

チゼル深耕を核とした 水田多収輪作体系マニュアル

～多収阻害プロの成果を中心に～



令和2年3月

三重県農業研究所

三重県中央農業改良普及センター

本マニュアルについて

三重県の小麦・大豆の単収は全国平均および東海平均に比べ低い水準で推移していることから、農業者の収益性を向上させるためには、単収向上が必要不可欠である。そこで、農林水産省委託プロジェクト研究「多収阻害要因の診断法及び対策技術の開発（平成27年～31年〔令和元年〕）」に参画し、小麦、大豆の収量性を阻害する要因を調査するとともに、収量性を改善するための対策技術の構築に取り組んだ。本マニュアルは、普及指導員、営農指導員、農業者等を対象として、本委託プロジェクト研究で得られた研究成果を中心に取りまとめるとともに、その周辺技術についても、過去の知見や本研究で実施した内容を含め「コラム」として整理した。今後、水田転換畑の小麦、大豆の収量向上に向けて取り組む際の参考資料として活用いただければ幸いである。なお、PDF版のマニュアルについては、三重県農業研究所のホームページ（以下のURL）からダウンロードできる。

www.pref.mie.lg.jp/nougi/hp/77665027163_00016.htm

資料の取り扱いについて

本マニュアルの複製・転載および引用にあたっては、必ず原著者の了承を得たうえで利用してください。

目次

1. 実態調査

(1) 調査の目的	1 ページ
(2) 調査の方法	1 ページ
1) 排水性	
2) 土壌物理性	
3) 土壌化学性	
4) 雑草発生状況	
5) 栽培管理状況	
6) 収量・品質	
(3) 小麦の調査結果	2 ページ
(4) 大豆の調査結果	3 ページ
(5) まとめ	5 ページ
用語解説（土壌物理性）	

2. チゼル深耕を核とした水田多収輪作体系（改善対策）

(1) チゼル深耕体系とは	6 ページ
1) チゼルプラウ	
2) 縦軸駆動ハロー	
3) 小明渠浅耕播種機	
(2) チゼル深耕体系の作業手順と留意点	9 ページ
1) 事前の圃場準備	
2) チゼルプラウによる深耕	
3) チゼルプラウでの深耕が困難な場合の対応	
4) 縦軸駆動ハローによる碎土	
5) 小明渠浅耕播種機による播種	
(3) チゼル深耕体系の実証試験	12 ページ
1) 小麦	
2) 大豆	
3) 水稻	
(4) チゼル深耕体系下での土壌管理技術	21 ページ

- 1) 土壤有機物と可給態窒素の変化
 コラム 1：土壤有機物からみる持続可能な土壤管理
- (5) チゼル深耕体系下における小麦の施肥管理技術 23 ページ
 - 1) チゼル深耕体系下での小麦の生育
 - 2) 施肥の基本
 - 3) 生育指標
 - 4) 生育指標と指標に基づいた施肥
 コラム 2：NDVI を用いた生育診断の可能性
- (6) チゼル深耕体系下における雑草種子の水平・垂直移動 32 ページ

3. 排水性と土壤物理性の診断と対策

- (1) 排水性の診断と対策 34 ページ
 - 1) 水田転換畑の排水性
 - 2) 排水性の診断と対策
 コラム 3：土壤物理性の診断と対策

4. 大豆における雑草・病虫害防除技術

- (1) 新規除草剤（フルチアセットメチル乳剤） 38 ページ
 - 1) フルチアセットメチル乳剤の薬害
 - 2) フルチアセットメチル乳剤を用いた除草体系
- (2) 大豆の吸実性カメムシ類の発生予察と防除技術 40 ページ
 - 1) 吸実性カメムシ類による大豆の被害
 - 2) 吸実性カメムシ類の種類と生態
 - 3) 吸実性カメムシ類の発生予察用トラップと発生消長
 - 4) トラップ捕獲数を利用した発生量と被害の予測
 - 5) 吸実性カメムシ類の防除
 コラム 4：カンキツヒメヨコバイの加害による大豆の黄化および矮化症状
 コラム 5：ミナミアオカメムシの県内分布と越冬可能地域の予測

5. 引用文献 52 ページ

1. 実態調査

(1) 調査の目的

水稲-小麦-大豆の2年3作で輪作されている現地の水田転換畑において、水稲後作の小麦、大豆の収量性を阻害する要因を明らかにし、収量向上に有効な対策技術を構築するために行った。

(2) 調査の方法

調査は同一農家が管理する多収および低収圃場を1圃場ずつ選定し、平成28年産の小麦、大豆では10農家20圃場、29年産では5農家10圃場の計15農家30圃場とした(図1-(2)-1)。調査項目は、以下に示す排水性、土壌物理性、土壌化学性、雑草発生状況、栽培管理状況、収量・品質とし、収量と調査項目間の関係を単相関分析により解析した。



図1-(2)-1. 調査圃場

1) 排水性

圃場中央部における降雨開始から降雨後(以下、降雨時)の作土層の滞水時間および生育期間中の地下水位を調査した。

・ 作土層の滞水時間

圃場表面が滞水する50mm程度のまとまった降雨時に圃場内に事前に掘っておいた直径5-10cm程度、深さ20cm程度の浅い穴(以下、浅層穴)内における地表下10cm位置の滞水時間を測定した(図1-(2)-2)。



図1-(2)-2. 浅層穴内の滞水状況

・ 地下水位が50cm未満となる日数

圃場内に直径5cm程度、深さ1m程度(最低60cm以深)の深い穴(以下、深層穴)を掘り(図1-(2)-3)、小麦では1月下旬から5月下旬までの120日間、大豆では8月上旬から11月上旬までの90日間の地下水位を測定した。

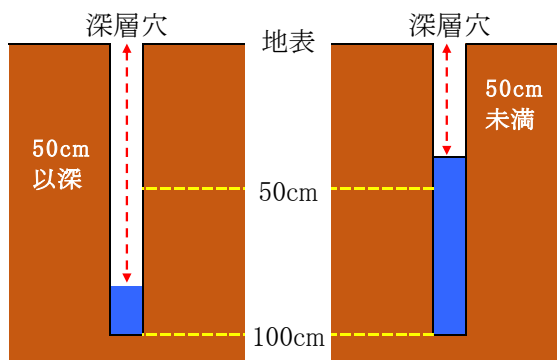


図1-(2)-3. 深層穴内の地下水位の模式図

2) 土壌物理性

圃場中央部における作土層(地表下 5~10cm)の仮比重、孔隙率、気相率 (pF1.5) および作土層以深(地表下 15~20cm)の仮比重、孔隙率、気相率 (pF1.5)、飽和透水係数(透水性)を採土管により測定した。

参考) 土壌物理性の用語解説を P.5 に示した。

3) 土壌化学性

圃場中央部における作土層の pH、EC、CEC(陽イオン交換容量)、CaO、MgO、K₂O、可給態リン酸、可給態窒素、全炭素、全窒素を調査した。可給態窒素の測定は 30℃4 週間の畑培養で実施した。

4) 雑草発生状況

大豆では、成熟期における圃場全体の雑草発生状況を表 1-(2)-1 に示す達観調査基準に基づいて調査した。

表 1-(2)-1. 雑草発生状況の達観調査基準

発生ランク	発生程度
無:0	大豆草冠を超える雑草は見あたらない。面積割合:0%
極微:1	大豆草冠を超える雑草個体が見渡せば見つかる。面積割合<1%
微:2	局所的に雑草が大豆草冠を超える部分がある。面積割合<5%
少:3	大豆草冠を超える雑草の面積割合<10%
中:4	大豆草冠を超える雑草の面積割合<30%
多:5	部分的に雑草が大豆草冠を覆う面積割合<50%
甚:6	草冠を覆う面積:雑草>大豆 面積割合≥50%

5) 栽培管理状況

両作目とも播種日、小麦では合計窒素施肥量、大豆ではカメムシの防除回数、中耕培土回数等の耕種概要をヒヤリングにて調査した。

6) 収量・品質

成熟期に 2~3m² 程度を刈取り、小麦では 2.2mm 篩上の上麦重(水分 12.5%換算)、大豆では 6.1mm 篩上の子実重(水分 15.0%換算)とカメムシ類による吸害を受けた粒の割合(カメムシ吸害粒率)を測定した。

(3) 小麦の調査結果

表 1-(3)-1 に小麦収量と調査項目間の関係を示す。調査の結果、小麦収量と 50mm 程度の降雨時の作土層の滞水時間、生育期間中の地下水水位が 50cm 未満となる日数、作土層および作土層以深の仮比重および孔隙率、作土層以深の気相率と

の間に有意な相関が認められた。有意な相関関係は認められなかったものの、作土層以深の透水性、作土層の CEC、全炭素、全窒素については収量と一定の関係性が確認されたことから、これらの項目についても注視する必要がある。

今回の実態調査において明らかとなった小麦の低収圃場の特徴としては、①降雨時に作土層に長期間滞水が認められること、②生育期間中の地下水位が地表下 50cm 未満に上昇する日数が多いこと、③作土層の仮比重が大きく、孔隙率が小さいこと、④作土層以深の仮比重が大きく、孔隙率と気相率が小さいこと、が挙げられた。このことから、小麦の多収化に向けては上記の収量性を阻害する要因を改善するための対策を講じる必要がある。

表 1-(3)-1. 調査結果(小麦)¹

調査項目		単位	平均値	最大値	最小値	相関係数 ³	
排水性	作土層の滞水時間	(h)	34	76	0	-0.55 **	
	地下水位50cm未満日数	(day)	32	117	0	-0.44 *	
土壌 物理性	作土層	仮比重	-	1.0	1.3	0.8	-0.44 *
		孔隙率	(%)	61.6	69.8	50.8	0.41 *
	作土層 以深	仮比重	-	1.4	1.7	1.2	-0.68 **
		孔隙率	(%)	46.7	54.7	37.1	0.68 **
		気相率	(%)	3.5	10.6	0.0	0.41 *
		飽和透水係数	(cm/s)	1.3×10^{-4}	1.5×10^{-3}	1.3×10^{-7}	0.36
	土壌 化学性	作土層	pH	-	5.9	7.0	5.3
EC			(mS/cm)	0.0	0.1	0.0	-0.04
CEC			(meq/100g)	15.6	22.4	8.6	0.35
CaO			(mg/100g)	212.9	369.9	80.2	0.02
MgO			(mg/100g)	25.5	51.4	8.2	-0.23
K ₂ O			(mg/100g)	34.5	69.9	14.5	0.18
塩基飽和度			(%)	61.8	83.2	32.6	-0.27
可給態リン酸			(mg/100g)	28.6	46.7	8.0	-0.20
可給態窒素			(mg/100g)	5.9	9.3	2.3	-0.16
全炭素			(%)	2.1	3.7	1.3	0.32
全窒素	(%)	0.17	0.26	0.11	0.31		
管理 状況	播種日 ²	-	11.6	13.2	11.1	0.06	
	合計窒素施肥量	(kg/10a)	15.1	20.7	9.8	-0.09	

¹凍霜害、調査の不備により収量データが得られなかった圃場を除外し、収量との相関性を分析した(n=24)。

²11/10播種:11+(10÷30), 12/10播種:12+(10÷31), 1/10播種:13+(10÷31)として数値化した。

³**は1%, *は5%水準で有意な相関関係があることを示す。

(4) 大豆の調査結果

表 1-(4)-1 に大豆収量と調査項目間の関係を示す。調査の結果、大豆収量と50mm 程度の降雨時の作土層の滞水時間、生育期間中の地下水位が 50cm 未満となる日数、作土層以深の透水性、中耕培土回数(狭畦栽培を除く圃場)、カメムシ吸害粒率との間に有意な相関が認められた。有意な相関関係は認められなかつ

たものの、作土層の気相率は収量と一定の関係性が確認されたことから、作土層の土壌物理性にも注視する必要がある。雑草発生状況は、収量との相関は認められなかったものの、雑草が多発している圃場もあり、収穫時の汚損粒、収穫物への雑草種子の混入による品質への影響が懸念されるため、今後、早急に対策が必要になると考えられた。

今回の実態調査で明らかとなった大豆の低収圃場の特徴としては、①降雨時に作土層に長期間滞水が認められること、②生育期間中の地下水位が地表下50cm未滿に上昇する日数が多いこと、③作土層以深の透水性が悪いこと、④カメムシによる吸害粒率が高いこと、⑤中耕培土が必要な栽培体系（狭畦栽培以外の体系）において培土回数が少ないこと、が挙げられた。このことから、大豆の多収化に向けては上記の収量性を阻害する要因を改善するための対策を講じる必要がある。

表 1-(4)-1. 調査結果(大豆)¹

調査項目		単位	平均値	最大値	最小値	相関係数 ³	
排水性	作土層の滞水時間	(h)	25	117	0	-0.44 *	
	地下水位50cm未滿日数	(day)	23	70	0	-0.54 **	
土壌物理性	作土層	仮比重	-	1.0	1.3	0.6	-0.18
		孔隙率	(%)	60.7	76.6	51.0	0.21
		気相率	(%)	19.4	32.0	7.7	0.35
	作土層以深	仮比重	-	1.4	1.7	0.8	-0.25
		孔隙率	(%)	46.7	64.6	37.1	0.22
		気相率	(%)	3.0	9.3	0.0	0.20
		飽和透水係数	(cm/s)	9.8×10^{-5}	1.0×10^{-3}	8.8×10^{-8}	0.38 *
土壌化学性	作土層	pH	-	5.9	6.5	5.0	0.05
		EC	(mS/cm)	0.1	0.1	0.0	0.08
		CEC	(meq/100g)	16.2	36.6	8.6	0.05
		CaO	(mg/100g)	223.4	474.6	85.2	-0.04
		MgO	(mg/100g)	27.1	51.4	8.2	-0.04
		K ₂ O	(mg/100g)	34.3	69.9	14.5	-0.10
		塩基飽和度	(%)	63.1	86.4	31.7	-0.10
		可給態リン酸	(mg/100g)	28.8	46.7	10.3	-0.23
		可給態窒素	(mg/100g)	6.0	9.8	2.3	0.04
		全炭素	(%)	2.2	7.2	1.3	0.02
全窒素	(%)	0.17	0.36	0.11	0.03		
雑草発生状況	発生ランク	(0-6)	1.1	6.0	0.0	-0.24	
管理状況	播種日 ²	(回)	7.6	8.1	6.8	0.03	
	防除回数	(回)	1.2	2.0	0.0	0.24	
	カメムシ吸害粒率	(%)	5.8	24.6	0.1	-0.49 **	
	培土回数(狭畦を除く圃場)	(回)	1.1	2.0	0.0	0.51 **	

¹全調査圃場において収量との相関性を分析した(n=30).

²6/10播種:6+10/30, 7/10播種:7+10/31, 8/10播種:8+10/31として数値化した.

³**は1%, *は5%水準で有意な相関関係があることを示す.

(5) まとめ

2年3作で輪作されている水稲後の小麦、大豆において、排水性、土壌物理性、土壌化学性、雑草発生状況、栽培管理状況を調査した結果、作土層の滞水時間、地下水位、作土層および作土層以深の土壌物理性が小麦、大豆の収量性に及ぼす影響が大きいこと、大豆ではカメムシによる吸害の割合、培土回数の影響が大きいことが明らかとなった。この結果を踏まえ、小麦、大豆の多収化を実現するためには、①降雨時の作土層の滞水時間を減少させること、②地下水位をできる限り下げること、③作土層以深の土壌物理性を改善すること、④大豆ではカメムシ防除、狭畦栽培以外の体系では、中耕培土の基本管理を徹底することが重要であると考えられた。今回の実態調査では収量との関係は明らかにならなかったものの、長期間にわたり安定多収を実現するためには、持続可能な土壌管理技術を構築する必要がある。また、小麦では、古くから「麦は肥料でとる」と言われる通り施肥の重要性も指摘されている。さらに、大豆では難防除雑草（帰化アサガオ類等）の発生が深刻化している圃場も見受けられることから、これらの課題についても合わせて対策を講じていく必要がある。

そこで、小麦、大豆に共通し、収量性を阻害する主な要因となっている「作土層の排水性」、「作土層以深の土壌物理性」の改善技術として、チゼルプラウによる深耕体系を組み立て、その効果を明らかにするとともに、本体系下での土壌有機物の変化および小麦の生育指標に基づく施肥管理技術を紹介する。また、水田転換畑において小麦、大豆の多収化を図るための排水性と土壌物理性の診断方法や個別対策技術を示すとともに、大豆での雑草およびカメムシ防除技術については、プロジェクトで実施した研究内容を中心に対策技術の一例を紹介する。

土壌物理性の用語解説（金子 2010, 松江 2010）

三相分布：

土壌は固体である無機質と有機質の粒子、その隙間を満たす気体および液体から構成される。これら三相（固相、液相、気相）の容積比率を表したもの。

気相率：

気相が占める容積比率を示す。気相率（ $pF1.5$ ）は、降雨等により十分な水が加えられた後、1~2日程度して粗孔隙内の重力水が排除された際の気相率。

孔隙率：

土壌の固相以外（気相率+液相率）の容積比率を表したもの。

仮比重：

単位容積当たりの土壌の固相重量。1.3以上が緻密化した土壌の目安。

飽和透水係数：

土壌孔隙が水で満たされた状態での透水性。

$10^{-5}cm/秒$ 以下が難透水性土壌、 $10^{-3}cm/秒$ 以上が易透水性土壌。

2. チゼル深耕を核とした水田多収輪作体系（改善対策）

(1) チゼル深耕体系とは

チゼル深耕体系では、チゼルプラウを用い、水稻収穫後（小麦作付前）に耕深20cm程度で耕起後、縦軸駆動ハローにより土壌表面を砕土・整地・鎮圧し、小明渠浅耕播種機を用いて畦立播種する機械作業体系である（図 2-(1)-1、図 2-(1)-2）。



図 2-(1)-1. チゼル深耕体系

左:チゼルプラウでの深耕, 中央:縦軸駆動ハローでの砕土, 右:小明渠浅耕播種機での畦立播種

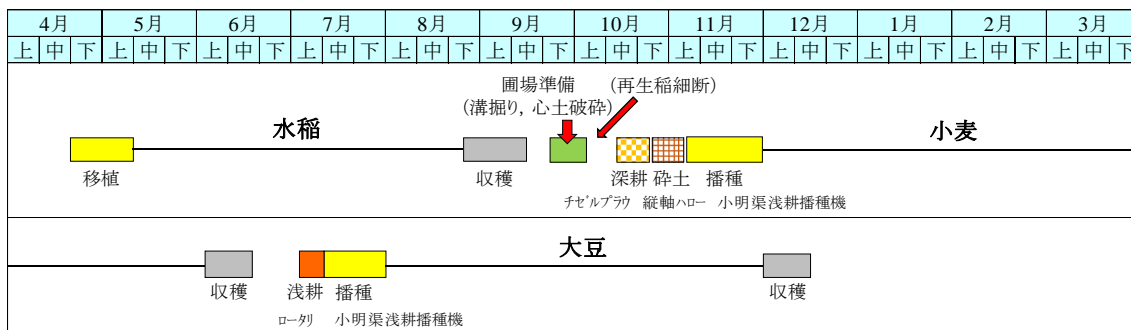


図 2-(1)-2. 2年3作体系下でのチゼル深耕体系における作業体系図

これにより、緻密化した作土層以深の土壌物理性を改善し、作土層を厚くするとともに、余剰水の縦浸透能力を向上させることで降雨時に作土層が長時間滞水する危険性を軽減できる（図 2-(1)-3）。チゼルプラウを耕起作業機として用いた理由としては、ロータリに比べ作業速度が速く、ボトムプラウに比べ作業幅が広いことから高能率な作業を実現できること、耕起後の土塊が粗く、土壌の乾燥が促進されることが挙げられ、経営体の規模拡大が進み、排水不良圃場が多い本県の現状に適合すると考えたからである。

