

除染後農地における 地力回復の手引き



農研機構東北農業研究センター
福島県農業総合センター
秋田県立大学
農研機構農業環境変動センター

目次

はじめに	1
1. 地力回復技術が必要とされる背景.....	1
2. 本手引きのねらい	1
3. 本手引きの使い方	2
4. 除染後農地の問題と原因	3
5. 除染後農地の地力回復技術（要約）	4
I. 除染後農地の地力低下の現状	5
II. 堆肥を利用した地力回復技術.....	8
1. 堆肥を利用した地力回復のポイント.....	8
2. 除染後農地における堆肥施用の手順	9
3. 水田における導入効果.....	11
4. 畑地における導入効果.....	15
III. 緑肥作物を利用した地力回復技術.....	17
1. 緑肥作物を利用した地力回復のポイント.....	17
2. 除染後農地の緑肥（ヘアリーベッチ）栽培の手順.....	17
3. 緑肥の種類による窒素・炭素の集積量	19
4. 緑肥栽培による土壌の物理性の向上	20
5. 保全管理農地での導入効果	21
6. 畑地での導入効果	22
7. 水田での導入効果	24
IV. 参考情報：丁寧な耕うんによる地カムラの解消	26
1. 丁寧な耕うんによる地カムラ解消のポイント.....	26
2. 水田における導入事例	27
V. 参考情報：除染後農地の排水対策	28
1. 除染後農地の排水対策の必要性	28
2. 排水対策の方法.....	28

3. 除染後畑地での導入事例	30
VI. 参考情報：土壌全炭素・全窒素含量の将来予測	32
1. 地力の将来予測の必要性.....	32
2. 地力の将来予測の方法.....	32
免責事項	33

はじめに

1. 地力回復技術が必要とされる背景

地力は土壌がもつ作物の生産力のことをいいます。高濃度の放射能物質で汚染された農地では、地力の高い表土の削り取り後、地力が低い客土材による客土が実施されたことにより、地力は除染前より低下していることが明らかになってきました。

土壌には養分を貯蔵し、必要な時に供給できるよう調整する働きがあります。また、土壌中の有機物は、土壌中に水や空気を蓄える働きのある土壌の団粒構造の形成に役立ちます。地力が高い土壌では、これらの土壌の働きが強く、良好な作物にとっての栽培環境を形成しています。そのため、除染後農地では収量や土壌の環境の低下を防ぐために、低下した地力を回復させることが特に重要です。

なお、地力には土壌の有機物が重要な働きを担っており、また、土壌有機物の量は土壌中の炭素の量であらわされることから、本手引きでは、地力の大きさは土壌炭素量を基準にしています。

2. 本手引きのねらい

東京電力福島第一原子力発電所事故から 10 年経過しました。避難指示等があった福島県内の 12 市町村では、営農の再開率が約 3 割にとどまっています。さらに、営農を再開しても地力低下が原因で収量が伴わないと営農意欲が低くなってしまいます。

そうならないよう、この「除染後農地の地力回復の手引き」を作成しました。この手引きは、農林水産省の委託研究プロジェクト「営農再開のための放射性物質対策技術の開発」の成果で作成された「除染後農地の地力回復マニュアル 水稻編」に食料生産地域再生のための先端技術展開事業（先端プロ）「原発事故からの復興のための放射性物質対策に関する実証研究(福島県・農業分野)」で実施された水田、畑地、保全管理農地の成果を加えたものです。

この手引きは除染が実施された区域で地力回復を担当する普及指導機関、自治体、試験場の担当者の皆さんをサポートすることを目的としています。

3. 本手引きの使い方

知りたい内容に応じて下記のページからご覧下さい。

除染後農地の地力低下の現状



- ・ 除染の前後の地力変化を知りたい
→ p. 5
- ・ 除染に伴う土性の変化を知りたい
→ p. 5
- ・ 除染後農地の排水不良の傾向を知りたい
→ p. 6

堆肥を利用した地力回復技術



- ・ 堆肥の供給者を知りたい
→ p. 1 0
- ・ 水田における堆肥施用の効果を
→ p. 1 1
知りたい
- ・ 水田における堆肥施用による長期的な地力回復
の傾向を知りたい
→ p. 1 3
- ・ 畑地における堆肥施用の効果を
→ p. 1 5
知りたい
- ・ 畑地における堆肥施用による長期的な地力回復
の傾向を知りたい
→ P. 1 6

緑肥を利用した地力回復技術



- ・ 緑肥作物の栽培方法を知りたい
→ p. 1 7
- ・ 緑肥作物の炭素・窒素の集積量を知りたい
→ p. 1 9
- ・ 緑肥施用による土壌物理性の改善効果を知りたい
→ p. 2 0
- ・ 緑肥施用による後作物の影響を知りたい
→ p. 2 1

- ・畑地における緑肥施用の効果を知りたい
→ p. 2 2
- ・水稻に対する緑肥施用の効果を知りたい
→ p. 2 4

その他除染後農地の問題（地カムラ、排水対策）



- ・地カムラ解消のための丁寧な耕うんの方法を知りたい
→ p. 2 6
- ・丁寧な耕うんによる地カムラ解消の事例を知りたい
→ p. 2 7
- ・適した排水対策を知りたい
→ p. 2 8
- ・排水対策の事例を知りたい
→ p. 3 0

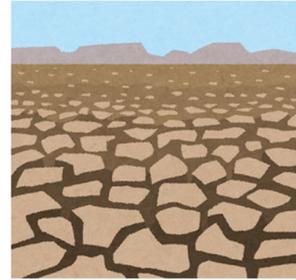
4. 除染後農地の問題と原因

除染後農地では、表土の剥ぎ取り・客土や重機の圧密により、以下の問題がよく生じます。地力回復を実施する農地で該当する点があるか確認をお願いします。

問題	原因	対策
地力低下	表土の剥ぎ取り・客土	堆肥施用 → II章 (p.9) へ 緑肥施用 → III章 (p.17) へ
地カムラ	表土の剥ぎ取りと客土の厚さが均一でない	丁寧耕 → IV章 (p.26) へ
排水不良	除染時の重機の踏圧による硬盤層の形成	排水対策 → V章 (p.28) へ

I. 除染後農地の地力低下の現状

営農再開に際して適切な圃場管理をするためには各圃場の地力を的確に把握することが欠かせません。一方、表土剥ぎ取り除染を実施した多くの農地では地力が低下する事例が確認されています。



■ 表土剥ぎ取り除染前後の土壤有機物含量の低下

地力由来の栄養は、土壤の有機物が分解されて出てくるため、土壤有機物を構成する炭素と窒素の量が地力の目安となります。除染後の農地の土壤の全炭素濃度および全窒素濃度は除染前の64%と62%となり、表土剥ぎ取り除染により地力が30%程度低下していることが明らかになりました(図 1-1)。

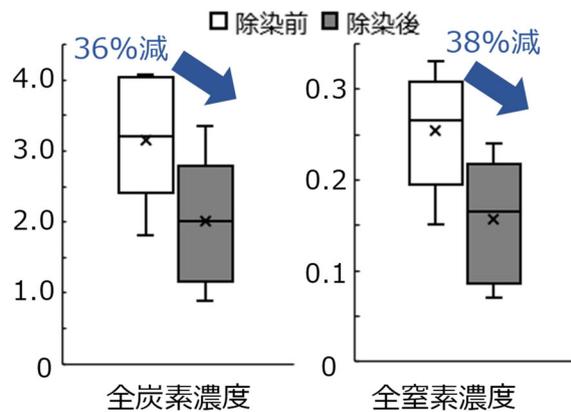


図 1-1 表土剥ぎ取り除染前後の土壤の全炭素および全窒素濃度

バーの上端、下端がそれぞれ最大値、最小値、×が平均値 (n = 6) 神山ら(2016)および農水省 HPI「農地土壤の放射性物質濃度分布図の作成について」の調査地点の土壤サンプルの測定から

■ 表土剥ぎ取り除染により地カムラが生じやすい

作土の剥ぎ取りと客土の厚さが圃場内で均一でないことに由来することから、除染後農地で地カムラが多く認められます(写真 1-1)。地カムラは、収量のバラツキや品質低下の原因となるため、解消する必要があります。



