

# 小麦収量水準格差の形成要因 －日本とドイツの比較分析－

関根久子\*1・梅本 雅\*2

## 目 次

I. 日本における小麦収量の低位性.....	31	3. ドイツの小麦作における	
II. 課題への接近方法.....	32	技術的背景と耕種概要.....	40
1. 既往研究の整理.....	32	4. 小麦の品種普及を規定する制度的条件.....	45
2. 分析方法.....	33	IV. 結果と考察.....	50
III. 日独における小麦作経営および		1. 分析結果.....	50
小麦作の特徴.....	35	2. 日本への示唆と残された課題.....	51
1. 日独における小麦生産・消費の概況.....	35	V. 摘要.....	51
2. ドイツの小麦作経営の概要と特徴.....	36	引用文献.....	52
		Summary.....	54

## I. 日本における小麦収量の低位性

小麦は、パン、めん類、菓子等の多様な用途に使用され、日本人の食生活に欠かせない作物である。また、冬作物であるため水稻の裏作として栽培が可能であり、多くの水田を持つ日本において土地利用率高める上で好適な作物である。さらに、畑作地域においては輪作体系を構成する主要な作物の一つでもあり、日本の農業生産において不可欠な作物として位置づけられる。

このように小麦は、日本人の食生活や農業にとって重要な作物であるにもかかわらず、その自給率はわずか12%にすぎず<sup>1</sup>、その供給の多くを海外に依存している。一方、国際市場における小麦価格は、不作により大きく高騰する年がある等不安定な状況にあり、そのような不作の年には小麦の輸出制限といった措置もとられるようになってきている。この

ことから、小麦の自給率向上を図っていくことは、日本農業において重要な課題となっている。

小麦の自給率向上を進めていく上でまず求められるのは生産量の増加であり、とりわけ収量水準の向上が不可欠であることはいうまでもない。しかし、日本の小麦収量は低位・不安定な状況にある。この点を小麦の収量水準が高い西欧諸国<sup>2</sup>と比較しつつ示すと、2012年における西欧諸国の平均収量<sup>3</sup>が700kg/10aであるのに対し、日本は、全国平均で378kg/10a、比較的高い北海道においても430kg/10aとなっており、日本の収量は欧州の半分程度の水準にすぎない<sup>4</sup>。確かに、小麦は冷涼乾燥を好む作物のため、温暖多湿でかつ収穫時期に雨の影響を受けやすい日本の気象条件において、収量を確保するという点では不利な面はある。しかし、注

平成26年6月23日受付 平成26年12月22日受理

\*1 農研機構中央農業総合研究センター 農業経営研究領域

\*2 農研機構中央農業総合研究センター 企画管理部

1 2012年の値。農林水産省大臣官房食料安全保障課「食料需給表平成24年度」による。

2 本稿における西欧諸国とは、FAOSTATと同様、オーストリア、ベルギー、ルクセンブルク、フランス、ドイツ、オランダおよびスイスとする。

3 ここでの平均収量は、直近7か年のうち最高と最低を除いた5か年平均値である。データはFAO「FAOSTAT」(2014年4月17日ダウンロード)、農林水産省大臣官房統計部「作物統計」による。

4 ただし、日本および北海道の収量に規格外の小麦は含まない。

目すべきは、日本における収量増加のテンポそのものが小さいという点である。図1は、このことを確認するために1961年以降の西欧諸国と日本における小麦収量の推移を比較したものであるが、西欧諸国の収量は年々上昇しているのに対して、日本の伸

びは明らかに小さいことがわかる。これをみる限り、収量水準の向上が十分図られていない点については、気象条件以外のなんらかの要因が影響していると考えざるを得ない。

## II. 課題への接近方法

### 1. 既往研究の整理

これまで小麦の収量性に関する分析は、主に自然科学分野でなされてきた。小麦の収量を構成する要素は、穂数、一穂粒数、粒重であり、これに日本の場合は製品歩留加わる。収量向上のためには、各構成要素の値を高める必要があり、収量水準の国際比較分析についても、これら構成要素に影響を及ぼす気象や土壌といった自然条件、品種ポテンシャル、栽培法から接近が行われてきた。例えば、後藤<sup>(12)</sup>は、上述したような大幅な収量増加を達成した欧州を対象に1980年代までの小麦の収量向上の要因について検討し、多収品種の開発・普及と多収栽培（窒素の多投、防除の徹底、生育調節剤の利用等）の実施を通じて、高収量を実現してきたことを指摘している。また、分析対象が欧州ではないもの

の、Bell et al.<sup>(6)</sup>は、メキシコにおける小麦収量向上について分析を行い、そこでは遺伝的な要素が28%、多肥が48%、その他が24%寄与していたとし、品種と多肥が重要な要因であったことを明らかにしている。さらに日本においても、小麦の収量向上に対する新品種の貢献については齋藤<sup>(16)</sup>が、生産性を向上させる栽培法（腐れ病防除、密植栽培、地力対策等）については黒河<sup>(14)</sup>が指摘している。

しかし、小麦の収量増加はこうした自然科学的な要因のみに規定されるわけではない。例えば齋藤<sup>(17)</sup>は、日本における小麦の品種改良の技術進歩を分析し、政府による小麦の全量買入れという食糧管理制度の下では量を重視する農家の品種選択に応える品種開発が行われていたが<sup>5</sup>、民間流通への移行後は、たんぱく質含有率を重視する方向、換言す

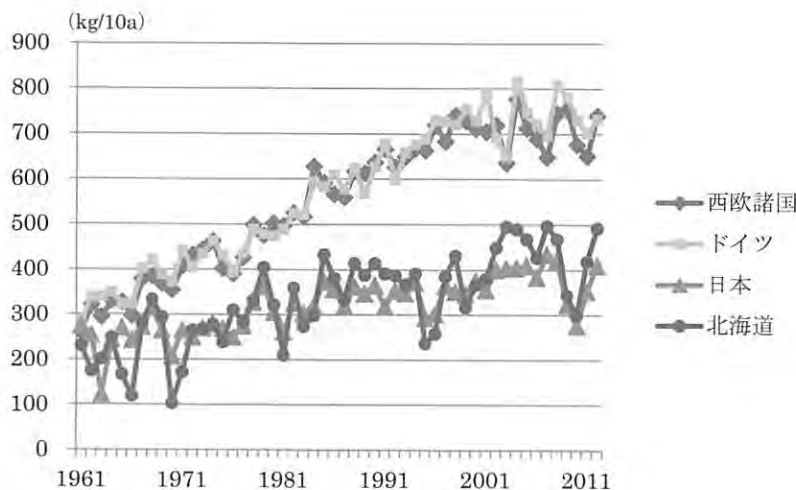


図1 西欧諸国および日本における小麦収量の推移

注：西欧諸国の収量データは全収獲量であるのに対して、日本と北海道の収量データは規格内のものに限る。規格外の割合は年によって異なるが、データが得られた1999年から2013年の平均は日本で12.8%、北海道で16.4%となっている（農林水産省資料「麦の農産物検査結果」より）。

資料：西欧諸国およびドイツについてはFAO「FAOSTAT」（2014年4月17日ダウンロード）により作成。日本および北海道については農林水産省大臣官房統計部「作物統計」各年次。

5 齋藤<sup>(17)</sup>によれば、食糧管理制度の下では、質を重視する時代と比べて相対的に収量水準の向上はみられた。しかしながら、先にも示したようにその上昇率については、西欧諸国と比較すると大きいものではない。

れば収量よりも品質を重視する方向に研究開発がシフトしたことを指摘している。また、Brisson et al.<sup>(7)</sup> は近年フランスでみられる小麦の収量停滞について分析し、気象的な影響があるとしながらも、小麦の前作がマメ科作物から菜種に変更されたことや、窒素投入量が減少したといった環境保全に関わる農業政策が影響したことも要因の一部を構成すると考察している。つまり小麦の収量水準は、自然科学的な要因とともに社会科学的な要因にも規定されていると考えられるのである。

こうした中、荒幡<sup>(2)</sup> は、気象条件といった自然科学的な視点とともに、人為的制約といった社会科学的な視点から、日本の水稲単収が海外と比較した場合に低位である要因を分析している。荒幡<sup>(2)</sup> によれば、アメリカ・カリフォルニアと日本の単収格差は191kg/10aあり、このうち70kgが「自然条件による単収の制約要因」、残りの121kgが人為的制約である「試験場段階の技術要因」と「農家段階の要因」によるとしている。荒幡<sup>(2)</sup> による分析は、日本の作物の低収要因を海外と比較しつつ、複数の分析視角から包括的に解析するものであり、この点は本稿と同じ問題意識および分析視角を持つ。しかし、分析には国別の統計データを用いており、生産者の経営的条件や栽培法等に関する技術的条件、さらに取引体制等の制度的条件が単収水準にどのような影響を及ぼしているかといった具体的な検討は行われていない。そのため、収量向上に対する対策の提起についてもやや一般論的な結論にとどまっている。本稿では、これらの既往研究の成果を踏まえつつ、主に日欧の小麦作経営および関係機関への聞き取り調査という方法論により、小麦作の収量水準に影響を与えている要因を複数の分析視角から具体的に考察することとしたい。

## 2. 分析方法

### 1) 分析の枠組み

荒幡<sup>(2)</sup> によっても引用されている Kalaitzandonakes et al.<sup>(11)</sup> は、全要素生産性の向上要因を図2に示す3つに整理している。一つは、「非効率の排除」である。ここでいう「非効率の排除」とは、例えば貿易保護政策を停止し自由競争を促すといった制度的な非効率の排除であり、これを実現することで生産性はA点から生産曲線F<sub>1</sub>上のB点まで上昇する。

二つめは「規模拡大」であり、これによりB点からC点に移動し産出量をさらに増やすことができる。最後は、「技術開発」であり、これにより同じ投入量でありながら、より高い生産曲線F<sub>2</sub>上のD点まで産出量を拡大することができるというものである。この Kalaitzandonakes et al.<sup>(11)</sup> による整理は、全要素生産性に対する生産経済学からの接近を行うものであり、小麦作における収量性の規定要因の解析を直接行ったものではない。しかしながら、図2の投入を面積当たりの投入量、産出を面積当たりの産出量とすれば、小麦収量の増加要因を視覚的に整理することができよう。この場合、投入はいわば集約度を示す。具体的には、適期に適正な作業を行うといった栽培管理に関わる稠密度が想定される。一方、産出は、面積当たり収量を意味する。収穫逡減の法則が働くので、面積当たり産出量は、最初は増加するものの、やがてその増加率は低下する。しかし、例えば、窒素反応の高い品種が開発・普及され、それに適合した栽培法が確立されれば、生産曲線F<sub>1</sub>は上方向にシフトし、より高い生産曲線であるF<sub>2</sub>を実現することになる。つまり、小麦の品種普及や生産物の取引に関する制度的な非効率性が排除され(A点→B点)、また集約度を高める経営的な条件が整えられ(B点→C点)、そうした中で高収量を可能とする品種および栽培法といった技術的条件が整備されている(C点→D点)とすれば、D点で示される高い収量が実現することになる。

以上の枠組みを用いると、小麦収量の増加を規定している要因は、経営的、制度的そして技術的要因の3つに整理できることになる。そこで本稿ではこ

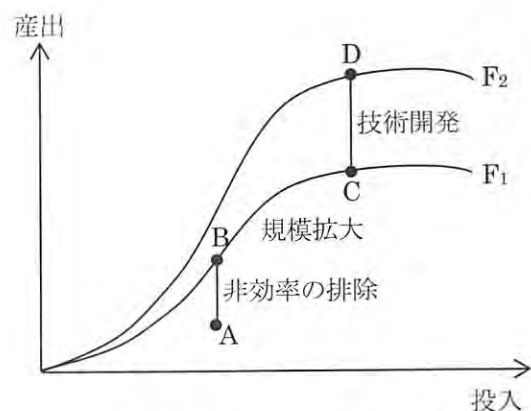


図2 生産性向上の要素

資料：Kalaitzandonakes et al.<sup>(11)</sup> の Figure.9.1 より引用。

れら3つの視点から、日欧における小麦作を比較し、小麦収量水準を規定している要因について明らかにすることとしたい。

## 2) 分析視点

本稿では、日欧における小麦収量水準の格差の形成要因を、経営的、技術的、制度的といった3つの条件から分析するが、各条件の詳細、およびこれらを明らかにするための調査項目を以下に示す。

まず、経営的条件であるが、これは集約的な生産を可能とする条件である。集約的な生産とは、適期に適正な作業を行うことを可能とする労働力と機械の保有、圃場条件である。こうした点を把握するために必要な調査項目は、労働力保有状況、圃場の筆数や分散状況、資本装備、そして作業受委託の状況である。

次は、技術的条件であるが、これには品種と栽培法がある。品種については本稿では、品種そのものが持つポテンシャルではなく、生産者による品種の交替頻度と選択方法に着目する。なぜなら、小麦品種は古いものよりも新しいものが一般的に高い収量性を示すことが知られており<sup>6</sup>、新品種への交替が頻繁に行われていれば、相対的に高い収量を實現する条件が整えられていると考えることができるからである。栽培法については、輪作体系のあり方、および耕起から収穫までの栽培技術について調査し、高収量を支えている条件を明らかにする。

最後の制度的条件については、小麦品種の開発・普及制度と生産物の取引制度に着目する。なぜなら、これら制度は、品種交替の速度に影響を与えるからである。特に日本には、国（独法）や公設試験研究機関による品種開発、都道府県が責任を担う種子供給、奨励品種制度のもとでの品種普及、産地品種銘柄ごとの取引等、小麦の品種開発から生産物の販売に至るまでの様々な制度がある。日本国内の分析ではこうした制度的条件は所与となるが、本稿のように他国の状況と比較することで、制度的条件もまた分析対象となるのである。

## 3) 分析データ

本稿では、日欧における小麦作経営および関係機関への聞き取り調査を行うが、その際、1960年代以降2000年まで継続して収量向上を實現し、今日、世界の中でも小麦の収量水準が高い国の一つであるドイツを対象とする。また、調査地は、ドイツの小麦主産地であり、耕地面積に対する小麦面積割合、および小麦の収量水準が高いニーダーザクセン州南部（図3）とする。主な調査先は、当地に位置する小麦作経営および農業コンサルタント（Landberatung Harzvorland e.V.）、小麦品種を開発する民間育種会社（KWS Lochow GmbH）、民間育種会社が出資し育種者権の保護を行うドイツ作物育種協会（Bundesverband Deutscher Pflanzenzüchter e.V. (BDP)）、およびドイツ政府の農業研究機関チューネン研究所（Thünen Institut）とする。

ドイツにおける小麦作は、一部に春播があるものの、ほとんどが秋播である<sup>7</sup>。また、畑地で栽培されていることから、ドイツ国内では地域的な気象の影響による作業時期の違いや収量差による施肥量の違いはあるものの、栽培法そのものが大きく異なることはない。しかし、日本では畑地で行う小麦作と、水田で行う小麦作とでは、栽培法も異なる。そのため、本稿でドイツにおける小麦作と比較する際には、ドイツと同じく畑地で秋播小麦を栽培する北海道十勝地方を想定することとし、北海道十勝地方においても聞き取り調査を行う。主な調査先は当地に位置する小麦作経営と農協、品種開発を行う公的な農業研究機関の（独）農研機構北海道農業研究センターである。

6 例えば、Austin et al.<sup>(3,4)</sup> は、欧州で栽培されている小麦の新品種が旧品種と比較して、収量が高いことを明らかにしている。また、近年においても、Calderini et al.<sup>(5)</sup> や Ahlemeyer・Friedt<sup>(1)</sup> が、同様の研究成果を報告している。

7 ドイツで栽培される小麦生産量の99.8%が中間質小麦（Weichweizen）であり、このうち、春播の割合はわずか1.3%である（Statistisches Bundesamt「Fachserie 3 Reihe 3, 2013」）。



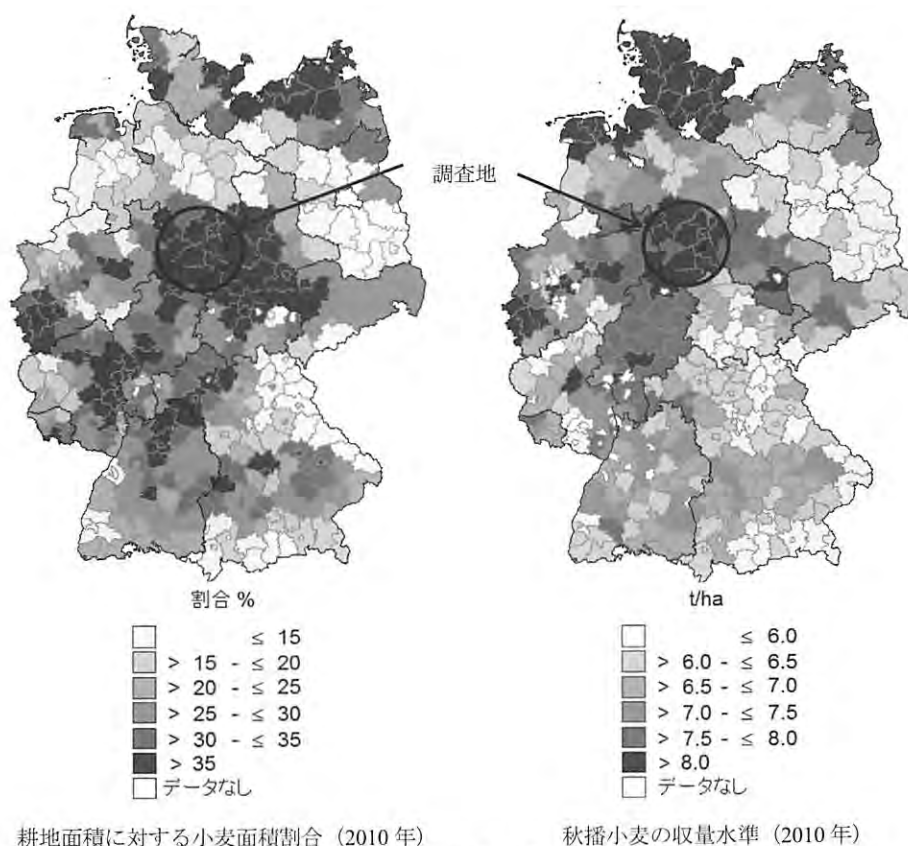


図3 調査地の位置図

資料：チューネン研究所提供。

### Ⅲ. 日独における小麦作経営および小麦作の特徴

#### 1. 日独における小麦生産・消費の概況

本稿の課題は小麦の収量格差の形成要因の解明にあるが、分析に先立って日独における小麦生産・消費の概況を確認しておこう。表1は、日独における小麦の生産と消費の概況を要約的に整理したものである。

