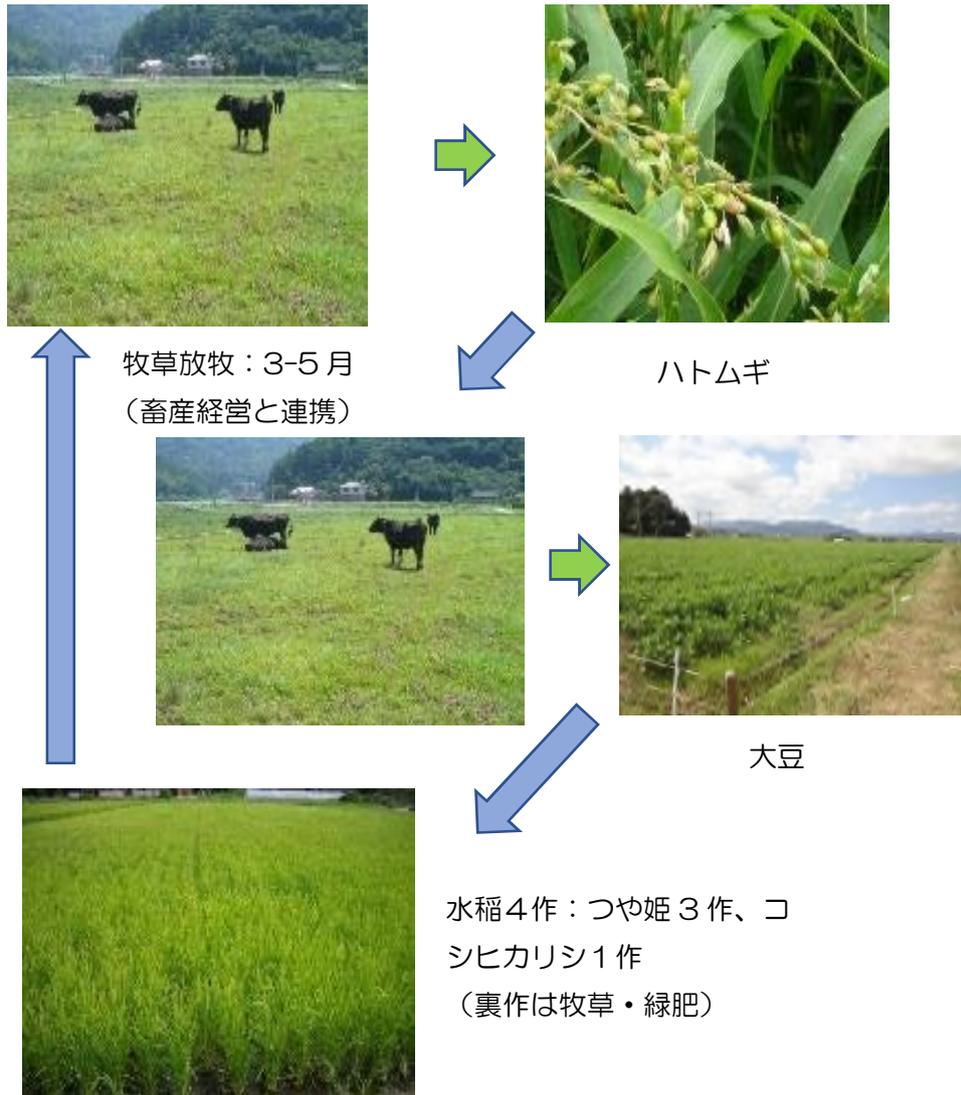


革新的技術開発・緊急展開事業（うち経営体強化プロジェクト）

「水田里山の畜産利用による中山間高収益営農モデルの開発」

放牧やハトムギ等を取り入れた生産性・収益性の高い

水田輪作体系



水田里山畜産利用コンソーシアム



農研機構 西日本農業研究センター

目 次

1. (農) アグリード羽根の営農概要	1
2. ハトムギ、大豆、牧草の安定多収に必要な排水対策	5
(1) 調査の概要	
1) 調査期間と調査対象圃場、土壌分類	
2) 排水対策技術	
3) 調査項目と測定方法	
(2) 調査結果	
1) 気象条件	
2) 土壌水分量・水ポテンシャル・地下水位の推移	
3) 排水対策技術の導入効果	
(3) まとめ	
1) 解析結果のまとめ	
2) 排水をより確実にするために	
3. ハトムギ、大豆の安定多収栽培	9
(1) 本輪作体系におけるハトムギと大豆の播種までの作業体系と排水対策	
(2) 放牧あと大豆に対する補助暗渠の効果について	
(3) その他の問題点	
4. 本水田輪作体系における地力の変動とその有効活用	13
(1) 本輪作体系での土壌肥沃度変遷の特徴と水稻栽培への影響	
1) 輪作体系における土壌肥沃度の推移	
2) 輪作体系における家畜ふん尿、作物残渣等からの肥料成分投入量とその特徴	
3) 作物残渣等の有機物由来の窒素供給の特徴	
4) 水稻栽培への影響	
(2) 参考：ケイ酸施肥のタイミングとその効果	
1) ケイ酸施肥の効果	
2) ダイズ作前のケイ酸肥料施用の影響	
5. 輪作体系を活かした特別栽培米の生産	17
(1) 本輪作体系での主食用米栽培の特徴	
(2) 多収要因の解析と収量構成要素の目標	
(3) 生育診断に基づいた穂肥の調整による籾数過多の防止	
6. 農牧輪換体系の普及可能性と条件－耕畜連携による放牧の運営管理システム－	20

1. (農) アグリード羽根の営農概要

実証経営体のアグリード羽根は、若手3名のオペレーターが農作業の8割を行う担い手型の集落営農法人です。経営面積は約35ha(すべて水田)ですが、主食用水稲を基幹作物として、ハトムギや大豆、そして牧草を組み合わせた輪作(6年8作)を行い、水田をフルに活用している点が特徴的です。このほかに、冬季就労機会と収益を確保するため、サツマイモの栽培とペースト加工(菓子用)、米粉の菓子加工と販売にも着手しています(表1-1)。

輪作は、一般に行われている「水稲-麦-大豆」と異なり、「牧草(放牧)・ハトムギ1年-牧草(放牧)・大豆1年-水稲4年」、または「牧草(放牧)・ハトムギ2年-水稲4年」の6年8作(農牧輪換体系)に取り組んでいます(図1-1)。大豆と比べてハトムギの方が収量・収益性は高いのですが、ハトムギは連作障害が発生し易いことと、ハトムギ収穫後の茎葉を圃場に還元するため、一部に大豆栽培を組み入れています。

これらすべての圃場に対して秋に牧草のイタリアンライグラスを播種します。ハトムギや大豆の栽培圃場では、3月から5月に、同地域の和牛繁殖経営で構成される放牧利用組合が、繁殖和牛を放牧利用します。水稲栽培圃場では牧草は4月上旬に緑肥としてすき込みます。

表1-1 農事組合法人「アグリード羽根」の営農概要

組織形態・労働力	担い手型の集落営農法人(若手専従者3名が農作業の8割を実施、畦畔・水管理は組合員全員で分担)
土地条件	平地に近い中山間(標高20m、圃場平均面積30a)、
経営面積等	水田35ha(H30年、将来50ha)
輪作体系	牧草放牧・ハトムギ-牧草放牧・大豆-水稲4作(6年8作)、または牧草放牧・ハトムギ2年4作-水稲4作(6年8作)
作付構成	主食用水稲24.4ha(うち特栽米17.6ha)、ハトムギ6.2ha、大豆2.2ha、大麦2ha、通年放牧1.7ha、サツマイモ56a(自社加工)。※水稲、ハトムギ、大豆作付け圃場には前年秋にイタリアンライグラス播種
牧草と作物の関係	①水稲作付圃場は4月に牧草を緑肥としてすき込み、②ハトムギ、大豆作付圃場は3月～5月繁殖牛放牧(畜産農家で構成される放牧利用組合が実施)、③1部の圃場は栽培ビエを播種し10月まで放牧
主な機械施設	セミクローラクター97PS/1台、165PS/2台、自脱型コンバイン/2台、汎用型コンバイン/2台、フレールモア、プラウ等
経営目標	主食用水稲生産を基幹とする高収益輪作営農(オペレーター4人で水田50ha管理、売上7500万円、オペ1人あたり所得500万円)
目標実現の課題	①特栽米の多収と品質向上(蛋白値低減)に向けた肥培管理技術の確立(農牧輪換体系における土壌の理化学特性の変動の把握) ②ハトムギ、大豆の収量向上(牧草放牧後の圃場整地からハトムギ・大豆作付作業の効率化・省力化、排水対策の確立、施肥設計) ③牧草生育及び牧養力の向上(水稲及びハトムギ収穫後の牧草播種の早期化・効率化・発芽安定化、排水対策の確立) ④加工の展開(サツマイモの生産と加工、米粉菓子生産販売)

1年目:放牧(春)ーハトムギ(夏)



2年目:放牧(春)ー大豆(夏)