写真 1-1 除染後農地の地カムラの様子

■ 粗砂の増加による地力の低下

表土剥ぎ取り除染を行った農地では、客土により粒径の大きな粗砂(0.2～2.0 mm)が増加し、それ以外の細砂、シルト、粘土が減少する傾向が見られます(図 1-2)。粗砂が増加することにより養分が保持されにくく、また有機物の蓄積も少なくなるため地力の回復が遅れます。粗砂の割合が増加した原因は、客土の主体が山砂であったためと考えられます。

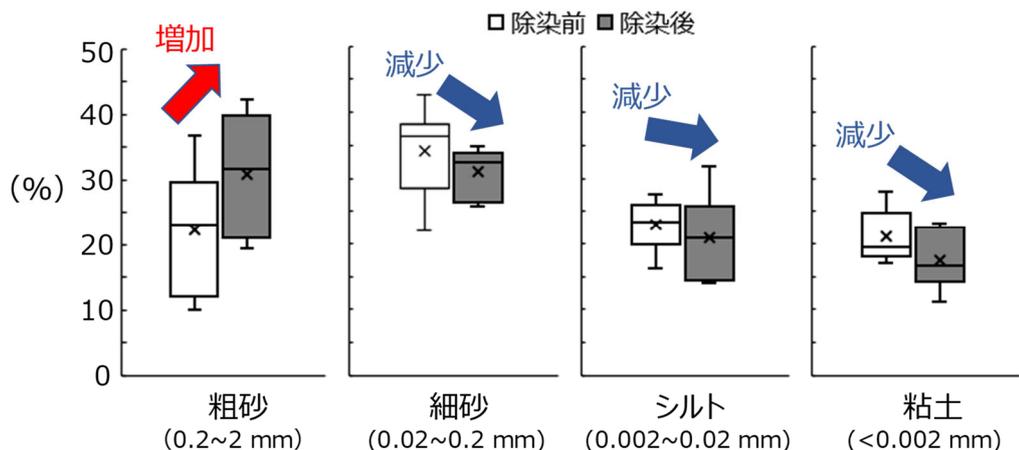


図 1-2 表土剥ぎ取り除染を実施した農地の実施前および実施後の土壌の粒度分布

■ 除染時の重機により生成された硬盤層による排水性の低下

除染後農地では、除染の際に重機が入り踏圧がかかったことから、作土付近に緻密な土層(硬盤層)が見られることがあります(図 1-3)。特に畑作で湿害に弱い作物を栽培する際には、排水対策を実施する必要があります。

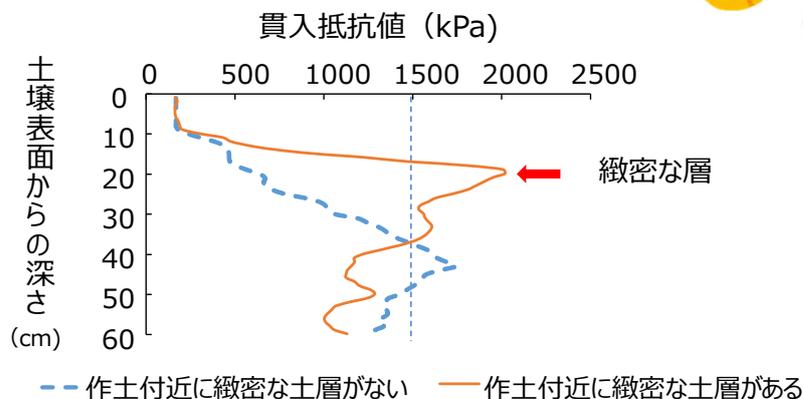


図 1-3 除染後畑地の土壌硬度の深度分布(山木屋地区の調査より)
貫入抵抗値は土壌の硬さを示し、値が高いほど土壌が硬いことを示す

参考資料

- ・ 神山和則・高田裕介・小原 洋・齋藤正明・大越 聡・谷山一郎 2016. 福島第一原発事故後の農地土壌における放射性セシウム濃度データセット（2011－2014年）農環研報 35, 1-102.
- ・ 農地土壌の放射性物質濃度分布図の作成について
<https://www.affrc.maff.go.jp/docs/press/pdf/110830-18.pdf> 農水省



Ⅱ．堆肥を利用した地力回復技術

1．堆肥を利用した地力回復のポイント

堆肥を施用することにより、短期的には作物に対して窒素、リン酸、カリなどの養分が供給され、作物の生育が進みます。また、カリの供給により、除染後農地における放射性セシウムの吸収リスクが低減する効果もあります。

さらに、堆肥を連用していくと、地力が向上します。同時に、堆肥により供給される腐植物質が土壌粒子を接着して団粒構造を作るようになります。この団粒構造をもつ土壌は、水もち（保水性）や水はけ（排水性）が良くなり、畑作物の干ばつや湿害を防ぐ効果があります。さらに、蓄積した腐植物質により肥料成分の保持力が高くなるとともに、化学的変化（例えば土壌の酸性化など）に対する土壌の変化が緩やかになります。これらの効果は、堆肥の長期連用ではじめて実感できるものです。

除染により低下した農地の地力は、長期にわたる堆肥の連用により、作物の収量を維持しつつ少しずつ回復させていくことができます。



写真 2-1 堆肥舎の堆肥

2. 除染後農地における堆肥施用の手順

1) 施用量と施用時期の把握

原料や製法および堆肥化の条件により堆肥の成分や性質が異なるため、作付けの際には確認して使用してください。また、水稻、畑作物により堆肥の施用量や施用後からの作物栽培の時期が異なります。そのため、次の情報を参照ください。

- 1) 福島県. 2019. 福島県施肥基準

<https://www.pref.fukushima.lg.jp/sec/36021d/kankyou-nogyou-sehikijyun.html>



- 2) 新潟県農林水産部. V 堆肥など有機資源の利用

<https://www.pref.niigata.lg.jp/sec/nosangenpei/1355090549047.html>



- 3) ホクレン農業協同組合連合会 1999.
特集 高品質・環境保全のための土づくり
ホクレン営農技術情報誌あぐりぼーと No20

https://www.hokuren.or.jp/common/dat/agrpdf/2014_0314/1394784507742608720.pdf



- 4) 有機質資材の施用効果データベース

http://www.naro.affrc.go.jp/org/narc/rop_diagnosis/org_db/index.html



2) 近くの堆肥供給者の確認

図 2-1 に、福島県内で入手できる堆肥の供給者を示しています。福島県内では、主に牛ふん堆肥、鶏ふん堆肥が入手できます。図で示した以外にも入手可能な供給者がいます。詳しい連絡先などは、広域堆肥供給リストをご覧ください。



(広域堆肥供給リスト <https://www.pref.fukushima.lg.jp/uploaded/attachment/403557.pdf>)