まず、水稲および小麦の作付農家数割合、および作付面積割合から、日本では水稲が、ドイツでは小麦が基幹作物の一つであることがわかる。また、ドイツの小麦自給率は132%であることから、輸出作物でもあることもわかる。ドイツでは国内生産の半分以上は飼料用として利用されており、この点は、本稿の課題である収量格差を検討する上でも重要な論点である。ドイツにおける飼料用小麦は、専用品種はあるものの、後述するようにニーダーザクセン

州南部の生産者によれば、食用と飼料用を栽培段階では区別せず、収穫後に実施する品質評価で食用の基準に満たないものを飼料用として販売している。日本では、国産小麦は飼料として利用されていないが、国産米は飼料用として用いられている。しかし、その場合も日本の飼料米は、栽培段階から食用品種と区別され、流通段階においても飼料用が食用として流通しないよう厳格に管理されている。この点で、ある作物を食用・飼料用の両用途に用いる場合の日独の対応は大きく異なっていることがわかる。

さらに、両国における製粉業の構造についてみると、日本では大手製粉会社3社の売り上げが全体の約7割を占めるといふ寡占状態にあるのに対して<sup>8</sup>、ドイツでは大規模工場のマーケットシェアが高いものの<sup>9</sup>、生産者は複数の仲買人、あるいは製粉会社

8 日本格付研究所 2013年6月11日発表の News Release による。

9 ドイツの製粉産業における工場規模とマーケットシェアの関係は Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz 「Struktur der Mühlenwirtschaft 2012, Reihe: Daten-Analysen」 に詳しい。

表1 日独における小麦の生産・消費の概況

		日本	うち北海道	ドイツ	うちニーダーザクセン州
農家数	万戸	163.1	4.4	22.1	3.3
うち小麦作付農家数	万戸	4.3	1.4	13.8	1.5
小麦作付農家割合	%	2.6	32.4	62.3	44.4
(参考)					
うち水稲作付農家数	万戸	115.9	1.6	—	—
水稲作付農家割合	%	71.1	35.6	—	—
耕地面積	万 ha	319.1	94.1	1,183.4	188.0
うち小麦作付面積	万 ha	15.2	10.8	305.7	37.8
小麦作付面積割合	%	4.8	11.5	25.8	20.1
(参考)					
うち水稲作付面積	万 ha	121.9	10.8	—	—
水稲作付面積割合	%	38.2	11.5	—	—
一戸当たり耕地面積	ha/戸	2.0	21.4	53.6	56.8
小麦生産量	万 t	85.8	58.6	2,243.2	283.9
食用小麦需要量	万 t	607.4	—	639.0	—
一人当たり年間小麦消費量	kg	48.0	—	77.5	—
小麦自給率	%	12	—	132	—
国産小麦の主な用途と使用量	万 t	日本めん用 39 菓子用 17	—	飼料用 742 パン・菓子用 504	—
製粉産業の状況		寡占状態	—	多数の企業が存在	—

注：農家数については、日本の統計は販売農家数、ドイツの統計は耕地を所有する農家数。  
資料：日本および北海道の農家数・耕地面積は農林水産省大臣官房統計部「2010年世界農林業センサス」、ドイツおよびニーダーザクセン州の農家数・耕地面積は Statistisches Bundesamt 「Fachserie 3 Reihe 3.1.2, 2012」による。両国の小麦生産量（2012年）・食用小麦需要量（2009年）・一人当たり年間小麦消費量（2009年）についてはFAO「FAOSTAT」による。北海道の小麦生産量（2012年）は北海道農政事務所統計部「農林水産統計公表資料」、ニーダーザクセン州の小麦生産量（2012年）は Statistisches Bundesamt 「Fachserie 3 Reihe 3, 2012」による。日本の小麦自給率（2012年）は、農林水産省大臣官房食料安全保障課「食料需給表平成24年度」、ドイツの小麦自給率（2008/09年）は、Bundesanstalt für Landwirtschaft und Ernährung Anstalt des öffentlichen Rechts 「Regionale Versorgungsbilanz Getreide und Mehl」のデータをもとに算定。日本の国内小麦の主な用途と使用量（2006年）については農林水産省総合食料局「国内産麦をめぐる事情 平成21年1月」、ドイツ（2008/09年）は前述の資料による。

の取引条件を比較して売り先を選択する等、比較的自由競争に近い状況にある<sup>10</sup>。これは、生産者による小麦販売の自由度を高め、選択肢を豊富なものとしている。

このように日本とドイツの小麦作を取り巻く経済環境はかなり異なっており、このことが小麦の収量水準を規定する遠因となっていると思われるが、本稿においては上述した経営的、技術的、制度的条件といった3つの視点から考察を行うこととしたい。

## 2. ドイツの小麦作経営の概要と特徴

### 1) 調査対象経営の位置づけ

ドイツにおいて小麦の高収量を実現している経営的条件を明らかにするために、ニーダーザクセン州南部に位置する2戸の小麦作経営および関係機関への聞き取り調査を行った<sup>11</sup>。

図4に示すとおり、ニーダーザクセン州はドイツ

の北西に位置する州である。大西洋に面して平坦地が広がり、ドイツにおいても、大規模経営の割合が高い州である（表2）。ニーダーザクセン州においては50~100ha層の割合が高いが、これは兼業経営も含む値であり、耕種部門の専業経営であれば150haが平均耕地面積となる<sup>12</sup>。本稿で調査対象とする2経営は、A経営で465ha、B経営で297haの耕地面積であり、大規模経営の割合が高いニーダーザクセン州においても上位4%に入る。特に規模の大きい経営ということが出来る。

また、ニーダーザクセン州は、ドイツ国内平均と比較して小麦単収が高い州である（表3）。当州に位置する調査対象経営においても、ドイツ平均と比較してやや高い収量となっている。ただし、B経営における2012年産の単収は国平均を若干下回る。B経営によれば、これはその年の冬枯れの被害によることである。B経営はハルツ山脈近郊の標高

10 複数の小麦生産者および関係機関への聞き取り調査による。

11 2戸の経営のうち1戸は、「ドイツにおいて典型的な畑作を行う家族経営」という基準で、チューネン研究所から紹介を得た。もう1戸については、先の経営から、「地域内で一般的な畑作を行う家族経営」という基準で紹介を得た。現地の事情に精通していない場所で、聞き取り調査を行う場合、調査対象経営が一般的な取り組みを行っているか否かを判断するのは難しいことから、本稿においては2戸の取り組みを比較しながら分析を進めた。また、農業コンサルタントや研究機関といった関係機関においても、調査対象経営の取り組みがドイツの一般的な取り組みとなっているかどうかについて確認しながら分析を行った。

12 和泉<sup>10)</sup>による。



図4 ドイツにおける各州と調査対象経営の位置図

の高いところに位置し、また栽培する品種も3種と少ない。そのため、冬枯れの被害を受ける年には、その影響が大きくなる傾向にある。

以上、調査対象経営の耕地面積および小麦収量から、ドイツにおける両経営の位置づけを行った。要約すれば、調査対象経営においては、規模は相対的に大きい。収量水準は国の平均レベルとほぼ同水準の経営ということが出来る。こうした点を念頭に置きながら、各経営の概要についてみていく。

## 2) 調査対象経営の概要

調査対象経営の位置については前掲した図4に、2012年の経営概要については表4に示す。

労働力については、両経営とも家族1.5名<sup>13</sup>、雇用2名となっており、全員、機械のオペレータ作業が可能である。耕地面積はすでに述べたように、それぞれ465ha、297haと大きい。これと合わせて作業受託も実施することから、その面積も含めるとA経営では500ha以上、B経営では400haもの作業面積となる<sup>14</sup>。表4で示すようにA経営では2名、B

表2 規模別農家数と割合

	ドイツ		ニーダーザクセン州	
	1,000戸	割合	1,000戸	割合
5ha未満	24.6	9%	2.3	6%
5～10ha	44.6	16%	4.6	12%
10～20ha	59.0	21%	5.4	14%
20～50ha	71.5	25%	8.5	22%
50～100ha	50.2	18%	10.7	27%
100～200ha	23.7	8%	6.1	16%
200～500ha	7.8	3%	1.6	4%
500～1,000ha	2.2	1%	0.1	0%
1,000ha以上	1.5	1%	0.0	0%
計	285.0	100%	39.5	100%

資料：Statistisches Bundesamt 「Fachserie 3 Reihe 2.1.2, 2013」.

表3 ドイツ、ニーダーザクセン州および調査対象経営の小麦単収

単位：t/ha

	2011年	2012年
ドイツ	7.1	7.4
ニーダーザクセン州	7.7	7.7
A 経営	7.4	7.7
B 経営	7.7	7.3

資料：Statistisches Bundesamt 「Fachserie 3 Reihe 3, 2013」. 聞き取り調査.

13 両経営とも父が手伝い程度であるため、0.5名でカウントしている。なお、B経営の経営主は自営の副業があるものの、主に農閑期に行っていることから、経営主の労働力は1名としている。

14 ドイツでは、作業受委託を行う際にマシーネンリングを通じた形態もある。本稿の調査対象経営では近隣の経営から個人的に作業を請け負う日本でも通常みられる作業受委託の形態となっている。なお、マシーネンリングについては淡路<sup>15</sup>に詳しい。



表4 ドイツ小麦作経営の概要 (2012年)

	A 経営	B 経営
家族労働力	経営主 34 歳 父 67 歳 (手伝い)	経営主 33 歳 (自営の副業) 父 73 歳 (手伝い)
雇用労働力	男 48 歳 (通年), 男 63 歳 (通年)	男 43 歳 (通年), 男 55 歳 (農繁期)
耕地面積	畑地 465ha	畑地 297ha
作業受託面積	45ha (播種・施肥・防除および収穫作業)	96ha (全作業)
作付作物・面積 (ha)	秋小麦 277, 秋大麦 13, てん菜 99, 菜種 41, トウモロコシ 35	秋小麦 149, 秋大麦 74, 菜種 74
収量 (t/ha)	小麦 7.7, 大麦 6.1, てん菜 64.7, 菜種 4.2, トウモロコシ 54.7	小麦 7.3, 大麦 5.3, 菜種 4.3
主な機械装備	トラクタ 4 台 (260, 200, 160, 110 馬力) トレーラー 4 台 ダンプトラック 2 台	トラクタ 3 台 (270, 240, 150 馬力) トレーラー
	ボトムプラウ, チゼルプラウ ディスクハロー てん菜耕起・整地機 (共有)	ボトムプラウ チゼルプラウ
	穀物播種機 (ハロー付) てん菜播種機 (共有)	穀物播種機 (ハロー付)
	スプレヤー, スプレッター コンバイン刈幅 7.5m	スプレヤー, スプレッター コンバイン刈幅 9.0m (共有)
	作業委託	てん菜: 収穫 トウモロコシ: 播種・収穫・施肥

注: A 経営におけるトウモロコシはバイオガス用であることから収量が多い。また, てん菜の糖度は, 18.6%。

経営においても 1 名の常時雇用があるとはいえ, 両経営は「家族経営」の範疇に入るが, そのような家族経営として家族労働力を中心にこれだけの大面積を耕作していることは興味深い。また, 機械装備についてみると, 200 馬力を超えるトラクタを両経営とも 2 台所有しており, かなり大型の装備となっている。ただし, それぞれ 500ha 以上, および 400ha 近くの作業面積でありながら, A 経営ではてん菜に関わる機械を, また B 経営においてはコンバインを共有している。機械を共有することで, 共有相手と作業時期が重なることになるが, 両経営とも共有する機械が必要な作業は, 作業可能日のうち隔日で行うなどして機械の利用調整を図っている。こうした制約はあるものの, A 経営, B 経営とも機械を共有する利点は大きいと考えている。それは, 機械の稼働率を高めることができ, 個人で購入するよりも大型で高性能な機械の導入が可能となるからである。さらに B 経営では, 小麦, 大麦, 菜種の 3 作物の収穫にも同一のコンバインを用いており, コンバインの稼働率はより高められていることがわかる。作業委託については, A 経営のみ行っており, てん菜の収穫, トウモロコシの播種・収穫・施肥を委託している<sup>15</sup>。

次に, A 経営および B 経営の圃場図をそれぞれ

図 5, 図 6 に示した。耕地面積が 465ha と大きい A 経営においては, 筆数 62, 最も遠い圃場までの距離は 10km であるが, それでも平均圃場区画は 7.5ha, 最大圃場面積については 50ha となっており, かなり大区画圃場のもとでの効率的な作業が可能となっていることがわかる。また, B 経営においてはさらに有利な状況にあり, 297ha もの広大な圃場が自宅近くに集まり, 筆数 11, 平均圃場区画 27ha, 最大圃場区画は 64ha で, 最も遠い圃場までの距離は 3km となっている。

これらをまとめると, 以下の 4 点が指摘できる。まず, 第一は, 少ない労働力で大面積を耕作している点である。これには, 小麦, 菜種といった土地利用型作物を中心に作付けしていることがある。第二に, 上記の特徴とも関係するが, 圃場が近接しており, かつ 1 圃場当たりの区画が非常に大きい点が指摘できる。第三に 200 馬力を超えるトラクタや刈幅 7.5m または 9.0m のコンバイン等, 大型機械を用いて高効率な作業を実施している点である。そして第四に, 耕地面積が大きいにもかかわらず限られた台数の機械装備となっている点にも注目する必要がある。これは機械の汎用利用が可能な作物を選択する, さらに, 専用機械の必要なてん菜やトウモロコシの収穫作業については委託するといった対応によ

15 A 経営では, 専用機を所有し自ら作業を実施するよりも, 作業委託の方が有利と考えている。また, てん菜播種とトウモロコシ播種は同時期に行われているが, 作業委託を行うことで作業競合を防ぐこともできる。



り可能となっている。本稿では小麦の生産費に関する分析は行っていないが、これらはドイツにおける

小麦作の労働費および減価償却費がかなり低い水準にあることを示唆している。



図5 A 経営の圃場図

資料：Google Earth（画像 @2014 Aero Geo Basis-DE/BKG. 地図データ @2014 Geo Basis-DE/BKG (@2009)）。圃場位置については、聞き取り調査をもとに作成。空白のところがA 経営の圃場である。



図6 B 経営の圃場図

資料：Google Earth（画像 @2014 Digital Globe. 地図データ @2014 Geo Basis-DE/BKG (@2009)）。圃場位置については、聞き取り調査をもとに作成。空白のところがB 経営の圃場である。

### 3. ドイツの小麦作における技術的背景と耕種概要

#### 1) 調査地の気象条件

まず、日本とドイツにおける緯度の関係を図7に示した。北海道十勝地方（帯広）が北緯43度付近に位置するのに対して、ドイツの調査地であるニーダーザクセン州の州都ハノーバーは52度に位置する。このようにハノーバーは帯広よりも北に位置するものの、北大西洋海流と偏西風の影響から冬期の気温は帯広ほど低下しない（図8）。そのため、ニーダーザクセン州における秋播小麦は十勝地方よりも休眠期間が短くなり、その分生育期間を延ばすことができる。また、降水量についてみても収穫時期である7、8月において帯広ほどには多くない（図8）。

#### 2) 輪作体系

日本やドイツにおいて小麦は輪作体系の中の一つの作物として位置づけられており、小麦の栽培法に関しても、このような輪作体系を念頭においた上で理解していく必要がある。

北海道十勝地方の輪作体系は、「小麦→てん菜→豆類→ばれいしょ→」の4年4作が理想とされている。

るが、ドイツ国内でも小麦の作付割合が高い地域に位置するA経営およびB経営の主な輪作体系は、それぞれ「小麦→小麦→てん菜→」、「小麦→小麦→大麦または小麦→菜種→」となっている（表5）。このように小麦を2作（場合によっては3作）連作した後にてん菜や大麦、菜種が作付けされている。

十勝地方では前項でみたように冬期の気温低下が厳しい。それゆえ小麦が越冬するためには秋のうちにある程度の生育を確保する必要があり、9月下旬

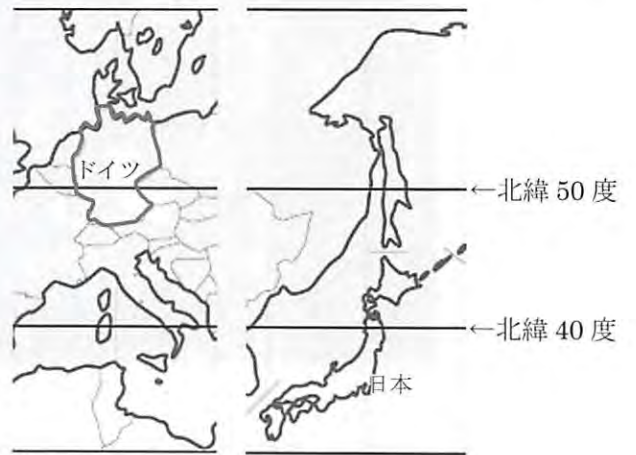


図7 日独における緯度の関係

資料：筆者作成。

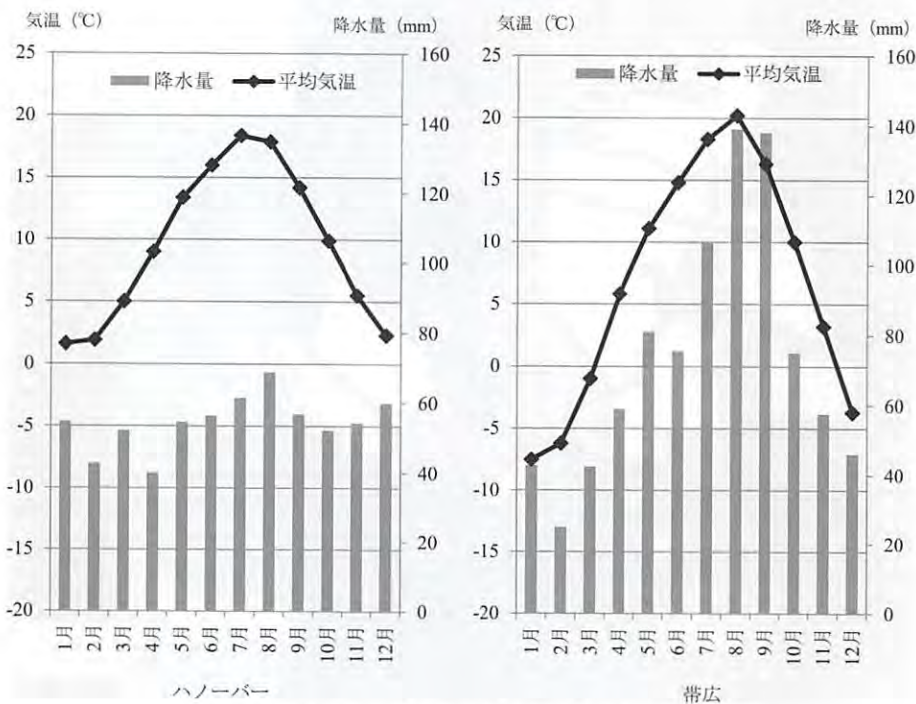


図8 ハノーバーと帯広の気温・降水量の平年値

注：ハノーバーはドイツの調査地であるニーダーザクセン州の州都である。

資料：気象庁 <http://www.jma.go.jp/jma/index.html> (2014年2月24日アクセス) より作成。



表5 調査経営における輪作体系

	A 経営	B 経営
ケース 1:	小麦→小麦→てん菜→	小麦→小麦→大麦→菜種→
ケース 2:	小麦→小麦→菜種→	小麦→小麦→小麦→菜種→
ケース 3:	小麦→小麦 or トウモロコシ→小麦→てん菜→	
ケース 4:	小麦→大麦 or トウモロコシ→菜種	

