

新潟県水田転換畑でのダイズ生産における  
省力化と良品質多収を目指した  
新たな栽培体系の構築  
ー 耕うん同時畝立て狭畦無培土栽培技術の導入 ー

藤田 与一

新潟大学大学院自然科学研究科博士後期課程  
生命・食料科学専攻

# 新潟県水田転換畑でのダイズ生産における省力化と良品質多収を目指した

## 新たな栽培体系の構築

### －耕うん同時畝立て狭畦無培土栽培技術の導入－

## 目 次

第 1 章	緒言	3
第 2 章	ダイズ供試品種の特性および試験地の状況	8
第 3 章	新潟県における技術の実用性の検証	12
第 4 章	新潟県ダイズ奨励品種を用いた適正栽植密度の解析	29
第 5 章	窒素吸収量および窒素固定活性の評価	49
第 6 章	生育期茎葉処理除草剤省略効果の診断	58
第 7 章	総合考察	77
引用文献		83
論文要旨		90
Summary		92
謝辞		95

## 第 1 章

### 緒言

#### 1-1 日本におけるダイズの伝来と用途

ダイズ栽培の歴史は古く、約 5 千年前に中国で始まったと言われている。日本におけるダイズの歴史は弥生時代に中国から伝わり、同時期に栽培が始まったと考えられている。当時のダイズの用途は煮豆、炒り豆が主体とされていたが、奈良時代に中国・朝鮮から醤油・味噌のルーツとなるダイズの発酵食「醬（ひしお）」の技術が伝来し、平安時代には「醤油」や「味噌」に近いものが加工されるようになっていく。その他、中国から伝わり鎌倉時代に精進料理として普及した「豆腐」、来歴は不明とされているが日本独自の発酵食品として発展した「糸引納豆」等、他にも多種多様なダイズ加工品が作られるようになっていく（山内・大久保 1992, 公益財団法人日本豆類協会 2017）。ダイズ自体のみならず、これら加工品は現代日本においても広く利用されており、ダイズは和食文化には欠かせない穀物の 1 つである。

#### 1-2 日本のダイズ栽培の歴史と体系の確立

1600 年代後半の農業書において、ダイズの播種適期や夏ダイズおよび秋ダイズの栽培法が述べられている。ダイズは土地を選ばずに栽培しやすい利点と、反収が低く経済性が弱い欠点があると当時は言われていたことから、現在までのダイズにおける基本的な栽培方法の変遷は小さかったと考えられている（御子柴 1976）。

ダイズ栽培の大きな変換は、機械化体系の確立によるものと推察される。昭和 40 年代以降は収穫・脱穀を除く作業についてダイズ栽培の機械化、普及が進めら

れて、昭和 50 年代では収穫、脱穀、調製作業を一貫して行うことができるコンバイン収穫の取り組みが進められた（島田 2002）。こうしたダイズ栽培の機械化一貫体系によって労働時間の大幅な短縮を可能とした。

また、2000 年には「食料・農業・農村基本計画」の決定に伴い、水田におけるダイズの本格的な生産が図られることとなる。湿害を生じやすいダイズにおいて、水田転換畑における排水対策、および湿害対策を基本とした栽培技術の開発・普及は現在も積極的に取り組まれている。

### 1-3 世界と日本のダイズ生産状況

第 1-1 表より世界のダイズ生産状況を見ると、2014 年のダイズ生産量はアメリカが約 35%，ブラジルが約 28%，アルゼンチンが約 17%を占めているのに対して、日本は国土面積の制約があるが約 0.08%の 23 万 t を占めているに過ぎない。単収においても上位 3 カ国では 10a 当り 270kg 以上、アメリカでは 300kg 以上を確保しているが、日本は世界平均単収に満たない状況である（FAOSTAT 2014）。

1961 年の日本における輸入自由化に伴い、アメリカ等からのダイズ輸入量が増大し、搾油などダイズの用途が拡大される一方で、ダイズ全体の国内自給率は 5～6%程度と低迷している。搾油用のダイズを除いた、食品用のダイズに限っても、自給率は 21%程度で、大半は輸入大豆でまかなっている状況である。

一方、「食料・農業・農村基本計画」において食料自給率の向上が求められ、2015 年の基本計画では食料自給率をカロリーベースで 2013 年度の 39%から 2025 年度には 45%を目標としている。2025 年度の食料自給率目標を達成するためには国内農産物の生産および消費拡大が重要である。ダイズにおいても生産努力目標として、2013 年度の 20 万 t から 2025 年度の 32 万 t と設定され、さらなるダイズ生産の拡大が求められている。

第1-1表 2014年における日本および主要5カ国のダイズ生産状況

国名	収穫面積 (千ha)	単収 (t/ha)	生産量 (千t)
アメリカ	33,424	3.20	106,878
ブラジル	30,274	2.87	86,761
アルゼンチン	19,253	2.77	53,398
インド	10,908	0.97	10,528
中国	6,800	1.79	12,154
日本	132	1.76	232
世界計	117,549	2.61	306,519

FAOSTATによるデータである。

#### 1-4 新潟県におけるダイズ栽培概況および問題点

新潟県における 2015 年産ダイズ栽培では、作付面積は 5,260 ha と全国で 7 位、収穫量は 10,200 t と全国で 6 位（農林水産省 2016）であり、我が国の主要な生産地となっている。ダイズの更なる増産が求められている中、新潟県内においてもダイズの作付け拡大が課題となる。加えて近年、農業生産者の高齢化および後継者不足などにより、農地中間管理機構などによる担い手への農地集積や、地域全体で農業経営の共同化を図る集落営農が推進されている。そのため農地の集約が進み、ダイズ生産においても 1 経営体当たりの作付面積が拡大している。新潟県でも大規模ダイズ生産を行う経営体が多く存在し、中には 100 ha を超えるダイズ圃場を管理する経営体もある。これらの背景から、今後 1 経営体当たりのダイズ作付面積はますます拡大していくことが想定される。

しかし、ダイズの作付け規模が大きくなるに従い、一部の圃場では適期の管理作業が間に合わない場合が生じてきた。その作業の 1 つとして、「中耕・培土作業」が挙げられる。中耕・培土は、ダイズの生育促進、および雑草防除につながる（島田 1985a, b）ダイズ栽培において重要な作業であり、本県では作業時期が第 2 複葉の展開する 6 月下旬頃から、開花までの 7 月下旬頃までである。しかし新潟県においてこの期間は梅雨にあたるため、降雨後は土壌水分が高く中耕・培土作業が可能な日は少ない。さらに重粘土地帯が広がる新潟県では、降雨後も圃場が

乾きにくく、好条件での培土作業が行われることはほとんどない。このことから大規模ダイズ生産現場では、適期に中耕・培土作業を実施できずに雑草を繁茂させてしまい、養分や光の競合、および雑草茎汁での子実の汚損により、収量および品質の低下につながる事例が見られる。

以上の問題を解決するに当たり、ダイズ栽培における条間を従来より半分程狭めて播種を行い、ダイズ自身の茎葉によって地表面を早期にマルチのように覆う、「狭畦栽培」技術が注目されている。この技術によって中耕・培土作業を省略しても雑草害を回避でき（野口ら 1993, 梅本 2004, 星・滝澤 2008）、悪天候や広大な作付面積での作業の遅れに伴い適期に中耕・培土が行えなかった場合よりも、高品質なダイズを安定生産できる期待が大きい。

しかし、本県では転換畑のほとんどが重粘土条件でダイズの湿害が起きやすく、ダイズ播種後に過湿条件にあうと出芽不良を起こして欠株を招き、狭畦栽培においても雑草発生を抑制する程の被覆を得られない可能性が高い。また狭畦栽培は条間を狭める分、密植条件となり、ダイズの特性として株同士が密集すると光の競合が起きて主茎が伸びやすくなり（星川 1996）、倒伏する危険がある。特に、新潟県内において作付け割合が最も多いダイズ奨励品種「エンレイ」は、倒伏しやすい点で密植適応性が低く、狭畦栽培技術に導入することが難しい品種である。これらの理由から本県のダイズ生産現場では狭畦栽培の導入事例はほとんどない。

## 1-5 本論文の構成

本論文では、ダイズの安定出芽および湿害対策として本県で広く活用されている耕うん同時畝立て播種技術（細川 2006）と、狭畦栽培の被覆力を組み合わせた「耕うん同時畝立て狭畦無培土栽培」を中心として、慣行のダイズ栽培技術からより省略できる技術を検討し、新潟県の大規模ダイズ生産において高品質安定生産

が可能な栽培法を構築することを目的とし、以下の3項目を中心に実施した。

1. 耐倒伏性を有するダイズ品種において、播種密度を慣行栽培程度に抑えた「耕うん同時畝立て狭畦無培土栽培」を、新潟県の転換畑1年目の現地圃場で実施し、慣行栽培と生育および収量を比較して、狭畦栽培の実用性を検討する。さらに地表面の相対照度および雑草発生量を比べて、ダイズの被覆による雑草抑制効果についても検討する。
2. 密植適応性が異なる新潟県ダイズ奨励品種2品種を用いて、「耕うん同時畝立て狭畦無培土栽培」における栽植密度の違いが、ダイズ2品種に与える生育特性の違いを解析し、北陸地域の重粘土圃場における「耕うん同時畝立て狭畦無培土栽培」の適正な栽植密度を検討する。
3. ダイズの「耕うん同時畝立て狭畦無培土栽培」において、ダイズ生育期間に除草剤散布を省略した時の雑草発生動態および、ダイズ収量の影響について調査し、生育期除草剤散布の省略が図られる雑草発生条件及び、適用技術を検討する。

## 第 2 章

### ダイズ供試品種の特性および試験地の状況

#### 2-1 ダイズ供試品種の特性

本論文におけるダイズ供試品種は、第 3 章で「タチナガハ」を、第 4 章で「エンレイ」および「あやこがね」を、第 6 章で「里のほほえみ」を用いている。第 2-1 表にダイズ 4 品種における特性を示す。

「タチナガハ」は開花期が 7 月下旬、成熟期が 10 月下旬の晩生品種で、子実収量は 10a 当り 311kg である。豆腐加工用として用いられており、また百粒重が 34.5g と大きいため煮豆用にも適している。倒伏抵抗性は強、ダイズモザイクウイルス抵抗性は中で、県内では褐斑粒の発生が見られる。新潟県では一部の地域で栽培されているのみで、県全体の作付面積の約 2%を占める程度である。宮城県、福島県、茨城県で主に導入されているが、茨城県では別品種への切り替えの動きが見られる。

「エンレイ」は開花期が 7 月下旬、成熟期が 10 月中旬の遅めの中生品種で、子実収量は 10a 当り 339kg である。豆腐、味噌加工用として好適で、煮豆用としても用いられる。倒伏抵抗性は強、ダイズモザイクウイルス抵抗性は中で、県内では褐斑粒の発生が見られる。新潟県の主力品種で県全体の作付面積の約 92%を占めていたが、2016 年から新たに新潟県で採用されたダイズ品種「里のほほえみ」の導入に伴い、約 86%と減少した。北陸 3 県においても主力品種であったが、新品种の導入により生産量は大幅に低下している。

「あやこがね」は開花期が 7 月下旬、成熟期が 10 月中旬の晩生品種で、子実収量は 10a 当り 351kg である。味噌、豆腐加工用として適する。倒伏抵抗性は強、ダイズモザイクウイルスについては A, B, C, D レースに抵抗性を有する。「タ



チナガハ」同様、一部の地域で栽培されているのみで、県全体の作付面積の約3%を占める程度である。福島県でも導入されている。

「里のほほえみ」は開花期が7月下旬、成熟期が10月下旬の晩生品種で、子実収量は10a当り395kgである。主に豆腐加工用として用いられており、百粒重が39.8gと非常に大きいため豆乳回収率が良好な特徴がある。倒伏抵抗性は強、ダイズモザイクウイルスについてはA、B、C、Dレースに抵抗性を有する。新潟県では2016年の採用によって新たに栽培が始まったが、作付け希望面積に対する種子量の生産が追いつかず、県全体の作付面積の約7%に留まっている。今後は県内での「里のほほえみ」の作付けが拡大する見込みである。近年、山形県、福井県で先行して採用され、その後本県を含めて石川県、栃木県でも採用されている。福井・栃木県では主力品種として「里のほほえみ」への切り替えを図っている。

第2-1表 ダイズ品種の特性表

品種名	来歴 (育成地)	県 採 用 年	開 花 期 月 期	成 熟 期 月 期	胚 軸 色	花 莢 色	熟 莢 色	茎 長	分 枝 数	耐 倒 伏 性	S M V	S C N	黒 根 腐 病	裂 莢 性	10a 収 量 (kg)	百 粒 重 (g)	粒の形質				
																	粒 形	皮 色	へ そ 色	裂 皮	
タチナガハ	東山161／東山系G627 (長野県中信農試)	平成18年	7月 下旬	10月 下旬	晩生	紫	紫	褐	中	中	強	中	弱	弱	中	311	34.5	球	黄	黄	少
エンレイ	農林2号／東山6号 (長野県農試 桔梗ヶ原分場)	昭和54年	7月 下旬	10月 中旬	中生の晩	紫	紫	褐	中	中	強	中	弱	中	中	339	32.0	楕円	黄	黄	微
あやこがね	ホウレイ／エンレイ (長野県中信農試)	平成12年	7月 下旬	10月 中旬	晩生	紫	紫	褐	中	中	強	強	弱	中	中	351	30.4	球	黄	黄	少
里のほほえみ	東北129号／ 刈交0264MYF6 (東北農研 刈和野試験地)	平成28年	7月 下旬	10月 下旬	晩生	緑	白	褐	長	中	強	強	弱	やや強	難	395	39.8	扁球	黄	黄	微

「タチナガハ」は新潟県種子対策品種、「エンレイ」、「あやこがね」および「里のほほえみ」は新潟県奨励品種としての採用である。SMVは「ダイズモザイクウイルス」、SCNは「ダイズシストセンチュウ」を示す。10a当り収量および百粒重は、5月30日にm<sup>2</sup>当り8.9粒を播種した結果であり、「タチナガハ」は2007～2013年、「エンレイ」および「あやこがね」は2005～2014年、「里のほほえみ」は2013～2016年の平均値である。

(新潟県農林水産部 2012, 一部改定)

## 2-2 試験圃場の状況

本論文では，第3章で現地実証試験を，第4章以降で所内試験を実施した．各試験地の位置関係について第2-1図に示す．

現地実証試験圃場は，新潟県新潟市の東側約20 kmに位置する，阿賀野市笹神地区の水田転換畑圃場で実施した．作土土性は砂壤土であるが，排水整備体制が他の地域と比べて進展しておらず，圃場内の地下水位が比較的高い地域である．さらに地域全体で本暗渠の施工がなされていない圃場が4割程度，本暗渠の施工が数十年前で排水機能が劣る圃場が5割程度存在する．そのため降雨後は営農排水が進まず数日地表水が溜まることもあり，湿害によるダイズの生育停滞が起きやすく，また中耕・培土作業を適期に実施することが困難な地域である．当地域では，大規模な面積でダイズ栽培を行う法人組織が存在し，ダイズ圃場の団地化や，おおよそ3年に1回のペースでのブロックローテーションが実施されている．排水性が不利な条件の中で，ダイズの安定栽培が積極的に行われている地域である．

所内試験圃場は，新潟市の南側約50kmに位置する，長岡市の新潟県農業総合研究所の水田転換畑圃場で実施した．作土土性は軽埴土で，新潟県内の水田では一般的な粘土質の土壌である．本暗渠の施工が30年以上前で排水機能が劣り，降雨後数日は中耕・培土作業が困難な圃場が多い．また，ダイズ試験用の圃場数の都合により，ダイズ圃場の隣接田では水稻が作付けされ，水の流入が稀に起こる条件下で栽培を行っている．



第2-1図 試験圃場の位置関係. 丸印は現地試験圃場, 星印は所内試験圃場の箇所を示す.

## 第 3 章

### 新潟県における技術の実用性の検証

#### 3-1 はじめに

近年，農業生産者の高齢化および後継者不足などにより，担い手への農地集積や，集落営農等の組織化が図られ，ダイズ生産においても 1 経営体当たりの作付面積が拡大している．しかし，ダイズの作付け規模が大きくなるに従い，適期の管理作業が間に合わない圃場も発生している．ダイズの生育促進および雑草防除につながる中耕・培土は，作業時期が梅雨にあたるため，降雨後は土壌水分が高く中耕・培土作業が可能な日は少ない．さらに，新潟県のように重粘土地帯が広がる地域では，降雨後も圃場が乾きにくく，好条件で培土作業を行うことは困難である．このことから大規模ダイズ生産現場では，適期に中耕・培土作業を実施できずに雑草を繁茂させてしまい，収量および品質の低下につながる事例が見られる．

このような問題を解決する方法として，ダイズの出芽時の湿害を回避して苗立ちを安定させるために平高畦を形成し，平高畦上にダイズの条間を従来の半分程狭めて播種を行う，「耕うん同時畝立て狭畦無培土栽培（以下，畝立て狭畦栽培）」技術が取り組まれている（細川 2012）．この技術はダイズ自身の茎葉によって地表面を早期にマルチのように覆い，中耕・培土作業を実施しなくても雑草の生育を抑制できる作業省略技術としての特徴を持つ．だが「畝立て狭畦栽培」は条間を狭める分，密植条件となり，ダイズの特性として株同士が密集すると光の競合が起きて主茎が伸びやすくなる（星川 1996）．従って「畝立て狭畦栽培」の栽植密度を慣行並に設定すれば，主茎の徒長および，倒伏の問題が解決できると考えられる．しかし，このような「畝立て狭畦栽培」に関する報告例は少なく，生育

特性や雑草抑制効果に関する知見が見られない。

本章では、水田転換初年目の圃場において耐倒伏性を有するダイズ品種を用いて、播種密度を慣行栽培程度に抑えた「畦立て狭畦栽培」技術の実用性について検証した。

### 3-2 材料および方法

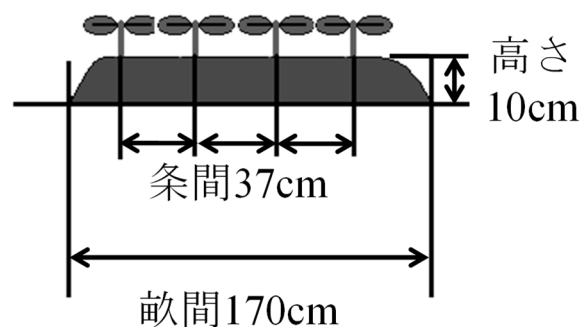
#### 3-2-1 試験圃場のダイズ栽培概要および気象的特徴

本研究は2009～2011年に、第2章にて記述した新潟県阿賀野市笹神地区の現地圃場で実施した。3ヶ年ともに転換畑1年目となる、1筆当たり10アール規模の水田圃場を選定して試験を行った。

肥料は耕うん前にN,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  をそれぞれ  $0.8 \text{ g m}^{-2}$ ,  $3.0 \text{ g m}^{-2}$ ,  $4.0 \text{ g m}^{-2}$  施用した。供試品種は笹神地区で主に作付けされ、耐倒伏性を有する「タチナガハ」を用いた。播種様式は、畝立て狭畦栽培を行う「狭畦区」では第3-1図のとおりに、耕うんと同時に畝幅170 cmの平高畝を形成し、平高畝上にダイズ条間37 cmの4条、畝間を49 cm（平均条間40 cm）に設定した。平高畝の畝立て高さは10 cm、株間は16 cm、1粒播種（ $\text{m}^2$  当り播種密度15.6粒）とした。なおこの播種様式では、平高畝上の4条間部分の $\text{m}^2$  当り播種密度は16.9粒となる。笹神地区の栽培体系に準ずる「慣行区」では、条間80 cm、株間8 cm、1粒播種（ $\text{m}^2$  当り播種密度15.6粒）に設定し、耕うん同時畝立て播種を行った。播種は両区とも、2009年は6月5日、2010年は6月11日、2011年は6月10日に行った。除草体系は、播種後に両区とも土壌処理除草剤として「ベンチオカーブ・ペンディメタリン・リニュロン粉粒剤」を散布した。さらに慣行区では現地の防除体系に準じ、播種30日後頃に中耕・培土を、播種44日後頃に生育期茎葉処理除草剤「ベントゾン液剤」、および「キザロホップエチル水和剤」を散布した。狭畦区では播種30日

後頃に同様の生育期茎葉処理除草剤のみ散布した。成熟期は両区とも、2009 年は 10 月 17 日、2010 年は 10 月 31 日、2011 年は 10 月 24 日であった。

現地の気象条件については気象庁公開の、笹神地区近辺の気象観測地点である新津観測地点（笹神地区から西南西側約 10km に位置する）の月別日平均気温、日照時間および降水量を用いた（気象庁 2015a）。



第3-1図 耕うん同時畝立て狭畦栽培の模式図。

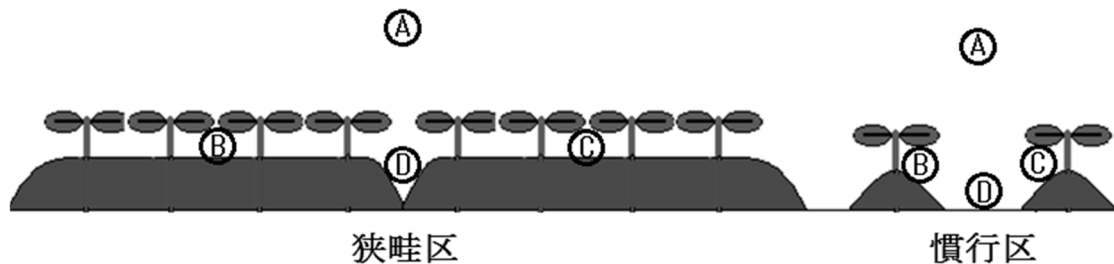
### 3-2-2 ダイズ生育調査

播種 23 日後、50 日後、80 日後頃および成熟期に、ダイズの主茎長、主茎節数、分枝数を調査した。調査株は狭畦区、慣行区とも生育中庸な連続 10 株を 1 圃場当たり 2 ヶ所選定した。成熟期には 2m×4 条、1 圃場当たり 3 ヶ所を刈り取って収量調査を行うとともに、倒伏程度を確認した。

### 3-2-3 ダイズ群落の地表面における相対照度の測定

播種 50 日後、80 日後頃に LI-COR 社製 LI-190SA 光量子センサーを用いて群落内の光合成有効放射（以下、PAR）量を 3 ヶ所ずつ測定した。2011 年では、播種 23 日後、60 日後頃にも同様の測定を行った。狭畦区では第 3-2 図に示すように、ダイズ群落上の光量（A）を測定し、次に平高畝上のダイズ条間 2 ヶ所（B, C）と平高畝の畝間 1 ヶ所（D）の地表面の光量を測定した。慣行区ではダイズ群落上

の光量（A）を測定し，地表面の光量はダイズ株元の日表側（B または C），日裏側（C または B）と条間（D）を測定した．測定後，両区とも 3 点の地表面光量の平均値を群落上光量で割り返し，値を相対 PAR 量とした．すなわち，相対 PAR 量（％）＝  $\{(B+C+D)/3\}/A \times 100$  として算出した．



第3-2図 相対PAR測定の様式図．

相対PAR量は  $\{(B+C+D)/3\}/A \times 100$ （％）として算出した．

#### 3-2-4 雑草発生量調査

狭畦区と慣行区の雑草発生動態の違いを調査するために，雑草発生本数を調査した．播種 23 日後，50 日後，80 日後頃および成熟期に，狭畦区と慣行区共に 50cm × 50cm 四方の枠を置き，枠内の雑草を採取した．枠は狭畦区では畝間に 2 ヶ所，平高畝上のダイズ株を含む中央部で 2 ヶ所，計 4 ヶ所に設定した．慣行区では条間に 2 ヶ所，ダイズ株下を中心とした畝部分の 2 ヶ所，計 4 ヶ所に設定した．採取後，雑草の種類と本数を調べ，m<sup>2</sup> 当たり発生数を算出した．

#### 3-2-5 統計解析

ダイズ生育調査および相対 PAR 量の測定については，株式会社社会情報サービス社製の統計解析ソフト「エクセル統計 2008」を使用し，栽培法および年次を因子として多重比較検定を行った．雑草発生量調査では山村（2002）の方法に準じ，個体数に 0.5 を足し，その数値を対数変換した後に同様の検定を行った．

### 3-3 結果

#### 3-3-1 笹神地区の気象的特徴

第 3-1 表に月別の日平均気温，日照時間および降水量を示した．2009 年は日平均気温が 8, 9 月で平年よりやや低かった．日照時間は 7, 8 月が平年より短く，6, 9 月が平年よりやや長く，10 月は長かった．降水量は 7 月が平年より多く，6, 8, 9 月は平年より少なかった．

2010 年は日平均気温がダイズの栽培期間を通して平年よりやや高く推移した．日照時間は 6～8 月は平年より長かったが，10 月は平年より短かった．降水量は 6 月では平年よりやや多く，その後 7, 8 月は平年より少なかったが，9 月に入ると平年より倍近く多かった．この年の 9 月は 1 日当たりの雨量が 10 mm 以上となった日が 8 日あり，多い日は 78 mm を観測した．

2011 年は日平均気温が 7, 9 月で平年よりやや高かった．日照時間は 7, 9 月が平年より多く，10 月はやや多かった．降水量は 6, 7, 9 月が平年より多く，8, 10 月は少なかった．特に 7 月は平年の倍近い降水量となった．この年は「平成 23 年 7 月新潟・福島豪雨」災害が発生した年であり，7 月の雨のほとんどは 28 日から 30 日にかけて降り，3 日連続で 1 日当たり雨量が 100 mm 以上を観測した．新潟県内の一部では河川氾濫による水害を受けた中で，笹神地区の試験圃場でも集中豪雨によって浸水したが，ダイズ株が冠水するまでではなかった．



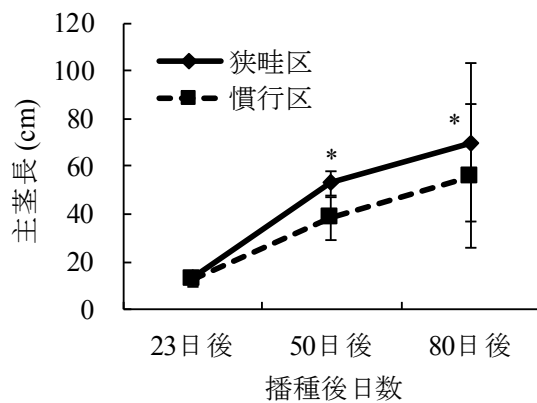
第3-1表 月別気象概況.

