



I S S N 1346-2423

日本中央競馬会特別
振興資金助成事業

2012.12

第30号

飼料増産広報誌

グラス & シード

特集：草地・飼料畠における放射性セシウム汚染対策の取組み



社団法人 日本草地畜産種子協会

編集部から

東京電力福島第1原子力発電所事故に伴う草地・飼料畑の汚染対策については、汚染の実態調査、除染や汚染低減技術の開発と除染が同時並行的に進められていますが、本特集号は平成24年11月までに明らかにされた研究データ等に基づき記述したものであり、今後の研究の進展により、データ等が変わることがあり得ることにご留意願います。

目 次

I 草地・飼料畑における放射性セシウムの汚染の現状と草地の除染	1
農林水産省生産局畜産部畜産振興課	
草地整備推進室 早坂 純	
II 飼料作物における放射性物質の移行メカニズムと移行に関わる諸要因	20
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構	
畜産草地研究所 飼料作物研究領域 原田 久富美	
III 草地・飼料畑における放射性セシウム低減技術	36
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構	
畜産草地研究所 飼料作物研究領域 梶村 恒子	
IV 宮城県における牧草地の除染(草地更新)対策の取組み	45
社団法人宮城県農業公社	
畜産振興部 佐藤 富雄	
V 草地の除染作業における反転耕	59
独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構	
中央農業総合研究センター 生産体系研究領域	
渡邊 好昭	
農業・食品産業技術総合研究機構本部 藤森 新作	
VI 除染用二段耕プラウの調整方法と作業上の留意点	65
スガノ農機株式会社 小澤 良夫	

I 草地・飼料畑における放射性セシウム汚染の現状と草地の除染

農林水産省生産局畜産部畜産振興課

草地整備推進室 早坂 純

1. はじめに

平成23年3月11日
の東京電力（株）福島第一原子力発電所の事故
(以下、原発事故)発生
から、既に1年と9カ月
以上の月日が経過してい
ますが（表1）、畜産分
野では、現在でも牧草地
等を中心として放射性物
質対策を強いられている
地域があります。

ここでは、牧草などの粗飼料や牧草地等への対策、それらの現状と今後の課題等についてそれらの概要を説明します。

2. 飼料の暫定許容値の設定

（1）原発事故直後の対応

平成23年3月17日に、食品に含まれる放射性物質について暫定規制値が定められ、これを上回る食品の規制が行われました。この暫定規制値は、食品からの被ばく線量の限度を1年間に5ミリシーベルトとし、汚染された食品を一定の割合で食べ続けた場合でも、この線量に達しないよう算出したものです。

この暫定規制値を超えない安全な畜産物を生産するため、粗飼料（牧草や青刈りトウモロコシなど）については平成23年4月14日に、牛、豚、家きん等の飼料（濃厚飼料など）については同年8月1日に、それぞれ暫定許容値が設定されました（表1、2）。なお、粗飼料の暫定許容値は、給与時の水分状態が異なることから、生の牧草の利用を想定

表1 原発事故以降の経過（畜産関係）

平成23年
3月11日：原発事故発生（3km圏内の避難指示等）。
3月17日：食品の暫定規制値を設定。
3月19日：緊急モニタリング検査で原乳等から規制値を超える放射線を検出。 農水省から飼料の給与や放牧等の制限等の留意点について指導。
4月14日：粗飼料（牧草、飼料作物等）の中の放射性物質の暫定許容値を設定。
4月22日：モニタリング調査結果に応じた牧草の利用の自粛を指導。
6月 8日：利用自粛牧草等の処分等を指導。
7月 8日：福島県産牛肉から暫定許容値(500Bq/kg)を超える放射性セシウムを検出。 セシウム汚染牛肉の原因が水田に放置された稲わらの給餌と発表（14日）。 福島県に対し、牛肉の出荷制限を指示。その後、宮城県、岩手県、栃木県に指示（19日）。
8月 1日：肥料・土壤改良資材・培土（堆肥含む）及び飼料の暫定許容値の設定。
8月19日：汚染稲わらの管理等について指導。25日には高濃度の汚染稲わら等の隔離一時保管について通知を発出。
12月22日：厚労省が食品の新基準値案を公表。
平成24年
1月 1日：放射性物質汚染対処特別措置法が完全施行。
2月 3日：牛用飼料の放射性セシウムの暫定許容値を改訂。
3月23日：豚、家きん等用飼料の放射性セシウムの暫定許容値を改訂。
4月 1日：食品中の放射性物質に関する新たな基準値を施行（牛肉については、経過措置）。
10月 1日：食品の基準値の牛肉への適用。

し水分含有量 80% 時の濃度としています。また、繁殖牛や育成牛などについては、当面と畜出荷されないことから、暫定許容値の例外（3,000 Bq/kg を上限）が認められています。