3～6年目:主食用水稻



図1-1 (農)アグリード羽根の農牧輪換体系

牧草・ハトムギや牧草・大豆栽培後は、圃場の地力が向上していると考えられ、つや姫を3年間栽培し、4年目にコシヒカリを栽培します。平成25年からこの農牧輪換体系を行っていますが、水稻の収量・品質はともに向上し、化学肥料による施肥を抑制した特別栽培米基準に従った生産でありながら、つや姫の最近5年間の平均収量は563kgと地域平均を45kg上回っています。また、1等米比率も地区平均の70%に対して85%と高くなっています。コシヒカリの収量は496kgで地区平均より14kg多く、1等米比率は71%で地区平均より20ポイント高くなっています(図1-2、図1-3)。

ハトムギの過去4年間の平均収量は236kgで、地区平均を80kg上回っています(図1-4)。ただし、播種時期により収量は著しく異なり、梅雨入り前の6月上旬播種では300kgを越すものの、6月中下旬の播種になると雑草繁茂が著しくなり収量は極端に低くなっています。

大豆の収量は地区平均より低いですが、弾丸暗渠や穿孔暗渠などの排水対策の有無により収量は著しく異なるようです。

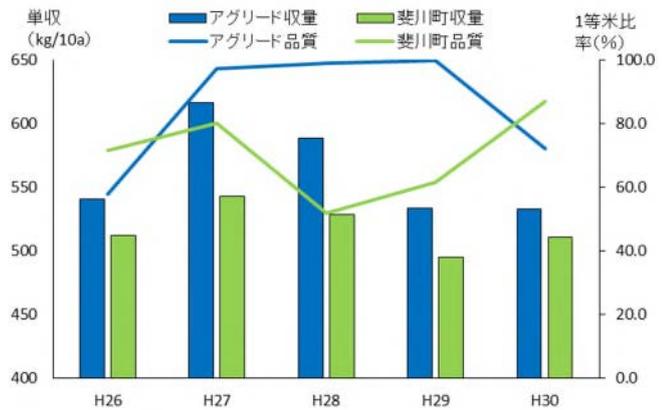


図1-2 つや姫の収量・品質の推移

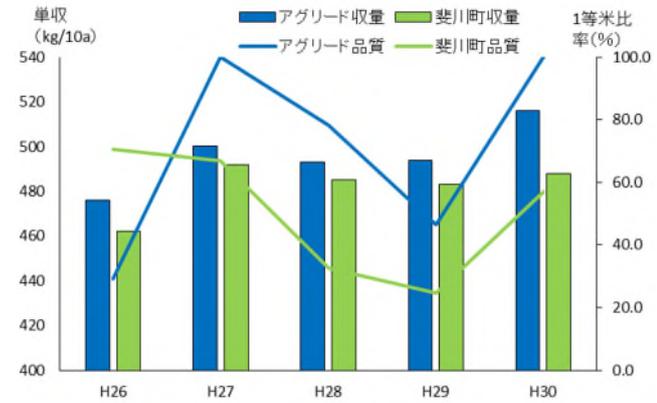


図1-3 コシヒカリの収量・品質の推移

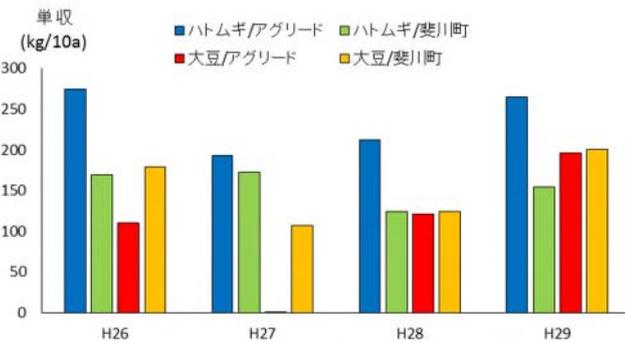


図1-4 ハトムギ、大豆の収量の推移

作目別の収益性等を比較すると、収量が多く販売単価の高い水稻（つや姫、コシヒカリ）の収益性が最も高く、次いでハトムギの収益性が高くなっています。つや姫やコシヒカリは特別栽培米基準で栽培し、JA を通じて販売されています。それらの単価は慣行栽培より 60kg 当たり 300 円高いだけであり、特別栽培米よりも収量や品質（1 等米比率）の高さとその安定性が、収益に大きく影響していると考えられます。ハトムギは地元 JA を通じて製菓会社等に販売され健康食品等に加工されています。ハトムギの 2 分の 1 以上は輸入されており需要は高いようです。

大豆は販売収入から資材費を差し引いた限界利益はマイナスで、補助金により収益が確保されている状況です。牧草（放牧や緑肥利用）の販売収入はありませんが、資材費や労働時間は少なく、産地資金が交付されています（表 1 - 2）。

表 1 - 2 作物別の収益性等の比較（アグリード羽根）

	水稻 (つや姫)	水稻 (コシヒカリ)	大麦	ハトムギ	大豆	牧草 (放牧)
単収	563	496	263	236	107	
単価	232	232	110	270	62	
販売収入	130,616	115,072	28,930	63,720	6,634	
種苗費	2,687	2,492	6,053	3,892	5,429	1,718
肥料費	6,629	2,080	13,250	8,802	10,990	1,225
薬剤費	1,118	1,118	4,063	4,409	7,995	
その他	2,683	2,683				
放牧管理委託費						10,000
乾燥調製費	19,246	19,246	1,470	8,804	3,144	
出荷経費	632	632	425	2,286	748	
とも補償拠出金	2,000	2,000				
資材費・委託料金計	34,995	30,251	25,261	28,193	28,306	12,943
限界利益(販売収入－費用)	95,621	84,821	3,669	35,527	-21,672	-12,943
【補助金】						
畑作物直接支払					20,000	
水田利活用			35,000	35,000	35,000	
産地資金			15,000	25,000		28,000
環境直接支払い						
補助金合計	0	0	50,000	60,000	55,000	28,000
限界利益＋補助金	95,621	84,821	53,669	95,527	33,328	15,057
投下労働時間(時間)	15.00	15.00	14.77	18.18	19.59	2.85
時間当たり限界利益	6,377	5,656	248	1,954	-1,107	-4,549
時間当たり限界利益＋補助金	6,377	5,656	3,633	5,255	1,702	5,292

注：水稻単収はアグリード羽根のH26～H30年平均、ハトムギと大豆の単収はH26～29年平均。販売単価はいずれもアグリード羽根のH29年の実績。大麦の単収・単価は斐川町のH26～H30年の平均。資材費、投下労働時間はアグリード羽根のH28年の実績値。

アグリード羽根では、将来、4 人のオペレーターで 50ha の水田をフルに活用して他産業並みの所得確保の達成を目標としています。そこで、同法人の意向に沿って、4 人のオペ労働（ほかに臨時雇 4 人）のもとで、農牧輪換体系による所得最大となる作目構成等を試算し、経営面積や所得等を慣行の輪作体系と比較してみました（表 1 - 3）。なお、水稻の作付面

積は、ハトムギ及び大豆の作付面積合計の2倍以内（転作率33%以上）として計算しています。

試算の結果、以下のことが明らかにされました。慣行輪作（水稲-大麦-大豆）では、経営面積は42haにとどまり、目標の50haに達しない。また、オペ1人当たり所得は、463万円にとどまる。新輪作（水稲4作-ハトムギ-大豆）により、ハトムギの収益性が高いため、大豆の作付けを減らしハトムギを増やすことで、オペ1人当たり所得は33万円増加する。省力栽培の可能な放牧を含む農牧輪換によって、土地利用率は200%に達するが、慣行輪作よりも労働時間は減少する。産地資金の交付額が増加するため1人当たり所得はさらに増加する。

農牧輪換により水稲収量が慣行よりも約40kg増収する場合、1人当たり所得はさらに増加する。農牧輪換と排水対策の併用により大豆の収量が60kg増える場合は、1人当たり654万円の所得確保がはかれる。収益性の高いハトムギの連作が可能になった場合、ハトムギの作付を増やすことで所得はさらに増加すると試算されます。

表1-3 農牧輪換体系と慣行輪作体系の収益性比較

	慣行輪作 (水稲-大麦-大豆)	新輪作 (水稲-ハトムギ-大豆)	農牧輪換(水稲4作-放牧・ハトムギ-放牧・大豆)			
			放牧あり	水稲増収	大豆増収	ハトムギ連作可
水稲(つや姫)	2,421	2,006	2,006	2,006	2,006	2,150
水稲(コシ)	396	669	669	669	669	717
作付 大麦	1,409	-	-	-	-	-
面積 ハトムギ	-	669	669	669	669	1,017
(a) 大豆	1,409	669	669	669	669	417
牧草(緑肥)	-	-	2,675	2,675	2,675	2,867
牧草(放牧)	-	-	1,337	1,337	1,337	1,433
経営面積(ha)	42	40	40	40	40	43
未利用農地面積(ha)	8	10	10	10	10	7
作付面積(ha)	56	40	80	80	80	86
土地利用率(%)	133	100	200	200	200	200
労働時間(全体)	9,968	8,668	9,085	9,085	9,085	9,320
労働時間(オペ1人)	2,231	2,046	2,128	2,128	2,128	
農業産出額(万円)	3,695	3,661	3,661	3,909	3,934	4,398
補助金(万円)	988	636	1,225	1,225	1,392	1,491
付加価値額(万円)	2,432	2,458	2,794	3,043	3,101	3,555
オペ所得(万円/人)	463	496	577	639	654	753