	年次	6月	7月	8月	9月	10月
日平均気温 ( $^{\circ}\text{C}$ 日 $^{-1}$ )	2009	21.0 (102)	23.4 ( 97)	24.2 ( 94)	20.3 ( 94)	15.3 ( 99)
	2010	21.5 (105)	25.8 (107)	28.1 (109)	22.6 (105)	16.5 (107)
	2011	21.2 (103)	25.7 (107)	26.1 (102)	22.5 (105)	15.3 ( 99)
	平年	20.5	24.1	25.7	21.5	15.4
日照時間 (h)	2009	172.8 (108)	90.2 ( 57)	145.0 ( 72)	151.7 (107)	155.3 (113)
	2010	185.4 (116)	199.5 (125)	252.1 (124)	143.4 (101)	118.6 ( 86)
	2011	154.7 ( 97)	214.4 (135)	198.5 ( 98)	182.8 (129)	146.7 (107)
	平年	159.7	159.3	202.6	141.7	137.2
降水量 (mm)	2009	80.0 ( 62)	325.5 (164)	121.5 ( 86)	130.0 ( 87)	159.5 (102)
	2010	141.5 (110)	101.0 ( 51)	115.0 ( 82)	284.0 (191)	107.5 ( 69)
	2011	172.5 (134)	386.0 (194)	44.5 ( 32)	220.5 (148)	118.5 ( 76)
	平年	128.4	198.5	140.9	149.0	156.5

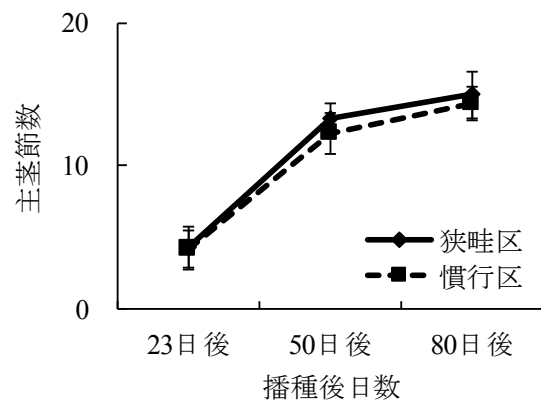
新津観測地点によるデータである. ( )内は平年対比を表す.

### 3-3-2 ダイズ生育調査

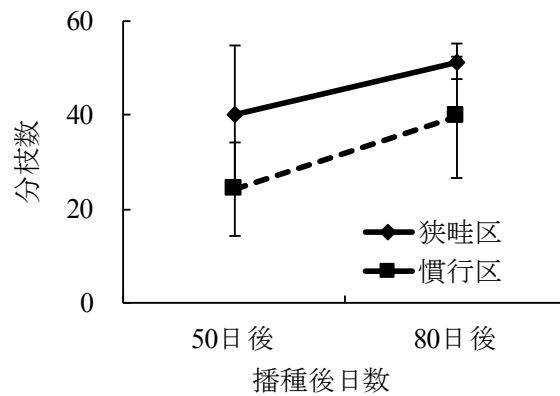
播種密度を  $\text{m}^2$  当たり約 15.5 粒に設定し, 機械播種したところ, 実際の栽植密度の 3 ヶ年平均は, 狭畦区で  $\text{m}^2$  当たり約 14.3 株と出芽率が 92.3% であり, 慣行区で  $\text{m}^2$  当たり約 12.2 株と出芽率が 78.7% あった. この条件で生育期間中, 播種 50 日以降の主茎長では狭畦区が慣行区より高くなり (第 3-3 図), 株当たり主茎節数および  $\text{m}^2$  当たり分枝数は両区で有意な差は無かった (第 3-4 図, 第 3-5 図). 成熟期の主茎長および百粒重は狭畦区が慣行区より大きくなり, 収量などその他の要素については狭畦区と慣行区の間に有意な差は無かった (第 3-2 表).



第3-3図 狭畦区および慣行区の主茎長推移。  
 数値は2009～2011年の3ヶ年平均を示している。図中の\*は5%水準で有意差があることを示す (LSD法)。縦棒は標準偏差を示す。



第3-4図 狭畦区および慣行区の株当たり主茎節数の推移。  
 数値は2009～2011年の3ヶ年平均を示している。縦棒は標準偏差を示す。



第3-5図 狭畦区および慣行区のm<sup>2</sup>当り分枝数の推移。  
 数値は2009～2011年の3ヶ年平均を示している。縦棒は標準偏差を示す。

第3-2表 成熟期の生育，収量構成要素および収量。

年次	試験区	主茎長 (cm)	株当り 主茎節数	株当り 分枝数	m <sup>2</sup> 当り 分枝数	最下 着莢高 (cm)	株当り 莢数	m <sup>2</sup> 当り 莢数	百粒重 (g)	収量 (g m <sup>-2</sup> )	倒伏程度
2009	狭畦区	98	17.2	4.0	58.8	35	38.5	566	33.4	350	3.0
	慣行区	82	16.4	3.9	50.4	30	42.3	554	31.9	373	0.0
2010	狭畦区	54	14.0	3.6	51.8	20	33.6	483	30.6	216	2.0
	慣行区	40	14.1	4.4	53.7	7	36.9	454	29.4	196	0.0
2011	狭畦区	48	14.2	4.2	58.0	18	46.0	630	33.6	377	0.0
	慣行区	36	13.5	3.7	41.1	12	47.0	526	31.8	296	0.0
平均	2009	90 <sup>a</sup>	16.8 <sup>a</sup>	3.9	54.6	33 <sup>a</sup>	40.4 <sup>ab</sup>	560	32.6 <sup>a</sup>	361	1.5
	2010	47 <sup>b</sup>	14.1 <sup>b</sup>	4.0	52.8	13 <sup>b</sup>	35.2 <sup>b</sup>	468	30.0 <sup>b</sup>	206	1.0
	2011	42 <sup>b</sup>	13.9 <sup>b</sup>	4.0	49.5	15 <sup>ab</sup>	46.5 <sup>a</sup>	578	32.7 <sup>a</sup>	337	0.0
	狭畦区	67 <sup>a</sup>	15.1	3.9	56.2	24	39.4	560	32.5 <sup>a</sup>	314	1.7
	慣行区	53 <sup>b</sup>	14.7	4.0	48.4	16	42.1	511	31.0 <sup>b</sup>	289	0.0
分散	年次 (A)	**	*	n.s.	n.s.	*	*	n.s.	**	n.s.	n.s.
分析	試験区 (B)	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.

莢数は有効莢数の結果である。倒伏程度は0：無，1：微，2：少，3：中，4：多，5：甚，を表す。\*\*，\*はそれぞれ1%，5%水準で有意差あり，n.s.は有意差なしを示す（倒伏程度：Kruskal-Wallis検定，他項目：分散分析法）。異なる英文字間是要因別に，5%水準で有意差ありを示す（倒伏程度：Steel-Dwass法，他項目：Tukey法）。

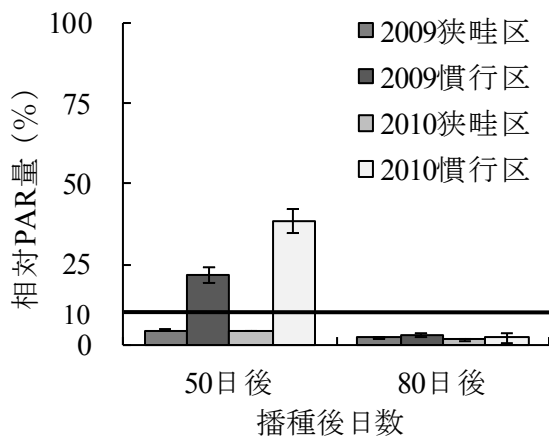
### 3-3-3 ダイズ群落の地表面における相対照度の測定

2009，2010年は播種後50日後，80日後のみ相対PAR量の測定を行った。2ヶ年ともに播種50日後頃には狭畦区の相対PAR量が10%以下となり，十分な雑草抑制効果が得られる値を示した。対して慣行区はまだ10%以上であり，播種80日後に10%以下となった（第3-6図）。

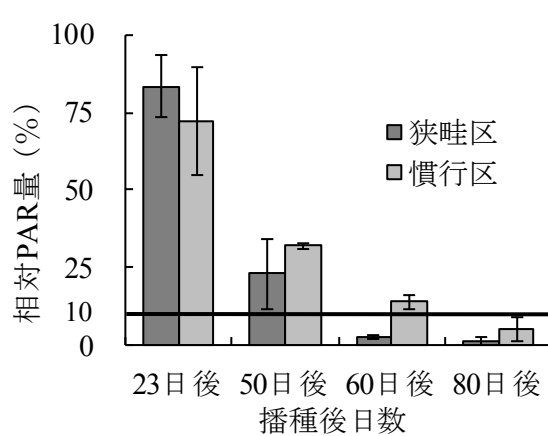
2011年の狭畦区および慣行区のダイズ群落内の相対PAR量の推移は，播種23日後は狭畦区で約80%，慣行区で約70%と高く，両区とも遮光効果は少なかった。播種50日後では，狭畦区が約23%，慣行区が約32%と狭畦区の方で遮光効果が高かったが，両区ともまだ雑草を抑制するまでの遮光効果は得られなかった。播種60日後頃になると，慣行区の相対PAR量は約15%に対して，狭畦区の相対PAR量は約3%の数値を示した。雑草発生が抑制される相対PAR量は10%以下となることが必要であり（野口・中山 1978），狭畦区では慣行区より早期にその数値以下となった。播種80日後頃に，慣行区でも雑草抑制効果が得られる相対PAR量

10%以下となった（第 3-7 図）。

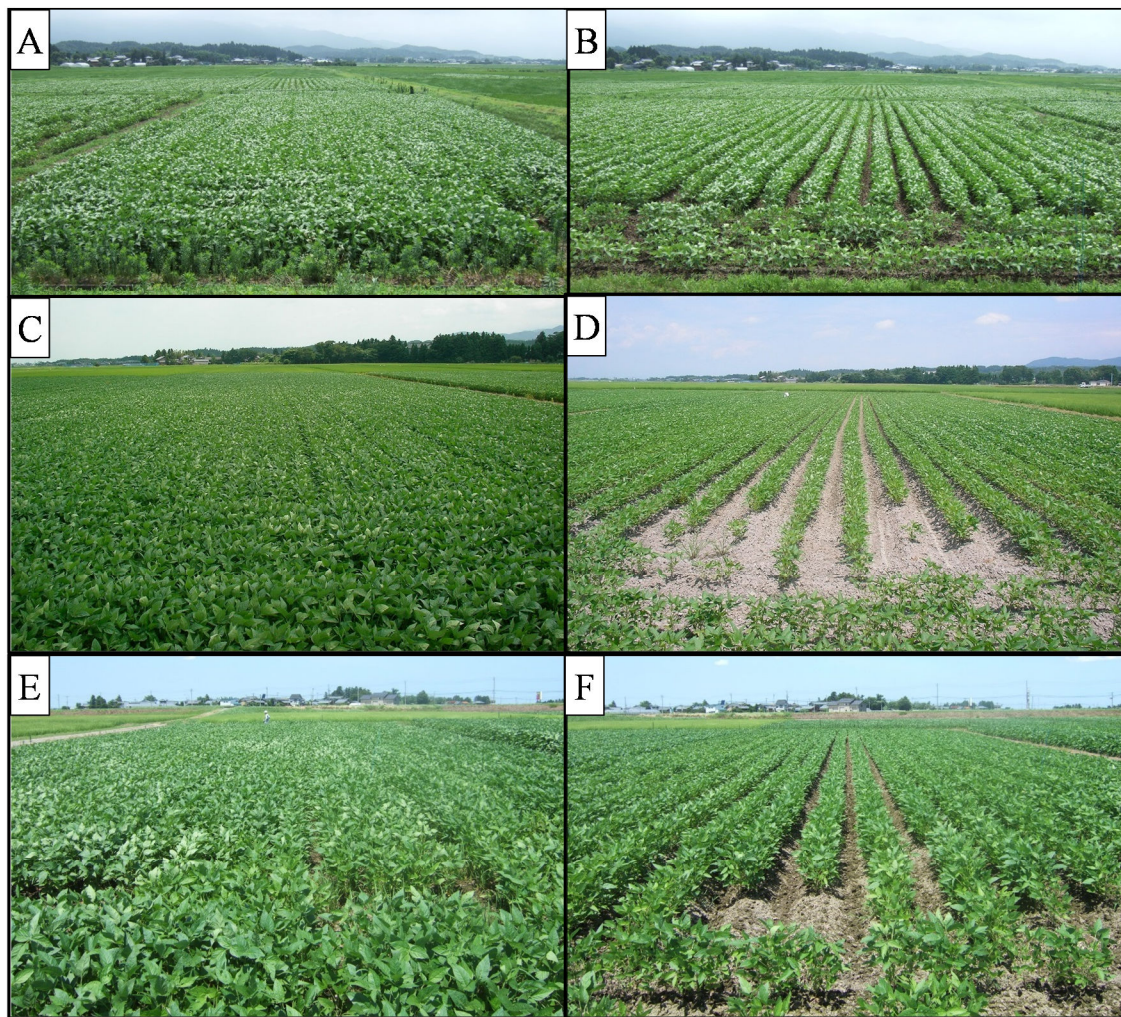
第 3-8 図より，3 ヶ年における播種 50 日後頃の狭畦区と慣行区それぞれの全景を見ると，条間に地表面が確認される慣行区に対して，2009，2010 年の狭畦区ではほとんど地表面が確認されないほど被覆されていた．一方，2011 年の狭畦区は平高畝の畝間に多少地表面が確認され，完全な被覆には至っていなかった．



第3-6図 2009，2010年の大豆群落内の相対 PAR量の推移。  
縦棒は標準偏差を示す。



第3-7図 2011年の大豆群落内の相対PAR量の推移。  
縦棒は標準偏差を示す。



第3-8図 播種50日後頃における各試験区の全景写真。

A：2009年狭畦区，B：2009年慣行区，C：2010年狭畦区，D：2010年慣行区，  
E：2011年狭畦区，F：2011年慣行区。

#### 3-3-4 雑草発生量調査

本調査で確認された雑草は、播種 23 日後では土壌処理除草剤の効果が切れた後に発生した雑草、播種 50 日後では中耕・培土や生育期茎葉処理除草剤散布などの除草管理後に後発した雑草がほとんどであった。このような雑草発生動態の条件下で、播種 80 日後までの期間は、狭畦区と慣行区の間で、雑草種毎および雑草総数において雑草発生数に有意差は無く、中耕・培土を行わない狭畦区でも慣行除草体系並の雑草発生数に抑えられた。成熟期に当たる播種 135 日後頃においては、

狭畦区の雑草総数が有意に少なく、慣行以上の抑制効果がみられた（第 3-3 表）。

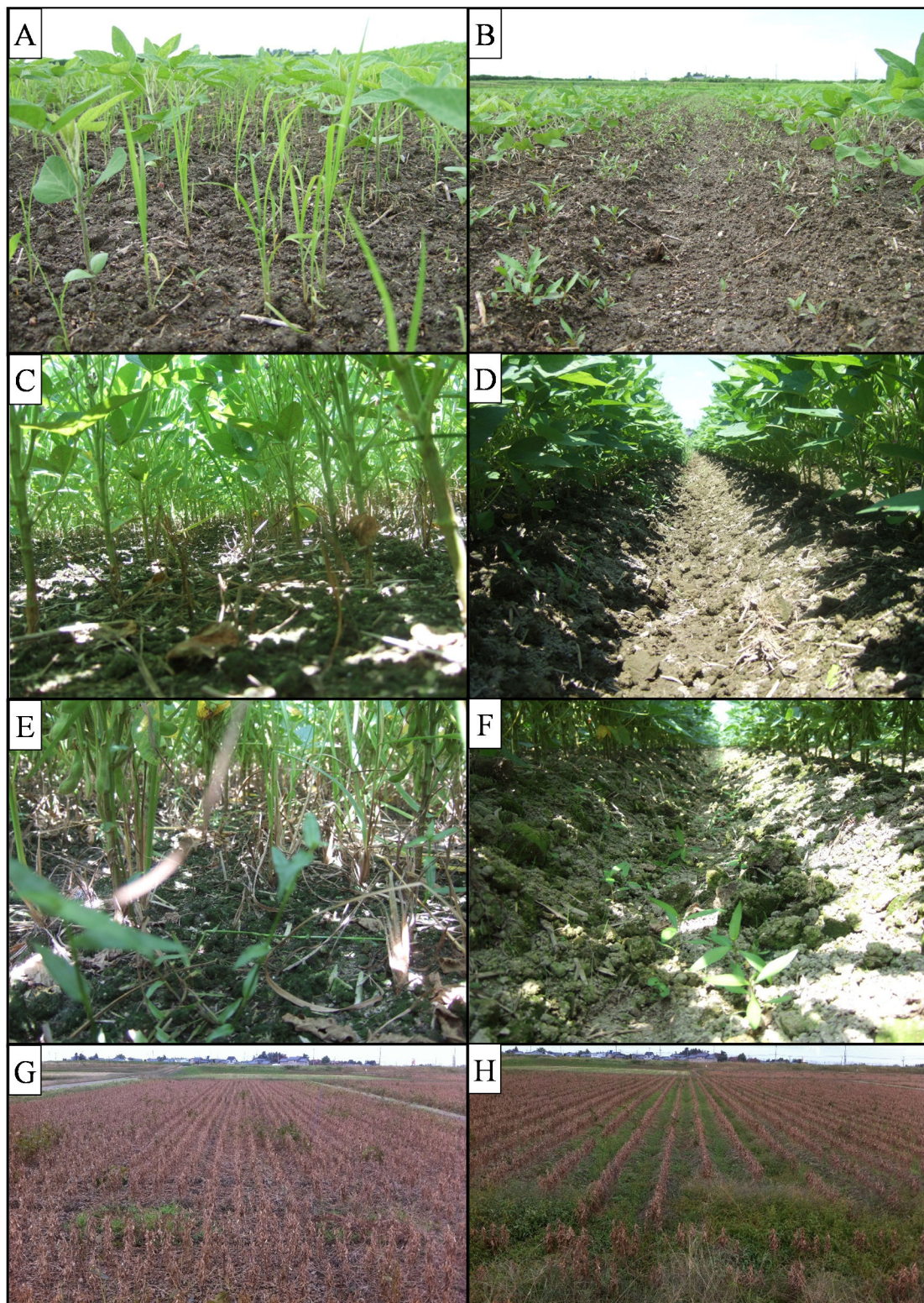
第 3-9 図より、大豆生育期間中の雑草発生状況を見ると、狭畦区と慣行区で雑草量はおおよそ同等程度であった。成熟期に当る播種 135 日後頃の雑草量は、狭畦区で部分的に発生しているものの、圃場全面に雑草が発生している慣行栽培と比べて減少していた。

第3-3表 生育期間中の除草体系とm<sup>2</sup>当たり雑草発生数.

区名	雑草種	播種後日数						
		直後	23日	30日	44日	50日	80日	135日
狭 畦 区	イネ科	土 壌 処 理 剤	31	除 草 剤		3	1	0
	タデ科		149			168	16	7
	アブラナ科		0			1	1	1
	ツユクサ科		9			10	9	0
	総計		189			185	28	9*
慣 行 区	イネ科	中 耕 培 土	2	除 草 剤		11	0	58
	タデ科		109			54	13	6
	アブラナ科		0			0	42	32
	ツユクサ科		4			2	5	1
	総計		116			76	62	97

数値は2009～2011年の3ヶ年平均値結果である。総計は表に挙げた4科以外の雑草種も含めた発生数を示している。\*は慣行区と比較して5%水準で有意差があることを示す（LSD法）。





第3-9図 ダイズ圃場における2011年の雑草発生状況.

A : 播種23日後頃狭畦区, B : 播種23日後頃慣行区, C : 播種50日後頃狭畦区,  
 D : 播種50日後頃慣行区, E : 播種80日後頃狭畦区, F : 播種80日後頃慣行区,  
 G : 播種135日後頃狭畦区, H : 播種135日後頃慣行区.

### 3-4 考察

耐倒伏性が強く、密植適応性が高いダイズ品種「タチナガハ」を用いて、播種密度を現地慣行栽培並とした場合の、ダイズ畝立て狭畦栽培による生育、収量および抑草効果への影響を調査し、転換畑 1 年目における畝立て狭畦栽培の実用性を検討した。

主茎長は播種 50 日後から成熟期まで畝立て狭畦栽培の方が慣行栽培より高く推移した。第 3-2 表において成熟期の主茎長は年次によって差が見られ、特に 2009 年が最も高くなった。株あたり主茎節数も年次による差が確認されており、2009 年は他の 2 ヶ年と比べて増加したことに加え、年次ごとに株あたり主茎節数から主茎長を割り返すと、2009 年は 5.0～5.7 cm、2010 年は 2.8～3.9 cm、2011 年は 2.7～3.4 cm となり、2009 年は節間長の平均が他の 2 ヶ年より長くなっていた。

また第 3-1 表から 2009 年の笹神地区の気象の特徴として 7 月から 8 月にかけての日照時間が他の 2 ヶ年および平年と比べて短く、寡照条件であった。中村ら (1986) はダイズの遮光処理により主茎長が伸び、それが主茎節数の増加と第 1 節間長の伸長促進によることを報告しており、梅崎ら (1988) は花芽分化期から開花期までの遮光処理が主茎長の増加、および主茎節数と節間伸長の増加が認められたことを報告している。このことから 2009 年は特に 7 月の寡照条件が笹神地区のダイズの主茎節数と節間長を増大させ、主茎を伸長させる条件であったことが考えられた。2010、2011 年の気象条件は 6 月のダイズ生育初期の頃に平年以上の降雨が見られた。生育初期は過湿条件期間が長くなるほど成熟期の主茎長が短くなる傾向があり (福井 1965)、この要因も 2009 年と、2010 および 2011 年との成熟期主茎長の伸長差がさらに大きく開く結果につながったと考えられた。さらに 2011 年の 7 月は 28 日から 30 日にかけて 3 日連続で 1 日当たり雨量が 100 mm 以上となり、笹神地区の圃場でも浸水したため、有意差は現れなかったが 2011



年は 2010 年よりも成熟期主茎長が短い傾向となったと考えられた。以上の気象要因から成熟期の主茎長は年によって差が生じたものの、畝立て狭畦栽培の主茎長が慣行栽培より長く推移する傾向は 3 ヶ年を通して同様の結果となり、畝立て狭畦栽培による主茎長の伸長促進効果は大きいことが示された。

畝立て狭畦栽培での主茎の伸長は、生育期間中の主茎節数が畝立て狭畦栽培と慣行栽培で差がなかったことから、節数の増加ではなく、節間の伸長によるものと考えられた。畝立て狭畦栽培の平高畝上の播種間隔は条間 37 cm、株間 16 cm に対して慣行栽培は条間 80 cm、株間 8 cm で、条間が狭まった程度は大きいのに対して株間が広がった程度は小さいこと、および実際の栽植密度は畝立て狭畦栽培で  $\text{m}^2$  当たり約 14.3 株に対し慣行栽培は  $\text{m}^2$  当たり約 12.2 株と、畝立て狭畦栽培の方が高かったことから、畝立て狭畦栽培の方がダイズ間の光の競合が起きやすく、星川（1996）の指摘する節間が伸長する条件となったためと考えられた。ただし第 3-2 表から株当たり分枝数は、狭畦栽培では約 3.9 本、慣行栽培では約 4.0 本であり、有意差が見られなかった。さらに株当たり有効莢数も、狭畦栽培では約 39.4 莢、慣行栽培では約 42.1 莢であり、同様に有意差は見られなかった。このことから  $\text{m}^2$  当たり播種密度 15.5 粒（ $\text{m}^2$  当たり栽植密度 14.3 株）の畝立て狭畦栽培において、節間の伸長は起こり得るが、分枝数・着莢数が減少する蔓化症状に至るほどの障害は出にくいと考えられた。

畝立て狭畦栽培と慣行栽培の間では百粒重や大粒率に差がない報告（松浦ら 2006、齊藤ら 2007）があるが、第 3-2 表から、本研究において百粒重は畝立て狭畦栽培が慣行栽培より有意に大きくなった。ダイズにおいて  $\text{m}^2$  当たり莢数と百粒重には負の相関があることが報告されている（齊藤ら 1998）。しかし本試験における  $\text{m}^2$  当たり有効莢数と百粒重の関係を年次別に見ると、3 ヶ年とも狭畦区の方が  $\text{m}^2$  当たり有効莢数が多く、百粒重も大きかった。結果 3 ヶ年平均でも、 $\text{m}^2$  当たり有

効莢数に有意差は無いものの、数値的に莢数と百粒重の間に負の相関は見られず、ダイズ株の生育条件自体が百粒重に影響したとは考えにくいと推察された。次に第 3-3 表から、雑草発生数の影響を検討した。畝立て狭畦栽培の雑草発生数はダイズ最繁期（R5～R6）にあたる播種後 80 日は慣行栽培程度に抑制され、成熟期（R8）にあたる播種後 135 日では慣行栽培よりも少ない傾向を示している。森ら（1982）は収穫期の雑草量と百粒重に負の相関が見られることを報告しており、本試験の畝立て狭畦栽培では粒の肥大期間は雑草発生数が慣行栽培より抑制され、雑草との養分競合が少なかったことで粒の充実につながったことが一つの要因と推察された。一方でダイズとヒメイヌビエの混合群落の場合でだが、百粒重は雑草量の影響による変動は少ない報告（松尾ら 1986）もあるため、畝立て狭畦栽培における、雑草量および百粒重の関係についてさらに検討が必要と思われる。百粒重の低下が抑えられたことによって収量は畝立て狭畦栽培が多収の傾向となったが、有意な差はなかった。また、倒伏は畝立て狭畦栽培の主茎長が長くなったことで慣行栽培より大きかったが有意な差はなく、倒伏程度も 1.7 にとどまったため、コンバイン収穫に影響を及ぼさない程度であると考えられた。このことから「タチナガハ」の  $\text{m}^2$  当り播種密度が 15.5 粒の畝立て狭畦栽培では、倒伏による収穫ロスや品質低下の影響はほとんどないものと考えられた。

「タチナガハ」群落内の相対照度において、2009、2010 年の調査では、播種後 50 日後頃には畝立て狭畦栽培の相対 PAR 量は慣行栽培より低く、さらに値が 10% 以下となった。一方、2011 年調査では播種 50 日後頃も畝立て狭畦栽培の方が慣行栽培よりも値は低かったものの 20～30% で、雑草が十分抑制されるほどの被覆効果としてはまだ不十分であった。しかし播種 60 日後頃になると、畝立て狭畦栽培の相対 PAR 量は 10% 以下となり、雑草の発生や生育が抑制される遮光率となった。試験圃場の全景から見ても畝立て狭畦栽培は慣行栽培より地表面を十分に被

覆していること、また 2011 年の畝立て狭畦栽培は 2009 および 2010 年の同栽培法と比べて地表面が少し露出していることが伺える。2011 年調査では畝立て狭畦栽培の相対 PAR 量が 10%以下となった時期が過去 2 ヶ年より遅れたが、先にも記述した通り、第 3-1 表から 2011 年は播種後の 6 月の降水量が多く、さらに 7 月に 28 日から 30 日にかけて 1 日当たり雨量 100 mm を超える集中豪雨に遭遇した。2011 年は集中豪雨後の 8 月 4 日に調査を行ったが、豪雨による湿害でダイズ株が弱体化して主茎長を確保できず、相対 PAR 量が低下しなかったと考えられた。播種 80 日後頃では 3 ヶ年ともに慣行栽培でも相対 PAR 量が 10%を下回り十分な被覆状態となった。以上から、播種 50 日後頃の畝立て狭畦栽培の相対 PAR 量は慣行栽培より低く、さらに 2009、2010 年は相対 PAR 量が 10%以下となり、雑草の発生や生育が抑制される被覆状態となった。このことから「タチナガハ」の条間 37cm の畝立て狭畦栽培では、条間 80cm の慣行栽培よりも、播種密度に大きな違いはなくても、被覆効果が早く得られることが示唆された。

畝立て狭畦栽培で播種 50～60 日後頃、すなわち開花盛期（R2）以降に雑草が抑制されるほどの被覆効果が得られ、対して慣行栽培は播種 80 日後頃、すなわちダイズ最繁期（R5～R6）頃に同様の被覆効果が得られている。畝立て狭畦栽培と慣行栽培との間で、雑草が抑制される被覆効果は、最長でも 30 日程度の差があると考えられる。畝立て狭畦栽培により最長 30 日の被覆効果発現の短縮が得られたことで、雑草発生数にどれだけ影響したかを、中耕・培土が行われる慣行栽培と比較した。