（2）平成 24 年 4 月 1 日以降

暫定規制値に適合している食品は健康への影響は無く、安全性は確保されると考えられます。が、より一層、食品の安全と安心を確保

表 2 食品の暫定規制値と飼料の暫定許容値

〈食 品〉		〈飼 料〉	
食品群	旧暫定規制値 (Bq/kg)	畜種	旧暫定許容値 (Bq/kg)
飲料水	200	牛	300
牛乳・乳製品	200	(繁殖牛など)	(3,000)
野菜類		馬	300
穀類	500	豚	300
肉・卵・魚・その他		家きん	300
		養殖魚	100
			100
			100
			80
			160
			40

するため、平成 24 年 4 月 1 日から、年間の線量の上限を 5 ミリシーベルトから、1 ミリシーベルトに引き下げた新たな基準値が適用されました。特別な配慮が必要と考えられる「飲用水」、「乳児用食品」及び「牛乳」はそれぞれ区分を設け、それ以外の食品を「一般食品」として区分し、計 4 区分としています（表 2）。ただし、米、牛肉及び大豆については、流通の混乱を防止する観点などから、経過措置（米及び牛肉は 9 月 30 日まで、大豆は 12 月 31 日まで）がとられましたが、現在は一般食品と同じ基準値（100 Bq/kg）が適用されています。

この食品の基準値を超えた畜産物が生産されないよう、牛用飼料については平成 24 年 2 月 3 日、豚・家きん用飼料については同年 3 月 23 日にそれぞれ暫定許容値を見直しました。新たな食品の基準値を超えない畜産物を生産するためには、放射性セシウム濃度が低い飼料に早く切り換えることが重要であることから、新たな食品の基準値よりも早く飼料の暫定許容値の見直しを行いました。この暫定許容値は、新たな食品の基準値設定と併せ、牧草等のモニタリング調査や、飼料から畜産物への放射性セシウム移行に関する試験結果などを活用し算出したものです。なお、暫定許容値の見直しについては、農林水産省のホームページ（http://www.maff.go.jp/j/syouan/soumu/saigai/siryou_faq.html）に解説があります。なお、食品中の放射性物質への対応については、厚生労働省のホームページにその解説があります（http://www.mhlw.go.jp/shinsai_jouhou/shokuhin.html）。

3. 飼料作物のモニタリング

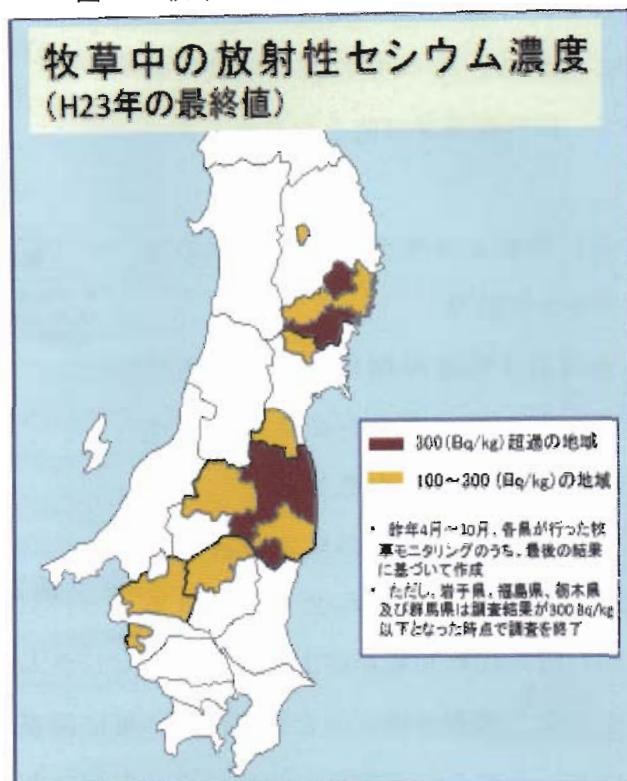
(1) 平成23年度の飼料作物のモニタリング調査結果

粗飼料の暫定許容値の設定後、生産した牧草や青刈りトウモロコシが暫定許容値を満たしているか確認するため、各県は飼料作物の利用前のモニタリング調査を実施しました。調査方法は、県内を複数の調査区域に区分し、複数点の当該作物の放射性セシウム濃度を計測し行いました。区域内のすべての調査地点が暫定許容値以下となった場合は、当該作物の利用が可能と判断します。

モニタリング調査の結果、オーチャードグラスなどの牧草の一番草については、北は岩手県、南は千葉県までの広範な地域で、放射性セシウム汚染が確認されました。その後、汚染により利用できない地域は、時間の経過とともに縮小していきましたが、平成23年度の最終の調査結果でも、利用できない地域が残りました（図1）。

また、事故後に作付けされた青刈りトウモロコシや稲WCS（ホールクロップサイレー

図1 牧草モニタリングの結果(H23)



ジ、稻発酵粗飼料）についても、同様のモニタリング調査を実施しました。その結果、放射性セシウムの濃度は、牧草よりも低いことが多く、すべての調査地点で暫定許容値（300 Bq/kg）を下回ったことから、すべての調査地域において、飼料利用が可能となりました。