注：1) 小麦はすべて秋播。  
 2) 十勝地方では上記の輪作体系が理想とされているが、実際はばれいしょの収穫が小麦の播種時期よりも遅れたり、圃場位置や土壌条件の制約があるため、理想どおりに輪作が行われないうちも多い。  
 資料：聞き取り調査をもとに作成。

までには小麦が播種される。通常、この時期までに収穫が終わっているのは、早生のばれいしょと小麦である。早生のばれいしょの面積だけでは、翌年の小麦の栽培面積に不足が生じるため、十勝地方においても A 経営および B 経営と同じように小麦の連作を行う生産者も少なくない。

また、小麦の播種期の制約から、十勝地方では、10 から 11 月にかけて行われるてん菜の収穫後に小麦が播種されることはほとんどない。一方、ドイツでは緯度は高いものの、前述したように冬期の気温低下が十勝地方に比べて小さいため、てん菜収穫後でも小麦の播種が可能となっている。また、ドイツでは一般的に「てん菜」と「菜種」は同一の圃場で栽培されない。菜種の栽培により土壌中の線虫が増加し、てん菜に悪影響を及ぼすと考えられているためであり、そのため、もし、菜種とてん菜を同一の輪作体系に組み込む場合は、菜種後、てん菜栽培までの期間を十分に空けて行う体系となっている。

### 3) 栽培暦

A 経営、B 経営、および十勝地方における小麦の栽培暦を表 6 に示した。A 経営、B 経営の作業時期については 2012 年の栽培履歴をもとに、十勝については 2011 年の小麦作経営および関係機関への聞き取り調査をもとに作成した。A 経営、B 経営、および関係機関への聞き取り調査によれば、ドイツの小麦生産者は、EC (Eucarpia Code の略) と呼ばれる生育ステージに合わせた栽培管理を行っており、

そのため表 6 には EC も合わせて示している。EC の詳細は表 7 に示したが、播種期を 00、収穫期を 92 とし、この間の生育状態が細かく設定されている。ドイツの生産者は頻繁に圃場に出かけ、小麦の状態を観察し、常に EC の把握に努めている。A 経営、B 経営、および農業コンサルタントによれば、EC の把握は、特に防除のタイミングを知る上で重要であり、防除は短い適期を逃さないよう行うことが必要とのことである。

### 4) 耕種概要

A 経営、B 経営と十勝地方の小麦の耕種概要を表 8 に示した。以下では小麦作の作業体系にそって、ドイツの調査対象経営における小麦の栽培技術の特徴を整理する。

#### (1) 耕起・整地

A 経営、B 経営では、小麦収穫後、またはトウモロコシ収穫後に病害予防のためボトムプラウを用いて深耕し、土壌を反転させている。A 経営では小麦収穫後にチゼルプラウもしくはディスクハローを、てん菜収穫後にはボトムプラウかチゼルプラウ、またはディスクハローを用いて麦稈やてん菜の茎葉を土壌と攪拌するが、これらの機械は圃場の水分状態によって使い分けている。消費燃料が、ボトムプラウ>チゼルプラウ>ディスクハローの順に多いため、生産者はできるだけ圃場が乾いた状態でディスクハローを用いて作業を行いたいと考えている。整地については、播種機にバーティカルハローを付け



表6 A経営, B経営および十勝地方における小麦の栽培暦

	A経営 (2012年産)		B経営 (2012年産)		十勝地方 (2011年産)	
		EC		EC		
9月	上 中 下	耕起	耕起 播種	00	耕起 播種・基肥 4.0 (除草剤散布)	
10月	上 中 下	播種 (除草剤散布)		11	除草剤散布	
11月	上 中 下				雪腐病防除	
∴						
3月	上 中 下	追肥 6.5		14	融雪剤散布	
4月	上 中 下	(除草剤・調節剤散布) 追肥 6.0	追肥 8.0・調節剤散布 除草剤散布	27 28	追肥 4.2 鎮圧	
5月	上 中 下	葉枯病防除・調節剤散布 赤かび病防除・追肥 6.0	葉枯病防除・調節剤・追肥 7.5 赤かび・ふ枯病防除・追肥 7.5	31 39	32 38	(除草剤散布) 追肥 4.2
6月	上 中 下	ふ枯病防除		61	赤かび病防除 防除 防除	
7月	上 中 下					
8月	上 中	収穫	収穫	92	92 収穫	

注: 1) ECとは, Eucarpia Code の略. 詳細は表7で説明.

2) 「基肥」または「追肥」のあとの数字は, 10a 当たりの窒素投入量 (kg) である.

3) A経営における除草剤散布は10月下旬か4月中旬のどちらか一方. 10月下旬の場合は, 4月中旬の生育調節剤散布は行わない.

4) B経営がEC38を行う防除・追肥作業は, 涼しい年にはEC49で行う.

5) 十勝における除草剤散布は9月下旬か5月中旬のどちらか一方.

6) 十勝地方の6月中・下旬の防除は, 赤かび病, 赤さび病, うどん粉病の防除.

7) 12~3月の間は作業が行われない.

資料: 聞き取り調査をもとに作成.

播種時に行うことから, 単独作業は実施していない.

## (2) 播種

播種適期については, 十勝地方が9月中旬~下旬であるのと比較して若干遅い. これは前述したように冬期の気温低下が十勝ほど厳しくないことから, 適期も遅くなっていると考えられる. 播種量については, 300~310粒/m<sup>2</sup>と十勝地方の2倍以上の量となっており, 厚播きが行われている. これは, 播種時期が十勝と比較して遅いこと, また, 日本の品種が穂数型であるのに対して欧州の品種が穂重型であることも影響している(小田<sup>15)</sup>). A経営およびB経営が目標とする有効穂数は, 穂数型の品種を栽培する十勝よりも少ないものの, 欧州の品種は穂が大きく, この点が単収の高さの一因となっていると思われる(渡邊<sup>20)</sup>).

参考として写真1にA経営における小麦の播種

作業の状況を示した. トラクタの前部に鎮圧ローラーが取り付けられている. このローラーはトラクタのタイヤとともに播種床を鎮圧し, トラクタのタイヤの沈みにより発生する播種深度のばらつきを解消しているが, こうした播種時の鎮圧作業はドイツでは一般的に行われているとのことである. 播種の深度についてはA経営においては2.5cm, B経営においては種子の大きさにより1.5~2.0cmとなっている. 十勝地方では2.5cmの深さが理想とされているが, 播種深度が揃わず, 生育のばらつきや欠株が問題とされている.

以上, ドイツの小麦作経営においては, 一般的に播種時に播種作業だけでなく鎮圧と整地も同時に行うといった大型機械の利用による複数の同時作業を実施していることがわかる. また, 播種時に播種深度を揃え, その後の均一な生育のための条件整備も行われている.

表7 ドイツで用いられている小麦の生育ステージ

フェーズ	EC	ステージ
Germination	00	Dry seed
	05	Radicle emerged from caryopsis
Seedling growth	10	First leaf through coleoptile
	11	First leaf unfolded
	12	2 leaves unfolded
	13	3 leaves unfolded
Tillering	21	Main shoot and 1 tiller
	25	Main shoot and 5 tillers
	29	Main shoot and 9 or more tillers
Stem elongation & Booting	30	Pseudo stem erection
	31	1st node detectable
	32	2nd node detectable
Booting	37	Flag leaf just visible
	39	Flag leaf ligule/collar just visible
	49	First awns visible
Inflorescence emergence	51	First spikelet of inflorescence just visible
	55	1/2 of inflorescence emerged
	59	Emergence of inflorescence completed
Anthesis	61	Beginning of anthesis
	65	Anthesis half way
	69	Anthesis complete
Milk development & Dough development & Ripening	71	Caryopsis water ripe
	75	Medium milk
	85	Soft dough
	87	Hard dough
	91	Caryopsis hard (difficult to divide by thumb-nail)
	92	Caryopsis hard (can no longer be dented by thumb-nail)

資料：農業コンサルタント提供、Zadoks<sup>[21]</sup>。

表8 小麦の耕種概要

	A 経営 (2012 年産)	B 経営 (2012 年産)	十勝 (2011 年産)
耕 起	小麦後：チゼルブラウ or ディスクハロー (1or2 回) → ボトムブラウ トウモロコシ後：ボトムブラウ → ディスクハロー 菜種後：ディスクハロー → 除草剤散布 → ディスクハロー てん菜後：ボトムブラウ or チゼルブラウ or ディスクハロー	菜種後：チゼルブラウ 小麦後：チゼルブラウ → ボトムブラウ	サブソイラ + ボトムブラウ
整 地	播種と同時	播種と同時	ロータリーハロー
播種期 (適期)	10 月上旬	9 月下旬	9 月中～下旬
播種量 (適期)	310 粒 / m <sup>2</sup> 前後	300 粒 / m <sup>2</sup> 前後	120～140 粒 / m <sup>2</sup>
条 間	12.5cm	12.5cm	12～30cm
目標有効穂数	550 本 / m <sup>2</sup>	500 本 / m <sup>2</sup>	600～700 本 / m <sup>2</sup>
施 肥 (kg-N/10a)	基肥なし 追肥 6.5+6.0+6.0 計 18.5	基肥なし 追肥 8.0+7.5+7.5 計 23.0	基肥 4.0 追肥 4.2+4.2 計 12.4
防除時の散布液量	20～22 リットル / 10a	20 リットル / 10a	100 リットル / 10a
基本となる防除回数	4	5	5
殺菌・殺虫剤	3	3	4
除草剤	1	2	1
生育調節剤	1～2	2	-
収穫期	8 月上旬	8 月上旬	8 月上旬
乾燥・調製	数ヶ月保管する場合のみ乾燥、調製はしない	同左	農協のカントリーエレベーターに委託
販売先	製粉会社 (契約)	複数の仲買人	農協 (共販)
2013 年産栽培品種数	4	3	1 (一部 2)

資料：聞き取り調査をもとに作成。

(3) 施肥

A 経営および B 経営とも、農業コンサルタントの指導に基づき基肥は施用しておらず、追肥のみで

ある。追肥は、小麦の生育に必要な時期に 3 回に分けて行われている。これは播種から越冬期にかけては土壌中の窒素を利用し、窒素吸収量が高まる春以





写真1 A経営の播種作業 (3m幅24条)

注：トラクタの前面に鎮圧ローラーを付け、播種作業と同時に播種床の鎮圧を行っている。

資料：2013年10月2日に撮影。

降に施肥することを意味しており、作物栄養生理の面や、環境保全の面を考慮し実施されている。この方法は土壌肥沃度が高いことが前提となるため、生産者は輪作体系の中で作物残渣のすきこみ、堆肥の利用等による地力維持に努めている<sup>16</sup>。なお、このような作物残渣のすきこみや堆肥の利用においては、高能率で深耕を可能とする大型のトラクタが有効な役割を果たしている。

追肥による窒素投入量については、土壌中の窒素量と目標とする小麦の収量水準を考慮して決定している<sup>17</sup>。土壌中の窒素量については、地域ごとに生産者団体が把握したデータを利用するか、または生産者が個別に土壌診断を行い把握している。土壌中の窒素量は、深さ0~30cm(1層)、30~60cm(2層)といった層別に診断され生産者に伝えられる。土壌診断では他に、PH値、リン、カリウム、マグネシウムの量についても把握しており、不足していれば土壌改良剤や微量成分の投入を行う。このように土壌分析と、それに対応した施肥は、収量を維持していく上で不可欠の対応となっている。

#### (4) 防除

A経営、B経営および農業コンサルタントへの聞き取り調査によれば、ドイツでは高濃度少量散布が一般的であり、A経営では20~22リットル/10a、B経営では20リットル/10aの散布液量を基本としている。一方、十勝では、農薬の使用量に加え、使用濃度についても取り決めがあり、一般的な散布液

量は100リットル/10aとなっている。

基本となる防除回数については、A経営では4回、B経営では5回であり、十勝地方でもB経営と同じく5回となっている。防除回数については日独で大きく変わらないが、雪腐病防除については冬期の気温低下が大きい十勝のみで行われている。なお、十勝では特に赤かび病が深刻な病気とされているが、ドイツにおける病害の深刻度は、葉枯病>赤かび病>ふ枯病・うどん粉病>赤かび病の順である。赤かび病については、十勝と比べて降水量が少ないために発生が少ないとも考えられるが、抵抗性品種が開発されたことで、以前と比べて、赤かび病の被害は減少したとのことである<sup>18</sup>。このような抵抗性品種の開発・普及は、使用する薬剤の量を削減しながらも赤かび病による被害粒も減らし、小麦の品質の維持に貢献している。

生育調節剤については、十勝地方ではホクシンからきたほなみへと品種の入れ替えが行われた2013年ごろから使用されるようになってきているが、しかし、日本ではまだ一般的なものとはなっていない。一方、ドイツでは収量の増加に合わせ窒素投入量も増加することになり、そのような状況下で倒伏防止を目的に1~2回使用することが一般化している。

#### (5) 収穫・調製・販売

収穫期については、A経営、B経営、十勝地方とも8月上旬となっている。A経営では契約する製粉会社に大半の小麦を販売しているが、通常ドイツではB経営のように複数の仲買人に販売することが一般的である。

ドイツでは小麦収穫期の湿度は低く、A経営およびB経営とも収穫後の小麦は、数ヶ月間保管する場合にのみ乾燥され、すぐに出荷する場合は乾燥機を併設しない機械庫等に一時保管される。出荷は25tダンプで行われ、ローダーを用いて小麦が積み込まれる。小麦の貯蔵施設は簡素なものであり、収穫後にふるいや比重選にかけるといった調製作業は行われていない。次節で詳しく述べるが、ドイツの小麦取引体制は日本の体制とは異なり、小麦の外観

16 A経営では、トウモロコシ前にバイオガスプラントから出たトウモロコシの消化液を散布し、また圃場の状態をみながら、主にてん菜前に家畜由来の堆肥を用いている。B経営では菜種の前に鶏糞を4t/ha散布している。

17 ドイツでは、経営全体の窒素投入量から収穫した作物が使用した窒素量を差し引いて3年平均で60kg/ha以下となるよう制限が課せられている。

18 ニーダーザクセン州南部において、赤かび病が問題となったのは、直近で2002年である。



が生産者の収入に影響しないことから、外観を整える調製作業は必要とされていない。

#### (6) 品種の選択と採用

十勝地方の生産者は通常1品種、多くても2品種のみの小麦の栽培であるが、ドイツでは1戸当たり3～6品種を作付けることが一般的であり、調査を行ったA経営、B経営においても、それぞれ4および3品種の栽培を行っている。農業コンサルタントへの聞き取り調査によれば、経営当たりの品種数は小麦の栽培面積の大小よりも生産者の考え方に基づいており、栽培品種の選択は生産者自身によって行われるとのことである。品種選択の方法については、生産者は、まず公的機関、育種・種苗会社、農業コンサルタント等が公表する情報を参照し、輪作体系や圃場との相性<sup>19</sup>、作期分散等を考慮して栽培する品種を決定する。特に、輪作体系については、前作を考慮して品種の選択を行っている。例えば、トウモロコシ後は病害が出やすいため、収量よりも病害抵抗性に重きを置いた品種選択を行う。また、小麦を連作する場合は、連作障害のリスクを少しでも軽減するために、前作と同一品種とならないようにしている。新しい品種の栽培は、圃場の一部で試験的に行われ、病害抵抗性、成熟期、収量等を注意深く観察し、この観察結果に基づき、翌年以降継続して作付けするかどうかを判断する<sup>20</sup>。

このような生産者自らが毎年行う品種の選択および採用は、ドイツ全体における旧品種から新品種への置き換わりを促進していると考えられるが、この点を確認するために、次節において、日独における小麦品種の普及状況とそれに影響する制度について示す。

## 4. 小麦の品種普及を規定する制度的条件

### 1) 小麦品種の普及状況

図9に、日本の小麦の品種別作付面積の推移について示した。ここでは1980～2006年までの27年間における上位5品種を取り上げたが、その数はわず

か13品種と少ない。また、この上位5品種で小麦作付面積の7割以上、高い年には9割近くを占めており、ごく一部の品種に作付けが集中していることがわかる。

一方、図10はドイツの品種別種子作付面積の推移について示したものである。日本のデータが作付面積であるのに対して、ドイツのデータはその制約から種子作付面積<sup>21</sup>であり、また自家採取した場合の面積<sup>22</sup>は含まれないため、単純に比較できないという点については留意する必要があるが、それでもドイツにおける品種交替の状況は確認できる。これを見ると1980～2006年までの27年間に上位5位に入る品種は36にも上り、またこれらが全体に占める割合は低く、多様な品種が作付けされていることがわかる。小麦の作付面積が大きいドイツにおいてより品種数が増えることは理解できるが、ここで注目すべきは品種が交替していく速さであり、日本では特定の品種が長期間上位を占めるのに対して、ドイツでは数年で更新されているのである。

こうした小麦の品種普及の速度の違いは、品種開発から種子供給までの体制、および品質評価と取引体制に規定されていると考えられるが、以下では、これら違いを規定する日独の制度的条件について比較検討する。

## 2) 品種開発と種子供給

### (1) 日本における品種開発と種子供給までの体制

日本における品種開発から種子供給までの状況は地域により若干異なることから、本稿では小麦作付面積が最も大きい北海道を例にその仕組みを整理する(図11)。

北海道では、公的機関である(独)農業・食品産業技術総合研究機構および(独)北海道立総合研究機構と、協同組合であるホクレン農業総合研究所において小麦の品種開発が行われている。品種候補は、その品種を開発した研究機関において生産力検定予備試験が行われ、北海道が実施する系統適応性検定試験、および特性検定試験の結果と合わせて、

19 ドイツでは、圃場ごとに土性や地質母材から算出された点数がつけられており、生産者は自身が耕作する各圃場の点数を把握している。そして、それぞれの圃場の特性に合わせた栽培管理や品種選択を行っている。圃場の詳しい採点方法については、伊東<sup>19)</sup>、津谷<sup>19)</sup>参照。