本試験における畝立て狭畦栽培の除草体系は、慣行栽培で中耕・培土が実施される時期に、生育期茎葉処理除草剤を 1 回散布するのみで、中耕・培土は条間が狭いために行わない。そのような畝立て狭畦栽培の雑草発生状況を慣行栽培と比較した結果、ダイズの栽培期間を通して慣行栽培並またはそれ以上に雑草発生数

を抑制した。播種 50～60 日後には畝立て狭畦栽培の方が早期に雑草発生を十分に抑制できる相対 PAR 量 10%を確保でき、播種 30 日後の除草剤散布以降に後発した雑草を十分に抑制、枯死させることができたためと考えられた。

野口ら（1982）は寒冷地転換畑のダイズ作におけるイネ科雑草のノビエおよびメヒシバの防除において、播種から、被覆による雑草抑制効果が得られるダイズ生育日の 35～40 日前までの期間が、除草必要期間と推定されることを報告している。すなわち本実証試験において、畝立て狭畦栽培は播種 50～60 日後に被覆による雑草抑制効果が得られる結果となったため、そこから 35～40 日を差し引くと、播種後 10～25 日までが推定除草必要期間と考えられる。また、本試験では畝立て狭畦栽培での播種 30 日後の除草剤散布によって、慣行栽培並以上に雑草発生数を抑制した結果が得られている。以上のことを踏まえ、「タチナガハ」の畝立て狭畦栽培では播種後 10～30 日頃、土壌処理除草剤の効果が切れて後発雑草が現れた時に生育期茎葉処理除草剤を散布すれば、その後は中耕・培土をしなくても大豆の被覆効果により十分な抑草効果が得られることが示唆された。

以上から新潟県の転換畑 1 年目圃場での「タチナガハ」による畝立て狭畦栽培においては、慣行並の播種密度で行うことにより、雑草を抑制し、収量性を維持したまま、中耕・培土作業の省略が可能であることが検証された。慣行栽培との組み合わせにより、同日に別々の管理機で慣行栽培圃場では中耕・培土作業を、畝立て狭畦栽培圃場では生育期茎葉処理除草剤散布作業を行うことが出来る。この作業体系によって大規模ダイズ生産において除草作業の分散・効率化が図られ、高品質安定生産につながる技術的効果は高いと考えられた。

## 第4章

### 新潟県ダイズ奨励品種を用いた適正栽植密度の解析

#### 4-1 はじめに

第3章において、排水性の悪い新潟県の水田転換畑におけるダイズ栽培では、耐倒伏性の高いダイズ品種「タチナガハ」を用いた場合、耕うんと同時に平高畝を形成し、畝上で条間を狭めて栽培を行う「耕うん同時畝立て狭畦無培土栽培（以下、畝立て狭畦栽培）」が、中耕・培土の省略作業として適することを確認した。作業の省略につながり、かつ雑草発生を抑えてダイズの安定生産を図る上で、畝立て狭畦栽培の導入や普及が期待される。2014年の時点で作付けされている県ダイズ奨励品種は「エンレイ」と「あやこがね」であり、本県でダイズの畝立て狭畦栽培を広く普及させるためには、両品種に対する技術の開発が欠かせない。

ダイズ育成地による倒伏抵抗性評価は、第2章で記述したとおり「エンレイ」、「あやこがね」とともに「強」判定である（御子柴ら 1974，矢ヶ崎ら 2000）。しかし、実際に新潟県内で栽培した場合、「エンレイ」は「あやこがね」より密植にすると倒伏しやすい傾向があり、「エンレイ」の方が密植適応性は低いと考えられる。新潟県におけるダイズの $\text{m}^2$ 当たりの目標苗立数も、6月上旬播種の場合「エンレイ」は9～10本に対して「あやこがね」は14～16本と設定し、「エンレイ」の方を疎植としている。光の競合によって徒長，倒伏を誘発しやすい狭畦栽培において、密植適応性が低い「エンレイ」では倒伏被害を抑えるため、畝立て狭畦栽培の適正な栽植密度を検討する必要がある。ダイズの畝立て狭畦栽培における適正な栽植密度の報告例として、片山ら（2012）が北陸地域の重粘土圃場における「エンレイ」の畝立て狭畦栽培で、水稻－オオムギ－ダイズの2年3作体系下での6月中，下旬播種の晩播栽培において減収を軽減するための栽植密度を示してい

る。しかし本県では単作ダイズが主体で6月上旬頃に播種作業が行われており、この頃の播種における、密植適応性の異なるダイズ品種の畝立て狭畦栽培の適正な栽植密度を解明することが重要と考える。

そこで本研究では、密植適応性が異なると考えられる新潟県ダイズ奨励品種2品種を用いて、栽植密度の違いがダイズ2品種に与える生育特性の違いを解析し、新潟県の重粘土圃場における畝立て狭畦栽培の適正な栽植密度を検証した。

## 4-2 材料および方法

### 4-2-1 供試ダイズ品種の特性

ダイズ品種は2014年の時点で新潟県奨励品種に指定されている「エンレイ」および「あやこがね」の2品種を供試した。県内における2品種の生育特性を第4-1表に示す。標準播で「エンレイ」は10月11日に成熟し、「あやこがね」は10月14日で「エンレイ」より成熟が3日程度遅い。倒伏程度は「エンレイ」が「あやこがね」に比べて標準播で0.3、晩播で0.5高く、「エンレイ」の方が倒伏しやすい傾向がある。主茎長は標準播で「エンレイ」の方が長く、茎太は標準播、晩播ともに「エンレイ」の方が細い傾向が見られ、「エンレイ」の方が倒伏しやすい株姿を呈する。

第4-1表 新潟県における「エンレイ」および「あやこがね」の生育特性。

播種区分	品種	開花期 (月日)	成熟期 (月日)	倒伏程度 (0-5)	主茎長 (cm)	主茎節数 (節株 <sup>-2</sup> )	分枝数 (本株 <sup>-2</sup> )	茎太 (mm)	莢数 (莢m <sup>-2</sup> )	百粒重 (g)	子実重 (gm <sup>-2</sup> )
標準播	エンレイ	7/22	10/11	0.7	54	13.8	4.9	9.2	635	32.0	33.9
	あやこがね	7/23	10/14	0.4	52	14.0	4.9	10.1	656	30.4	35.1
晩播	エンレイ	8/ 2	10/16	0.5	53	12.3	2.8	6.3	535	30.0	24.6
	あやこがね	8/ 3	10/19	0.0	53	12.8	3.2	6.9	559	30.7	26.7

新潟県農業総合研究所内圃場における、2005～2014年の10ヶ年平均値である。標準播は5月30日にm<sup>2</sup>当り8.9粒を播種し、晩播は6月20日にm<sup>2</sup>当り13.3粒を播種した。倒伏程度は0：無，1：微，2：少，3：中，4：多，5：甚，を表す。

### 4-2-2 ダイズの栽培概要および気象

本研究は 2012～2014 年に、第 2 章で記述した新潟県長岡市の新潟県農業総合研究所（以下、所内）の水田転換畑で行い、3 ヶ年ともに、2 年間の水稻作後の転換 1 年目となる圃場で実施した。基肥散布は耕うん前に行い、2012 年は N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  をそれぞれ  $1.6\text{ g m}^{-2}$ ,  $6.0\text{ g m}^{-2}$ ,  $8.0\text{ g m}^{-2}$  施用し、2013, 2014 年は N,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  をそれぞれ  $1.6\text{ g m}^{-2}$ ,  $4.0\text{ g m}^{-2}$ ,  $6.0\text{ g m}^{-2}$  施用した。

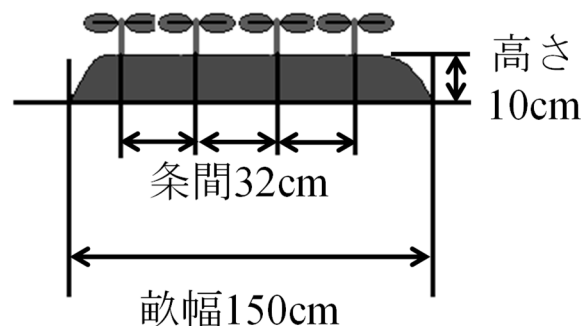
播種様式は、畝立て狭畦栽培（以下、狭畦区）では第 4-1 図のとおり、耕うんと同時に畝幅 150cm の平高畝を形成し、平高畝の畝立て高さは約 10 cm とした。栽植密度は、平高畝上にダイズを条間 32 cm の 4 条、畝間を 54 cm（平均条間 37.5cm）を基本とし、株間を変えて栽植密度を 4 水準設定した。すなわち、株間 30 cm, 20 cm, 15 cm, 10 cm とし、 $\text{m}^2$  当り栽植密度をそれぞれ 8.9 株, 13.3 株, 17.8 株, 26.7 株とした。慣行栽培（以下、慣行区）では、条間 75 cm, 株間 15 cm（ $\text{m}^2$  当り栽植密度 8.9 株）に設定し、耕うん同時畝立て播種を行った。播種は 3 ヶ年とも、6 月 6 日に行った。播種機はアグリテクノ矢崎社製の目皿式播種ユニット「TDRG-U」を用いた。本機におけるダイズの最小株間は 11 cm 設定までであるが、株間 10 cm の試験区を間引きで設定できるように、2 粒播種用目皿を用いて播種を行った。栽植密度の設定は狭畦区、慣行区ともに株間 11 cm の 2 粒播き設定で機械播種を行った後、おおよそ出芽が揃う第 1 複葉展開期頃に竹尺と剪定バサミを用いて、ダイズ株 1 本立ちで株間 30 cm, 20 cm, 15 cm, 10 cm となるように間引きして調整した。試験区 1 反復分の面積は狭畦区では各栽植密度とも畝幅 1.5 m×畝の長さ 5 m, 慣行区では 2 条分 1.5 m×畝の長さ 5 m とし、各試験区ともに 3 反復分設けた。

除草体系は、播種後に両区とも土壌処理除草剤として「ジメテナミド・リニュロン粒剤」を散布した。その後、狭畦区では播種後 1 ヶ月以降に生育期茎葉処理除草剤「ベンタゾン液剤」「キザロホップエチル水和剤」を散布し、中耕・培土は

行わなかった。慣行区は中耕・培土を播種 25 日後頃に 1 回目を，その 2 週間後頃に 2 回目を実施し，生育期茎葉処理除草剤を散布しなかった。病虫害対策は両区とも，播種前に「チアメトキシサム・フルジオキソニル・メタラキシル M 水和剤」を種子塗抹し，8 月上旬はアブラムシ類および葉巻害虫防除として「MEP 乳剤」を散布した。さらに，開花盛期（R2）の 4 週後に当たる 8 月下旬頃に紫斑病防除として「アゾキシストロビン水和剤」，2 回目のアブラムシ類防除として「エトフェンプロックス乳剤」を散布し，9 月上旬には子実害虫防除として「ペルメトリン乳剤」を散布した。

以上の栽培概要は，供試ダイズ 2 品種において共通で設定した。

気象条件について，月別の日平均気温と日射量および降水量は所内圃場に設置されている気象観測装置の記録を用いた。また，長岡市内の 1 時間雨量および最大瞬間風速は，気象庁公開の長岡観測地点の記録を用いた（気象庁 2015a）。



第4-1図 耕うん同時畝立て狭畦栽培の模式図。

#### 4-2-3 ダイズ生育調査

播種 30 日後，50 日後，80 日後頃に，ダイズの主茎長，主茎節数，一次分枝数を調査した。調査株は狭畦区および慣行区ともに，1 反復につき生育中庸な連続 5 株を選定した。

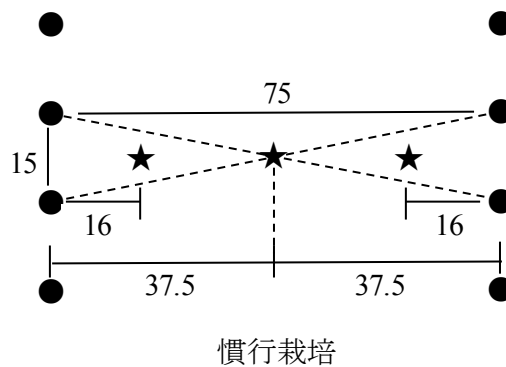
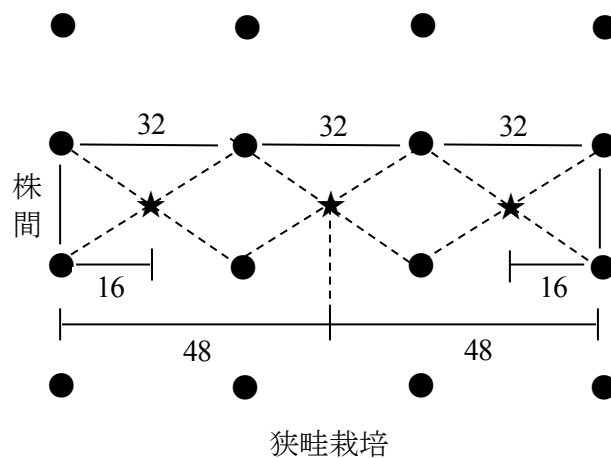
成熟期には倒伏程度を確認し，その後 1 反復につき狭畦区では 2 m×4 条を，慣



行区では 4 m×2 条を根部ごと抜き取り，成熟期生育および収量調査を行った．成熟期生育調査株は，播種 30 日後，50 日後，80 日後頃の生育調査と同様の 5 株を用い，抜き取り前にカラスプレーで地際部をマーキングし，抜き取り後はざ干しで 2 週間程度乾燥条件で保管したのちに調査を行った．「主茎長」および「最下着莢節位高」は抜き取り前に塗布したマーキングを目印として地際からの高さを測定した．「茎太」は主茎の子葉節と初生葉節との節間中央部の長径を，ノギスを用いて測定した．

#### 4-2-4 ダイズ群落の地表面における相対 PAR 量の測定

ダイズ生育調査と同時期に，LI-COR 社製 LI-190SA 光量子センサーを用いて群落内の相対 PAR 量を測定した．本機の特長として，快晴の日中による測定は周辺の葉面等からの散乱光をも拾得してしまい，光量が実際値よりも高めに測定される可能性がある．そのため本章においては，相対 PAR 量の測定を 16 時から 17 時頃，晴天または曇天時に実施した．狭畦区ではダイズ群落上の光量を測定し，次に中野ら（2001）の方法を参考として，平高畝上のダイズ 3 条間の，隣接する 2 条の 2 株が対角線で交差する箇所の地表面を測定した（第 4-2 図）．慣行区ではダイズ群落上と，地表面ではダイズ 1 条間の隣接する 2 条の 2 株が対角線で交差する箇所を測定した．加えて，狭畦区の地表面の測定では大豆株元から 16cm 程度離れて測定することから，慣行区でも大豆株元から 16cm 離れた，第 3 章の第 3-2 図に準じた日表側，および日裏側の 2 点の地表面の光量を測定した．測定後，両区とも 3 点の地表面光量の平均値を群落上光量で割り返し，百分率に示した値を相対 PAR 量とした．



第4-2図 地表面相対照度の測定位置  
 ●は株位置，★は測定位置，図中数字は距離（cm）を示す．狭畦栽培の「株間」は30 cm，20 cm，15 cm，10 cmの4水準である．

#### 4-2-5 統計解析

ダイズ調査および相対 PAR 量の測定については，株式会社社会情報サービス社製の統計解析ソフト「エクセル統計 2008」を使用し，年次および栽培法を因子とし，多重比較検定を行った．

#### 4-3 結果

##### 4-3-1 長岡地域の気象的特徴

月別の日平均気温、日射量および降水量を第 4-2 表に示した。2012 年は日平均気温が 9 月に平年より 2℃以上高く、日射量は生育期間を通じて平年より高く推移し、降水量は逆に低く推移した。特に 6 月と 8 月の降水量が平年比 30% 台となり、干ばつ傾向の気象条件となった。

2013 年は日平均気温が 6 月で平年よりやや高く、日射量は 6 月および 9 月に高めとなった。降水量は 7 月に平年比 162% と多雨条件となった。この年の 7 月第 6 半旬は北日本から西日本にかけて短時間に記録的な雨が降り、所内気象観測地点においても 7 月 29 日から 30 日にかけて総降水量が 174 mm となる集中豪雨があった。新潟県長岡市内のダイズ圃場でも約 865 ha の作付面積中、約 117.5 ha が浸・冠水被害を受けた（長岡市危機管理防災本部 2014）が、所内ダイズ圃場は浸・冠水被害を免れた。

2014 年は日平均気温が 6 月で平年よりやや高く、9 月はやや低かった。日射量は 8 月で平年比 85% と少なく 9 月は平年比 133% と多かったのに対して、降水量は 8 月で平年比 124% と多く 9 月は平年比 64% と少なかった。この年の夏場は寡照・多雨条件であったが、登熟後期は低温ながらも多照条件となった。

齊藤ら（2012）は岡山県平野部においてダイズの倒伏程度と台風接近回数には正の相関関係があり、台風の接近による降雨と強風が倒伏の主たる要因であることを報告している。本研究では降雨・強風と倒伏程度の関係を検討するため、気象庁で「強い雨」、および「強い風」として定義している基準値を引用して（気象庁 2015b, c）、7～9 月における 1 時間雨量 20 mm 以上、または最大瞬間風速 15 m s<sup>-1</sup> 以上を観測した時期および記録をまとめた結果を第 4-3 表に示した。2012 年は 8 月に 1 日、9 月に 2 日、豪雨または強風が観測された。2013 年は前述の集中豪雨を含め、豪雨または強風の日が多く、7 月に 4 日、8 月に 4 日、9 月に 2 日の計 10 日観測された。2014 年は 2012 年同様に、8 月に 1 日、9 月に 2 日観測され

たが、1 時間雨量・最大瞬間風速ともに 2012 年より弱い傾向であった。

第4-2表 新潟県農業総合研究所作物研究センター内における月別気象概況.

	年次	6月	7月	8月	9月
日平均気温 ( $^{\circ}\text{C 日}^{-1}$ )	2012	20.5 ( 99)	24.9 (103)	26.9 (104)	23.9 (111)
	2013	22.0 (107)	24.7 (102)	26.0 (101)	21.5 (100)
	2014	22.0 (107)	24.3 (101)	25.3 ( 98)	20.2 ( 94)
	平年	20.6	24.1	25.8	21.5
日射量 ( $\text{MJ m}^{-2}$ )	2012	549.9 (119)	474.5 (106)	621.6 (126)	460.6 (133)
	2013	581.9 (126)	402.7 ( 90)	509.1 (103)	411.4 (119)
	2014	536.6 (116)	491.2 (110)	417.1 ( 85)	459.3 (133)
	平年	462.9	447.8	492.4	345.8
降水量 (mm)	2012	52.5 ( 33)	187.0 ( 71)	56.0 ( 30)	182.0 ( 89)
	2013	159.0 ( 99)	426.5 (162)	225.5 (120)	199.5 ( 97)
	2014	154.5 ( 97)	213.0 ( 81)	233.5 (124)	132.0 ( 64)
	平年	160.0	263.0	188.5	205.0

1981～2010年の30ヶ年平均を平年値とした。( )内は平年対比を表す。

第4-3表 気象庁長岡観測地点における7～9月にかけて強い雨または強い風を観測した月日および記録.

2012年			2013年			2014年		
観測月日	1時間 雨量 (mm)	最大 瞬間風速 ( $\text{m s}^{-1}$ )	観測月日	1時間 雨量 (mm)	最大 瞬間風速 ( $\text{m s}^{-1}$ )	観測月日	1時間 雨量 (mm)	最大 瞬間風速 ( $\text{m s}^{-1}$ )
8/ 6	1.0	17.7	7/17	23.5	9.6	8/22	0.0	15.9
9/ 6	48.5	6.1	7/18	4.5	16.1	9/ 5	25.0	4.6
9/30	18.5	17.6	7/29	28.0	6.7	9/16	20.0	8.2
			7/30	43.5	8.2			
			8/ 1	31.5	6.6			
			8/24	25.0	9.4			
			8/26	22.5	7.0			
			8/31	18.0	16.4			
			9/ 2	20.5	18.6			
			9/16	19.5	16.4			

1時間雨量20 mm以上を「強い雨」、最大瞬間風速15  $\text{m s}^{-1}$ 以上を「強い風」として列挙した。

#### 4-3-2 ダイズの生育および地表面相対 PAR 量の影響

畝立て狭畦栽培における「エンレイ」の生育および相対 PAR 量を第 4-4 表に示した。試験区の平均値において、播種 30 日後は主茎長が慣行区と比べて狭畦全区が高く、 $\text{m}^2$  当り分枝数は慣行区で発生が見られたが、狭畦全区には見られなかった。

た．相対 PAR 量は慣行区と比べて狭畦 26.7 株  $\text{m}^{-2}$  区が低かった．播種 50 日後は主茎長が慣行区と比べて狭畦 13.3 株  $\text{m}^{-2}$  区以上が高く，相対 PAR 量は慣行区と比べて狭畦全区が低かった．播種 80 日後は主茎長が播種 50 日後同様に慣行区と比べて狭畦 13.3 株  $\text{m}^{-2}$  区以上が高かった．狭畦区内の主茎長の比較では栽植密度が高くなるほど高くなる傾向となった．

次に，「あやこがね」の生育および相対 PAR 量を第 4-5 表に示した．試験区の平均値において，播種 30 日後は主茎長が慣行区と比べて狭畦全区が高く，相対 PAR 量は慣行区と比べて狭畦 13.3 株  $\text{m}^{-2}$  区以上が低く，狭畦区内の比較では栽植密度が高くなるほど，相対 PAR 量は低くなった．播種 50 日後は主茎長が慣行区と比べて狭畦全区が高く，狭畦区内の比較では栽植密度が高くなるほど，主茎長は高くなった．相対 PAR 量は慣行区と比べて狭畦全区が低かった．播種 80 日後は主茎長が慣行区と比べて狭畦 13.3 株  $\text{m}^{-2}$  区以上が高く，狭畦区内の比較では栽植密度が高くなるほど，主茎長は高くなった．

第4-4表 耕うん同時畝立て狭畦栽培の栽植密度の違いが「エンレイ」の生育および地表面の相対PAR量に及ぼす影響.

年次	試験区	播種30日後			播種50日後			播種80日後		
		主茎長	分枝数	相対PAR量	主茎長	分枝数	相対PAR量	主茎長	分枝数	相対PAR量
		(cm)	(本m <sup>-2</sup> )	(%)	(cm)	(本m <sup>-2</sup> )	(%)	(cm)	(本m <sup>-2</sup> )	(%)
2012	狭畦8.9株m <sup>-2</sup>	15 <sup>a</sup>	0.0	70.2	42 <sup>b</sup>	31.4	5.7 <sup>b</sup>	57 <sup>c</sup>	46.1	3.0
	狭畦13.3株m <sup>-2</sup>	16 <sup>a</sup>	0.0	80.9	46 <sup>b</sup>	35.5	3.4 <sup>b</sup>	61 <sup>bc</sup>	52.1	1.2
	狭畦17.8株m <sup>-2</sup>	16 <sup>a</sup>	0.0	67.4	49 <sup>ab</sup>	28.5	2.2 <sup>b</sup>	68 <sup>ab</sup>	43.9	1.2
	狭畦26.7株m <sup>-2</sup>	16 <sup>a</sup>	0.0	58.1	53 <sup>a</sup>	16.0	1.8 <sup>b</sup>	76 <sup>a</sup>	43.8	1.1
	慣行8.9株m <sup>-2</sup>	9 <sup>b</sup>	0.0	77.4	32 <sup>c</sup>	19.6	16.4 <sup>a</sup>	45 <sup>d</sup>	41.5	2.6
2013	狭畦8.9株m <sup>-2</sup>	23 <sup>ab</sup>	0.0	63.8 <sup>a</sup>	43 <sup>b</sup>	18.7	17.2 <sup>a</sup>	46 <sup>c</sup>	36.7 <sup>a</sup>	3.2
	狭畦13.3株m <sup>-2</sup>	24 <sup>a</sup>	0.0	49.3 <sup>ab</sup>	53 <sup>a</sup>	20.4	7.0 <sup>b</sup>	57 <sup>ab</sup>	40.2 <sup>a</sup>	1.6
	狭畦17.8株m <sup>-2</sup>	25 <sup>a</sup>	0.0	44.2 <sup>ab</sup>	53 <sup>a</sup>	12.5	5.6 <sup>b</sup>	63 <sup>a</sup>	28.1 <sup>a</sup>	1.5
	狭畦26.7株m <sup>-2</sup>	24 <sup>a</sup>	0.0	38.7 <sup>b</sup>	53 <sup>a</sup>	2.7	5.4 <sup>b</sup>	65 <sup>a</sup>	8.2 <sup>b</sup>	2.1
	慣行8.9株m <sup>-2</sup>	22 <sup>b</sup>	1.8	52.4 <sup>ab</sup>	46 <sup>ab</sup>	20.5	22.1 <sup>a</sup>	52 <sup>bc</sup>	28.8 <sup>a</sup>	2.3
2014	狭畦8.9株m <sup>-2</sup>	21 <sup>a</sup>	0.0	69.2 <sup>a</sup>	47 <sup>b</sup>	24.3	5.7 <sup>b</sup>	57 <sup>c</sup>	36.2 <sup>b</sup>	1.5
	狭畦13.3株m <sup>-2</sup>	23 <sup>a</sup>	0.0	50.0 <sup>ab</sup>	57 <sup>a</sup>	28.4	2.5 <sup>b</sup>	67 <sup>b</sup>	50.5 <sup>ab</sup>	0.7
	狭畦17.8株m <sup>-2</sup>	23 <sup>a</sup>	0.0	51.5 <sup>ab</sup>	57 <sup>a</sup>	36.8	1.6 <sup>b</sup>	67 <sup>b</sup>	59.3 <sup>a</sup>	1.0
	狭畦26.7株m <sup>-2</sup>	22 <sup>a</sup>	0.0	34.2 <sup>b</sup>	60 <sup>a</sup>	32.0	1.1 <sup>b</sup>	76 <sup>a</sup>	53.4 <sup>ab</sup>	1.4
	慣行8.9株m <sup>-2</sup>	17 <sup>b</sup>	0.6	60.4 <sup>a</sup>	47 <sup>b</sup>	30.9	12.3 <sup>a</sup>	56 <sup>c</sup>	46.3 <sup>ab</sup>	0.9
平均	2012	14 <sup>c</sup>	0.0	70.8 <sup>a</sup>	44 <sup>c</sup>	26.2 <sup>a</sup>	5.9 <sup>b</sup>	62 <sup>a</sup>	45.5 <sup>a</sup>	1.9 <sup>ab</sup>
	2013	23 <sup>a</sup>	0.4	49.7 <sup>b</sup>	50 <sup>b</sup>	14.9 <sup>b</sup>	11.5 <sup>a</sup>	57 <sup>b</sup>	28.4 <sup>b</sup>	2.1 <sup>a</sup>
	2014	21 <sup>b</sup>	0.1	53.1 <sup>b</sup>	54 <sup>a</sup>	30.5 <sup>a</sup>	4.6 <sup>b</sup>	64 <sup>a</sup>	49.1 <sup>a</sup>	1.1 <sup>b</sup>
	狭畦8.9株m <sup>-2</sup>	20 <sup>b</sup>	0.0 <sup>b</sup>	67.7 <sup>a</sup>	44 <sup>b</sup>	24.8	9.5 <sup>b</sup>	53 <sup>c</sup>	39.7 <sup>ab</sup>	2.6
	狭畦13.3株m <sup>-2</sup>	21 <sup>a</sup>	0.0 <sup>b</sup>	60.1 <sup>a</sup>	52 <sup>a</sup>	28.1	4.3 <sup>c</sup>	62 <sup>b</sup>	47.6 <sup>a</sup>	1.2
	狭畦17.8株m <sup>-2</sup>	21 <sup>a</sup>	0.0 <sup>b</sup>	54.4 <sup>ab</sup>	53 <sup>a</sup>	25.9	3.1 <sup>c</sup>	66 <sup>b</sup>	43.8 <sup>ab</sup>	1.2
	狭畦26.7株m <sup>-2</sup>	21 <sup>a</sup>	0.0 <sup>b</sup>	43.7 <sup>b</sup>	56 <sup>a</sup>	16.9	2.8 <sup>c</sup>	72 <sup>a</sup>	35.2 <sup>b</sup>	1.5
	慣行8.9株m <sup>-2</sup>	16 <sup>c</sup>	0.8 <sup>a</sup>	63.4 <sup>a</sup>	42 <sup>b</sup>	23.6	16.9 <sup>a</sup>	51 <sup>c</sup>	38.9 <sup>ab</sup>	2.0
分散分析	年次 (A)	**	ns	**	**	**	**	**	**	*
	試験区 (B)	**	*	**	**	ns	**	**	*	ns
	A×B	**	ns	ns	*	ns	ns	*	**	ns

分散分析の\*\*, \*はそれぞれ1%, 5%水準で有意差あり, nsは有意差なしを示す. 異なる英文字間は年次別, および平均では要因別に5%水準で有意差ありを示す (Tukey法).