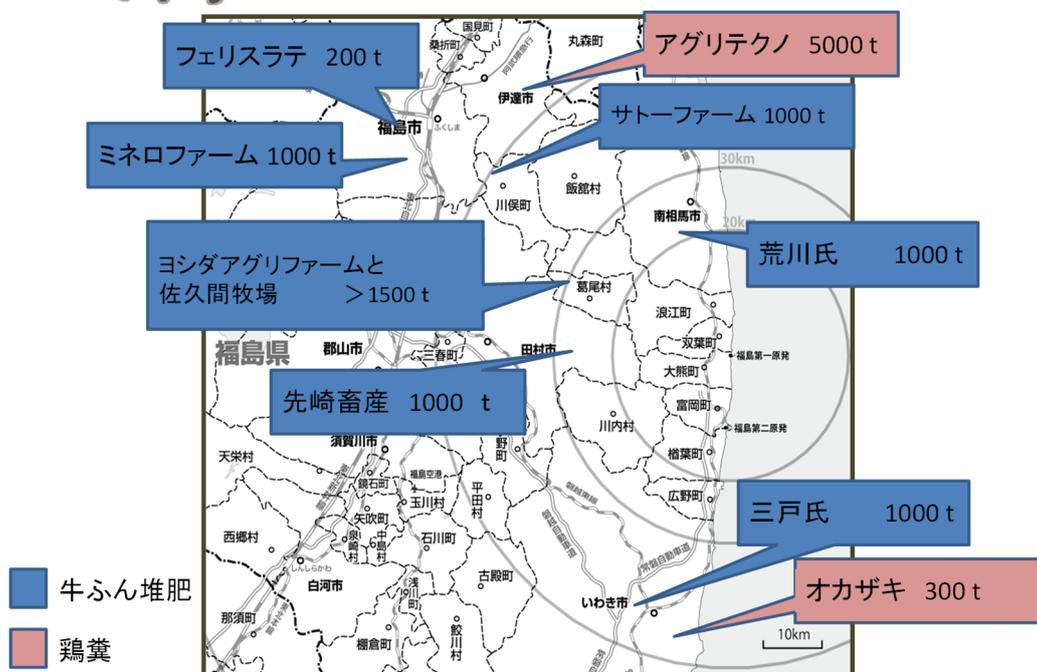


図 2-1 広域たい肥供給者の位置と年間供給可能量
福島県が公表している広域堆肥供給リストの一部を参照して作成

3) 堆肥の散布

堆肥供給者に堆肥を注文し、散布の日程を決定します。その際、供給者が散布可能か確認してください。供給者が散布できない場合は、別の受託組合や生産者自身が散布します。散布は、ムラがないようにできるだけ圃場内に均一にします。圃場面積が広い場合は、マニユアスプレッター等の機械を使用して散布します。

4) 土壌と堆肥の混和

堆肥を散布したら、早めにトラクタで耕うんし、土壌と混和してなじませます。

3. 水田における導入効果

【試験方法】

福島県伊達郡川俣町山木屋地域の除染後水田で、営農開始直後の 2018 年から 3 年間にわたり、堆肥無し（対照）、牛ふん堆肥、牛ふん堆肥 + 乾燥鶏糞を施用し、水稻を栽培しました。試験では、堆肥施用による水稻の収量、土壌溶液中のカリウムイオン濃度の推移、地力の目安となる土壌中炭素量の将来予測、収入増加の可能性を調べました。

【試験結果】

■ 水田では営農再開初年度目の生産性は高く、倒伏に注意

営農再開初年度の収量は、堆肥施用による明瞭な差はなく、対照区においても 600 kg/10a 収穫できました（図 2-2）。管理耕起されてきた水田では、これまでの雑草等のすき込みにより初作の生産性は良く、倒伏に注意が必要です。そのため耐倒伏性のある品種（「里山のつぶ」、「天のつぶ」）の選択や減肥を検討する必要があります。

■ 2 年目以降は堆肥の連用が必要

2 年目以降は、対照区で減収したのに対し、堆肥施用区では増収し、堆肥連用の効果が認められました（図 2-2、写真 2-2）。化成肥料だけでは生産性が低下しますので、堆肥を利用した土づくりを継続的に行っていく必要があります。

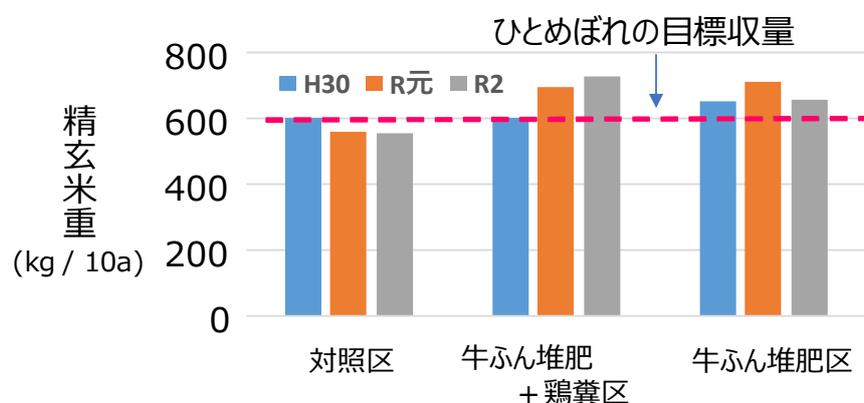


図 2-2 堆肥施用の有無による「ひとめぼれ」の精玄米重の推移

対照区は化成肥料による慣行施肥のみ

耕種概要

堆肥施用： 4月下旬

施用量： 牛ふん+鶏糞区は、牛ふん堆肥 100 kg/a と乾燥鶏糞 20 kg/a 同時施用
牛ふん区は、牛ふん堆肥 100 kg/a

移植時期： 5月下旬

収穫時期： 9月下旬～10月上旬

施肥量： N: P₂O₅: K₂O=8: 5.6: 6 (側条施肥)

※塩化カリは基肥前に増施も実施



写真 2-2 堆肥 3 年連用の有無による 50 株から採れる「ひとめぼれ」の精玄米

■ 堆肥施用は放射性セシウム吸収抑制のためのカリウム供給になる

土壌溶液中のカリウム濃度は、対照区と比較し堆肥施用区で高く推移しました(図 2-3)。堆肥にカリが含まれるため、堆肥施用は水稻への放射性セシウム吸収抑制対策としての効果が期待できます。

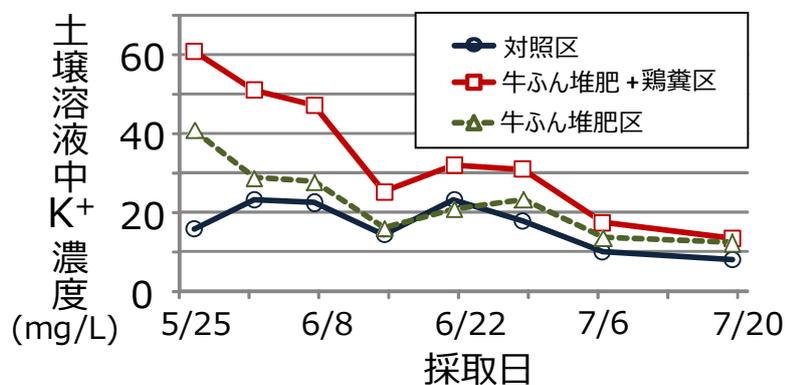


図 2-3 堆肥施用による土壌溶液中のカリウムイオン濃度の推移

■ 堆肥の連用により土壌炭素量は増加

土壌の特性（粘土含量、初期の炭素量等）や気象条件から土壌炭素動態モデル RothC（土壌炭素量の長期的な変化を予測するモデル）を使い堆肥投入による将来の土壌中炭素量を予測しました（図 2-4）。その結果、稲わらすき込みだけを継続しても、地力の指標である土壌炭素量は増加しましたが、加えて、堆肥を連用することにより土壌炭素量は大きく増加することが判明しました。

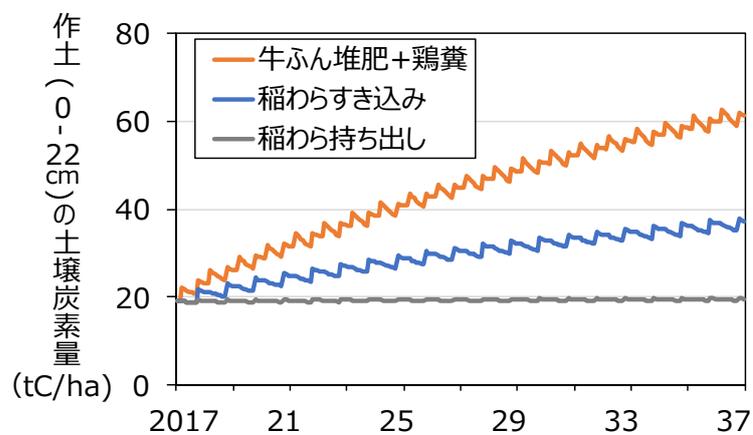


図 2-4 水田での堆肥連用による土壌炭素量の予測

牛ふん堆肥+鶏糞：牛ふん堆肥 100 kg /a と乾燥鶏糞 20 kg/a 同時施用と収穫後の稲わらのすき込みを続けた場合

稲わらすき込み：収穫後の稲わらすき込みのみを続けた場合

稲わら持ち出し：収穫後の稲わらの持ち出しを続けた場合

■ 水田への堆肥施用による増収で所得増加

堆肥施用によるかかり増しになる費用と収量増による収入増を計算し、その差から所得増効果を見積もりました（表 2-1）。堆肥施用にかかる費用より収入増が大きく（+1,336 円）、所得の増加が見込まれます。