20 なお、品種ごとに栽培方法が異なることが予想されるが、新しい品種の栽培方法に関する情報は、公的機関や生産者が契約している農業コンサルタントから提供される。

21 関係機関への聞き取り調査によれば、品種別作付面積に関する統計データはない。

22 BDPへの聞き取り調査によれば、ドイツの自家種子利用率は2012年秋播小麦で46%となっている。



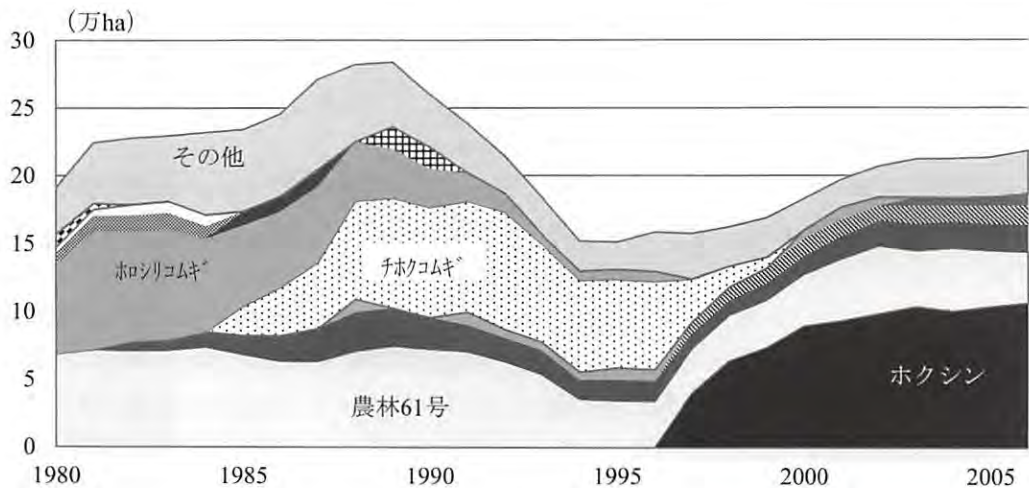


図9 日本の小麦品種別作付面積

資料：農林水産省総合食料局「麦の品種別作付面積」各年次。

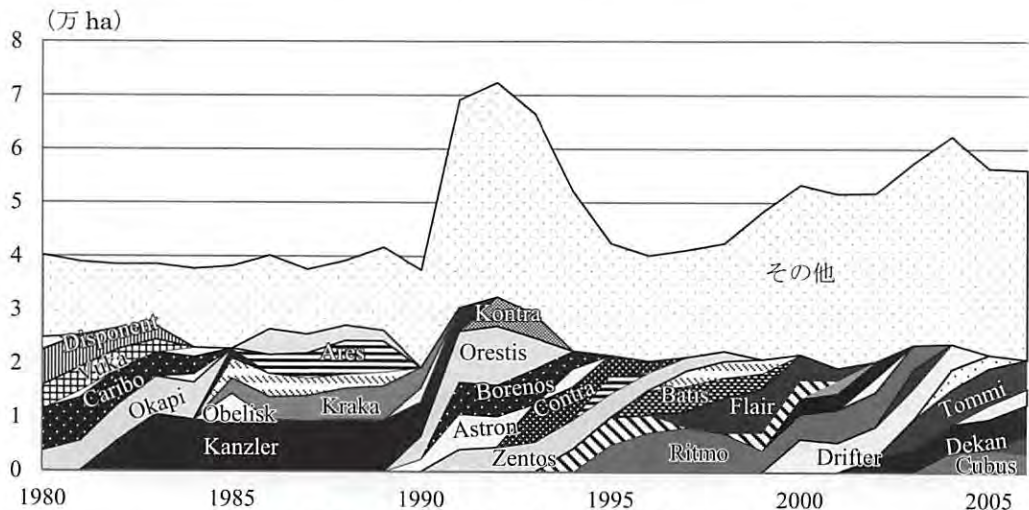


図10 ドイツにおける品種別種子作付面積

注：1) 最も作付面積が大きく一般的な中間質の秋播小麦のうち、ドイツ国内向けに認証されたものを集計の対象としている。  
 2) 1990年までは旧西ドイツのデータとなっている。

資料：BSA (Bundessortenamt, 連邦品種登録機関)「Beschreibende Sortenliste」各年次。

次の生産力検定試験に進む系統が決定される。生産力検定試験では栽培特性と品質特性が評価され、北海道が実施する奨励品種決定試験と栽培試験の結果とを合わせて、最終的に品種として登録するかどうか判断される。品種の登録は農林水産省が行うものの、その可否を判断する試験・調査は、品種を開発した研究機関、および北海道が実施する仕組みとなっている。また、農林水産省による品種登録とは別に、北海道では新しく登録された品種を奨励品種

に採用するか否かを決め、採用したものについては主要農作物種子法（1952年制定）に基づき種子増殖を行い、生産者に供給する。

品種開発に関わる資金については、国や地方公共団体等により事業費として交付されている<sup>23</sup>。なお、品種開発機関に対する育成者権の支払いは小額であり<sup>24</sup>、品種の開発に要した経費をその機関が回収する仕組みにはなっていない。

以上のような品種開発から種子供給までの特徴と

23 一部、農業生産団体からの寄付もある。

24 ある研究機関の例では、種子を増殖する者から原種利用料の1%を利用許諾料として受け取っている。原種は増殖してから生産者に販売される。

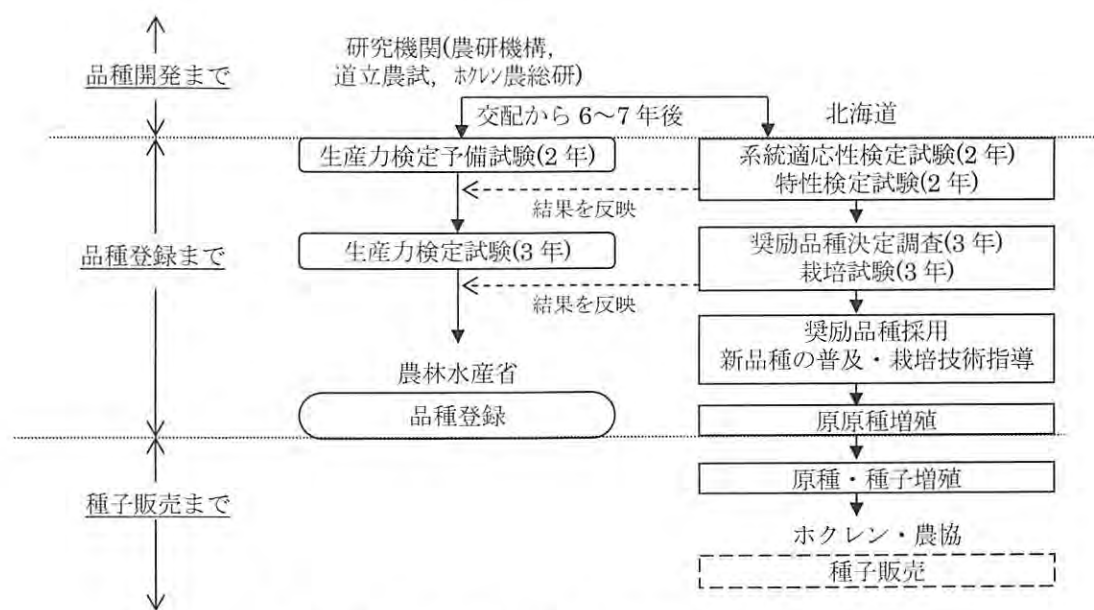


図 11 北海道における品種開発から種子供給までの流れ

注：原原種の増殖については、北海道がホクレン等の組織に委託生産している。

資料：食料・農業・農村政策審議会「第7回小麦政策検討小委員会配布資料（平成16年10月26日）」資料5「新品種育成における実需者との連携強化について」、(財)北海道科学技術総合振興センター「道内種苗類の実態把握に関する基礎調査報告」および北海道農業研究センターへの聞き取り調査をもとに作成。

しては、次の2点あげられる。第一は、都道府県が新品種に関する試験・調査から種子生産までを一貫して責任を担うという奨励品種制度の存在である。この制度により、各地域に適した品種が栽培されるとともに、栽培技術に関する情報も合わせて生産者に提供される体制が構築されている。また、計画的な種子の増殖と供給も可能になる。しかしながら、逆にいえば、奨励品種以外の種子供給は行われないことから、普及される品種が限定されてしまうといった側面もある<sup>25</sup>。

第二は、品種開発が公的機関を中心に行われている点である。自家採取が可能な小麦種子は公共財的な性格を持ち、それゆえに私的セクターでの事業にのりにくい。公的機関が育種することで、新品種を開発していく体制は維持されるが、育成した品種の普及度合が次の品種開発の予算額に比例するわけではないため、育種と普及が連動しにくい仕組みとなっている。

(2) ドイツにおける品種開発から種子供給までの体制

図12にドイツにおける品種開発から種子供給までの体制を示した。ドイツでは民間の穀物育種会社が30社あり、このうち27社で小麦の品種開発が行われている<sup>26</sup>。民間会社により育成された品種候補は国の機関であるBSA (Bundessortenamt, 連邦品種登録機関)の試験に合格すれば品種として登録される。登録された品種の種子は、民間種苗会社により増殖され<sup>27</sup>、生産者に供給される仕組みとなっている。

このようにドイツでは日本とは違い民間会社により育種が行われているが、自家増殖が可能な小麦において民間による育種が可能となっている要因は次の2点に整理できよう。第一に、品種開発への投資費用を回収できる仕組みが構築されている点である。種子の価格は品種により異なるが、おおよそ50~60ユーロ/100kgであり、このうち約10ユーロ/100kgがライセンス料 (Z-Lizenzgebühr) とし

25 品種登録が行われたとしても奨励品種として採択されなければ、その品種はほとんど普及しない。

26 BDPへの聞き取り調査および Saatguttreuhandverwaltungs-GmbH (種子受託管理会社、STV) 発行の「RATGEBER, Informationen und Sortenliste der STV zur Nachbauerklärung, Aussaat Herbst 2012 / Frühjahr 2013」による。

27 育種会社と種苗会社は密接な関係にあり、品種登録前に種子増殖を行うこともある。なお、種苗会社が種子を増殖する際に各品種の需要量を予想することは難しく、農業コンサルタント等から情報を収集しながら、各品種の増殖量を決定している。



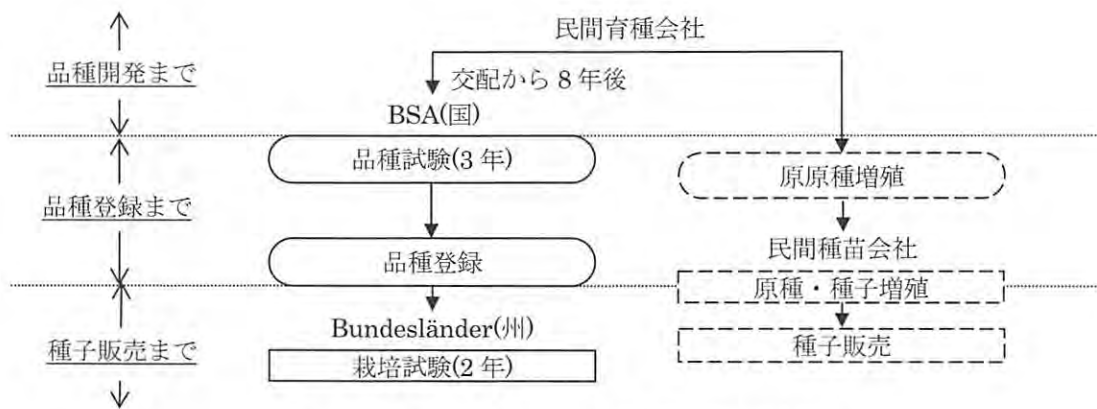


図12 ドイツにおける品種開発から種子供給までの流れ

注：原種・種子増殖および種子販売については、民間育種会社が自ら行う場合もある。  
資料：BDPへの聞き取り調査をもとに作成。

て種子代金とともに回収され、育種会社に支払われる。生産者側からみると種子に対するこのライセンス料の支払いは負担となることから自家採取する者も現れるが、このような場合においても生産者は自家採取した品種と量を民間育種会社が出資する Saatguttorehandverwaltungs-GmbH（種子受託管理会社、以下STV）に申告しライセンス料のおよそ半額のレプリカ料（Nachbauggebühr）をSTVと通じて育種会社に支払うこととなっている。

第二に、小麦の種子市場が日本と比べて大きい点である。先に示したようにドイツの小麦生産量は日本の26倍であり、これは種子の需要量にも反映する。需要の大きさはビジネスとしての規模も示し、また、多くの種子を販売することができれば単位当たりの開発費用を抑えることもできる。このことから、利益を追求する民間会社においても育種が可能となっているのである。

### 3) 品質評価と取引体制

#### (1) 日本における小麦の品質評価と販売の仕組み

日本では特定の品種が長期に渡り作付けされているが、これは前述した日本独自の品種開発・種子供給体制に加え、小麦の取引体制も影響している。日本の小麦は、民間流通のもとで産地品種銘柄ごとに入札され価格形成がなされるとともに、等級（1等または2等）<sup>28</sup> およびランク（A～D）<sup>29</sup>（表9）で

決定された交付金が生産者に支払われる。産地品種銘柄とは、特定の産地においてある程度の面積でその品種が普及すると、生産者団体等<sup>30</sup>が都道府県に対して申請し認められる品種のことである。これは農産物検査法により規定された制度であり、そして、各都道府県においてこの産地品種銘柄として認定されない品種のランクは、その品質の良し悪しに関わらず最も低いDに格付けされてしまう。

等級とランクにより決められる交付金単価は、60kg当たり1等Aで6,450円、2等Aで5,290円、1等Dで5,740円となっており、民間流通による落札価格（2013年産平均2,819円/60kg）と比較すると相対的に高額である。上記のように等級が1等から2等へ低下することで交付金単価が2割近く減少することから、生産者および出荷組織である農協は、まずは小麦の外観維持を重視した行動をとる。具体的には収穫後にふるいや比重選にかけ、等級区分が1等になるよう調製を行うのである。また、品種の変更は、そのような外観そのものが変わるために避けられやすい。一方、ランクがAからDへ低下することでも交付金額は1割以上減少する。生産者は品質に関わらずDランクとなる非産地品種銘柄は選択しない。また、品種が混合した場合もDランクとなるため、試作も含め複数の品種を作付けするという行動は回避されやすい。特に、北海道では小麦の収穫に数戸から数十戸の経営で共有する大型

28 整粒・形質等の農産物検査法（農産物規格規定）による外観を重視した基準。

29 容積重、たんばく質含有量、フォーリングナンバー、灰分といった製粉会社が求める品質を重視した基準。

30 産地品種銘柄は誰でも申請できるが、生産者団体により申請されることが多い。

表9 日本の普通小麦の等級・ランク区分

等級区分	最低限度				最高限度				
	容積重 (グラム)	整粒 (%)	形質	水分 (%)	計 (%)	異種 穀粒 (%)	被害粒, 着色粒, 異種穀粒及び異物		
							異物		
							麦角粒 (%)	なまぐさ 黒穂病粒率 (%)	麦角粒及びなまぐさ 黒穂病粒を除いたもの (%)
1等	780	75	1等標準品	12.5	5.0	0.5	0.0	0.1	0.4
2等	730	60	2等標準品	12.5	15.0	1.0	0.0	0.1	0.6

資料：農林水産省「農産物規格規定（抄）」をもとに作成。

ランク区分

	評価基準	
	基準値	許容値
A	3つ以上達成	全て達成
B	2つ達成	全て達成
C	1つ達成	全て達成
	2つ以上達成	未達成
D	全て未達成	—
	1つ達成	未達成

雑銘柄麦, 異なる銘柄の混合麦

注：基準値, 許容値は, たんぱく, 灰分, 容積重, フォーリングナンバーに関する値であるが, 用途により異なる。

資料：全国米麦改良協会「契約生産奨励金品質改善奨励額ランク区分基準」より転記。

コンバインを用い、収穫後は農協等が所有する大型乾燥調製施設を利用するのが一般的である。そのため、品種の混合を防ぐために地域全体、もしくは施設単位で同一の品種を栽培するという対応がとられる<sup>31</sup>。

さらに、こうした小麦の交付金制度や産地の状況に加えて、日本の製粉産業が大手3社の寡占状態にあることもまた、生産者の品種選択行動に影響を及ぼす。実需者である製粉会社と比較して小麦産地の規模は小さいため、買い手である製粉会社の要求に産地は適応せざるを得ない構造となっている。製粉規模が大きい大規模実需者は、多量のまとまったロットで、かつ、均質（粉としてではなく生産物として均質、すなわち品種が同一）な原料（小麦）の安定的な供給を求めるのであり、そのことが品種の変更を認めない要因ともなる<sup>32</sup>。

以上の事情から、生産者においては複数品種の選択は避けられ、また品種の変更も抑制されることになるのである。さらに、産地品種銘柄の中から製粉会社が要求する品種を作付けることになり、自ら品種の選択を行うことは少ない。こうした生産者の行

動が、日本における小麦品種の交替速度を規定しているといえる。

(2) ドイツにおける品質評価の体制

一方、ドイツでは、小麦は品質によるグループで取引されている。また、小麦販売に関わる交付金はなく、生産者の収入は収穫量と品質により決まる。

表10はドイツにおける中間質小麦のグループ区分を示したものである。品質のよい順にE・A・B（以上、食用）、C（その他、主に飼料用）の4つに分けられているが、ここで注目すべきは品質を区分する値は基準となる品種との差、つまり相対評価で決まるという点である。基準となる品種は、登録品種リストの中から、環境の影響を受けにくい品種、その時代に作付面積が大きい品種がBSA（Bundessortenamt, 連邦品種登録機関）により選ばれる<sup>33</sup>。既存の品種を基準とすることで、生産者は常に今の基準よりも優れた品種を選択しようとし、また、こうした需要を満たすべく育種会社の品種開発も促されることになる<sup>34</sup>。

生産者は、収穫した小麦のグループを品種ごとに品質検査機関（生産者団体、公的および民間検査機

31 品種の切り替え時等、やむをえず2品種以上を同じ機械で収穫する場合、生産者は丸1日をかけてその清掃を綿密に行い品種が混ざらないよう配慮している。

32 小麦産地と製粉会社の関係は河野<sup>[33]</sup>に詳しい。

33 1980年以降、Caribo, Kanzler, Herzog, Batisが基準となった。2012年の基準品種はJuliusである。

34 1983年から2012年までに日本で登録された小麦品種は76であり、ドイツは372である（資料：農林水産省「品種登録データ検索」, BSA「Beschreibende Sortenliste」）。