第4-5表 耕うん同時畝立て狭畦栽培の栽植密度の違いが「あやこがね」の生育および地表面の相対PAR量に及ぼす影響.

年次	試験区	播種30日後			播種50日後			播種80日後		
		主茎長	分枝数	相対PAR量	主茎長	分枝数	相対PAR量	主茎長	分枝数	相対PAR量
		(cm)	(本m <sup>-2</sup> )	(%)	(cm)	(本m <sup>-2</sup> )	(%)	(cm)	(本m <sup>-2</sup> )	(%)
2012	狭畦8.9株m <sup>-2</sup>	14 <sup>a</sup>	0.0	84.8 <sup>ab</sup>	43 <sup>b</sup>	38.0 <sup>a</sup>	5.0 <sup>b</sup>	59 <sup>bc</sup>	54.6	1.8
	狭畦13.3株m <sup>-2</sup>	14 <sup>a</sup>	0.0	84.6 <sup>ab</sup>	49 <sup>ab</sup>	39.0 <sup>a</sup>	2.0 <sup>b</sup>	70 <sup>ab</sup>	61.2	1.4
	狭畦17.8株m <sup>-2</sup>	15 <sup>a</sup>	0.0	68.6 <sup>bc</sup>	50 <sup>ab</sup>	32.0 <sup>ab</sup>	1.3 <sup>b</sup>	73 <sup>ab</sup>	62.2	1.0
	狭畦26.7株m <sup>-2</sup>	15 <sup>a</sup>	0.0	60.7 <sup>c</sup>	58 <sup>a</sup>	21.4 <sup>b</sup>	1.1 <sup>b</sup>	80 <sup>a</sup>	60.3	2.8
	慣行8.9株m <sup>-2</sup>	8 <sup>b</sup>	0.0	95.2 <sup>a</sup>	28 <sup>c</sup>	24.3 <sup>ab</sup>	16.7 <sup>a</sup>	44 <sup>c</sup>	46.6	1.1
2013	狭畦8.9株m <sup>-2</sup>	20 <sup>b</sup>	0.0	63.6 <sup>a</sup>	42 <sup>b</sup>	18.1 <sup>ab</sup>	13.0 <sup>ab</sup>	49 <sup>b</sup>	37.0	2.6 <sup>ab</sup>
	狭畦13.3株m <sup>-2</sup>	21 <sup>ab</sup>	0.0	51.9 <sup>ab</sup>	49 <sup>ab</sup>	21.3 <sup>ab</sup>	7.9 <sup>bc</sup>	60 <sup>ab</sup>	36.1	1.3 <sup>b</sup>
	狭畦17.8株m <sup>-2</sup>	22 <sup>ab</sup>	1.2	50.6 <sup>ab</sup>	53 <sup>a</sup>	11.3 <sup>bc</sup>	7.8 <sup>bc</sup>	68 <sup>a</sup>	28.1	1.3 <sup>b</sup>
	狭畦26.7株m <sup>-2</sup>	23 <sup>a</sup>	0.0	34.8 <sup>b</sup>	55 <sup>a</sup>	0.0 <sup>c</sup>	4.6 <sup>c</sup>	71 <sup>a</sup>	18.3	1.3 <sup>b</sup>
	慣行8.9株m <sup>-2</sup>	21 <sup>ab</sup>	3.6	55.6 <sup>a</sup>	47 <sup>ab</sup>	27.3 <sup>a</sup>	18.8 <sup>a</sup>	56 <sup>ab</sup>	33.2	3.6 <sup>a</sup>
2014	狭畦8.9株m <sup>-2</sup>	20 <sup>a</sup>	1.8	63.2 <sup>ab</sup>	48 <sup>bc</sup>	30.9	4.8 <sup>b</sup>	59 <sup>bc</sup>	42.7	1.6
	狭畦13.3株m <sup>-2</sup>	20 <sup>a</sup>	2.7	48.2 <sup>bc</sup>	57 <sup>ab</sup>	33.7	1.3 <sup>b</sup>	72 <sup>ab</sup>	47.9	1.0
	狭畦17.8株m <sup>-2</sup>	21 <sup>a</sup>	2.4	37.4 <sup>c</sup>	60 <sup>a</sup>	39.2	1.6 <sup>b</sup>	72 <sup>ab</sup>	61.7	1.7
	狭畦26.7株m <sup>-2</sup>	21 <sup>a</sup>	1.8	31.1 <sup>c</sup>	63 <sup>a</sup>	40.9	1.2 <sup>b</sup>	81 <sup>a</sup>	51.6	1.0
	慣行8.9株m <sup>-2</sup>	13 <sup>b</sup>	0.0	70.7 <sup>a</sup>	40 <sup>c</sup>	29.7	11.2 <sup>a</sup>	53 <sup>c</sup>	46.3	1.1
平均	2012	13 <sup>c</sup>	0.0	78.8 <sup>a</sup>	46 <sup>b</sup>	30.9 <sup>a</sup>	5.2 <sup>b</sup>	65 <sup>ab</sup>	57.0 <sup>a</sup>	1.6 <sup>ab</sup>
	2013	21 <sup>a</sup>	0.9	51.3 <sup>b</sup>	49 <sup>b</sup>	15.6 <sup>b</sup>	10.4 <sup>a</sup>	61 <sup>b</sup>	30.5 <sup>b</sup>	2.0 <sup>a</sup>
	2014	19 <sup>b</sup>	1.7	50.1 <sup>b</sup>	54 <sup>a</sup>	34.9 <sup>a</sup>	4.0 <sup>b</sup>	67 <sup>a</sup>	50.0 <sup>a</sup>	1.3 <sup>b</sup>
	狭畦8.9株m <sup>-2</sup>	18 <sup>b</sup>	0.6	70.5 <sup>ab</sup>	44 <sup>c</sup>	29.0 <sup>ab</sup>	7.6 <sup>b</sup>	56 <sup>c</sup>	44.8	2.0
	狭畦13.3株m <sup>-2</sup>	19 <sup>ab</sup>	0.9	61.6 <sup>bc</sup>	52 <sup>b</sup>	31.3 <sup>a</sup>	3.7 <sup>c</sup>	67 <sup>b</sup>	48.4	1.2
	狭畦17.8株m <sup>-2</sup>	19 <sup>ab</sup>	1.2	52.2 <sup>cd</sup>	55 <sup>ab</sup>	27.5 <sup>ab</sup>	3.6 <sup>c</sup>	71 <sup>ab</sup>	50.7	1.4
	狭畦26.7株m <sup>-2</sup>	20 <sup>a</sup>	0.6	42.2 <sup>d</sup>	58 <sup>a</sup>	20.8 <sup>b</sup>	2.3 <sup>c</sup>	77 <sup>a</sup>	43.4	1.7
	慣行8.9株m <sup>-2</sup>	14 <sup>c</sup>	1.2	73.8 <sup>a</sup>	39 <sup>d</sup>	27.1 <sup>ab</sup>	15.6 <sup>a</sup>	51 <sup>c</sup>	42.0	1.9
	分散分析									
分析	年次 (A)	**	ns	**	**	**	**	*	**	*
	試験区 (B)	**	ns	**	**	*	**	**	ns	ns
	A×B	**	ns	ns	**	**	ns	ns	ns	**

分散分析の\*\*, \*はそれぞれ1%, 5%水準で有意差あり, nsは有意差なしを示す. 異なる英文字間は年次別, および平均では要因別に5%水準で有意差ありを示す (Tukey法).

#### 4-3-3 ダイズの成熟期生育および収量性

「エンレイ」の成熟期生育および収量を第 4-6 表に示した. 試験区の平均値において, 倒伏程度は慣行区と比べて狭畦 17.8 株 m<sup>-2</sup> 区以上が高かった. 主茎長は慣行区と比べて狭畦 13.3 株 m<sup>-2</sup> 区以上が高く, 狭畦区内の比較では栽植密度が高くなるほど, 主茎長は高くなった. 茎太は慣行区と比べて狭畦全区が細く,

狭畦区内の比較では栽植密度が高くなるほど細くなった。株当り分枝数は慣行区と比べて狭畦 13.3 株  $\text{m}^{-2}$  区以上が少なく、狭畦区内の比較では栽植密度が高くなるほど少なくなった。最下着莢節位高は慣行区と比べて狭畦全区が高かった。 $\text{m}^2$  当り有効莢数は慣行区と比べて狭畦 26.7 株  $\text{m}^{-2}$  区が多かった。百粒重は試験区間で差が見られず、収量は慣行区と比べて狭畦 17.8 株  $\text{m}^{-2}$  区以上が多かった。

次に、「あやこがね」の成熟期生育および収量を第 4-7 表に示した。試験区の平均値において、倒伏程度は「エンレイ」とは異なり、試験区間で差が見られなかった。主茎長は慣行区と比べて狭畦 13.3 株  $\text{m}^{-2}$  区以上が高く、狭畦区内の比較では栽植密度が高くなるほど、主茎長は高くなった。茎太は慣行区と比べて狭畦 13.3 株  $\text{m}^{-2}$  区以上が細く、狭畦区内の比較では栽植密度が高くなるほど細くなった。株当り分枝数は慣行区と比べて狭畦 17.8 株  $\text{m}^{-2}$  区以上が少なく、狭畦区内の比較では栽植密度が高くなるほど少なくなった。最下着莢節位高は慣行区と比べて狭畦 13.3 株  $\text{m}^{-2}$  区以上が高く、 $\text{m}^2$  当り有効莢数も慣行区と比べて狭畦 13.3 株  $\text{m}^{-2}$  区以上が多かった。百粒重は試験区間で差が見られず、収量は慣行区と比べて狭畦 13.3 株  $\text{m}^{-2}$  区以上が多かった。



第4-6表 耕うん同時畝立て狭畦栽培の栽植密度の違いが「エンレイ」の成熟期生育および収量に及ぼす影響。

年次	試験区	倒伏 程度 (0-5)	主茎長 (cm)	茎太 (mm)	分枝数		最下着莢 節位高 (cm)	m <sup>2</sup> 当り 有効莢数 (莢)	百粒重 (g)	収量 (g m <sup>-2</sup> )
					株当り (本)	m <sup>2</sup> 当り (本)				
2012	狭畦8.9株m <sup>-2</sup>	3.0	55 <sup>cd</sup>	7.5 <sup>ab</sup>	5.3 <sup>a</sup>	47.5	15.6 <sup>a</sup>	578	29.2	286
	狭畦13.3株m <sup>-2</sup>	3.2	61 <sup>bc</sup>	7.4 <sup>ab</sup>	4.1 <sup>ab</sup>	54.1	16.1 <sup>a</sup>	621	27.9	302
	狭畦17.8株m <sup>-2</sup>	3.7	66 <sup>ab</sup>	6.9 <sup>b</sup>	3.1 <sup>bc</sup>	55.8	15.9 <sup>a</sup>	674	29.0	333
	狭畦26.7株m <sup>-2</sup>	3.5	74 <sup>a</sup>	5.8 <sup>c</sup>	1.6 <sup>c</sup>	42.7	19.3 <sup>a</sup>	715	28.6	343
	慣行8.9株m <sup>-2</sup>	0.0	46 <sup>d</sup>	7.9 <sup>a</sup>	4.5 <sup>ab</sup>	39.8	9.4 <sup>b</sup>	614	28.9	314
2013	狭畦8.9株m <sup>-2</sup>	0.3	45 <sup>b</sup>	6.7 <sup>ab</sup>	4.4 <sup>a</sup>	39.2	15.7 <sup>b</sup>	462	31.5 <sup>a</sup>	251 <sup>ab</sup>
	狭畦13.3株m <sup>-2</sup>	1.0	56 <sup>ab</sup>	6.2 <sup>bc</sup>	2.9 <sup>ab</sup>	38.1	21.7 <sup>a</sup>	540	31.2 <sup>a</sup>	290 <sup>a</sup>
	狭畦17.8株m <sup>-2</sup>	0.7	60 <sup>a</sup>	5.8 <sup>c</sup>	2.0 <sup>bc</sup>	35.6	26.6 <sup>a</sup>	576	31.6 <sup>a</sup>	302 <sup>a</sup>
	狭畦26.7株m <sup>-2</sup>	1.3	63 <sup>a</sup>	5.5 <sup>c</sup>	0.8 <sup>c</sup>	21.4	26.6 <sup>a</sup>	610	31.8 <sup>a</sup>	301 <sup>a</sup>
	慣行8.9株m <sup>-2</sup>	0.0	48 <sup>b</sup>	7.2 <sup>a</sup>	3.7 <sup>a</sup>	33.2	13.1 <sup>b</sup>	557	29.0 <sup>b</sup>	222 <sup>b</sup>
2014	狭畦8.9株m <sup>-2</sup>	1.0	57 <sup>c</sup>	7.1 <sup>b</sup>	4.8 <sup>ab</sup>	42.7	16.9 <sup>bc</sup>	646 <sup>ab</sup>	36.3	370 <sup>b</sup>
	狭畦13.3株m <sup>-2</sup>	0.7	67 <sup>b</sup>	6.6 <sup>bc</sup>	4.3 <sup>b</sup>	56.7	21.8 <sup>ab</sup>	742 <sup>ab</sup>	36.5	426 <sup>ab</sup>
	狭畦17.8株m <sup>-2</sup>	2.0	69 <sup>ab</sup>	7.0 <sup>b</sup>	3.6 <sup>bc</sup>	64.1	22.6 <sup>a</sup>	681 <sup>ab</sup>	36.4	420 <sup>ab</sup>
	狭畦26.7株m <sup>-2</sup>	1.3	78 <sup>a</sup>	6.1 <sup>c</sup>	2.4 <sup>c</sup>	65.0	21.4 <sup>ab</sup>	789 <sup>a</sup>	37.0	459 <sup>a</sup>
	慣行8.9株m <sup>-2</sup>	1.0	56 <sup>c</sup>	8.4 <sup>a</sup>	5.9 <sup>a</sup>	52.8	13.7 <sup>c</sup>	628 <sup>b</sup>	36.8	384 <sup>b</sup>
平均	2012	2.7 <sup>a</sup>	60 <sup>b</sup>	7.1 <sup>a</sup>	3.7 <sup>a</sup>	48.0 <sup>a</sup>	15.3 <sup>b</sup>	640 <sup>a</sup>	28.7 <sup>c</sup>	316 <sup>b</sup>
	2013	0.7 <sup>b</sup>	55 <sup>c</sup>	6.3 <sup>b</sup>	2.8 <sup>b</sup>	33.5 <sup>b</sup>	20.7 <sup>a</sup>	549 <sup>b</sup>	31.0 <sup>b</sup>	273 <sup>c</sup>
	2014	1.2 <sup>b</sup>	65 <sup>a</sup>	7.0 <sup>a</sup>	4.2 <sup>a</sup>	56.3 <sup>a</sup>	19.3 <sup>a</sup>	697 <sup>a</sup>	36.6 <sup>a</sup>	412 <sup>a</sup>
	狭畦8.9株m <sup>-2</sup>	1.4 <sup>ab</sup>	52 <sup>c</sup>	7.1 <sup>b</sup>	4.8 <sup>a</sup>	43.1	16.0 <sup>b</sup>	562 <sup>b</sup>	32.3	303 <sup>b</sup>
	狭畦13.3株m <sup>-2</sup>	1.6 <sup>ab</sup>	61 <sup>b</sup>	6.7 <sup>bc</sup>	3.7 <sup>b</sup>	49.7	19.8 <sup>a</sup>	634 <sup>ab</sup>	31.9	339 <sup>ab</sup>
	狭畦17.8株m <sup>-2</sup>	2.1 <sup>a</sup>	65 <sup>b</sup>	6.6 <sup>c</sup>	2.9 <sup>b</sup>	51.8	21.7 <sup>a</sup>	644 <sup>ab</sup>	32.3	352 <sup>a</sup>
	狭畦26.7株m <sup>-2</sup>	2.1 <sup>a</sup>	71 <sup>a</sup>	5.8 <sup>d</sup>	1.6 <sup>c</sup>	43.0	22.4 <sup>a</sup>	704 <sup>a</sup>	32.5	368 <sup>a</sup>
	慣行8.9株m <sup>-2</sup>	0.3 <sup>b</sup>	50 <sup>c</sup>	7.8 <sup>a</sup>	4.7 <sup>a</sup>	41.9	12.1 <sup>c</sup>	600 <sup>b</sup>	31.6	307 <sup>b</sup>
	年次 (A)	**	**	**	**	**	**	**	**	**
試験区 (B)		*	**	**	**	ns	**	**	ns	**
A×B		—	ns	*	ns	ns	*	ns	*	ns

倒伏程度は0:無, 1:微, 2:少, 3:中, 4:多, 5:甚, を表す. \*\*, \*はそれぞれ1%, 5%水準で有意差あり, nsは有意差なしを示す (倒伏程度: Kruskal-Wallis検定, 他項目: 分散分析法). 異なる英文字間は年次別, および平均では要因別に5%水準で有意差ありを示す (倒伏程度: Steel-Dwass法, 他項目: Tukey法).

第4-7表 耕うん同時畝立て狭畦栽培の栽植密度の違いが「あやこがね」の成熟期生育および収量に及ぼす影響.

年次	試験区	倒伏 程度 (0-5)	主茎長 (cm)	茎太 (mm)	分枝数		最下着莢 節位高 (cm)	m <sup>2</sup> 当り 有効莢数 (莢)	百粒重 (g)	収量 (g m <sup>-2</sup> )
					株当り (本)	m <sup>2</sup> 当り (本)				
2012	狭畦8.9株m <sup>-2</sup>	2.3	59 <sup>b</sup>	8.9 <sup>ab</sup>	5.5 <sup>a</sup>	48.7	16.1 <sup>ab</sup>	532 <sup>ab</sup>	29.3	270 <sup>bc</sup>
	狭畦13.3株m <sup>-2</sup>	2.7	68 <sup>ab</sup>	8.3 <sup>abc</sup>	5.2 <sup>a</sup>	69.2	15.7 <sup>ab</sup>	667 <sup>ab</sup>	30.1	339 <sup>ab</sup>
	狭畦17.8株m <sup>-2</sup>	2.7	71 <sup>ab</sup>	7.8 <sup>bc</sup>	3.9 <sup>ab</sup>	70.0	17.7 <sup>a</sup>	707 <sup>a</sup>	30.1	384 <sup>a</sup>
	狭畦26.7株m <sup>-2</sup>	1.3	79 <sup>a</sup>	7.0 <sup>c</sup>	2.4 <sup>b</sup>	64.1	21.4 <sup>a</sup>	696 <sup>a</sup>	28.0	350 <sup>ab</sup>
	慣行8.9株m <sup>-2</sup>	0.0	42 <sup>c</sup>	9.6 <sup>a</sup>	5.0 <sup>a</sup>	44.5	8.0 <sup>b</sup>	489 <sup>b</sup>	28.4	235 <sup>c</sup>
2013	狭畦8.9株m <sup>-2</sup>	0.0	49 <sup>b</sup>	7.3 <sup>ab</sup>	4.4 <sup>a</sup>	39.2	16.3 <sup>b</sup>	604 <sup>ab</sup>	29.8	309 <sup>ab</sup>
	狭畦13.3株m <sup>-2</sup>	0.3	62 <sup>ab</sup>	6.8 <sup>abc</sup>	3.1 <sup>ab</sup>	41.7	23.1 <sup>ab</sup>	739 <sup>a</sup>	29.4	330 <sup>ab</sup>
	狭畦17.8株m <sup>-2</sup>	0.3	66 <sup>a</sup>	6.3 <sup>bc</sup>	1.9 <sup>bc</sup>	33.2	24.4 <sup>ab</sup>	671 <sup>ab</sup>	30.0	354 <sup>a</sup>
	狭畦26.7株m <sup>-2</sup>	0.3	72 <sup>a</sup>	5.5 <sup>c</sup>	0.7 <sup>c</sup>	19.6	27.1 <sup>a</sup>	724 <sup>a</sup>	29.5	370 <sup>a</sup>
	慣行8.9株m <sup>-2</sup>	0.0	58 <sup>ab</sup>	8.2 <sup>a</sup>	3.9 <sup>a</sup>	35.0	19.5 <sup>ab</sup>	543 <sup>b</sup>	27.2	248 <sup>b</sup>
2014	狭畦8.9株m <sup>-2</sup>	0.7	60 <sup>bc</sup>	9.4 <sup>a</sup>	5.1 <sup>a</sup>	45.1	19.5 <sup>ab</sup>	614	30.6	326 <sup>b</sup>
	狭畦13.3株m <sup>-2</sup>	2.2	72 <sup>ab</sup>	8.4 <sup>ab</sup>	3.9 <sup>a</sup>	52.3	26.4 <sup>a</sup>	643	31.1	337 <sup>ab</sup>
	狭畦17.8株m <sup>-2</sup>	2.0	73 <sup>ab</sup>	8.3 <sup>ab</sup>	3.3 <sup>ab</sup>	59.3	24.8 <sup>a</sup>	620	31.6	335 <sup>ab</sup>
	狭畦26.7株m <sup>-2</sup>	1.3	81 <sup>a</sup>	7.3 <sup>b</sup>	1.9 <sup>b</sup>	49.8	26.3 <sup>a</sup>	691	33.5	427 <sup>a</sup>
	慣行8.9株m <sup>-2</sup>	2.0	53 <sup>c</sup>	8.7 <sup>ab</sup>	4.6 <sup>a</sup>	40.9	15.8 <sup>b</sup>	615	30.4	338 <sup>ab</sup>
平均	2012	1.8 <sup>a</sup>	64 <sup>ab</sup>	8.3 <sup>a</sup>	4.4 <sup>a</sup>	59.3 <sup>a</sup>	15.8 <sup>b</sup>	618	29.2 <sup>b</sup>	316
	2013	0.2 <sup>b</sup>	61 <sup>b</sup>	6.8 <sup>b</sup>	2.8 <sup>b</sup>	33.7 <sup>b</sup>	22.1 <sup>a</sup>	656	29.2 <sup>b</sup>	322
	2014	1.6 <sup>a</sup>	68 <sup>a</sup>	8.4 <sup>a</sup>	3.8 <sup>a</sup>	49.5 <sup>a</sup>	22.5 <sup>a</sup>	637	31.4 <sup>a</sup>	353
	狭畦8.9株m <sup>-2</sup>	1.0	56 <sup>c</sup>	8.5 <sup>ab</sup>	5.0 <sup>a</sup>	44.3	17.3 <sup>bc</sup>	584 <sup>bc</sup>	29.9	302 <sup>bc</sup>
	狭畦13.3株m <sup>-2</sup>	1.7	67 <sup>b</sup>	7.9 <sup>bc</sup>	4.1 <sup>a</sup>	54.4	21.7 <sup>ab</sup>	683 <sup>ab</sup>	30.2	335 <sup>ab</sup>
	狭畦17.8株m <sup>-2</sup>	1.7	70 <sup>ab</sup>	7.5 <sup>cd</sup>	3.0 <sup>b</sup>	54.2	22.3 <sup>ab</sup>	666 <sup>ab</sup>	30.6	358 <sup>ab</sup>
	狭畦26.7株m <sup>-2</sup>	1.0	77 <sup>a</sup>	6.6 <sup>d</sup>	1.7 <sup>c</sup>	44.5	24.9 <sup>a</sup>	704 <sup>a</sup>	30.3	383 <sup>a</sup>
	慣行8.9株m <sup>-2</sup>	0.7	51 <sup>c</sup>	8.9 <sup>a</sup>	4.5 <sup>a</sup>	40.1	14.4 <sup>c</sup>	549 <sup>c</sup>	28.6	274 <sup>c</sup>
	年次 (A)	**	*	**	**	**	**	ns	**	ns
	試験区 (B)	ns	**	**	**	ns	**	**	ns	**
	A×B	—	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns

倒伏程度は0:無, 1:微, 2:少, 3:中, 4:多, 5:甚, を表す. \*\*, \*はそれぞれ1%, 5%水準で有意差あり, nsは有意差なしを示す(倒伏程度: Kruskal-Wallis検定, 他項目: 分散分析法). 異なる英文字間は年次別, および平均では要因別に5%水準で有意差ありを示す(倒伏程度: Steel-Dwass法, 他項目: Tukey法).