注: 水稲増収は農牧輪換により、地域平均より約40kg増収、大豆増収は農牧輪換と排水対策による約60kg増収。付加価値額=オペ所得+臨時雇賃金(1500円/時間)+地代(1万円/10a)。

このように、慣行の「稲-麦-大豆」と比べて、「稲-ハトムギ-大豆」の新輪作体系の収益性は高く、さらに、牧草放牧を加えた「農牧輪換体系」や排水対策によって水稲や大豆の収量増加が図れるのであれば、慣行輪作の1.5倍の所得向上が期待されます。そこで、次節以降では、農牧輪換体系における有効な排水対策と、ハトムギ、大豆作の増収効果、農牧輪換体系における地力の変動、農牧輪換体系を活かした多収・高品質の主食用米栽培技術について紹介します。

2. ハトムギ、大豆、牧草の安定多収に必要な排水対策

(1) 調査の概要

1) 調査期間と調査対象圃場、土壌分類

平成 29 年から令和元年にかけて、島根県出雲市にあるアグリード羽根大豆作圃場において、調査を実施しました。日本土壌インベントリー (<https://soil-inventory.dc.affrc.go.jp/>) によると、調査対象圃場の土壌は、細粒質斑鉄形グライ低地土に分類され、地下水位が高く、排水不良にさらされやすい土壌であることが示されています。

2) 排水対策技術

表 2-1 に示した排水対策導入技術を導入した圃場を、調査対象としました。尚、モミガラ暗渠の施工にはスガノ社製のモミガラ暗渠埋設機（モミサブロー）を、穿孔暗渠の施工には北海コーキ社製の穿孔暗渠施工機（カットドレーン）を使用しました。

表 2-1 各年次に導入した排水対策技術

平成 29 年	平成 30 年	令和元年
無処理	弾丸暗渠施工	弾丸暗渠施工
弾丸暗渠施工		穿孔暗渠施工
モミガラ暗渠施工	モミガラ暗渠施工	

3) 調査項目と測定方法

調査では、土壌水分量・水ポテンシャル・地下水位の作付期間中の変動を観測しました。水ポテンシャルとは、土壌が水を引きつけている強さの指標で、値が大きいほど乾燥した状態を、小さいほど湿った状態を示します。この指標は、植物が土壌中にある水を吸いやすいかどうかの指標になります。それぞれの測定項目は専用のセンサー（METER 社の EC-5、MPS-2、CTD-10）を使用しました。

(2) 調査結果

1) 気象条件

気象庁のデータ（斐川）をもとに調査期間の降雨量を図 2-1 に示しました。平成 29 年度と令和元年度は、播種適期にあたる 6 月上旬以前の降雨が平年値を大幅に下回り、他の作業も順調に進んだため、大豆の播種も計画通りに実施できました。加えて、播種直後に降雨

に恵まれたため、高い出芽率が確保されました。一方、平成30年度は播種適期の降雨量が多く、播種が7月中旬まで延期されてしまいました。

その他、平成30年度は7月と9月に豪雨に見舞われるなど、極端気象（降れば大雨、晴れば長期間の無降雨）が確認されました。

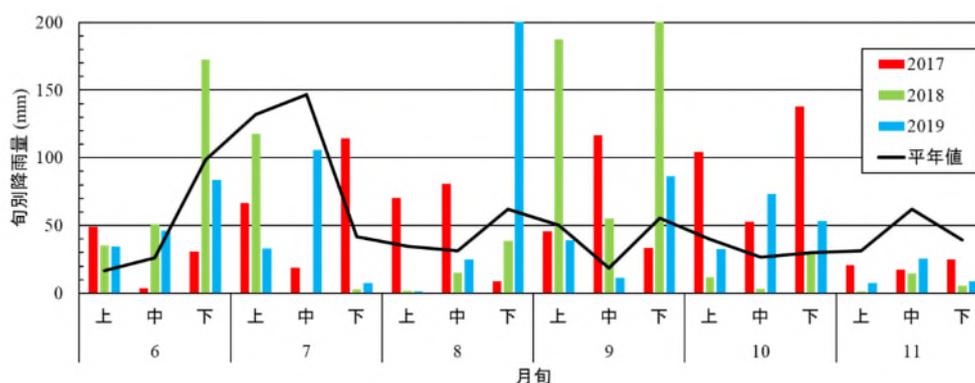
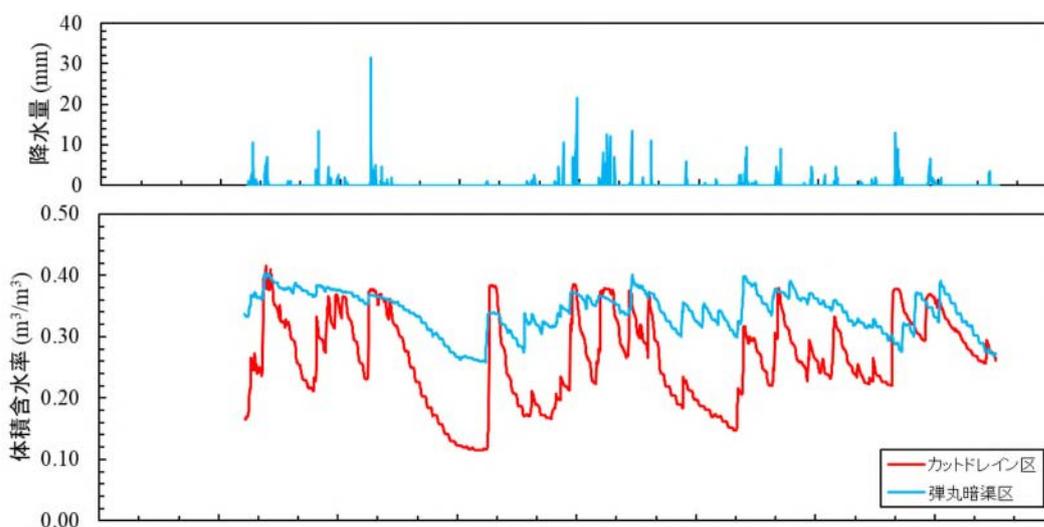


図2-1 大豆作期間中の降雨量の平年値との比較

2) 土壌水分量・水ポテンシャル・地下水位の推移

平成30年度大豆作付期間中の弾丸暗渠施工区とモミガラ暗渠施工区の土壌水分量（体積含水率）・水ポテンシャル（pF）・地下水位の推移を図2-2に示しました。土壌水分量（体積含水率）は降雨に反応して、上昇・下降を示していますが、カットドレーン区の方が降雨後の土壌水分量の低下が速やかであったことがわかります。しかし、水ポテンシャル（pF：土壌の水を引きつける強さ＝植物の水の吸いにくさ）でみると、両区に大きな差は確認されませんでした。また、地下水位についても、無降雨期間にカットドレーン区の方が深くまで下がっていましたが、上昇・下降の傾向に大きな差異は確認されませんでした。



