルダール法 (ガンニング変法) で分解して, 窒素濃度を全窒素リン酸自動分析装置 (TRAACS2000, ブランルーベ) で測定し, 乾物重に窒素濃度を乗じて算出した。

(4) 統計処理の方法

解析は各栽培試験で取得した調査項目のデータを試験区ごとに集計し, A~E の試験区と年次・作型を因子とした 2 元配置の分散分析 (Excel 統計 2012, 社会情報サービス) で有意差を検定した。

表 5-2 各試験年次での耕種概要と生育・収量調査時期

試験年次	品種	供試肥料 (N:P:K)	施肥量 (kg/a)	定植日	生育調査時期				収穫調査時期 (収穫日)
					1	2	3	4	
2010	夏扇4号	LP30+LPS60混合 (20:10:10)	1.7	6月3日	22	40	89	118	146 (10月27日)
2011	夏扇4号	LP30+LPS60混合 (20:10:10)	1.9	6月15日	27	44	75	97	139 (11月1日)
2012	夏扇パワー	LP30+LPS60混合 (20:10:10)	1.9	6月13日	28	49	75	106	145 (11月5日)
2013	夏扇パワー	化成 (12:16:12)+追肥4回	2.4(3.0)	5月1日	28	56	83	110	128 (9月6日)
	夏扇パワー	化成+LP30+LPS60 (25:9:9)	2.3	5月29日	28	55	82	118	152 (10月28日)

注 1) 生育と収量調査時期は定植後から調査時期までの日数を示す。

注 2) 2013 年度夏どり作型での施肥量の () 内数値は全層施肥区の総窒素施用量を示す。

5-3 結果および考察

1) 植え溝の形状特性

各試験区における植え溝形状と施肥位置の 2010～2013 年の平均値を図 5-1 に示す。

植え溝形状と施肥位置は、施工時に土が崩れたため設定値と比較して S_w が広く、 S_{uw} が狭く、 h_c が浅くなる傾向にあった。しかし、A・B・C・E 区間には第 4 章に示すとおり、各調査項目間に差がなかった（進藤ら 2014）。D 区は他区と同様に施工され、調査項目に他試験区間との差がなかった。

2) 生育特性

(1) 草丈・分岐長の生育特性

生育調査時期別の草丈と分岐長の経過を表 5-3 と表 5-4 にそれぞれ示す。

施肥位置の影響について、生育初期の定植から 27 日後（各年次での定植日から調査日までの平均値を示す。以下同様）での草丈は E 区に対する各試験区の増加率（以下：E 比）が A 区で 9.3 %、D 区で 10.2 %となり、E 区と A・D 区間に 5 %水準で有意差が生じた。49 日後では E 比が A 区で 24.1 %、D 区で 10.1 %となり、A

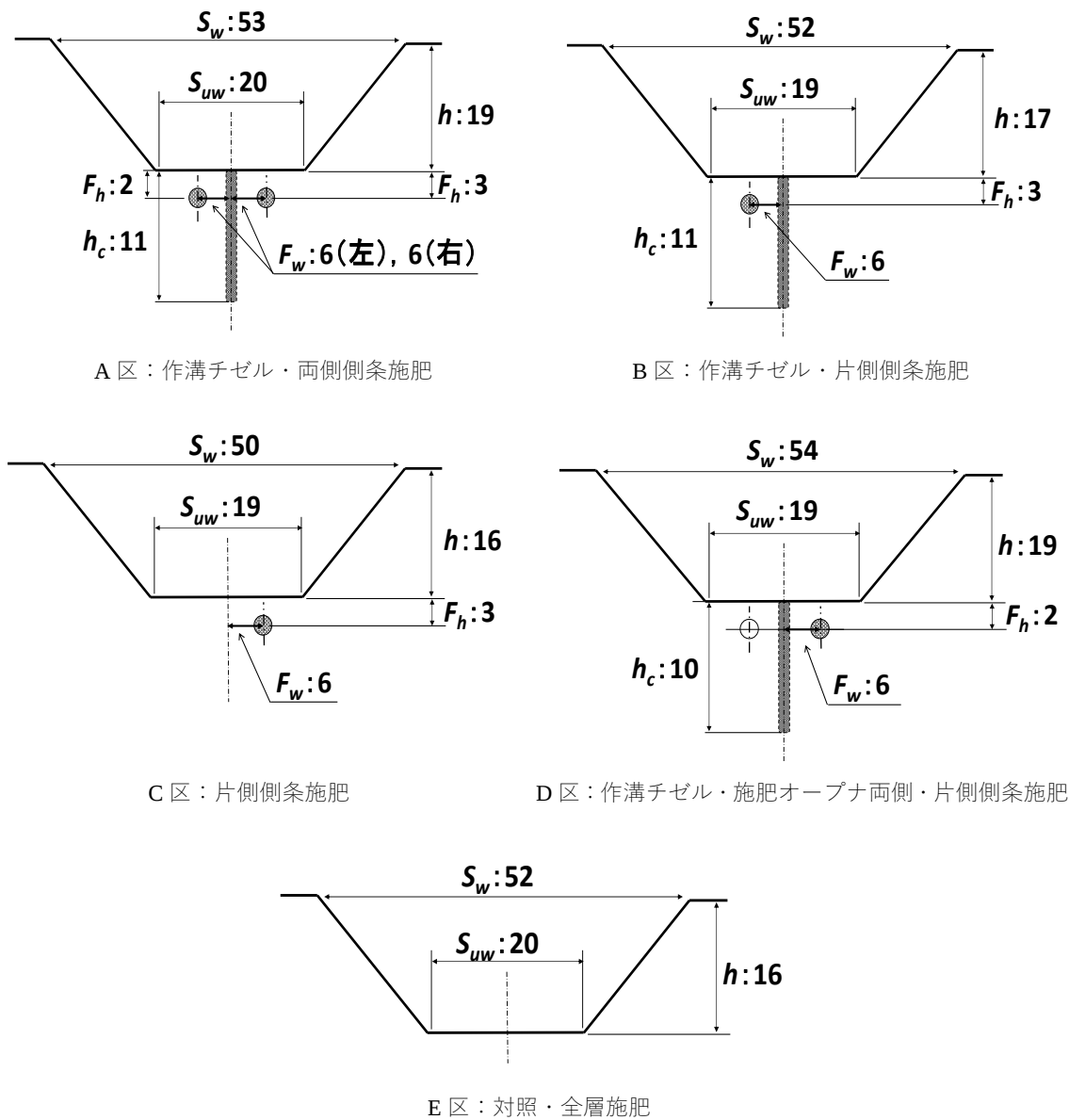


図 5-1 各試験区で作成されたネギ植え溝の形状

注 1) S_w (溝幅), S_{uw} (溝底幅), h (溝深さ), F_w (施肥水平位置), F_h (施肥深さ), h_c (作溝チゼル深さ)。

注 2) 単位: cm.