（2）平成24年度の飼料作物のモニタリング結果

平成24年度の飼料作物の利用についても、モニタリング結果に基づきその可否を判断することとしています。ただし、飼料の暫定許容値の改訂や、23年のモニタリング結果等から得られた知見を踏まえ、放射性セシウム濃度が高い可能性のある地域を重点的に調査するよう調査地域区分を細分化し、更に調査地点数を増加（1地域あたり3点以上→5点以上）させるなど調査方法の見直しを行いました。

平成24年度の飼料作物モニタリング調査や昨年度の農家等が保管している牧草等の調査結果から、永年生牧草^{*1}については、5県（岩手県、宮城県、福島県、栃木県及び群馬県）の一部地域で利用自粛が行われています（図2）。このような地域では、牧草地の「除

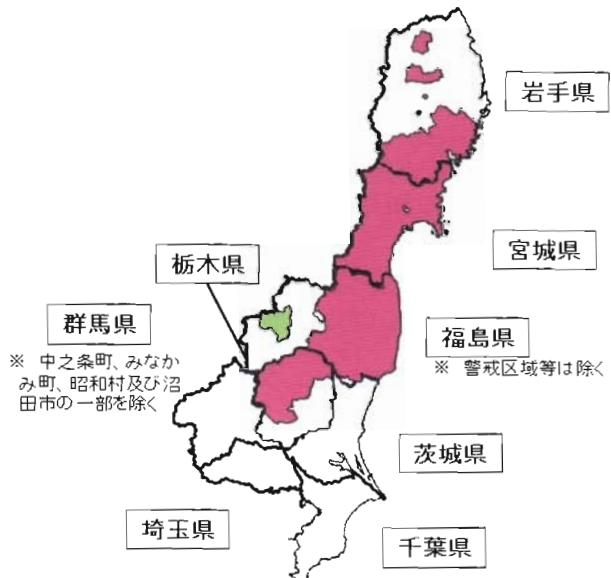


図2 永年生牧草モニタリング結果(H24)

染」とよばれる放射性物質濃度の低減のための対策を実施し、その効果が確認された以降から飼料利用が可能となります。

また、単年生飼料作物^{※2}についても、同様にモニタリング調査を実施しました。その結果、数件を除きすべての調査において暫定許容値を下回っており、利用が可能となりました。さらに、ほとんどの地域において、単年生飼料作物の放射性セシウム濃度は永年生牧草よりも低くなっています。これは、単年生飼料作物は、播種前に必ず耕起（攪拌）することや、ルートマットやリター層^{※3}などの層を形成しにくいこと及び堆肥等が定期的に投入されていることが多いことなどによると考えられています。なお、飼料作物の放射性物質の調査結果は、各県や農林水産省のホームページにまとめられています（<http://www.maff.go.jp/j/chikusan/sinko/shiryo/24result.html>）。



写真1 放射性物質濃度の精密測定に利用されるゲルマニウム半導体検出器

※1 永年生牧草：

一度播種すると越冬（夏）し、数～数十年間利用可能な牧草。チモシー オーチャードグラスなどが代表的。

※2 単年生飼料作物：

毎年播種する必要がある飼料作物。青刈りトウモロコシやスーダングラスのほか、イタリアンライグラスも単年生牧草に含まれる（一部のイタリアンは複数年利用されます）。

※3 ルートマットやリター層：

ルートマットは、地表面～5cm程度の深さで根がマットのように積み重なり密になった層。リター層は、ルートマットの上にあり、枯れた葉等の余り分解されていない有機物が堆積した層。

4. 代替粗飼料の確保

モニタリング調査の結果が暫定許容値を超えたこと等により自給飼料が利用できない場合は、代わりの代替粗飼料（主に輸入乾草）を確保・利用する必要があります。その際に必要となる輸入乾草については、農林水産省から飼料輸入業者に対し確保することを要請しています。

一方、輸送遅延等により輸入乾草が一時的に確保できなくなる心配があったことから、緊急的な代替粗飼料の需要に応えられるよう、（独）家畜改良センターから粗飼料（約 1,400 トン）を無償支援するとと

もに、現場の農協や普及センター等に対し、被災地以外の地域の余剰粗飼料（約 6,600 トン）に関する情報を提供し、農家へのあっせん（マッチング）を行っています（表 3）。

この代替粗飼料の購入費については、東京電力への賠償請求の対象とされていますが、その支払が迅速に行われるよう、東京電力に対して働きかけをしています。農林水産省では、被害農家の早期救済の観点から、原発事故連絡会議を本年 1 月までに 10 回開催し、賠償に関する最新の情報を関係者へ提供するなど、東京電力に対し中間指針※4に基づく賠償金の早期支払を求めているところです。また、これらの代替粗飼料は、農家が代金を負担せずに確保できるよう、（独）農畜産業振興機構（ALIC）を通じて、農家に飼料の現物を供給する民間団体を支援する対策（稲わら等緊急支援対策事業、粗飼料購入に必要な代金を ALIC が立替え）も実施しています（図 3）。

以上の取組により、現状では関係県からは粗飼料が不足する状況ではありませんが、今後も不足しないよう注視していく必要があります。

※4 中間指針：

文部科学省に設けられた原子力損害賠償紛争審査会が、原発事故による被害者と東京電力との損害賠償に関する円滑な話し合いと合意形成のため、平成 23 年 8 月 5 日に「東京電力株式会社が賠償すべき損害」についてとりまとめた指針のこと。