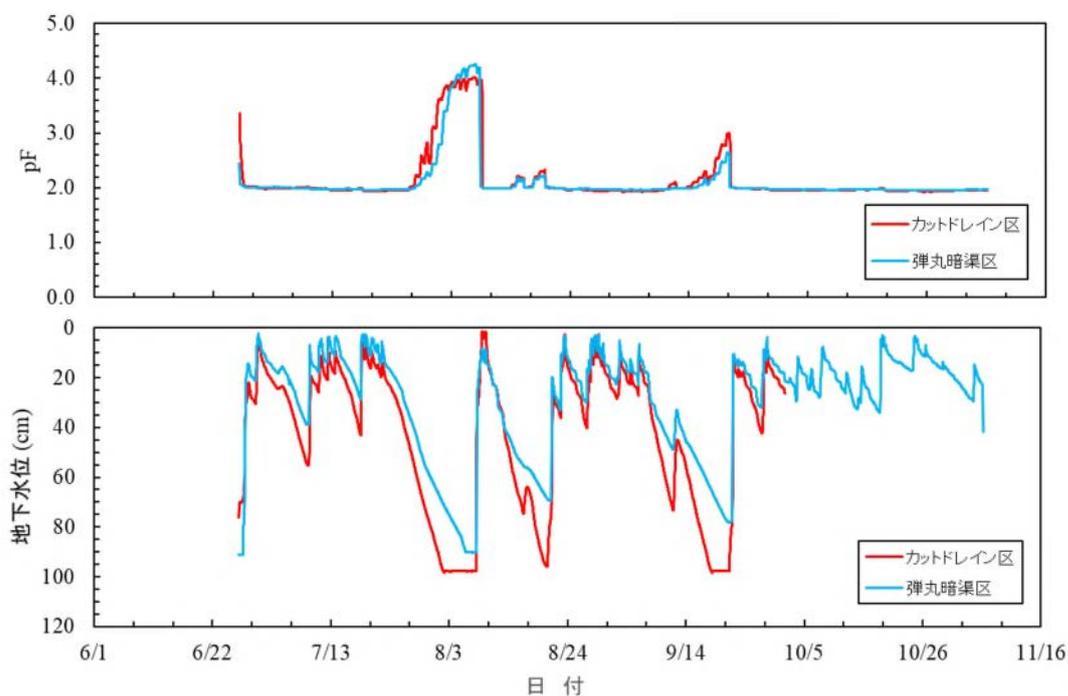


図 2-2 土壌水分量・水ポテンシャル・地下水位の作付期間中の推移

3) 排水対策技術の導入効果

前に示した水ポテンシャル (pF) を指標にして、本プロジェクトの実施期間中の処理区の土壌水分状態を解析しました。pF が 2.0 以下の時を湿潤、2.0~3.0 を好適、3.0 以上を乾燥として、作付期間中の土壌水分状態を区分すると図 2-3 のようになります。全ての年次で実施された弾丸暗渠区を軸に考えると、2017 年度はモミガラ暗渠区 (モミサブロ区) の排水対策効果が上回りましたが、2018 年度には逆に下回りました。また、2019 年度は穿孔暗渠区 (カットドレーン区) の排水対策効果は、弾丸暗渠区と同程度でした。このように、降雨の時期や降雨量の年次変動が著しく、統一した傾向は掴めませんでした。今後、施工効果の持続性や、播種後の苗立ち時期等の期間を限定した上で、苗立ち率等の作物側のデータと併せて解析をしていきます。

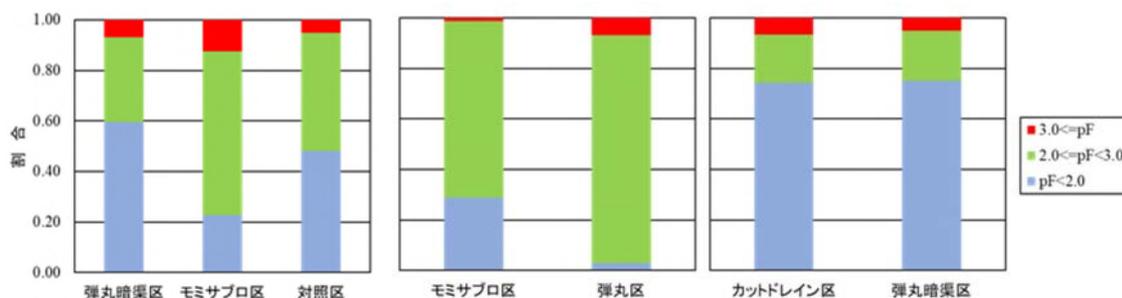


図 2-3 土壌水分状態毎の作付期間中の割合 (左から 2017、2018、2019 年度)

(3) まとめ

1) 解析結果のまとめ

2017年度にはモミガラ暗渠施工の排水対策効果が最大でしたが、2018年度は逆に弾丸暗渠施工区の方が上回りました。2019年度には弾丸暗渠施工と穿孔暗渠施工では同等の排水対策効果を示しました。このように、降雨時期や降雨量の年次変動が大きく、その効果は一定しませんでした。

2) 排水をより確実にするために

水田で畑作を実施する際には、排水対策技術の導入が必須になります。これは、水田が水を貯めるために設計・造成されているからです。

排水対策の基本は、圃場や土壌に水を浸み込ませないことにあります。すなわち、降雨を速やかに圃場外に排出できるように、額縁明渠の施工が必須と言えます。この際、排水口まで明渠がなめらかに繋がるように注意が必要です。また、非耕作期には中溝も施工して、圃場の乾燥に努めることが推奨されます。

浸み込んでしまった水を排出するためには、弾丸暗渠などの施工によって作土中に排水経路を確保することや、心土破碎（耕盤の破碎）によって、下層に水を排出することが有効だと考えられます。

その他、入水口を閉めておく、排水口の堰板を挙げておく等、水の出入り口を確認して、適切に対処すると言った基本的対策の励行が求められます。

3. ハトムギ、大豆の安定多収栽培

(1) 本輪作体系におけるハトムギと大豆の播種までの作業体系と排水対策

図3-1に放牧後の播種までの作業工程を示しました。5月に放牧が終了した後に水稻の移植作業と並行してハトムギと大豆の播種までの作業が行われます。

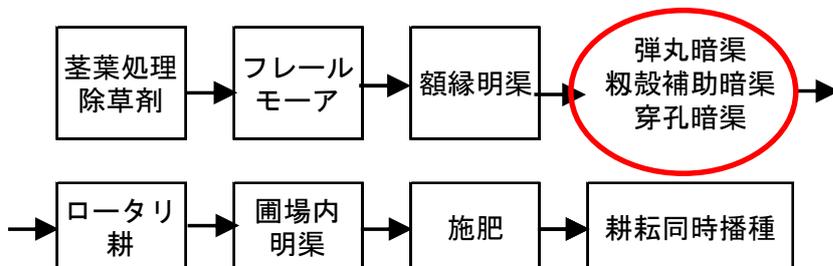


図 3-1 放牧後作の大豆、ハトムギの播種までの作業工程
現地法人からの聞き取りによる。楕円○内は大豆の
試験で検討した排水対策。

ハトムギは播種が6月中旬より遅くなると減収します(図3-2)。大豆も梅雨明け後の極晩播になると減収します。放牧終了後は梅雨の時期でもあり、播種までの作業を適期内に終わらせるには降雨後に機械作業を早く開始できるようにすることが必要です。それには圃場の排水対策が重要です。また、ハトムギも大豆も生育初期の湿害に弱いため、苗立ちや収量にとって排水対策は重要です(図3-3)。その一方で、ハトムギと大豆は開花・結実期以降は多量の水を必要とする作物なので灌水が必要な場合があります。

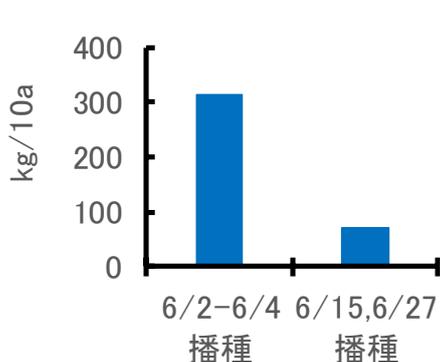


図3-2 ハトムギの播種期と収量
(H28年、出雲市現地)

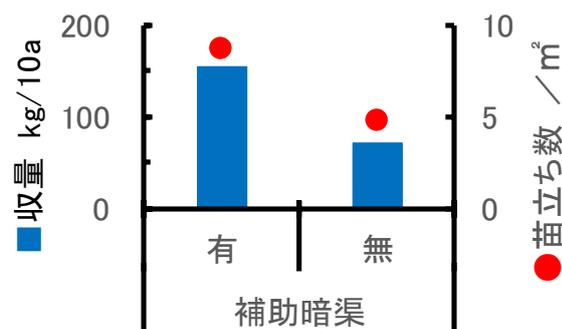


図3-3 補助暗渠の有無と大豆の苗立ち
及び収量 (H28年、出雲市現地)

水田転換畑の排水対策として転換畑圃場のブロック化は重要です。道路や排水路で区切られたいくつかの圃場を全て転換畑とし、隣接する水田からの浸透水や水田に給水する用水路からの漏水を防ぎます。(図3-4)。出雲市現地では転換畑と水田が隣り合う場合もありました。

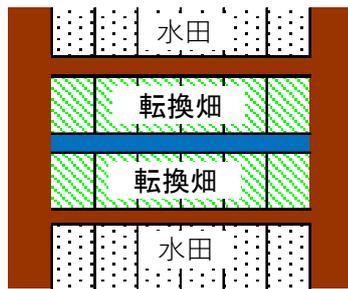


図3-4 転換畑のブロック化
 ■は排水路。■は道路。

圃場から速やかに排水するには圃場排水対策→末端排水路→支線排水路→基幹排水設備までが整備されている必要があります。出雲市現地では圃場の営農排水対策として、圃場周囲に掘る額縁明渠、圃場内部に掘る基幹明渠、補助暗渠の施工等が行われていましたが、いくつか問題点がありました。

明渠では額縁明渠と基幹明渠の接続や額縁明渠と落水口の接続が不良で明渠にたまった水が圃場外に水が排出されないこと等が観察されました。明渠は水が滞りなく圃場外に排出されるよう手直しが必要です（図3-5）。水田を転換畑として利用する場合、落水口を水田の時よりも深い位置に設置するとよいでしょう（図3-6）。



図3-5 出雲市地圃場の額縁明渠と落水口の接続不良と(左)と圃場内部の明渠と額縁明渠の接続不良(右)