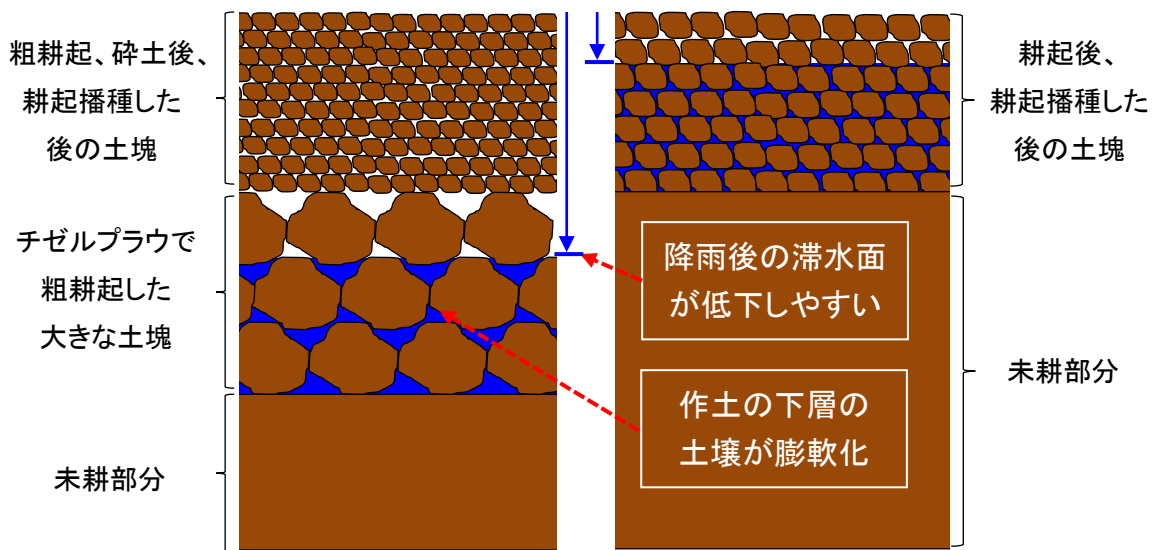


図 2-(1)-3. チゼル深耕体系とロータリ耕体系の降雨後の土壌断面の模式図
左：チゼル深耕体系，右：ロータリ耕体系（慣行体系）

1) チゼルプラウ

i) チゼルプラウとは

30cm 程度の間隔で配置されたチゼル爪を土中に貫入させて牽引することで、粗耕起が可能な作業機である。トラクタへの装着はオートヒッチを介することなく直装を基本とする。耕幅は 1.5m~3.0m 程度であり、チゼル爪の形状や反転ボードの有無により、耕起性能は異なる。機体後方には耕深の設定と大きな土塊を砕く（碎土する）ためのカゴローラを持つものが多い。チゼルプラウの一例を図 2-(1)-4 に示す。



図 2-(1)-4. チゼルプラウの一例

ii) チゼルプラウ耕の特徴とは

チゼル爪をトラクタで牽引しながら耕起するため、ロータリに比べ 2~3 倍程度（4~8km/h 程度）の作業速度で耕起作業が可能である。また、ロータリ耕に比べ耕起後の土塊は粗く、土壌の粗孔隙が大きくなることから、降雨後の圃場乾燥が促進される特徴がある（図 2-(1)-5）。未耕地に比べると地耐力は劣るものの、ロータリ耕起後の圃場に比べると大きな土塊がトラクタのタイヤの荷重を支えること、土壌水分が低下しやすいことから、降雨後の作業開始時期を早めることができる。ボトムプラウに比べると耕起後の土塊の反転性能は小さいものの、反転ボード等の改良により、反転性能を持たせたチゼルプラウもある。

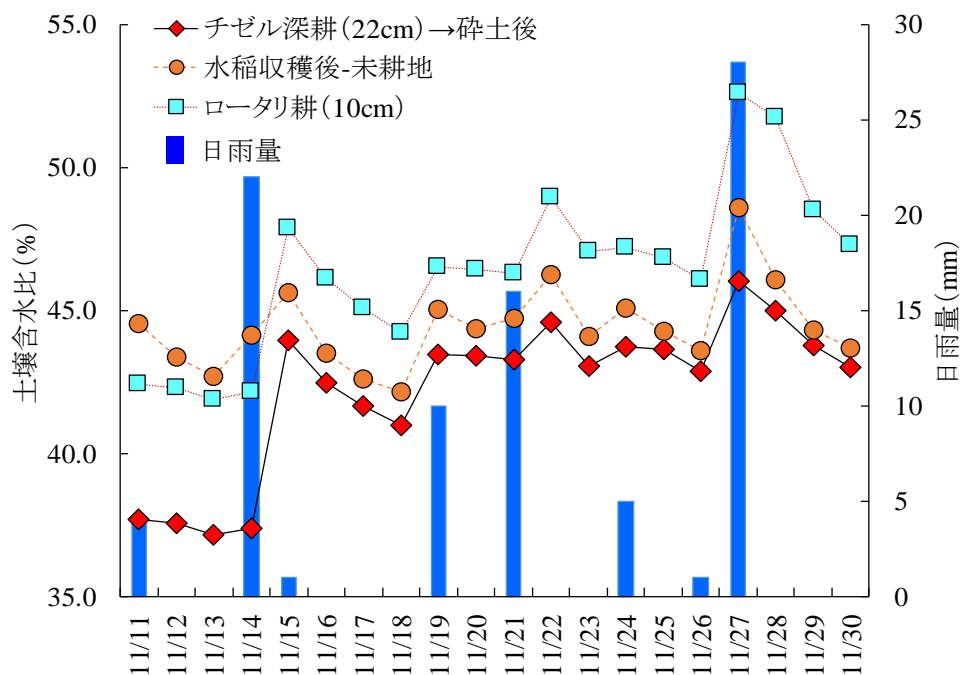


図 2-(1)-5. 耕起方法の違いが耕起後の土壌水分¹に及ぼす影響

¹ 地表下 0-10cm の土壌含水比を示す

2) 縦軸駆動ハロー

i) 縦軸駆動ハローとは

垂直に取り付けられた逆 U 字形の爪を縦軸に沿って回転させることで粗耕起された大きな土塊を碎土するとともに、爪の後方に配置された均平板により整地する。機体の後方には碎土の深さを調節するとともに、鎮圧機能を有するローラを備えている。縦軸駆動ハローの一例を図 2-(1)-6 に示す。



図 2-(1)-6. 縦軸駆動ハローの一例

ii) 縦軸駆動ハローでの碎土の特徴とは

粗耕起後に乾燥して固まった土塊の土壌表面 10cm 程度を縦方向に回転する爪を用いて碎土しながら整地するため、下層の稲株を引き上げるリスクは小さい。また、機体後方のローラで鎮圧することで、播種時の地耐力の確保に有効である。

3) 小明渠浅耕播種機

i) 小明渠浅耕播種機とは

ロータリ、サイドディスク、成形板およびシーダで構成される畦立播種機である。小明渠浅耕播種機の一例を図 2-(1)-7 に示す。小明渠浅耕播種機ではロータリの側方に装着されたサイドディスクで土塊を内側に寄せながら溝を切るとともに、ロータリの爪配列を内盛にすることでロータリ両端の土塊を畦中央部に移動させる。ロータリの斜め後方に装着された成形板により、畦立しながら播種が可能である。

ii) 小明渠浅耕播種の特徴とは

未耕地ではサイドディスクへの負荷が大きくなるため作業は困難である。一般的には事前耕起後の土壌表面を浅く耕起しながら 3～4km/h 程度の作業速度で畦立播種が可能である。小明渠浅耕播種機での小麦播種後の圃場の状況を図 2-(1)-8 に示す。



図 2-(1)-7. 小明渠浅耕播種機の一例



図 2-(1)-8. 播種後の圃場状況

(2) チゼル深耕体系の作業手順と留意点

1) 事前の圃場準備

水稻収穫後、再生稲が大きくなっている場合にはフレールモアによる細断作業を実施後、溝掘り機を用い、額縁明渠を施工する (図 2-(2)-1)。明渠の隅は必ず連結し、落水口にきっちりと接続することで (図 2-(2)-2)、表面水を速やかに排出できるようにする。額縁明渠の施工は、降雨後の余剰水を速やかに圃場外に排出させるため、水稻収穫後、できる限り早い時期に実施することが望ましい。また、サブソイラによる心土破碎が実施できる圃場では額縁明渠の施工後に

明渠から心土破碎を実施する。



図 2-(2)-1. 左:フレールモアでの再生稲の細断、右:溝掘り機での額縁明渠の施工



図 2-(2)-2. 排水口と額縁明渠の接続
注) 図中の矢印は水の流れを示す

2) チゼルプラウによる深耕

チゼルプラウによる深耕は、作土層以深の土壤物理性を改善し、作土層の滞水時間を減少させるだけでなく、水稻収穫後、早い時期に深耕することで、水田土壌を深い層まで乾燥させることができる。前述した圃場準備を実施したうえで、比較的天候が安定する 10 月中を目途にチゼルプラウによる深耕を実施する。耕深は 20cm 程度が望ましいが、長期間にわたり、浅く耕起された圃場では、作土層以深が過度に緻密化し、一度に 20cm の深耕が困難な場合が多い。その際には、無理に深耕しようとはせず、作業能率を落とすことのない耕深に設定し作業する。2 年 3 作輪作体系の中で徐々に耕深を深くしていくことで、礫層が 20cm 未満に出現する圃場を除き、20cm 程度の深耕が可能となる。

3) チゼルプラウでの深耕が困難な場合の対応

チゼルプラウでの深耕が困難な要因は、i) タイヤおよびクローラのスリップ、ii) 安全ボルトが折れる、iii) チゼル爪への再生稲および土塊の滞留、のいずれかであることが多い。

i) タイヤおよびクローラがスリップする場合

圃場が乾くのを待ってから作業をすることが重要であるが、年によっては長雨が続く場合もある。そのことを踏まえ、水稻生育期間中の水管理（中干しの徹底、間断灌水の励行）および収穫後の排水対策を早めから入念に行い、圃場を乾燥させる。圃場が十分に乾いており、耕深の設定が適切であるにも関わらずスリップする場合には、トラクタのけん引力が不足していると考えられる。より大型のトラクタまたはセミクローラトラクタを利用するか、それが難しい場合、耕深を1段階浅く設定し、作業する。圃場条件にも左右されるが、地耐力のある良好な圃場条件下では65ps以上のセミクローラトラクタを用いることで、1.8m程度の作業幅のチゼルプラウでは、20cm程度の深耕が可能となる場合が多い。

ii) 安全ボルトが折れる場合

耕起しようとしている層に大きな礫が存在している場合が多い。耕起作業中に安全ボルトが折れることはあるが、頻繁に折れる場合には効率的に作業が実施できるよう、耕深を1段階ずつ浅く調整し、安全ボルトが折れることのない耕深とする。

iii) チゼル爪へ再生稲および土塊が滞留する場合

土壌水分が高い場合や再生稲が大きくなっている場合が多い。i) 同様に圃場を乾燥させるための対策を講じるとともに、フレールモアによる丁寧な再生稲の細断作業を実施する。それでも改善しない場合、耕深を1段階ずつ浅く設定する。

4) 縦軸駆動ハローによる碎土

チゼルプラウによる深耕により、土壌の乾燥を促進させた後、土壌表面10cm程度を縦軸駆動ハローにより碎土する。碎土の時期は播種作業と競合しないように、10月下旬から11月初旬に実施する。まとまった雨が想定される場合には、粗い土塊の方が粗孔隙量が多く、圃場が乾燥しやすい。このことから、降雨前に碎土作業は実施せず、降雨後の土壌が細かく碎ける土壌水分まで低下してから碎土作業を実施することが望ましい。

5) 小明渠浅耕播種機による播種

碎土率（2cm未満の土塊の重量割合）が概ね70%以上得られるように、播種時の土壌水分と作業速度を見極めて播種する。播種作業時には碎土率が確保されるよう、縦軸駆動ハローで碎土した深さ（約10cm）の土塊を再度、ロータリで耕起しながら播種する。播種時の耕深が深い場合、縦軸駆動ハローで碎土してい

ない大きな土塊を引き上げ、砕土率が低下する可能性があるため注意が必要である。

(3) チゼル深耕体系の実証試験

1) 小麦

29-31年産の小麦において、表2-(3)-1のチゼル深耕体系とロータリ耕体系を表2-(3)-2に示す11圃場で比較した。

表2-(3)-1. チゼル深耕体系およびロータリ耕体系の小麦播種前作業

試験体系	耕起		砕土		播種
	作業機	深さ	作業機	深さ	作業機
チゼル深耕体系	チゼルプラウ	20cm	縦軸駆動ハロー	10cm	小明渠浅耕播種機
ロータリ耕体系	ロータリ	10cm	-	-	小明渠浅耕播種機

両体系とも再生稲の細断作業および額縁明渠の施工作业は耕起前に実施。

i) 実証試験の圃場条件

実証試験圃場の落水口の深さは、畑作目を安定して生産するために必要な30cm（農研機構2020）よりも浅い25cm未満（平均19cm）で、水稻収穫後（小麦前）の作土層以深（地表下15-20cm）の飽和透水係数（透水性）は $10^{-5} \sim 10^{-8}$ と不良、仮比重は1.3~1.5と緻密化している条件であった（表2-(3)-2）。

表2-(3)-2. チゼル深耕体系およびロータリ耕体系の小麦実証試験圃場

試験年度	地域	前作水稻栽培方法	土壌分類 ¹	落水口 ² の深さ (cm)	作土層以深 ³	
					透水性 (cm/s)	仮比重
29年	鈴鹿	移植	細粒質下層黒ボク灰色低地土	16	2.7×10^{-6}	1.3
	津	移植	細粒質水田化粘土集積赤黄色土	23	9.4×10^{-8}	1.4
	松阪	移植	中粒質普通灰色低地土	14	4.3×10^{-6}	1.3
30年	鈴鹿	移植	細粒質普通灰色低地土	24	6.3×10^{-6}	1.4
	津1	移植	細粒質水田化粘土集積赤黄色土	17	9.8×10^{-6}	1.4
	津2	乾直	細粒質水田化粘土集積赤黄色土	18	1.5×10^{-5}	1.4
	松阪	移植	細粒質普通灰色低地土	19	2.7×10^{-5}	1.5
31年 (元年)	鈴鹿	移植	細粒質普通灰色低地土	16	3.3×10^{-5}	1.4
	津1	移植	細粒質水田化粘土集積赤黄色土	22	1.0×10^{-7}	1.4
	津2	乾直	細粒質水田化粘土集積赤黄色土	22	1.7×10^{-6}	1.4
	松阪	移植	細粒質普通灰色低地土	19	2.6×10^{-6}	1.4

¹農研機構 日本土壌インベントリー土壌図の土壌分類名を表示。

²地表面から落水口の底までの深さを示す。

³水稻収穫後（小麦前）に地表下15-20cmから採取し、透水性は飽和透水係数を示す。

ii) 生育と収量

29-31年産小麦の実証試験の収量を図2-(3)-1に示す。試験を実施した11圃場すべてにおいてチゼル深耕体系がロータリ耕体系に比べ増収し、増収効果は平均14%となった。多くの圃場ではチゼル深耕体系により、苗立ち数が高まり、穂数が増加することで増収する傾向があった。また、苗立ち数が同等で穂数が同程度の圃場でも千粒重が増加することで増収した事例もあり、生育期間中もチゼル深耕の効果が持続することで増収したものと考えられた。

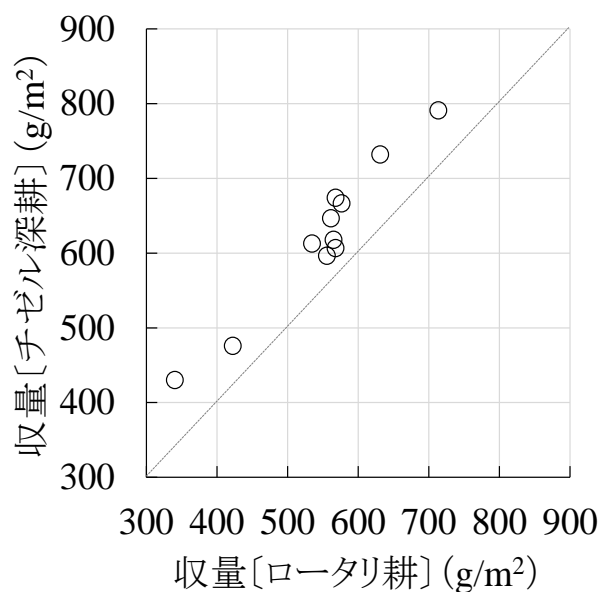


図2-(3)-1. チゼル深耕体系とロータリ耕体系の収量比較

注) 品種:あやひかり, 収量:坪刈収量.

iii) 増収要因について

チゼル深耕体系は、水田転換畑において排水性および土壌物理性等の主要な多収阻害要因を改善することにより、小麦を中心に増収効果が得られる対策技術である。チゼル深耕体系を導入することで改善される内容を以下に示す。

・ 碎土率と土壌水分【播種時】

代かき移植後の水田転換畑では、小麦播種時に土壌水分が低下しにくく、十分な碎土が得られないことが多い。しかし、チゼル深耕体系では、ロータリ耕体系に比べ、播種時の土壌水分は低下し、碎土率が高まりやすい(図2-(3)-2、図2-(3)-3)。このため、播種精度が向上し、苗立ち率が高まることで、穂数の増加につながると考えられた。