・D・E区間に5%水準で有意差が生じた。生育中～後期ではE比が81日後のA区で6.2%，D区で-3.3%，110日後のA区で2.9%，D区で-3.8%となり，A区とD・E区間に5%水準で有意差が生じた。定植から142日後の収穫期では，A・D・E区間に有意差が認められなかった。草丈に対する溝底土壌膨軟化位置の影響は，B区に対する各試験区の増加率（以下，B比）が定植から27日後のC区で4.2%，D区で10.8%となり，B区とD区間に5%水準で有意差が生じた。49日後では，B・C・D区間に有意差が認められなかった。生育中～収穫期ではB比が110日後のC区で0.9%，D区で-4.3%であった。81日後と142日後ではB・C・D区間に有意差が認められなかったが，110日後はC区とD区間に5%水準で有意差が生じた。

分岐長に対する施肥位置の影響は，E比が定植27日後のA区で9.8%，D区で8.9%，49日後のA区で24.0%，D区で8.0%となり，A区とE区間に5%水準で有意差が生じた。生育中～後期ではE比が81日後のA区で13.9%，D区で-1.1%，110日後のA区で6.7%，D区で-1.8%となり，いずれもA区とD・E区間に5%水準で有意差が生じた。収穫期の142日後では，A・D・E区間に有意差が認められなかった。分岐長に対する溝底土壌膨軟化位置の影響は，生育期間をとおしていずれもB・C・D区間に5%水準で有意差が認められ

なかった。

ネギの生育適温は一般的に12～22℃といわれ，気温の低い生育初期から中期にかけて伸長し，気温の高い夏季に生育が一時停滞した後，気温が低下し始める生育後期から収穫期に再度伸長する（関口1978）。このことから草丈と分岐長は生育初期の定植から49日後までの生育適温時期で側条施肥区（A・B・C・D区）と全層施肥区（E区），側条施肥区の両側（A区）と片側（D区）に差が生じることが多く，特にA区の生育量が旺盛になったと考えられた。すなわち，A区はネギ苗の両側に肥料が高密度で均等配置されているため，ネギが根生育初期段階で縦型の楕円か横方向への半円形に広がる特性（八畝1978）により，根の施肥部への接触が全層施肥を含めた他区よりも早く，草丈・分岐長の伸長を良好にしたと考えられる。土壌膨軟化位置を比較したB・C・D区では差が明確でなかった。草丈と分岐長は，生育期間の長期化に伴い栽植密度がその生育量に影響を及ぼすことが報告されている（本庄ら2015）。このことから，初期生育の差が顕著であったA区は他区よりも優位に推移したが，A区以外は栽植密度の影響が土壌膨軟化の影響よりも大きくなり，土壌膨軟化位置の違いが不明確になったものと推察された。

表5-3 各試験区でのネギの草丈の推移

試験区	27	49	81	110	142
A	33.5 (6.89) ^a	50.6 (10.51) ^a	70.7 (10.69) ^a	85.1 (3.79) ^a	94.2 (7.10) ^a
B	30.4 (3.93) ^b	45.3 (8.89) ^b	66.4 (11.88) ^b	83.1 (9.53) ^{ab}	90.1 (7.70) ^a
C	31.7 (4.23) ^{ab}	48.4 (9.29) ^{ab}	67.4 (10.18) ^b	83.8 (6.89) ^a	90.4 (5.51) ^a
D	33.7 (5.85) ^a	44.9 (8.53) ^b	64.4 (3.67) ^b	79.5 (4.73) ^b	89.0 (3.28) ^a
E	30.6 (4.36) ^b	40.8 (7.90) ^c	66.6 (9.38) ^b	82.7 (6.02) ^{ab}	90.2 (3.13) ^a

注1) 表頭の数値は2010～2013年での定植から調査日までの平均日数を示す。

注2) 表中の数値は2010～2013年の平均値(cm)を示す。

注3) () 内数値は標準偏差を示す。

注4) 異なるアルファベット間に5%水準で有意差あり。

表5-4 各試験区でのネギの分岐長の推移

試験区	27	49	81	110	142
A	7.4 (1.73) ^a	12.8 (2.15) ^a	23.0 (5.10) ^a	31.4 (2.43) ^a	39.5 (1.78) ^a
B	6.9 (1.24) ^{ab}	11.5 (2.15) ^b	20.8 (4.99) ^b	30.2 (3.54) ^{ab}	38.2 (3.24) ^b
C	7.0 (1.28) ^{ab}	11.9 (1.57) ^{ab}	20.8 (4.37) ^b	30.1 (2.89) ^{ab}	38.2 (2.64) ^b
D	7.4 (1.85) ^{ab}	11.1 (1.28) ^{bc}	20.0 (2.29) ^b	28.9 (0.51) ^b	38.2 (1.55) ^{ab}
E	6.8 (1.24) ^b	10.3 (1.71) ^c	20.2 (4.36) ^b	29.4 (3.20) ^b	38.4 (1.81) ^{ab}

注1) 表頭の数値は2010～2013年での定植から調査日までの平均日数を示す。

注2) 表中の数値は2010～2013年の平均値(cm)を示す。

注3) () 内数値は標準偏差を示す。

注4) 異なるアルファベット間に5%水準で有意差あり。

(2) 葉鞘径の生育特性

各試験区における生育調査時期別の葉鞘径の生育経過を表5-5に示す。

葉鞘径に対する施肥位置の影響は生育期間をとおして、いずれもA・D・E区間に5%水準で有意差が認められなかった。葉鞘径に対する土壌膨軟化位置の影響は、27日後のB・C・D区間に5%水準で有意差が認められなかった。49日後ではB比がC区で10.2%、D区で3.9%となり、B区とC区間に5%水準で有意差が生じた。生育中～収穫期ではB比が110日後のC区で3.7%、D区で-3.8%となり、81日後と142日後はB・C・D区間に5%水準で有意差が認められなかったが、110日後ではC区とD区間に5%水準で有意差が生じた。

ネギの葉鞘径は生育が停滞する夏期の高温期までに急速に増加し、低温期となる生育後期から収穫期にかけて緩やかに増加する(関口1978)。このことから定植から27日後の段階では草丈やそれに伴う分岐長の伸長が盛んであるため、施肥位置が異なるA・D・E区と土壌膨軟化位置が異なるB・C・D区間の葉鞘径に差が生じなかったと考えられる。葉鞘径の肥大が始まる49日後付近ではC区の肥大量が多くなり、B区との間に有意な差を生じさせ、かつD区に対しても5.4%増加した。C区は作溝チゼルが配置されていないため、植

え溝底の切削部位がなくB・D区よりも植え溝底の土壌が硬い。また、当該期間は一般に根が横型になる時期に該当するといわれている(八畝1978)。すなわち、C区は根の横方向への伸長が土壌の柔らかい側条施肥部分に集中し、葉鞘径の肥大量を多くしたと考えられる。一方、B・D区は土壌膨軟化位置の範囲がC区よりも広く、根の伸長が土壌の柔らかい植え溝底の切削部位から側条施肥部位まで広範囲に分布するため、葉鞘径の肥大量を少なくしたと考えられる。さらに、D区はB区よりも施肥オーブナの配置によって植え溝底土壌の膨軟化範囲が広いと推定される。その結果、110日後でのD区の葉鞘径はC区との間に有意差が生じ、かつB区より3.8%減少したと考えられる。

(3) 一本重の経過

各試験区における生育調査時期別の一本重の経過を表5-6に示す。

一本重に対する施肥位置の違いはE比が49日後のA区で52.1%、D区で10.2%となり、A区とD・E区間に5%水準で有意差が生じた。27日後と生育中～収穫期では、いずれもA・D・E区間に5%水準で有意差が認められなかった。一本重に対する溝底土壌膨軟化位置の違いは、生育期間をとおしていずれもB・C・D区