表 2-1 ひとめぼれ作付け再開から 3 作目までの所得増効果（牛ふん堆肥・鶏糞併用）

項目	内容	価格(円/a)	備考
粗収入	収量増による	< 収量10 kg/a増 > 2,433	対照区と比べての収量増(3年平均)
小計(A)		2,433	
資材費	牛ふん堆肥 (100 kg/a)	575	堆肥施用に伴う費用
	乾燥鶏糞 (20 kg/a)	264	
	石灰窒素 (2 kg/a)	258	
小計(B)		1,097	
(A)-(B)		1,336	所得増効果

- ① 粗収入は農林水産省「平成 30 年度産米の相対取引価格・数量について」の産地福島県の「ひとめぼれ」14,593 円/玄米 60 kg と各試験区から得られた精玄米重から算出
- ② 堆肥は、福島県酪農協同組合から購入した牛ふん堆肥 57.5 円/10kg と、市販の鶏糞ペレット 198 円/15 kg から算出
- ③ 石灰窒素は、堆肥中の CN 比が 28 を上回る場合には、その腐熟促進のため施用が望ましい
- ④ 燃料費と労務費は、試験では機械作業を実施していないため除外
- ⑤ 堆肥散布のための機械は自家用（30PS）を想定し、減価償却費は計上しない
- ⑥ なお、堆肥の購入、散布については、事業要件を満たすことで福島県営農再開支援事業を活用可能

4. 畑地における導入効果

【試験方法】

福島県伊達郡川俣町山木屋地域の除染後畑地で、2019年から2年間にわたり、堆肥無し（対照）、牛ふん堆肥 1 t/10a、牛ふん堆肥 3 t/10a 投入という試験区を設定し、地力の指標としてコマツナを供試して、栽培試験を実施しました。

【試験結果】

■ 畑地の堆肥連用によりコマツナ収量が増加

図 2-5 に収穫時のコマツナを示しています。堆肥を 3 t/10a 投入した区では、コマツナの面積あたりの地上部全重が対照区に比べ 920 kg/10a 増加しました(写真 2-3)。



写真 2-3 堆肥施用によるコマツナの生育の違い

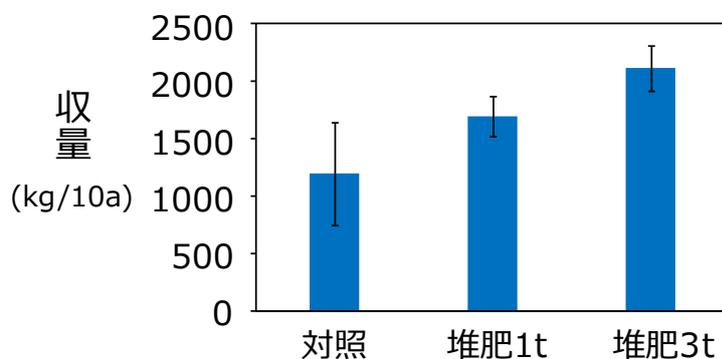


図 2-5 堆肥施用によるコマツナ全重の変化

耕種概要

品目 : コマツナ

栽培期間 : 2019年5月13日播種、6月21日収穫

施肥量 : N: P₂O₅: K₂O =15:15:15 (kg/10a)

試験区 : 対照区、堆肥 1t 投入区 (1t/10a)、堆肥 3t 投入区 (3t/10a)

※堆肥腐熟促進のため、石灰窒素を堆肥 1t あたり 20kg 混和しています。

■ 畑地の堆肥施用により地力が増加

土壌炭素動態モデル RothC により堆肥連用による将来の土壌炭素量を予測しました (図 2-6)。その結果、堆肥を投入しないと、土壌炭素量が徐々に減少していきませんが、堆肥を連用すると、土壌中炭素量は増加し、また施用量が多いほど大きく増加することが予想されました。

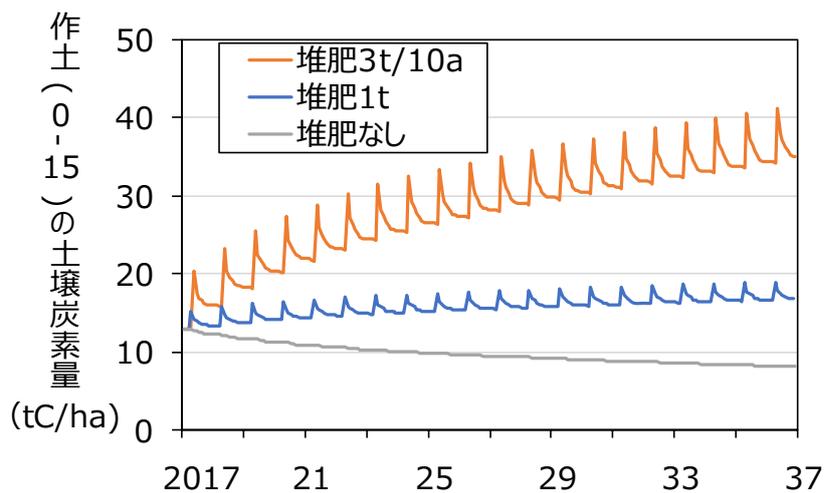


図 2-6 畑地での堆肥連用による土壌炭素量の予測

Ⅲ．緑肥作物を利用した地力回復技術

1. 緑肥作物を利用した地力回復のポイント

緑肥は、農地で育てた植物を収穫せずにそのままき込んで次作の作物のための肥料として用いるものです。特に、マメ科緑肥は、根に共生する根粒菌が窒素固定を行うため、窒素量が高く、作物のための窒素源となります。

緑肥を連用することにより有機物が蓄積し、団粒構造が形成され水持ちや排水性の向上、肥料成分の保持力の上昇、化学的変化に対する緩衝作用の効果が認められるようになります。加えて、緑肥の根の伸長により土壌の硬さの目安である緻密度が低くなる作用もあります。除染に使用した重機による圧密で、多くの除染後農地では排水性が悪くなる硬盤層が形成されています。緑肥栽培により硬盤層の緻密度が減少し、透水性を改善します。

緑肥は堆肥のように運搬の必要がなく、種子の散布も堆肥と比較すると省力的です。このため、畜産業者から離れている地域や、畜産業が再開されていないなど、堆肥が入手できない地域での導入に向いています。また、除染作業が終了してから5年間は保全管理農地として定期的に管理耕起されるため、緑肥は保全管理農地での地力回復にも適しています。営農再開後の畑地の場合は、緑肥の肥料効果で作物の収量を維持しつつ、長期にわたる連用により地力を少しずつ回復させていくことが望まれます。

2. 除染後農地の緑肥（ヘアリーベッチ）栽培の手順

マメ科のヘアリーベッチ(写真 3-1)を用いた場合です。

1) 播種時期、播種量の確認

秋播きの場合は、耐寒性、耐雪性に優れた晩生品種 3～4 kg/10a を 9 月下旬～10 月上旬、春播きの場合は、初期生育が早い早生品種 3～8 kg/10a を 3 月中旬～4 月上旬に播種します。



写真 3-1 ヘアリーベッチ

2) 播種方法

- ① 播種予定の圃場は、窒素施肥なしで、カルシウム資材で土壌 pH を 5.5 以上に矯正しておきます。マメ科緑肥は放射性セシウムの移行係数が高いため、カリの施用を奨励します。
- ② ロータリで 10～15 cm の深さで耕起します。
- ③ 動力付散布機やブロードキャスター、ラジヘリ等で均一に播種します（写真 3-2）。
- ④ ロータリまたはハローで浅く（2～3 cm）耕起して覆土します。この時、5 cm 以上深く耕起すると、土壌に深く入った種子は発芽しない場合があります。また、初めてヘアリーベッチを栽培する場合は、根粒菌を接種します（「ヘアリーベッチを利用したダイズ・エダマ増収技術マニュアル」を参照して下さい）。