表10 ドイツにおける中間質小麦のグループ区分

		E: エリート	A: 高品質	B: パン用	C: その他
生地ガス保持性 Julius=100	ml	108.7 以上	99.5 以上	90.3 以上	
生地の弾性		普通, やや強, 強	E+ ややもろい	A+ もろい, 回復性高い	
生地のべたつき		モイスト~普通	モイスト~普通	モイスト~やや乾燥	
フォーリングナンバー Julius との差	秒	-68 以上	-98 以上	-128 以上	基準に満たないもの
粗たんぱく質含有率 Julius=100	%	104.0 以上	98.4 以上	92.8 以上	
セディメンテーション値 Julius との差	ml	-6 以上	-20 以上	-34 以上	
吸水率 Julius=100	%	90.3 以上	87.9 以上	85.5 以上	
製粉歩留 Julius=100	%	92.5 以上	92.5 以上	90.0 以上	

注: Julius は, 2012 年秋播小麦の基準となった品種である。

資料: BSA (Bundesortenamt, 連邦品種登録機関)「Beschreibende Sortenliste 2012」をもとに作成。

関等)に依頼し把握する。そして、販売先である仲買人や製粉会社と価格や搬出時期等について交渉し、より有利な条件のところにグループ別に販売する<sup>35</sup>。販売に際しては、品種は問われず、同一グループに位置づけば、つまり品質が同一であれば、複数品種を混合して販売することができる<sup>36</sup>。小麦を購入した仲買人や製粉会社は、出荷単位ごとに品質調

査を再度行い、代金を清算する。

以上のようにグループが同一であれば複数品種を混合し販売できるドイツの生産者は、登録された多数の品種の中から複数を選択し栽培することが可能となる。これが先に示した1戸当たりの複数品種栽培へとつながり、このことが国全体の品種の置き換わりを促進しているのである。

## IV. 結果と考察

### 1. 分析結果

本稿では、日本における小麦収量の低位性という問題解決に向けて、世界の中でも収量性が高いドイツを事例に、小麦の高収量性の要因を経営的、技術的および制度的条件から調査を行った。

まず、ドイツの調査対象経営における経営的な条件としては、大規模かつ非常に効率的な経営展開を行っている点があげられる。一般的に少ない労働力で大面積を耕作する場合、粗放的な栽培管理となりやすく、収量は低下すると考えられている。しかしA経営およびB経営とも、こうした状況にはない。両経営とも圃場が近接しており、かつ1圃場当たりの区画が大きい。このようないわば農場制に近い圃場条件は、小麦作の集約度を高め、収量向上をもたらす基礎的な条件となっている。また、両経営とも、200馬力を超えるトラクタや刈幅7.5mまたは9.0mのコンバイン等、大型機械を用いて高効率な作業を実施している。これは、作業効率を高めるだけでな

く、作業精度の向上や深耕の実施も可能にし、栽培面でも好適な状況をもたらすものとなっている。そして、次に示すような高収量を実現する栽培を行うための条件を整えている。

技術的条件としては、第一に、大型機械を用いた複数作業の同時遂行といった省力的かつ集約的な技術体系が確立されている点があげられる。第二に、播種床の鎮圧や適期の施肥・防除といった基本に忠実な栽培管理がなされている点があげられる。これは、ECに基づく決め細かな栽培管理に代表されるが、先に述べたように、A経営およびB経営とも、少ない労働力で大面積を耕作しているものの、決して粗放的な技術対応がなされているわけではない。第三に、圃場単位で最適な品種の選択がなされている点があげられる。こうした品種の選択と、追肥を中心とする施肥体系、さらに生育調節剤の利用という一連の技術対応がドイツにおける小麦の多収を可能としていると考えられる。

35 小規模な生産者の場合は協同で販売することもある。

36 各品種は、登録時にそれらが持つ特性によりEからCのグループに分類されるが、この登録時のグループと出荷時のグループは同じとする必要はない。例えば、Bグループに所属する食用品種（パン用）でも、Bグループの基準に満たなければCグループ（主に飼料用）の小麦として販売される。



ところで、ドイツの小麦作経営による新品種の導入には、制度的条件によるところが大きい。ドイツにおける小麦の品質評価方法は、既存品種と比較した相対的な評価となっている。これは、生産者において、基準となる品種よりも品質および収量の面で優れた品種を選択するといったインセンティブが働きやすい仕組みである。また、小麦取引については、産地品種銘柄であるか否かや、外観に関わらず同一グループ（品質）であれば品種を混合して販売することが可能となっている。こうした取引体制のもとで、生産者は品種の交替を毎年のように行っている。さらに、ドイツでは品種普及に関わる成果が、次の品種の開発資金となる仕組みが整えられている。これは、品種の開発と普及が同時に促される体制である。以上の制度的条件から、ドイツにおいては小麦の新品種の普及が促進され、継続した収量向上を実現しているということができよう。

## 2. 日本への示唆と残された課題

以上、聞き取り調査に基づきドイツにおける小麦の収量性が高い要因を経営的、技術的および制度的条件から分析してきたが、これらは、生産力停滞とも呼ぶべき状況にある日本農業にも重要な示唆を与えるものである。このような観点から、日本の小麦の収量性向上に求められることとして、以下の3点を指摘したい。

まず、経営的側面としては、農地の面的集積を通じた圃場の連担化、大区画化を図り、大型機械による高精度、高能率な作業が実施できる圃場条件の構築が必要である。特に圃場条件は、生産性の高い小麦作経営の形成に不可欠である。農地流動化を進める中で、日本においても、ドイツの調査対象経営ほどではないが、100haを超える大規模経営が成立しつつある。しかしそれらの経営の多くは、中小区画の分散圃場での営農を強いられている。これでは真の生産性向上は期待できない。この点からも圃場条

件の整備はまず図っていく必要がある。

また、技術的側面としては、合理的な輪作体系を確立し、地力の維持・向上を進める中で、窒素反応の高い品種を導入しながら、追肥を中心に多収を実現できる栽培技術の構築が求められる。繰り返しになるが、ドイツでは、稠密な栽培管理の実現が収量水準の確保につながっていたことを忘れてはならない。特に、的確な栽培技術に基づく周到な管理がなされていると理解すべきであろう。この点からも、日本における小麦栽培技術の再検討が求められているといえる。

さらに、制度的側面としては、都道府県単位の奨励品種・産地品種銘柄ではなく、優れた品種は都道府県に関係なく栽培できる仕組みの構築が求められる。また外観等級ではなく製粉段階での成分による品質評価を中心とし、同じ品質であれば複数品種を混合しても生産者の収入が低下しない仕組みの構築も必要である。こうした制度的条件を整えば、よりよい特性を持った品種が早期に普及していく環境が整備できる。このような制度的条件は長い歴史があり、短期的に改善していくことは困難ではあるが、しかし、これら品種の開発・普及に関わる制度的条件の変更なしに新品種の普及を促進し、収量向上を実現することもまた難しいのである。

本稿では、日独における小麦の収量格差に関する要因分析を経営的・技術的・制度的条件という3つの観点から明らかにしてきた。しかしながら、各々の要因がどの程度、収量向上に貢献しているのかについては明らかとなっていない。この点については、今後分析を進めていく必要がある。

さらに、ここでは小麦作に着目したが、海外と比較した作物の生産性の停滞という状況は他の作物でも共通する問題である。これら他の作物に関する分析も今後実施していく必要がある。

付記：本稿は、関根久子・梅本雅<sup>(18)</sup>を一部に含む。

## V. 摘要

本稿では、日本の小麦収量の低位性という問題の解決に向けて、ドイツの小麦作との比較を通して、収量性を規定している要因を、経営的、技術的、制度的条件から分析した。

まず、経営的側面としては、ドイツでは面的に集積された大区画圃場のもとで、大型機械を用いた高能率な作業が行われており、いわば農場制農業とも呼ぶべき圃場条件と大型機械を十分に稼働できる規

模的条件が整っていた。また、技術的条件としては、省力的かつ集約的な技術体系が確立されており、大規模であっても決して粗放的な管理がなされているわけではなかった。さらに、制度的条件としては、既存品種と比較した品質評価方法がとられている点や、産地品種銘柄であるか否かや、外観に関わらず同一グループ（品質）であれば品種を混合して販売することが可能となっている点があげられる。こうした品質評価および取引体制は、生産者の品種変更を阻害せず、新しい品種、つまり収量性が高い品種

のより迅速な普及、さらには開発を加速している。

このようなドイツにおいて高い収量水準を実現している条件を踏まえると、日本においても今後は、農地の面的集積による圃場の連担化・大区画化を通して小麦作の一層の規模拡大を図るとともに、窒素反応の高い品種を導入しながら、追肥を中心に多収を実現できる栽培技術を構築していくこと、さらに、その前提となる新品種の早期の普及が促進されるための制度面での改善を図っていく必要がある。

## 引用文献

1. Jutta Ahlemeyer and Wolfgang Friedt (2010) Progress in Winter Wheat Yield in Germany -What's the Share of the Genetic Gain? Tagung der Vereinigung der Pflanzenzüchter und Saatgutkaufleute Österreichs 2010, 61, 19-23
2. 荒幡克己 (2014) “減反40年と世界の稲作－日本稲作の競争力はどう変化したか－”. 減反40年と日本の水田農業, 農林統計出版, 15-132
3. R. B. Austin, J. Bingham, R. D. Blackwell, L. T. Evans, M. A. Ford, C. L. Morgan and M. Taylor (1980) Genetic Improvements in Winter Wheat Yields since 1900 and Associated Physiological Changes. The Journal of Agricultural Science, 94(3), 675-689
4. R. B. Austin, Margaret A. Ford and C. L. Morgan (1989) Genetic Improvement in the Yield of Winter wheat: a Further Evaluation. The Journal of Agricultural Science, 112(3), 295-301
5. 淡路和則 (1994) “農業経営の組織化－ドイツのマシーネンリング－”. 先進国 家族経営の発展戦略 独・仏・日 それぞれの進路, 農山漁村文化協会, 21-78
6. M.A. Bell, R.A. Fischer, D. Byerlee and K. Sayre (1995) Genetic and Agronomic Contributions to Yield Gains: A Case Study for Wheat. Field Crops Research, 44, 55-65
7. Nadine Brisson, Philippe Gate, David Gouache, Gilles Charmet, François-Xavier Oury and Frédéric Huard (2010) Why are Wheat Yields Stagnating in Europe? A Comprehensive Data Analysis for France. Field Crops Research, 119, 201-212
8. D. F. Calderini, M. F. Dreccer and G. A. Slafer (1995), Genetic Improvement in Wheat Yield and Associated Traits. A Re-examination of Previous Results and the Latest Trends. Plant Breeding, 114, 108-112
9. 伊東正夫 (1973) “土壌学と生産力可能性分級”. 経済的土地分級の研究－農業への適用－, 東京大学出版会, 183-208
10. 和泉真理 (2010) ドイツの農業後継者. 一般社団法人JC総研研究員 Report/ グローバル WATCHER EUの農業・農村・環境シリーズ, 第15回, 1-5
11. Nicholas G. Kalaitzandonakes, Brad Gehrke and Maury E. Bredahl (1994) Competitive Pressure, Productivity Growth, and Competitiveness. Competitiveness in International Food Markets, Westview Press, 169-187
12. 後藤寛治 (1990) ヨーロッパにおけるコムギの収量事情. 日本作物学会紀事, 59 (2), 390-394
13. 河野恵伸 (2011) 品種開発からみた農産物の製品計画の課題. フードシステム研究, 18 (3), 319-324
14. 黒河功 (2013) “道産小麦の蘇生”. 北海道農業発達史. 一般社団法人北海道地域農業研究所, 173-199
15. 小田俊介 (2013) “各論：作物育種”. 麦類の収量性向上に向けた今後の研究展開, NARO 戦略レポート, 4, 103-107
16. 齋藤陽子 (2011a) “北海道における小麦育種目標の変遷とその成果－肥料反応関数による接近－”. 小麦品種改良の経済分析－その変遷と品質需要対

- 応－，農林統計協会，81-97
17. 齋藤陽子（2011b）“小麦品種改良の品質重視型技術進歩”，小麦品種改良の経済分析－その変遷と品質需要対応－，農林統計協会，99-117
  18. 関根久子・梅本雅（2014）小麦品種の開発・普及に関する現状と課題－小麦の新品種開発・普及プロセスに関する日独比較分析－，日本農業経済学会論文集，2014，48-53
  19. 津谷好人（1994）“ドイツ－多様な顔をもつ条件不利地域対策”，ECの農政改革に学ぶ－苦悩する先進国農政－，農文協，181-243
  20. 渡邊和洋（2014）“各論：栽培”，ヨーロッパにおける多収コムギの現状調査，NARO戦略レポート，5，23-33
  21. J. C. Zadoks, T. T. Chang and C. F. Konzak (1974) A Decimal Code for the Growth Stages of Cereals. Weed Research, 14, 415-421



# Comparison of the factors responsible for the wheat yield gap between Japan and Germany

Hisako Sekine<sup>\*1</sup> and Masaki Umemoto<sup>\*2</sup>

## Summary

Currently, German wheat yield is 7.0 t/ha higher than Japanese yields. In this study, we investigated from three perspectives why wheat yield is higher in Germany than in Japan: the characteristics of the wheat farms, cultivation techniques, and regulations on wheat quality classification and marketing. German wheat farmers cultivate wheat efficiently using high-powered machinery in large fields. They manage their farms intensively despite the large scale. Germany's wheat is sold by the quality group. Farmers can sell mixtures of several varieties that are classified in the same quality groups. This marketing system encourages farmers to introduce new varieties with stronger disease resistance and higher yield. In contrast, Japanese farmers manage much smaller fields, have access to small-powered machinery and sell wheat by the varieties due to the marketing regulations. Japanese farmers should consider consolidating their fields to take advantage of economies of scale and should develop new cultivation techniques appropriate for this revised approach. The Japanese government should also look for ways to encourage farmers to introduce new varieties.

---

\*1 NARO Agricultural Research Center, Farm Management Division

\*2 NARO Agricultural Research Center, Department of Planning and General Administration

# 機械除草と米ぬか散布等を組み合わせた 水稲有機栽培体系の抑草効果と収量性

三浦重典<sup>\*1</sup>・内野 彰<sup>\*1</sup>・野副卓人<sup>\*1</sup>・田澤純子<sup>\*1</sup>・吉田隆延<sup>\*2</sup>・水上智道<sup>\*2</sup>・  
鄭 凡喜<sup>\*3</sup>・万 小春<sup>\*1</sup>・仲川晃生<sup>\*4</sup>・中谷敬子<sup>\*1</sup>・澁谷知子<sup>\*1</sup>・白石昭彦<sup>\*1</sup>・  
今泉智通<sup>\*1</sup>・青木大輔<sup>\*5</sup>・松岡宏明<sup>\*1</sup>

## 目 次

I. はじめに.....	55	5. 水稲の収量および形質.....	61
II. 材料と方法.....	56	6. 雑草の埋土種子数の推移.....	62
1. 試験圃場の設定.....	56	7. 有機栽培圃場の収量変動要因の解析.....	62
2. 有機栽培圃場の栽培体系.....	57	IV. 考察.....	63
3. 栽培概要.....	57	1. 高精度水田用除草機と米ぬか散布等による 除草法の雑草抑制効果.....	63
4. 調査項目と方法.....	59	2. 水稲の欠株率、生育および収量性.....	65
III. 結果.....	60	3. まとめ.....	66
1. 試験地の気象条件.....	60	謝辞.....	66
2. 高精度水田用除草機と米ぬか散布等による 除草法の雑草抑制効果.....	60	V. 摘要.....	67
3. 機械除草作業による欠株率.....	60	引用文献.....	67
4. 水稲の生育.....	60	Summary.....	69

## I. はじめに

わが国では環境保全や農産物の安全性に対する国民の関心は高く、有機農産物に対する需要は着実に増加している。2006年に制定された「有機農業の推進に関する法律（有機農業推進法）」では、自然循環機能の増進や環境負荷軽減に資する有機農業の推進に関する施策を国などが総合的に講じ、有機農業の発展を図ることを謳っている。しかし、農産物の総生産量に占める有機農産物の生産量（有機JAS格付量）の割合は0.24%に過ぎない（農林水産省<sup>(23)</sup>）。この原因として、わが国では汎用的な有機栽培技術が確立していないため、有機農業への新規参入が進まないことが一因として挙げられる。この

うち水稲の有機栽培技術は、これまで一部の先進的な生産者の経験と工夫により組み立てられてきたことから、投入する資材や育苗、水管理、除草等の技術および栽培管理法は生産者独自のものが多い。また、各技術等の有効性、適用範囲および問題点等は、科学的なデータとして十分に提示されているとはいえない。

水稲の有機栽培では、直接労働に係る労働時間の約3割を除草作業が占めており（農林水産省<sup>(22)</sup>）、雑草対策が最も重要な課題である。しかし、化学合成除草剤を使用できない有機栽培では、単一の抑草技術で雑草害を防ぐことは困難である。このため、

平成26年7月23日受付 平成27年1月5日受理

\*1 農研機構中央農業総合研究センター

\*2 農研機構生物系特定産業技術研究支援センター

\*3 シンテックリサーチジャパン株式会社

\*4 農研機構本部

\*5 福井県立大学

栽培地域の気象や有機栽培圃場の条件等に合わせ、複数の抑草技術を組み合わせた雑草対策を講じる必要がある。有機栽培で利用可能な抑草技術には、機械やチェーンによる除草、米ぬかやくず大豆等の有機物散布、紙マルチの利用、複数回代かき等が挙げられる。このうち、機械除草に関しては、近年、多目的田植機に装着可能な高精度水田用除草機等の除草機械が開発、販売されている。高精度水田用除草機を利用した場合、除草作業の効率が高く、水稲の条間部分には比較的安定した抑草効果があるが、株間の除草効果が不十分であることが指摘されている(荒井・酒井<sup>(5)</sup>、菊池・野沢<sup>(10)</sup>、安達・月森<sup>(11)</sup>)。米ぬかに関しては、土壌表面処理によりヒメタイヌビエやコナギ等の水田雑草の発芽が抑制されることが報告されている(室井ら<sup>(18)</sup>、中井・鳥塚<sup>(19)</sup>)。しかし、これらの報告では、各抑草技術が水稲の生育や収量に及ぼす影響については明らかではない。また、有機JASに基づいて栽培管理をした圃場を対象に、各種抑草技術の効果と水稲の生産性との関係を論じた文献は少なく、原田ら<sup>(8)</sup>による紙マルチを利用した有機栽培に関する報告以外で