左は明渠の水が落水口の出口○から排出されていない。右は播種時に埋まった明渠を掘り直したが、その部分□が浅いため額縁明渠まで水が流れていない。



図3-6 落水口の使い分け
 □は水稻時、△は転換畑の時。

サブソイラや弾丸暗渠は本暗渠未施工の圃場や本暗渠が機能していない圃場では効果がない場合があります。出雲市の現地で30年度に大豆の試験に使用した圃場は本暗渠の老朽化と湧水と用水路の漏水の影響で、補助暗渠の効果は小さく、土が乾かず軟弱で作業機の深い轍ができました(図3-7)。本暗渠は機能を維持するためにメンテナンスが必要です。湧水にはそれに対応した明渠や暗渠の設置が必要と考えられます。



図3-7 出雲市地圃場の籾殻補助暗渠圃場(左)と水口側に明渠にたまった水(右)
 本暗渠は左右の圃場ともに施工されていたが老朽化して無効であった。
 左の図の赤い楕円は籾殻補助暗渠部。土が湿って軟らかいため轍(↓)が深い。
 右の図の撮影前の2週間の降水量は0mm。

(2) 放牧あと大豆に対する補助暗渠の効果について

出雲市の現地圃場において一般的な弾丸暗渠、モミガラ暗渠埋設機(スガノ農機、商品名モミサブロー、以下、籾殻暗渠)、穿孔暗渠施工機(北海コーキ、商品名カットドレーン、以下、穿孔暗渠)を用いて補助暗渠の種類が放牧あとの大豆の生育・収量に及ぼす影響を検討しました。

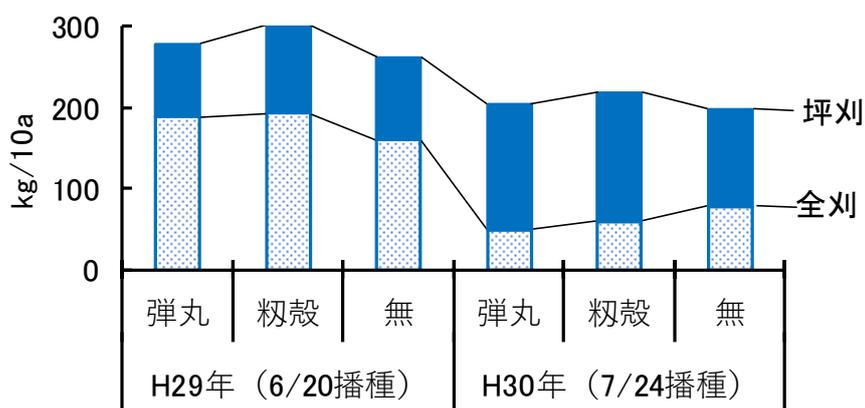


図3-8 補助暗渠の種類と大豆の収量(H29、H30年)
 弾丸は普通の弾丸暗渠。籾殻はモミガラ暗渠埋設機(スガノ農機、商品名モミサブロー)。無は本暗渠、補助暗渠ともに無し。

図3-8に弾丸暗渠(弾丸区)と籾殻暗渠(籾殻区)の比較を示しました。29年度は弾丸区と籾殻区の収量は本暗渠と補助暗渠の両者が無い区(無区)に比べ高くなりました。また、弾丸区と籾殻区の差は小さく、効果に大きな差はないと考えられます。本暗渠が老朽化し湧

水や水路からの漏水がある圃場で試験をした30年度は弾丸区、粃殻区ともに効果は明らかではありませんでした。

令和元年は本暗渠が機能している圃場で穿孔暗渠を補助暗渠として施工した場合の苗立や収量の改善効果を検討しました(図3-9)。穿孔暗渠を施工した区(穿孔区)は本暗渠と補助暗渠の両者が無い区(無区)に比べ生存株率が高く、苗立ちが改善されました。苗立調査時の観察では、無区には雨で水たまった場所で枯死株が多発しましたが、穿孔区ではそのような場所はありませんでした。生育途中に病害や湿害で枯れることなく正常に成熟した株(図の正常株)の割合も穿孔区がより高かったです。収量は穿孔区が無区より高い傾向がありました。本暗渠が機能している圃場に補助暗渠として穿孔暗渠を施工することは大豆の苗立ちや収量の改善に有効と考えられます。

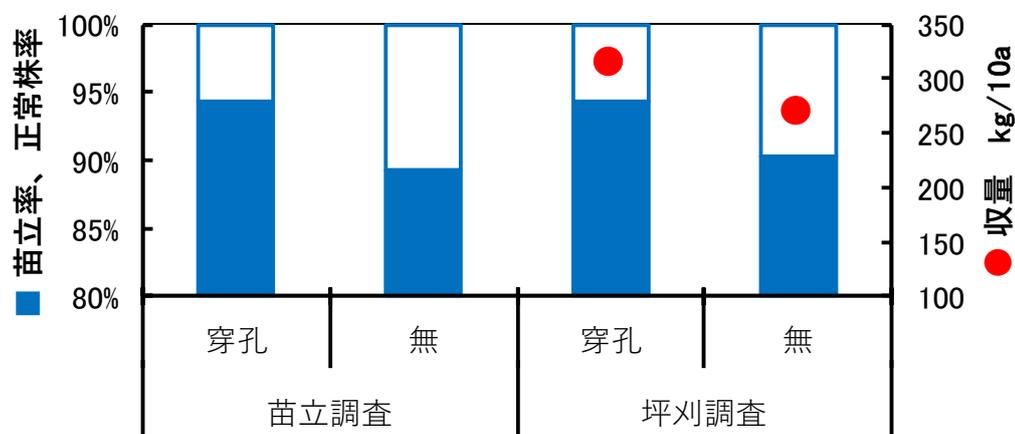


図3-9 穿孔暗渠による苗立ち(■)及び収量(●)の改善(R1年度)

穿孔は本暗渠整備圃場に穿孔暗渠施工機(北海コーキ、商品名カットドレーン)で補助暗渠を施工した区。無は本暗渠、補助暗渠無しの区。正常株は病害や湿害で早期に枯れることなく成熟した株。6/26播種。

(3) その他の問題点

ハトムギでは登録のある除草剤が少ないため雑草防除が問題となっています。また、大豆では青立ちが問題となっています。葉が落ち、茎水分が下がるまで収穫が遅れるので、損失が増えて収穫量がへり、汚損粒等の増加により品質や検査等級が低下します。出雲市現地では収穫を諦めた年もありました。青立ちは葉に対して莢が少ないと起こります。子実害虫の防除に加え、開花着莢期の降雨が少ない場合は灌水を行い落花・落莢を防ぐことが重要です。

2) 輪作体系における家畜ふん尿、作物残渣等からの肥料成分投入量とその特徴

玄米タンパク質含有率に大きな影響を与えるものとして、可給態窒素（いわゆる地力窒素）が挙げられます。そこで、作期の前後の土壌について可給態窒素を測定し、その作付の間での地力の増減を確認しました（図4-3）。

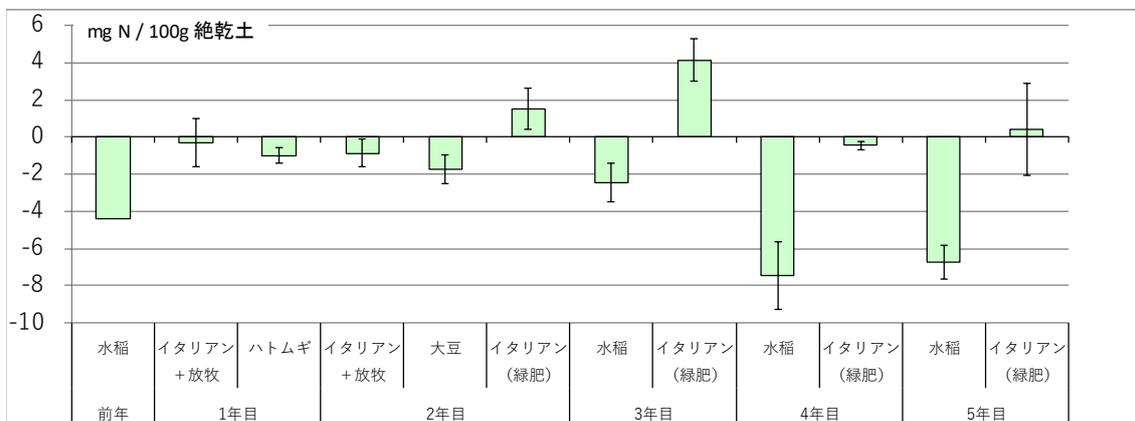


図4-3 作付期間中の可給態窒素の増減

この図から、大豆作後及び水稲1作目の後のイタリアンライグラス（表中ではイタリアン）の期間に増加しており、また、水稲1作目の作付期間中の地力窒素の消耗は、2作目以降の消耗よりも小さいことがわかります。

表4-1 放牧中の家畜ふん尿からの肥料成分

それでは、何がこのような変化の原因になっているのでしょうか。まず考えられるのは、放牧中の家畜ふん尿からの肥料成分の投入です。しかし、表4-1にまとめた通り、放牧期間が短く、頭数も少ないため、放牧牛からの肥料成分の投入量は多くありません。