## 4-4 考察

### 4-4-1 ダイズ地表面の相対 PAR 量の影響

播種 30 日後におけるダイズ群落内の 3 ヶ年平均の相対 PAR 量を見ると (第 4-4 表, 第 4-5 表), 「エンレイ」では慣行区より有意に低くなったのは狭畦 26.7 株 m<sup>-2</sup> 区であり, 「あやこがね」では狭畦 13.3 株 m<sup>-2</sup> 区以上となった. 両品種におけ

る生育の違いをみると、主茎長では慣行区と狭畦区の差が両品種とも 5 cm 程度で品種間の違いは見られなかった。次に  $\text{m}^2$  当たり分枝数では、「エンレイ」が狭畦区で分枝の発生が見られず、慣行区は分枝が発生したのに対して、「あやこがね」は狭畦区で分枝の発生が見られ、慣行区との分枝数の差はなかった。この時期の一次分枝の節数は 2 節程度と少ないが、「あやこがね」のように分枝数を確保することが、狭畦区が慣行区よりも被覆力を高める上で重要であることが考えられた。狭畦区内における栽植密度毎の 3 ヶ年平均の相対 PAR 量を見ると、両品種とも密度が高くなると相対 PAR 量は低くなる傾向が見られた。狭畦 13.3 株  $\text{m}^{-2}$  区と狭畦 26.7 株  $\text{m}^{-2}$  区を比較すると、両品種とも主茎長と分枝数には差が見られないものの、相対 PAR 量は狭畦 26.7 株  $\text{m}^{-2}$  区の方が低くなった。

播種 50 日後における 3 ヶ年平均の相対 PAR 量では、両品種とも狭畦区が慣行区より低く、被覆力は畝立て狭畦栽培の方が高いことが伺えた。生育の違いをみると、主茎長が「エンレイ」では狭畦 13.3 株  $\text{m}^{-2}$  区以上で慣行区より長く、「あやこがね」では全ての狭畦区が慣行区より長かった。 $\text{m}^2$  当たり分枝数では両品種とも狭畦区と慣行区の間に差はなかった。播種 50 日後の時期は主茎の伸長が相対 PAR 量を低くする一因になると想定できるが、一方で「エンレイ」の狭畦 8.9 株  $\text{m}^{-2}$  区と慣行区のように、栽植密度に差がなく、かつ主茎長および分枝数も有意差が見られなくても、相対 PAR 量は狭畦区が有意に低くなっている。年次別でも 2014 年の「エンレイ」および「あやこがね」で同様の傾向が見られた。第 3 章において、同じ播種密度条件でも、畝立て狭畦栽培は条間 37cm (平均条間 40cm) の株間 16cm、慣行栽培は条間 80cm の株間 8cm と、慣行栽培と比べて狭畦栽培は条間が 43cm も狭まるのに対して、株間は 8cm 程度しか広がらないことから、狭畦栽培の方がダイズ間の光の競合が起きやすい可能性があることを示した。また中野ら (2001) は、ダイズの正方形播きは長方形播きに比べ、群落が早期に密閉状

態になること、また、葉面積が数値的に大きくなり、ダイズ品種によっては有意な差が現れたことを報告している。狭畦 8.9 株  $\text{m}^{-2}$  区の平高畝上の配列は条間 32 cm, 株間 30 cm とほぼ正方形の配列となっており、このことから、本研究では播種 50 日後の狭畦区と慣行区で栽植密度やダイズ株の主茎長および分枝数に違いがなくても、狭畦区は葉の重なりによる密閉状態が早期に確保でき、相対 PAR 量は狭畦区の方が低くなったものと考えられた。狭畦区における栽植密度毎の 3 ヶ年平均の相対 PAR 量を見ると、両品種とも狭畦 8.9 株  $\text{m}^{-2}$  区が狭畦 13.3 株  $\text{m}^{-2}$  区以上より高く、やや被覆力が劣った。しかし相対 PAR 量は 10% 以下と、雑草を抑制する値（野口・中山 1978）となり、抑草効果はほぼ同等であると考えられた。達観による調査であるが、雑草発生量は両品種のいずれの試験区もほとんど皆無に等しかった（データ省略）。ただし、2013 年の試験のように狭畦 8.9 株  $\text{m}^{-2}$  区では相対 PAR 量が 10% を上回る事例もある。この年は「エンレイ」、「あやこがね」とともに  $\text{m}^2$  当たり分枝数が他の年次よりも少なく、狭畦 26.7 株  $\text{m}^{-2}$  区では 0~3 本程度しか発生しなかった。2013 年の 7 月 1 日から播種 50 日後の調査前日に当たる 7 月 25 日までの気象状況は、総日射量は  $308.5 \text{ MJ m}^{-2}$  と低く、総降水量は 233 ml と多く、7 月 29~30 日にかけての大雨以前にも、曇天で雨の多い日が続いた。大泉（1962）は日射制限が大きいほど分枝の発生が少なくなること、また古畑ら（2011）は北陸地域の粘質土壌における過湿状態で分枝数の増加が抑制されたことを報告していることから、2013 年の寡照多雨条件が分枝数の発生を抑制したものと推察された。このように畝立て狭畦栽培でも年次によってはダイズの生育停滞によって被覆力が弱まり、雑草害を引き起こすことも考えられる。畝立て狭畦栽培においても株間が広い条件では、生育期茎葉処理除草剤の適期散布の徹底など、相対 PAR 量が慣行区も含めて確実に 10% 以下となる播種 80 日後までは雑草を繁茂させない管理が必要であることが伺えた。

#### 4-4-2 ダイズの成熟期生育および収量

畝立て狭畦栽培における成熟期のダイズ生育は（第 4-6 表，第 4-7 表），主茎長では「エンレイ」，「あやこがね」両品種ともに，各年次および 3 ヶ年平均で栽植密度が高くなるほど高い傾向となった．茎太では「エンレイ」は 2012, 2013 年と 3 ヶ年平均で，「あやこがね」では各年次および 3 ヶ年平均で栽植密度が高くなるほど細くなった．株当たり分枝数では両品種ともに，各年次および 3 ヶ年平均で栽植密度が高くなるほど少なくなった．これらの生育特徴から，畝立て狭畦栽培でも密植条件によって徒長気味の生育となる（星川 1996，澤本・島田 2015）傾向が示された．畝立て狭畦栽培での密植による倒伏程度の影響は，両品種とも有意な差は見られなかった．しかし「エンレイ」では 3 ヶ年平均で慣行区と，狭畦 17.8 株  $\text{m}^{-2}$  区および 26.7 株  $\text{m}^{-2}$  区で有意差が確認され，畝立て狭畦栽培の方が倒伏程度は大きかった．年次別の傾向では，2012 年に有意差は得られていないが狭畦区と慣行区で倒伏程度の差が大きかった．畝立て狭畦栽培は無培土条件のため，土壌による支持力が慣行栽培より得られにくいこと，密植により徒長気味の生育となったことに加え，2012 年の 8 月下旬頃の生育調査時には倒伏はいずれの区においても確認されなかったため，第 4-3 表より 2012 年の 9 月 6 日に 1 時間雨量 40 mm 以上の激しい雨が発生したことで，畝立て狭畦栽培の倒伏を誘発したと推察された．2013 年は強い雨または強い風が発生した日数は 2012 年より多かったものの，7 月の寡照多雨が要因と考えられる生育停滞で，主茎長，茎太および株当たり分枝数が他の 2 ヶ年より小さくなり，1 株当たりの地上部重量が減少したことで倒伏程度が緩和されたと推察された．また 2014 年はダイズ株の生育が 2012 年並に確保されたものの，風雨は他の 2 ヶ年より弱い傾向であったため倒伏が緩和されたと考えられた．以上から，「エンレイ」の畝立て狭畦栽培では株の生育が良好な条件において，豪雨または強風による影響で倒伏が起こりやすくなり，狭

畦 17.8 株  $\text{m}^{-2}$  区以上の栽植密度で慣行区と倒伏程度に差が現れる可能性が示唆された。

最下着莢節位高は慣行区と狭畦 8.9 株  $\text{m}^{-2}$  区を比較すると、「エンレイ」では狭畦区が有意に高く、「あやこがね」では有意差はないものの狭畦区の数値が高くなった。これは培土作業の有無により地際の高低が異なったことによる影響が大きい。最下着莢節位高が高ければコンバイン収穫の刈り残しが解消されるため、倒伏程度が小さい場合は畝立て狭畦栽培によって機械収穫適性が向上することが示唆された。3 ヶ年平均において畝立て狭畦栽培の栽植密度が高くなるほど、両品種とも最下着莢節位高は高くなる傾向を示した。密植により最下着莢節位高が高まる傾向となる報告はいくつか見られ（松永ら 2003, 池尻ら 2007, 辻ら 2007）、密植による節間の伸長（土屋ら 1986）および、下位節の遮光に伴う結莢率の低下（中野ら 2004）が、最下着莢節位高が高まった要因であると考えられた。

3 ヶ年平均において「エンレイ」では畝立て狭畦栽培の栽植密度が高くなるほど、 $\text{m}^2$  当たり有効莢数が増加傾向を示し、百粒重は有意な差が見られなかった。結果、収量は増加傾向となり、狭畦 17.8 株  $\text{m}^{-2}$  区以上から、慣行区よりも多くなった。百粒重は第 3 章の結果とは異なり、畝立て狭畦栽培と慣行栽培で有意差が見られなかったが、本研究では畝立て狭畦栽培と慣行栽培で雑草の発生がほとんど見られず、養水分の競合に違いが見られなかったためと考えられた。しかし 2013 年では畝立て狭畦栽培と慣行栽培で有意差が見られ、畝立て狭畦栽培で百粒重が大きくなった。この年次は生育期間を通して月別降水量が多く、試験圃場においてダイズの立枯性病害、特に黒根腐病が多発生していた。黒田ら（2015）はダイズ栽培において無培土条件が黒根腐病の発病度を軽減する傾向があることを報告しており、本研究でも黒根腐病による百粒重の低下が、無培土条件である畝立て狭畦栽培では緩和されたものと考えられた。

一方、「あやこがね」では3ヶ年平均で、畝立て狭畦栽培の栽植密度が高くなるほど、 $\text{m}^2$ 当たり有効莢数はおおよそ増加傾向を示し、百粒重は有意な差が見られなかった。結果、収量は「エンレイ」同様に増加傾向を示し、「あやこがね」では狭畦  $13.3 \text{ 株 m}^{-2}$  区以上から、慣行区よりも多くなった。2013 年の百粒重については、有意差はなかったが「エンレイ」とほぼ同様に畝立て狭畦栽培で低下が緩和される傾向を示した。

#### 4-4-3 畝立て狭畦栽培の適正な栽植密度

第 4-4 表において、3ヶ年平均では播種 50 日後の相対 PAR 量は  $8.9 \text{ 株 m}^{-2}$  以上の畝立て狭畦栽培で、新潟県の「エンレイ」における目標苗立数約  $9 \text{ 株 m}^{-2}$  程度に設定した慣行栽培よりも相対 PAR 量は低く、値も 10% 以下となり十分な雑草抑制効果が得られた。雑草抑制効果の観点から、 $8.9 \text{ 株 m}^{-2}$  以上の栽植密度設定が有効な条件であると考えられた。ただし生育停滞する年次は、 $8.9 \text{ 株 m}^{-2}$  程度の畝立て狭畦栽培では相対 PAR 量が 10% を上回り十分な被覆力を得られない場合もあるので、雑草管理には適正な生育期茎葉処理除草剤散布等の組み合わせが必要であると考えられた。倒伏程度においては畝立て狭畦栽培では栽植密度の違いによって倒伏程度に大きな差は見られなかった。しかし目標苗立数に設定した慣行栽培と比較すると、 $17.8 \text{ 株 m}^{-2}$  以上の密植条件での畝立て狭畦栽培では有意に倒伏程度が大きくなった。本研究においては  $17.8 \text{ 株 m}^{-2}$  以上の密植条件での倒伏程度は 2.1 の小程度ではあるが、密植適応性が低いとされる「エンレイ」においては倒伏の危険性を少しでも回避する必要があると考えられる。この倒伏程度の観点から、畝立て狭畦栽培の適正栽植密度は  $8.9 \sim 13.3 \text{ 株 m}^{-2}$  であると推察された。収量は畝立て狭畦栽培で栽植密度が高くなるほど増加する傾向が見られたが、 $8.9 \sim 13.3 \text{ 株 m}^{-2}$  でも慣行栽培程度の収量が確認され、収量性に問題は

ないと示唆された。

以上の検討結果から、新潟県の重粘土地帯で「エンレイ」程度の密植適応性を備える品種で畝立て狭畦栽培を行う場合は、適正栽植密度は倒伏程度の観点から 8.9～13.3 株  $\text{m}^{-2}$  程度に抑えることで、中耕・培土作業の省略を図りつつ、雑草抑制効果を確保することが可能であると推察された。

次に「あやこがね」の畝立て狭畦栽培における栽植密度の影響を検証する。播種 50 日後の相対 PAR 量は「エンレイ」と同様の傾向を示し、8.9 株  $\text{m}^{-2}$  以上の畝立て狭畦栽培で慣行栽培よりも相対 PAR 量は低く、値も 10% 以下となり十分な雑草抑制効果が得られた。倒伏程度では畝立て狭畦栽培の栽植密度の違いによって倒伏程度に大きな差は見られなかった。さらに慣行栽培と、畝立て狭畦栽培の各栽植密度との比較でも、倒伏程度に差が見られなかった。密植適応性が「エンレイ」より高い「あやこがね」では、畝立て狭畦栽培の栽植密度は 26.7 株  $\text{m}^{-2}$  までであれば倒伏程度に影響しにくいものと考えられた。収量は「エンレイ」同様、畝立て狭畦栽培で栽植密度が高くなるほど増加する傾向が見られた。特に 13.3 株  $\text{m}^{-2}$  以上では慣行栽培以上の収量が確認され、密植による増収効果も期待できるものと示唆された。

以上の検討結果から、新潟県の重粘土地帯で「あやこがね」程度の密植適応性を備える品種で畝立て狭畦栽培を行う場合は、適正栽植密度は 13.3～26.7 株  $\text{m}^{-2}$  とし、中耕・培土の省略に加えてダイズの増収効果を狙うことが可能であると推察された。



## 第 5 章

### 窒素吸収量および窒素固定活性の評価

#### 5-1 はじめに

ダイズは窒素要求量が高い作物の一種である。ダイズ子実を 100 kg 生産するのに必要な窒素量は 7~9 kg とされており（星 1982）、イネと比べて 2~3 倍の窒素が必要である（有原 2000）。窒素成分は根からの養分吸収によって確保することに加え、根部に土壌微生物である根粒菌を着生させ、根粒菌により空気中の窒素固定が行われたものを、宿主であるダイズは吸収利用している。ダイズが利用する全窒素のうち、根粒菌による固定窒素に由来する割合は、土性の違いによるが 40~90% 程度と高く寄与している（高橋 2005）。ダイズの安定多収を目指す技術開発に際し、窒素の吸収活性および根粒菌による窒素固定活性を評価することは、植物生理学上極めて重要と考えられる。

Herridge ら（1990）は比色定量法により、ダイズの導管液に含まれるウレイド態窒素の比率から窒素固定の割合を簡易に推定する「相対ウレイド法」を開発している。これにより栽培体系や施肥体系（Takahashi ら 1992, 南雲ら 2010, 村田ら 2012）、肥料や資材の種類（中川ら 2009, 浜口ら 2016）、ダイズの品種間差（野原ら 2005）および気象条件の違い（高橋ら 1995）などによるダイズの窒素固定活性の比較が広く行われている。一方で、中野ら（2001）はダイズの正方形配列は長方形配列と比べて分枝の発生や登熟に優れ収量が高くなる傾向を示したことを報告し、この要因は光受容が良好となったことを挙げている。しかし、窒素固定活性など正方形配列における地下部の影響に関する調査は行われていない。第 4 章で正方形配列に近い栽植体系となる耕うん同時畝立て狭畦無培土栽培（以下、畝立て狭畦栽培）においても、長方形配列となる慣行栽培と地上部の生育が異な

る事例が見られたため、畝立て狭畦栽培と慣行栽培との窒素固定活性の違いを比較、検証する必要があると考えられる。本章では「相対ウレイド法」により、前述のとおり栽培体系の異なるダイズにおける、窒素の吸収活性および根粒菌による窒素固定活性を評価した。

## 5-2 材料および方法

### 5-2-1 試験区の構成

本研究は2016年に、畝立て狭畦栽培（以下、狭畦区）および慣行栽培（以下、慣行区）共に、新潟県長岡市の新潟県農業総合研究所（以下、所内）の水田転換畑で行った。当該圃場は1年おきに水稲－大麦－水稲－大豆の田畑輪換を行っており、試験は水稲作後の畑転換1年目で実施した。肥料散布は両区とも耕うん前に行い、N、 $P_2O_5$ 、 $K_2O$ をそれぞれ $1.6\text{ g m}^{-2}$ 、 $4.0\text{ g m}^{-2}$ 、 $6.0\text{ g m}^{-2}$ 施用した。ダイズ供試品種は「エンレイ」を用いた。播種様式は、狭畦区では6月6日に、第4章の第4-1図と同様に耕うんと同時に1畝150cm、高さ10 cmの平高畝を形成し、播種密度が8.9株となるように平高畝上のダイズ条間を32 cmの4条および畝間を54 cm（平均条間37.5cm）、株間を30 cm、1粒播きと設定して、機械播種を行った。慣行区では、播種前日に耕うんを行い、6月1日に播種密度が8.9株となるようにダイズ条間75 cm、株間15 cmの1粒播きで、手作業による播種を行った。

### 5-2-2 ダイズ導管液採取

試料の採取は、7月28日（R2期頃）、8月26日（R5～R6期頃）、9月27日（R7期頃）に行った。各試験区で水口側・中央・水尻側の3ヶ所からそれぞれ3株ずつ選定し、ダイズ主茎の地際最下節とその上位節の間を剪定鋏で切断した。主茎

の切断は 9 時～10 時の間に行い，切断後 1 時間程度，野原ら（2005）の手法に準じて切り株に脱脂綿をつめた 6 ml サンプル管を逆さに被せて，切り口から滲出した導管液を採取した．採取後の保管は－15℃のフリーザー内で行った．分析時に導管液を自然解凍し，導管液を吸収した脱脂綿 3 株分を 10 ml 注射器で搾取して 1.5 ml マイクロチューブに注入し，分析に用いた．

### 5-2-3 ダイズ導管液の相対ウレイド割合の測定

導管液の分析は大山ら（2014）の手法に従い，「微量相対ウレイド分析法」を用いた．すなわち，相対ウレイド割合の算出に必要なウレイド態窒素，アミド態窒素，硝酸態窒素の算出のために，いずれも 1.5 ml のマイクロチューブを用いて試料，試薬ともに従来法の 1/20 にスケールダウンして比色定量を行った．そして，呈色反応液を 96 穴マイクロプレートに 1 穴当り 200  $\mu$ l 注入し，Thermo Electron 社製マイクロプレートリーダー（Multiskan Spectrum）により吸光度を測定して，ウレイド濃度（mM），アミド濃度（mM）および硝酸濃度（mM）を分析した．得られた各濃度から窒素濃度を計算し，相対ウレイド割合の算出を次式のとおり行った．

相対ウレイド割合＝ウレイド態窒素濃度／（ウレイド態窒素濃度＋アミド態窒素濃度＋硝酸態窒素濃度）

ここでウレイド態窒素濃度は，ウレイドであるアラントインとアラントイン酸の合計窒素濃度を示し，それぞれ 1 分子に窒素原子を 4 個持つため，前述で測定したウレイド濃度を 4 倍にして算出した．アミド態窒素は主成分が主にアスパラギンであり，1 分子に窒素原子を 2 個持つため，前述で測定したアミド濃度を 2 倍にして算出した．硝酸態窒素濃度は硝酸 1 分子の窒素原子が 1 個のため，前述で測定した硝酸濃度をそのまま用いた．

#### 5-2-4 ダイズ株地上部の窒素集積量

5-2-2 における導管液採取と同時に、切り取ったダイズ株の地上部を回収した。回収後、70℃に設定した乾熱機で3日間乾燥し、乾物重を測定した。その後地上部を粉碎し、Tecator 社製ケルテックオートサンプラーシステム 1035 アナライザーを用いて、地上部の窒素濃度を測定し、乾物重と窒素濃度の積値を地上部窒素集積量とした。なお、9月27日に回収した地上部については、茎葉と莢子実に分けて、それぞれの乾物重および窒素濃度を測定した。そして、それぞれの部位で算出した窒素集積量の和を9月の地上部窒素集積量とした。

#### 5-2-5 相対ウレイド割合と地上部窒素集積量から見た、ダイズの窒素集積速度

調査時期毎に得られた相対ウレイド割合と地上部窒素集積量から、根粒由来による窒素固定速度、および肥料、地力由来による窒素吸収速度を計算した。計算は大山ら（1992）の報告に準じ、次式のとおり行った。

$$\text{窒素集積（同化）速度（mg m}^{-2}\text{ 日}^{-1}\text{）} = \left( \text{採取時窒素集積量} - \text{前回採取時窒素集積量} \right) / \text{前回採取時からの日数}$$

$$\text{平均相対ウレイド割合} = \left( \text{採取時相対ウレイド割合} + \text{前回採取時相対ウレイド割合} \right) / 2$$

ただし、播種から初回採取時である7月28日までの平均相対ウレイド割合は、7月28日の割合をそのまま用いた。

$$\text{窒素固定速度（mg m}^{-2}\text{ 日}^{-1}\text{）} = \text{窒素集積速度} \times \text{平均相対ウレイド割合}$$

$$\text{窒素吸収速度（mg m}^{-2}\text{ 日}^{-1}\text{）} = \text{窒素集積速度} - \text{窒素固定速度}$$

#### 5-2-6 ダイズ成熟期の生育および収量調査

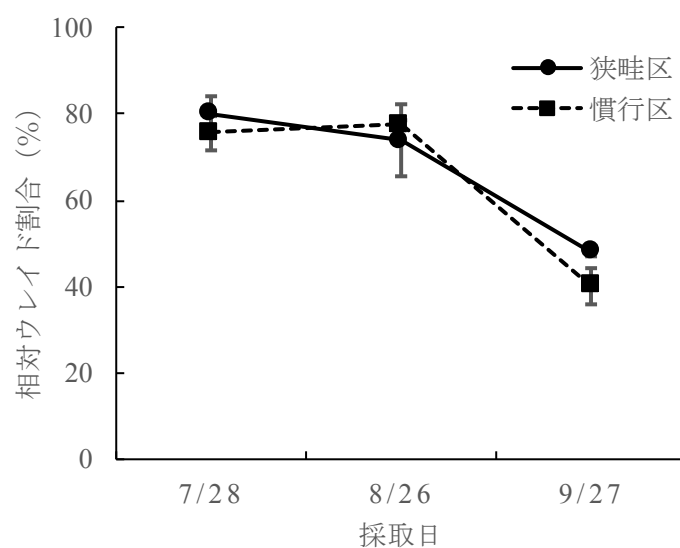
成熟期（10月14日，R8期）には狭畦区，慣行区共に2 m×4 条を根部ごと抜

き取り，成熟期生育および収量調査を行った．成熟期生育調査株は抜き取り株の中から，連続して生えていた 5 株について抜き取り前にカラスプレーで地際部をマーキングし，抜き取り後，はざ干しにより 2 週間程度乾燥条件で保管したのちに調査を行った．

### 5-3 結果

#### 5-3-1 ダイズ畝立て狭畦栽培における相対ウレイド割合の推移

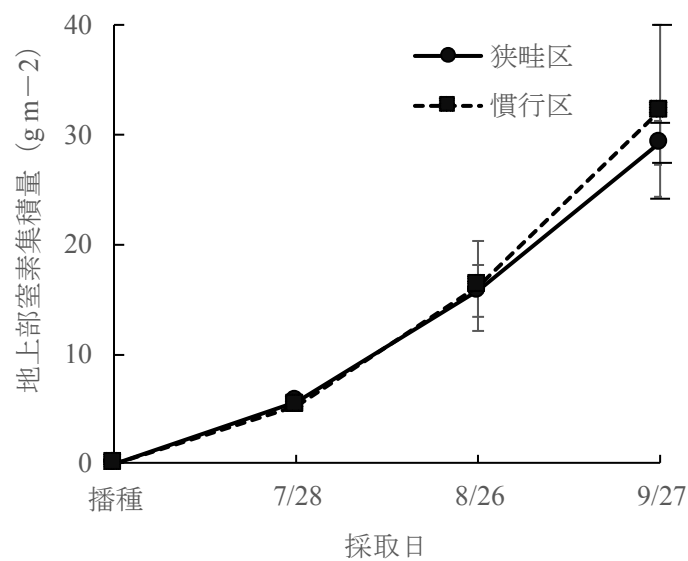
ダイズ導管液の採取日毎の相対ウレイド割合を第 5-1 図に示した．割合の推移は畝立て狭畦栽培と慣行栽培の間で大きな違いはなかったが，9 月 27 日の相対ウレイド割合で畝立て狭畦栽培が慣行栽培よりやや高い値となった．



第5-1図 栽培条件の違いによるダイズ導管液の相対ウレイド割合の推移．  
縦棒は標準偏差を示す．

#### 5-3-2 ダイズ畝立て狭畦栽培における地上部窒素集積量の推移

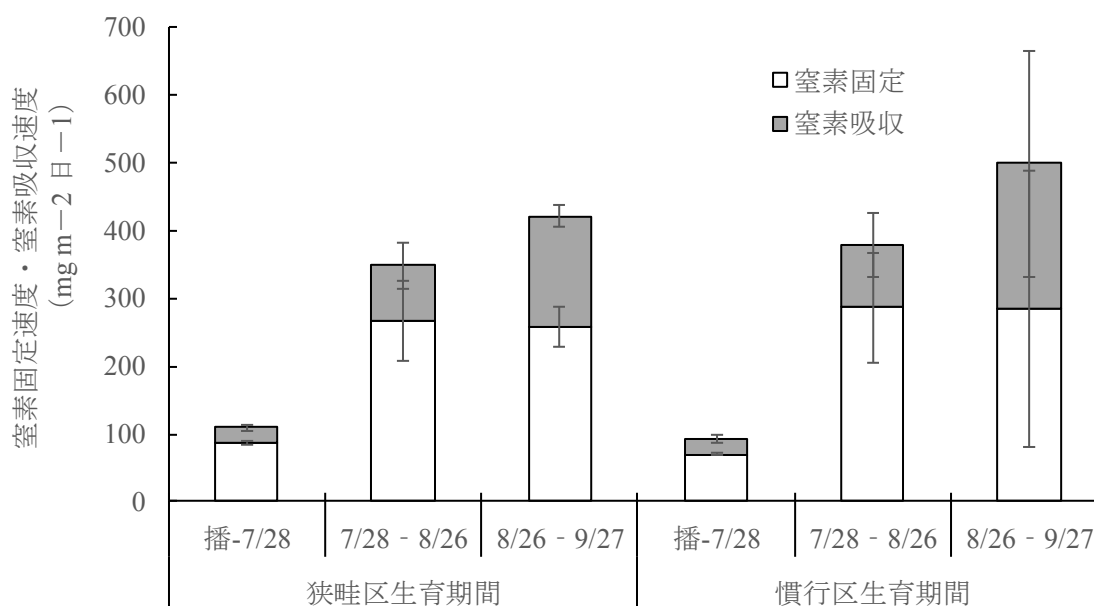
ダイズ導管液と同時にサンプリングしたダイズ株地上部の，採取日毎の  $\text{m}^2$  当たり窒素集積量を第 5-2 図に示した．割合の推移は畝立て狭畦栽培と慣行栽培の間で大きな違いはなく，値も差がなかった．



第5-2図 栽培条件の違いによるダイズ地上部の窒素集積量の推移.  
縦棒は標準偏差を示す.

### 5-3-3 ダイズ畝立て狭畦栽培における窒素集積速度の比較

相対ウレイド割合および，地上部窒素集積量を基に算出した，根粒由来による窒素固定速度と，肥料および地力由来による窒素吸収速度の推定値を第 5-3 図に示した．窒素固定速度は生育期間別に見て，畝立て狭畦栽培と慣行栽培の間に差はなかった．窒素吸収速度は，8 月 26 日から 9 月 27 日の期間において狭畦栽培の方が低く，慣行栽培対比 76% となった．



第5-3図 栽培条件の違いによるダイズ生育期間中の推定窒素固定速度および推定窒素吸収速度.  
縦棒は標準偏差を示す.

#### 5-3-4 ダイズ畝立て狭畦栽培における成熟期の生育および収量

各試験区の成熟期生育および収量を、第 5-1 表に示した. 主茎長および最下着莢節位高は慣行区が高い傾向を示した. 収量構成要素に当たる株当たり有効莢数, 百粒重は狭畦区と慣行区で大きな差はなかったものの, 狭畦区の方が数値は高い傾向を示し, 結果, 収量は狭畦区が多かった.

第5-1表 成熟期の生育, 収量構成要素および収量.