表5-5 各試験区でのネギの葉鞘径の推移

試験区	27	49	81	110	142
A	6.0 (0.76) ^a	9.9 (1.76) ^{ac}	14.6 (1.96) ^a	17.3 (2.15) ^{ab}	19.4 (2.14) ^a
B	5.6 (0.81) ^a	9.0 (0.89) ^b	14.0 (2.69) ^a	16.9 (1.64) ^{ab}	18.4 (1.11) ^a
C	5.8 (0.58) ^a	9.9 (1.54) ^c	14.2 (2.22) ^a	17.5 (1.86) ^b	18.8 (1.44) ^a
D	5.9 (1.04) ^a	9.4 (0.98) ^{abc}	13.7 (1.00) ^a	16.2 (2.00) ^a	18.2 (1.44) ^a
E	6.1 (0.51) ^a	9.2 (1.56) ^{ab}	13.9 (1.96) ^a	17.2 (1.61) ^{ab}	19.0 (2.53) ^a

注1) 表頭の数値は2010～2013年での定植から調査日までの平均日数を示す。

注2) 表中の数値は2010～2013年の平均値(cm)を示す。

注3) () 内数値は標準偏差を示す。

注4) 異なるアルファベット間に5%水準で有意差あり。

表5-6 各試験区でのネギの一本重の推移

試験区	27	49	81	110	142
A	5.4 (3.12) ^a	22.1 (13.01) ^a	76.8 (36.67) ^a	143.0 (33.06) ^a	244.3 (46.89) ^a
B	4.2 (1.85) ^b	16.7 (8.19) ^{bc}	65.7 (44.47) ^a	122.5 (29.00) ^a	221.8 (56.95) ^a
C	4.8 (2.12) ^{ab}	19.8 (10.72) ^{ab}	68.4 (37.82) ^a	137.0 (29.39) ^a	226.2 (43.33) ^a
D	5.2 (3.18) ^{ab}	16.0 (8.84) ^{bc}	58.9 (16.64) ^a	123.5 (34.46) ^a	209.0 (27.05) ^a
E	4.3 (1.73) ^{ab}	14.6 (8.48) ^c	63.6 (30.60) ^a	130.4 (25.52) ^a	227.5 (50.35) ^a

注1) 表頭の数値は2010～2013年での定植から調査日までの平均日数を示す。

注2) 表中の数値は2010～2013年の平均値(g/本)を示す。

注3) () 内数値は標準偏差を示す。

注4) 異なるアルファベット間に5%水準で有意差あり。

間に5%水準で有意差が認められなかった。

一本重は生育初期で施肥位置の影響を比較した区間に有意差が発生しており、特に両側側条施肥が個体重の増加に有効であった。また、土壌膨軟化位置の影響を比較した各区分では、49日後にC区の年次平均値がB・D区よりも18.6~23.8%増加しており、葉鞘径の肥大と同様の傾向が見られた。

(4) 窒素吸収量の経過

各試験区における生育調査時期別の窒素吸収量の経過を表5-7に示す。

窒素吸収量に対する施肥位置の違いは、E比が27日後のA区で75.1%，D区で55.9%，49日後のA区で66.4%，D区で9.3%であった。27日後ではA・D区とE区間、49日後ではA区とD・E区間に5%水準で有意差が生じた。生育中～収穫期ではE比が81日後のA区で28.6%，D区で-16.3%，110日後のA区で26.9%，D区で-18.1%，142日後のA区で16.6%，D区で-14.1%であった。81日後と110日後はA区とD・E区間、142日後ではA区とD区間に5%水準で有意差が認められた。窒素吸収量に対する溝底土壌膨軟化位置の違いは、27日後と81日後、142日後でB・C・D区間に有意差が認められなかった。49日後ではB比がC区で18.3%，D区で-16.5%となり、C区とD区間に5%水準で有意差が生じた。生育中～収穫期の110日後ではB比がC区で8.2%，D区で-25.1%となり、B・C区とD区間に5%水準で有意差が認められた。

窒素吸収量は27日後のA・D区とE区の間には差が生じており、草丈・分岐長と同様に全層施肥と比較して側条施肥の生育初期での優位性が示された。また、A区とD区では49日後で有意な差を示すなど、苗の近傍に肥料を均等配置することの優位性が生育の進展に伴い明確になった。同期間のC区はD区との間に有意差があり、かつB区との間にも年次平均値で若干の増加が見られている。これは前記したとおり土壌膨軟化位置の違いが根の分布を変化させたため、窒素吸収量に

差が生じたことを示している。D区はB・C区と比較して溝底土壌の膨軟化位置の範囲が広く、根がB・C区よりも広域に分布していると推定されるため、根が肥料の存在しない部分にも多く伸長して生育初中期から窒素吸収量が少なくなり、81日以降でその差が顕著になったと考えられる。一方、E区はD区と異なり肥料がほぼ場全面に分布している全層施肥であるため、培土時の埋め戻しで残存している基肥窒素が株元に補完され、最終的にA区（両側施肥）を除く側条施肥区と同等の吸収量になった。

(5) 側条施肥位置と植え溝土壌の膨軟化がネギの生育に与える影響

ネギの側条施肥栽培技術は、肥料を根の近傍に集中して配置する側条施肥で全層施肥よりも初期生育量の増加が確認できた。初期生育量の増加は、本庄らが剪葉苗による初期生育の遅れが収穫期を後退化させるとの報告（本庄ら2015）から、収穫期を前進化して同時期での収量の確保に繋がると考えられる。土壌の膨軟化は第4章で示したとおり定植精度を改善するが（進藤ら2014）、根が伸長して施肥位置に到達する割合は作溝チゼルや施肥オープンで溝底が膨軟化された位置が広がるほど根域が拡大して低下すると考えられ、作物体の窒素吸収量が低下して生育停滞を引き起こし、生育後半での葉鞘径の肥大などに影響を及ぼす。しかし、A区は肥料の両側施肥と広範な土壌膨軟化位置が組み合わされていることから、膨軟化で根域が拡大された位置にも肥料が存在するため、施肥位置への根の到達割合が改善されて初期生育量を増加したと考えられる。以上から、ネギ栽培に作溝チゼルと施肥オープンを用いた側条施肥技術を活用するには、植え溝底の土壌を広範に膨軟化させ、かつ苗の両側に肥料を側条施肥して根を肥料充填部位に早期に到達させる割合を高めることで、定植精度の改善と併せて初期生育量が確保できる可能性を高めるといえる。

表5-7 各試験区でのネギの地上部窒素吸収量の推移

試験区	27	49	81	110	142
A	1.1 (0.63) ^a	2.7 (1.76) ^a	8.8 (5.67) ^a	13.5 (6.12) ^a	14.9 (7.03) ^a
B	1.0 (0.71) ^a	2.1 (1.37) ^{ab}	7.5 (6.08) ^{ab}	11.6 (5.25) ^{ab}	12.9 (5.99) ^{ab}
C	0.8 (0.49) ^{ab}	2.5 (1.67) ^a	7.1 (4.84) ^b	12.6 (5.71) ^{ab}	13.2 (4.72) ^{ab}
D	0.9 (0.68) ^a	1.7 (1.17) ^b	5.7 (3.17) ^b	8.7 (3.92) ^c	11.0 (3.64) ^b
E	0.6 (0.34) ^b	1.6 (1.08) ^b	6.9 (4.35) ^b	10.6 (4.93) ^{bc}	12.8 (6.43) ^{ab}

注1) 表頭の数値は2010～2013年での定植から調査日までの平均日数を示す。

注2) 表中の数値は2010～2013年の平均値(gN/m²)を示す。

注3) () 内数値は標準偏差を示す。

注4) 異なるアルファベット間に5%水準で有意差あり。

3) 収量と収穫物の形態

各試験区での収穫時の商品収量と軟白長を図5-2に示す。

2010～2013年の平均商品収量はA区が5,050kg/10a, B区が4,465kg/10a, C区が4,894kg/10a, D区が4,736kg/10a, E区が4,381kg/10aであり, 各試験区に有意差が認められなかった。2010年から2013年度の平均軟白長はA区が30.7cm, B区が29.9cm, C区が29.8cm, D区が30.3cm, E区が29.6cmとなり, A区とE区の違いに1.1cmの差があり, 5%水準で有意差が生じた。