		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO
		(kg / 日)				
肉用牛	ふん	0.08	0.06	0.06	0.06	0.03
	尿	0.013		0.043	0.001	0.001
ふん・尿合計(kg/頭・日)		0.09	0.06	0.11	0.06	0.03
10日・頭(kg)		0.92	0.64	1.06	0.62	0.30

それ以外で考えられるのは、圃場に還元される作物残渣等の有機物です。ハトムギ残渣や収穫時に圃場にこぼれた落ちた大豆（大豆収穫ロス）からの窒素の圃場還元量が大きいことがわかります（表4-2）。

表4-2 作物残渣等からの肥料成分

	含水率	全炭素	全窒素	C/N比	P	K	圃場還元量 kg/10a	還元窒素量	還元リン酸量	還元カリ量
	--- % ---	--- 乾物% ---			--- 現物% ---	N kg/10a		P ₂ O ₅ kg/10a	K ₂ O kg/10a	
ハトムギ残渣	8.1	44.2	0.81	55	0.16	1.08	640	4.8	2.3	8.3
大豆茎	8.2	46.7	0.79	59	0.14	1.04	50~80	0.4~0.6	0.2~0.3	0.6~1.0
大豆さや	12.4	44.6	1.39	32	0.18	1.70	70~80	0.9~1.0	0.3	1.4~1.6
大豆収穫ロス	8.3	49.5	7.76	6	0.73	1.98	30~150	2.1~10.6	0.5~2.5	0.7~3.6
イタリアン	4.6	43.8	1.36	32	0.31	2.61				

3) 作物残渣等の有機物由来の窒素供給の特徴

化学肥料と違い、有機物中の肥料成分、特に窒素は、そのまま作物に利用される訳ではあ

りません。C/N比の高い有機物では、有機物が微生物により分解される過程で窒素が微生物の増殖に利用されるため、土壌中には放出されず、むしろ土壌中から減少することがあります。そこで、作物残渣等を水田状態の土壌に混和し、30℃で培養し、実際に放出される窒素量を測定してみました。

表 4-3 水田状態・30℃での作物残渣等からの可給態窒素供給量

ハトムギ残渣は表 4-2 で
は 5kg/10a 弱の窒素を圃場
に供給すると読めますが、表
4-3 からは、圃場に還元さ
れた直後はむしろ土壌中の窒
素を収奪することがわかりま

	4週	8週	12週	16週
	----- N (g) / kg (現物) -----			
ハトムギ茎	-0.4	0.2	-0.2	-1.0
大豆茎	-0.2	0.6	-0.7	-0.8
大豆さや	5.1	0.0	-0.1	-0.9
大豆(粒)	30.4	34.6	38.8	50.0
イタリアン	1.1	0.4	1.1	1.5

す。ただ、これらの窒素は地力窒素として
長期的に見ると土壌中に放出され、作物に
利用されます。また、大豆(粒)、すなわち
収穫ロスからの窒素供給量は、表 4-2 同
様、無視できない値になっています。

実証経営体では、平成 29 年は 34~55kg、
平成 30 年は約 150kg、令和元年は 26~60kg
の収穫ロスが発生しています。そこで、圃
場への収穫ロスの還元量から、窒素の供給
量の推移を求めてみました(図 4-4)。

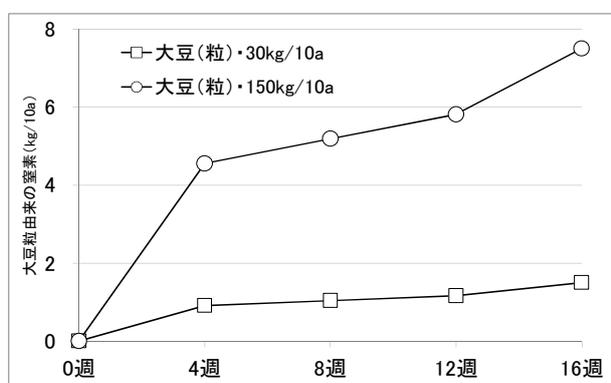


図 4-4 水田状態・30℃での圃場への大豆
収穫ロスからの可給態窒素還元量

収穫ロスが 30kg 程度ならば、16 週間で 2kg 未満と影響は限定的と考えられますが、
150kg になると、12 週~16 週の間 2kg 近く窒素が供給されるため、玄米タンパク質含
有率への影響が懸念されます。ただ、注意が必要なのは、これはあくまで 30℃での室内で
の培養の結果だという点です。実際の圃場では、収穫ロスが地面に落ちてからの期間はず
っと長いのですが、落ちた直後は地温が低く、分解が進まないと考えられます。また、水稲栽
培期間でも地温が 30℃を超えるのは生育後半になってからだと考えられます。

4) 水稲栽培への影響

以上の分析結果を踏まえ、図 4-3 でどのようなことが起こっているか考えてみましょ
う。大豆栽培後に、収穫ロスが圃場に還元されます。ただ、その時は地温が低いため、分解
はあまり進みません。そのため、水稲作前の可給態窒素の増加は大きくありません。その後、
水稲 1 作目の期間にハトムギ残渣や圃場にこぼれ落ちた大豆の分解が起こります。放出さ
れた窒素は水稲に吸収され収量とタンパク質含有率を押し上げるとともに、土壌の可給態

窒素を補充します。その結果、水稲1作目の可給態窒素の減少幅は小さくなります。

この地域では、水稲（つや姫）はまだ地温の高い9月上旬に収穫されます。水稲収穫後も大豆収穫ロスの分解は続き、水稲1作目後のイタリアンの栽培期間に可給態窒素を増加させます。そして、その可給態窒素は水稲2作目に放出され水稲の収量と玄米タンパク質含有率を押し上げます。ただ、この作期までにハトムギ残渣や大豆の分解は終わっていると考えられ、水稲栽培期間に可給態窒素は補充されないため大きく減少し、その後のイタリアンの栽培期間にも増加しない、と考えられます。ただし、収穫ロスの量は年ごと・圃場ごとに大きく異なると考えられ、地温の推移も年により異なるため、一律に同じような現象が起こるとは限りません。実際、水稲1作目後の可給態窒素の増加がごく僅かな年もありました。

このように、この作付け体系では畑作期間中に圃場に還元された有機物や冬期の緑肥作物が地力窒素を増進させ、水稲作の収量増加に繋がっていると考えられます。しかし、ハトムギ残渣や圃場にこぼれ落ちる大豆の量は年により変動が大きいため、次項で説明する通り、水稲作においては葉色等を確認して追肥量を調節することが必要です。また、玄米タンパク質含有率を上げないためには、前項での説明の通り排水対策を十分に行い、大豆の生育を良くして草丈を確保すること、コンバインの作業性を良くすることにより、圃場にこぼれ落ちる大豆の量を減らすことも大切です。

（2）参考：ケイ酸施肥のタイミングとその効果

1）ケイ酸施肥の効果

土づくり肥料としてケイ酸はよく利用されています。ただ、ケイ酸肥料自体に収量を増加させる効果はありません。水稲の根張りが良くなるため、気象条件が悪い場合も、極端な減収になりにくい、といった効果があるとされています。

2）ダイズ作前のケイ酸肥料施用の影響

この営農組合では、大豆作前に pH 矯正用にケイ酸を含む資材を施用しています。ケイ酸肥料を効かせたいのは大豆

作ではなく翌年の水

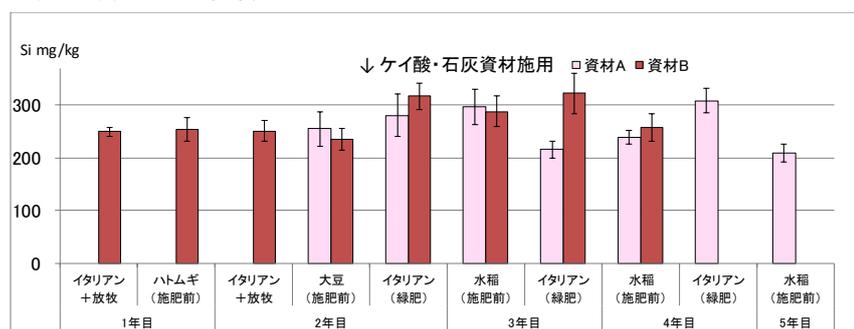


図4-4 土壌の可給態ケイ素の推移

Aから緩効性の資材Bに変更してもらいました。どちらの資材でも、翌年の水稲作まで土壌中のケイ素は高い状態が維持されました（図4-4）。ただし水稲2作目の前には元の水準に戻ったため、ケイ酸資材はある程度継続的に施用する必要があると考えられます。