表 3 代替粗飼料供給可能
数量（12月16日現在）

飼料の種類	数量
乾草	1,383トン
サイレージ	8,299トン
稲わら	9,595トン
合計	19,277トン
合計(乾草ベース)	12,894トン

※ 乾草ベースの合計値については、サイレージを水分含量 65%、乾草を水分含量 15% として計算。

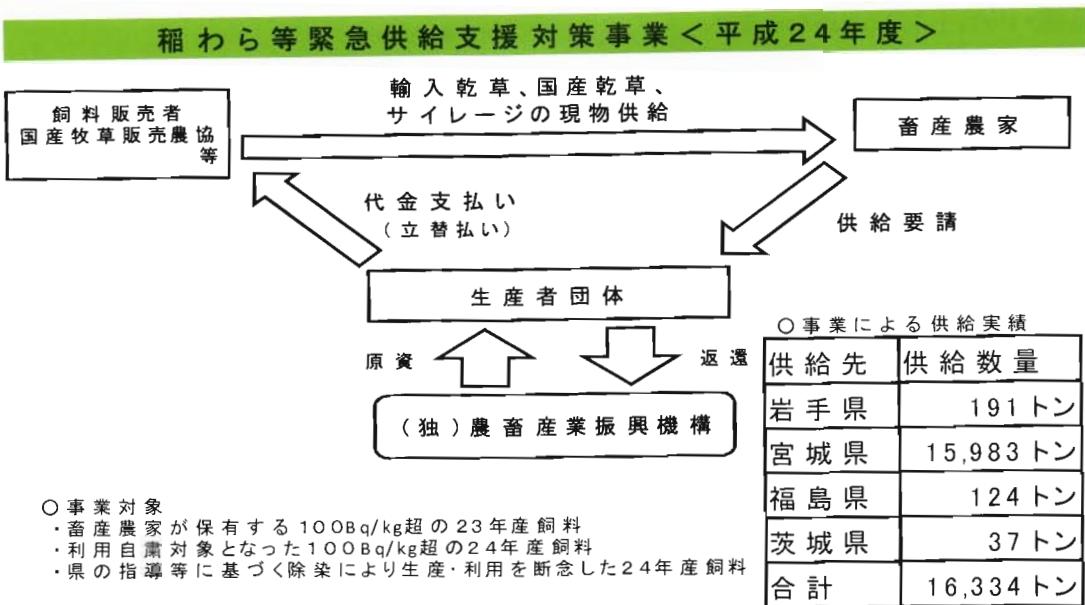


図3 稲わら等緊急支援対策事業

5. 飼養・出荷管理の徹底

食品の基準値を満たす安全な畜産物を生産するためには、生産者（畜産農家）が適切な飼養管理を徹底することと、県や団体等による出荷前の検査体制の構築・強化が必要不可欠です。

適切な飼養管理の徹底とは、3に記述した各県が実施するモニタリング調査の結果に基づき、暫定許容値以下の飼料のみを家畜に給与することや、水・土壌等からの放射性セシウムの取り込みをできるだけ抑制するよう飼料の保管、家畜の飲料水や飼育場所等にも注意する必要があります。特に暫定許容値の見直しによって利用できなくなった牧草等飼料については、誤用や混入が無いよう区分保管し、処分を進める必要があります。そのため、リーフレット等を作成し（図4）、県の普及機関や生産者団体等を通じて畜産農家へ配付するなど、飼料の暫定許容値の見直しや飼料の区分管理などについて、周知徹底を図っているところです。

飼料中の放射性セシウムに関する 暫定許容値が変わりました

牛用飼料1kgあたり → 100ベクレル

(これまでの牛用飼料の暫定許容値: 1kgあたり300ベクレル)

4月1日に食品の基準値が見直される予定です。
新基準値を超えない牛乳(1kgあたり50ベクレル※)や
牛肉(1kgあたり100ベクレル※)が生産されるよう、暫
定許容値以下の粗飼料を給与しましょう。



※現在検討中の基準値案

1. 新基準値を超えない牛乳や牛肉を生産するため、できるだけ早く1kgあたり100ベクレル以下の牧草や稻わらなどの粗飼料へ切り替えていきましょう。

- これまで1kgあたり100ベクレルを上回る飼料を給与していた牛乳や牛肉中の放射性セシウム濃度を下げるためには、一定の期間がかかります。
- このため、できるだけ早く、1kgあたり100ベクレル以下の牧草等へ切り替えてください。(遅くとも搾乳牛は3月15日、搾乳牛以外は3月31日※まで)
※肉用出荷する際には飼い直しが必要となることがあります
- 牧草等が不足する場合は、輸入乾草などの代替飼料を農協などへ早めに注文してください。
- これまで利用してきた牧草等が今後も利用できるかどうかは、裏面の問い合わせ先までお問い合わせください。

- 牧草等が利用できなくなったことによる損害（代替飼料の購入や牧草の処分経費など）は、東京電力に賠償請求することができます。
- 代替飼料を購入してから賠償金が支払われるまでの資金については、農協のつなぎ融資や国の支援事業が利用できます。
- 賠償請求の手続については県の賠償協議会に、資金の申込みについては農協へご相談ください。裏へつづく