写真 3-2 ラジヘリによる播種

3) すき込み方法

- ① ヘアリーベッチは、秋播きであれば 5 月下旬頃、春播きであれば 6 月下旬頃に生育量が最大となります。
- ② 生育したヘアリーベッチをフレールモア等で細断します（写真 3-3 左）。草丈が 40 cm 程度までであれば細断せずにロータリですき込むことも可能です。
- ③ ロータリで 10～15 cm の深さですき込みます（写真 3-3 右）。



写真 3-3 ヘアリーベッチの細断（左）と鋤き込み（右）生育の様子

3. 緑肥の種類による窒素・炭素の集積量

ヘアリーベッチ、クリムゾンクローバー、セสบニア、クロタリヤのマメ科緑肥（ヘアリーベッチ以外の品種は「緑肥利用マニュアル」を参照して下さい）の中で、窒素集積量はヘアリーベッチが最も多く、窒素肥沃度向上には最も適していました（図 3-1）。セสบニアは生育量の割に窒素集積量は少なく、土壌有機物の蓄積や物理性改良に効果的です。

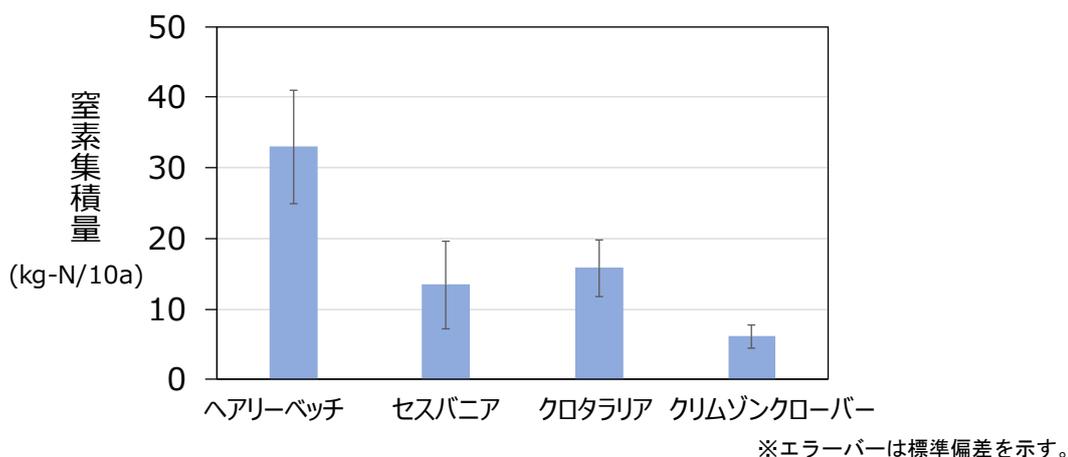


図 3-1 マメ科緑肥の窒素集積量

炭素集積量（図 3-2）はヘアリーベッチが最も多く、ついでクロタリヤ、セสบニア、クリムゾンクローバーとなりました。

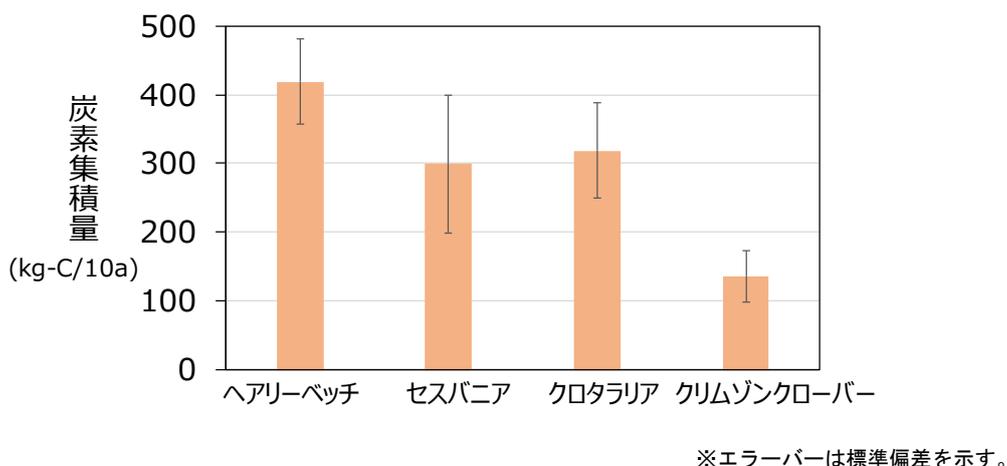


図 3-2 マメ科緑肥の炭素集積量

4. 緑肥栽培による土壌の物理性の向上

ヘアリーベッチ植栽区と無植栽区で土壌の物理性を比較しました。その結果、ヘアリーベッチ区では根が地表面から 15cm 付近に多く存在するため作土の気相の割合が増加しました（図 3-3）。ヘアリーベッチ根の伸長により、土壌が軟化（貫入抵抗が低下）するため（図 3-4）、農業を再開した場合は耕起、代かき等の作業性が向上し、後作物の根圏拡大も期待できます（佐藤ら、2007）。ヘアリーベッチの根は深さ約 50 cm まで伸長し、土壌の亀裂や孔隙が生じるため、排水性が向上します（図 3-5）。農業再開時においては、排水性向上により、とくに畑作の生産性向上が期待できます（佐藤、2019）。

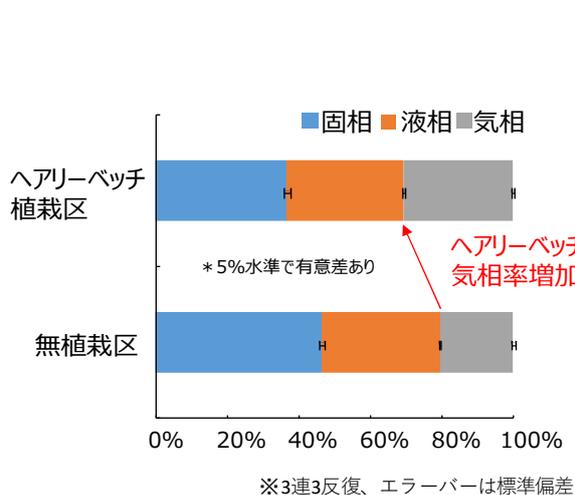


図 3-3 ヘアリーベッチ栽培後の三相分布

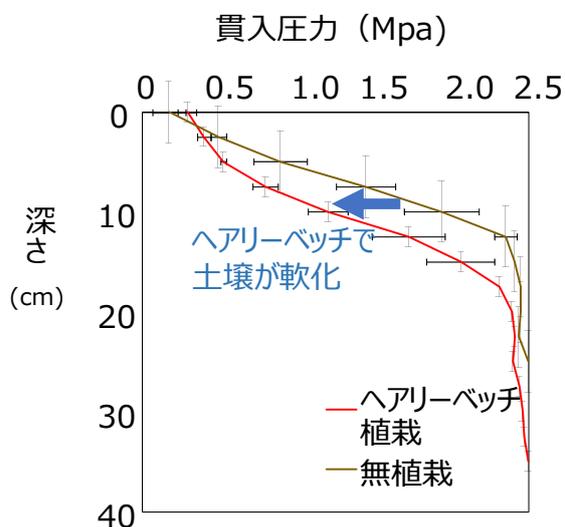


図 3-4 ヘアリーベッチ栽培後の土壌硬度

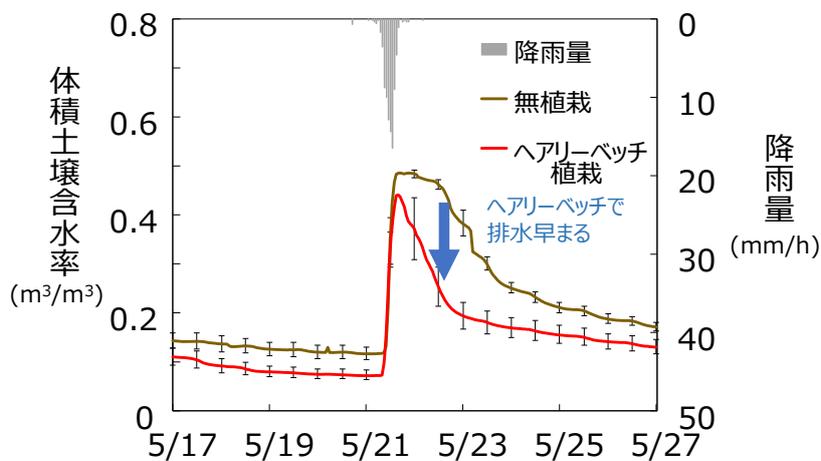


図 3-5 降雨前後の土壌含水率の推移

5. 保全管理農地での導入効果

【試験方法】

福島県双葉郡富岡町の保全管理農地で、緑肥の栽培試験を実施し、後作物に対する効果、緑肥栽培後の圃場管理の方法を検討しました。

【試験結果】

■ 緑肥は後作物の生育を促進

セスバニアを栽培した後に、10月上旬に細断・鋤き込みをし、10月中旬にイタリアンライグラスを播種しました。越冬後の5月におけるイタリアンライグラスの生育は、無栽培区と比較してセスバニア栽培区で明らかに生育が旺盛となりました（写真3-4）。