は、佐々木ら<sup>(26)</sup>の短報等が散見される程度である。

そこで、筆者らは、先進的な生産者の技術を参考にしつつ、入手しやすい資材や労働生産性の高い機械等を利用した有機栽培体系を提示することを目的に、有機JASに適合した有機栽培を試験圃場で実践することとした。特に問題となる雑草対策としては、作業効率および水稲条間の抑草効果が高い高精度水田用除草機を中核とし、これに雑草の発芽抑制効果が示唆されている米ぬかの散布をはじめ雑草の埋土種子低減に有効と考えられる2回代かき等を組み合わせた除草体系により高い抑草効果を実現しようと試みた。本報告では、有機栽培開始から6年間の有機栽培圃場における水稲と雑草の生育を調査するとともに、水稲の生育・収量については慣行栽培と比較しながら解析することで、汎用的な水稲の有機栽培体系について総合的に検討したので報告する。

本研究の一部は、農林水産省の農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業(課題名「機械除草技術を中核とした水稲有機栽培システムの確立と実用化」)により行われた。

## II. 材料と方法

### 1. 試験圃場の設定

試験は2008年～2013年に茨城県つくばみらい市の中央農業総合研究センター谷和原水田圃場(土壌は灰色低地土)で実施した。試験圃場は、栽培法によって有機栽培圃場と慣行栽培圃場を別々に設定した。有機栽培圃場は、2008年に有機栽培を開始した圃場2筆とした。ただし、有機JAS法では植付け前2年以上の間、本規格の基準に従い生産された農産物を有機農産物と定義している。このため、本

試験は正確には有機栽培転換期間中の圃場および有機栽培圃場で実施したこととなるが、ここでは一括して有機栽培圃場と表記する。慣行栽培圃場は、2008年から2009年が1筆、2010年以降が3筆(ただし2011年は2筆)とした。各圃場の面積、使用年次および試験使用開始年の土壌の化学性については表1に示すとおりである。なお、谷和原水田圃場は概してコナギの発生が多いが、どの圃場も通常の慣行除草体系(一発処理剤のみ、または一発処理剤

表1 試験圃場の面積、使用年次および使用開始年の土壌の理化学性

栽培法(圃場)	面積(a)	年次						土壌の化学性				
		2008年	2009年	2010年	2011年	2012年	2013年	pH	全窒素(%)	全炭素(%)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mgkg <sup>-1</sup> )	K <sub>2</sub> O(mgkg <sup>-1</sup> )
有機栽培	Y1	9	○	○	○	○	○	6.0	0.36	4.8	61	302
	Y2	4	注1)	○	○	○	○	6.6	0.20	2.3	92	225
慣行栽培	K1	8	○	○	○	○	○	6.3	0.32	4.1	67	389
	K2	5		○	○	○	○	6.5	0.18	2.1	93	253
	K3	5			○	注2)	○	6.2	0.19	2.1	80	227

注1) 本試験には使用しなかったが有機栽培を実施

注2) 本試験には使用しなかったが慣行栽培を実施

注3) 土壌は各圃場の使用開始年の4月に作上層(0~10cm)から採取し十勝農協連産化学研究所に分析を依頼

注4) P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>はトルオーグ法により測定した有効態リン酸含量



と広葉雑草対象の中・後期剤の体系処理)で防除可能な発生程度である。本試験ではコナギの発生が比較的少ない2筆の圃場を用いて有機栽培を開始した。

## 2. 有機栽培圃場の栽培体系

有機栽培圃場の水稲の栽培体系は、有機栽培農家で行われている作業(稲葉<sup>9)</sup>)等を参考にして組み立てた(表2)。有機栽培の水稲の移植時期については、①中苗以上を移植する機会が多く育苗期間が長期間となること、②複数回代かきを行う場合には3~4週間の湛水期間が必要であること、③移植作業と除草作業との競合を回避できること、④水稲の初期生育が早く雑草抑制に有利と考えられること等から、慣行栽培に比べて遅く移植する生産者が多い。このため、本試験では、茨城県における水稲(コシヒカリ)慣行栽培の標準移植期である5月中旬より遅く、収量ポテンシャルが大きく低下しないと考えられる6月上旬に中苗を移植することとした。雑草対策は、高精度水田用除草機と米ぬか散布を中核技術とし、これに2回代かきを組み合わせた除草体系とした。なお、移植後は常時湛水状態を維持するために慣行栽培よりもやや深い5~10cmの湛水深で管理した。高精度水田用除草機は、乗用型多目的田植機の機体後部に接続可能な除草装置であり、国内の農機具メーカー3社から市販されている。本機には、高速回転する横軸回転ロータで水稲の条間を除草し、水平左右に揺動するレーキで株間を除草する方式の除草機構が採用されている(宮原<sup>16)</sup>)。本試験では、図1に示すように、田植機本体の肥料ホッパから除草機の後部にホースを取り付け、機械

除草と同時に土壌表面に米ぬかが散布できるよう高精度水田用除草機を改良した。2011年以降は、田植ユニットの側条施肥部分を取りはずしビニールホースを接続することにより、移植と同時に米ぬかが散布できるよう工夫した(図2)。米ぬかは、肥料ホッパ内の目皿やホース内での目詰まりを少なくするために無洗米製造工程で粒状に成形されたもの(市販品)を購入して用いた。有機栽培体系の雑草抑制効果を評価するために、圃場の一部に機械除草と米ぬか散布を行わない雑草放任区を設定した。移植時に米ぬか散布を行った2011年以降は、肥料ホッパの施肥スイッチを停止することにより、雑草放任区へ米ぬかが散布されないよう留意した。

## 3. 栽培概要

### 1) 育苗

育苗には、有機栽培圃場、慣行栽培圃場とも市販の無消毒種子(品種はコシヒカリ)を使用した。有機栽培用の種子は、2.2mmのふるいで選別後に60℃で10分間の温湯消毒を行った。浸種・催芽後、市販の有機育苗培土(焼成赤玉土に乾燥オカラ、グアノ粉末等を混合したもの)をつめた育苗箱に吸水粉80g(乾粉で60g相当)を均一に播種、覆土し30℃の恒温器で出芽させた。出芽後は移植まで屋外で約5週間プール育苗を行った。慣行栽培用の種子は、オキシリニック酸20%・プロクロラズ5%水和剤の200倍希釈液に24時間浸漬後、浸種・催芽を行った。播種量は育苗箱1箱当たり吸水粉180g(乾粉で135g相当)とし、慣行法に従って約4週間育苗した。移植時の苗の葉齢(不完全葉を除く)、草丈および乾物率は、それぞれ6年間の平均で有機栽

表2 有機栽培圃場の作業と導入した技術・機械および導入目的の概要

時期	作業	導入した技術・機械等	導入目的の概要
1~5月	耕起、整地	レーザーレベラー <sup>1)</sup> 、ロータリー	圃場の均平化
5月上旬	播種、育苗	温湯種子消毒、プール育苗	病害防除、健苗育成
5月上旬~中旬	施肥、入水 代かき	有機質肥料施肥 2回代かき(5月中旬と移植1~2日前)	養分供給 雑草抑制
6月上旬	移植	中苗移植 <sup>2)</sup> 、米ぬか散布 <sup>3)</sup> 移植後の湛水管理(水深5~10cm)	初期生育確保、雑草抑制 雑草抑制
6月中旬~下旬	除草	高精度水田用除草機、米ぬか散布 (移植日から約10日おきに2回)	雑草抑制
7月中旬~	中干し		根への酸素供給ほか
8月上旬	追肥	有機質肥料追肥 <sup>3)</sup>	養分供給
9月下旬	収穫	収穫後耕起(できるかぎり早く)	雑草種子の増加防止

注1) レーザーレベラーによる圃場の均平化は2008年のみ実施

2) 移植時の株間は、2008~2010年が21cm、2011~2013年は18cm

3) 移植時の米ぬか散布と有機質肥料追肥は2011~2013年の試験で実施





図1 高精度水田用除草機による機械除草同時米ぬか散布作業



図2 田植ユニットの改良 (左) と移植同時米ぬか散布の状況 (右)

培用が4.1 齢, 18.8cm, 21.4%, 慣行栽培用が2.4 齢, 15.0cm, 20.7%であった。

## 2) 本田管理

有機栽培圃場は、表2に示す栽培体系を基本に作業を実施した。各年とも移植の約4週間前に元肥としてフェザーミール、魚粕等を成分とした市販の有機質肥料(有機アグレット666特号:朝日工業株式会社)を施用した。施肥量は2008年~2010年がN, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>Oで各成分5 gm<sup>-2</sup>, 2011年~2013年がN, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>Oで各成分3 gm<sup>-2</sup>とした。その後5月上旬~中旬にかけて入水し、代かきハローにより代かきを行った。代かき後はそのまま湛水を続け、移植日の1~2日前に再度代かきを行って湛水期間中に発生した雑草を土中に埋め込んだ。移植は6月5日~11日に6条植えの多目的田植機を用いて行った。栽植様式は2008年~2010年が条間30 cm×株間21 cm, 2011年~2013年が条間30 cm×株間18 cmとし、移植後は欠株がないよう補植した。圃場の両端から約2 mは、高精度水田用除草機が旋回する枕地とし、水稻の移植は行わず枕地に発生した雑草は刈払機等で定期的に除去した。

高精度水田用除草機による除草作業は、移植から約10日目および20日目の計2回行った。なお、多目的田植機(除草機)は、移植時および除草時ともに同じ位置(轍)を走行した。除草作業時の水位は3 cm程度とし、作業速度は0.4~0.5 ms<sup>-1</sup>で作業後は速やかに水位を5 cm以上とした。減水深が大きくなった場合にも土壌表面が露出しないよう、移植から中干し期(7月下旬)までは水位を5~10 cm程度の湛水状態で維持・管理した。2008年~2010年は除草作業時(合計2回)、2011年~2013年は移植時と1回目の除草作業時(合計2回)に、米ぬかを毎回約50 gm<sup>-2</sup>(合計約100 gm<sup>-2</sup>)散布した。2011年~2013年は中干し終期に元肥と同じ有機質肥料をN, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>Oで各成分2 gm<sup>-2</sup>追肥した。

慣行栽培圃場は、化成肥料をN, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, K<sub>2</sub>Oで各成分5 gm<sup>-2</sup>施用し耕うんした後に入水して、移植日の2~3日前に代かきハローにより代かきを行った。5月中旬に稚苗を条間30 cm×株間15~21 cmで移植した。除草剤は、各年とも移植約10日後にジメタメトリン0.6%・ピラゾレート12%・プレチラクロール4.5%・プロモブチド6%混合粒剤を10 aあたり1 kg散布した。その後、水深3~5

cm 程度で管理し、中干し期（7月上旬）に化成肥料でNおよびK<sub>2</sub>Oを各成分3 gm<sup>-2</sup>追肥した。また、中干し期に移植約6週間後の雑草調査を行った後、ベンタゾンナトリウム塩40%液剤の200倍希釈溶液を10 a当たり100リットル散布した。栽培期間中は化学農薬を用いた病害虫の防除は行わなかった。各圃場の移植日、除草日は表3に示すとおりである。

### 3) 収穫

観察により全穂数の80%程度の穂首が黄化した日（成熟目安）から1週間以内に収穫期の調査を行った。各圃場の収穫（坪刈り）日は表3に示すとおりである。収穫調査後、コンバインによる全刈りを行い、稲わらのみ全量圃場に還元した。

## 4. 調査項目と方法

### 1) 気象データ

試験期間中の気温および降水量は、谷和原水田圃場内に設置されている気象観測装置の観測データを利用した。

### 2) 雑草の埋土種子数の調査

試験圃場の土壌採取は圃場への入水前に行った。各圃場を3~4ブロックに分割し、ブロックごとに直径2.5 cmの円筒の採土器を用いて0~10 cmの作土層20箇所程度の土壌を採取し混合した。土壌は温室内で自然乾燥させた後100 gを雑草埋土種子数の調査に供試した。雑草埋土種子数の調査は、小林・渡邊<sup>(1)</sup>の方法に従って実施し、土壌の乾燥密

度を1として埋土種子数をm<sup>2</sup>あたりに換算した。

### 3) 雑草の生育（残存）量の調査

有機栽培圃場では、各年とも移植約6週間（42日~47日後）に雑草の生育量を調査した。水稲が移植されている列を中心に左右7.5 cm計15 cm幅部分を株間、それ以外の15 cm幅部分を条間として、それぞれ0.3 m<sup>2</sup>（2010年以降は0.15 m<sup>2</sup>）の雑草の地上部を4箇所から採取した。雑草放任区は、移植直後にプラスチックダンボールで50 cm×50 cm枠を4箇所設置し、枠内の雑草を同日に採取した。採取した雑草は、熱風式乾燥機で80℃2日間乾燥後に乾物重を測定した。収穫期には、有機栽培圃場の除草区と慣行栽培圃場において、4)で示す収穫期調査後の地面に残存していた雑草を採取し、上記と同法で乾燥後に乾物重を測定した。

### 4) 水稲の生育期および収穫期の調査

有機栽培圃場の水稲の欠株率は、第1回目および第2回目の除草作業後に各圃場240~480株について調査した。草丈および葉色としてSPAD値（ミノルタ社製SPAD-502）は概ね7~10日間隔で、慣行栽培圃場および有機栽培圃場それぞれ10~20個体を調査した。茎数は概ね10~14日間隔で5個体×3箇所を調査した。収穫期には両圃場それぞれ3~4箇所、各20個体について稈長および穂長を立毛状態で計測した。収量調査として、約2m<sup>2</sup>の範囲内の水稲を両圃場3~4箇所刈り取り、玄米収量（水分含量15%換算）および穂数、千粒重等の形質を調査した。

表3 年次・圃場別の移植、機械除草、収穫作業日

年次	圃場	移植	機械除草 1回目	機械除草 2回目	収穫 (坪刈り)
2008年	有機栽培	6月11日	6月20日	6月30日	9月25日
	慣行栽培	5月19日	-	-	9月25日
2009年	有機栽培	6月9日	6月19日	6月29日	9月28日
	慣行栽培	5月15日	-	-	9月16日
2010年	有機栽培	6月11日	6月21日	7月1日	9月29日
	慣行栽培	5月14日	-	-	9月15日
2011年	有機栽培	6月10日	6月20日	6月30日	9月29日
	慣行栽培	5月19日	-	-	9月14日
2012年	有機栽培	6月8日	6月18日	6月28日	9月24日
	慣行栽培	5月18日	-	-	9月12日
2013年	有機栽培	6月5日	6月14日	6月24日	9月19日
	慣行栽培	5月17日	-	-	9月10日



### Ⅲ. 結果

#### 1. 試験地の気象条件

表4に栽培期間における年次別の平均気温と降水量を示す。気温は、いずれの年も平年並または平年以上の旬が多かった。特に2010年は、有機栽培圃場の移植から除草作業までの期間に相当する6月中旬と下旬の平均気温が22.9℃と24.8℃で、平年よりそれぞれ2.3℃および3.7℃高かった。その後も9月上旬頃まで高温傾向は続き、8月の平均気温は約28℃、月間降水量は9mmで高温・少雨の傾向が顕著であった。

#### 2. 高精度水田用除草機と米ぬか散布等による除草法の雑草抑制効果

有機栽培圃場の埋土種子数が最も多かった2011年の雑草の残存数と構成比を表5に示す。有機栽培圃場での最優占雑草種はコナギで全体の60%を占めており、そのほか、タマガヤツリ(14%)、イヌホタルイ(9%)等が存在したがヒエ類はほとんどみられなかった。他の年次においても優占する雑草種に大きな違いはなかった。有機栽培圃場における移植6週後の雑草の乾物重を表6に示す。高精度水田用除草機と米ぬか散布による抑草効果は、各年とも条間では極めて高く、雑草乾物重は雑草放任区の2%以下であった。一方、株間の雑草乾物重は雑草放任区の6~35%となり条間に比べると年次変動が大きく残草量が大きかった。年次別では、2010年が除草区、雑草放任区とも雑草乾物重が最も大き

かった。水稲収穫期における雑草の乾物重を図3に示す。有機栽培圃場では、移植後6週後の調査と同様に2010年の雑草乾物重が60 gm<sup>-2</sup>で最も大きく、米ぬか散布時期を移植時に変更し栽植密度を高めた2011年以降は雑草乾物重が小さい傾向にあった。

#### 3. 機械除草作業による欠株率

有機栽培圃場における機械除草作業後の水稲の欠株率を図4に示す。欠株率は年次により変動があり、1回目の除草作業後で1.5~9.7% (平均は4.4%)、最終的には1.8~12.1% (平均は6.0%) となった。苗の位置別の欠株率は、車輪の外側で高く、車輪の走行がない部分で低かった(データ省略)。除草作業中、多目的田植機本体が傾くことにより車輪外側の土が苗ごと押し出され、その上を除草機が通過して著しい欠株が生じる現象が観察された。

#### 4. 水稲の生育

水稲の草丈は、有機栽培圃場の移植日が遅かったこともあり慣行栽培圃場に比べ有機栽培圃場で高く推移した(図5)。移植から出穂までの平均日数は、有機栽培圃場で64日、慣行栽培圃場で78日であった。出穂期で比較すると有意差はなかったが有機栽培圃場で草丈は高い傾向にあった(表7)。最高分け期の茎数は2013年を除き慣行栽培圃場で多い傾向にあったが、乾物重とSPAD値は有機栽培圃場で有意に大きかった(表7)。なお、病害虫に関

表4 年次別の気温と降水量 (中央農業総合研究センター谷和原圃場気象観測装置の観測データ)

項目	年次	5月		6月		7月		8月		9月				
		下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬			
気温(℃)	2008年	18.5	19.3	20.8	20.6	24.1	25.9	26.2	27.3	26.1	23.1	25.0	23.0	19.6
	2009年	19.4	19.7	20.1	23.3	23.6	25.8	25.4	25.2	25.5	23.9	22.3	20.4	20.9
	2010年	17.6	19.4	22.9	24.8	25.4	26.2	28.0	28.0	27.9	28.4	27.3	23.9	19.2
	2011年	17.1	19.6	20.9	25.1	26.8	27.8	23.5	26.6	27.8	24.0	25.9	25.8	19.2
	2012年	18.7	20.0	20.0	20.0	23.2	26.1	26.2	26.8	27.5	28.1	25.9	26.3	20.9
	2013年	20.5	20.3	22.7	21.4	26.0	25.6	24.8	27.1	28.7	26.1	25.2	23.9	20.6
	平年	18.5	19.8	20.6	21.1	22.7	24.1	25.3	26.0	25.6	25.3	24.1	22.3	20.0
	降水量(mm)	2008年	56	22	31	90	6	14	19	25	57	262	0	61
2009年		104	19	112	77	24	5	30	118	0	101	0	12	4
2010年		47	3	55	41	37	5	49	6	3	0	106	77	224
2011年		141	38	72	14	16	46	53	10	98	55	27	18	115
2012年		61	59	77	43	66	43	6	10	9	0	56	12	77
2013年		19	1	57	84	1	4	53	4	15	74	35	106	11
平年		41	29	57	60	52	36	29	43	34	43	45	74	66