A区は初期生育が良好であったため, 2010～2013年の平均値で他区よりも商品収量が3.2～15.3%, 軟白長が1.2～3.8%それぞれ増加した。これは前記したとおり初期生育が良好であった場合に収穫期が前進化することの本庄らの報告から, 同時期での収量に影響したことが表されており, 初期生育の重要性を示すと考えられる。また, 2013年度の夏どり作型では, A～D区での側条施肥区の商品収量が3,807～4,099kg/10a, 全層施肥のE区が3,653kg/10aとなり, 20%減肥しても側条施肥区と全層施肥区間に有意差が認められず, 側条施肥の有効性が示された。すなわち, ネギ栽培に作溝チゼル付き施肥溝切り機を用いた作業技術では初期生育の差が収量と軟白長に影響を及ぼすため, 初期生育を確保できるように施肥オープンナや作溝チゼンを配置することが重要である。

各試験区における収穫時の規格径割合を表5-8に示す。

規格径割合はA区で2Lサイズの割合が3.1%, Lサイズが52.6%, Mサイズ以下の割合が44.2%, B区の2Lサイズが1.5%, Lサイズが48.9%, Mサイズ以下が49.6%, C区の2Lサイズが0.9%, Lサイズが51.0%, Mサイズ以下が48.1%, D区の2Lサイズが0.4%,

Lサイズが42.6%, Mサイズ以下が57.0%, E区の2Lサイズが1.2%, Lサイズが47.4%, Mサイズ以下が51.4%であった。規格径割合は2Lサイズの割合がA区とC・D区間に2.2～2.7ポイントの差があり, 5%水準で有意差が生じた。

規格径割合に関し, A区はD・E区と比較して2Lサイズの割合が1.9～2.7ポイント多くっており, 両側条施肥の優位性を示している。特に, Lサイズ以上の割合はA区が全層施肥を含めた他区よりも3.9～12.7ポイント多くっており, 良品出荷量の増加に寄与することが示された。

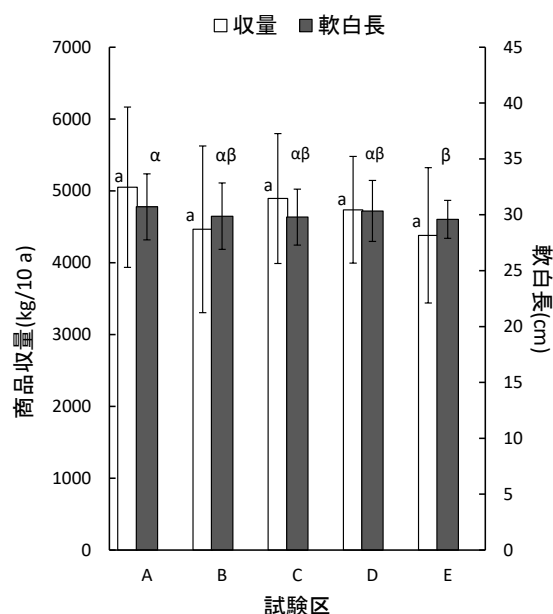


図5-2 各試験区でのネギ収穫時の商品収量と軟白長

注1) 異なるアルファベット間に5%水準で有意差あり。

表5-8 各試験区でのネギの規格径の割合

試験区	2L	L	M	S
A	3.1 (3.99) ^a	52.6 (21.03) ^a	40.5 (24.63) ^a	3.7 (6.78) ^a
B	1.5 (3.31) ^{ab}	48.9 (17.47) ^a	47.1 (19.39) ^a	2.5 (3.48) ^a
C	0.9 (2.11) ^b	51.0 (21.91) ^a	44.2 (20.50) ^a	3.9 (5.40) ^a
D	0.4 (0.83) ^b	42.6 (9.09) ^a	51.2 (13.39) ^a	5.8 (8.37) ^a
E	1.2 (1.69) ^{ab}	47.4 (24.84) ^a	48.8 (23.71) ^a	2.6 (4.21) ^a

注1) 表中の数値は2010～2013年の平均値(%)を示す。

注2) () 内数値は標準偏差を示す。

注3) 異なるアルファベット間に5%水準で有意差あり。

注4) 2L; 20≤25 mm, L; 15≤20 mm, M; 10≤15 mm, S; ≤10 mm.

5-4 摘要

本章では、ネギ栽培の溝切りおよび施肥作業を同時に行うことができる作溝チゼル付き施肥溝切り機による植え溝底土壌の膨軟化や側条施肥位置が、ネギの生育・収量に与える影響を4年間2作型で検証した。生育初期の草丈、分岐長、一本重、窒素吸収量は、両側側条施肥区が他区より良好であった。片側側条施肥区は作溝チゼルや施肥オープンナが植え溝底を膨軟化するため、生育量を減少する傾向にあった。作溝チゼル付き両側側条施肥区は生育が良好に推移し、他区と比較して商品収量が3.2～15.3%増加し、軟白長が1.2～3.8%、Lサイズ以上が3.9～12.7ポイント高くなるなど良品出荷量が増加した。ネギ栽培に作溝チゼル付き施肥溝切り機による作業技術を用いるには、植え溝底の土壌を広範に膨軟化させ、かつ苗の両側に肥料を側条施肥して根を肥料充填部位に早期に到達させる割合を高めることで、初期生育量が確保できることが明らかになった。

第 6 章 総合考察

本論文では、①水稻の省力技術として期待の大きい湛水直播栽培においてさらなる高能率化を目指し、畑作用の作業機であるスタブルカルチと縦軸駆動ハローを用いて耕うん・整地する無代かき湛水直播栽培法を確立し、耕うん・整地の作業時間と燃料消費量を削減できることを明らかにした。また、この栽培法は連作田ので 4 年間の試験結果から慣行体系と同等の収量が得られ、玄米品質も同等以上であることを示した。②田畑輪換における無代かき湛水直播栽培跡地土壌は、ロータリ耕による砕土性が向上し、作土が酸化的であることを示した。さらに復元田での無代かき湛水直播栽培では、幼穂形成期までの水稻の生育、窒素吸収が抑制されることで、倒伏が軽減され、玄米の外観品質が向上することを明らかにした。③ネギ栽培の施肥溝切り機を用いた植え溝切り作業では、施肥オープナと新たに開発した作溝チゼルを利用することで、作業能率を低下させることなく溝底中央部土壌を膨軟化し、簡易移植器の定植精度が向上することを示した。④作溝チゼル付き施肥溝切り機による溝切り作業では、植え溝底の土壌を広範に膨軟化させるとともに、苗の両側に肥料を側条施肥するため、根を肥料充填部位に早期に到達させる割合を高めることで初期生育の確保につながり、特に作溝チゼルと両側側条施肥の組み合わせが収量増加に最も影響を及ぼすことを示した。