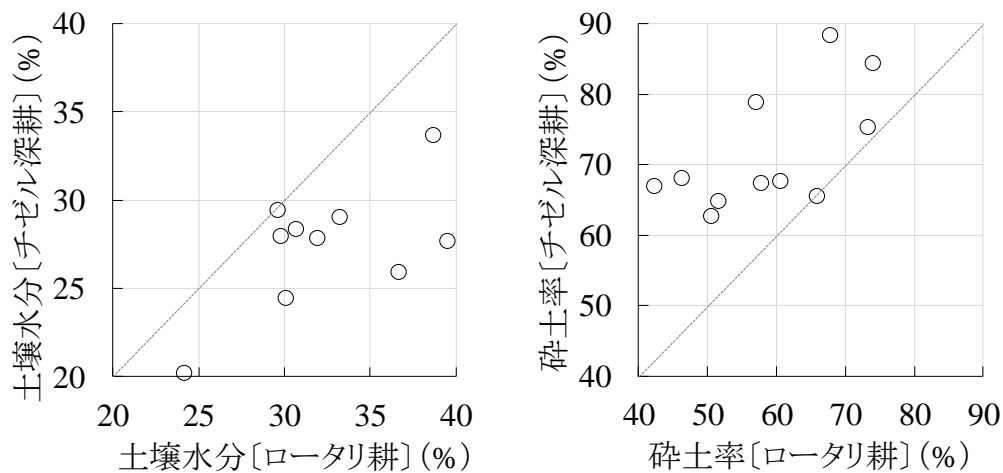


図 2-(3)-2. 播種後の土壤水分および砕土率

注)左:土壤水分(土壤含水比), 右:砕土率 (2cm 未満の土塊の重量割合)



図 2-(3)-3. 播種前の土壤の状況

左:チゼル深耕体系(チゼル深耕→砕土後)、右:ロータリ耕体系(ロータリ耕後)

・ 稲わらの働き込み【初期生育】

チゼルプラウにより深耕することで、ロータリ耕に比べ、前作水稻の残渣である稲わらが土壤中の広範囲に混和される。そのため播種作業時には播種機への稲わらのつまりが軽減される。また、播種時に攪拌される表層の稲わらの割合が少なくなることから、施肥した窒素分が稲わらの分解に奪われる現象(窒素飢餓)が軽減し、小麦の初期生育が旺盛になる(図 2-(3)-4)。

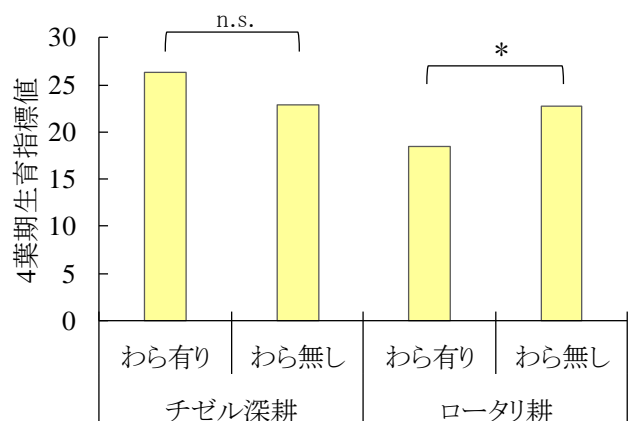


図 2-(3)-4. 耕起法の違いと耕起時の稲わらの有無が小麦の初期生育に与える影響

生育指標値: 草丈(cm) × 茎数(本/m²) × 葉色(SPAD) / 10000

*は 5%水準で有意差あり, n.s.は有意差なし。

・ 土壌物理性・排水性【生育期間中】

チゼル深耕体系ではロータリ耕体系に比べ、小麦生育期間中の作土層以深（地表下 15-20cm）の孔隙率、気相率が高まるとともに、作土層の滞水時間が減少する（図 2-(3)-5、図 2-(3)-6）。このことから、畑作目である小麦の生育期間中における根の環境が改善されることで小麦の生育量が大きくなり、増収すると考えられる。

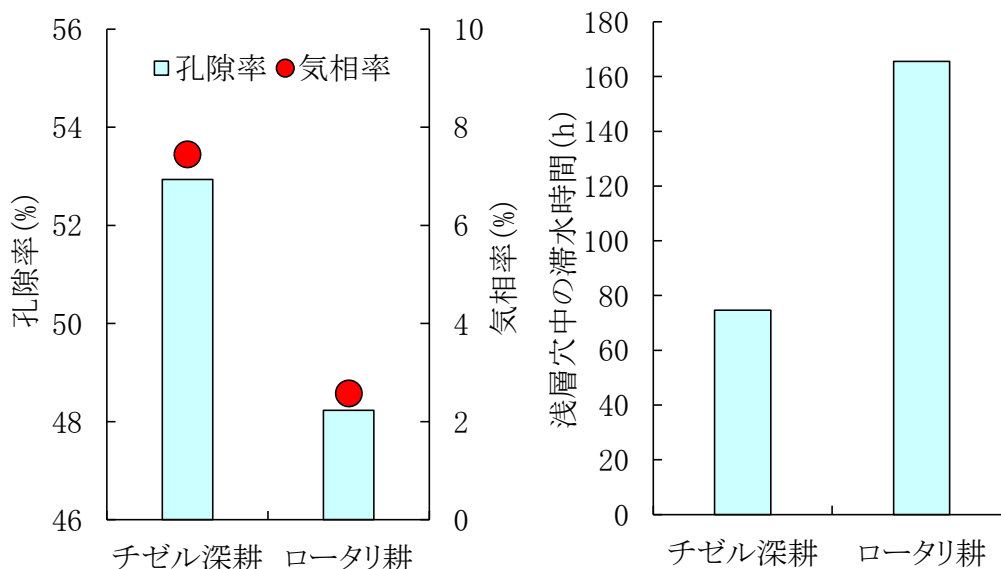


図 2-(3)-5. 生育期間中の土壌物理性および排水性(11 圃場の平均値)
 孔隙率, 気相率(pF1.5)は, 2 月中旬に地表下 15-20cm で採取した採土管により測定.
 浅層穴内の滞水時間は, 12/10-5/31 で地表下 15cm 位置が滞水状態にあった時間.



図 2-(3)-6. チゼル深耕体系とロータリ耕体系の同一圃場内での滞水状況(小麦播種前)
 左: チゼル深耕体系, 右: ロータリ耕体系

・適期作業【播種】

チゼル深耕体系ではロータリ耕体系に比べ、チゼル深耕前に再生稲が伸び、細断作業が必要な場合には作業工程数が 1 工程増加する。ただし、各作業の作業速度はチゼルプラウでの深耕作業が時速 4km、縦軸駆動ハローでの砕土作業が時速 3km と、ロータリ耕作業の時速 2km に比べて高速作業が実現できる。また、チゼル深耕体系ではロータリ耕体系に比べ、耕起後から播種時までの圃場排水性および地耐力を高く維持できることから、深耕および砕土作業を播種適期までに実施しておくことが可能で適期播種が可能となることも有利な点である（図 2-(3)-7）。ただし、深耕および砕土後にまとまった降雨があると作業遅延のリスクが高まるため、水稻収穫後、早い時期から額縁明渠の施工、心土破碎（弾丸暗渠）を実施し、降雨に備え排水対策を徹底することが重要である。

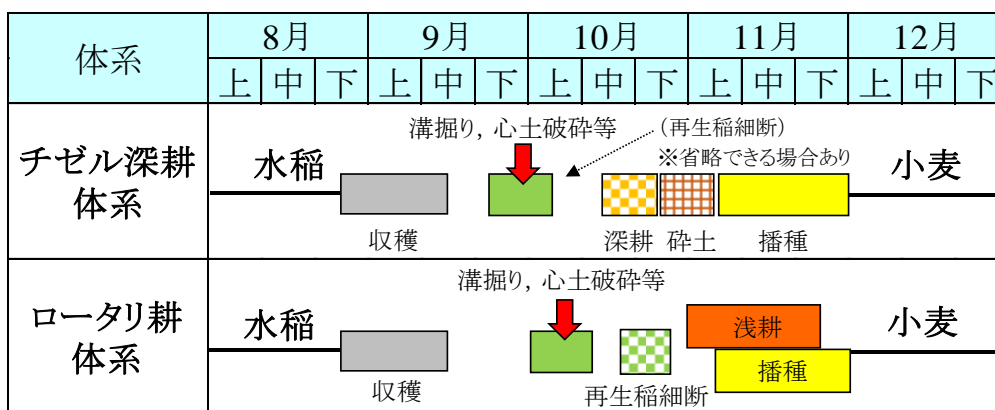


図 2-(3)-7. チゼル深耕体系とロータリ耕体系の作業スケジュール

iv) 効果が得られにくい条件について

3 地域 11 圃場の水口側、中央、水尻側の 3 地点から得られたチゼル深耕体系とロータリ耕体系の 33 対の 29-31 年産小麦収量データを図 2-(3)-8 に示す。チゼル深耕体系では 32 地点で増収したものの、1 地点でやや減収した。減収した圃場では作土層以深に肥料成分の乏しい重粘土壤が認められた。31 年産小麦においても 20cm 以上の深耕により、下層から重粘土壤を引き上げた圃場では、チゼル深耕後に土塊が乾くと砕土が得られにくくなり、播種精度が低下する事例も確認されている。このため、作土層以深に重粘土壤が存在する場合には、一度に耕深を深くしようとはせず、耕深を一段階浅く設定し、輪作体系の中で徐々に耕深を深くする方が望ましい。

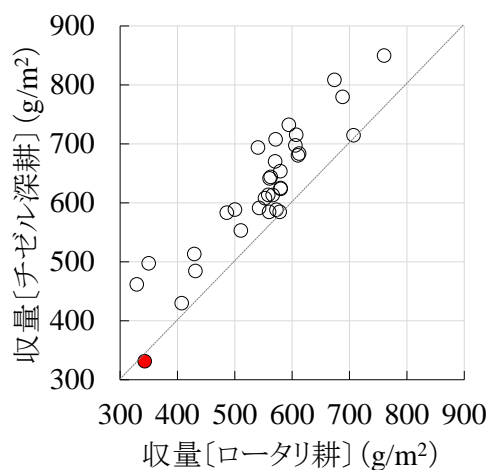


図 2-(3)-8. 両体系間の収量比較
赤丸:チゼル深耕体系で減収した地点

2) 大豆

小麦後に大豆を作付する場合、播種時期が梅雨と重なり、作業可能日数が限られること、小麦前のチゼル深耕の効果が大豆収穫時まで持続することから(図 2-(3)-9)、大豆では額縁明渠を再施工後、ロータリで浅く耕起(耕深:10cm程度)し、小明渠浅耕播種機で畦立播種するチゼル深耕体系をとっている。本体系では、大豆播種前の作土層の土壤水分は、ロータリ耕体系よりも低下する傾向にある(表 2-(3)-3)。また、大豆生育期間中の作土層以深(地表下 15-20cm)の孔隙率、気相率が高まり、作土層の滞水時間も減少する(図 2-(3)-10)。その結果、大豆では平均 13%増収するものの、天候の影響を強く受け、年次間のばらつきは小麦に比べて大きかった(図 2-(3)-11)。

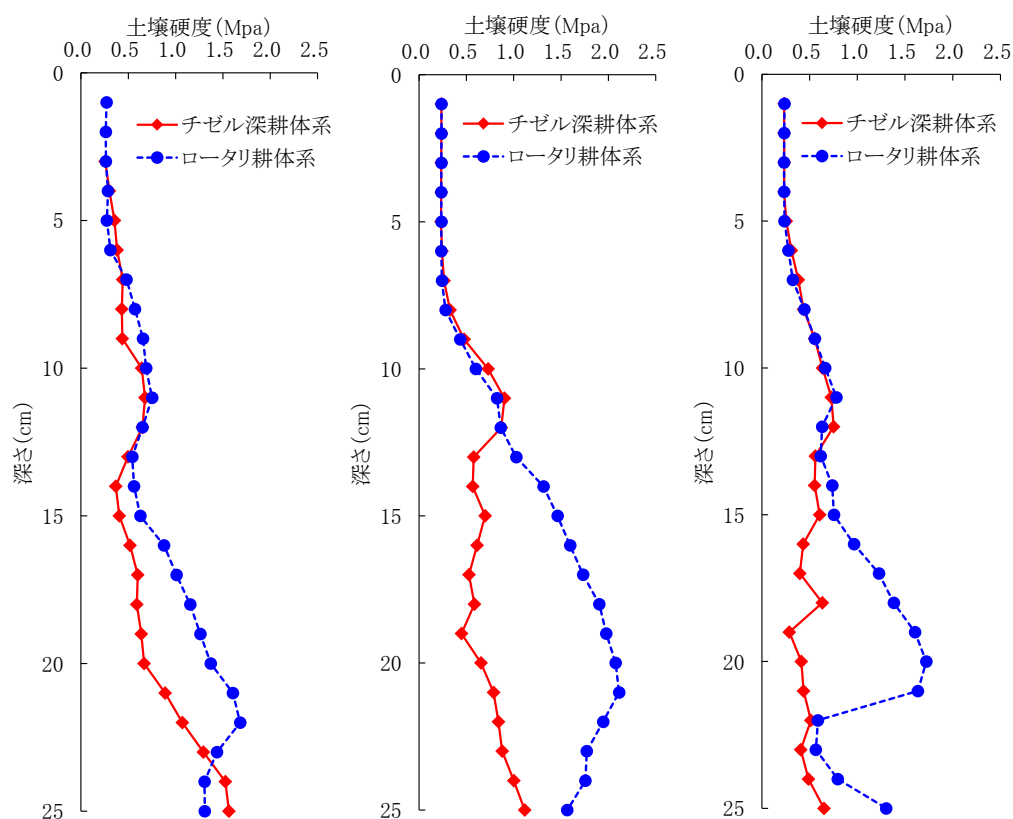


図 2-(3)-9. チゼル深耕体系が大豆収穫時の土壤硬度に及ぼす影響
30年産大豆, 左:鈴鹿, 中央:津, 右:松阪

表 2-(3)-3.大豆播種前における降雨後の土壤水分の推移(30年産大豆)

地域	耕起体系	直前降雨		土壤含水比 ¹			
		降雨日 (月日)	降水量 (mm)	7月10日 (%)	7月11日 (%)	7月12日 (%)	7月13日 (%)
鈴鹿	チゼル深耕	7月7日	49	35.2	32.3	28.8	25.3
	ロータリ耕			37.0	32.4	28.0	25.3
津	チゼル深耕	7月7-9日	36	40.7	39.3	32.2	29.1
	ロータリ耕			43.5	41.8	35.3	30.6
松阪	チゼル深耕	7月7-9日	118	37.8	35.1	32.3	29.8
	ロータリ耕			47.7	42.6	38.0	34.0

¹地表下0~10cmで採取。大豆播種は7月中旬。

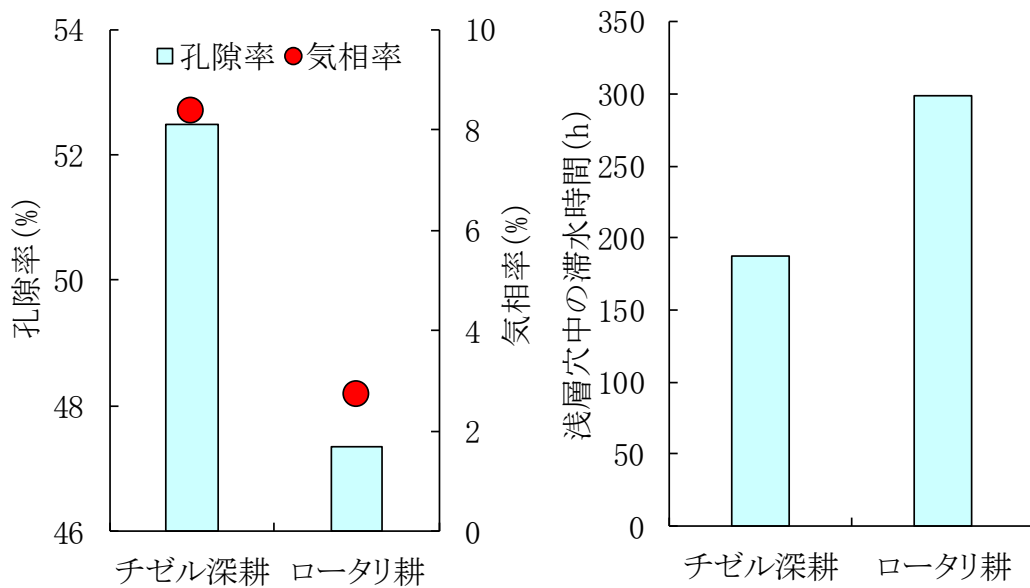


図 2-(3)-10. 生育期間中の土壌物理性および排水性(9 圃場の平均値)

29 年産大豆(鈴鹿、津、松阪)、30 年産および 31 年産(元年産)大豆(鈴鹿、津 1、松阪)の計 9 圃場
 孔隙率, 気相率(pF1.5)は, 8 月上旬に地表下 15-20cm で採取した採土管により測定.
 浅層穴内の滞水時間は, 8/5-11/15 で地表下 15cm 位置が滞水状態にあった時間.