セスバニア区

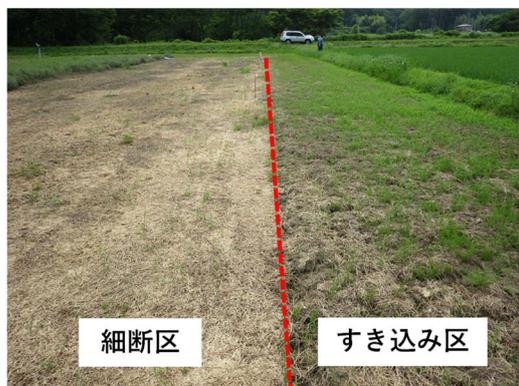


無栽培区

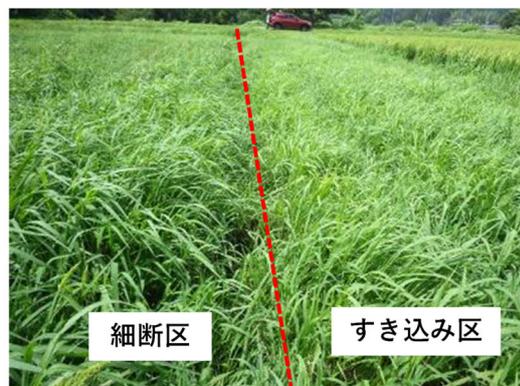
写真 3-4 緑肥作物鋤き込み後の後作物（イタリアンライグラス）の生育

■ 緑肥の処理後は次作まで圃場管理が必要

細断のみで地表面に敷きワラ状にした当初は、細断されたヘアリーベッチの被覆効果により雑草の発生が抑制されました（写真3-5左）。しかし、二か月後には細断



1か月後（2019/7/3）



2か月後（2019/8/15）

写真 3-5 ヘアリーベッチの処理による雑草の発生状況の違い

して鋤き込んだ区と変わらなくなりました（写真 3-5 右）。次作までの期間に応じた圃場管理が必要です。

■ ヘアリーベッチの雑草化に注意

ヘアリーベッチを放置すると、被覆効果により雑草の発生が抑制されますが、完全には防げません（写真 3-6）。放置してできたヘアリーベッチの種子が土壌に残ると、農業再開時に雑草化し、駆除に手間を要します（写真 3-7）。また、種子が圃場外に出た場合は、周辺の生態系を攪乱する可能性があるため注意が必要です。

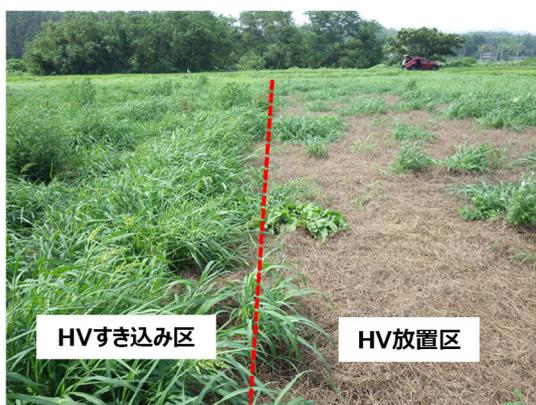


写真 3-6 ヘアリーベッチを放置した時の雑草の状況



写真 3-7 ヘアリーベッチの種子が発芽している様子

6. 畑地での導入効果

【試験方法】

福島県伊達郡川俣町山木屋地域の除染後畑地で、緑肥（ヘアリーベッチ）を栽培した後、地力回復を確認するために、コマツナを栽培しました。

【試験結果】

■ 畑地の緑肥施用により増収

緑肥施用したコマツナの地上部全重は、対照区と比較して 850 kg/10a 増加しました（図 3-6）。

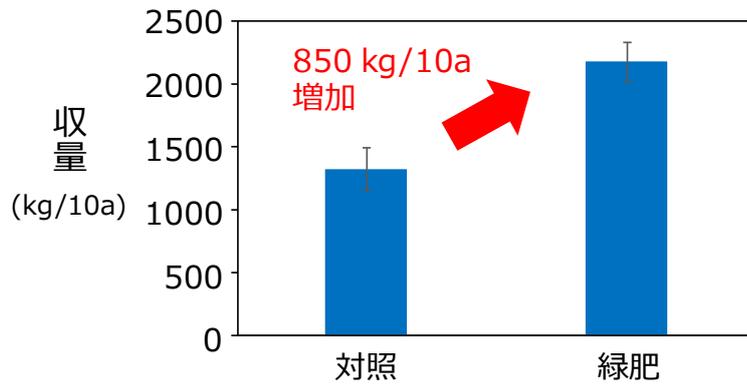


図 3-6 コマツナの地上部全重 (kg/10a)

耕種概要

品目 : コマツナ
 緑肥 : ヘアリーベッチ(2019年10月1日播種、2020年4月30日すき込み)
 栽培期間 : 2020年5月29日コマツナ播種、6月29日収穫
 施肥量 : N:P:K=10:10:10(kg/10a)
 試験区 : 対照区、緑肥区

■ 緑肥の連用により畑地の地力は上昇

土壌炭素動態モデル RothC により緑肥の連用による将来の土壌炭素量を予測しました(図 3-7)。その結果、緑肥なしでは、土壌炭素量が徐々に減少していきますが、緑肥を連用すると、土壌中炭素量は増加することが予想されました。

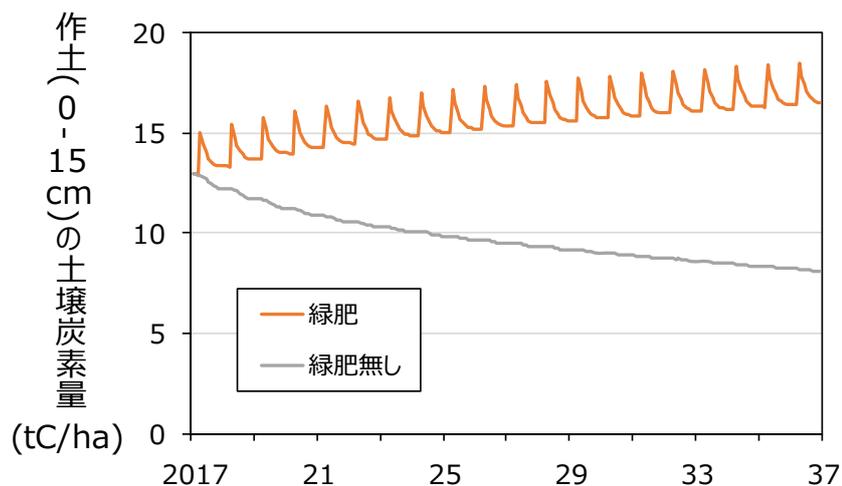


図 3-7 畑地での緑肥連用による土壌炭素量の予測

7. 水田での導入効果

【試験方法】

福島県双葉郡富岡町の除染後水田で、緑肥（ヘアリーベッチ）を栽培した後、地力回復を確認するために、水稲（品種：天のつぶ）を栽培しました（表 3-1）。

表 3-1 ヘアリーベッチ・水稲栽培こよみ

時期	作業
2019年10月20日	ヘアリーベッチ播種
2020年 5月10日	ヘアリーベッチ細断(N集積量：16kg/10a)
5月11日	施肥(N:P:K =0:14:4 kg/10a)
5月15日	耕起
5月18日	代かき
5月24日	田植え
9月28日	収穫