注1) 平年の値は気象庁「気象データ」の茨城県龍ヶ崎の観測データ(1981年~2010年)

2) 気温データの下線は平年より2℃以上高い値

表5 有機栽培圃場の雑草種別残存本数と構成比 (2011年7月)

草種(類)	本数(本 m <sup>-2</sup> )	構成比(%)
コナギ	2,439	60.1
タマガヤツリ	561	13.8
イヌホタルイ	378	9.3
アゼナ類 <sup>注2)</sup>	350	8.6
ヒエ類 <sup>注3)</sup>	17	0.4
その他	311	7.7
合計	4,056	100.0

注1) 雑草放任区のデータ  
 2) アゼナ、アメリカアゼナ、タケトアゼナを区別せずに調査  
 3) タイヌビエ、イヌビエ、ヒメタイヌビエを区別せずに調査

表6 有機栽培圃場の雑草乾物重 (移植6週後)

年次	処理	条間 (gm <sup>-2</sup> )	株間 (gm <sup>-2</sup> )
2008年	除草区	1.5 (2)	11.1 (16)
	雑草放任区		68.5 (100)
2009年	除草区	0.4 (1)	10.5 (35)
	雑草放任区		30.3 (100)
2010年	除草区	1.8 (1)	59.0 (30)
	雑草放任区		193.7 (100)
2011年	除草区	0.7 (1)	13.0 (17)
	雑草放任区		76.3 (100)
2012年	除草区	0.3 (0)	10.6 (14)
	雑草放任区		73.3 (100)
2013年	除草区	0.1 (0)	5.5 (6)
	雑草放任区		87.3 (100)

注1) 雑草放任区は条間と株間を区別せず調査  
 2) ( ) 内は雑草放任区を100とした時の相対値

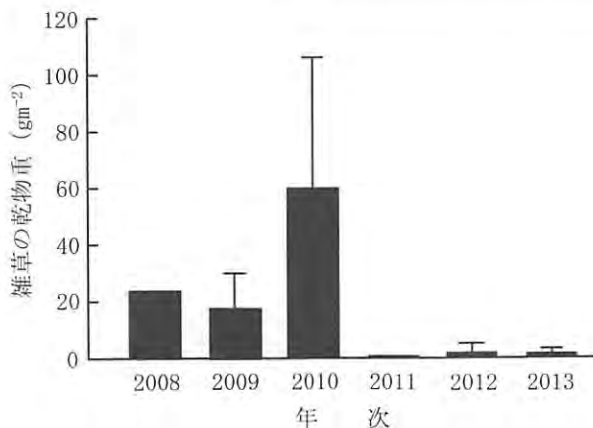


図3 有機栽培圃場の雑草乾物重 (収穫期)

注) 図中のバーは標準偏差 (n=2)

しては、有機栽培圃場、慣行栽培圃場ともに葉いもち病、紋枯病(2010年のみ)およびカメムシ類等の発生が観察されたが、いずれも軽微であった。

### 5. 水稲の収量および形質

収穫期に調査した水稲の形質および精玄米収量について表8に示す。有機栽培圃場の精玄米収量は6年間の平均で497 gm<sup>-2</sup>となり慣行栽培圃場の96%であった。年次別にみると2010年が469 gm<sup>-2</sup>で慣行栽培圃場に比べ約16%の大幅な減収となった。穂数は、有機栽培圃場で有意に少なかった。有意差

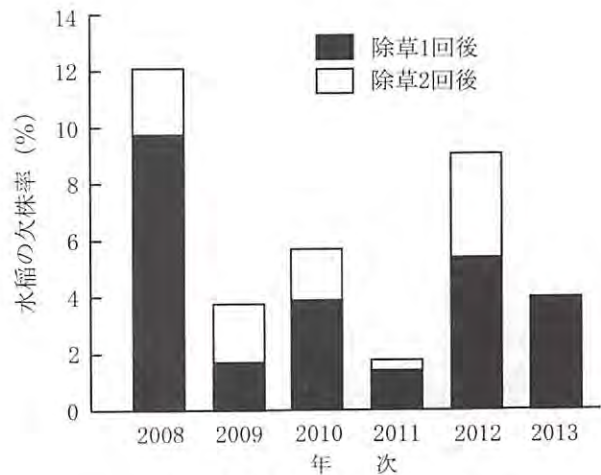


図4 除草作業後の水稲の欠株率

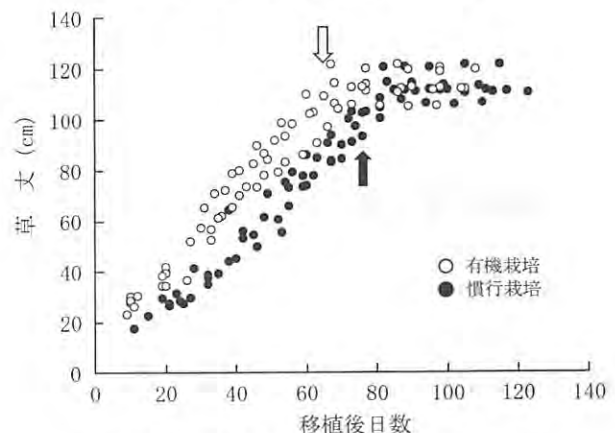


図5 草丈の推移 (2008年~2013年)

注) 図中の矢印は出穂までの日数(6年間の平均)

表7 年次・圃場別の最高分けつ期と出穂期の形質

年次	圃場 (栽培法)	最高分けつ期			出穂期	
		莖数 (本 m <sup>-2</sup> )	乾物重 (gm <sup>-2</sup> )	SPAD 値	草丈 (cm)	SPAD 値
2008年	有機栽培	384.1	287.3	41.1	103.1	33.6
	慣行栽培	520.0	280.0	33.7	103.3	31.2
2009年	有機栽培	385.2	287.0	41.6	109.6	35.8
	慣行栽培	446.3	192.1	36.9	100.7	30.3
2010年	有機栽培	309.1	286.0	38.9	110.3	34.5
	慣行栽培	394.8	182.8	33.6	97.6	35.5
2011年	有機栽培	395.4	304.1	37.4	102.5	34.5
	慣行栽培	410.3	255.4	30.1	102.8	33.3
2012年	有機栽培	395.1	319.1	35.7	97.3	31.8
	慣行栽培	449.2	209.9	31.8	91.9	30.4
2013年	有機栽培	545.2	289.2	39.8	104.5	34.8
	慣行栽培	492.2	296.7	29.9	103.3	30.4
平均	有機栽培	402.4	295.4	39.1	104.5	34.2
	慣行栽培	452.1	236.2	32.7	99.9	31.8
有機/慣行 (%)		89.0	125.1	119.7	104.6	107.3
分散分析	年次 (5)	ns	ns	ns	ns	ns
	圃場 (1)	ns	*	*	ns	ns
	年次×圃場	ns	ns	ns	ns	ns

注) 分散分析欄の ( ) 内は自由度, \*は5%水準で有意差あり, nsは有意差なし

表8 年次・圃場別の収穫期の形質

年次	圃場 (栽培法)	稈長 (cm)	穂長 (cm)	穂数 (本 m <sup>-2</sup> )	もみわら 比	精玄米収量 (gm <sup>-2</sup> )	玄米千粒重 (g)
2008年	有機栽培	89.3	18.8	307	0.92	521	21.2
	慣行栽培	90.5	17.5	406	0.75	532	21.0
2009年	有機栽培	98.1	19.4	320	0.96	537	21.7
	慣行栽培	89.3	18.1	321	0.78	488	22.3
2010年	有機栽培	92.3	19.7	295	0.78	469	20.5
	慣行栽培	88.6	20.6	356	0.82	556	22.3
2011年	有機栽培	93.4	19.0	332	0.89	511	22.5
	慣行栽培	93.6	18.5	354	0.85	528	22.7
2012年	有機栽培	86.0	18.7	292	0.76	416	22.7
	慣行栽培	82.6	19.3	353	0.74	441	22.1
2013年	有機栽培	91.7	18.8	354	0.88	530	21.9
	慣行栽培	91.9	19.0	411	0.78	549	21.9
平均	有機栽培	91.8	19.1	316	0.87	497	21.8
	慣行栽培	89.4	18.8	367	0.79	519	22.1
有機/慣行 (%)		102.7	101.3	86.4	-	95.9	98.7
分散分析	年次 (5)	ns	ns	ns	ns	ns	ns
	圃場 (1)	ns	ns	*	ns	ns	ns
	年次×圃場	ns	ns	ns	ns	ns	ns

注) 分散分析欄の ( ) 内は自由度, \*は5%水準で有意差あり, nsは有意差なし

はなかったが、有機栽培圃場では慣行栽培圃場に比べ稈長は長く、玄米千粒重は小さい傾向にあった。

## 6. 雑草の埋土種子数の推移

各圃場で最優占雑草種であったコナギの埋土種子数の推移を図6に示す。有機栽培圃場では、試験開始年の2008年は慣行栽培圃場よりもコナギの埋土種子が少ないが、試験開始後は年々増加し、2010年までの増加率は前年比2~4倍であった。2010~2011年にかけての増加率は高く、2011年の試験前の埋土種子数は平均でm<sup>2</sup>当たり8万粒を超え

ていたが、その後はやや減少に転じた。慣行栽培圃場では、試験期間をとおしてコナギの埋土種子数は2~3万粒前後で推移した。

## 7. 有機栽培圃場の収量変動要因の解析

有機栽培転換前の慣行栽培による生産性等への影響を除外するために、有機JAS法において有機農産物と認定される「有機栽培を3年以上継続した圃場」のデータを用いて、精玄米収量と収穫期の諸形質および雑草乾物重との相関を解析した。その結果、穂数およびもみわら比と精玄米収量との間に有



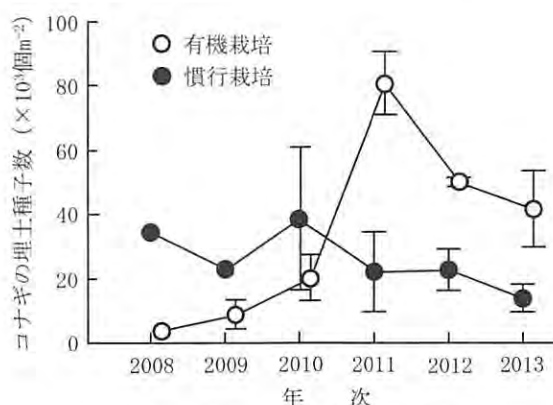


図6 コナギの埋土種子数の推移

注) 図中のバーは標準誤差 (有機栽培: n=2, 慣行栽培: n=3 (2011年はn=2))

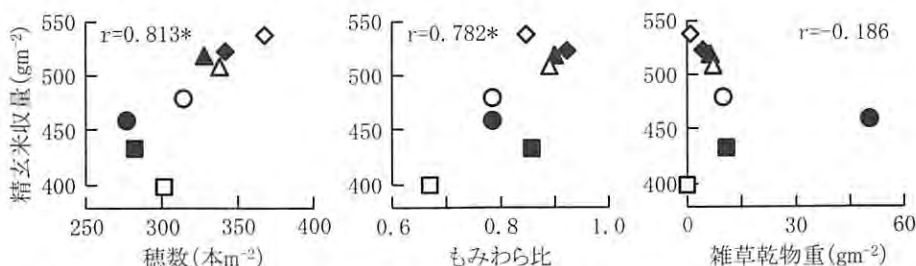


図7 穂数、もみわら比および雑草乾物重(移植6週後)と精玄米収量との関係

- 注1) 有機栽培を3年以上継続した圃場のデータ (2010年~2013年)  
 ○: Y1圃場2010年, △: Y1圃場2011年, □: Y1圃場2012年, ◇: Y1圃場2013年  
 ●: Y2圃場2010年, ▲: Y2圃場2011年, ■: Y2圃場2012年, ◆: Y2圃場2013年  
 2) 雑草乾物重は条間と株間をあわせた平均値  
 3) \*は5%水準で相関関係あり (n=8)

意な正の相関関係が認められた。しかし、移植6週後の雑草乾物重と精玄米収量との間には相関関係は認められなかった(図7)。同様に収穫期の雑草乾物重と精玄米収量との間にも相関関係は認められな

かった(相関係数-0.196:図省略)。有機栽培2圃場間では、2010年の雑草乾物重がY1圃場に比べY2圃場で大きかったものの、収量や形質に関しては同一年次で大きな差はなかった。

#### IV. 考察

##### 1. 高精度水田用除草機と米ぬか散布等による除草法の雑草抑制効果

本試験では、有機JAS法に基づく有機栽培圃場を設けて6年間の水稲栽培を行った。水稲の有機栽培で最も問題となる雑草対策として高精度水田用除草機を導入した。高精度水田用除草機を単独で利用する場合、移植から7~10日間隔で3回の除草作業が標準的である(宮原<sup>(16)</sup>、菊池・野沢<sup>(10)</sup>)。一方、吉田ら<sup>(31)</sup>は、高精度水田用除草機による機械除草と米ぬか散布を組み合わせる水田用複合除草技術により、除草作業の回数を減らせる可能性を示唆して

いる。そこで、本試験では、高精度水田用除草機と米ぬか同時散布による除草作業に2回代かき等の耕種の抑草技術を組み合わせることで抑草効果の向上を目指した(表2)。その結果、移植約6週後の雑草乾物重は、条間では2回の除草作業で6年間ともに雑草放任区の2%以下に抑えられていた。一方、株間では雑草放任区の6~35%と抑草効果が条間より低く変動が大きかった(表6)。高精度水田用除草機は、条間の除草ロータが高速回転するため除草効果は高いが、株間除草レーキは水平揺動式であることから株間の除草効果がやや低いことが指摘され

ており(荒井・酒井<sup>15)</sup>、本試験でも同様の結果となった。

このうち、2010年は株間の雑草乾物重が $59\text{ gm}^{-2}$ で他の年次に比べて大きかった。この原因として、有機栽培の継続による雑草発生数の増加が考えられる。鴛田ら<sup>(28)</sup>は、ノビエが優占する圃場において水田の雑草防除を除草剤利用体系から機械除草体系に切り替えると雑草発生が年々増加して機械除草後の残草量も増加することを報告し、これは残存した雑草の種子生産が主因と推察している。本試験では、雑草の埋土種子数の調査を行った結果、優占雑草であるコナギの埋土種子数は2008年の試験開始前から2010年の試験前まで徐々に増加していることが示された(図6)。圃場での雑草埋土種子数は圃場内での分布が均一ではなく変動も大きいため断定はできないが、有機栽培の継続により埋土種子数が増加したことは、2010年の残草量の増加の一因となった可能性がある。

一方、気象条件をみると、有機栽培圃場の移植から除草作業までの期間である6月中旬と下旬の平均気温は、2010年は平年より $2^{\circ}\text{C}$ 以上高かった(表4)。このため、2010年は圃場内の水温も高かったと考えられ、移植から1回目の除草作業までの期間のコナギ等雑草の生育が促進された可能性がある。安達・月森<sup>(2)</sup>は、コナギの引き抜き抵抗が葉齢の進展に伴って累乗関数的に増加することを示している。前述したように本試験で用いた高精度水田用除草機の株間除草レーキは水平揺動により雑草を抜き取る方法のため、除草作業時の雑草の葉齢により抑草効果が強く影響を受ける可能性が高い。すなわち、2010年は移植直後からの高温でコナギ等の雑草の葉齢が進み引き抜き抵抗が大きかったため、株間の抑草効果が低下したと考えられる。2010年はその後も高温傾向が続いたことから、収穫期においても他の年次に比べて残草量が多かった(図3)と推察される。2010年のように気温が高く雑草の生育が促進的である場合には、除草作業の間隔を短縮する等の措置が必要と考えられる。一方、低温時に水稻を移植する場合は、水稻の生育や草冠による被覆、雑草の生育が緩慢になることが予想されるため、除草作業の間隔や回数について検討する必要がある。

本試験では、多目的田植機の簡易な改良(図1、

図2)により移植作業や除草作業と同時に約 $50\text{ gm}^{-2}$ の米ぬかを散布した。特に、2011年以降は米ぬか散布時期を早めて移植時と1回目の除草作業時とし、株間を21cmから18cmに短縮する等栽培法を一部変更した。この結果、2011年以降ではコナギの埋土種子量は2010年以前より増加していた(図6)にもかかわらず、収穫期の雑草乾物重は抑制されていた(図3)。水稻の栽植密度を高めることは、光や養分の競合に関して水稻が雑草より有利になることから、雑草害を抑制するために有効と考えられる。鈴木・島宗<sup>(27)</sup>は、コナギが優占する有機栽培圃場において密植により幼穂形成期の雑草乾物重が減少することを示している。荒瀬・内川<sup>(7)</sup>は、長野県内の棚田内の除草を行わない放任区で水稻の密植は疎植よりコナギ等の雑草発生量が少ないことを報告している。コナギが優占する圃場で行った本試験においても、栽植密度を高めた2011年以降は雑草が抑制される傾向にあり、特に収穫期の雑草乾物重が著しく小さかったことから(図3)、栽培後期に抑草効果が強く現れたものと推察される。

また、小森<sup>(12)</sup>は、10cm程度の深水管理に加え米ぬかペレットとくず大豆の散布は雑草の抑制に有効であることを報告している。中井・鳥塚<sup>(19)</sup>は、米ぬか処理量に応じてコナギの残草量が少なくなり、米ぬか $60\text{ gm}^{-2}$ 処理区では無処理区対比で生体重が13%に抑制されるとしている。中山<sup>(20)</sup>は、米ぬか処理量を増加させると、無処理区に比べてタイヌビエの葉齢進展が遅れ種子根長が短くなることを報告している。本試験では、機械除草のみを行った試験区を設定していないことから米ぬか単独の抑草効果については明らかではないが、米ぬか散布が抑草に貢献していた可能性は高い。一方、米ぬかの散布時期の違い(2010年までと2011年以降)による水稻栽培初期の抑草効果は明確ではなかった(表6)。しかし、著者らのグループは同一年同一圃場で行った比較試験で、移植時の米ぬか散布が除草作業時までの雑草の生育を抑制すること(三浦ら<sup>(15)</sup>)、米ぬかによる抑草効果は土壤条件、施用時期や量等によって変動すること(Nozoeら<sup>(24)</sup>、内野ら<sup>(29)</sup>)を報告している。また、一部の有機栽培農家は移植後できるだけ早い時期に米ぬかやくず大豆等有機質資材の散布を実践している(稲葉<sup>(9)</sup>)。これらより、移植時の米ぬか散布は、雑草抑制に有効な技術と考