各章では上記の事項について考察を加えたが、本章では水田の田畑輪換利用におけるこれら技術の意義について、残された課題を含めて検討し、総合考察とする。

秋田県農業の基幹品目は水稻であり、生産者は米を主体に所得を確保してきた。しかし、農家の経営は米の価格低迷と生産調整で厳しくなっており、規模拡大による販売額の増加と固定費の削減、労働費や燃料費といった変動費を削減できる新たな省力・低コスト技術が不可欠な状況にある。その中で水稻の直播栽培は育苗が不要になるため、育苗コストが不要になる省力技術として期待が大きい作業技術の一つである。直播栽培でさらなる省力・低コスト化を目指すには播種までの作業全体を高能率化する必要性が高い。また、近年秋田県内での高収益品目として有望な夏どりネギ栽培の溝切りや定植作業が行われる 4 月中旬から 5 月上旬までが、水稻の春作業と競合することが想定されており、作業競合改善の観点から水稻播種前の耕うんや代かき作業の能率改善が必要な状況にある。本研究で確立した無代かき湛水直播技術は高能率な作業で播種床造成が可能で、作業時間や燃料消費量が削減できることから(表 2-3, 2-4, 図 2-2, 2-3), 労働費や燃料費の削減による水稻作での省力・低コスト化だけ

ではなく、夏どりネギ栽培との作業競合を軽減できる技術といえる。近年の湛水直播栽培では種子を鉄粉(山内ら 2011)やモリブデン化合物(原ら 2017)でコーティングし、播種する新しい方式が開発されており、鉄コーティング湛水直播ではロータリ耕で整地した播種床に無代かき状態で表面播種する技術が報告されている(田邊ら 2012)。本研究では過酸化カルシウム粉粒剤コーティング種子の土中播種のみでの検討であるため、今後スタブルカルチと縦軸駆動ハローによる播種床造成体系に対し、これらの新しい播種方式の適応性について評価することが求められる。

米偏重の経営では米価の変動が経営を直撃するため、高収益な園芸品目を経営に取り込んだ複合経営の必要性も高い。米の生産調整に対応するには、限られた農地で所得を確保するため、水田を高度に輪換利用することが必要である。水田土壌はいわゆる“地力”は高いものの、地下水位が高く、排水不良であることが多い。それを転換畑として利用するには、明きょや補助暗きょといった営農排水技術の導入とともに、水稻作付け期間から排水性(透水性)や畑地の形質として重要な砕土性を悪化させない農法の導入が合理的である。さらに水田の田畑輪換利用では復元田の水稻が生育過剰になりやすく、倒伏につながるため、それに対応できる技術開発も必要である。水田の透水性は、代かきと作土の還元の影響が大きい。すなわち、水田の透水性は代かきで拡散した粘土粒子が田面水とともに下方へ移動して、下層の孔隙を充填すること、作土の還元で可溶化した鉄やマンガンが下層の酸化的土層で不可溶化して孔隙をつめることで起こる(山根ら 1982)。本研究で確立した無代かき湛水直播技術は代かきをしないため、粘土粒子が鋤床(耕盤)の孔隙をつめる作用が小さいことと作土の酸化還元電位の低下が代かきをした場合より遅いことで、排水性が悪化しにくいといえる。また、跡地土壌が代かきしたほ場に比べ、砕土性が高いこと(図 3-2)や作土が酸化的であること(表 3-5, 3-6, 図 3-3, 3-4)からも田畑輪換利用に適した農法であるといえる。また、復元田での無代かき湛水直播水稻は幼穂形成期までの水稻の窒素吸収が抑制され、稈長が短くなり倒伏程度が小さくなること(表 3-3, 3-4)も重要な特徴といえる。本研究では供試した水稻品種「あきたこまち」のみでの検討に留まっている。「あきたこまち」は短稈でなく耐倒伏性も中程度である(秋田県稲作指導指針 2016)ため、過剰生育の抑制により倒伏程度は小さくなり、収量・玄米品質が維持されたが、耐倒伏性が高い品種を用いた場合の生育、収量、玄米品質については、今後の検討課題である。

水田転換畑を利用した複合経営では高収益を望める露地品目の導入が必要であるが、導入する品目は高齢化による労働力不足や水稻作との作業競合を軽減でき

ることが条件である。ネギは定植から収穫調製までの機械化が進展している品目であることから（屋代2013a）、土地利用型の複合経営に適した品目といえる。しかし、秋田県におけるネギの溝切り、定植作業は4月中旬～6月中旬に行われるため、水稻作の耕うん、代かき、移植作業時期と競合する。したがって、ネギ栽培では水稻と同様に春作業、特に溝切りや施肥、定植作業を合理化して作業性を向上できる技術開発が重要になる。さらに、転換畑は水稻作付け期間に鋤床が形成され、耕深も畑地に比べ浅いことから、植え溝底面の土壌密度が高く定植精度の低下が予想される。本研究で詳細を検討した施肥溝切り機は、溝切りや施肥の作業統合により慣行体系と比べ、省力化率90%まで作業改善できることがすでに報告されており（片平ら2006）、水稻の春作業との競合を軽減できる技術と考えられる。また、新たに開発した作溝チゼルは、溝切り作業の能率を低下されることなく（図4-4）、植え溝底面中央の苗の植え付け部の土壌を膨軟化する作用があり（図4-6）、施肥オーブナによる膨軟化と組み合わせることで、定植精度が向上する（図4-7）。このことは、ち密な鋤床をもつ転換畑での定植精度向上に寄与できる。さらに、作溝チゼルと両側に装着した施肥オーブナ（側条施肥）による溝底面土壌の膨軟化効果は、ネギの生育初期の生育量が増加し（表5-3, 5-4, 5-5, 5-6, 5-7）、商品収量が増加したこと（表5-8, 5-9）から明らかであり、作溝チゼル付き施肥溝切りが作業性改善のみならず、生産性向上にも寄与できることが示された。他方、施肥オーブナによる膨軟化と施肥の有無がネギの初期生育に及ぼす影響については、その根拠を明確に示すことはできなかったが、膨軟化による根域の広がりや局所施肥（側条施肥）による施肥窒素の分布が不一致であった可能性が考えられる。特に生育初期の根域分布と施肥位置の関係については今後検討すべき課題であり、これを明らかにすることで転換畑での施肥オーブナの配置と施肥位置の最適化に寄与すると考えられる。

本研究では作溝チゼル付き施肥溝切りを田畑輪換ほ場で実証することができなかったが、これまでの報告からその効果は十分に期待できる。今後は田畑輪換における無代かき湛水直播の前作との関連（今回の試験では大豆作）で、作溝チゼル付き施肥溝切りを用いたネギ栽培と水稻無代かき湛水直播の組み合わせによる田畑輪換体系の実証が求められる。

以上のように、水稻無代かき湛水直播とチゼル付き施肥溝切り機を用いたネギ栽培を基幹とした水田の田畑輪換利用技術に関する生産性および作業性向上体系を作業機械、土壌肥料、栽培技術などを含んだ総合的かつ包括的検討を行った。秋田県の基幹作目である水稻を基に、水稻直播と園芸作目を導入した水田の高度利用による生産者の規模拡大と新たな担い手の育成の

資となることを期待する。

謝辞

本論文をとりまとめるにあたり、国立大学法人山形大学農学部教授 片平光彦博士、同名誉教授 夏賀元康博士からは終始懇切丁寧なご指導とご助言を戴くとともにご校閲を賜りました。深甚なる感謝の意を表します。

また、国立大学法人岩手大学農学部教授 武田純一博士、国立大学法人山形大学農学部教授 藤井弘志博士、国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構東北農業研究センター生産基盤研究領域上級研究員 冠秀昭博士、国立大学法人山形大学農学部准教授 森静香博士には、本論文をご校閲して戴き、ご意見とご指導を賜りました。謹んで感謝の意を表します。