【試験結果】

■ 緑肥による土壌改良で茎数増

ヘアリーベッチ栽培区では初期生育が促進され、分けつも多くなりました（写真 3-8）。



無植栽区 ヘアリーベッチ栽培区

写真 3-8 イネの生育の様子（6/20）

■ 穂数が増えて収量増

ヘアリーベッチ栽培区では全生育期間を通して生育がよく、穂数が増加することにより収量が多くなりました（表 3-2）。

表 3-2 水稻の収量および収量構成要素

試験区	穂数 (本/m ²)	1穂粒数 (個/穂)	登熟歩合 (%)	千粒重 (g)	精玄米中(収量) (kg/10a)
無植栽区	410.7(29.4)	71.6(4.6)	81.1(4.8)	22.2(0.4)	511.1(119.4)
ヘアリーベッチ区	584.6(73.9)	77.5(2.1)	79.9(4.6)	21.4(0.2)	790.4(54.5)

品種：天のつづ
 移植栽植密度(15cm x 30cm) 22.2 株/m²
 精玄米中、千粒重は水分 15%に換算
 ()内の数値は標準偏差を示す

参考資料

- ・ 佐藤孝. 2019. マメ科緑肥ヘアリーベッチを導入した長ネギの減肥栽培, 牧草と園芸, 67, 1-4.
- ・ 佐藤孝・小野寺雄平・高階史章・保田謙太郎・石田朋子・渋谷允・中川進平・渡辺恭平・金田吉弘 2019. 重粘土転換畑におけるヘアリーベッチ植栽がキャベツの窒素吸収および可販収量に及ぼす影響、土肥誌, 90, 249-256.
- ・ 佐藤孝・善本さゆり・渡邊俊一・金田吉弘・佐藤敦 2007. 重粘土水田転換畑におけるヘアリーベッチ植栽が土壌物理性とダイズの初期生育に及ぼす影響、土肥誌, 78, 53-60.
- ・ ヘアリーベッチを利用したダイズ・エダマメ増収技術マニュアル、2015 http://www.akita-pu.ac.jp/bioresource/dbe/soil/HV_manual.pdf 農林水産業・食品産業科学技術研究推進事業
- ・ 緑肥利用マニュアルー土づくりと減肥を目指してー,2020 http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/files/ryokuhi_manual_carc20200420.pdf 農研機構中央農業研究センター



IV. 参考情報：丁寧な耕うんによる地カムラの解消

1. 丁寧な耕うんによる地カムラ解消のポイント

剥ぎ取り客土が行われた除染後農地は、作土の剥ぎ取りや客土の厚さが農地内で一定でない場合が多く、地カムラが見られるところがあります。地カムラがあると、収量や品質のばらつきが大きくなり、収入の減少につながります。除染後農地の地カムラを把握するために、2017年に避難指示が解除された地域の一部（148 km²）の衛星画像を解析した結果、剥ぎ取り客土による除染後農地一筆内で平均±30%の土壌炭素濃度の変化があることが推定されています。除染後農地で安定した生産を継続していくためには、地カムラの解消を図ることが重要です。

ここでは、除染後農地に関する参考技術として、地カムラを解消する技術を紹介します。

丁寧な耕うんの方法

通常よりゆっくり、深く耕うんします（表 4-1）。丁寧な耕うんでは時間と燃料が約 1.5 倍かかります。



表 4-1 通常耕うんと丁寧な耕うんの条件と耕うん直後の耕深

耕うん条件	時速 (km/h)	回転数 (rpm)	耕深 (cm)
通常耕うん	1.2	2500	15
丁寧な耕うん	0.7	2500	22

丁寧な耕うんの注意点

- 客土由来の石礫や、浜通りなど作土層が薄いほ場では下層から礫層が出現する可能性があるため注意が必要です。機械を傷めないよう、事前に礫の有無や作土層の厚さを確認することが望ましいです。
- 除染直後と比較して保全管理の後に水稻の作付を再開すると、初作の生育が良いこともあり、生育ムラは軽微な印象です。そのため、周辺の作付状況を把握する、もしくは初作は通常耕を実施し、生育ムラが顕著である場合に次作での丁寧耕の実施の可否を判断してください。

2. 水田における導入事例

福島県伊達郡川俣町山木屋の水田において、営農再開時に通常耕と丁寧な耕うんを実施し、精玄米重のバラツキを調べました。

■ 丁寧な耕うんにより収量のバラツキが減少

精玄米重中の分布は、丁寧な耕うんによりバラツキは減少し、丁寧な耕うんの効果が認められました（図 4-1）。

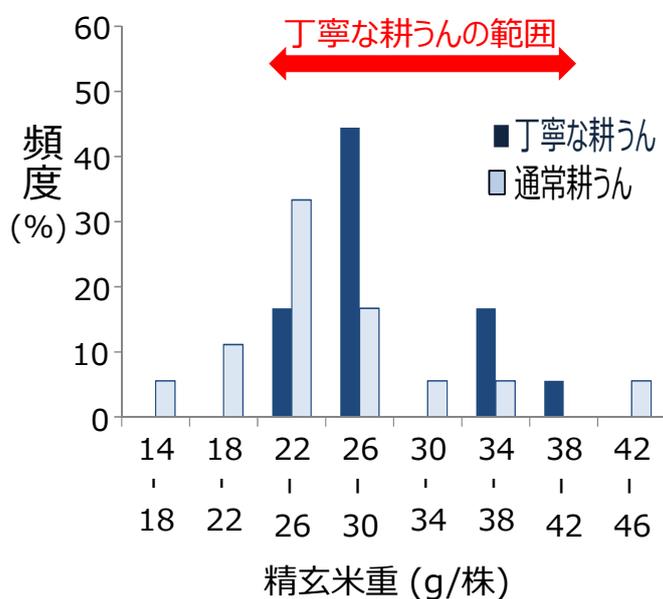


図 4-1 精玄米重の分布範囲

圃場内の 18 地点から採取したサンプルの精玄米重から作成

V. 参考情報：除染後農地の排水対策

1. 除染後農地の排水対策の必要性

農地の除染工事による重機の圧密で土壌が硬くなり、透水性が低い硬盤層が認められる農地が多く存在しています。特に畑地では適切な排水性がないと、降雨後の作業が困難になるほか、滞水によって根が酸欠状態になりやすくなります。そのため、排水不良となっている除染後の畑地では排水対策を実施し、適度な排水性を維持することが重要です。参考情報として排水対策技術に関する情報を紹介します。

2. 排水対策の方法

1) 明渠・高畝栽培

最も簡単な排水対策です。表面排水をチェックし、明渠で排水を促します。額縁明渠を作るなどにより、土壌表面に溜まった水を排水する方法のほか、高畝栽培が有効な場合もあります。

2) 地下排水対策

地下排水対策は機械を使用して行います。圃場や条件により、適した機械は異なります。図 5-1 のフローチャートと表 5-1 は、排水対策を選択する際の参考にしてください。

地下排水対策の注意点

- ① 弾丸暗渠等の補助暗渠は本暗渠と交差させる、排水孔や集水ますに出口をつなげる等により、圃場外部にしっかりと排水できるようにしましょう。本暗渠を施工する場合も他の対策と組み合わせてください。
- ② 浅層暗渠施工器については、「トラクタで利用できる浅層暗渠施工器」（2020年 農研機構）を参照してください。
- ③ 図 5-1、表 5-1 はあくまでも一例です。転作田で麦類を栽培するなどにおいて、より詳細な排水対策を知りたい場合は、「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」（2020年 農研機構）を参照してください。