えられるため、今後とも検証を進める必要がある。加えて、米ぬか散布による抑草メカニズムについては未だ明らかになっていないため、著者らの研究グループでは米ぬか分解時等に生成される有機酸が雑草の発芽や生育に及ぼす影響についても解析中である(青木ら<sup>3)</sup>。

## 2. 水稲の欠株率、生育および収量性

除草作業終了後における水稲の欠株率は、6年間の平均で6.0%であり(図4)、これは、高精度水田用除草機を利用したこれまでの試験結果とほぼ一致している(菊池・野沢<sup>10)</sup>。本試験でもみられたように、除草作業による欠株は1回目の除草時に発生しやすい。これは、1回目の除草時が水稲の活着初期であり、本機の走行や株間除草レーキにより株が抜けたり損傷が生じやすい状況にあることが原因と考えられる。また、高精度水田用除草機を利用する場合、移植および除草作業で同じ位置を車輪が通過するため、耕盤が軟弱な場合等では機体の沈み込みが大きくなったり、片側に傾く可能性がある。本試験でも、本体が傾くことにより車輪外側の土が苗ごと押し出されて、その上を除草機が通過することで欠株率が高まる現象が観察された。このような場合には、機体の後輪に補助車輪を利用することで走行を安定させ、欠株を減らすことができる(宮原<sup>16)</sup>。本試験では、2008年の欠株率が12%と最も高かった(図4)。これは試験初年目であったためオペレーターが高精度水田用除草機による除草作業に慣れていなかったことが要因となった可能性がある。除草作業による欠株を低減させるためには、研修等によりオペレーターの習熟度を高めることも必要であろう。本試験では、除草時の作業速度は約 $0.4\text{ ms}^{-1}$ であったが、作業速度が $1.0\text{ ms}^{-1}$ 程度で除草時の水深が3 cm以下では15%以上の欠株率となるという報告がある(菊池・野沢<sup>10)</sup>。欠株率は5%程度では減収しない(西山<sup>21)</sup>、欠株率15%程度までは減収が5%以内となる(渡邊ら<sup>30)</sup>)等、慣行栽培では欠株率が極端に大きくなれば周囲株の補償作用もあり収量に及ぼす影響は小さいとの報告は多いが、圃場条件や作業時期に合わせて水深や作業速度を考慮した除草作業により欠株率を低減させることは、有機栽培において収量を安定させるために重要と考えられる。

農薬や化学肥料を使用しない有機栽培では、一般に水稲の生育や収量が慣行栽培より劣り、農家調査によれば減収率の平均値は25%という結果がある(MOA自然農法文化事業団<sup>17)</sup>。齋藤ら<sup>25)</sup>は、10年間の継続試験において無農薬区(有機JAS栽培相当)の慣行区に対する減収程度は平均で約10%であり、コナギの雑草害による穂数減が主要因と考察している。荒井・酒井<sup>6)</sup>は、福島県で行った現地試験で、有機栽培では慣行栽培に比べて水稲の稈長および穂長がやや長く穂数が少ないこと、収量がやや劣ることを報告している。本試験の有機栽培圃場における収量は6年間の平均で慣行栽培圃場より約4%低かったが、前記した報告(齋藤ら<sup>25)</sup>、荒井・酒井<sup>6)</sup>)に比べ減収率は小さかった。このことは、本試験で組み立てた有機栽培体系の有効性を示唆している。特に雑草防除に関しては、2010年を除き残草量が少なく(表6、図3)、収量との間に相関関係がなかった(図7)ことから、収量に影響しないレベルまで雑草は抑制されたと判断される。一方で、水稲の生育、収量に対する雑草の影響は発生する雑草種によって異なり、荒井・川島<sup>4)</sup>はコナギ優占の群落よりノビエ優占の群落で水稲収量への影響が大きいと報告している。ヒエ類の耕種的な防除法としては、15 cm程度の深水管理が有効との知見(三石<sup>14)</sup>、稲葉<sup>9)</sup>)もあることから、本試験で実施した除草体系については、ヒエ類が優占する圃場で深水管理との組み合わせ等を行うことで有効性を確認することが必要である。

本試験の有機栽培圃場では、慣行栽培圃場に比べ生育期の草丈やSPAD値が全般に高かった反面、茎数は少ない傾向がみられた(表7)。また、収穫期の稈長はやや長く、穂数は有意に少ない(表8)等、水稲の生育は荒井・酒井の報告<sup>6)</sup>と概ね一致した結果となった。本試験で茎数、穂数が少なかった原因として、2010年のように雑草が影響した可能性に加え、有機栽培圃場では慣行栽培圃場より3週間程度遅く移植したため出穂までの日数が短く、栄養成長期間が十分でなかった年次があったことが考えられる。また、機械除草による茎や根の物理的な損傷や米ぬか散布による生育障害の可能性もあり、今後検討を要する。一方、本試験では2回代かきを実施したため有機質肥料の施用後から移植まで3~4週間程度は湛水状態を維持した。これにより、有機



質肥料に含まれる窒素等の無機化が進んで生育期には十分な養分供給があったと推測され、これが草丈や SPAD 値を高めた要因と考えられる。

収量については、有機栽培開始後3年以上経過した圃場のデータを用いて変動要因を解析した結果、穂数およびもみわら比と正の相関関係が認められた(図7)。また、有機栽培圃場と慣行栽培圃場では穂数に有意な差が認められた(表8)。これらは、本試験で組み立てた有機栽培体系(表2)で収量が高めるためには、穂数の確保が重要であることを示唆している。本試験では、2011年以降は有機栽培圃場の株間を21 cmから18 cmに短縮することで茎数や穂数の増加を試みた。しかし、2011年以降は茎数と穂数が増加する傾向にはあったものの、慣行栽培圃場より少ない状況が続いた(表7、表8)。穂数を増加させるためには、雑草を安定的に抑制するとともに、栽植密度をさらに高めることや移植時期を早めて栄養成長期間を長くすることが有効と考えられる。栽植密度を高めることは生育初期の被蔭による抑草効果を高め、欠株による茎数、穂数の減少を抑制する効果がある反面、低農薬栽培では密植による穂数増加はわずかで多肥では穂いもちの多発生を招くとする報告(前田<sup>(13)</sup>)がある。また、移植時期を早めることは、一般にイネミズゾウムシやイネドロオイムシ等による被害の増加につながるほか、米ぬかの抑草効果を低下させる(内野ら<sup>(29)</sup>)ため農薬を使用できない有機栽培には不利な点も多い。今後、有機質肥料の分解特性を明らかにし、施肥(追肥)時期や量等について検討することにより、穂数、もみわら比および登熟歩合等を高める対策を確立することも収量の変動を小さくするために必要であろう。

### 3. まとめ

以上、本試験の水稲有機栽培では高精度水田用除草機と米ぬか散布を中核とした除草体系により、概ね雑草害による水稲の減収が生じない程度の高い抑草効果が得られ、変動があるものの慣行栽培の96%程度の収量が確保されることが示された。このことから、本試験で組み立て実践した有機栽培体系は、農業現場への普及に有効な技術体系であると判断される。一方、株間の抑草効果がやや劣ること、水稲の欠株率が6%程度となり慣行栽培に比べて穂数が少ないこと等が課題としてあげられた。有機栽培での収量を安定、向上させるためには、水稲の栽植密度や有機質肥料の利用法等の栽培管理について改善していく必要があると考えられる。

本試験の有機栽培圃場には有機質肥料や米ぬか散布は行っているが、多くの有機栽培農家で実践されている堆肥等の施用は行っていない。このため、長期的な視点でみると地力の低下や窒素等の養分不足が問題となる可能性がある。また、農家圃場では有機栽培を継続することで、土壌の物理性等が変化し雑草の発生や残存が少なくなるという事例がみられる。本試験の結果は有機栽培転換初期の結果と位置づけ、今後も土壌の物理・化学性や雑草の動態等を継続的に調査、解析することで水稲有機栽培における生産性の維持、向上について検討していく予定である。有機栽培に関する試験を行う際には、有機栽培圃場と慣行栽培圃場とを別個に準備する必要があり、本試験では圃場数の制約があったことから十分な圃場反復をとることができなかった。本試験で組み立てた水稲有機栽培体系の有効性については、農家圃場での試験等を通じて確認していきたい。

### 謝辞

農研機構中央農業総合研究センターの中村貴紀氏、山崎公彦氏をはじめ業務科の技術専門職員の皆様および松永順子氏、太田五鶴氏、窪庭佐知子氏、稲沼幸子氏、加藤弘子氏、山田ミナ子氏には、試験

圃場での作業、栽培管理および調査等にご尽力いただきました。茨城大学東達哉氏、東京大学棚田大介氏には圃場調査やデータ整理等にご協力いただきました。ここに記して御礼申し上げます。

## V. 摘要

茨城県つくばみらい市の水田圃場において2008年から2013年までの6年間、高精度水田用除草機による除草作業と米ぬか散布を組み合わせた除草法を中核とした有機栽培体系を実践し、雑草抑制効果、水稲の生育および収量について慣行栽培と比較した。

1. 有機栽培圃場における移植6週後の雑草乾物重は、条間では6年間ともに雑草放任区の2%以下に抑えられていた。一方、株間では雑草放任区の6~35%と抑草効果が条間より低く変動が大きかったが、2010年を除き収量に影響しない程度の抑草効果が得られた。
2. 有機栽培圃場では、2011年以降に米ぬか散布時期を早めて移植時と1回目の除草作業時に変更し、さらに水稲の栽植密度を高めた結果、収穫期の雑草の残存量は顕著に減少した。

3. 高精度水田用除草機を利用した除草作業では、水稲の欠株が1回目の除草時に発生しやすく、除草作業終了後における欠株率は6年間の平均で6.0%であった。

4. 有機栽培圃場では、慣行栽培圃場に比べ生育期の草丈やSPAD値が全般に高かった反面、茎数は少ない傾向にあった。また、収穫期の稈長はやや長く、穂数は有意に少なかった。玄米収量は6年間の平均で慣行栽培の96%程度となった。

5. 本試験で実践した有機栽培体系は、概ね雑草による減収がなく慣行栽培に近い収量が得られたことから、農業現場への普及に有効な技術体系であると判断された。水稲の有機栽培で収量を安定、向上させるためには、栽植密度や有機質肥料利用法等の栽培管理を改善することにより穂数の増加等を図る必要がある。

## 引用文献

1. 安達康弘・月森弘 (2009) 機械除草の時期と回数 がコナギの発生及び水稲の生育に与える影響. 日作紀, 78 (別1), 64-65.
2. 安達康弘・月森弘 (2011) コナギの引き抜き抵抗 と機械的除草法による除草効果との関係. 雑草研究 56 (別), 78.
3. 青木大輔・内野彰・野副卓人・田中福代・三浦重典 (2013) コナギ種子の発芽に及ぼす芳香族カルボン酸の影響. 雑草研究, 58 (別), 131.
4. 荒井正雄・川島良一 (1956) 水稲栽培に於ける雑草害の生態学的研究 I・II. 日作紀, 25, 115-119.
5. 荒井義光・酒井孝雄 (2005a) 福島県浜通りにおける水稲有機栽培の実証 第1報 有機栽培初年目の深水・除草機による雑草防除の効果. 日作東北支部報, 48, 17-18.
6. 荒井義光・酒井孝雄 (2005b) 福島県浜通りにおける水稲有機栽培の実証 第2報 有機栽培初年目の水稲生育と収量. 日作東北支部報, 48, 19-20.
7. 荒瀬輝夫・内川義行 (2011) 棚田における栽植密度と除草管理法の違いが水稲収量に及ぼす影響. 信州大学農学部 AFC 報告, 9, 83-91.
8. 原田博行・鈴木泉・大場伸一・鈴木雅光 (2001) 水稲の有機栽培における再生紙マルチ利用による雑草防除. 山形農試研報, 35, 17-35.
9. 稲葉光國 (2007) 無農薬・有機のイネづくり. 農山漁村文化協会, 東京, 189p.
10. 菊池晴志・野沢智裕 (2007) 青森県における水田用除草機の利用方法. 日作東北支部報, 50, 97-98.
11. 小林浩幸・渡邊寛明 (2010) 雑草研究における埋土種子調査の目的と手法. 雑草研究, 55 (3), 194-207.
12. 小森秀雄 (2007) 有機栽培の水管理が水稲の生育と雑草の発生に及ぼす影響. 日作東北支部報, 50, 95-96.
13. 前田忠信 (2002) 低農薬栽培における栽植密度が水稲の生育, 収量と穂もち発生に及ぼす影響. 日作紀, 71(1), 50-56.
14. 三石昭三 (1976) 湛水土壤中直播水稲およびタイヌビエの生育に及ぼす深水の影響. 北陸作物学会報, 11, 16-18.
15. 三浦重典・内野彰・野副卓人・青木大輔・鄭凡喜・吉田隆延・水上智道・藤田耕一 (2012) 水稲

- 有機栽培における移植時の米ぬか散布と機械除草が雑草発生と収量に及ぼす影響. 農作業研究, 47 (別1), 49-50.
16. 宮原佳彦 (2005) 高精度水田用除草機の開発と実用化. 関雑研会報, 16, 11-17.
  17. MOA 自然農法文化事業団 (2011) 有機農業基礎データ作成事業報告書. 静岡, 20p.
  18. 室井康志・小林勝一郎・高井芳樹 (2005) ヒメタイヌビエの生育に対する米ぬか粉剤ならびにペレット剤の作用. 雑草研究, 50 (3), 169-175.
  19. 中井謙・鳥塚智 (2009) 米ぬか土壌表面処理による水田雑草の抑草効果. 雑草研究 54 (4), 233-238.
  20. 中山幸則 (2010) 米ぬかの水田雑草防除への利用について. 農業および園芸, 85 (2), 252-257.
  21. 西山岩男 (1984) 補植をしない稲作のすすめ. 農業および園芸, 61 (10), 1189-1191.
  22. 農林水産省 (2004) 環境保全型農業 (稲作) 推進農家の経営分析調査報告. 農林水産省統計部, 26p.
  23. 農林水産省 (2014) 平成 24 年度認定事業者に係る格付実績. 入手先 <[http://www.maff.go.jp/j/jas/jas\\_kikaku/pdf/jiseki\\_h24\\_260214r.pdf](http://www.maff.go.jp/j/jas/jas_kikaku/pdf/jiseki_h24_260214r.pdf)>. (参照 2014-05-28)
  24. Nozoe, T., A. Uchino, S. Okawa, S. Yoshida, Y. Kanda and Y. Nakayama (2012) Suppressive effect of rice bran incorporation in paddy soil on germination of *Monochoria vaginalis* and its relationship with electric conductivity. *Soil Science and Plant Nutrition*, 58, 200-205.
  25. 齊藤邦行・黒田俊郎・熊野誠一 (2001) 水稲の有機栽培に関する継続試験. 日作紀, 70 (4), 530-540.
  26. 佐々木園子・濱名健雄・大谷裕行・鈴木幸雄・新妻和敏 (2010) 水稲有機栽培の雑草防除に関する研究 第1報 有機物施用によるコナギ抑草効果と水稲の生育および収量. 日作東北支部報, 53, 5-6.
  27. 鈴木幸雄・島宗知行 (2010) 水稲有機栽培の雑草防除に関する研究 第3報 栽植密度の違いが水稲と雑草の生育に及ぼす影響. 日作東北支部報, 53, 9-10.
  28. 嶋田広身・伊藤修・佐々木次郎 (2001) 除草剤連用水田における機械除草切り替え後の雑草発生と水稲生育・収量. 宮城農七報, 68, 1-15.
  29. 内野彰・青木大輔・今泉智通・岩上哲史・安達康弘・野副卓人・三浦重典 (2012) 新鮮有機物の施用によるコナギ抑草効果に及ぼす各種環境条件の影響. 雑草研究, 57 (別), 17.
  30. 渡邊肇・佐々木倫太郎・関口道・鈴木和美・三枝正彦 (2009) 異なる栽培法における欠株が水稲の生育・収量に及ぼす影響. 日作紀 78 (1), 95-99.
  31. 吉田隆延・水上智道・宮原佳彦・牧野英二・臼井善彦・関口孝司・三浦重典 (2010) 乗用型水田除草機と米ぬか散布を組み合わせた水田用複合除草技術の実証試験. 平成 21 年度生研センター研究報告会資料, 23-31.



# Weed Suppression and Rice Production by Mechanical Weeding and Rice Bran Application Work in Organic Rice Cultivation System

Shigenori Miura<sup>\*1</sup>, Akira Uchino<sup>\*1</sup>, Takuhito Nozoe<sup>\*1</sup>, Junko Tazawa<sup>\*1</sup>, Takanobu Yoshida<sup>\*2</sup>,  
Tomomichi Mizukami<sup>\*2</sup>, Bum-hee Jeong<sup>\*3</sup>, Xiao-Chun Wan<sup>\*1</sup>, Akio Nakagawa<sup>\*4</sup>,  
Keiko Nakatani<sup>\*1</sup>, Tomoko Shibuya<sup>\*1</sup>, Akihiko Shiraishi<sup>\*1</sup>, Toshiyuki Imaizumi<sup>\*1</sup>,  
Daisuke Aoki<sup>\*5</sup> and Hiroaki Matsuoka<sup>\*1</sup>

## Summary

From 2008 to 2013, field experiments were conducted to investigate the effects of organic rice cultivation on weed control and rice production at Tsukubamirai, Ibaraki, Japan. On the 10th and 20th days after transplanting, weeding was carried out with a riding-type weeder used in organic cultivation. From 2008 to 2010, rice bran was applied at each weeding time, but after 2011, it was applied at the time of transplanting and the first weeding. At the 6th week after transplanting, the weed dry weight after weeding was less than 2% compared with the weight when weeding on the interrow space was not conducted. However, for interhill space, the ratio varied between 6% and 35%, irrespective of weeding times. In particular, the weed dry weight at harvesting time greatly decreased after 2011. The average of the vacant hill rate after weeding was 6% throughout the trials. Plant height and leaf color (SPAD) were overall higher with organic than conventional cultivation; however, stem number tended to be lower. At the harvest time, the stem length was longer and the panicle number was significantly lower with organic cultivation. The average rice yield from organic cultivation was approximately 96% of the yield with conventional cultivation. It is concluded that the organic cultivation system used in this experiment is useful, because the weeding was effective and the rice yield was almost same as with conventional cultivation. It is also considered that an increase in panicle number is a more important factor to stabilize organic rice production.

\*1 NARO Agricultural Research Center

\*2 NARO Bio-oriented Technology Research Advancement Institution

\*3 SynTech Research Japan Co., Ltd

\*4 NARO Headquarters

\*5 Fukui Prefectural University