元秋田県農場試験場長 湯川智行博士、元同場長 渡辺兵衛氏、元同場長 照井義宣氏、元同場長 熊谷譲氏、秋田県農林水産部水田総合利用課課長 本藤昌泰氏からは研究の遂行にあたって、特段のご配慮とご鞭撻を賜りました。

本研究は、秋田県農業試験場と国立大学法人山形大学の協力を得て、実施いたしました。特に、山形大学農学部生産機械研究室 大竹智美氏（現福島県農業総合センター）をはじめとする多くの所属学生に協力戴きました。また、秋田県農業試験場企画経営室室長 村上章博士、同総務管理室技能主任 佐々木景司氏、同技能主任 佐藤敬亮氏、同技能主任 猿田進氏、同技能主任 関口一樹氏、高橋善則氏、斉藤健悦氏（現秋田県農業公社）、生産環境部主任研究員 中川進平博士、野菜・花き部上席研究員 本庄求博士、同主任研究員 齋藤雅憲氏、作物部 佐藤雄幸氏（現秋田県果樹試験場総務企画室長）、同主任研究員 三浦恒子博士をはじめとする多くの方々には、試験を遂行するにあたりご支援を戴きました。

以上の方々に心から感謝を申し上げます。

（所属・職名などは2018年9月現在で表記）

要約

本研究は秋田県の基幹作目である水稻を中心に、水田に水稻直播と園芸作目を導入した高度利用による生産者の規模拡大と新たな担い手の育成を実現することを目的に、水稻無代かき湛水直播とチゼル付き施肥溝切り機を用いたネギ栽培を検討し、これらの技術の水田の田畑輪換利用における生産性および作業性向上に関する意義を作業機械、土壌肥料、栽培技術などの観点から総合的かつ包括的に明らかにするものである。

水稻作の省力技術として期待が大きい湛水直播栽培において、耕うん・整地作業の効率化については、ス

ダブルカルチと縦軸駆動ハローで播種床を造成し、湛水後落水したほ場において乗用高精度湛水直播機で播種する無代かき湛水直播栽培法を検討した。試験は連作田 4 年間実施し、播種床造成での作業能率と燃料消費量、水稻の生育と収量、玄米品質を調査した。播種床造成作業ではスタブルカルチによる耕起と縦軸駆動ハローによる砕土・整地で 63.4~73.5%の砕土率が確保できた。造成された播種床は 3~4 日間浅水の湛水管理を行い、土壌を軟らかくすることで、乗用高精度湛水条播機を用いて過酸化カルシウム粉粒剤粉衣種子を播種できた。無代かき区の播種床造成では、同一トラクタで行った代かき区と比較して作業時間が平均 41%、燃料消費量が平均 26%減少した。無代かき区の苗立ち率は平均 71.7%で代かき区よりやや高く、十分な苗立ち本数が得られた。無代かき区は中干し時の土壌水分の低下が速く、無効分げつの発生が少ないことで有効茎歩合が高くなり、代かき区と同等以上の穂数が確保された。無代かき区の精玄米収量は代かき区と同等であったが、玄米タンパク質含有率はやや低かった。以上のことから、無代かき湛水直播栽培は、水稻の生育、収量を低下させることなく、春作業を省力化できる技術として効率的な大規模営農への貢献が期待できることが明らかになった。

水田の田畑輪換利用では、復元田での水稻の過剰生育と転換利用時に必要なほ場の排水性や砕土性を獲得することが重要である。田畑輪換ほ場で無代かき湛水直播栽培を行い、復元田での水稻の倒伏軽減効果および跡地土壌の砕土性や土壌の変化を調査し、その効果を代かき栽培と比較・検討した。その結果、復元田における無代かき湛水直播は苗立ち率の低下が認められず、幼穂形成期までの生育量を抑制した。また、無代かき湛水直播は稈長が短くなり、倒伏が軽減されて登熟が良好になり、玄米の外観品質が向上した。さらに跡地土壌は砕土性が向上し、作土が酸化的であることを明らかにした。以上のことから、無代かき湛水直播は排水不良の水田における田畑輪換に導入することで、技術的問題点の解決に寄与できることが明らかになった。

収益性の高い露地野菜であるネギ栽培において、高能率な農業機械導入による作業能率の向上や作業工程の統合による省力化を目的に、施肥溝切り機を用いて作溝チゼルと施肥オープナを組み合わせた側条施肥の試験区を設定し、植え溝底土壌の膨軟化と側条施肥位置がネギの生育と収量に与える影響について検討した。植え溝切りは、作業能率 1.31~1.76h/10a、溝幅 50~52cm、溝深さ 16~19cm、溝底幅 19~20cm、側条施肥を溝底中央から水平に 6cm、深さ 2~3cm、作溝チゼルの深さ 11cm で施工できた。作溝チゼルが作用する植え溝底中央部の矩形板沈下量は、作溝チゼル施工区が無施工区と比較して有意に大きかった。定植作業は各

試験区間に作業能率の差がなく、正常に定植された割合は作溝チゼル・両側施肥区が 86%と最も多くなった。植え付け姿勢は、作溝チゼルと簡易移植器による側条施肥の攪乱が溝底浅層の土壌膨軟化を誘引して改善した。以上のことから、施肥溝切り機は作溝チゼルと施肥オープナにより、溝切り、側条施肥、溝底面の膨軟化の作業工程を統合して実施可能で、ネギの初期生育に影響を与える定植精度を向上できる技術であることが明らかになった。

作溝チゼル付き施肥溝切り機を用いた溝切りおよび施肥作業によるネギ栽培において植え溝底土壌の膨軟化や側条施肥位置が、ネギの生育・収量に与える影響を、4 年間 2 作型で検証した。生育初期の草丈、分岐長、一本重、窒素吸収量は、作溝チゼル・両側側条施肥区が他区より良好であった。さらに、他区と比較して商品収量が 3.2~15.3 %増加し、軟白長が 1.2~3.8 %, L サイズ以上が 3.9~12.7 ポイント高くなるなど、良品出荷量が増加した。ネギ栽培に作溝チゼル付き施肥溝切り機による作業技術を用いるには、植え溝底の土壌を広範に膨軟化させ、かつ苗の両側に肥料を側条施肥して根を肥料充填部位に早期に到達させる割合を高めることで、初期生育量が確保できることが明らかになった。

水稻無代かき湛水直播とチゼル付き施肥溝切り機を用いたネギ栽培は、秋田県の水田の田畑輪換利用で求められる技術の特性を有しているため、基幹作目である水稻を中心に、水田に水稻直播と園芸作目を導入した高度利用による生産者の規模拡大と新たな担い手の育成の資となるといえる。

引用文献

- 秋田県農林水産部. 2016. 平成 28 年度秋田県稲作指導指針. <http://www.pref.akita.lg.jp/pages/archive/10695> (2017 年 3 月 7 日閲覧) .
- 藤原隆広・吉岡宏・佐藤文生. 2000. 畝内条施肥におけるキャベツの生育と雑草発生に及ぼす影響. 農業研究. 35(1):25-32.
- 古畑昌巳・楠田宰・福嶋陽. 2005. 代かき程度が湛水直播した水稻の落水条件下における出芽と苗立ちに及ぼす影響. 日作紀. 74 (1):9-16.
- 原嘉隆・秀島好知. 2017. 暖地の農家水田におけるベンモリ被覆種子での代かき同時打ち込み点播による水稻湛水直播の苗立ちと収量および収穫物のモリブデン含有率. 日作紀. 86 (2):201-209.
- 本庄求. 2013. 寒冷地における長ネギの大苗育苗による早期収穫. 農業機械学会誌. 75(3):116-118.
- 本庄求・武田悟・片平光彦・屋代幹雄・進藤勇人・齋藤雅憲・吉田康徳・高橋春實・金田吉弘. 2015. 寒冷地での夏どりネギ栽培に向けた無加温ビニルハウ