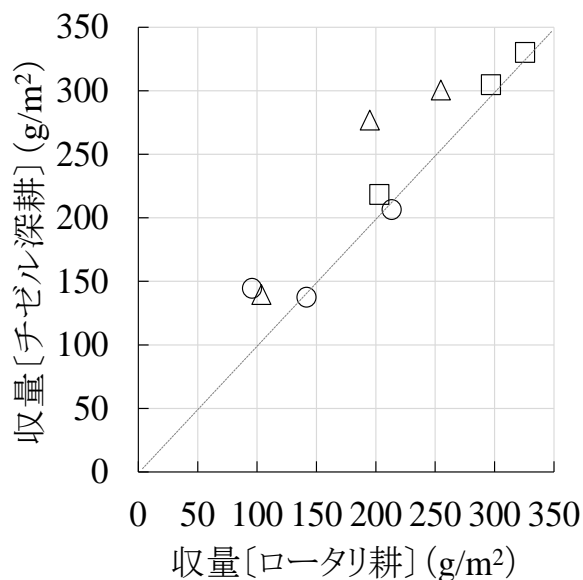


図 2-(3)-11. チゼル深耕体系とロータリ耕体系が大豆収量に及ぼす影響(9 圃場)

注) 品種:フクユタカ、収量:坪刈収量、大豆作では、両区ともロータリ耕(耕深:10cm)。

29 年産大豆(鈴鹿、津、松阪)、30 年産および 31 年産(元年産)大豆(鈴鹿、津 1、松阪)の計 9 圃場
 □:2017 年産、○:2018 年産、△:2019 年産

3) 水稻

チゼル深耕体系の導入が大豆後作の移植水稻の作業性、栽培期間中の減水深、収量・品質に及ぼす影響を以下に示す。

i) 移植時の作業性

大豆収穫後、ロータリを用いて耕深 10cm で 3 回耕起し、代かき後に水稻を移植する際の作土層以深の土壤物理性の改善効果は水稻移植時の土壤硬度からみると持続している (図 2-(3)-12)。そのため、田植え機での移植時には車輪が 3cm 程度深く沈みこむ。そのため、スリップ率が 3%程度高まり、作業速度がわずかに低下するが (図 2-(3)-13)、欠株率等の植付け精度への影響は認められない。移植作業を実施したオペレータの感想としては、チゼル深耕体系とロータリ耕体系を比較すると、前者の方が移植作業時の田植え機の揺れや傾きは大きいものの、作業は十分可能とのことであった。

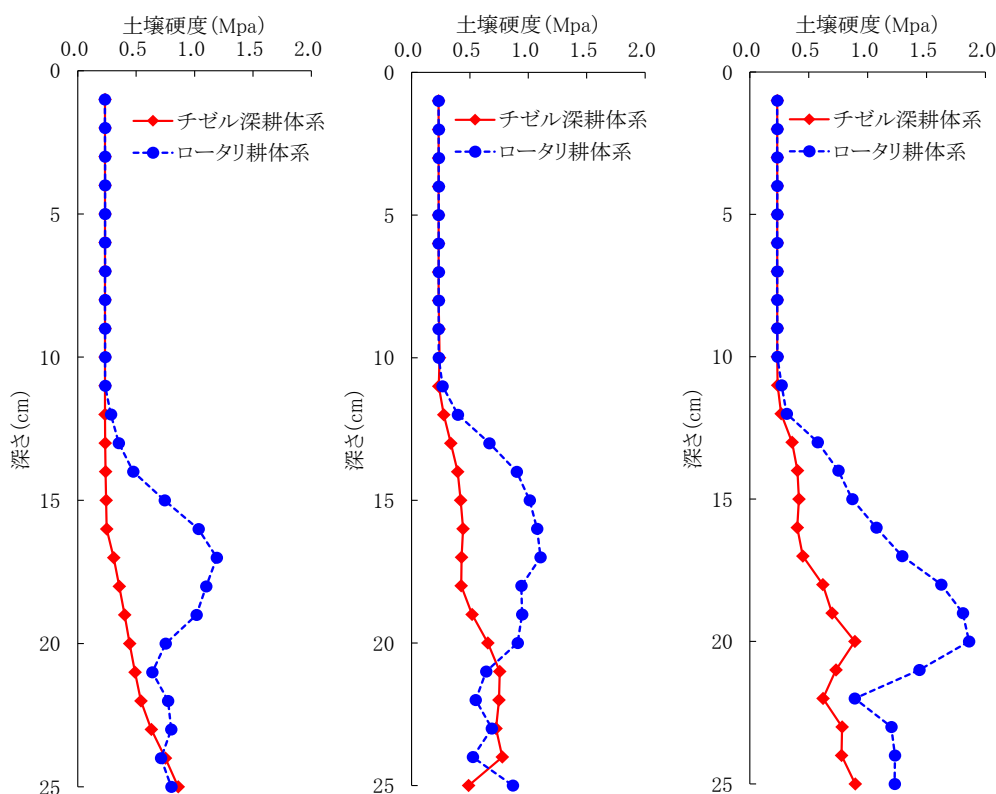


図 2-(3)-12. チゼル深耕体系が大豆栽培後の
水稻移植時における土壤硬度に及ぼす影響
30 年産水稻, 左: 鈴鹿, 中央: 津, 右: 松阪

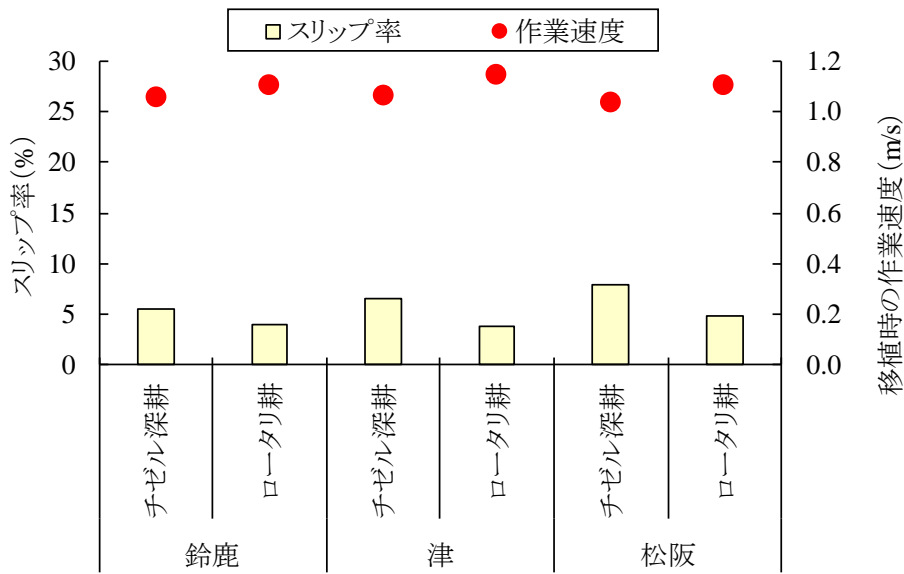


図 2-(3)-13. チゼル深耕体系が小麦、大豆栽培後の代かき移植水稻の作業性に及ぼす影響

ii) 生育期間中の減水深

水稻栽培期間中の減水深はチゼル深耕体系とロータリ耕体系においてほとんど差はなく（図 2-(3)-14）、代かき移植栽培における水管理はチゼル深耕体系下においても慣行と同等で問題ないと考えられた。

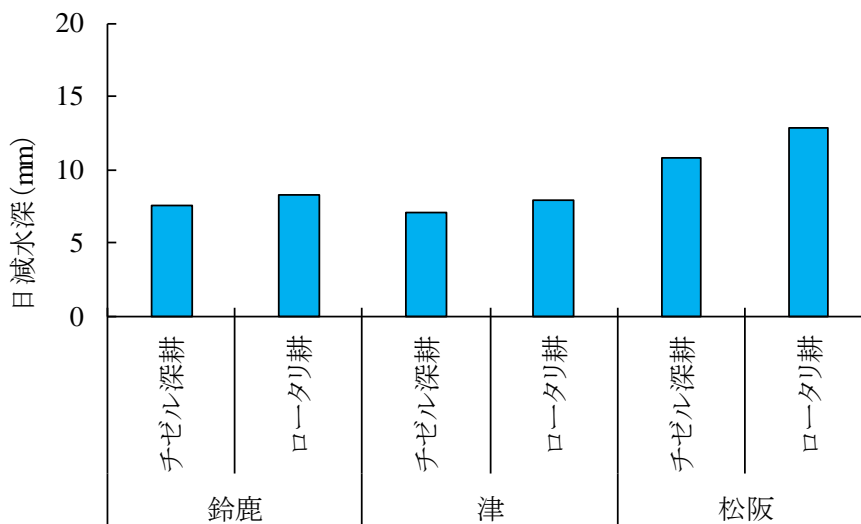


図 2-(3)-14. チゼル深耕体系が代かき移植水稻の減水深に及ぼす影響
直径 30cm の塩ビ管を未耕部分に打ち込み塩ビ管内の日減水深を測定

iii) 収量および品質

チゼル深耕体系の導入が水稻の収量、品質に及ぼす影響は 30 年産水稻の試験結果からは認められなかった。

(4) チゼル深耕体系下での土壌管理技術

1) 土壌有機物と可給態窒素の変化

広く普及しているロータリによる耕深は10～15cm程度であるが、チゼル深耕体系ではチゼルプラウにより、耕深20cm程度で耕起する。そこで耕起層が拡大することによる土壌有機物等への影響を明らかにするため、前述した(3)チゼル深耕体系の実証試験の圃場において、土壌中の可給態窒素、全炭素に着目し、栽培前後の変化を2年3作体系下で検証した。なお、チゼル深耕体系とは小麦前にチゼルプラウで深耕(耕深:20cm程度)し、縦軸駆動ハローで砕土後、小麦を播種し、大豆前はロータリで耕起(耕深:10cm程度)して、大豆を播種する体系とし、ロータリ耕体系は小麦、大豆前ともロータリで耕起(耕深:10cm程度)後、播種する体系とする。

試験結果からは、耕起体系の違いが可給態窒素および全炭素に及ぼす影響は認められなかった(表2-(4)-1)。したがって、チゼル深耕体系下での有機物施用等による土づくりはロータリ耕体系に準じた管理で良いと考えられる。ただし、本結果は2年3作体系下での短期間の試験によるものでありpHや塩基類なども含め、定期的に土壌診断を実施し判断していく必要がある。

表2-(4)-1. 耕起体系の違いが可給態窒素および全炭素に及ぼす影響¹

値: 平均±標準偏差

平成29～30年 (小麦→大豆→水稲)		H29年産小麦播種前		変化量			
				H29年産大豆後 -H29年産小麦播種前		H30年産水稲後 -H29年産小麦播種前	
試験場所	耕起体系	可給態窒素 ² (mg/100g)	全炭素 (%dw)	可給態窒素 ² (mg/100g)	全炭素 (%dw)	可給態窒素 ² (mg/100g)	全炭素 (%dw)
鈴鹿	チゼル深耕	5.23 ± 0.38	2.02 ± 0.28	-0.09 ± 0.82	0.92 ± 0.20	-0.43 ± 1.88	0.94 ± 0.06
	ロータリ耕	4.85 ± 1.40	1.96 ± 0.12	-0.12 ± 1.30	0.68 ± 0.21	0.24 ± 1.47	0.78 ± 0.24
津	チゼル深耕	3.13 ± 0.40	1.46 ± 0.07	-0.25 ± 0.80	0.13 ± 0.05	-0.38 ± 0.76	-0.03 ± 0.09
	ロータリ耕	3.22 ± 0.36	1.43 ± 0.03	0.20 ± 0.55	0.23 ± 0.02	0.10 ± 0.58	0.10 ± 0.13
松阪	チゼル深耕	4.87 ± 0.93	1.40 ± 0.30	0.00 ± 0.83	0.81 ± 0.36	-0.28 ± 1.27	0.81 ± 0.33
	ロータリ耕	5.27 ± 0.38	1.14 ± 0.01	-0.39 ± 0.62	0.98 ± 0.08	-0.33 ± 1.00	0.93 ± 0.12
分散 ³ 分析	耕起方法間	—	—	n.s	n.s	n.s	n.s

¹土壌採取は表層下0-15cm(a)と15-20cm(b)で行い、その値を加重平均して0-25cm間の値とした(a×15+b×10)/25.

チゼル深耕の耕深が20cmでも耕起後の作土層は盛り上がり、25cm程度となるため上のように換算.

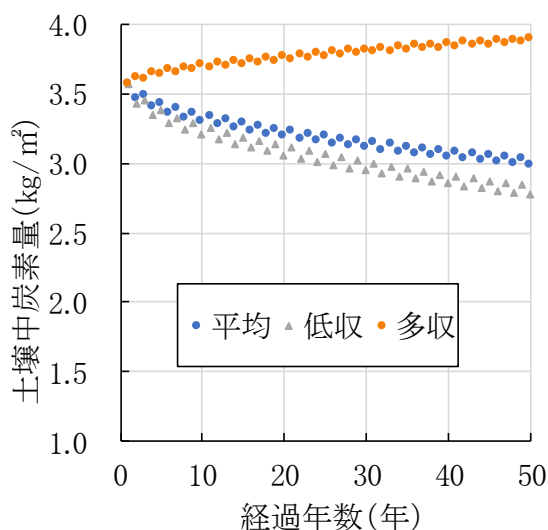
²4週30℃畑培養の結果.

³分散分析の結果, n.s:有意差無し *:5%水準で有意差有り **:1%水準で有意差有り(n=3).

コラム1：土壤有機物からみる持続可能な土壤管理

土壤中の有機物は窒素をはじめとする養分の補給につながるほか、生物性や物理性の改善にもつながる。これらの有機物は土壤生物がもとなるもののほか堆肥施用など人為的に施用されるものもある。さらに稲わらなど収穫後の作物残渣も土壤にとって重要な有機物資源と考えられる。作物残渣の量（以下、残渣量）は収量と相関があり、収量が低いと土にすき込まれる残渣量も少なくなる。このことは、収量の高低が土壤状態にも影響することを意味している。そこで、土壤中の有機物量と関連性がある土壤中の炭素に着目し、作物収量すなわち残渣量の多少により土壤中の炭素がどのように変化するか、長期シミュレーションを行った（図 2-(4)-1）。シミュレーションは改良 Roth-C モデル（Shirato&Yokozawa, 2005）を用いた。

収量が低いと土壤に還元される残渣量も少なく、土壤中の炭素量すなわち有機物量が低下していく結果となった。本シミュレーションからは、作物残渣も重要な有機物資源であり、低収状態が続くことは土壤の持続的な管理面からも問題があると推察される。肥沃な土壤が作物を良好に育てるとともに、良好に作物が育つことで土壤が維持されていると考えられる。



	28年産	27年産	26年産	19-28年産平均
水稲	522	490	491	500
小麦	246	267	345	261
大豆	95	77	88	110

※農林水産省作物統計より

シミュレーションに使用したパラメータ

水稲は全て収量500kg/10a (735kg/10a)

平均:小麦260 (403), 大豆110 (222)

多収:小麦540 (972), 大豆250 (505)

低収:小麦180 (324), 大豆 90 (182)

残渣量: ()内の数字とし、全量すき込みとする。

気象条件: 津地方気象台測定の前年値を使用。

図 2-(4)-1. 2年3作体系下における土壤中炭素の動態シミュレーション

(5) チゼル深耕体系下における小麦の施肥管理技術

1) チゼル深耕体系下での小麦の生育

実証試験で認められているように、チゼル深耕体系では、従来のロータリ耕体系と比べて、苗立ち率が高まり、穂数が増加することで増収する傾向がある。また、苗立ち数が同等で穂数が同程度の圃場でも千粒重が増加することで増収した事例もある (P. 13 参照)。

多くの場合、チゼル深耕体系下では初期生育が旺盛となり、生育期間中もその傾向が持続することから、施肥管理にあたっては多収、高品質と並び倒伏にも注意する必要がある。

そこで、(5) ではチゼル深耕体系下における小麦の施肥管理技術について整理した。

2) 施肥の基本

県内の麦作は水稻作付後の水田転換畑を利用した秋播きが一般的である。秋播き麦は、夏作物である水稻と比べて生育期間が長く、冬の低温期には生育が停滞する。そこで、多収を得るためには、生育期間を通じて肥効を維持することが求められる。したがって、麦作では分肥が一般的であり、窒素成分を主体とした追肥が奨励されてきた。

追肥の時期は、幼穂の分化程度と関連付けられて検討されており、一穂あたり粒数が確保される幼穂分化後の小穂分化中期〔Ⅶ後期〕～穎花分化後期〔Ⅹ期〕(幼穂長 1～6 mm) に行われるのが一般的となっている (佐藤 2001、図 2-(5)-1)。

県内の水田転換畑における窒素追肥の適正な時期や回数については、品種「農林 61 号」を用い、収量、品質、倒伏等を念頭に置いて検討されてきた (北野ら 1997)。

播種時に基肥を施用した上で、幼穂形成始期にあたる 6 葉期頃 (主茎葉数 5～6.5 : 小穂分化中期〔Ⅶ後期〕頃) に 1 回目の追肥を施用することが穂数の確保や一穂粒数の増加による増収効果が高いとされている。合わせて、2 回目の追肥を止葉抽出始期に行うことで外観品質を低下させることなく原麦粗タンパク質含有率 (以下、タンパク質含有率) を一定の基準に保つことできる。このことから、幼穂形成始期と止葉抽出始期の 2 回の追肥が基本とされている。現在、県内に広く普及している普通小麦品種「あやひかり」では、「農林 61 号」と同様の追肥体系が推奨されている。一方、パン、中華麺用の硬質小麦「ニシノカオリ」や「タマイズミ R」は、より高いタンパク質含有率が求められる。そのため、止葉



図 2-(5)-1. 追肥時期の幼穂

抽出始期までの施肥は普通小麦品種と同様に行い、加えて、開花始めに3回目の追肥を行う（図2-(5)-2）。表2-(5)-1に県内で普及している普通小麦品種「あやひかり」および硬質小麦品種「ニシノカオリ」の施肥窒素量の目安を示す。

後述するチゼル深耕体系下での生育指標については、表2-(5)-1を基本として、窒素施肥量を増減させることで、様々な生育量の小麦を作出し、生育量と収量の関係を整理することで作成した。



図2-(5)-2. 追肥に関連する各生育ステージ(例:ニシノカオリ)

表2-(5)-1. 「あやひかり」および「ニシノカオリ」の一般的な施肥窒素量

品種	窒素追肥量(kg/10a)			
	基肥 (播種時)	1回目 (幼穂形成期)	2回目 (止葉抽出始期)	3回目 (開花始め)
あやひかり(普通小麦)	7	3	3	0
ニシノカオリ(硬質小麦)	7	3	3	4

注) 基肥と1回目の追肥の間(3~4葉期)に「つなぎ肥」を2kg/10a程度施用する場合がある。

3) 生育指標

i) 生育指標とは

前述のとおり、小麦栽培では分施や緩効性肥料を用いて肥効を持続させ植物体の窒素栄養状態を高く維持することが収量、品質を確保する上で重要である。図2-(5)-3に示すように、小麦の収量と窒素吸収量は相関が高く、窒素吸収量を高めることで収量は増加する。しかし、やがては倒伏が認められ収量は頭打ちとなる。倒伏

はコンバインによる収穫作業を阻害する要因となるため、生産現場では中程度の倒伏が認められる点(6段階評価の3)が実際の最大収量となる。倒伏を防ぎ、目標とする収量や品質を確保するためには各生育ステージで適正とされる窒素吸収量を把握するとともに、必要に応じて施肥量を加減し生育を制御することが必要である。図2-(5)-4に示すように、各生育ステージにおける小麦の地上部窒素吸収量は、「草丈」「茎数」「葉色」の積値(以下、生育指標値〔草丈(cm)×茎数(本/m²)×葉色(SPAD値)÷10000])との相関が高く、これらを調査することで、調査時点の窒素吸収量を知ることができる。各生育ステージにおける調査値と成熟期の収量や倒伏の関係から適正な生育の目安を設定することができ、それを「生育指標」と呼んでいる。全国で水稲や麦で多くの生育指標が作成され活用されている。

三重県においても過去に水稲品種「コシヒカリ」や小麦品種「農林61号」「タマイズミR」で生育指標が作成されている。

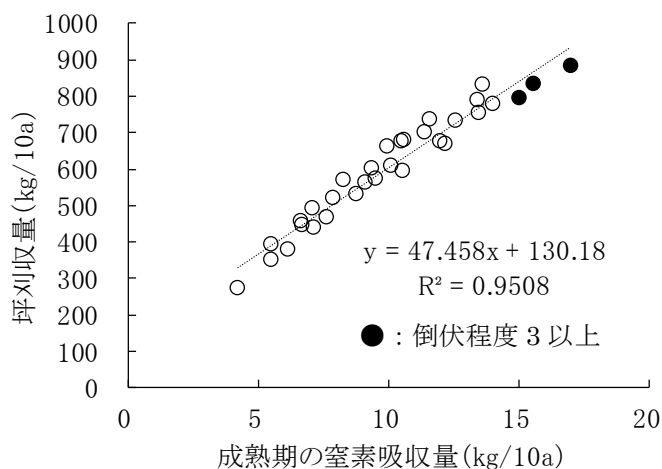


図2-(5)-3. 成熟期の窒素吸収量と収量の関係
注)あやひかり, 28-30年産, 農業研究所内(松阪市)