試験区	成熟期	主茎長 (cm)	茎太 (mm)	株当たり 分枝数 (本)	最下着莢 節位高 (cm)	株当たり 有効莢数 (莢)	百粒重 (g)	収量 (g m <sup>-2</sup> )
狭畦区	10月17日	54	8.8	5.2	14.2	74.8	36.6	467
慣行区	10月14日	65	9.2	4.8	17.3	72.5	35.8	386

#### 5-4 考察

ダイズの畝立て狭畦栽培による, 根粒由来による窒素固定速度を検証した結果, ダイズの生育期間を通して, 慣行栽培と大きな違いは現れなかった. 一方, 肥料

および地力由来による窒素吸収速度では、8月下旬頃までは窒素固定速度同様に慣行栽培と差は現れなかったが、8月下旬から9月下旬にかけて慣行栽培より低い傾向となった。畝立て狭畦栽培と慣行栽培との体系で条件が異なる点として、条間および株間が異なる栽植様式であることに加え、中耕・培土作業の有無が挙げられる。中耕・培土の効果は雑草防除やダイズの倒伏防止の他に、土に覆われた茎基部から不定根を発生させて根系を発達させることによる養水分吸収促進が得られる（島田 1985a）。本試験における慣行栽培での中耕・培土作業は7月11日と19日に実施しており、その後茎基部から発生した不定根が8月下旬から9月下旬にかけて、畝立て狭畦栽培よりも地力や肥料の吸収を高めたと考えられた。一方で、土田・有馬(1993)は、不定根にも根粒菌が着生し窒素固定速度を増大させること、そして主根および主根から発生する側根に着生する根粒菌よりも着生時期が遅い分、不定根に着生した根粒菌は大豆生育後期まで活性を維持することを報告している。しかしながら本試験においては、窒素固定速度は培土期以降も畝立て狭畦栽培と慣行栽培の間で大きな違いは確認できなかった。本試験のように、中耕・培土の有無による窒素固定速度および窒素吸収速度の影響の解析において、主根・側根と不定根の発生量の違いや、それぞれの根部に着生する根粒数の違いなどを検証する必要がある。

ダイズ成熟期の生育および収量について、畝立て狭畦栽培の方が主茎長は低く、地上部茎葉が小さめの生育を呈したと考えられる。しかし株当たり有効莢数と百粒重は高い傾向となり、収量は多い結果となった。本章における調査は単年度結果であるが、この生育と収量性は第4章の第4-6表で示した、狭畦8.9株  $\text{m}^{-2}$ 区と慣行8.9株  $\text{m}^{-2}$ の3ヵ年の比較結果とは異なる傾向となった。また、8月下旬から9月下旬にかけて窒素吸収速度は畝立て狭畦栽培より慣行栽培の方が高かったが、収量は逆の結果となった。第5-2図の地上部窒素集積量の算出において、9



月下旬の茎葉部のみにおける  $\text{m}^2$  当り乾物重および窒素含有率は、畝立て狭畦栽培では乾物重 411.8 g, 窒素含有率 1.58% に対して、慣行栽培は乾物重 383.4g, 窒素含有率 1.36% であった。9 月下旬頃はダイズ株がまだ黄葉期に至っていない中、畝立て狭畦栽培の方が慣行栽培より乾物重と窒素含有率が高い傾向が現れ、茎葉部の充実度は畝立て狭畦栽培の方が高かったものと考えられた。すなわち、同時期調査の莢・子実の  $\text{m}^2$  当り乾物重では畝立て狭畦栽培は 470.1g, 慣行栽培は 560.2g と慣行栽培の方が高かったものの、茎葉部が充実していたことにより、光合成産物の生成および子実への転流は畝立て狭畦栽培の方が良好であり、結果、畝立て狭畦栽培の収量が多くなったものと推察された。

以上から、畝立て狭畦栽培の収量性は慣行栽培と比べて、根からの窒素吸収速度は劣るが、地上部の光合成産物の生成が勝り、収量が慣行栽培と同等以上に確保される可能性が考えられた。これは正方形植えによって受光体勢が高まると報告されている（中野ら 2001）ことから伺える。

本章における研究は、畝立て狭畦栽培の窒素集積能力を慣行栽培と比較確認するための単年度試験であったことや、根量および根粒数、光合成能力などを確認していないことなどから、年次変動の確認など更なる解析が必要である。

## 第 6 章

### 生育期茎葉処理除草剤省略効果の診断

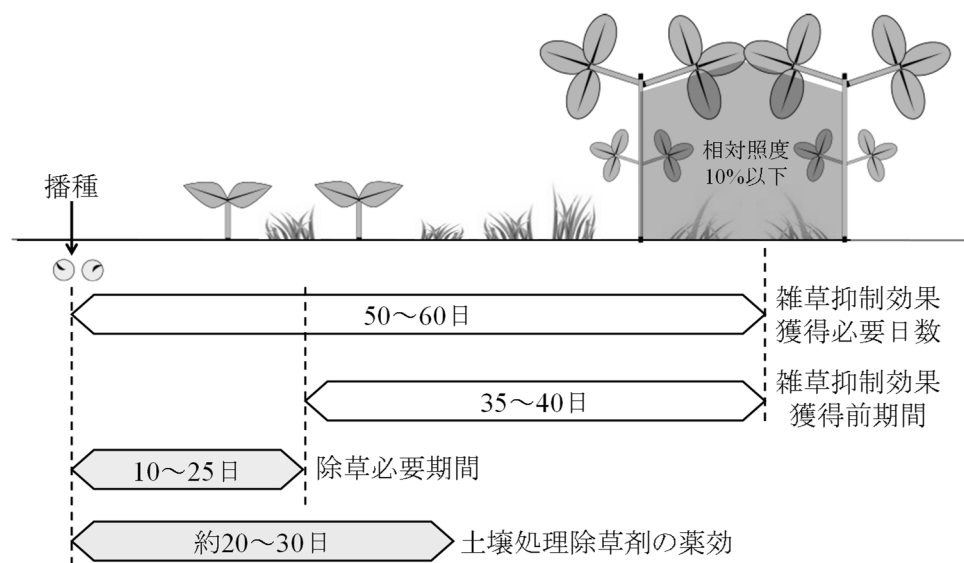
#### 6-1 はじめに

第 3 章において、ダイズ耕うん同時畝立て狭畦無培土栽培（以下、畝立て狭畦栽培）は従来の栽培法より条間を狭めることで、地表面をダイズ茎葉が被覆する時期が早まり、中耕・培土作業を行わなくても雑草を抑制できることを報告した。本技術を行うに当たり、雑草防除対策として播種直後に土壌処理除草剤を散布し、さらに播種後 10～30 日頃に、土壌処理除草剤の効果が切れて後発雑草が現れた時に、生育期茎葉処理除草剤を散布することが必要と考えられる。野村ら（2011）も、狭畦密植栽培において播種後 30 日頃の、群落外観としてダイズ草冠が完全に閉じる直前で条間が見える程度の頃までに、生育期茎葉処理除草剤を散布すると除草効果が高いことを報告している。

一方、野口ら（1982）は寒冷地転換畑のダイズ作において、播種から、被覆による雑草抑制効果が得られるダイズの生育日の 35～40 日前までの期間が、除草必要期間と推定されることを報告している。第 3 章において、畝立て狭畦栽培は被覆時期が早まり、播種 50～60 日後に雑草抑制効果が得られる結果となったため、野口らの報告と併せると、畝立て狭畦栽培においては播種後 10～25 日までが推定除草必要期間であることを示唆している。ダイズの土壌処理除草剤の薬効は播種後散布した場合、おおよそ播種 20～30 日後頃まで続くことから、畝立て狭畦栽培の推定除草必要期間を十分に補っている（第 6-1 図）。以上のことから、畝立て狭畦栽培は、土壌処理除草剤のみの管理でも雑草を抑制できる可能性が考えられる。

本章では畝立て狭畦栽培において、茎葉処理除草剤散布を省略した時の雑草発生动態および、ダイズ収量の影響について調査した。調査結果を基に、畝立て狭

畦栽培でダイズ生育期間中の生育期茎葉処理除草剤散布が省略可能かを検証した。



第6-1図 ダイズ畝立て狭畦栽培における除草必要期間および土壌処理除草剤薬効期間の模式図

## 6-2 材料および方法

### 6-2-1 試験圃場のダイズ播種条件および気象的特徴

本研究は2015～2016年に、新潟県長岡市の新潟県農業総合研究所（以下、所内）の水田転換畑で行い、2ヶ年ともに、2年間の水稻作後の転換1年目となる圃場で実施した。肥料散布は耕うん前に行い、N、 $P_2O_5$ 、 $K_2O$ をそれぞれ $1.6\text{ g m}^{-2}$ 、 $4.0\text{ g m}^{-2}$ 、 $6.0\text{ g m}^{-2}$ 施用した。ダイズ供試品種は2016年に新潟県の奨励品種として採用された、耐倒伏性を有する「里のほほえみ」を用いた。播種床の様式は第4章の第4-1図と同様に、耕うんと同時に1畝150cmの平高畝を形成し、平高畝の畝立て高さは約10cmとし、4畝形成した。栽植密度は、平高畝上にダイズを条間32cmの4条、畝間を54cm（平均条間37.5cm）とし、株間20cm、1本立ちに設定して、栽植密度を13.3株とした。播種は2ヶ年とも、6月5日に行った。

気象条件については、月別の日平均気温と日射量および降水量は所内圃場に設

置されている気象観測装置の記録を用いた。

## 6-2-2 試験区の構成

異なる除草処理体系に分けた試験区として、「慣行除草区」、「無除草区」、「土壌処理区」、「麦マルチ区」、「麦マルチ＋土壌処理区」の、計5区を設定した。「慣行除草区」はダイズ播種直後に土壌処理除草剤（トリフルラリン粒剤）を散布し、播種後1ヶ月以降に生育期茎葉処理除草剤（ベンタゾン液剤、キザロホップエチル水和剤）を散布した。「無除草区」は播種直後土壌処理除草剤および生育期茎葉処理除草剤の散布を行わず、放任状態とした。「土壌処理区」は播種直後に土壌処理除草剤散布のみを行い、生育期茎葉処理除草剤散布は行わなかった。「麦マルチ区」は農業・食品産業総合研究機構東北農業研究センターで開発された、ダイズの条間に麦類を播種し、麦類の被覆力で雑草を防除する「リビングマルチ大豆栽培」(農研機構 2016) と、畝立て狭畦栽培を組み合わせで実施した。すなわち、ダイズ播種直後にオオムギ品種「てまいらず」の種子を  $8 \text{ g m}^{-2}$  播種した。マルチオオムギの播種は主にダイズ条間にすじ状に埋めて行われるが、本研究ではダイズの条間に加え、株間にもオオムギが出芽・被覆するように、全面表層混和播種を行った。すなわち、オオムギ種子を平高畝全面に散播し、さらにレーキでオオムギ種子と土壌を、ダイズ種子が掘り起こされないように深さ 2~3cm の範囲内で混和して、オオムギの出芽率の安定を図った。生育期茎葉処理除草剤は「無除草区」および「土壌処理区」同様に散布しなかった。「麦マルチ＋土壌処理区」は「麦マルチ区」に土壌処理除草剤を散布し、生育期茎葉処理除草剤は散布しなかった。

畝立て狭畦播種を4畝行ったダイズ群落において、中2畝を「群落内部」、両側2畝を「群落外周部」として分けて調査した。試験区1反復分の面積は、2015年

は畝幅 1.5 m×畝の長さ 7.0 m, 2016 年は畝幅 1.5 m×畝の長さ 5.5 m とした. 2 ヶ年とも, 各試験区を 2 反復ずつ設定した.

### 6-2-3 雑草発生量, 成熟期生育, 収量調査および経営効果の判定

雑草およびマルチオオムギの採取は, 播種 30 日後, 50 日後, 80 日後頃および成熟期に, 各試験区のダイズ抜き取り調査に影響しない箇所を選定した. 50cm×50cm 四方の枠を平高畝上のダイズ株を含む中央部に置き, 枠内で出芽・生育していた植物体を根部ごと抜き取って採取した. 採取後, 植物体を 70℃に設定した乾熱機で 3 日間乾燥し, m<sup>2</sup> 当たり雑草乾物重を算出した. なお, 本試験において耕起・播種作業で十分に鍬込まれずに試験期間内に再生した雑草も存在していた. このような雑草は土壌処理除草剤やマルチオオムギの効果がなく, 抑草効果の検証に影響を及ぼすと考えられる. そのため, 財団法人日本植物調節剤研究協会による調査手法に準じ (村岡 2009), 再生雑草を確認したその都度, 土壌表面の層が破壊されない程度に抜き取り, 調査対象から除外した.

成熟期には 2 m×4 条のダイズ株を根部ごと抜き取り, 成熟期生育および収量調査を行った. 成熟期生育調査株は抜き取り株の中から, 連続して生えていた 10 株について抜き取り前にカラスプレーで地際部をマーキングし, 抜き取り後, はざ干しで 2 週間程度乾燥条件において保管したのちに調査を行った.

各試験区における経営効果については, 除草資材代金と, 収量結果によるダイズ販売価格を用いて, 差し引き金額を算出して判定した. 一般のダイズ圃場において, 収穫されるダイズ子実の割合は圃場外周よりも圃場内のダイズの割合が多いと想定されるため, ダイズ販売価格は群落内部の収量結果を用いて算出した.

### 6-2-4 統計解析

雑草乾物重，ダイズ成熟期の生育および収量調査の測定については，株式会社社会情報サービス社製の統計解析ソフト「エクセル統計 2012」を使用した．年次および除草処理体系を因子として多重比較検定を行い，群落内部と群落外周部とは結果を分けて分析した．

## 6-3 結果

### 6-3-1 所内圃場の気象的特徴

所内における月別の日平均気温，日射量および降水量を第 6-1 表に示した．2015 年は日平均気温が 6～8 月は平年並みに推移したが 9 月は平年よりやや低かった．日射量は 6～7 月が平年より高く推移し，降水量は生育期間を通じて低く推移した．梅雨時期に当たる 6～7 月においても，降水量は平年比 40～50% 台となった．

2016 年は日平均気温が 6～8 月は平年並みに推移し，9 月は平年よりやや高かった．日射量は 6～8 月で平年より高く推移した．降水量は生育期間を通じて低い傾向であったが，2015 年の降水量よりは多く推移した．

第6-1表 新潟県農業総合研究所内作物研究センター内における月別気象概況．

	年次	6月	7月	8月	9月
日平均気温 ( $^{\circ}\text{C 日}^{-1}$ )	2015	20.8 (101)	24.8 (103)	25.3 ( 98)	20.1 ( 93)
	2016	21.3 (103)	24.9 (103)	26.5 (103)	22.8 (106)
	平年	20.6	24.1	25.8	21.5
日射量 ( $\text{MJ m}^{-2}$ )	2015	504.9 (109)	528.5 (118)	474.8 ( 96)	332.9 ( 96)
	2016	527.0 (114)	478.2 (107)	552.8 (112)	328.0 ( 95)
	平年	462.9	447.8	492.4	345.8
降水量 (mm)	2015	89.0 ( 56)	120.5 ( 46)	101.0 ( 54)	154.0 ( 75)
	2016	122.5 ( 77)	181.0 ( 69)	160.0 ( 85)	192.5 ( 94)
	平年	160.0	263.0	188.5	205.0

1981～2010年の30ヶ年平均を平年値とした．( )内は平年対比を表す．

### 6-3-2 雑草およびマルチオオムギの乾物重の推移

ダイズの畝立て狭畦栽培の各除草試験区における，群落内部での雑草およびマルチオオムギの乾物重の推移を第 6-2 表に示した．達観による確認であるが，本

試験の供試土壌処理除草剤を散布した試験区において、出芽雑草の植被率が試験区面積の1%に達した時期は播種25日後頃であり、未散布の区は播種16日後頃であった（データ省略）。また試験2ヶ年共に、試験圃場内に主に占有していた雑草は「ヒエ類」であった。そのような試験条件の中、試験区の平均値においてダイズ播種後に土壌処理除草剤を散布した「土壌処理区」の雑草乾物重は、播種50日後頃までは「無除草区」と比較して10%以下と少なく推移したが、播種80日後以降は「無除草区」対比で21~28%の量で推移した。「土壌処理区」同様にダイズ播種後に土壌処理除草剤を散布した「麦マルチ+土壌処理区」の雑草乾物重は播種80日後頃まで、「無除草区」対比10%以下で推移し、成熟期頃では46%の発生量となった。ダイズ播種後に土壌処理除草剤を散布せずマルチオオムギを播種した「麦マルチ区」では、播種30日後頃は「無除草区」程度の雑草量が発生し、播種50日以降は「無除草区」の4~6割程度しか雑草を抑制できなかった。マルチオオムギ自体の生育は、年次により差があるが7月下旬頃、または8月下旬頃まで地表面を被覆するほどの生育を呈するが、それ以降は夏場の高温により枯死し、ダイズ収穫時期には雑草化することは見られなかった。

群落外周部での雑草およびマルチオオムギの乾物重の推移を第6-3表に示した。試験区の平均値において、「土壌処理区」では「無除草区」と比較して播種80日後頃までは10%以下まで少なく推移したが、成熟期になると「無除草区」対比75%となり、群落内部よりも雑草抑制効果が劣る傾向となった。「麦マルチ区」および「麦マルチ+土壌処理区」では播種50日後頃から群落内部よりも雑草乾物重が多く推移し、成熟期頃における「無除草区」対比は群落内部とほとんど変わらなかった。マルチオオムギは播種80日以降にはほとんど枯死し、群落内部同様に雑草化することは見られなかった。

播種30日後頃における植生状況の写真を第6-2図に、播種80日後頃における

雑草発生状況の写真を第 6-3 図に示した。播種 30 日後頃に「無除草区」ではイネ科雑草を中心に多発していたが、「土壌処理区」ではこの時期はほとんど雑草の発生が見られなかった。マルチ大麦はダイズ条間の被覆がやや弱いものの、株間の被覆は十分になされていた。播種 80 日後頃は「無除草区」でイネ科雑草がダイズ草冠を超え、ダイズを被覆するほど生育した。「土壌処理区」および図を掲載していないが「麦マルチ区」、「麦マルチ＋土壌処理区」においてもダイズ草冠を超えるイネ科雑草の発生が多く確認された。対して、「慣行除草区」ではダイズ草冠を超える雑草は見られず、十分に雑草の発生・生育を抑制していた。



第6-2表 大豆耕うん同時畝立て狭畦栽培における群落内部の雑草乾物重推移

(単位:  $\text{g m}^{-2}$ )

年次	試験区	播種後日数			成熟期
		30日後	50日後	80日後	
2015	無除草区	25.3	132.2 <sup>a</sup>	152.2	178.8
	土壌処理区	1.8 ( 7)	5.4 <sup>b</sup> ( 4)	12.7 ( 8)	3.2 ( 2)
	麦マルチ区 雑草	27.2 (108)	50.4 <sup>b</sup> ( 38)	67.2 ( 44)	61.2 ( 34)
	【マルチ大麦】【37.3】		【69.8】	【0.0】	【0.0】
	麦マルチ+ 雑草	0.3 ( 1)	2.5 <sup>b</sup> ( 2)	3.1 ( 2)	14.0 ( 8)
	土壌処理区 【マルチ大麦】【22.7】		【40.9】	【1.5】	【0.0】
	慣行除草区	0.2 ( 1)	0.0 <sup>b</sup> ( 0)	0.1 ( t )	0.0 ( 0)
2016	無除草区	18.7	109.8 <sup>a</sup>	379.8 <sup>a</sup>	371.5
	土壌処理区	1.9 ( 10)	3.4 <sup>b</sup> ( 3)	97.2 <sup>bc</sup> ( 26)	152.0 ( 41)
	麦マルチ区 雑草	9.7 ( 52)	46.5 <sup>b</sup> ( 42)	216.5 <sup>b</sup> ( 57)	292.0 ( 79)
	【マルチ大麦】【53.0】		【125.4】	【74.0】	【0.0】
	麦マルチ+ 雑草	1.3 ( 7)	0.3 <sup>b</sup> ( t )	7.8 <sup>c</sup> ( 2)	239.9 ( 65)
	土壌処理区 【マルチ大麦】【25.4】		【47.9】	【78.9】	【0.0】
	慣行除草区	1.3 ( 7)	0.5 <sup>b</sup> ( t )	9.9 <sup>c</sup> ( 3)	8.8 ( 2)
雑草 平均	2015	11.0	38.1	47.1	51.4
	2016	6.6	32.1	142.2	212.9
	無除草区	22.0	121.0 <sup>a</sup>	266.0 <sup>a</sup>	275.2
	土壌処理区	1.9 ( 9)	4.4 <sup>c</sup> ( 4)	55.0 <sup>bc</sup> ( 21)	77.6 ( 28)
	麦マルチ区	18.5 ( 84)	48.5 <sup>b</sup> ( 40)	141.8 <sup>b</sup> ( 53)	176.6 ( 64)
	麦マルチ+土壌処理区	0.8 ( 4)	1.4 <sup>c</sup> ( 1)	5.4 <sup>c</sup> ( 2)	126.9 ( 46)
	慣行除草区	0.8 ( 4)	0.3 <sup>c</sup> ( t )	5.0 <sup>c</sup> ( 2)	4.4 ( 2)
分散 分析	年次(A)	n.s.	n.s.	**	*
	試験区(B)	n.s.	**	**	n.s.
	A×B	n.s.	n.s.	*	n.s.

( )内は年次および平均別の、雑草乾物重の無除草区対比を示し、tは小数点以下を四捨五入しても整数にならない値を示す。分散分析の\*\*, \*はそれぞれ1%, 5%水準で有意差あり, n.s.は有意差なしを示す。異なる英文字間は年次および平均別に5%水準で有意差ありを示す (Tukey法)。

第6-3表 大豆耕うん同時畝立て狭畦栽培における群落外周部の雑草乾物重推移

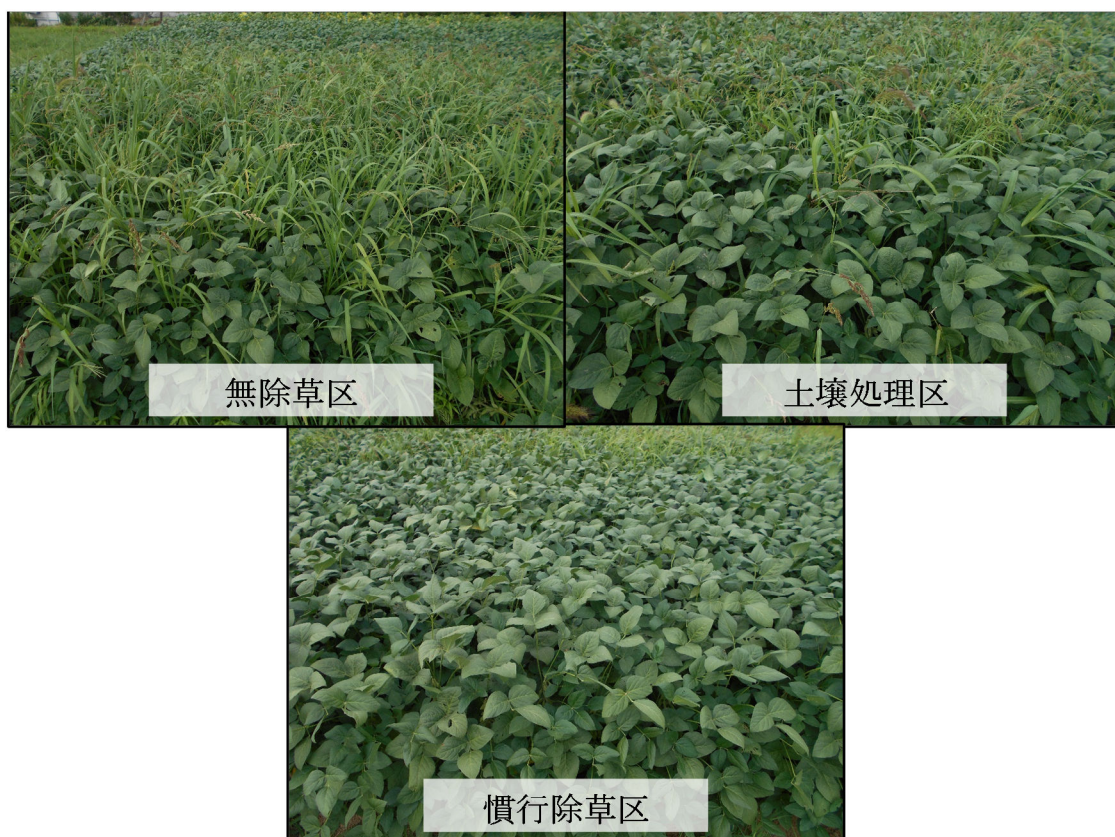
(単位:  $\text{g m}^{-2}$ )

年次	試験区	播種後日数			成熟期
		30日後	50日後	80日後	
2015	無除草区	34.1 <sup>a</sup>	171.8 <sup>a</sup>	207.6	68.0
	土壌処理区	1.9 <sup>ab</sup> ( 6)	8.4 <sup>b</sup> ( 5)	7.9 ( 4)	58.6 ( 86)
	麦マルチ区 雑草	10.9 <sup>ab</sup> ( 32)	78.1 <sup>b</sup> ( 45)	153.8 ( 74)	91.9 ( 135)
	【マルチ大麦】【48.7】		【64.7】	【2.0】	【0.0】
	麦マルチ+ 雑草	1.9 <sup>ab</sup> ( 6)	50.0 <sup>b</sup> ( 29)	42.3 ( 20)	71.5 ( 105)
	土壌処理区 【マルチ大麦】【59.4】		【52.5】	【14.6】	【2.8】
	慣行除草区	0.4 <sup>b</sup> ( 1)	0.0 <sup>b</sup> ( 0)	0.0 ( 0)	3.1 ( 5)
2016	無除草区	16.3	83.5	375.9 <sup>a</sup>	584.0 <sup>a</sup>
	土壌処理区	1.4 ( 9)	16.2 ( 19)	25.5 <sup>b</sup> ( 7)	428.9 <sup>ab</sup> ( 73)
	麦マルチ区 雑草	15.0 ( 92)	82.7 ( 99)	182.0 <sup>ab</sup> ( 48)	297.4 <sup>ab</sup> ( 51)
	【マルチ大麦】【39.4】		【74.3】	【66.5】	【0.0】
	麦マルチ+ 雑草	1.8 ( 11)	2.5 ( 3)	54.2 <sup>b</sup> ( 14)	211.6 <sup>ab</sup> ( 36)
	土壌処理区 【マルチ大麦】【31.1】		【42.2】	【46.8】	【1.3】
	慣行除草区	2.6 ( 16)	1.2 ( 1)	0.4 <sup>b</sup> ( t )	3.2 <sup>b</sup> ( t )
雑草 平均	2015	9.8	61.7	82.3	58.6
	2016	7.4	37.2	127.6	305.0
	無除草区	25.2 <sup>a</sup>	127.7 <sup>a</sup>	291.7 <sup>a</sup>	326.0
	土壌処理区	1.7 <sup>ab</sup> ( 7)	12.3 <sup>c</sup> ( 10)	16.7 <sup>b</sup> ( 6)	243.7 ( 75)
	麦マルチ区	13.0 <sup>ab</sup> ( 52)	80.4 <sup>ab</sup> ( 63)	167.9 <sup>ab</sup> ( 58)	194.7 ( 60)
	麦マルチ+土壌処理区	1.8 <sup>ab</sup> ( 7)	26.3 <sup>bc</sup> ( 21)	48.2 <sup>b</sup> ( 17)	141.5 ( 43)
	慣行除草区	1.5 <sup>b</sup> ( 6)	0.6 <sup>c</sup> ( t )	0.2 <sup>b</sup> ( t )	3.2 ( 1)
分散 分析	年次(A)	n.s.	n.s.	n.s.	**
	試験区(B)	*	**	**	n.s.
	A×B	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