- スにおけるセルトレー育苗条件が生育と収量に及ぼす影響. 園芸学研究. 14(1):25-35.
- 荻原均. 2008. ディスク駆動式汎用型不耕起播種機を用いた水稻の不耕起乾田直播栽培（農業新技術（2）不耕起汎用播種機）. p.82-87. 今月の農業 52（2）.
- 濱田千裕・中嶋泰則・林元樹・釋一郎. 2007. 水稻における不耕起V溝直播栽培の開発-「冬季代かき」による栽培の安定化. 日作紀. 76（4）:508-518.
- 井澤敏彦・平岡博幸・西山岩男. 1985. 湛水直播水稻の苗立ちにおよぼす土壌還元の影響 第1報小麦わらおよび炭水化物添加土壌における酸化還元電位と湛水直播水稻の苗立ちとの関係. 日作紀. 54（別1）:24-25.
- 金田吉弘. 1993. 八郎潟干拓地低湿重粘土における田畑輪換効果の解明と水稻安定多収技術に関する研究. 秋田農試研報. 33:1-45.
- 金田吉弘・三浦昌司・児玉徹. 1986. 八郎潟干拓地の輪換水田における土壌変化と水稻に対する窒素施肥法. 土肥誌. 57:604-606.
- 金田吉弘・小野寺拓也・坂下将・高階史章・佐藤孝・伊藤慶輝・保田謙太郎. 2012. 重粘土水田における無代かき栽培が高温条件下における水稻根活性, 穂温, および乳白米発生に及ぼす影響. 土肥誌. 83（6）:681-688.
- 片平光彦. 2013. 長ネギの側条施肥同時溝切り技術. 農業機械学会誌. 75(3):119-123.
- 片平光彦・村上章・進藤勇人・林浩之・武田悟・加賀屋博行・田村保男. 2006. 培土と施肥を中心とした長ネギの省力・高品質化技術（第2報）. 農業機械学会誌. 68(2):94-99.
- 片平光彦・太田健・新山徳光・舛谷雅弘・小笠原伸也・久米川孝治・渋谷功・鎌田易尾. 2004a. 重粘土水田転換圃場での野菜の機械化作業技術 第2報 乗用形管理機を利用した省力化. 農業機械学会誌. 66(5): 97-106.
- 片平光彦・太田健・新山徳光・舛谷雅弘・小笠原伸也・久米川孝治・渋谷功・鎌田易尾. 2004b. 重粘土水田転換圃場での野菜の機械化作業技術（第1報）. 農業機械学会誌. 66(5):90-96.
- 勝野志郎・岩崎泰史. 2008. ネギ平床移植機の開発. 農業機械学会誌. 70(2):23-25.
- 気象庁ホームページ 過去の気象データ検索.
<http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>（2017年8月8日閲覧）.
- 木谷収. 1996. 農用作業機. p.116-117. 庄司英信編 農業機械学概論（第7版）. 養賢堂. 東京.
- 熊野誠一・関寛三・金忠男. 1985. 水稻の機械移植栽培における代掻きに関する研究. 東北農試研報. 72:1-53.
- 松田英樹・高階史章・小林ひとみ・佐藤孝・渋谷岳・金田吉弘. 2009. 重粘土水田における無代かき栽培が土壌水分特性と水稻の水吸収に及ぼす影響. 日本土壤肥料学会講演要旨集. 55:122.
- 松波寿典・進藤勇人・高山真幸・佐藤雄幸共著. 2013. 水稻無代かき直播とダイズ無培土栽培の組合わせ. p.109-118. 最新農業技術作物 vol.5 特集 転作ダイズの増収技術. 農山漁村文化協会編. 東京.
- 松村修・皿村篤・笹倉修司・小川嗣彦. 1994. 水稻の無代かき作溝直播培土栽培（作溝培土直播）について 1.栽培概要と特徴. 日作紀. 63（別1）:18.
- 三原千加子. 2009. 無代かき栽培した水稻の生育・収量と出液速度. 日作紀. 78（4）:471-476.
- 日本農業機械化協会編. 2016. 農業機械の省エネ利用 マニュアルー平成27年度版ー.
<http://www.nitinoki.or.jp/pdf/20160418.pdf>（2017年8月8日閲覧）.
- 西村洋・林和信・後藤隆志・梶尾光広・市川友彦・浅野士郎・上田吉弘・福岡英明・中尾敏夫. 2007. 高精度水稻湛水条播技術に関する研究. 農業機械化研究所研究報告. 36:1-71.
- 農林水産省. 1987. p.125. 水田農業確立のための技術指針. （社）全国農業改良普及協会. 東京.
- 農林水産省. 2016. :最新の直播の現状（26年産）.
http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/zikamaki/z_genzyo/attach/pdf/index-3.pdf（2016年12月13日閲覧）.
- 農林水産省. 2015. 2015年農林業センサス結果の概要（確定値）統計表.
http://www.maff.go.jp/j/tokei/census/afc/2015/kekka_gai_suuti.html（2017年3月7日閲覧）.
- 農林水産省. 2007. 青果物卸売市場調査.
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001061253>（2013年11月30日閲覧）.
- 農林水産省. 2011. 平成23年産野菜生産出荷統計.
<http://www.e-stat.go.jp/SG1/estat/List.do?lid=000001102731>（2014年1月15日閲覧）.
- 農林水産省. 2012. 農林水産基本データ集.
<http://www.maff.go.jp/j/tokei/sihyo/index.html>（2014年1月15日閲覧）.
- 農林水産省. 2008. 肥料価格の現状と推移.
http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/pdf/asis1.pdf.（2014年年1月15日閲覧）.
- 太田健・舛谷雅弘・村上章・藤井芳一・小林ひとみ. 2001. 不耕起および無代かき移植水稻栽培による畑地化の維持効果. 土肥誌. 72(6):797-802.
- 大竹智美・進藤勇人・齋藤雅憲・本庄求・片平光彦・夏賀元康. 2016. 施肥溝切り機を用いたネギ栽培における生産性改善に関する研究（第2報）. 農業食料工学会誌. 78（4）:317-325.
- 大竹俊博. 1988. 山形県におけるダイズ跡輪換田の施肥法について. 日本土壤肥料学会. 59(5):504-507.