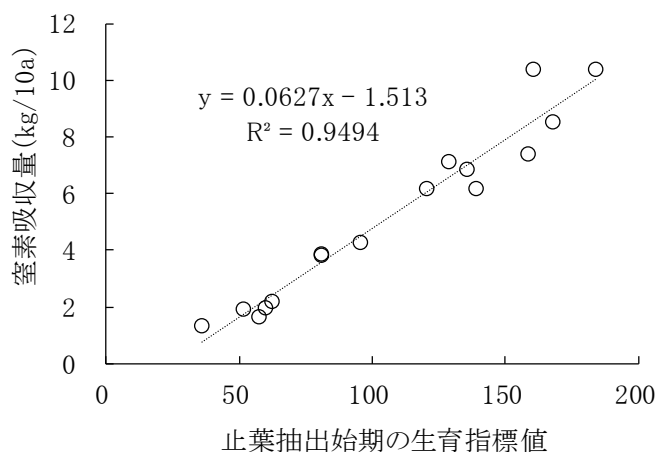


図2-(5)-4. 止葉抽出始期の生育指標値と
同時期の窒素吸収量の関係
注)あやひかり, 28-29年産, 農業研究所内(松阪市)

ii) 生育指標値の算出に必要な項目の調査方法

①調査時期（例：止葉抽出始期）

- 止葉が1～3割程度抽出した時が止葉抽出始期である（図2-(5)-5）。
- 止葉抽出始期の草丈は40～50cmである。



図2-(5)-5. 止葉抽出始期
左：止葉の抽出状況、右：幼穂の大きさ

②草丈の測り方（図2-(5)-6）

- 畦際や枕地を除く生育中庸な条で計測する。
- 草丈は地際から葉先までの長さを10cm程度の間隔（条播の場合）で10株測り、その平均値を用いる。



図2-(5)-6. 草丈の測り方

③茎数の測り方

- 畦際や枕地を除く生育中庸な条で計測する。
- 1条1m間の茎数（長短に関わらず全ての茎数）を数える。
- 下記の式を用いてm²あたり茎数を計算する。
- m²あたり茎数（本/m²）＝計測茎数（本/m）÷条間（m）

④葉色（SPAD）の測り方（図2-(5)-7）

- 葉緑素計（SPAD-502plus：コニカミノルタジャパン株式会社）を用いて計測する。
- 主茎の止葉の2枚前の葉の中ほど（中肋を除き）を測定する。
- 10株測定して平均を求める。



図2-(5)-7. 葉色の測り方

4) 生育指標と指標に基づいた施肥

i) あやひかり

農業研究所内の水田転換畑（灰色低地土）で行った「あやひかり」のチゼル深耕体系下での試験結果から、収量と成熟期の窒素吸収量、止葉抽出始期の生育指標値と同時期の窒素吸収量、止葉抽出始期の窒素吸収量と成熟期の窒素吸収量の高い正の相関関係が認められた（図 2-(5)-3、図 2-(5)-4）。

そこで、止葉抽出始期の生育指標値〔草丈 (cm) × 茎数 (本/m²) × 葉色 (SPAD 値) / 10,000〕と収量との関係を整理すると高い正の相関関係が認められた（図 2-

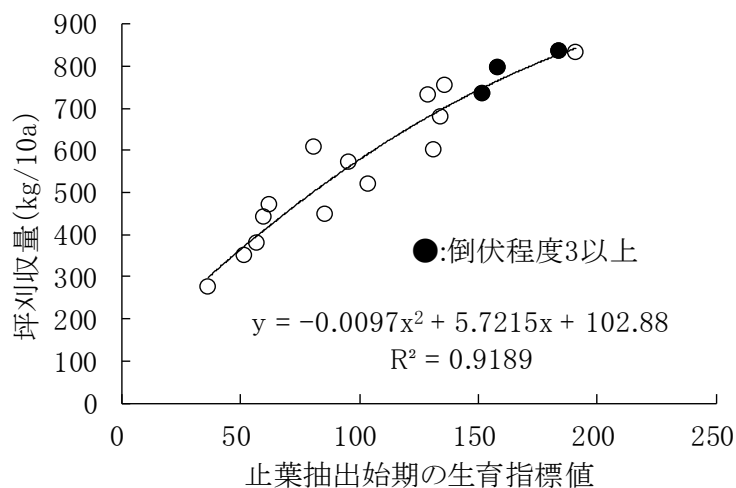


図 2-(5)-8. 止葉抽出始期における生育指標値と収量の関係

(5)-8)。このことから、止葉抽出始期に生育指標値を求めることで、窒素吸収量を測定することなく、一定の精度で収量の予測ができると考えられた。

普及指導機関や研究所等で調査される坪刈収量とコンバイン収量（以下、実収）の間には隔たりがあり、実収 500kg/10a を確保するためには、坪刈収量で 600kg/10a 程度必要となる。図 2-(5)-8 より生育指標値が大きくなるにつれ成熟期の収量は増加し、600kg/10a を達成するのは、止葉抽出始期の生育指標値が 106 を超えたあたりである。生育指標値 106 付近の草丈、茎数、葉色のおよその値は、草丈 44~47cm、茎数 570~600 本/m²、葉色 (SPAD 値) 40 であった。

また、生育指標値が 150 を超えるあたりから、生育過剰により中程度「3」以上の倒伏が認められる。生育指標値 150 付近の草丈、茎数、葉色のおよその値は、草丈 52cm、茎数 600 本/m²、葉色 (SPAD 値) 45 であった。

これらのことから、チゼル深耕体系下の「あやひかり」を倒伏させずに実収 500kg/10a 以上を得るための止葉抽出始期の生育指標値は表 2-(5)-2 の通り、106~150（草丈：44~52cm、茎数：570~600 本/m²、葉色 (SPAD 値)：40~45）と考えられた。止葉抽出始期に生育指標値が 106 および 150 となる生育状況を図 2-(5)-9 に示す。

表 2-(5)-2. 実収 500kg/10a 以上を得るための止葉抽出始期の生育指標値(あやひかり)

生育 指標値	各調査項目の目安値		
	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	葉色 (SPAD値)
106～150	44～52	570～600	40～45

注) 止葉抽出始期に窒素 3kg/10aの追肥を行う場合.



図 2-(5)-9. 実収 500kg/10a 以上が得られる止葉抽出始期の生育

仮に止葉抽出始期の生育指標値が 150 を超えた場合でも、同時期の窒素追肥量を標準の 3kg/10a から控えることにより、倒伏を軽減できると考えられた (図 2-(5)-10)。

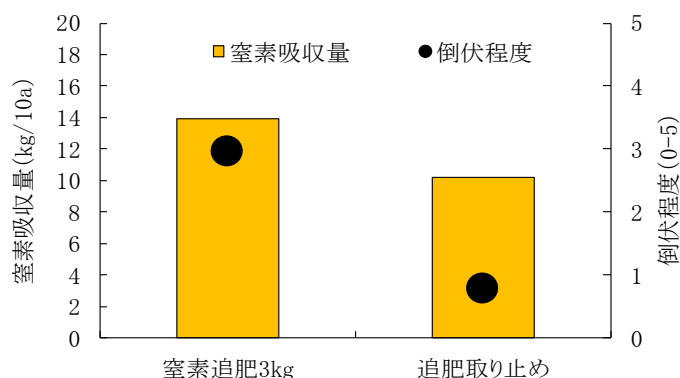


図 2-(5)-10. 生育指標値が大きい(150 以上)の場合の止葉抽出始期の減肥の効果

ii) ニシノカオリ

農業研究所内の水田転換畑 (灰色低地土) で行ったチゼル深耕体系下での試験結果では、前述の「あやひかり」と同様に止葉抽出始期の生育指標値と収量との間には正の相関関係が認められた (図 2-(5)-11)。

「ニシノカオリ」は「あやひかり」と比べて耐倒伏性に劣り坪刈収量が 600kg/10a に達する前に倒伏が認められる。そこで安定的に収量品質を確保する観点から、目標収量を「あやひかり」からやや減じて実収で 420 kg/10a (坪刈収量 500 kg/10a) とした。

この目標収量を達成するのは、図 2-(5)-11 から生育指標値が 150 を超えたあたりである。生育指標値が 150 付近の草丈、茎数、葉色のおよその値は、草丈 48～52cm、茎数 650～700 本/m²、葉色 (SPAD 値) 41～45 であった。

また、生育指標値が 170 を超えるあたりから、生育過剰により中程度「3」以上の倒伏が認められる。生育指標値が 170 付近の草丈、茎数、葉色のおよその値は、草丈 55cm、茎数 720 本/m²、葉色 (SPAD 値) 43 であった。

このことから、チゼル深耕体系下の「ニシノカオリ」を倒伏させずに実収 420kg/10a 以上を得るための止葉抽出始期の生育指標値は表 2-(5)-3 の通り、150～170 (草丈：48～55cm、茎数：650～720 本/m²、葉色 (SPAD 値)：41～45) と考えられた。止葉抽出始期に生育指標値が 150 および 170 となる生育状況を図 2-(5)-12 に示す。

表 2-(5)-3. 実収 420kg/10a 以上を得るための止葉抽出始期の生育指標値(ニシノカオリ)

生育指標値	各調査項目の目安値		
	草丈 (cm)	茎数 (本/m ²)	葉色 (SPAD値)
150～170	48～55	650～720	41～45

注) 止葉抽出始期および開花始めに窒素 3kg/10aの追肥を行う場合。



図 2-(5)-12. 実収 420kg/10a 以上が得られる止葉抽出始期の生育(ニシノカオリ)

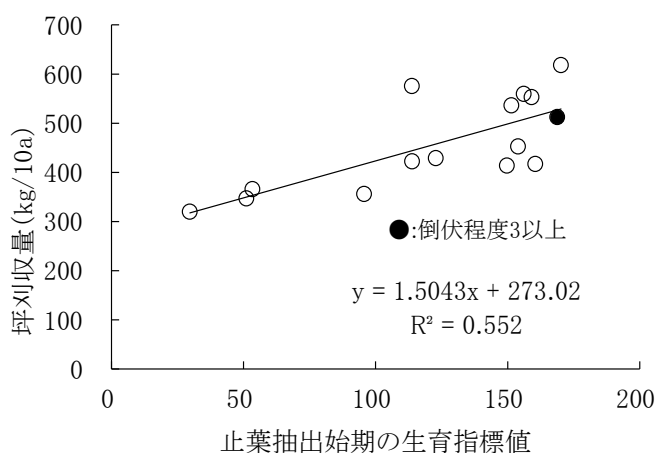


図 2-(5)-11. ニシノカオリの止葉抽出始期の生育指標値と収量の関係

硬質小麦「ニシノカオリ」では、収量と共に品質（基準値内のタンパク質含有率）が求められる。葉色が35～43ではタンパク質含有率はほぼ横ばいとなるが、葉色43以上、収量600kg/10a以下の条件下では、タンパク質含有率が、開花始めの止葉の葉色（SPAD値）と相関が高く、葉色から子実のタンパク質含有率を予測できると考えられた（図2-(5)-13）。

硬質小麦に求められるタンパク質含有率の基準値は11.5～14.0%（許容値10.0～15.5%）とされている。

図2-(5)-13に示すように、タンパク質含有率を11.5%以上とするためには、開花始めに窒素成分で3kg/10aの施肥を行うことを前提に、葉色（SPAD値）が46以上必要である。

また、開花始めの窒素追肥は、タンパク質含有率を上げるのに有効であり、施肥窒素の量を調節することでタンパク質含有率を目標とする値に近づけることが可能である。

30年～31年（元年）に農業研究所内（松阪市）で行った試験結果から、開花始めの葉色が45前後の時、窒素施肥量を10aあたり1kg増肥するとタンパク質含有率は0.5ポイント上昇することが明らかになっている（図2-(5)-14）。

このことから、開花始めの葉色が45であれば、図2-(5)-13より、タンパク質含有率は10.8%と予測される。目標とするタンパク質含有率は11.5%以上であるので、0.7ポイント上昇させるためには、通常（3kg/10a）の窒素施肥量を1.3kg程度増量し、4.3kg/10a施用すると良い。

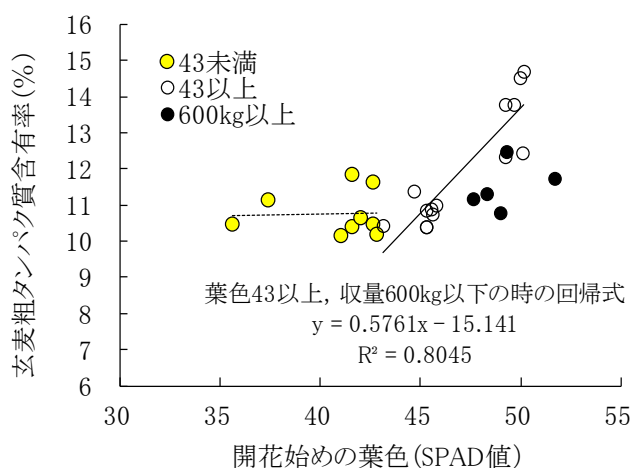


図2-(5)-13. 開花始めの止葉の葉色とタンパク質含有率の関係（ニシノカオリ）
注) 開花始めに窒素 3kg/10 を施肥する場合

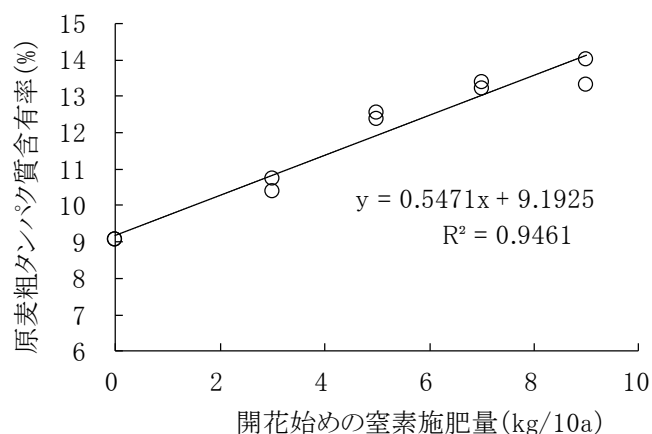


図2-(5)-14. 開花始めの窒素施肥量とタンパク質含有率の関係（ニシノカオリ）

コラム2：NDVI を用いた生育診断の可能性

小麦の窒素吸収量と相関の高い生育指標値を求めるための草丈、莖数、葉色（SPAD 値）の調査は、普及指導機関を中心に広く利用されている。ただ、調査に多少なりとも時間がかかるうえ、精度の高い調査を行うためには経験が必要となる。



図 2-(5)-15. NDVI 測定

そこで、ハンディタイプの NDVI 測定装置（商品名：GreenSeeker ニコトリンブル株式会社）による生育指標値測定の可能性について検討した。

試験方法は、小麦の栽培における施肥ステージ毎に、NDVI 測定装置を胸の高さ（植物体上約 1m）に持ち、左右に（幅 1m 程度）ゆっくりと振りながら条方向に約 5 秒間前進しながら測定した（図 2-(5)-15）。同時に測定区間内の 1 条 1m の草丈、莖数、葉色（SPAD 値）を測定し、生育指標値〔草丈(cm)×莖数(本/m²)×葉色(SPAD 値)/10000〕を求め、2 つの値を比較した。

その結果、各生育ステージの NDVI 値は、「あやひかり」および「ニシノカオリ」とも生育指標値と高い相関関係があった（図 2-(5)-16）。

このことから、ハンディタイプの NDVI 測定装置による測定値は、生育指標値として利用できる可能性があると考えられた。今後は、年次変動や栽植密度、土壤の乾湿や土壤の種類等の影響を含め、窒素吸収量との関係を明らかにすることで、簡易かつ高精度に生育指標値の推定が可能になると想定される。

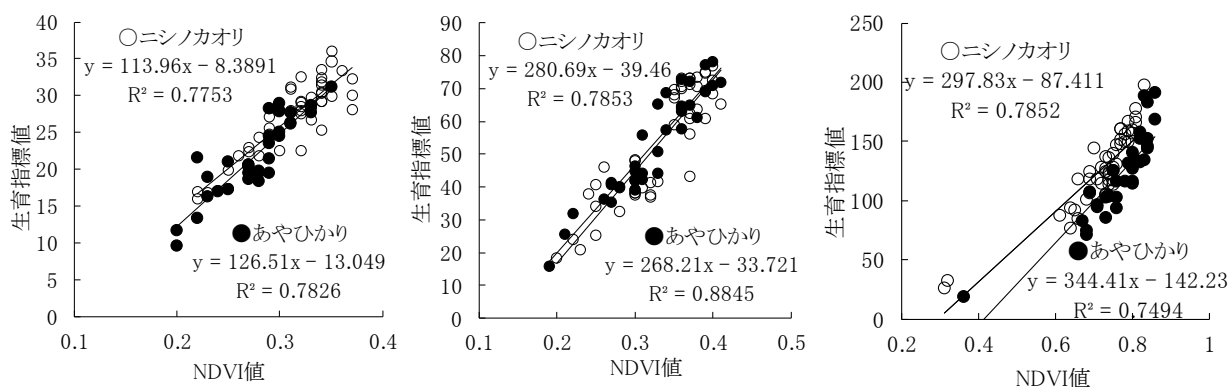


図 2-(5)-16. 生育ステージ毎の生育指標値と NDVI 値の関係
（左：4 葉期，中：幼穂形成始期，右：止葉抽出始期）

END

(6) チゼル深耕体系下における雑草種子の水平・垂直移動

圃場内あるいは周縁部で発生し結実した雑草が圃場内へ種子を供給し、次作以降の雑草発生源となる。圃場内に落ちた雑草種子がどのように移動し次の発生に至るかは、耕起体系の影響を強く受けると考えられる。そこで、チゼル深耕体系が雑草種子の移動に与える影響についてプラスチック玉を雑草種子を含む土塊に見立て検討した。

試験は異なる色のプラスチック玉を1m×1m四方の土壌中に深さ10cm毎(0-10cm、10-20cm、20-30cm)に3000個ずつ土とよく混合し、埋め戻した。その後、プラスチック玉を埋設した部分の土壌面が埋設前と同じ高さになるまで上部から鎮圧した。

耕起体系の違いがプラスチック玉に及ぼす影響を明らかにするため、チゼルプラウでの深耕(耕深:23cm)→縦軸駆動ハローでの砕土(砕土深:10cm)およびロータリ耕(耕深:13cm)を行い、プラスチック玉がどの程度、表面に移動するかを調査した。

その結果、表2-(6)-1にあるように、チゼルプラウによる深耕では、ロータリ耕で未耕となる深層からのプラスチック玉の引き上げが観察されるとともに、

チゼルプラウによる牽引作業と土壌を一定量抱え込みながら砕土する縦軸駆動ハローの機械構造により、作業方向への水平移動も認められた(図2-(6)-1)。このことから、チゼル深耕体系では垂直方向および水平方向のいずれにおいても大きな移動が生じたものと考えられた。