図4-1 生産者向け暫定許容値変更等周知のためのリーフレット

(暫定許容値改訂前に配布)

2. 飼料として利用できなくなった牧草等は、利用できるものと分けて保管してください。

- 1kgあたり100ベクルを上回る牧草等のロールなどにマジックやスプレーで目印を付けるなど、1kgあたり100ベクル以下のものとしっかり分けて保管しましょう。
- 1kgあたり8千ベクル以下の牧草等は、一般廃棄物として埋却や焼却ができますし、生産されたほ場が明らかであれば、そのほ場へ還元することもできます。



3. 収穫される牧草が1kgあたり100ベクルを上回ると予想される牧草地では、除染対策を進めていきましょう。

- 昨年の調査結果から、24年産牧草の放射性セシウム濃度が1kgあたり100ベクルを上回ると予想される地域では、除染対策を積極的に進めましょう。
- 表土の削り取り、牧草地の反転や通常の耕起（草地更新）などの除染対策によって、牧草へ移行する放射性セシウムを大きく減らすことができます。
- また、春に牧草地を耕起して、テントコーンやスーダンなどに転換するのも良い方法です。
- 具体的な除染方法は、予想される牧草中の放射性セシウム濃度や牧草地の状態などを考慮して決める必要があります。
- 除染の費用は東京電力への賠償請求が基本になりますが、活用できる補助事業もありますので、今までご相談ください。



相談窓口	担当係	電話
------	-----	----

○○県畜産課

生産振興G

○○○○

○○○○

図4-2 生産者向け暫定許容値変更等周知のためのリーフレット
(暫定許容値改訂前に配布)

酪農・肉用牛生産者の皆様へ

解説は裏面です

出荷前管理の再徹底を！

10月1日から食品の基準値(100ベクレル/kg)が牛肉にも正式に適用されます。今後、基準値を超えることがないよう、適切な飼養管理と出荷前の確認の再徹底をお願いします。

これまで牛肉が基準値を超えたケースとそれらの対策

【ケース1】

暫定許容値を超えていたため給与できないはずの粗飼料が誤ってえさに混入し、そのまま牛に給与してしまった。

【ケース2】

出荷に当たり、給与牧草の放射性セシウム濃度を確認し必要な期間の飼い直しを行ったが、過去に給与していた牧草に非常に濃度が高いものがあったため、牛肉の濃度が基準値を超えた。



対策

・許容値以下の飼料のみを食べさせましょう

【ケース3】

農家から聞いていた牧草の給与量が、実際に牛が食べていた量よりもかなり少なかったため、飼い直しが不十分なうちに出荷されてしまった。

【ケース4】

県の職員は、飼い直しが必要と指導していたが、農家へ指示がきちんと伝わっていなかったため、牛が飼い直しされずそのまま出荷されてしまった。

飼い直し
してくださいね

飼い慣らし?
よくなついとるよ

対策

・普及センター等によく相談しましょう

【ケース5】

草地更新後の牧草は使って良いと考え濃度を確認せずに牛に給与していたが、更新前の牧草がそのまま残っていたため、収穫した牧草が暫定許容値を超えていた。

プロロロ...

対策

・更新効果を確認してから牧草を使いましょう



図4-3 生産者向け暫定許容値変更等周知のためのリーフレット
(牛肉の経過措置適用前に配布)

解説

○ 飼料の管理(暫定許容値以下を給与)を徹底

汚染により利用できない飼料の保管に当たっては、目印をつけ別の場所に保管(写真右下)するなど、誤って利用しないよう留意しましょう。

また、牛が勝手に屋外の雑草等を食べないよう、放牧ができない地域では、牛が舎外へ出ないよう注意しましょう。

その他、放射性セシウム濃度が分からなくなってしまった牧草などは、放射性セシウム濃度を確認してから利用するようにしましょう。なお、濃度の確認方法については、普及センター等へ御相談下さい。



○ 飼い直しは、普及センター等の指示を確実に遵守

廃用牛を出荷する場合は、普及センター等の職員が、出荷までに食べていた飼料の放射性セシウム濃度や量から飼い直しに必要な期間を計算・指示します。

廃用牛の出荷に当たっては、必ず普及センター等へご相談下さい。なお、その際は、これまで牛が摂取した飼料等の全てを伝え、指示された事項については、確実に実施して下さい。



○ 草地更新後でも、濃度を確認してから給与

牧草の放射性セシウム濃度を下げるためには、草地更新が有効です。しかし、これが不適切な場合(例:前の牧草が枯死しておらず再生した、土壌のカリ濃度やpHが低かった等)は、更新しても牧草の放射性セシウム濃度が暫定許容値を超える場合があります。

草地更新後は、普及センター等へ連絡し、牧草の放射性セシウム濃度を確認してから利用して下さい。



連絡先:〇〇県〇〇課 担当:〇〇係 電話:〇〇〇〇〇〇〇〇〇

図 4-4 生産者向け暫定許容値変更等周知のためのリーフレット
(牛肉の経過措置適用前に配布)