( )内は年次および平均別の、雑草乾物重の無除草区対比を示し、tは小数点以下を四捨五入しても整数にならない値を示す。分散分析の\*\*, \*はそれぞれ1%, 5%水準で有意差あり, n.s.は有意差なしを示す。異なる英文字間は年次および平均別に5%水準で有意差ありを示す (Tukey法)。



第6-2図 2016年次の播種30日後頃における群落内部の植生状況



第6-3図 2016年次の播種80日後頃における群落内部・外周部の雑草発生状況

### 6-3-3 ダイズ成熟期の生育および収量

各試験区の成熟期生育および収量を，群落内部においては第 6-4 表，群落外周部においては第 6-5 表に示した．試験区の平均値において，株当たり有効莢数は群落内部においては「無除草区」が「慣行除草区」より少なくなったが，各除草処理体系区と「無除草区」および「慣行除草区」の間では差はなかった．群落外周部では「無除草区」，「麦マルチ区」が「麦マルチ＋土壌処理区」，「慣行除草区」より少なかった．収量においては群落内部および群落外周部共に，「無除草区」が「慣行除草区」より少なかったが，各除草処理体系区と「無除草区」および「慣行除草区」の間では差はなかった．しかし群落内部，群落外周部共に，生育期間中に雑草乾物重が常に多かった「無除草区」の収量は，2 ヶ年とも少ない傾向を示した．

第6-4表 大豆畝立て狭畦栽培における群落内部の成熟期生育および収量

年次	試験区	主茎長 (cm)	分枝数 (本/株)	有効莢 (莢/株)	百粒重 (g)	収量 (kg/a)
2015	無除草区	78	3.0	27	45.4	23.3
	土壌処理区	78	3.6	33	43.8	33.6
	麦マルチ区	75	2.4	34	46.0	33.9
	麦＋土壌区	68	4.6	34	42.5	32.7
	慣行除草区	75	3.5	37	42.6	35.3
2016	無除草区	59	3.8	23 <sup>b</sup>	32.3	16.2 <sup>b</sup>
	土壌処理区	58	3.7	35 <sup>ab</sup>	34.6	29.1 <sup>ab</sup>
	麦マルチ区	56	3.6	27 <sup>ab</sup>	36.7	23.3 <sup>ab</sup>
	麦＋土壌区	56	3.8	36 <sup>ab</sup>	35.1	30.2 <sup>ab</sup>
	慣行除草区	56	4.0	41 <sup>a</sup>	38.1	38.5 <sup>a</sup>
平均	2015	75	3.4	33	44.0	31.7
	2016	57	3.8	32	35.4	27.4
	無除草区	69	3.4	25 <sup>b</sup>	38.9	19.7 <sup>b</sup>
	土壌処理区	68	3.7	34 <sup>ab</sup>	39.2	31.3 <sup>ab</sup>
	麦マルチ区	66	3.0	30 <sup>ab</sup>	41.3	28.6 <sup>ab</sup>
	麦＋土壌区	62	4.2	35 <sup>ab</sup>	38.8	31.4 <sup>ab</sup>
	慣行除草区	66	3.8	39 <sup>a</sup>	40.4	36.9 <sup>a</sup>
分散 分析	年次(A)	**	n.s.	n.s.	**	n.s.
	試験区(B)	n.s.	n.s.	*	n.s.	*
	A×B	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

「麦＋土壌区」は「麦マルチ＋土壌処理区」を表す。分散分析の\*\*, \*はそれぞれ1%, 5%水準で有意差あり, n.s.は有意差なしを示す。異なる英文字間は年次および平均別に5%水準で有意差ありを示す (Tukey法)。



第6-5表 大豆畝立て狭畦栽培における群落外周部の成熟期生育および収量

年次	試験区	主茎長 (cm)	分枝数 (本/株)	有効莢 (莢/株)	百粒重 (g)	収量 (kg/a)
2015	無除草区	72	3.6	35 <sup>b</sup>	45.4	39.2
	土壌処理区	72	4.6	45 <sup>ab</sup>	44.1	45.6
	麦マルチ区	73	2.6	37 <sup>ab</sup>	46.0	43.2
	麦＋土壌区	72	4.7	49 <sup>a</sup>	42.1	45.6
	慣行除草区	71	4.4	44 <sup>ab</sup>	44.0	48.3
2016	無除草区	57	3.1	26 <sup>b</sup>	32.8	17.9 <sup>b</sup>
	土壌処理区	57	3.9	39 <sup>a</sup>	35.5	31.6 <sup>ab</sup>
	麦マルチ区	56	3.4	29 <sup>ab</sup>	37.2	28.4 <sup>ab</sup>
	麦＋土壌区	57	3.7	38 <sup>ab</sup>	37.5	34.6 <sup>ab</sup>
	慣行除草区	56	4.0	42 <sup>a</sup>	39.9	43.2 <sup>a</sup>
平均	2015	72	4.0	42	44.3	44.4
	2016	57	3.6	35	36.6	31.1
	無除草区	65	3.4	30 <sup>c</sup>	39.1	28.6 <sup>b</sup>
	土壌処理区	65	4.2	42 <sup>ab</sup>	39.8	38.6 <sup>ab</sup>
	麦マルチ区	64	3.0	33 <sup>bc</sup>	41.6	35.8 <sup>ab</sup>
	麦＋土壌区	65	4.2	43 <sup>a</sup>	39.8	40.1 <sup>ab</sup>
	慣行除草区	64	4.2	43 <sup>a</sup>	41.9	45.7 <sup>a</sup>
分散分析	年次(A)	**	n.s.	**	**	**
	試験区(B)	n.s.	n.s.	**	n.s.	*
	A×B	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

「麦＋土壌区」は「麦マルチ＋土壌処理区」を表す。分散分析の\*\*, \*はそれぞれ1%, 5%水準で有意差あり, n.s.は有意差なしを示す。異なる英文字間は年次および平均別に5%水準で有意差ありを示す (Tukey法)。

#### 6-3-4 ダイズ畝立て狭畦栽培群落内部における、各除草処理試験区の経営診断

各試験区の除草資材経費、群落内部におけるダイズ2ヶ年平均収量分の販売価格、および販売価格から除草資材経費を差し引いた金額（以下、差引金額）の結果を第6-6表に示した。差引金額は「慣行除草区」が10a当たり54,444円と最も高い結果となった。次いで「土壌処理区」が10a当たり47,497円と高く、最も低かったのは収量が低かった「無除草区」で10a当たり31,672円であった。「麦マルチ＋土壌処理区」は除草資材経費が高くなり、収量は「土壌処理区」とほとんど差がないものの、差引金額は10a当たり41,610円と、「土壌処理区」より低くな

った。

第6-6表 10a当たり除草資材代金と収量分販売価格 (単位：円)

試験区	マルチ オオムギ	土壌処理 除草剤	茎葉処理 除草剤	収量 (kg)	収量分 販売価格	販売価格－ 除草資材経費	慣行除草区 対差
無除草区	0	0	0	197	31,632	31,632	-22,812
土壌処理区	0	2,760	0	313	50,257	47,497	-6,947
麦マルチ区	6,048	0	0	286	45,922	39,874	-14,570
麦＋土壌区	6,048	2,760	0	314	50,418	41,610	-12,834
慣行除草区	0	2,760	2,045	369	59,249	54,444	0

「麦＋土壌区」は「麦マルチ＋土壌処理区」を表す。除草資材代金は2016年現在の価格を引用した。すなわち、マルチオオムギの10a当たり代金は756円/1kg×8kg/10a、土壌処理除草剤の10a当たり代金は1,380円/3kg×6.0kg/10a、茎葉処理除草剤の10a当たり代金はペンタゾン液剤の4,590円/1,000ml×150ml/10a分と、キザロホップエチル水和剤の2,260円/500ml×300ml/10a分の合算値とした。ダイズ収量は、狭畦群落内における2ヶ年平均収量結果を使用し、収量分販売価格は、福井県および石川県のH27年産「里のほほえみ」落札俵数と落札価格から、1俵当たり平均落札価格を算出した9,634円/60kgを使用した。

#### 6-4 考察

ダイズ品種「里のほほえみ」を用いた畝立て狭畦栽培において、茎葉処理除草剤散布を省略した時の雑草発生動態や、ダイズ収量の影響について調査し、ダイズ生育期間中の除草作業の省略の可能性について検討した。

除草剤試験における除草効果の判定基準では、残草量の無除草区対比が 0～10%は除草効果極大、11～20%は大、21～40%は中、41～60%は小、の評価となる（財団法人日本植物調節剤研究協会 2004）。この基準を引用して雑草抑制効果（以下、抑草効果）を判定する。まず生育期茎葉処理除草剤を省略した「土壌処理区」の雑草発生動態については、第 6-2 表より 2015 年の群落内部では生育期間を通して「無除草区」の 10%以下で推移し、「慣行除草区」と比較してもわずかに雑草が発生する程度で、ダイズ成熟期に当たる 10 月下旬頃まで極大の抑草効果が得られた。しかしながら、2016 年ではダイズの最繁期に当たる播種 80 日後頃から「無除草区」対比 26%となり、成熟期には 41%と抑草効果が小さかった。2016 年の平均雑草乾物重を見ると、播種 80 日後頃から 2015 年の雑草乾物重と比べて

有意に多かった。第 6-1 表で気象条件を見ると、日平均気温は 2015 年と 2016 年では平年比とほぼ同様の推移となっている。対して降水量は 2016 年の平年比が 2015 年より高く推移しており、2016 年は適度な土壌水分が確保されやすい条件であった。そのため 2016 年の方が雑草の出芽および生育に好適な条件となって雑草乾物重が多くなったと考えられた。そして雑草の生育が好適な条件となったことで 2016 年の「土壌処理区」においても、ダイズが地表面を被覆した後もダイズ草冠を越える等によって生育停滞に至らない雑草が多く残り、抑草効果が 2015 年よりも得られにくかったものと推察された。第 6-3 表より、群落外周部の「土壌処理区」においては、播種 80 日後頃までの雑草発生動態は 2 ヶ年ともに「無除草区」対比でおおよそ 10% 以下に推移したが、成熟期では「無除草区」対比 73~86% であり、抑草効果が得られなかった。以上のように、年次間やダイズ群落の内部と外周部との間で雑草発生動態に違いが生じる傾向となった。

次に成熟期の生育および収量について比較すると、第 6-4 表より、群落内部の「土壌処理区」と「無除草区」間で生育および収量に有意差は見られないものの、「土壌処理区」の収量は「無除草区」より多い傾向を示した。第 6-5 表より、群落外周部の「土壌処理区」と「無除草区」間では、株当たり有効莢数が「土壌処理区」で多かったが、それ以外では生育と収量に有意差は見られなかった。その結果、収量は群落内部同様に、「無除草区」より多い傾向を示した。群落内部では生育期間を通して、また群落外周部では播種 80 日後頃まで、「土壌処理区」では雑草との養水分の競合が「無除草区」より緩和されたため、収量が「土壌処理区」で多くなったと考えられた。なお、収量の「無除草区」対比が群落内部および外周部とも 2016 年で大きい、これは 2016 年 8 月下旬の台風により、「無除草区」では第 6-3 図のように多発かつ大型化した雑草が、ダイズ株に覆いかぶさるように倒伏し、それによって「無除草区」のダイズは地際に接着するほどに倒伏した。



この影響により 2016 年の「無除草区」は大きく減収したと考えられた。

群落内部と群落外周部間で収量を比較すると、群落外周部の方が群落内部より収量が多い傾向を示した。ダイズは子実生産において光合成能力や受光体制が重要である（星川 1996）。ダイズ群落の下層まで光を受容することで、ダイズ下位節の結莢率や子実肥大を得て、収量を確保することが報告されている（池田・佐藤 1990, 中野ら 2001）。本研究においても、株当たり有効莢数と百粒重は群落外周部の方が群落内部よりも高い傾向を示しており、群落外周部は畝間の片側がダイズによって遮蔽されていないため、ダイズ下層部並びに地表面まで光が届きやすい条件であったと推察された。

ここで雑草発生動態において着目すると、ダイズ群落の地表面は群落外周部では群落内部より光が届きやすいことから、ダイズ自身の遮蔽による抑草効果が得られにくいと考えられる。ダイズ生育期間の日射量を確認すると、2 ヶ年とも平年並からそれ以上の値で推移しており、日射量は十分な条件である。そのため、土壌処理除草剤の効果が切れた後に発生した雑草が成熟期まで生存しやすくなり、最終的に群落外周部の「土壌処理区」では雑草が「無除草区」並に発生した可能性が示唆された。

第 6-6 表において群落内部のダイズ 2 ヶ年平均収量を基にした差引金額を比較した場合、「土壌処理区」は 5 試験区のうち「慣行除草区」に次いで 2 番目に高かったが、「慣行除草区」対差で 10 a 当たり -6,947 円の差額となった。「土壌処理区」は「慣行除草区」と比べて収量差が 10 a 当たり 56 kg 程減少しているため、「土壌処理区」で節減できる 10 a 当たりの茎葉処理除草剤代金 2,045 円よりも、10 a 当たり販売価格の損失額の方が約 8,990 円と大きくなってしまったことによる結果となった。2015 年のように、「土壌処理区」で極大の抑草効果が得られ、「土壌処理区」と「慣行除草区」の収量差が小さい年次であれば、「土壌処理区」にお

ける生育期茎葉処理除草剤散布作業の省略により、他品目に対する高品質安定生産管理に着手でき、農業経営における所得確保効果も得られると考えられる。しかし本研究で用いた土壌処理除草剤が有する残効性、すなわち効果が 25 日程度と考えられる薬剤では、「土壌処理区」の抑草効果があまり得られない年次もある。雑草の発生量が多くなることによって、「慣行除草区」との収量差に変動が及び、作業省略につながっても所得確保は難しい場合があると推察された。

以上の結果から畝立て狭畦栽培において、土壌処理除草剤のみの除草体系は群落外周部では雑草が多発しやすい傾向があること、そして雑草が好適に生育しやすい年次では群落内部でも抑草効果が得られにくく、慣行除草体系よりも所得が得られない場合があることが示された。だが本試験において、「慣行除草区」のように生育期茎葉処理除草剤を散布した場合は、群落内部および外周部共に無除草体系と比べて極大の抑草効果を得られたことも判明している。すなわち、薬効が散布後 25 日程度続く土壌処理除草剤よりもさらに薬効が持続する剤であれば、雑草発生量が多い条件や群落外周部でも、成熟期に極大に近い抑草効果を得られる可能性が推察された。窪田ら（2016）は、播種翌日または当日に土壌処理除草剤を散布した条件での、残効性の長短による雑草発生量を調査し、残効期間が長い区では完全な雑草防除が可能であったことを報告している。今後、土壌処理除草剤の残効期間と成熟期の雑草発生動態の関連性をさらに調査し、より効果的な除草作業省略体系を検討する必要があると考えられた。

続いて、ダイズ播種と同時にマルチオオムギを用いた「麦マルチ区」および「麦マルチ+土壌処理区」について検討する。群落内部の「麦マルチ区」の雑草発生動態は、播種 50 日後以降の「無除草区」対比で 34~79%程度であり、抑草効果は中程度もしくはほとんど得られなかった。「麦マルチ区」の播種 30 日後頃雑草乾物重は「無除草区」の半分かほぼ同等である。このことから「麦マルチ区」

は土壌処理除草剤を散布していないため、ダイズおよびマルチオオムギの出芽とともに雑草も同時に発生し、ダイズやオオムギに被覆される前に初発雑草の生育が優勢となったために、抑草効果が小さくなったと考えられた。この雑草発生動態は、群落外周部においても同様の傾向となり、2015 年の成熟期では「無除草区」よりも雑草乾物重が多くなった。「麦マルチ＋土壌処理区」の雑草発生動態では 2015 年の群落内部では生育期間を通して「無除草区」の 10%以下で推移し、ダイズ成熟期まで極大の抑草効果が得られた。2016 年では播種 80 日後頃まで 10%以下で推移したが、成熟期には 65%と抑草効果を得られなかった。「麦マルチ＋土壌処理区」の雑草発生動態は 2 ヶ年とも「土壌処理区」とほぼ同様の傾向であり、マルチオオムギによる被覆効果よりも土壌処理除草剤の効果による影響が大きいと考えられた。

「麦マルチ区」および「麦マルチ＋土壌処理区」の成熟期生育および収量について比較すると、ダイズ群落内部では「無除草区」間で生育および収量に有意差はなかったが、収量は「土壌処理区」同様に、「無除草区」より高い傾向を示した。群落外周部では「麦マルチ＋土壌処理区」と「無除草区」間において株当たり有効莢数が「麦マルチ＋土壌処理区」で多く、それ以外では生育に有意差はなく、結果、収量は有意差はないが「無除草区」より高い傾向となった。「麦マルチ区」の収量において、有意差はなかったが他の除草処理区の収量と比べて群落内部・外周部共に減収傾向となった。ダイズ生育期間中の「麦マルチ区」の抑草効果は他の除草処理区より小さく、マルチオオムギを含めた雑草の乾物重が高く推移したために、養水分の競合が起きて減収傾向となったものと推察された。

差引金額の比較では、「慣行除草区」対差で「麦マルチ区」では 10 a 当たり－14,570 円、「麦マルチ＋土壌処理区」では 10 a 当たり－12,834 円の差額となり、「土壌処理区」よりもマイナスの価格差が大きくなった。マルチオオムギの 10 a

当たり資材代金が，土壌処理除草剤および茎葉処理除草剤よりも高いことに加えて，「土壌処理区」の収量と同等程度，または低下したことが影響している．そのため，麦マルチ栽培による費用対効果は得られにくいと考えられた．

以上の結果から畝立て狭畦栽培において，マルチオオムギの全面表層混和播種による除草体系は，土壌処理除草剤と比べて抑草効果が小さく，かつ資材代金が高いのに対して収量は同等程度，または低下する傾向となるため，技術導入効果は小さいと推察された．ダイズの有機栽培を行う上ではマルチオオムギを利用した雑草対策は有望であるかもしれない．しかし，市販のマルチオオムギは種子消毒がされているため無消毒のオオムギ種子の確保が必要であり，さらにダイズの播種と同時にオオムギ種子を散播および土壌混和できる専用機械が開発されていないため，技術導入においては注意が必要である．

## 第 7 章

### 総合考察

本論文では、食料自給率向上のための品目の 1 つであるダイズにおいて、更なる増産に向けた規模拡大に対応するため、作業の省略に加えて、ダイズの収量と品質の安定化を目指した新たな栽培技術の調査研究、および栽培体系の構築を目的とした。そして、作業省略が期待出来る技術の 1 つ、「耕うん同時畝立て狭畦無培土栽培（以下、畝立て狭畦栽培）」を中心として、中耕・培土作業の省略、さらには生育期茎葉処理除草剤の散布作業の省略が可能なダイズ栽培技術について検証を行った。

#### 7-1 ダイズ耕うん同時畝立て狭畦無培土栽培導入の有望性

新潟県においてダイズの狭畦栽培を導入する上で、2 つの課題が挙げられている。1 つは重粘土壌が主体である本県の水田転換畑では、湿害による出芽不良を起こしやすく雑草発生を抑制するほどの被覆力が得られない可能性があることである。もう 1 つは狭畦栽培によって条間が狭まる分密植となるため、ダイズが伸長しやすく倒伏する危険があることである。そこで湿害回避のために、アップカットロータリで耕うんと同時に平高畝を形成し、畝上で狭畦栽培を行う「畝立て狭畦栽培」について、耐倒伏性を備え密植適応性が高いダイズ品種「タチナガハ」を用いて、倒伏防止のために現地慣行栽培の播種密度となるように、株間を広げて疎植条件とした現地実証試験を行った。

雑草の発生や生育を抑制するためには、地表面に到達する光の割合が 10% 以下となる程度の被覆力が必要となる（野口ら 1978）。畝立て狭畦栽培によって、雑草を抑制する被覆力は播種後 50 日後頃に得られ、慣行栽培では 80 日後頃に同様

の被覆力が得られた。このことから同様の播種密度でも畝立て狭畦栽培では慣行栽培よりも早期に雑草を抑制する効果が得られることが示唆された。さらに、畝立て狭畦栽培では播種後 25～30 日頃を目安に、土壌処理除草剤の効果が切れて後発雑草が発生した時に、生育期茎葉処理除草剤を散布するのみでも十分な雑草抑制効果が得られた。以上から、畝立て狭畦栽培では中耕・培土を省略しても、播種 50 日後頃に大豆自身による被覆力が早期に得られることによって、生育期茎葉処理除草剤の散布のみで慣行栽培以上の雑草抑制効果が得られることが確認された。このことから、翌年以降の圃場内における埋土雑草種子量も畝立て狭畦栽培では相対的に減少し、更にダイズ良品質安定生産に結びつく可能性も考えられた。収量および倒伏程度について、実際の栽植密度が畝立て狭畦栽培で  $14.3 \text{ 株 m}^{-2}$ 、慣行栽培で  $12.2 \text{ 株 m}^{-2}$  の条件において、畝立て狭畦栽培と慣行栽培の間でどちらも有意な差は見られず、倒伏による収穫ロスや品質低下の影響はほとんどないと推察された。以上の現地実証の結果から、新潟県内の水田転換畑における畝立て狭畦栽培では中耕・培土の省略が出来、収量や品質にも影響はなく、栽培技術として実用性が高いことが実証された。

畝立て狭畦栽培の実用性を検証後、新潟県ダイズ奨励品種である「エンレイ」および「あやこがね」について、新潟県の水田転換畑における畝立て狭畦栽培の技術確立を図った。栽植密度はエンレイでは倒伏の観点から  $8.9 \sim 13.3 \text{ 株 m}^{-2}$  程度、あやこがねでは収量の観点から  $13.3 \sim 26.7 \text{ 株 m}^{-2}$  程度が適当であることが示された。畝立て狭畦栽培では無培土条件となるため土壌による地際の支持力が得られにくいことに加え、正方形植えの条件となり密閉状態になりやすいことにより（中野ら 2001）、光競合が起り徒長しやすい。これらの影響から畝立て狭畦栽培は倒伏しやすい条件となり、倒伏被害抑制のためにダイズの株姿を大きくしすぎないことが重要ある。したがって、畝立て狭畦栽培を導入する際には栽植密

度の調整に加えて、ダイズの生育が大きくなりやすい5月中の早播きを避ける必要もあると考えられた。第3章において、畝立て狭畦栽培では土壌処理除草剤の効果が切れ、後発雑草が発生する播種後30日頃の生育期茎葉処理除草剤の散布によって、無培土条件でも雑草を抑制することを確認した。野村ら（2011）も、狭畦密植栽培において播種後30日頃の、群落外観として草冠が完全に閉じる直前で条間が見える程度の頃までに、生育期茎葉処理除草剤を散布すると除草効果が高いことを報告している。これらのことから現段階の畝立て狭畦栽培技術の導入において、播種30日後頃の生育期茎葉処理除草剤の散布は必要と考えられた。

以上の点を踏まえて、ダイズの畝立て狭畦栽培における作業計画を第7-1図に示した。慣行栽培と異なる体系として、畝立て狭畦栽培では播種期間は5月下旬を省いた、6月上旬から中旬にかけて行う。また、慣行栽培では6月下旬および7月中旬頃に実施される中耕・培土作業が省略され、播種1ヶ月後頃に該当する7月上旬から中旬にかけて1回の除草剤、すなわち生育期茎葉処理除草剤を散布する。ダイズ生育期間の除草管理は慣行栽培では2回の中耕・培土に加え、雑草多発時には生育期茎葉処理除草剤の散布と、2～3工程の作業が必要となる。対して畝立て狭畦栽培では除草剤散布1回のみとなるため、1～2工程の作業が省略できることが示された。また、中耕・培土の問題として、重粘土質の土壌が広がる新潟県の水田転換畑では、降雨直後は土壌の粘性が高く、適切に大豆株元に土壌を被せることが出来ず、ダイズ株を損傷させるだけでなく、株元に発生した雑草を埋没させることができない。そのため中耕・培土は、降雨後は土壌が乾くまで数日作業ができない場合が多い。一方、乗用管理機による茎葉処理除草剤散布は、降雨直後でも作業を行うことが可能である。このことから、畝立て狭畦栽培は慣行栽培より適期の除草管理作業を実施できる日数が増えることが考えられた。以上の点において、畝立て狭畦栽培は慣行栽培と比較して、ダイズの雑草管理に

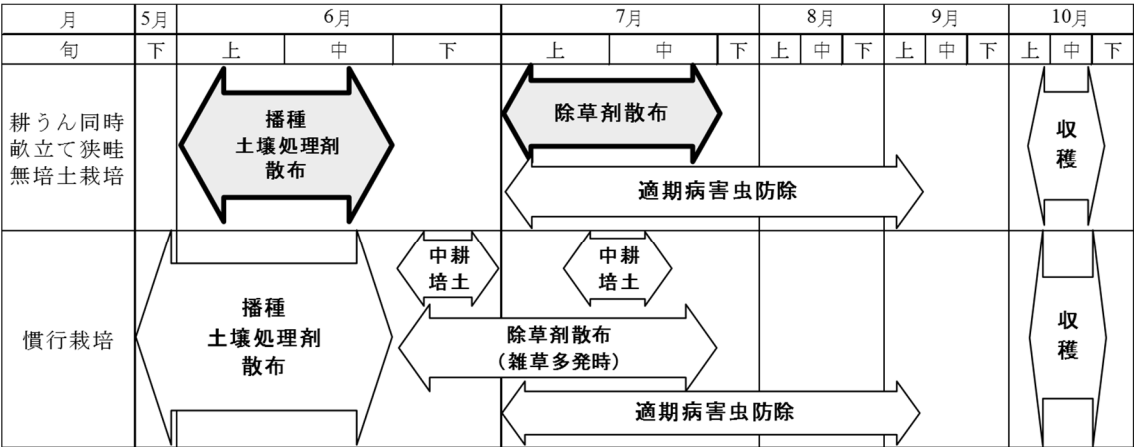
において適期に除草作業を行える面積が増加することが推察された。

畝立て狭畦栽培を導入することによる利点，および注意点について第 7-1 表にまとめた。第 3 章において畝立て狭畦栽培は中耕・培土の省略が可能であることを実証し，また黒田ら（2015）は畝立て狭畦栽培による無培土条件は黒根腐病の発病を抑えることを報告している。第 4 章において，畝立て狭畦栽培は慣行栽培より最下着莢節位高が高くなり，コンバイン収穫の刈残しが解消されやすくなることでコンバイン収穫ロスが軽減することも示された。さらに第 4 章では「あやこがね」程度の密植適応性を備える品種においては  $26.7 \text{ 株 m}^{-2}$  程度の栽植密度まで上げることが出来，増収効果を得る可能性が示唆された。以上の特性から，畝立て狭畦栽培は作業省略に加えて増収を図ることができる有望な技術であることが検証された。

一方で，畝立て狭畦栽培における注意点についても第 7-1 表でまとめた。前述のとおり畝立て狭畦栽培は倒伏しやすい技術であることに注意するのに加えて，雑草を繁茂させないことが重要である。ダイズ栽培において収穫前に発生した大型雑草に対して，コンバイン収穫で雑草ごと刈り取ることで，雑草茎汁がダイズ子実が付着し，「汚損粒」という格落ち要因につながる。汚損粒による品質低下を防ぐために，現場では手取り除草を行う場合がある。しかし畝立て狭畦栽培では条間を慣行栽培よりも狭めて行うため，手取り除草のために圃場内に入りづらく，さらには無理に除草に入ることによってダイズ株を倒伏させてしまう可能性が高い。畝立て狭畦栽培でのダイズ収量・品質の安定のために播種 30 日後頃の適期除草剤散布を遵守する必要がある。また，畝立て狭畦栽培は被覆力が高いことによって，7 月上旬以降の病虫害防除における散布薬剤が，ダイズ群落の下位層まで届きにくい場合がある。第 3 章の現地実証試験，および第 4 章の所内試験において，畝立て狭畦栽培と慣行栽培との大豆子実における病虫害粒の発生割合