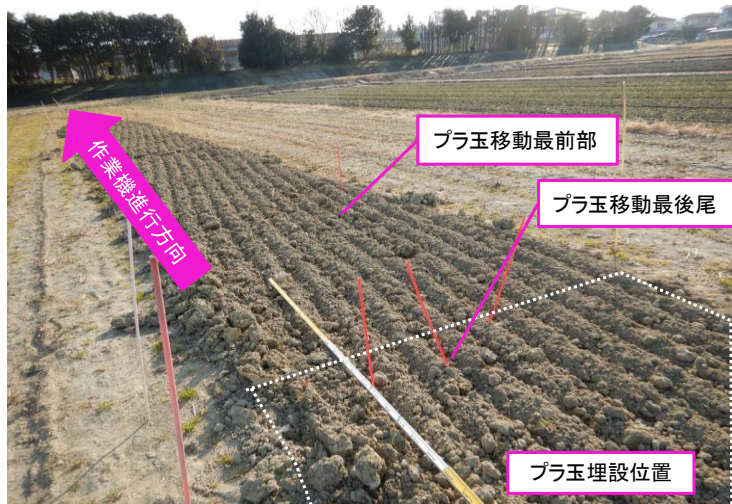


図2-(6)-1. チゼル深耕体系によるプラスチック玉の移動の様子

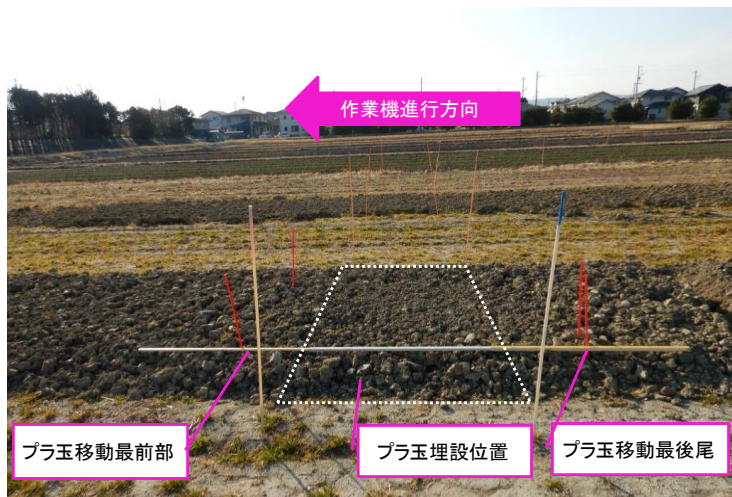


図2-(6)-2. ロータリ耕体系による埋設プラスチック玉の移動の様子

一方、ロータリ耕体系ではロータリ爪の回転により、耕起された層でのプラスチック玉の垂直方向への移動が盛んに起こるが、作業方向へ土を動かすことはほとんどなく（図 2-(6)-2）、水平方向への移動は少ないと考えられた。

表 2-(6)-1. 耕起体系の違いが異なる深さに埋設したプラスチック玉の地表への移動に与える影響

耕起体系	プラスチック玉の埋設深度	表面露出率(%)					
		作業機進行方向からみたプラスチック玉の確認位置					
		後方へ	埋設位置	前方(進行方向)へ			
		1-0m	のまま	0-1m	1-2m	2-3m	3-4m
チゼル深耕体系	0-10cm	0	0.7	2.4	0.8	0.1	0.0
	10-20cm	0	0.7	3.6	1.3	0.3	0.1
	20-30cm	0	0.1	0.7	0.3	0.2	0.0
ロータリ耕体系	0-10cm	1.1	3.7	0.1	0	0	0
	10-20cm	0.6	2.3	0.1	0	0	0
	20-30cm	0	0	0	0	0	0

注) 表面露出率=土壌表面に露出した玉数/埋設総数(3,000個)。

これらのことから、プラスチック玉を雑草種子を含む土塊に見立てた検討では、チゼル深耕体系で、圃場内での雑草種子の拡散は早く進むものの作土層内の密度は高まりにくいと考えられた。一方、ロータリ耕体系では雑草種子の圃場内での移動は少ないが作土層内の密度は高まりやすいと想定された。

実際に実証圃場において 29~30 年の 2 年間に渡って大豆栽培時の帰化アサガオ類の発生を調査したところ、チゼル深耕体系とロータリ耕体系の間に大きな違いは認められなかった（図 2-(6)-3）。これらのことから、耕起体系を変えることで、雑草種子の土壌中での動きは変わるものの、現状では慣行と同等の除草体系で対応できると考えられた。

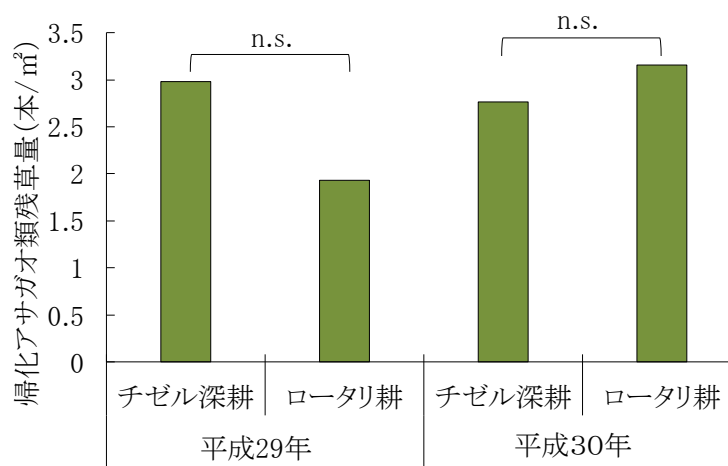


図 2-(6)-3. 耕起体系の違いが帰化アサガオ類の残草量に与える影響

注) ns: 各年度で耕起体系間に有意差がないことを示す。

3. 排水性と土壌物理性の診断と対策

(1) 排水性の診断と対策

1) 水田転換畑の排水性

水田転換畑において、小麦および大豆の安定多収を図るためには、圃場の排水性を高めることが重要である。本県では水稲-小麦-大豆の2年3作体系が中心であることから、水稲栽培後に同一圃場で小麦、大豆が作付される。水稲の栽培方法としては、安定生産が可能な代かき移植栽培が中心となっている。代かき作業は土壌を均平化する他に、漏水を防止する効果も大きく、水稲を栽培するうえで、極めて重要な作業である。一方、代かき移植後の水田転換畑では排水性が不良となることから、小麦および大豆を安定生産することは容易ではない。また、降水量が多い本県では、圃場の排水性が作物生育に影響を及ぼすだけでなく、適期作業を実現できるか否かにも関わっており、小麦および大豆の収量性に大きな影響を及ぼしている。

2) 排水性の診断と対策

圃場の排水性の診断では、まず、排水性の良・不良を診断し、不良と判断される場合には不良要因の診断を行う。不良要因が明らかになれば、その要因に応じた効果的な対策を講じることができる。チゼル深耕体系を導入する圃場の排水性を事前に診断し、適切な対策を講じることができれば、チゼル深耕体系の増収効果をより高めること、チゼル深耕体系を構成する各作業をよりスムーズに実施することができる。

i) 排水性の良・不良の診断

排水性の良・不良は、降雨後の作土層の滞水時間（作土層に掘った浅層穴の滞水状況）で判断することができる（図 3-(1)-1）。以下に調査時期、調査方法、改善が必要となる目安を示す。

調査時期：水稲作付期間以外

調査方法：圃場の中央に直径 5-10cm 程度、深さ 20cm 程度の浅層穴（直径は大きくても良いが深さは 20cm 程度の穴）を掘り（図 1-(2)-2）、圃場表面に滞水が生じる 50mm 程度の降雨があった後に浅層穴内の水面（水位）を降雨後 1 日目、降雨後 2 日目に地表面から測定する。

注）浅層穴（図 1-(2)-2）が崩れやすい場合は、側面に穴をあけた塩ビ管（塩ビパイプ）を挿入しておくことで、崩れを防止できる。

改善が必要な目安：降雨後 2 日目に地表面から 20cm 未満に滞水あり

注）降雨後 2 日目は降雨終了後 48 時間経過した時点。

降雨後の減水速度 8cm 未満/日

注）減水速度は 1 日目と 2 日目の水位から算出可能。

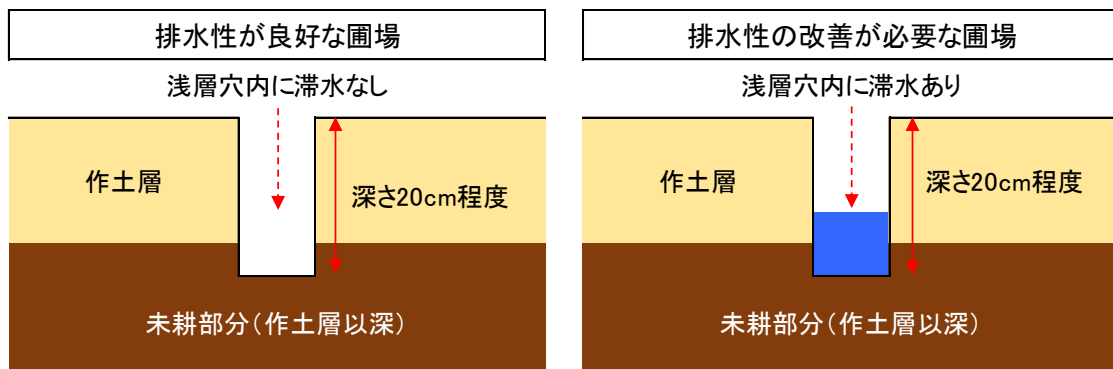


図 3-1-1. 降雨後 2 日目 (降雨後 48 時間) の作土層内の滞水状況の模式図
圃場内に滞水が生じる 50mm 程度の降雨後を想定

ii) 排水性の不良要因の診断

圃場の排水性は、表面排水能力、縦浸透能力の良否により決定される。表面排水能力は落水口の深さ、縦浸透能力は作土層以深の透水性、地下水位の影響が大きい。排水性の良・不良の診断により、排水性が不良と診断された場合には、排水性が不良な要因を明らかにするため、表面排水能力および縦浸透能力の診断を行い、不良要因に合わせて対策を講じる。

表面排水能力の診断：

表面排水能力は、田面から落水口の底までの深さ（図 3-1-2）の影響が大きいことから、以下の調査を実施する。

調査時期： 水稻収穫後（水稻作付期間以外）

測定方法： 田面（土壌面）から落水口の底面までの深さを測定する。

改善の目安： 落水口の底が田面から 30cm 未満

排水対策： 30cm 以深に畑作用の落水口を設置（農研機構 2020）。

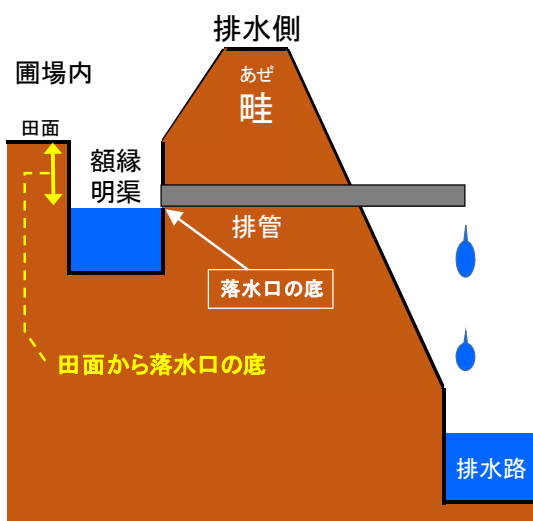


図 3-1-2. 田面から落水口までの深さ



図 3-1-3. 地下水位の測定

左上: 深層穴の掘削状況,

左下: 70cm の掘削穴, 右: 掘削用のオーガ

縦浸透能力の診断：

縦浸透能力は作土層以深の透水性、地下水位の影響が大きく、その改善対策としては、作土層以深の心土層に亀裂を生じさせ、透水性を促進させるサブソイラによる心土破碎が中心となる。このことから、心土破碎を実施するべきかどうかを判断するため、以下の調査を実施する。

調査時期： 水稻収穫後（水稻作付期間以外）

調査方法： 圃場の中央に直径 5cm 程度、深さ 70cm 程度の穴を掘り（図 3-(1)-3）、数日してから地下水位を測定する。

実施の目安： 地下水位が 40cm 以深（農研機構 2020）

排水対策： 地下水位が 40cm 以深の場合、

サブソイラによる心土破碎（図 3-(1)-4）を実施。

注) 作土層以深が礫層（岩盤層）の場合、心土破碎を実施できない場合がある。

注) 地下水位が 40cm 未満の圃場では、心土破碎による排水性の改善効果が低いこと、地下水位の上昇により地耐力が低下する場合があるため、サブソイラによる心土破碎は控える。

注) 地下水位が 40cm 未満の圃場では、本暗渠の施工が望ましいものの、基盤整備が必要となるため、営農レベルでの施工は容易ではない。営農レベルで実施できる当面の対策としては、地下水位面から相対的に地下水位を遠ざけ、有効土層を広げる畦立栽培が効果的である。代表的な畦立播種機としては、小明渠浅耕播種機、耕耘同時畦立播種機、小畦立播種機等がある。



図 3-(1)-4. サブソイラによる心土破碎と弾丸暗渠の施工

左:サブソイラでの心土破碎, 中央:サブソイラの額縁明渠からの施工, 右:弾丸暗渠の施工

コラム3：土壌物理性の診断と対策

水田転換畑の土壌物理性

土地利用型農業経営体では規模拡大が進展していることから、大型のトラクタおよび作業機を用い、作業の高速化を図っている。そのため作土層は浅くなり、作土層以深の土壌が締め固められる傾向がある。緻密化した土壌では、根の侵入が妨げられるだけでなく、作土層以深の透水性も不良になることから、降雨時には作土層に長時間滞水が生じ、湿害の危険性が高まる。土壌物理性は排水性とも密接に関係し、小麦、大豆の安定多収を図るうえで重要な要因となっている。

診断と対策

土壌物理性の診断では、作土層がどの程度の厚さになっているか。作土層以深の土壌がどの程度締め固められているかを診断し、適切な対策を講じることが重要である。一般に、根の伸長が妨げられる土壌の硬さは、「山中式土壌硬度計」、「プッシュコーン」の値で21mm以上、「貫入硬度計」の値では1.5MPa（メガパスカル）以上とされている。チゼル深耕体系の実証試験圃場では、作土層が15cm未滿で作土層以深の土壌が緻密化している。そのため、チゼル深耕体系の増収効果が認められている。以下に土壌物理性の調査方法と改善の目安、土壌硬度と簡易測定法の関係を示す（表3-(1)-1）。なお、調査は①～③のいずれかの方法で実施すればよい。

調査時期：水稲収穫後（水稲作付期間以外）

調査方法：①ファイバーポール（直径5mm）を土壌中に片手で軽く差し込む。

②25cm程度の深さの穴を掘り、断面を親指の先で押す。

③山中式土壌硬度計、プッシュコーンで硬度を測定する。

改善の目安：①ファイバーポールの差し込み可能な深さが20cm未滿

②地表下20cmまでに第一関節まで入らない層が出現

③地表下20cmまでに山中式土壌硬度計、

プッシュコーンの指示値が21mm以上の層が出現

対策技術：チゼル深耕体系、ボトムプラウ、プラソイラ等による深耕

表3-(1)-1. 根の侵入と土壌硬度の関係（農研機構2020）

	貫入硬度	山中硬度	ファイバーポール	親指
根がよく伸びる	<1.5MPa	<21mm	片手で軽く入る	第一関節くらいまで入る
根張りが悪くなる	1.5～2.5MPa	21～25mm	両手で力をこめると入る	少しへこむ程度
根がほとんど入らない	≥2.5MPa	≥25mm	体重をかけても入らない	痕が少しつく～付かない

END

4. 大豆における雑草・病虫害防除技術

(1) 新規除草剤（フルチアセットメチル乳剤）

1) フルチアセットメチル乳剤の薬害

夏作物である大豆の多収を実現するうえで適切に雑草を防除することは極めて重要である。近年、経営規模の拡大に伴い、中耕培土の適期作業が困難になったことや、畑作頻度の増加に伴い埋土種子量が増加したこと、新たな帰化雑草が蔓延したことにより効果的な除草技術の開発が急務となっている。

ここでは、大豆栽培で使用できる新規除草剤（フルチアセットメチル乳剤）について、場内試験の結果を中心に、特に懸念される薬害について紹介する。

フルチアセットメチル乳剤は、大豆に対して選択性を持つ茎葉処理除草剤であり、大豆の立毛中に散布すると薬剤付着箇所には褐斑および縮葉が認められる。しかし、薬害の程度は軽微であり、回復も早く、薬剤付着葉の次に展開する葉（あ新しく展開する葉）に影響は認められなかった（図 4-(1)-1）。

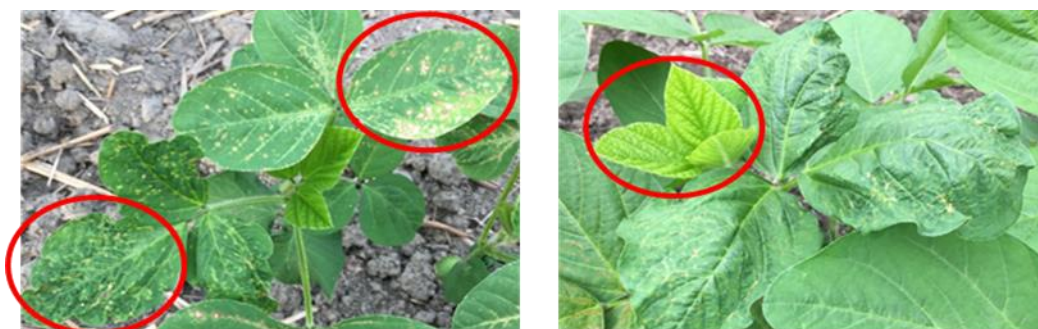


図 4-(1)-1. フルチアセットメチル乳剤処理後 7 日目のフクユタカの薬害症状(左)および回復状況(右)

注)左図の左円内は縮葉、右円内は褐斑、右図の円内は新しく展開した葉。

処理時期を大豆 2 葉期から 6 葉期の間で変えて行った試験では、いずれの処理時期においても処理後の生育に与える影響は小さいと考えられた（図 4-(1)-2）。

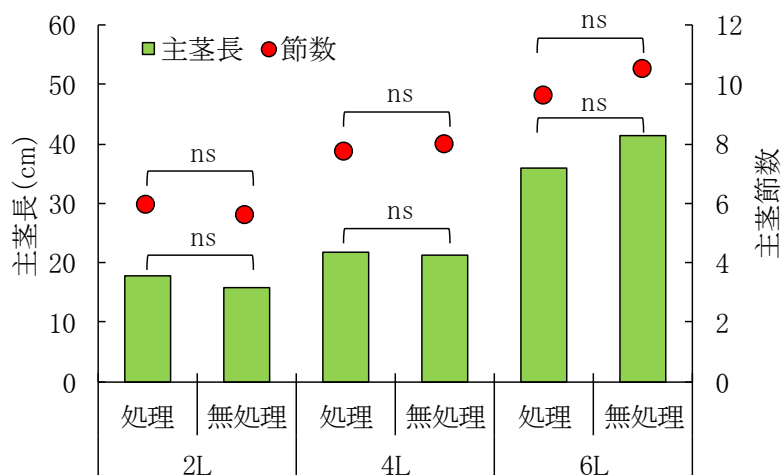


図 4-(1)-2. フルチアセットメチル乳剤の処理 7 日目の大豆の主茎長と節数
注) ns は各処理時期で処理と無処理との間に有意差がないことを示す。

2) フルチアセットメチル乳剤を用いた除草体系

難防除雑草への効果の高い大豆の選択性茎葉処理除草剤であるフルチアセットメチル乳剤は、既に広く普及しているベンタゾン液剤と体系的な使用が可能である。効果の高い雑草種がこの2剤では異なることから生産現場で問題となっている幅広い雑草種に対して効果が期待できる。詳しくは以下に示す三重県病虫害防除所の三重県農薬情報システムを参照。