併せて畜産物の検査体制の構築も重要です。牛乳・乳製品については、現在17都県において、CS（クーラーステーション）^{※5}等で原乳（生乳、酪農家が搾ったままの牛の乳）のモニタリングを実施しています。

また、肉及び卵については、各県がモニタリング検査を行っています。特に牛の出荷制限が指示された県においては、出荷の条件として牛肉の全頭・全戸検査^{※6}を実施しています。平成24年4月以降に、食品の新基準値（100 Bq/kg）を超えた牛が見つかっていますが、これらはすべてと畜場において回収及び処分されており、市場には流通していません。

食品の新基準値が適用された平成24年4月1日以降の原乳及び牛肉の放射性セシウム濃度の検査結果を示します（表4）。畜産物については、これまで数多くの検査が実施されており、特に牛肉は、福島県のコメの全袋検査の次に多い検査数となっています。そのうち食品の基準値を超えたものは牛肉の6件のみで、その割合も非常に低くなっています（<0.01%）。

なお、これら畜産物の放射性物質の検査結果の詳細や関係県の牛の出荷・検査方針等については、農林水産省のホームページにまとめています（http://www.maff.go.jp/j/kanbo/joho/saigai/seisan_kensa/index.html）。

また、放射性物質と健康影響や放射性物質に関するの生産現場の取組などについてよりよく理解していただくため、「食べものと放射性物質の話」をまとめていますので参考としてください

（http://www.maff.go.jp/j/syouan/soumu/saigai/tabemono_no_hanasi.html）。

表4 原乳及び牛肉の検査結果の概要
(24年4月～11月30日)

Cs濃度 (Bq/kg)	0～50	50超過	計	超過割合
原乳	1,640	0	1,640	0.000%
Cs濃度 (Bq/kg)	0～50	100超過	計	超過割合
牛肉	105,938	6	105,944	0.006%

※5 CS（クーラーステーション）

酪農家から集めた原乳を乳業工場へ輸送するまで一時的に貯留し、冷却する施設のこと。

※6 牛肉の全頭・全戸検査：

県により詳細は異なるが、汚染稻わら等を給与した牛の飼養農家については出荷牛の全頭を検査（全頭検査）、それ以外の飼養農家については3ヶ月毎に1頭以上の検査を行う（全戸検査）仕組みにより検査を実施。

6 汚染飼料・牛ふん堆肥の処理

(1) 処分の基準・方法等について

放射性セシウムに汚染され利用できない稲わら、牧草、牛ふん堆肥については、放射性物質汚染対処特措法^{※7}に基づき処理することとされています。汚染された稲わら及び牧草については、隔離・誤用防止のため、マーキングを施した上で（シート被覆済みのものは除く）、シート被覆や封印等を行います。このうち、放射性セシウム濃度が 8,000 Bq/kg を超えるものは指定廃棄物として国（環境省）が、8,000 Bq/kg 以下のものは一般廃棄物等として市町村等が処理することとされています（図 5）。

農林水産省としては、特措法に基づく処理に際して住民理解を得ることが難しい中、中間処理・最終処分を行う体制が整うまでの間、農家の営農上の支障が生じることがないよう、隔離・一時保管を進めているところです。

- 放射性セシウムに汚染された稲わら、牧草、牛ふん堆肥については、放射性物質汚染対処特措法に基づき、8,000Bq/kg超は指定廃棄物として国（環境省）が、8,000Bq/kg以下は一般廃棄物等として市町村等が処理。
- 農林水産省としては、中間処理・最終処分までの間、営農上の支障が生じないよう、また、風評被害の原因とならないよう、汚染稲わら等の一時保管を推進。
- 中間処理・最終処分ができるだけ早く進むよう、環境省と連携し、県・市町村等との連携も密にしながら、周辺住民の理解を得つつ、しっかりと粘り強く取り組んでいく考え。