5. 輪作体系を活かした特別栽培米の生産

(1) 本輪作体系での主食用米栽培の特徴

本輪作体系では、前作のイタリアンライグラスを使った放牧やハトムギ、大豆栽培に伴う地力の向上により、水稻に関しては施肥量の削減が期待できます。島根県出雲市にある現地では、向上した地力を活用し、さらに鶏ふんや有機入り化成肥料を組み合わせ、特別栽培基準（化学肥料 4kg/10a 以下）で水稻が栽培されています。本輪作体系を活用した特別栽培米生産の現状を把握するため、2016～2018 年の 3 年間、水稻移行後年数の異なる水田における主食用水稻（品種：つや姫）の収量を坪刈り調査したところ、水稻移行後 1～4 年目の水田のいずれにおいても、精玄米重（篩目 1.90mm）は 600kg/10a 以上であり（図 5-1）、現地のある島根県出雲市の 2016～2018 年の平均単収 546kg/10a よりも 1 割以上多収となっていました。4. の（1）で示されているように、前作による地力の向上効果は水稻移行後 1～2 年目で顕著で、その後漸減していくと考えられ、それに対応して、精玄米重も水稻移行後 1～2 年目で高く、その後は年数が経過するにつれて減少する傾向となっていました。なお、地力の向上効果は玄米タンパク質含有率においても認められ、年数が経過するにつれて低下する傾向が認められるものの、全体的に玄米タンパク質含有率が高い傾向が認められました（図 5-1）。

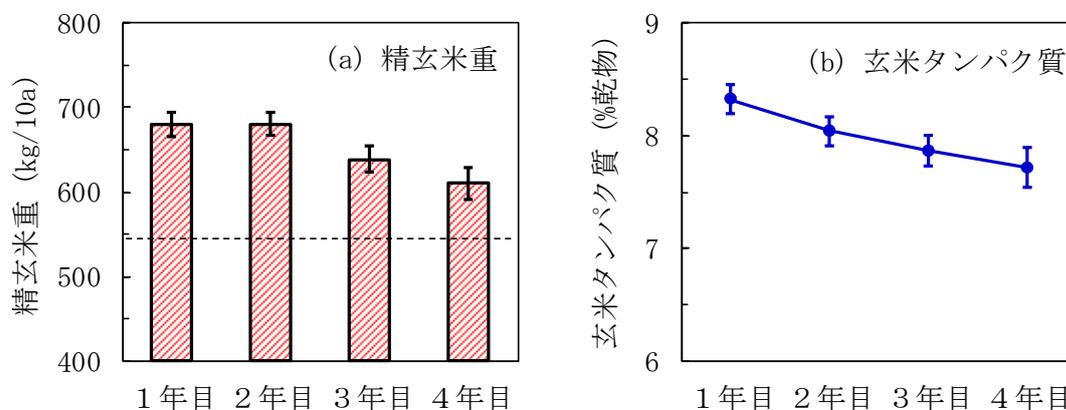


図 5-1 水稻移行後年数の異なる水田における(a)精玄米重と(b)玄米タンパク質含有率
値は 2016～2018 年の平均値。各年、同じ水稻移行後年数の水田 2～3 圃場について調査。精玄米重のグラフにおける点線は、島根県出雲市における 2016～2018 年の平均収量（平成 28 年産、平成 29 年産および平成 30 年産水稻の市町村別作付面積、10a 当たり収量、収穫量（島根県）より算出）。

(2) 多収要因の解析と収量構成要素の目標

現地での収量構成要素の調査結果と島根県の生育・収量目標を比較すると、登熟歩合と千粒重は大差がないのに対し、 m^2 あたりの籾数が現地では多く、籾数の増加が現地での多収要因と判断されました（表5-1）。実際に、年次によって若干の差はありますが、籾数と精玄米重の間に正の相関関係が認められました（図5-2）。また、同様の相関関係は籾数と玄米タンパク質含有率においても認められたことから（図5-2）、本輪作体系での水稻生産においては、籾数の制御が収量と品質の両立に重要であり、玄米タンパク質含有率の上昇を抑えるため籾数過多を防ぎつつ、目標収量が実現できる籾数を確保すべきと考えられます。そこで、精玄米重と籾数の回帰式から現地で精玄米重 600kg/10a を得るために必要な籾数を算出すると、2016年は 32.0 千粒/ m^2 、2017年は 32.7 千粒/ m^2 、2018年は 27.4 千粒/ m^2 となり、安定的に精玄米重 600kg/10a を得るには籾数 32.7 千粒/ m^2 を確保することが好ましいと考えられました。坪刈り調査の結果を踏まえると、精玄米重 600kg/10a、籾数 32.7 千粒/ m^2 を実現するための現地での収量構成要素の目標水準は表5-2のような値となります。

表5-1 収量構成要素の比較

	籾数 (千粒/ m^2)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
現地調査平均値 (2016~2018年)	34.3	84	22.7
島根県「つや姫」生育・収量目標*	28.0	82	23.0

* 島根県農林水産部「水稻・麦・大豆指導指針（令和元年度）」より

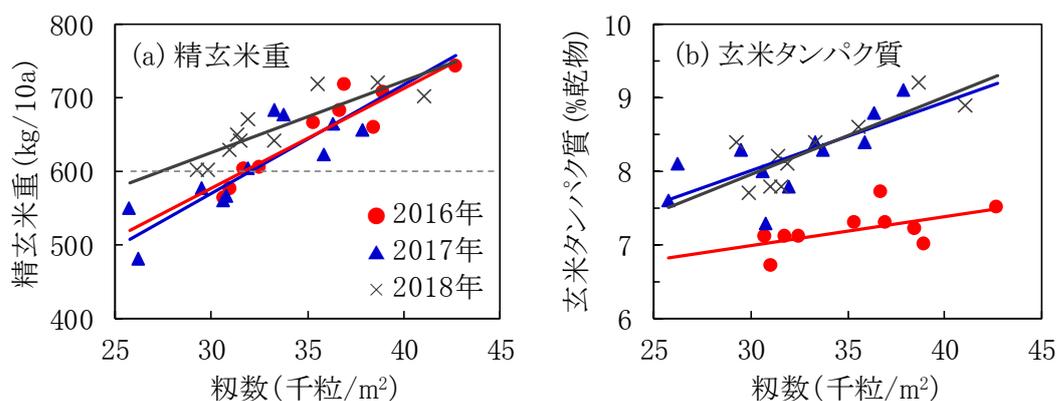


図5-2 現地における籾数と(a)精玄米重および(b)玄米タンパク質含有率の関係
各点は2016~2018年の圃場ごとのデータ。

表5-2 単収 600kg/10a 実現のための収量構成要素の目標水準

穂数 (本/ m^2)	一穂籾数 (粒)	籾数 (千粒/ m^2)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)
410	80	32.7	82	22.4

(3) 生育診断に基づいた穂肥の調整による籾数過多の防止

水稲の籾数は出穂までの窒素吸収量の影響を強く受けることが知られています。このことから、窒素施肥量を調整することにより、籾数を目標水準に調整することが可能と考えられます。施肥には作付前に施用する基肥と栽培期間中に施用する追肥の2種類がありますが、本輪作体系では、前作による土壌への窒素蓄積の影響が大きく、蓄積された窒素の発現は気象条件や立地によって大きく変動することから、これらの影響が現れた後の追肥で施肥量を調整するほうが適切であると考えられます。そこで、最も一般的な追肥である穂肥（出穂2～3週間前に実施）を対象に、生育診断による施肥量の調整法を検討しました。

生育診断法としては2種類の方法を検討しました。一つ目は、これまでも広く活用されてきた草丈、茎数、葉色を測定し、これらを掛け合わせる方法（指標値①）で、もう一つは植物群落の分光反射特性を利用して植物の量や活性度を評価する正規化植生指標（NDVI）を用いる方法（指標値②）です。具体的には、診断法①では、株ごとに草丈（cm）、茎数（本/m²）、葉色（葉緑素計 SPAD-502Plus（コニカミノルタ製）による測定値）を測定し、草丈×草丈×茎数×葉色÷10⁷を算出します。また、指標値②では、携帯型 NDVI 測定機（GreenSeeker ハンドヘルド（ニコン・トリンプル製））を地上 90cm の高さで株の直上に固定し、約 3 秒間を測定します。なお、調査株数は両指標とも圃場あたり 10 株程度です。

水稲移行後 2～4 年目の圃場を対象とした 3 年間の試験データを用い、これらの指標値および穂肥窒素量（kg/10a）と籾数（千粒/m²）の関係を重回帰式という方法で求めると、

$$\text{籾数} = 1.76 \times \text{指標値①} + 3.61 \times \text{穂肥窒素量} + 18.5 \quad (R^2=0.642, p<0.001)$$

$$\text{籾数} = 1.69 \times e^{4.42 \times \text{指標値②} - 1.25} + 2.8 \times \text{穂肥窒素量} + 19.7 \quad (R^2=0.493, P<0.01)$$

で表されました。本研究では、指標値①のほうがより当てはまりが良好でしたが、簡易かつ省力的に測定できる指標値②も利用可能と判断されました。そこで、上記の2式をもとに、現地における水稲移行後 2～4 年目の穂肥窒素量決定のための幼穂形成期生育診断基準を策定したところ、表 5-3 のようになりました（水稲移行後 1 年目は穂肥不要）。なお、ここで示した基準値そのものは、本試験の現地でのみで適用可能なものですが、「生育診断による穂肥の調整」という手法は他地域でも適用できると考えられます。