(<https://www.nouyaku-sys.com/nouyaku/user/haishinfile/list/mie>)

一方で、この2剤は共に大豆品種や環境により薬害が懸念される。そこで、県内の主要普及品種である「フクユタカ」を用いて、ベンタゾン液剤とフルチアセットメチル乳剤の体系処理による大豆への影響を検討した。図4-(1)-3に示すとおり、いずれの組み合わせにおいても収量および百粒重に影響を与える薬害は認められず、両薬剤を用いた体系処理の安全性が示された。

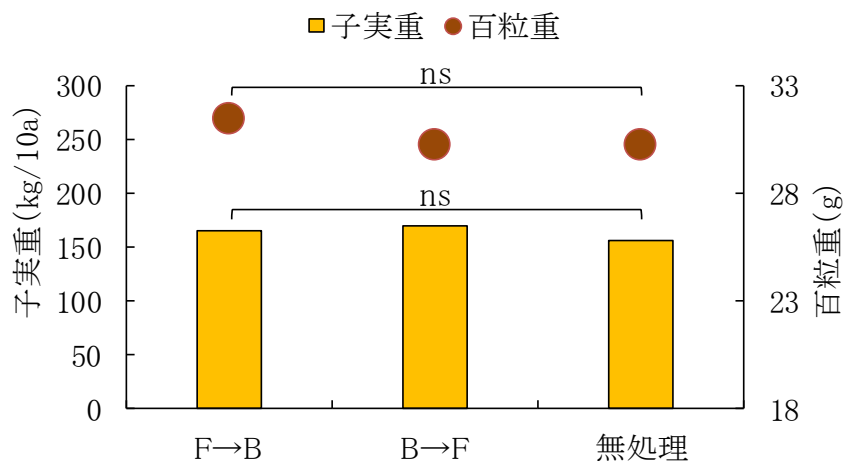


図4-(1)-3. フルチアセットメチル乳剤とベンタゾン液剤の体系処理が子実重および百粒重に与える影響

F:フルチアセットメチル乳剤

B:ベンタゾン液剤

大豆本葉2葉期処理→4葉期処理

nsは処理と無処理との間に有意差がないことを示す。

(2) 大豆の吸実性カメムシ類の発生予察と防除技術

1) 吸実性カメムシ類による大豆の被害

大豆の吸実性カメムシ類は、莢を吸汁して内部の子実を加害する。加害された子実は加害部位に黒い斑点およびしみを、ひどい場合は加害部位のへこみを伴う変形を引き起こし、外観品質を低下させる（図 4-(2)-1 左、中）。また、子実の発育初期に加害されると、いわゆる「板莢」の発生が増え（図 4-(2)-1 右）、カメムシ類の発生量が多い圃場では青立ちの原因となる。



図 4-(2)-1. 吸実性カメムシ類の加害によって発生した被害粒（左、中）とミナミアオカメムシ多発株で発生した板莢（右）

2) 吸実性カメムシ類の種類と生態

三重県の大豆栽培では、ミナミアオカメムシ、アオクサカメムシ、イチモンジカメムシ、ホソヘリカメムシの吸実性カメムシ類 4 種による被害が問題となる（小林・平井 2005）（図 4-(2)-2～5）。



図 4-(2)-2. ミナミアオカメムシ *Nezara viridula*

体長: 12～16mm (成虫)

食性: 広食性 32 科 145 種の植物を加害

世代数: 年間 3 世代程度

産卵数: 1 雌あたり約 300～500 卵、1 卵塊あたり 80 卵程度

発育期間: 卵期間 5 日、幼虫期間 25 日前後



図 4-(2)-3. アオクサカメムシ *Nezara antennata*

体長:成虫の体長 12~16mm

食性:広食性 32 科 145 種の植物を加害

世代数:年間 2 世代、夏眠する

産卵数:1 雌あたり約 100~200 卵、1 卵塊あたり 60 卵程度

発育期間:卵期間 5 日、幼虫期間 25 日前後



図 4-(2)-4. イチモンジカメムシ *Piezodorus hybneri*

体長:成虫の体長 9~11mm

食性:マメ科各種

世代数:年間 3 世代

産卵数:1 雌あたり約 170 卵、1 卵塊あたり 14 卵程度

発育期間:卵期間約 4 日、幼虫期間 19 日前後



図 4-(2)-5. ホソヘリカメムシ *Riptortus clavatus*

体長:体長 14~17mm

食性:マメ科、ヒルガオ科 5 科約 30 種

世代数:年間 3 世代

産卵数:1 雌あたり約 100 卵

発育期間:卵期間約 6 日、幼虫期間 20 日前後

3) 吸実性カメムシ類の発生予察用トラップと発生消長

i) UV-LED トラップ

- ①調査対象：ミナミアオカメムシ成虫およびアオクサカメムシ成虫
- ②トラップの名称：可動式捕虫装置（エコ虫トラップ、興南施設管理株式会社）
- ③誘引源：UV-LED 84 球光源
- ④設置方法：

利用は付近に明るい光源がない地域に限る。見通しの良い畦畔上に設置（図 4-(2)-6）。設置場所付近まで電気が引かれていれば、AC 電源で利用できる。設置場所付近に電源がない場合は、バッテリーまたはソーラーパネルを電源として利用することができる。バッテリー使用の場合、12V のカーバッテリー 3 台で 7 日間使用することができる（図 4-(2)-7）。



図 4-(2)-6. UV-LED トラップ

- ⑤照明時間：17 時～翌朝 5 時
- ⑥調査間隔：7 日間隔
- ⑦ミナミアオカメムシの捕獲消長と被害予測：

三重県では、8 月中下旬ごろから第二世代目成虫の捕獲数が増加し、9 月中旬にピークとなる一山型の捕獲消長を示す（図 4-(2)-8）。払い落とし調査では発生量が把握できないが、トラップ捕獲数を用いることで、圃場内に侵入したミナミアオカメムシ成虫数の密度推定に利用することができる。



図 4-(2)-7. UV-LED トラップのコントロールおよび電源ボックスの内容

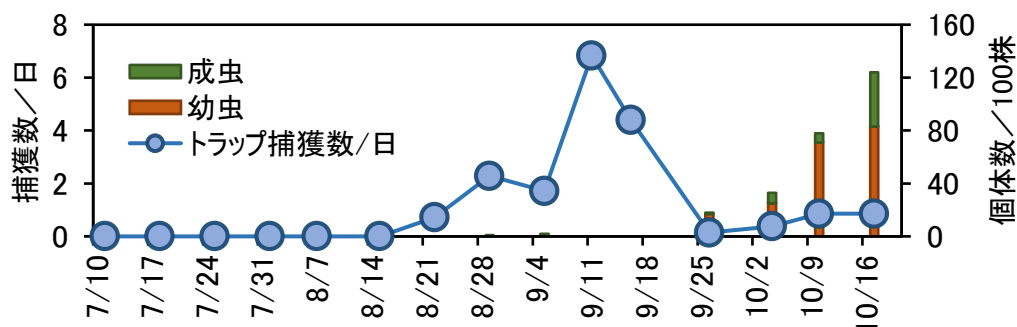


図 4-(2)-8. UV-LED トラップによるミナミアオカメムシ捕獲消長と 100 株の払い落とし調査による大豆圃場内の発生消長
注) 菰野町内大豆圃場での調査事例, 2018 年

ii) フェロモントラップ

- ①調査対象：イチモンジカメムシおよびホソヘリカメムシ
- ②トラップの名称：フィールドキャッチ ボックストラップ
(富士フレイバー株式会社)
- ③誘引源：フィールドキャッチ フェロモンルアー (誘引剤)
イチモンジカメムシ用ルアー (4個/トラップ)
ホソヘリカメムシ用ルアー (4個/トラップ)
(富士フレイバー株式会社) (図 4-(2)-9)



図 4-(2)-9. イチモンジカメムシ、ホソヘリカメムシ調査用のフェロモンルアー (誘引剤) とルアー取り付け方法
左：イチモンジカメムシ用ルアー、中：ホソヘリカメムシ用ルアー、右：ルアーホルダーへの取り付け方法

④設置方法：

見通しの良い畦畔上に設置。イチモンジカメムシ用ルアーとホソヘリカメムシ用ルアーを 1 台の同じトラップに取り付けて使用しても問題がない。設置高は誘引源位置で地上 25cm～60cm になるように設置することで、捕獲数が増加して調査精度が向上する (図 4-(2)-10)。低い位置にトラップを設置する際、粘着面に雑草が張り付くことを防ぐために、防草シートを敷設したうえで、トラップを設置する必要がある。

なお、イチモンジカメムシとホソヘリカメムシの誘引源は集合フェロモンであることから、雌雄両方が捕獲される。また、幼虫も捕獲されることがある。

⑤調査間隔：7 日間隔

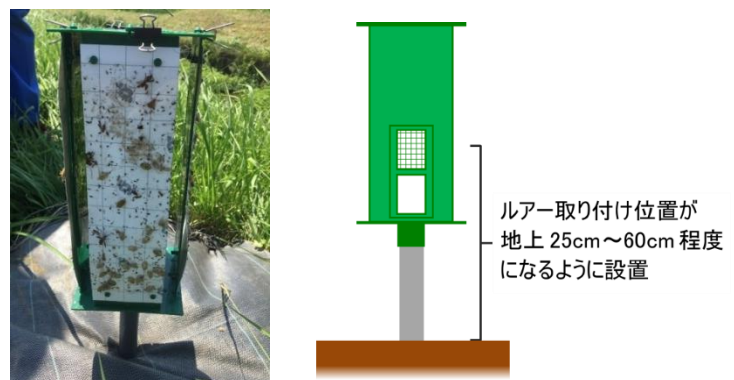


図 4-(2)-10. イチモンジカメムシ、ホソヘリカメムシ調査用のボックストラップ設置方法

⑥イチモンジカメムシの捕獲消長

イチモンジカメムシは、7月下旬から8月上旬にかけてトラップ捕獲数が最大となり、大豆の開花期以降は、圃場内にイチモンジカメムシが繁殖していても捕獲数は低く推移する（図4-(2)-11）。7月下旬から8月上旬のトラップ捕獲数を用いて圃場内の発生量を予測できる可能性がある。

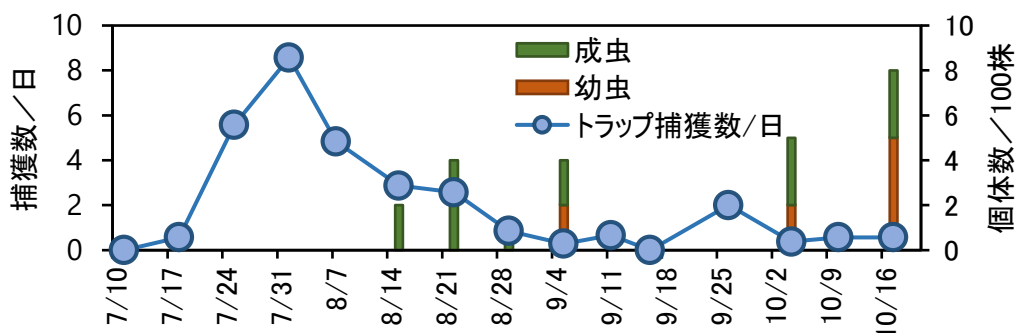


図 4-(2)-11. フェロモントラップによるイチモンジカメムシ捕獲消長と100株の払い落とし調査による大豆圃場内の発生消長
注) 菰野町内の大豆圃場での調査事例, 2018年

⑦ホソヘリカメムシの捕獲消長と予測

ホソヘリカメムシのフェロモントラップ捕獲消長では、7月下旬から8月上旬（第1世代）と9月上中旬（第2世代）の2つの捕獲ピークが認められる（図4-(2)-12）。この第1世代の捕獲数を用いて圃場内の発生量を予測、または、第2世代の捕獲数を用いて圃場内の発生量を推定できる可能性がある。

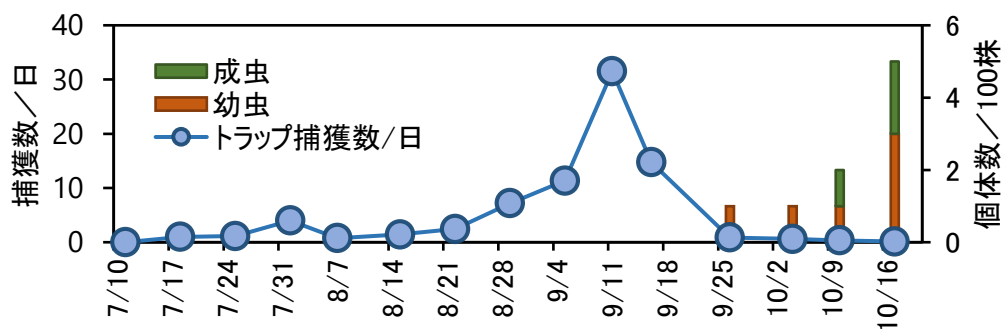


図 4-(2)-12. フェロモントラップによるホソヘリカメムシ捕獲消長と100株の払い落とし調査による大豆圃場内の発生消長
注) 菰野町内の大豆圃場での調査事例, 2018年

4) トラップ捕獲数を利用した発生量と被害の予測

i) UV-LED トラップ捕獲数を用いたミナミアオカメムシ発生量予測

UV-LED トラップ捕獲数から大豆圃場内のミナミアオカメムシ発生量（密度）を簡易推定するモデルを作成した。このモデルでは8月上旬～9月上旬5週間にトラップに捕獲されたミナミアオカメムシ成虫個体数（1日あたりの捕獲数に換算した数値）をモデルに入力することで、9月中旬の100株あたりのミナミアオカメムシ成虫個体数を推定できる。図4-(2)-13の予測範囲の上限値を読み取ることで、圃場内のミナミアオカメムシ成虫個体数（100株あたり個体数）の推定値の最大値を把握することができる（表4-(2)-1）。

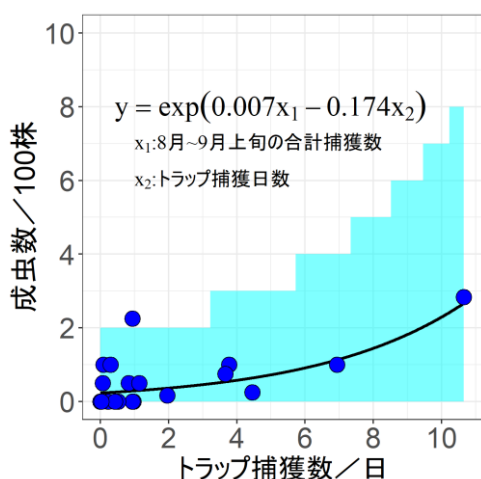


図 4-(2)-13. UV-LED トラップ捕獲数を利用したミナミアオカメムシの簡易密度推定モデルの回帰曲線と予測範囲
成虫個体数:大豆 100 株あたりの個体数
成虫捕獲数:8 月上旬～9 月上旬 5 週間の UV-LED トラップ捕獲数(1 日あたり捕獲数に換算)
青色のデータプロットは実測値
水色部分はモデルの予測範囲

表 4-(2)-1. ミナミアオカメムシの簡易密度推定モデルから得た発生程度別の UV-LED トラップ捕獲数と圃場内の密度

発生程度	少～中	多	甚
8 月上旬～9 月上旬 5 週間の UV-LED トラップ捕獲数	109 頭まで	110～299 頭	300 頭以上
大豆 100 株あたりの 成虫推定個体数	2 頭以下	3～5 頭	6 頭以上

ii) フェロモントラップ捕獲数を用いた吸実性カメムシ類発生量予測

フェロモントラップ捕獲数から大豆圃場内のイチモンジカメムシまたは、ホソヘリカメムシの発生量を簡易に密度推定または予測できる可能性がある。

7月中旬～8月下旬のフェロモントラップ捕獲数を用いることで、9月～10月上旬の圃場内のイチモンジカメムシ、ホソヘリカメムシの発生量との間に線形関係が認められ簡易密度推定に利用可能と考えられる (図 4-(2)-14)。

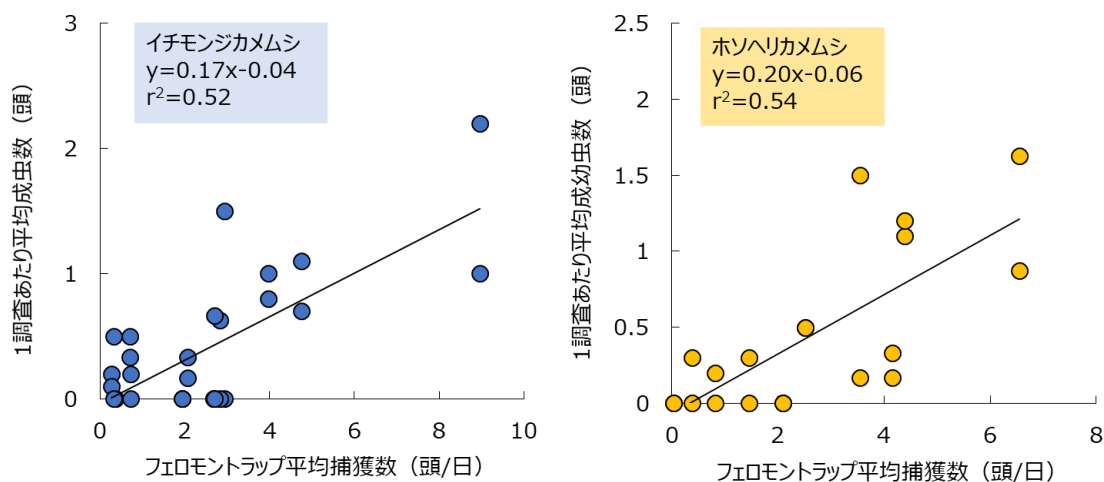


図 4-(2)-14. 7月中旬～8月下旬におけるイチモンジカメムシ(左図)、ホソヘリカメムシ(右図)のフェロモントラップへの捕獲数と9～10月の圃場内の成幼虫との関係

ii) LEDトラップ捕獲数を用いたカメムシ類被害粒率予測

三重県の大豆圃場では、近年、ミナミアオカメムシが優占して多発することから (図 4-(2)-15)、UV-LEDトラップのミナミアオカメムシ捕獲数と防除の有無、回数に応じた被害粒予測モデルでも、ある程度は被害予測が可能である。