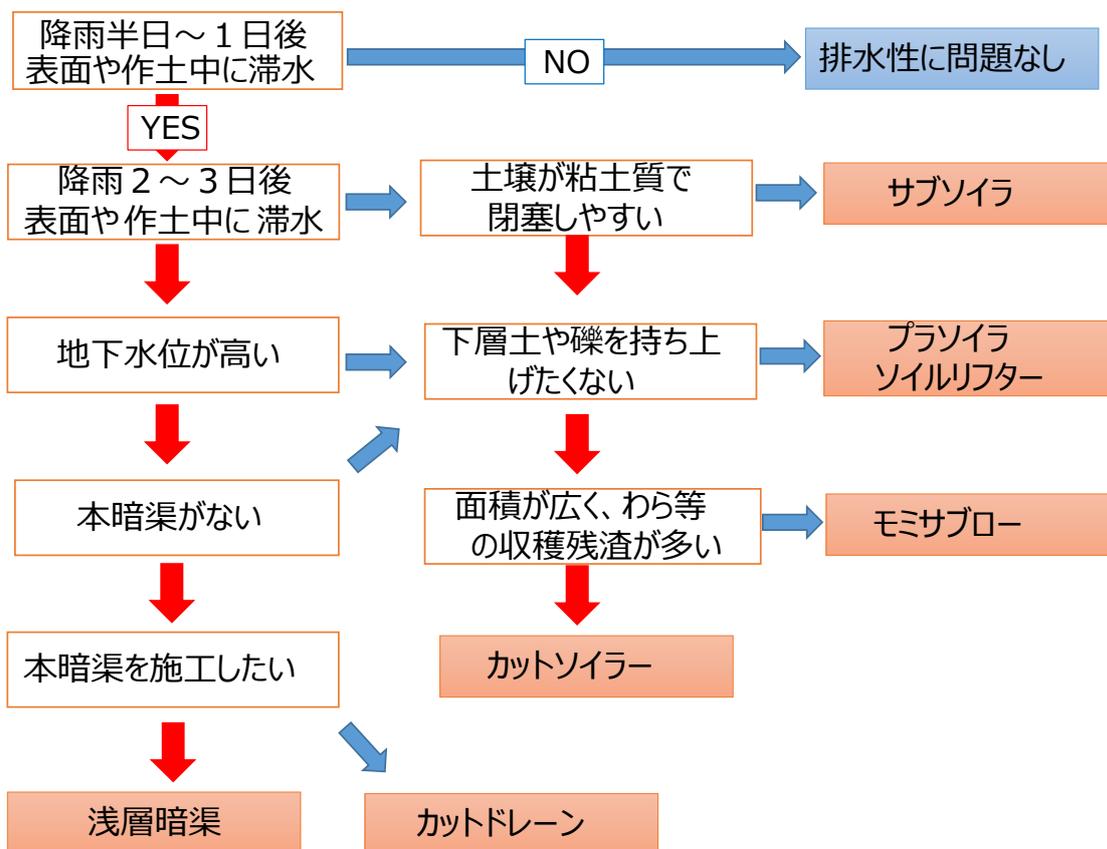


図 5-1 フローチャートによる排水対策の選択

表 5-1 排水対策のメリット・デメリット

排水対策	機械・技術の名称	メリット	デメリット
硬盤破碎	サブソイラ	下層土をあまり持ち上げない 同時に弾丸暗渠を施工できる	単体では効果範囲が狭い 土壌の種類によっては持続しない
	プラソイラ	サブソイラより心土破碎効果が高い	下層の土壌が若干浮上する (10%未満)
	ソイルリフター	サブソイラより牽引抵抗が少ない	
有材補助暗渠 (心土破碎のみ で不十分な場合)	モミサブロー	簡易に排水機能を維持できる 密に施工できる	籾殻が必要
	カットソイラー	サブソイラ様の排水機能を維持できる	投入する残渣が必要
本暗渠 (水田転換畑や、 特に排水性が悪い場合)	カットドレーン	簡易に施工でき、排水効果の持続性が高い	補助暗渠と本暗渠の中間 必要なトラクタの動力が大きい
	浅層暗渠	高い排水効果を持続する (トラクタを利用できる浅層暗渠施工器のマニュアルを参照して下さい)	資材コストがかかる

3. 除染後畑地での導入事例

【試験方法】

福島県伊達郡川俣町山木屋地域の除染後畑地で、排水対策の試験を行いました。この試験ほ場は土壌表面から20 cm 前後の深さに硬盤層があり、排水不良となっていました（写真 5-1）。プラソイラ耕を実施した区を設定し、土壌の貫入抵抗値の変動を調べました。



写真 5-1 プラソイラ耕の様子

【試験結果】

■ プラソイラ耕による土壌物理性の改善

プラソイラ耕により、土壌の表面から20cm 前後の深さにみられた硬盤層が破碎されました（図 5-2）。

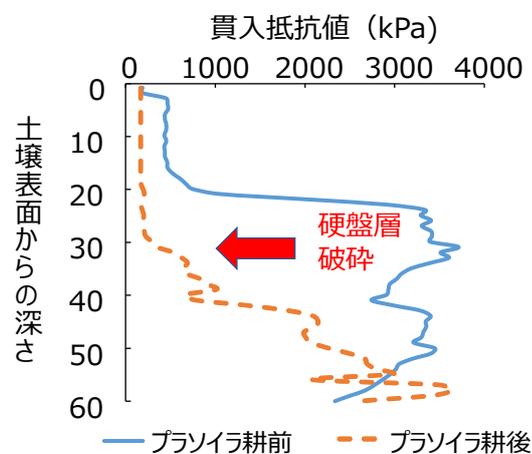


図 5-2 プラソイラ耕による貫入抵抗値の変化

参考資料

- ・ トラクタで利用できる浅層暗渠施工器、2020
https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/061567.html 農研機構
- ・ 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、2020
https://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/publication/pamphlet/tech-pamph/134377.html 農研機構



VI. 参考情報：地力の将来予測

1. 地力の将来予測の必要性

堆肥・緑肥等を用いた地力回復技術による土壌炭素、窒素の年間変化量は少なく、その効果を実感するためには数年から数十年かかります。そのため、地力回復技術を用いて本当に地力が回復しているのか疑問に感じ、地力回復を諦めてしまうかもしれません。Ⅱ～Ⅲ章で、現地試験による土壌炭素量の将来予測を示しましたが、ここでは参考情報として、堆肥や緑肥の投入による将来の土壌中の炭素、窒素量をモデルにより予測するサイトを紹介します。

2. 地力の将来予測の方法

- 1) 土壌の CO₂ 吸収「見える化サイト」(写真 6-1)
(農研機構農業環境変動センター <https://soil.co2.rad.naro.go.jp/>) にアクセスします。



- 2) 土壌炭素量 (RothC モデル) は「土壌炭素量と地球温暖化」に入り、上部の「計算」をクリックして計算を開始します(「Q&A」も参考にしてください)。土壌窒素量 (LEACHM モデル) は「土壌の窒素見える化ツール」から予測します。



予測する上での注意点

「見える化サイト」では、ユーザーが項目を選択すると自動的に初期値が設定され、ほとんど入力することなく予測可能です。しかし、除染後農地では、表土剥ぎ取り後に客土が実施されているため、土壌の特性値(土壌炭素濃度、深さ、仮比重、土壌の粘土含量)は、初期値と異なります。そのため、対象とする除染後農地の土壌の値に、初期値を変更する必要があります。

写真 6-1 土壌の CO₂ 吸収「見える化サイト」

免責事項

- 本手引きに記載された水稻や野菜、緑肥作物の栽培スケジュールは福島県における例ではありますが、福島県内でも地域や気候条件などにより変動することにご留意下さい。
- 本手引きの情報の掲載には十分な注意を払っておりますが、利用者が本手引きに記載された技術を利用したことによって生じるいかなる損害等について、理由の如何に関わらず一切の責任を負いません。
- 本手引きは、農林水産省委託研究プロジェクト「営農再開のための放射性物質対策技術の開発」の成果で作成された「除染後農地の地力回復マニュアル 水稻編」に食料生産地域再生のための先端技術展開事業（先端プロ）「原発事故からの復興のための放射性物質対策に関する実証研究(福島県・農業分野)」で実施された水田、畑地、保全管理農地の成果を加えとりまとめたものです。
- 本手引きに記載の図表は全て農研機構が著作権を有するか、著作権が放棄された物です。

この資料に関するお問い合わせ先

〒020-0198 岩手県盛岡市下厨川字赤平4

農研機構東北農業研究センター 広報チーム

電話：019-643-3414

電子メール：www-tohoku@naro.affrc.go.jp