- 大谷隆二・西崎邦夫・柴田洋一. 1996. 無代かき水稻直播栽培に関する研究(第1報)ー土壌物理性と易耕性ー. 農業機械学会誌. 58(1):73-80.
- 大谷隆二・西崎邦夫・柴田洋一・横地泰宏. 1997. 無代かき水稻直播栽培に関する研究(第2報)ー施肥播種機の開発と評価ー. 農業機械学会誌. 59(1):77-85.
- 三枝正彦. 1999. おもな作業工程(各論). p.278-279. 農作業学会編 農作業学(初版). 農林統計協会. 東京.
- 佐藤福男・小野允. 1984. 水稻側条施肥における窒素利用率の推移. 東北農業研究. 35:41-42.
- 関口定男. 1978. 春まき秋冬どり栽培. p.287-231. 農文協編. 新野菜全書(第3版). 農山漁村文化協会. 東京.
- 進藤勇人・村上章・原田久富美・太田健・小林ひとみ. 2005. 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・大竹智美・片平光彦・本庄求・齋藤雅憲・夏賀元康. 2014. 施肥溝切り機を用いたネギ栽培における生産性改善に関する研究(第1報). 農業食料工学会誌. 76(6):533-540.
- 進藤勇人・齋藤雅憲・佐々木景司・佐藤雄幸・片平光彦. 2017. スタブルカルチと縦軸駆動ハローを用いた播種床造成による水稻無代かき湛水直播栽培の特徴と水稻生育. 農作業研究. 52(3):121-131.
- 進藤勇人・高山真幸・齋藤雅憲・中川進平・村上章・片平光彦. 2016. 水稻無代かき湛水直播栽培の現地実証と作業可能面積. 農作業研究. 51(別1):83-84.
- 新農林社. 2017. 特集 ニーズに応え開発改良. 代かき. 第3611号 2017年3月14日9面. 農機新聞.
- 田邊詩歩・齋藤邦行・山内稔. 2012. 鉄コーティング種子を活用した無代かき直播栽培技術の検証. 日作記. 81:240-241.
- 常松栄・吉田富穂・池内義則. 1959. 心土破碎に関する研究(第1報). 農業機械学会誌. 21(2):45-48.
- 和田潔志・駒塚富男・深山政治・太田恒男. 1994. 長期間畑転換した後の復元田における水稻栽培法. 千葉農試研報. 35:47-57.
- 渡部幸一郎. 1982. 3年転換跡地水稻の初年目における施肥条件と生育. 作物学会東北支部会報. 25号:53-54.
- 山根一郎編. 1982. 水田土壌学 第1章 水田土壌の本質的特徴. 農山漁村文化協会:p.31-39.
- 山内稔・井上博喜・藤原加奈子・正岡淑邦. 2011. 鉄コーティング種子を用いた水稻直播技術の発案と開発・特徴および展望. 日作記. 80:492-493.
- 屋代幹雄. 2013a. 長ネギの新しい移植栽培技術. 農業機械学会誌. 75(3):115-127.
- 屋代幹雄. 2013b. 長ネギのセル成形大育苗苗・移植技術. 農業機械学会誌. 75(3):124-127.
- 八楯利郎. 1978. ネギの性状と植物としての位置 p.30-34. 農文協編 新野菜全書第3版. 農山漁村文化協会. 東京.
- 吉永悟志・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・下坪訓次. 2001a. 打込み式代かき同時土中点播栽培による湛水直播水稻の耐倒伏性向上ー耐倒伏性向上および安定化のための点播条件ー. 日作記. 70(2):194-201.
- 吉永悟志・脇本賢三・田坂幸平・松島憲一・富樫辰志・下坪訓次. 2001b. 打込み式代かき同時土中点播栽培による湛水直播水稻の耐倒伏性向上ー播種様式および苗立ち密度が耐倒伏性に及ぼす影響ー. 日作記. 70(2):186-193.

Study on Improving Workability and Productivity in the Paddy Fields with Irrigated Paddy Rice and Upland Crop Rotation

Hayato SHINDO

(Akita Prefectural Agricultural Experiment station)

Keywords: Chisel opener, Direct Rice Seeding Cultivation in Flooded Paddy Field, Drill Fertilizing, a Fertilizer-applicator Ditcher, Irrigated Paddy Rice and Upland Crop Rotation, Non-Puddling, Soil, Rice Plant, Welsh Onion, Workability, Productivity

Abstract

1. Characteristics of Seedbed Preparation Work using a Chisel Plow and Power Harrow and Rice Plant Growth on Non-Puddling Direct Rice Seeding Cultivation in Flooded Paddy Field Soil

To study non-puddling direct rice seeding into flooded paddy field soil used a seedbed produced with a chisel plow and a power harrow, with seeding by a precision direct drill seeder. Those methods apparently improve spring work related to rice direct seeding, such as tillage, harrowing, and puddling. Therefore, investigation contents were composed by the work rate and fuel consumption of spring work, rice growth, yield, and brown rice quality. These data of non-puddling direct rice seeding cultivation (NP) compiled during 4 years were compared with those obtained from conventional tillage cultivation (CT). Seedbed preparation work using a chisel plow and power harrow achieved 63.4–73.5% soil pulverization ratios. The precision direct seeder can sow into non-puddled soil 3–4 days after flooding softens the soil. Seedbed preparation work time and fuel consumption in the NP block were decreased respectively by 41% and 26% compared to the CT block. The NP block seeding establishment rate was 71.7% on average, which was higher than that of CT block. These test blocks showed sufficient seeding establishment. The NP block showed faster midseason drainage for soil moisture, with a higher percentage of the productive culms and lower generation of non-productive tillers, with an equal or greater number of panicles than the CT block. Results show that this non-puddling direct rice seeding system is a technology that can contribute to the efficiency improvement of spring work necessary for scale expansion of paddy rice cultivation.

2. Effect of Non-Puddling Direct Rice Seeding Cultivation in Paddy-upland Rotation

In order to prove the influences to rice plant growth and soil when non-puddling direct rice seeding into flooded paddy field soil in paddy-upland rotation, investigation contents were composed by characteristics of the rice growth after upland crop cultivation and the paddy field soil after non-puddling, compared its effect with the alternative cultivation. Non-puddling direct rice seeding in paddy-fields after upland crop cultivation did not reduce the seedling establishment rate and suppressed the growth amount until the early stage. Results showed, that non-puddling direct rice seeding was reduced lodging to be short culm length. Appearance quality of the brown rice improved to be better ripening. The soil, which was non-puddling, was improved tillage facility to improve the oxidative on top soil. Therefore, non-puddling direct rice seeding into flooded paddy field soil can be contributed to solving technical problems to introduce into paddy-upland rotation field into drainage poor paddy field.

3. Improvement of Opening a Ditch and Transplanting Work using a Fertilizer-applicator Ditcher in Welsh Onion Cultivation

To study improve workability of opening a ditch and planting work used a fertilizer-applicator ditcher on welch onion cultivation. A chisel in a fertilizer-applicator ditcher was constructed to improve Welsh onion cultivation. When the fertilizer-applicator ditcher was opening a ditch, work rates were 1.31–1.76 h/10 a, widths were 50–52 cm, depths were 16–19 cm, and the bottom surface widths were 19–20 cm. Fertilizer positions were 6 cm from the center at the bottom surface to horizontal. Depths at these positions were 2–3 cm. Depths of the chisel were 11 cm. Amounts of rectangle board settlement at the center at the bottom surface showed a significant difference between test blocks with chisel and test blocks with no chisel. The work rate for planting showed no differences among test blocks. However, test block with chisel and double drill fertilize exhibited the best rate of right planting at 86%. Planting postures were improved by soil softening of the shallow phase, which disturbs drill fertilizers in an open ditch with a transplanter.

4. Influence of Opening a Ditch and Drill Fertilizing using a Fertilizer-applicator Ditcher with Chisel on Productivity of Welsh Onion

This study investigated Welsh onion cultivation systems using a fertilizer-applicator ditcher in the field. The double-drill fertilizer block exhibited better plant and branch growth, plant weight, and nitrogen absorption than other blocks in the first growth stage. Drill-fertilized blocks exhibited decreased growth because the ditch bottom was softened by the chisel and fertilizer opener. Double-drill fertilizer blocks exhibited better growth than the other blocks. That block showed yields increased by 3.2–15.3 %, branching length at 3.9–12.7 points, with a rate of L size at 3.9–12.7 %. Results show that Welsh onion cultivation systems using a fertilizer-applicator ditcher should be used with a softened ditch bottom and double drill fertilizing.