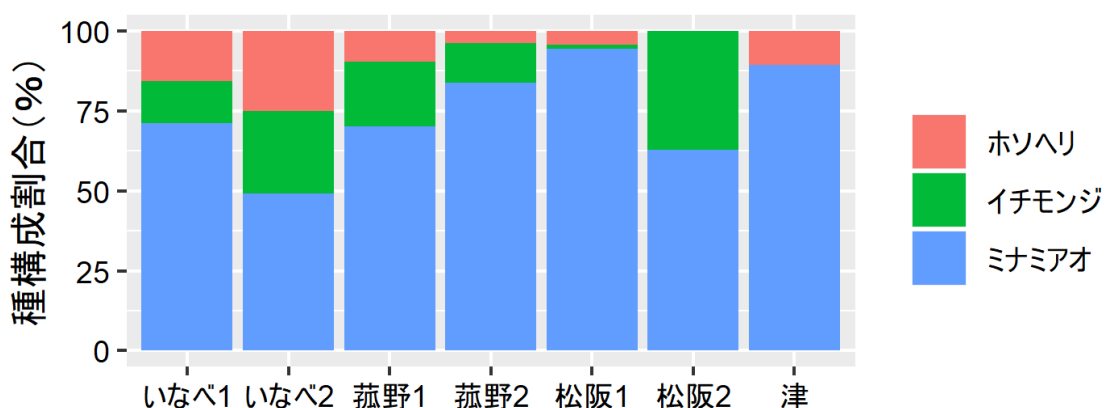


図 4-(2)-15. 大豆圃場内の吸実性カメムシ類の種構成 (2016-2019 現地調査から)

この予測モデルは、UV-LED トラップの累積捕獲数と想定する防除回数（0回，1回，2回）を入力することでカメムシ類による被害粒率を予測できる（図 4-(2)-16）。この予測モデルは、ミナミアオカメムシが優占して発生する県北中部における 7 月上中旬播種のフクユタカでの利用を想定している。また、伊賀地域など上記以外の条件では被害予測モデルの適応性を評価したうえで利用する必要がある。また、カメムシ類の寄主となる雑草が繁茂する場合や不適當な防除の場合などは予測の精度は低下する可能性がある。

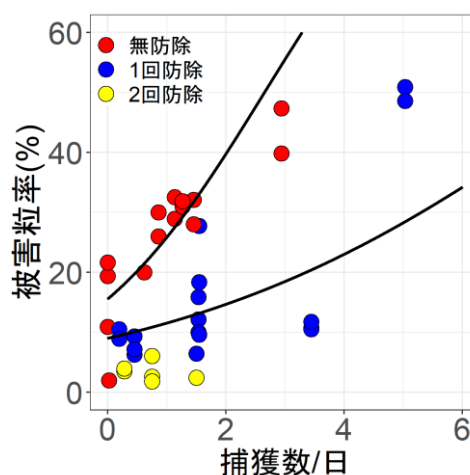


図 4-(2)-16. UV-LED トラップ捕獲数を利用したカメムシ類被害粒率予測モデルの回帰曲線
成虫捕獲数: UV-LED トラップ累積捕獲数(1日あたり捕獲数に換算)
データプロットは実測値

5) 吸実性カメムシ類の防除

i) 有効な殺虫剤

ミナミアオカメムシに対しては、合成ピレスロイド剤 (3A) の防除効果が劣るとされており (杉村 2007)、県内のミナミアオカメムシ個体群に対して、直接処理した場合でも同様の傾向が認められた。一方、エチプロールやジノテフランは高い効果が得られる (図 4-(2)-17)。

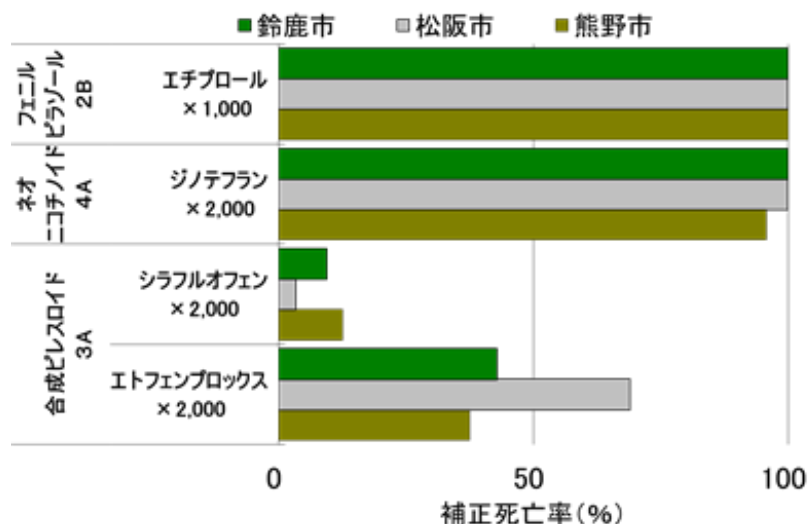


図 4-(2)-17. ミナミアオカメムシ成虫に各種殺虫剤を直接処理した場合の殺虫効果 (注) 虫体浸漬法での評価

ii) 防除の回数と時期

フクユタカ栽培圃場で、ミナミアオカメムシを主な防除対象とした場合の防除時期は、開花 20 日後（9 月 10 日～9 月 15 日頃）と開花 40 日後（9 月 30 日～10 月 5 日頃）のネオニコチノイド系殺虫剤の 2 回散布の被害粒抑制効果が高く（中村 2009）、エチプロールでも同様に 2 回散布の効果が高い（図 4-(2)-18）。

1 回しか防除できない場合は、エチプロール、ジノテフランのどちらを使用した場合でも、開花 30 日後（9 月 20 日～25 日頃）の散布が、開花 20 日後または 40 日後に 1 回散布するよりも被害粒抑制効果が高い（図 4-(2)-19）。

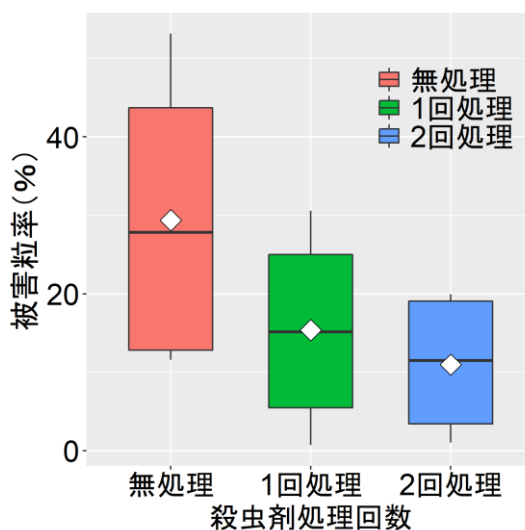


図 4-(2)-18. エチプロールの処理回数と被害粒率抑制効果

1 回処理:開花 30 日後に 1 回散布

2 回処理:開花 20 日後と 40 日後に 2 回散布

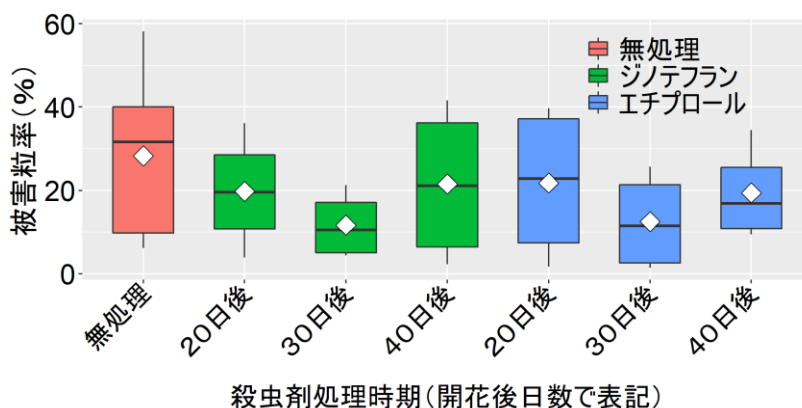


図 4-(2)-19. 大豆の開花 20 日、30 日、40 日後に殺虫剤を処理した場合の吸実性カメムシ類による被害粒率抑制効果の比較

iii) 防除効果に影響をもたらすその他要因

クサネム等の圃場周辺の雑草はミナミアオカメムシの繁殖場所となる。また、晩生の水稻でもミナミアオカメムシの繁殖場所となっている場合がある。大豆の防除後に、これらの繁殖場所からミナミアオカメムシが移動することで被害が発生する可能性があるため、圃場周辺の除草や水稻での本種の防除も重要である。

コラム4：カンキツヒメヨコバイの加害による大豆の黄化および矮化症状

県内の大豆圃場では、新葉が葉縁から湾曲・黄化し、節間の伸長が抑制されて植物体全体が矮化する症状（図 4-(2)-20）が発生することがあるが、原因は特定されていなかった。しかし、2013 年、2014 年に本症状が発生した圃場では、カンキツヒメヨコバイが多発していたため、本種を大豆に接種して症状の再現を試みた。その結果、カンキツヒメヨコバイに吸汁加害されることで節間や葉柄の伸長が抑制され株が矮化した。また、株上で本種が繁殖し密度が高まることで葉の黄化も発生した。症状が発生した後、本種を除去すると症状が認められなくなるため、本症状はカンキツヒメヨコバイによって媒介されるウイルス病ではなく、吸汁加害そのものが原因であることが明らかとなった（西野 2020）。



図 4-(2)-20. 大豆の黄化・矮化症状とカンキツヒメヨコバイの成虫

END

コラム5：ミナミアオカメムシの県内分布と越冬可能地域の予測

ミナミアオカメムシの国内分布は1960年代には九州南部、四国南部、紀伊半島南部に限られていたが、2000年以降分布を急速に拡大させ、九州北部、近畿、東海地域、関東地域でも分布が確認されるようになった（下司・藤崎2013、水谷2013）。

三重県では1980年代には県南部でのみ分布が確認されていたが、2007年には県中部でも分布が確認され、2009年以降には、県北部や内陸部まで分布が拡大した（鈴木ら2011）。しかし、伊賀地域は年間の最終世代である第3世代の発生は確認されることはあるものの、越冬世代の発生は確認されないため（図4-(2)-21）、次の点から伊賀地域では定着していないと判断されている。

- ① 冬期の気温が低く、本種の越冬には不適である。
- ② 山林などの地理的な障壁により、侵入が抑制されている。

ただし、伊賀地域ではミナミアオカメムシの発生リスクは少ないが、アオクサカメムシが発生する地域である（図4-(2)-22）ため注意が必要である。

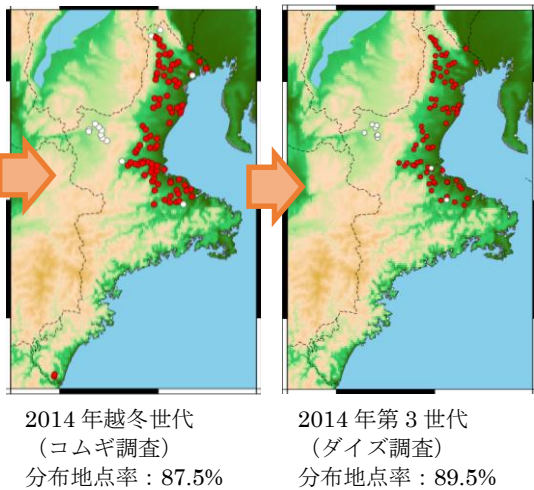
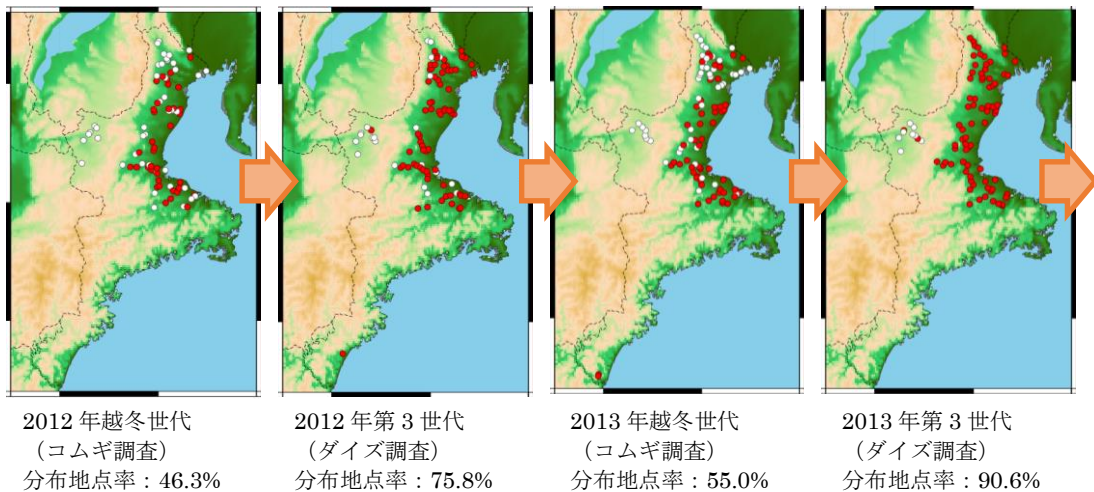


図4-(2)-21. 三重県におけるミナミアオカメムシの越冬世代と第3世代の分布
 ●：確認できた地点
 ○：確認できなかった地点
 分布地点率=100×ミナミアオカメムシを確認できた地点数/全調査地点数

また、ミナミアオカメムシの越冬が可能な地域の予測モデルが開発されており、予測したい地域の、冬期の気温条件（日平均気温 2.5℃未満の日数）と越冬前の第 3 世代の発生量から、その地域での越冬可能性を確率で示すことができる（図 4-(2)-23）。

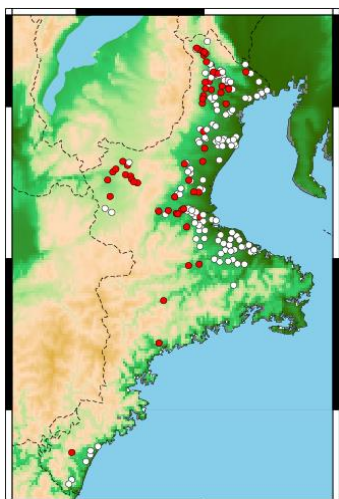


図 4-(2)-22 三重県における
アオクサカメムシの分布
（2011 年～2015 年調査）
●：確認できた地点
○：確認できなかった地点

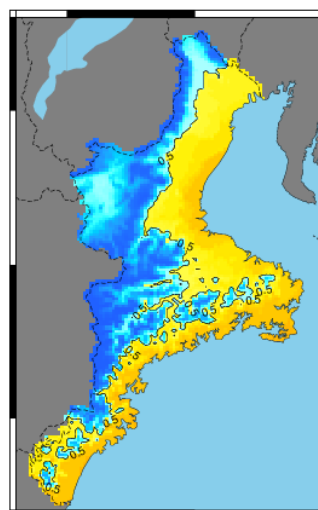


図 4-(2)-23 ミナミアオカメムシ越冬可能
地域予測モデルに基づく予測図の事例
越冬が可能であったかどうかを確率によっ
て色分けして表示する。

END

5. 引用文献

1. 実態調査

- 金子文宜 (2010) 土壌水分. 新版土壌肥料用語辞典 (編者 藤原俊六郎・安西徹郎・小川吉雄・加藤哲郎), 一般社団法人 農山漁村文化協会, 東京, p47-55
- 松浦里江 (2010) 土壌三相. 新版土壌肥料用語辞典 (編者 藤原俊六郎・安西徹郎・小川吉雄・加藤哲郎), 一般社団法人 農山漁村文化協会, 東京, p40-45

2. チゼル深耕を核とした水田多収輪作体系 (改善対策)

- 佐藤淳一 (2001) 追肥 (穂肥). 転作全書 1 ムギ, 一般社団法人 農山漁村文化協会, 東京, p279-281
- 北野順一・本庄達之助 (1997) 水田輪換畑における高品質小麦安定生産のための窒素施肥法と生育診断. 三重県農業技術センター研究報告 25 号
- Shirato Y. and Yokozawa M. (2005) Applying the Rothamsted Carbon Model for long-term experiments on Japanese paddy soils and modifying it by simple tuning of the decomposition rate. *Soil Science and Plant Nutrition* 51:405-415

3. 排水性と土壌物理性の診断と対策

- 農研機構 (2020) 診断に基づく小麦・大麦の栽培改善技術導入支援マニュアル. 中央農業研究センター, つくば

4. 大豆における雑草・病虫害防除技術

- 小林 尚・平井一夫 (2005) ダイズ <カメムシ類>. 原色 作物病虫害百科 第2版 2 ムギ・ダイズ・アズキ・飼料作物他 (農文協編), 一般社団法人 農山漁村文化協会, 東京, p295-302
- 中村利宣・和田 節・清水文孝 (2009) カメムシ類によるダイズ子実吸汁害を抑制する効果的殺虫剤処理時期. *九病虫研会報* 55:99-104
- 杉村和実・松井 有・野中耕次・田村逸美 (2007) 斑点米の原因となるミナミアオカメムシに対する各種殺虫剤の効果. *九病虫研会報* 53:39-44
- 西野 実・河野勝行・村上高敏・大仲桂太 (2020) カンキツヒメヨコバイ (カメムシ目:ヨコバイ科:ヒメヨコバイ亜科) の加害によるダイズの矮化症状. *応動昆* 64 (1): 19-25
- 下司純也・藤崎憲治 (2013) 近畿地方におけるミナミアオカメムシの分布拡大: 加速する北上. *応動昆* 57(3):151-157
- 鈴木 賢・西野 実・下 里緑 (2011) 三重県におけるミナミアオカメムシの分布拡大. *関西病虫研報* 53:133-134
- 水谷信夫 (2013) 我が国におけるミナミアオカメムシの最近の分布および発生状況. *植物防疫* 67(11) 1:7

おわりに

本プロジェクト研究で体系化した「チゼル深耕体系」については、小麦を中心に安定した増収効果を示すことから現場への導入が進んでいる。また、チゼル深耕体系下において生育指標に基づき適正な施肥を行うことで、さらなる多収が実現できることから生産現場において施肥への関心も高まっている。一方、大豆についてはチゼル深耕体系を導入することにより、増収効果は認められるものの、年次間差が大きく、小麦に比べ、安定した効果は得られていない。本県の大豆の単収は近年、著しく低迷していることから、今後、品種、栽培、作業技術を組み合わせ、単収向上に向け取り組んでいく。

マニュアル執筆者および執筆箇所

三重県農業研究所	農産研究課	田畑茂樹	2(5)(6)、4(1)
		川原田直也	1、2(1)(2)(3)、3
	フード・循環研究課	水谷嘉之	2(4)
	農産物安全安心研究課	西野 実	4(2)