には、差が見られなかった（データ省略）。しかし、畝立て狭畦栽培は除草剤を含めて薬剤が地際やダイズ下位節にかかりにくい可能性を念頭に置く必要がある技術であると推察された。



第7-1図 耕うん同時畝立て狭畦無培土栽培における主要作業計画。

第7-1表 耕うん同時畝立て狭畦無培土栽培の特徴

利点	○中耕・培土が省略できる
	○黒根腐病発生が軽減する
注意点	○最下着莢位置が高まり、コンバイン収穫ロスが軽減する
	○「あやこがね」で実施すると、密植により増収効果が得られる
	○倒伏させないようにする
	(倒伏しやすい品種は8.9～13.3株 m <sup>-2</sup> 程度)
	○雑草を繁茂させないようにする
	○病虫害防除における殺菌・殺虫剤散布を丁寧に行う必要がある

## 7-2 ダイズ耕うん同時畝立て狭畦無培土栽培における生育期茎葉処理除草剤の省略の可能性

第 7-1 項の記述において、畝立て狭畦栽培での雑草抑制対策として播種後の土壌処理除草剤, および播種 30 日後頃の生育期茎葉処理除草剤の散布が重要であることを報告した。一方, 第 6 章で記述したように, 畝立て狭畦栽培の推定除草必要期間が播種後 10～25 日に対して, 大豆播種直後に散布する土壌処理除草剤の薬効は 20～30 日間続くことから, 畝立て狭畦栽培は土壌処理除草剤のみの管理でも雑草を抑制できる可能性が考えられた。そこで播種 30 日後の生育期茎葉処理除草剤の散布を省略した場合における雑草発生動態, およびダイズ収量の影響について

て検証した．土壌処理除草剤のみの体系において，土壌処理除草剤と生育期茎葉処理除草剤の両方を散布する慣行除草体系と，ほぼ同等の雑草抑制効果を示すことが確認された．しかし，雑草発生量が相対的に多い条件や，地際部に光が届きやすい群落外周部では，土壌処理除草剤のみでは慣行除草体系よりも雑草が多発しやすい傾向も示された．本論文においては，生育期茎葉処理除草剤散布作業の省略を提唱する上では，作業を省略できる雑草発生条件，および様々な薬剤効果の検証がさらに必要である．

現在，ダイズの土壌処理除草剤では残効性がさらに持続しやすい薬剤が開発されている．本論文とは別試験の，かつ単年度の結果であるが，残効性が本論文の供試薬剤よりもさらに長く続いた剤において，成熟期の雑草乾物重の減少を，ダイズ群落内部および外周部共に確認した．群落内部および外周部における，土壌処理除草剤の薬効期間と成熟期の雑草発生動態の関連性を，今後さらに検討する必要がある．そして，雑草多発条件や，群落外周部においても十分な雑草抑制効果が得られる薬効期間，およびその期間を備える土壌処理除草剤が提唱できれば，中耕・培土作業に加えて，生育期茎葉処理除草剤の散布作業も省略でき，ダイズ栽培における相当な労力軽減効果をもたらす期待が大きい．

ダイズ栽培における中耕・培土の作業時間は，2回実施すると10a当たり概ね1.0時間，ブームスプレーヤによる除草剤散布では10a当たり概ね0.2時間を要する（日本農作業学会 2016）．例えば北陸地域における，平成25年度の1経営体当たりダイズ作付面積約245a（農林水産省 2015）でこれらの作業が省略されると，単純計算で29.4時間の削減となる．ダイズの作付面積がさらに大規模であると，より労働時間の削減が図られる．その分，見回り等によるダイズのよりきめ細かい管理に加え，水稻の適期適正穂肥管理や，他作物の新規導入・良品質栽培管理が可能となり，農業経営体の更なる所得向上への一助となる可能性が考えられた．

## 引用文献

- 有原丈二 2000. ダイズ安定多収の革新技術－新しい生育のとりえ方と栽培の基本－. 社団法人農山漁村文化協会, 東京. 15-24.
- FAOSTAT 2014. Production. Crops. <http://www.fao.org/faostat/en/#data> (accessed 16 Jan. 2017).
- 福井重郎 1965. 土壌水分から見た大豆の生理・生態学的研究. 農事試験報 9: 1-68.
- 古畑昌巳・足立一日出・大野智史 2011. 圃場排水性の良否が北陸地域のダイズの乾物と子実生産に及ぼす影響. 日作紀 80: 65-72.
- 浜口秀生・渡邊和洋・松尾和之・梅本雅・高橋幹・渡邊好昭・伊藤一幸 2016. 葉面散布による種子中モリブデン (Mo) の富化がダイズ (*Glycine max* L. Merr.) の根粒超着生系統の根粒着生, 窒素固定, 生育ならびに収量に及ぼす影響. 日作紀 85: 130-137.
- Herridge, D. F., Bergersen, F. J. and Peoples, M. B. 1990. Measurement of nitrogen fixation by soybean in the field using the ureide and natural <sup>15</sup>N abundance methods. Plant Physiol. 93: 708-716.
- 星川清親 1996. 新編食用作物 第13版. 株式会社養賢堂, 東京. 416-459.
- 星信幸・滝澤浩幸 2008. 晩播狭畦栽培が大豆の生育及び収量に及ぼす影響. 日作東北支部報 51: 65-66.
- 星忍 1982. ダイズの窒素固定と生育・収量. 日本土壌肥料学会編, 根粒の窒素固定－ダイズの生産向上のために－. 株式会社博友社, 東京. 5-33.
- 細川寿 2006. 多様な土壌に対応する耕うん同時畝立て播種技術. 機械化農業 2006・2: 12-15.

細川寿 2012.「ダイズの耕うん同時畝立て・狭畦栽培の技術研究会」開催報告. 農作業研究 47: 31-32.

池田武・佐藤庚 1990. ダイズ栽培における栽植密度と収量構成要素との関係. 日作紀 59: 219-224.

池尻明彦・岡本賢一・中司祐典・吉永巧・中山暁子・小林行高・金子和彦・岩本哲弥・村山秀樹 2007. 大豆品種「サチユタカ」の機械化体系に対応した栽培技術第1報 播種期および栽植密度. 山口農試研報 56: 51-61.

片山勝之・大野智史・細野達夫・細川寿・野村幹雄 2012. 狭畝密植栽培によるオムギ跡ダイズの播種期と栽植様式が収穫期の全乾物重と莢乾物重および雑草抑制に及ぼす影響. 北陸作報 47: 65-68.

気象庁 2015a. 過去の気象データ. <http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php> (2015/12/10 閲覧).

気象庁 2015b. 雨の強さと降り方. [http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo\\_hp/amehyo.html](http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/amehyo.html) (2015/12/10 閲覧).

気象庁 2015c. 風の強さと吹き方. [http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo\\_hp/kazehyo.html](http://www.jma.go.jp/jma/kishou/known/yougo_hp/kazehyo.html) (2015/12/10 閲覧).

公益財団法人日本豆類協会 2017. 豆の種類別特徴. [http://www.mame.or.jp/syurui/syurui\\_15.html](http://www.mame.or.jp/syurui/syurui_15.html) (2017/1/16 閲覧).

窪田潤・橘雅明・石岡徹・奥野林太郎・黒川俊二・澁谷知子・高橋仁康・沖陽子 2016. ダイズ狭畦栽培における土壌処理剤の残効期間の把握とグルホシネートの畦間・株間処理による効率的・効果的雑草防除. 雑草研究 61: 117-125.

黒田智久・松澤清二郎・藤田与一・川上修 2015. 狭畦無培土栽培によるダイズ黒根腐病発病軽減効果. 北陸病虫研報 64: 35.

松永亮一・高橋将一・小松邦彦 2003. 耐倒伏性に優れるダイズ新品種「サチユタ

カ」の密植・無中耕無培土栽培．日作九支報 69：53-55.

松尾和之・野口勝可・奈良正雄 1986. 畑作物における雑草害の発生機構の解析

1. 大豆とヒメイヌビエの競合の様相．雑草研究別号．講演会講演要旨 25：53-54.

松浦和哉・樫村英一・鈴木正明 2006. ダイズ「タチナガハ」の晩播栽培における狭畦密植栽培技術の確立．日作関東支報 21：72-73.

御子柴公人・松沢宏・荻原英雄・広間勝己・丸山宣重・堀内寿郎 1974. 大豆新品種「エンレイ」の育成とその特性について．長野農試報 38：37-39.

御子柴公人 1976. 日本人とダイズ．農業技術体系，作物編 6. 社団法人農山漁村文化協会，東京．基 3-基 13.

森康明・鳥生久嘉・大竹茂登 1982. 転換畑大豆に対する雑草害について．日作中支集録 24：38-39.

村岡哲郎 2009. 畑地，樹園地用除草剤試験の実際．平成 21 年度雑草生態及び除草剤試験に関する研修テキスト．財団法人日本植物調節剤研究協会，東京．117-138.

村田資治・井上博茂・稲村達也 2012. 水田転換畑における不耕起ダイズの生育に及ぼす降水の影響．日作紀 81：397-403.

長岡市危機管理防災本部 2014. 平成 25 年 7 月・8 月豪雨（被害の概要）平成 26 年 9 月 1 日現在．<http://www.bousai.city.nagaoka.niigata.jp/wp-bousai/wp-content/uploads/2013/08/681adfe1be75c9c3e126e4678c77193.pdf> (2015/12/10 閲覧).

南雲芳文・佐藤徹・服部誠・土田徹・細川寿・高橋能彦・大山卓爾 2010. 排水不良転換畑における畝立栽培およびシグモイド型被覆尿素肥料施用によるダイズの窒素集積量増加とちりめんじわ粒発生率軽減効果．土肥誌 81：360-366.

中川由紀・山川武夫・梶原良徳 2009. 繊維状竹破碎物の表面施用の時期と中耕培

土がダイズ品種フクユタカの窒素固定と生産に及ぼす影響. 土肥誌 80: 109-115.

中村茂樹・中澤芳則・大庭寅雄 1986. 大豆品種の節間長－環境（播種機，遮光および栽植密度）による節間長の変動－. 日作九支報 53: 79-81.

中野尚夫・河本恭一・石田喜久男 2001. ダイズにおける栽植様式が節位別分枝の発生と生育に及ぼす影響. 日作紀 70: 40-46.

中野尚夫・平田清則・大西政夫 2004. ダイズの栽植密度による光受容の変化と生育・収量. 日作紀 73: 175-180.

日本農作業学会 2016. 農作業データ集. [http://www.jsfwr.org/fw\\_data/index.html](http://www.jsfwr.org/fw_data/index.html) (2016/12/10 閲覧).

新潟県農林水産部 2012. 大豆栽培の手引き（改定）: 15-16.

野口勝可・中山兼徳 1978. 畑作物と雑草の競合に関する研究. 第3報遮光処理が雑草の生育に及ぼす影響. 日作紀 47: 56-62.

野口勝可・松尾和之・奈良正雄 1982. 寒冷地転換畑における大豆の雑草防除に関する研究. 1. 除草必要期間の設定. 雑草研究別号. 講演会講演要旨 21: 119-120.

野口勝可・Gimenez Alfredo Alvarez・中谷 敬子 1993. 大豆の狭畦栽培による雑草抑圧効果. 雑草研究. 別号, 講演会講演要旨 32: 156-157.

野原努・中山則和・高橋幹・丸山幸夫・島田信二・有原丈二 2005. 相対ウレイド法を用いた高土壌窒素条件下におけるダイズ窒素固定依存度の品種間差異. 日作紀 74: 316-324.

野村幹雄・細川 寿・片山勝之・細野達夫・関 正裕 2011. 北陸地域におけるダイズ狭畦密植栽培での茎葉除草剤の散布時期の検討. 日作紀 80（別2）: 114-115.

農研機構 2016. 麦類をリビングマルチに用いる大豆栽培技術マニュアル（増補

改訂版). [https://www.naro.affrc.go.jp/publicity\\_report/publication/files/livingmanual.pdf](https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/livingmanual.pdf) (2016/11/16 閲覧).

農林水産省 2015. 平成 25～26 年新潟農林水産統計年報. 北陸農政局統計部, 石川. 194-195.

農林水産省 2016. 大豆生産都道府県順位. [http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/daizu/d\\_data/pdf/008.pdf](http://www.maff.go.jp/j/seisan/ryutu/daizu/d_data/pdf/008.pdf) (2016/11/16 閲覧).

大泉久一 1962. 大豆の分枝発生機構並びにその栽培学的意義に関する研究. 東北農試研報 25: 1-95.

大山卓爾・高橋能彦・池主俊昭・中野富夫 1992. 単純相対ウレイド法による圃場栽培ダイズの窒素固定活性と窒素吸収速度の評価. 農及園 67: 1157-1164.

大山卓爾・坂詰大志・石川伸二・末吉邦・大竹憲邦・高橋能彦・南雲芳文 2014. ダイズの窒素固定依存率迅速測定のための微量相対ウレイド分析法. 農及園 89: 977-987.

齊藤邦行・磯部祥子・黒田俊郎 1998. ダイズ収量成立過程における花器の分化と発育について－莢数と花蕾数の関係－. 日作紀 67: 70-78.

齊藤邦行・平田和生・柏木揚子 2007. ダイズの花房次位別着莢に及ぼす畦間と栽植密度の影響－早生品種エンレイを用いた場合－. 日作紀 76: 204-211.

齊藤邦行・西村公仁子・北原利修 2012. ダイズの倒伏が子実収量に及ぼす影響－倒伏防止処理と人為的倒伏処理－. 日作紀 81: 27-32.

澤本和徳・島田雅博 2015. 密植栽培がダイズ「里のほほえみ」の生育および収量に及ぼす影響. 北陸作報 47: 65-68.

島田尚典 2002. 多収性, 機械化適性および耐冷性育種 (2) 機械化適性育種. 農林水産技術会議事務局編, 大豆－自給率向上に向けた技術開発－. 財団法人農林統計協会, 東京. 40-46.

- 島田信二 1985a. 転換畑作大豆における中耕培土の効果－1－. 農及園 60: 427-430.
- 島田信二 1985b. 転換畑作大豆における中耕培土の効果－2－. 農及園 60: 569-573.
- Takahashi, Y., Chinushi, T., Nakano, T. and Ohyama, T. 1992. Evaluation of N<sub>2</sub> fixation activity and N absorption activity by relative ureide method in field-grown soybean plants with deep placement of coated urea. Soil Sci. Plant Nutr. 38: 699-708.
- 高橋能彦・池主俊昭・大山卓爾 1995. ルビジウム/カリウム比法および相対ウレイド法による 1993 年の冷害におけるダイズの生育と窒素栄養の特徴. 土肥誌 66: 127-132.
- 高橋能彦 2005. ダイズの窒素施肥と安定多収技術. 日本土壌肥料学会編, ダイズの生産・品質向上と栄養生理. 株式会社博友社, 東京. 11-38.
- 土田宰・有馬泰紘 1993. 培土処理がダイズの生育と根粒による窒素固定に及ぼす影響. 土肥誌 64: 20-26.
- 土屋武彦・紙谷元一・佐々木紘一 1986. ダイズの最下着莢位置の年次および栽植密度による変動. 北海道立農試集報 55: 13-21.
- 辻博之・大下泰生・君和田健二 2007. 北海道ダイズ品種の生産に及ぼす密植・狭畦栽培の影響. 日作紀 76 (別 2): 64-65.
- 梅本雅 2004. ディスク駆動式汎用型不耕起播種機による大豆不耕起狭畦栽培. 機械化農業 2004・2: 13-17.
- 梅崎輝尚・鳥野至・松本重雄 1988. ダイズの節間伸長に関する研究. 第 4 報ダイズの節間伸長に対する遮光の影響. 日作紀 57 (別 1): 137-138.
- 矢ヶ崎和弘・高松光生・山田直弘・田中進久・高橋信夫 2000. ダイズ新品種「あやこがね」の育成. 北陸作報 35: 50-52.



山村光司 2002. 正しい分散分析結果を導くための変数変換法. 植物防疫 56:  
569-573.

山内文男・大久保一良 1992. シリーズ《食品の科学》, 大豆の科学. 株式会社朝  
倉書店, 東京. 1-13.

財団法人日本植物調節剤研究協会 2004. 畑作関係除草剤試験実施基準 (平成 16  
年改訂版). 14.

## 論文要旨

ダイズ栽培において1経営体当たりの作付面積が、農地集積の進展により将来拡大することが想定される。しかし、大規模化に伴い、中耕・培土などによる除草管理が適期に行えず、収量および品質が低下する事例が見られる。そこで、狭畦栽培と耕うん同時畝立て栽培を組み合わせ、ダイズの被覆による雑草抑制効果が期待される「耕うん同時畝立て狭畦無培土栽培（畝立て狭畦栽培）」を中心に、作業が省略できる栽培技術の導入効果について検証した。

新潟県において、耐倒伏性が強いダイズ品種「タチナガハ」を用いて、畝立て狭畦栽培の現地実証試験を行い、ダイズの生育、収量および雑草発生量について検討した。畝立て狭畦栽培における成熟期の生育は慣行の畝立て栽培と比べて主茎長は長く、倒伏程度は微から少程度で、収穫作業に支障のない程度であった。収量は慣行並に確保され、百粒重は慣行より大きかった。ダイズ群落内の相対光合成有効放射量（相対 PAR 量）は、狭畦栽培では播種後 50 日頃から雑草発生が抑制される 10% 以下に近い数値を示し、畝間をダイズが早期に被覆した。また、雑草発生量は播種 1 ヶ月後に生育期茎葉処理除草剤を散布することによって、収穫時には中耕・培土を行う慣行並以下に抑制が可能であった。以上から、「タチナガハ」の畝立て狭畦栽培では雑草が発生し始める、播種後 10 日～30 日頃の生育期除草剤の散布のみにより、十分な雑草抑制効果が得られ、中耕・培土が省略できた。畝立て狭畦栽培は新潟県の大規模ダイズ生産において、高品質安定生産につながると思われた。

密植適応性が異なる新潟県ダイズ奨励品種「エンレイ」および「あやこがね」を用いて、重粘土質水田転換畑における畝立て狭畦栽培の適正な栽植密度を検討した。ダイズ群落内の相対 PAR 量は、両品種ともに畝立て狭畦栽培では密植にな

るほど低くなるが、開花期頃にはいずれの栽植密度でも 10%以下となり十分な雑草抑制効果が得られた。成熟期の生育は両品種とも密植になるほど徒長気味となり、倒伏程度は「エンレイ」では栽植密度  $17.8 \text{ 株 m}^{-2}$  以上で、条間 75cm、栽植密度  $8.9 \text{ 株 m}^{-2}$  の慣行栽培より大きくなった。「あやこがね」は畝立て狭畦栽培と慣行栽培とで倒伏程度に差がなかった。収量は両品種とも密植になるほど増加する傾向となり、「エンレイ」では栽植密度  $17.8 \text{ 株 m}^{-2}$  以上で、「あやこがね」では栽植密度  $13.3 \text{ 株 m}^{-2}$  以上で、慣行栽培より有意に増加した。以上から、畝立て狭畦栽培の場合「エンレイ」では倒伏軽減の観点から栽植密度  $8.9 \sim 13.3 \text{ 株 m}^{-2}$ 、「あやこがね」では増収効果の観点から  $13.3 \sim 26.7 \text{ 株 m}^{-2}$  が適正栽植密度と判定された。

畝立て狭畦栽培の推定除草必要期間が播種後 10～25 日であるのに対して、ダイズ播種直後に散布する土壌処理除草剤の薬効は 20～30 日程度である。そこで播種 30 日後の茎葉処理除草剤の散布を省略した場合における雑草発生動態、およびダイズ収量の影響について調査し、除草剤散布作業の省略効果を検証した。土壌処理除草剤のみの体系において、土壌処理除草剤と生育期茎葉処理除草剤の両方を散布する慣行除草体系と、ほぼ同等の雑草抑制効果を示すことが確認された。しかし、雑草発生量が相対的に多い条件や、地際部に光が届きやすい群落外周部では、土壌処理除草剤のみでは慣行除草体系よりも雑草が多発しやすい傾向も示された。生育期茎葉処理除草剤散布作業の省略を提唱する上では、作業を省略できる雑草発生条件、および土壌処理除草剤の薬効期間と成熟期の雑草発生動態の関連性を、今後さらに検討する必要がある。

## Summary

In soybean cultivation, it is generally assumed that the cultivated acreage under management will increase in the future. However, declines in yield and quality are sometimes linked to an increase in cultivation scale, because weed management by intertillage and ridging cannot be done at the appropriate times. Thus, we investigated the effects of introducing a potential labor-saving cultivation technique based on “ridge-making and narrow-row culture,” a combination of narrow-row culture with rotary tilling and ridge-making culture, which was expected to provide weed control through increased soybean canopy cover.

In the Niigata Prefecture, we conducted a field demonstration with ridge-making and narrow-row culture by using the highly lodging resistant soybean cultivar “Tachinagaha”, and observed the growth, yield, and amount of weed emergence. Compared to the conventional ridge-making and planting culture, in our culture technique, the main stem length at maturity was longer, with slightly more lodging, but not to a degree that interfered with harvesting. As for yield, the conventional levels were maintained and the 100-grain weight increased. Under our culture technique, soybeans covered the spaces between rows at an early stage. As a result, from about 50 days after planting, the relative photosynthetically active radiation (PAR) values under the soybean canopy were shown to be just above 10%, the level at which weed emergence is controlled. Furthermore, spraying foliar-applied herbicide at 1 month after planting ensured that the level of weed emergence at the time of harvest was below the level conventionally obtained through intertillage and ridging. Thus, by using our technique to cultivate “Tachinagaha”, adequate weed control was obtained by spraying

foliar-applied herbicide 10–30 days after planting, when weeds began to emerge, avoiding conventional intertillage and ridging. For the Niigata Prefecture’s large-scale producers of soybeans, our technique may lead to more stable, higher-quality production.

We also examined suitable planting densities for our ridge-making and narrow-row culture. For this, we used fields converted from rice paddies with heavy clay soil and the soybean cultivars recommended for Niigata, “Enrei” and “Ayakogane”, which have different planting density adaptations. Relative PAR under the soybean canopies for both cultivars was low as planting density increased, and at the flowering stage, it was under 10% for all planting densities, thereby achieving adequate weed control. As for growth at maturity, as planting density increased, the more spindly the growth became for both cultivars. The degree of lodging was higher for “Enrei” plant densities over 17.8 plants/m<sup>-2</sup> than for the conventional culture with 8.9 plants/m<sup>-2</sup> and 75 cm between rows. For “Ayakogane”, there was no difference in the degree of lodging between culture techniques. For both cultivars, yield tended to be greater with increased planting density. For “Enrei” at planting densities of over 17.8 plants/m<sup>-2</sup> and for “Ayakogane” at planting densities of over 13.3 plants/m<sup>-2</sup>, statistically significant increases in yield were noted over that in conventional culture. We determined that when using ridge-making and narrow-row culture, the suitable planting densities for “Enrei”, from the perspective of reducing lodging, are from 8.9 to 13.3 plants/m<sup>-2</sup>, and for “Ayakogane”, from the perspective of yield, the planting densities are from 13.3 to 26.7 plants/m<sup>-2</sup>.

Finally, in our culture technique, soil-applied herbicide, which is effective for around 20–30 days, was sprayed immediately after soybean planting to obtain an estimated

weed-free maintenance period of 10–25 days. We then verified the labor-saving effects of omitting the application of foliar herbicide at 30 days after planting by observing the dynamics of weed emergence and the effect on soybean yield. Weed control for this system of using only soil-applied herbicide was equivalent to the conventional system of spraying both soil- and foliar-applied herbicides. However, when conditions were suitable for a relatively large amount of weed emergence and when light could easily reach the ground outside the soybean canopy, we noted a tendency for more weeds to grow when only soil-applied herbicide was used. Further research is needed to determine whether the application of foliar herbicide can be omitted to save labor, to understand the conditions for weed emergence in which this procedure can be omitted and to understand the relationship between the effective period for soil-applied herbicide and weed emergence dynamics at soybean maturity.

## 謝辞

本論文は新潟県大学院自主研修の工程において、新潟大学大学院自然科学研究科生命・食料科学専攻博士後期課程在籍中に、過去の研究成果を含めてまとめたものである。博士後期課程の担当指導教官として、終始研究内容の御助言や論文内容の御指導をして頂いた、同大学農学部教授の高橋能彦博士に満腔の謝意を表する。また、副指導教官として本論文の細部にわたり御指導していただいた、同大学教授の末吉邦博士、准教授の渡邊肇博士に深謝の意を表する。さらに、懇切なる御指導と御校閲を頂いた、同大学教授の大山卓爾博士、准教授の韓東生博士、長谷川英夫博士に感謝の意を表する。大山博士からは、微量相対ウレイド分析の手法について御教授くださり、また分析を行う場、および機材をお貸しくださった事も、合わせて感謝の意を申し上げる。

本研究の機械作業体系において、耕うん同時畝立て狭畦無培土栽培の手法について御教授くださり、また現地圃場での播種作業で様々な御尽力をいただいた、独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構中央農業総合研究センター北陸研究センター北陸水田輪作研究チーム長の細川寿氏（現・国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構農業技術革新工学研究センター革新工学研究監）に深謝の意を表する。

本研究の現地試験を行うにあたり、2009～2011年の3ヶ年にわたり現地圃場を御提供下さった、新潟県阿賀野市笹神地区の大豆生産組織である、エコファームささかみ株式会社の構成員の皆様、ささかみ農業協同組合営農指導課の一ノ瀬博氏に、心より御礼申し上げます。また、現地圃場の選定や現場の状況に関する情報の提供等に御協力いただいた、新潟県農林水産部経営普及課副参事の岩津雅和氏（現・新潟県農業総合研究所作物研究センター専門研究員）、並びに新発田地域振

興局農業振興部主査普及指導員の齋藤麗子氏（現・同局同部課長代理）、澤田勝則氏（現・新潟地域振興局巻農業振興部専門普及指導員）に感謝の意を表する。

大学院自主研修の実施にあたり、終始暖かい御指導と御鞭撻をいただいた、新潟県農業総合研究所の秋本隆司所長、松井基晴前所長、同研究所作物研究センターの有坂通展センター長、佐々木行雄前センター長、同センター栽培科の阿部聖一科長、同センター育種科の石崎和彦科長に深く感謝申し上げる。また、本研究の共同研究者として多大なる御配慮と激励をいただいた、栽培科専門研究員の南雲芳文博士、川上修氏、樋口泰浩氏、主任研究員の服部誠博士（現・新潟県農林水産部経営普及課主査）に厚く御礼申し上げる。さらに、現地および所内の圃場試験において作物の栽培管理や各種調査に尽力してくださった、同研究所の多くの技術員および農耕補助員の方々、そして調査・分析において数多くの補助をしていただいた研究補助員の方々に、深く感謝申し上げる。

最後に、大学院の入学を認め、日々の研究活動にいつも協力してくれた妻子に礼を申し上げる。特に妻の藤田綾子には、本研究における調査・分析、および論文作成などで帰宅が深夜になることが多く、家庭の事を顧みることが出来なかった著者のことを理解してくれ、「家の事はいいから、満足いくまでやってきな」と送り出し、励ましてくれたことに、本当に感謝したい。

数多くの方々からの御助力、そして家族からの支えがあったからこそ、本研究を完遂出来たことを改めて申し上げて、末尾の言葉とさせていただく。