表 5-3 穂肥量決定のための幼穂形成期生育診断基準（水稲移行後 2～4 年目）の例

生育診断基準		必要穂肥窒素量 (kg/10a)
指標値①	指標値②	
6.0 未満	0.69 未満	1.5
6.0～7.0	0.69～0.72	1.0
7.0～8.0	0.72～0.75	0.5
8.0 以上	0.75 以上	0

指標値①：草丈（cm）×草丈（cm）×茎数（本/m²）×葉色（葉緑素計による測定値）÷10⁷

指標値②：GreenSeeker を地上 90cm の高さで株の直上に固定し、約 3 秒間測定した NDVI

6. 農牧輪換体系の普及条件—耕畜連携による放牧の運営管理システム—

農牧輪換の実施には、放牧する家畜が必要となります。中国地域ではすでに 50 を超す集落営農法人で水田放牧が行われています。そのうち半数は法人自ら繁殖牛を保有し放牧をしつつ子牛生産を行い、半数は畜産経営と連携し畜産経営の繁殖牛を集落営農の水田で放牧しています。アグリード羽根の取り組みは後者になりますが、その普及には、集落営農法人等の耕種経営と畜産経営、双方に利益があり、放牧管理について納得できる運営システムが必要となります。ここでは、実証経営体を含む地域の放牧運営の取り組みを紹介します。

(農)アグリード羽根を含む斐川町の放牧運営は、現在 7 つの集落営農を含む 9 つの水田作経営と 11 の和牛繁殖経営、及び放牧利用組合により行われています。集落営農法人はそれぞれの営農体系の中で、一定の水田を放牧用地に当て牧草の栽培を行います。牧草放牧により水田の省力的管理と水田利活用の直接支払い交付金が得られることから、放牧地管理委託料として 10a あたり 1 万円を放牧利用組合に支払います (図 6-1)。

11 の和牛繁殖経営は合計約 130 頭の繁殖雌牛を飼養し、そのうち妊娠確認牛を春から秋にかけて放牧します。放牧によって給餌や排せつ物処理など飼養管理の省力化や飼料費の節減が図れることから、放牧利用組合に 1 日 1 頭あたり 200 円を放牧牛の管理委託費用として支払います。

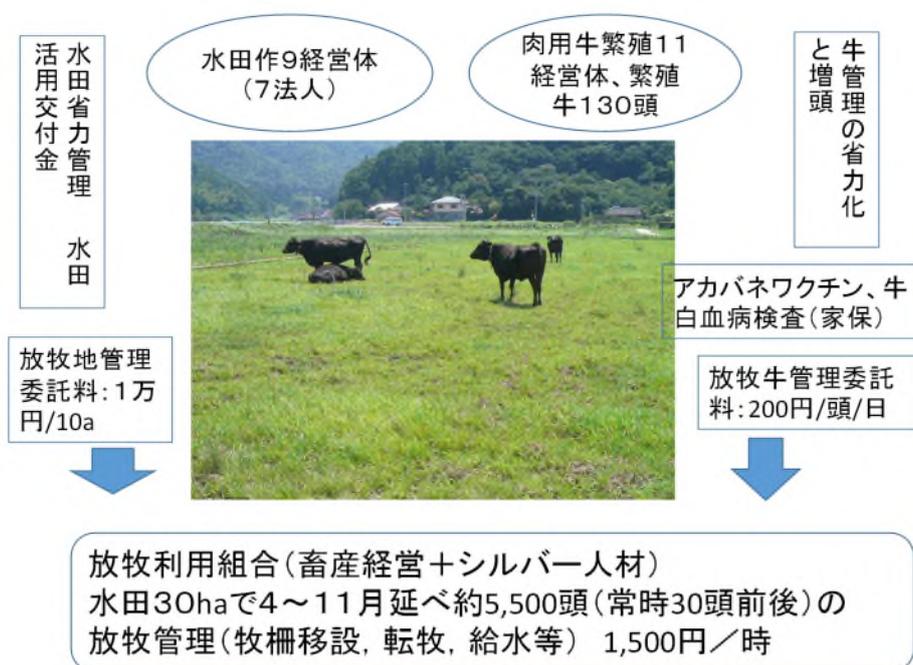


図 6-1 耕畜連携による水田放牧の運営 (斐川町)

放牧利用組合は、畜産農家が地元のシルバー人材を利用しつつ運営しています。主な活動は、牧柵資材の購入、牧柵の移設、放牧牛の捕獲・移動 (転牧)、毎日の観察と給水、補助

飼料の給与等で、集落営農法人と畜産経営からの管理委託料（計約 430 万円）を原資に行われています。主な経費は施設・資材費 194 万円と、管理作業費 160 万円（組合員は 1 時間当たり 1500 円）です。このほか、放牧終了時の受胎確認料の助成や流産等の事故の際の見舞金が管理委託料から支払われ、令和元年度からは牛の脱柵による事故に備えて、対物最大 1 億円の責任賠償保険（掛け金 7 万円）に加入しています。

この耕畜連携による放牧運営システムの特徴は、耕種経営と畜産経営との間に、放牧利用組合を設けて、同組合が水田管理と放牧牛の管理を請け負う形式を採用している点にあります。耕種経営と畜産経営が放牧運営について直接、交渉する場合、利害調整が困難になることが少なくありません。たとえば、耕種経営は水田で、畜産経営の牛を養っているのだから牛の飼養管理預託料の要求が発生しやすく、畜産経営は保有する牛で、耕種経営の水田を管理しているのだから土地管理料の要求が発生しやすく、運営がまとまり難くなります。放牧管理組合の設置はこうした利害調整に一定の役割を果たしていると考えられます。

耕種経営、畜産経営の双方にメリットのある運営システムですが、以下のように問題点も少なくありません。①和牛繁殖経営及び繁殖牛頭数の減少により、放牧面積に見合う放牧頭数が減少していること、②和牛繁殖経営の望む放牧期間と、集落営農法人の営農体系のもとでの牧草栽培時期及び放牧飼養期間の不一致、等です。

2005 年の放牧開始当初は、3 つの集落営農法人の水田約 20ha に対して、年間延べ 11 千日頭の繁殖牛の放牧が行われていました（1ha あたり 550 日頭）。現在、水田放牧面積は 1.5 倍に増えていますが、放牧頭数は 2 分の 1 に減少しています。畜産経営の繁殖牛飼養頭数は 110 頭から 130 頭に増えており、畜産経営側からは常時 65 頭前後、年間延べ 15 千日頭の放牧は可能な状況であり、春から秋の長い期間、多くの妊娠牛の放牧を望んでいます。実際の放牧期間は 3 月下旬から 11 月下旬まで長く行われていますが、牧草生育の最も少ない時期に放牧頭数を合わせているため、平成 30 年度の放牧実績は約 30ha の水田で延べ 5500 日頭にとどまっています。これは水田放牧による産地資金需給の最低条件（1ha 当たり 180 日頭以上の放牧）のレベルです。実証経営体のように、ハトムギや大豆の前作の 3-5 月に限って放牧を行っていることもその理由の一つです。一部の水田は春から秋まで通して放牧利用を行い、翌年以降にハトムギや水稲の作付けを行うなど、新たな輪作体系の構築が必要と考えられます。それにより面積当たり放牧頭数の増加と地力向上、水田管理の省力化と規模拡大、そして畜産経営側の飼養管理のいっそうの省力化と規模拡大が可能になると考えられます。

以上のように、耕畜連携による水田放牧の普及を図るためには、放牧運営（放牧頭数と放牧面積、放牧実施期間の調整等）や放牧水田の管理（牧草栽培や放牧跡地の整備、地力ムラ対策等）や放牧牛の管理（牧柵の移設、放牧牛の捕獲・移動、脱柵等のリスク対応等）を関係者で十分協議することが必要と考えられます。

この冊子は、革新的技術開発・緊急展開事業（うち経営体強化プロジェクト）「水田里山の畜産利用による中山間高収益営農モデルの開発」の課題2「放牧やハトムギ等を取り入れた生産性・収益性の高い水田輪作体系」で得られた研究成果を取りまとめたものです。

執筆者一覧

章節

- | | | |
|---------|-------------|------|
| 1. 農研機構 | 西日本農業研究センター | 千田雅之 |
| 2. 農研機構 | 西日本農業研究センター | 望月秀俊 |
| 3. 農研機構 | 西日本農業研究センター | 濱口秀生 |
| 4. 農研機構 | 西日本農業研究センター | 石岡徹 |
| 5. 農研機構 | 西日本農業研究センター | 小林英和 |
| 6. 農研機構 | 西日本農業研究センター | 千田雅之 |

問い合わせ先

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構

西日本農業研究センター 地域戦略部研究推進室広報チーム

〒721-8514 広島県福山市西深津町 6-12-1 Tel. 084-923-5385



WESTERN REGION AGRICULTURAL RESEARCH CENTER, NARO

Fukuyama, Hiroshima 721-8514, Japan