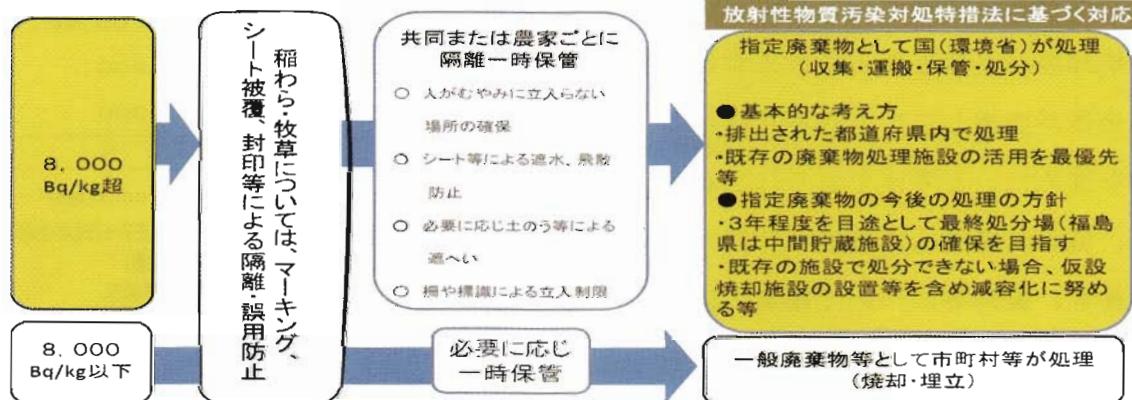


図 5 農業系汚染廃棄物の処理の推進

(2) 汚染牧草及び稻わらの現状（平成24年12月14日現在）

暫定許容値（100 Bq/kg）を超える汚染牧草（写真2）の放射性セシウム濃度については、モニタリング調査の結果からそのほとんどが（99 %超）8,000 Bq/kg未満となっていますが、大半は生産者段階で保管されている状況で、汚染牧草の処理がなかなか進まない状況にあります。これは、焼却施設の確保や設置の調整に時間要すること、焼却施設の能力に限界があること等がその主な理由と考えられます。



写真2. 汚染牧草の保管

汚染稻わらについては、6県に約7,000トン保有されていると推定されますが、これまで、パイプハウスによる共同隔離一時保管等の取組が実施されているところであり、保管作業の進捗率は、「処理済み」が約8割、さらに「作業中等」^{*8}を含めると、全体で約96%という状況です。

また、汚染稻わら等の一時保管後は、既存の廃棄物処理施設や仮設焼却炉による焼却等が必要となってきますが、政府全体が連携して、できるだけ早く処分を進めたいと考えており、これまでも、農林水産省も環境省と共同で現地に赴き、焼却等について提案・協議しているところです。

今後とも、汚染稻わら等の処理の円滑な推進のため、環境省と連携し、県、市町村等との連携を密にしながら、周辺住民の理解を得つつ、しっかりと粘り強く取り組んで参ります。

※7 放射性物質汚染対処特措法

正式名称は、「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法」

※8 作業中等：

保管場所が確保されているもの、保管施設の設置や汚染稻わらの搬入が作業中のもの

7 牧草地の放射性セシウム移行低減対策

(1) 牧草汚染と移行抑制の仕組み

3の牧草のモニタリング調査結果が暫定許容値を超えた場合や超えるおそれがある場合には、牧草の放射性セシウム濃度を低下させるため、土壤等から牧草への放射性セシウムの移行を抑制させる必要があります。この牧草地の移行抑制対策を「牧草地の除染」といっています。

通常放射性セシウムは、地表面付近の濃度が非常に高くなっています。

また、放射性セシウムは、土壤（粘土等）に吸着・固定されると植物へ移行しにくくなることから、牧草中の放射性セシウムは、土壤からの吸収よりも、高濃度に汚染されたルートマットやリター層の分解に伴い放出され直接根から吸収された方が多いと考えられています。したがって、牧草中の放射性セシウム濃度を低下させるためには、反転耕（プラウ等によるすき込み）や耕起（ロータリーハロー等による攪拌）を伴う草地更新を実施して、汚染されたルートマットやリター層を破壊し土壤とよく混和させることが重要であると考えられています。

併せて、牧草中の放射性セシウム濃度は、土壤中のカリウムが不足していると高くなることや、土壤酸性度（pH）の影響を受けることが知られています。したがって、草地更新時に、土壤のカリウム濃度やpHを適正な範囲に矯正することも重要です。なお、飼料作物への放射性セシウムの移行メカニズムの詳細については、本誌の「飼料作物における放射性物質移行メカニズム」にまとめられていますので、そちらをご覧下さい。

牧草地の除染方法としては、草地更新（完全更新）が効果的です。草地更新時の①ルートマットやリター層の破壊による放射性セシウムの土壤への吸着・固定促進、②高濃度な表土等の土層深部へのすき込み及び土壤の攪拌^{かくはん}に伴う放射性セシウム濃度の希釈、③更新時の施肥や土改材投入等により、牧草中の放射性セシウム濃度が低下すると考えられています。

また、ルートマット等表土の削り取る方法もあり、濃度が非常に高い部分を持ち去ることから原理的には優れています。しかしながら、高濃度な残土が大量に発生することや地力の高い表土が失われてしまうこと等から、土壤中の放射性セシウム濃度が特に高い場合

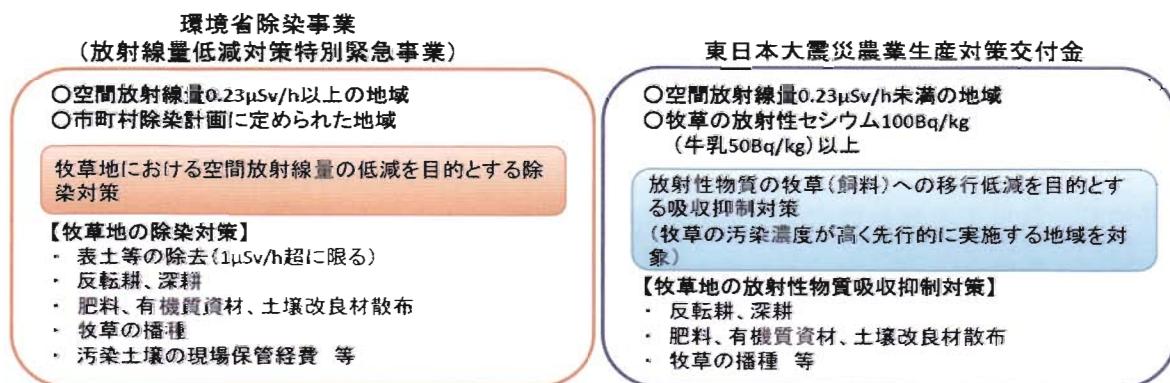
や草地更新が不可能な場合等に限定し、かつ残土の処分や地力の回復方法など事前に綿密な実施計画を立案することが重要となります。

プラウやロータリーハロー等を用いた牧草地の更新方法については、以降に詳しい調査結果や事例等がありますので、そちらをご覧下さい。

(2) 移行低減対策(除染)の概要

平成23年度の飼料作物モニタリング調査や昨年度の農家等が保管している牧草等の調査結果から、岩手県、宮城県、福島県、栃木県及び群馬県の一部地域の牧草地においては除染が必要であり、合計面積は約3万8千ヘクタールになると見込まれています。

平成23年度については、国の予備費等を活用し、約2千ヘクタールの牧草地の除染を実施しました。平成24年度については、約2万ヘクタールの除染が計画されています。これら除染に要する経費については、基本は東京電力への損害賠償になりますが、環境省の事業や農林水産省の事業(東日本大震災農業生産対策交付金)も活用し(図7)、国・県・公社・民間団体・農業者団体等が協力しながら、除染を推進しているところです。



※関係5県全てで東京電力と除染に係る損害賠償について協議中。既に岩手、福島では除染作業に着手。

図7 牧草地の除染に利用可能な事業

なお、牧草地の除染を進める中で、1割弱の牧草地で十分な効果が得られておらず、現在その要因を調査しているところです。

(3) 牧草地の除染方法として留意すべき点

牧草地の除染を目的として草地更新を実施する際は、以下について必ず留意しましょう。

①不耕起播種機等による簡易草地更新

ロータリーハローなどによる耕地全面を耕起しない、不耕起播種機等を利用した簡易的な草地更新法(写真3)については、ルートマット等を含む現存植生が破壊されずに

地表付近残ることや、土壤の搅拌等による放射性セシウムの希釈効果が期待できないため、除染のための草地更新方法としては適していません。そのため、草地更新を行う際は、完全更新等により、現存植生やルートマットの破壊を必ず行いましょう。

②除草剤について

草地更新後に更新前の植生の多くが生き残りそのまま再生すると、除染効果が不十分となることがあります。そのため、草地更新を行う場合は、耕起前に除草剤の散布（写真4）等により、必ず現在の牧草を枯死させるよう心がけましょう。

③プラウ等によるすき込みを行わない場合

プラウ等を用いて表土をすき込むことをせずに、ロータリー等による地表面付近の搅拌のみにより草地更新を行う場合は、放射性セシウムの土壤吸着・固定及び濃度の希釈効果は認められるものの、地表面付近に多い雑草の種子や根茎等の発芽・生育を促進することが考えられます。牧草中の放射性セシウム濃度が低下しても、雑草だらけで牧草が見当たらない牧草地となってしまっては、問題です。更新以前に雑草等が多かった牧草地では、除草剤の活用等により、雑草が繁茂しないよう注意しましょう。

④堆肥の活用

施肥基準等で推奨されている10aあたり3トン程度の堆肥の継続的な施用は、土壤から青刈りトウモロコシへ移行する放射性セシウムを抑制することが分かっています。こ



写真3 簡易更新機による播種



写真4 除草剤の散布

のことから、牧草地の更新時には、完熟堆肥を積極的に活用しましょう（詳細は、「Ⅱ 飼料作物における放射性物質の移行メカニズムと移行に関わる諸要因」を参照して下さい）。なお、放射性セシウム濃度が 400 ~ 8,000 Bq/kg の堆肥については、自家利用に限定されます。

(4) 草地更新が困難な牧草地

様々な理由により技術的に除染（＝草地更新）が難しい牧草地があります。それらについては、適切な解決法が開発されるまでの間、更新が容易な牧草地の除染を優先して実施してもらうよう県へお願いしているところです。

土壤中の石礫が多くロータリーの耕起による除染が困難な牧草地については、ストーンクラッシャー（写真5）を用いた牧草地の除染方法について検討しています。ストーンクラッシャーを用いて牧草地ほ場の岩石を粉碎することにより、ロータリー等による耕起が可能となります。この作業については、ストーンクラッシャーが普及していないこと、作業に時間を要すること、大型のトラクターが必要なこと等が課題となっています。

また、傾斜が非常に急な牧草地では、一般の乗用トラクター等では転倒する危険性があり、安全に草地更新を実施することが困難です。そのため、（独）畜産草地研究所等に依頼し、無線操縦のトラクターにロータリーを装着できるように改良し、傾斜地を安全に除染する技術の開発を行っているところです。（独）家畜改良センター等の協力を得て、これまでに2回（9月21日



写真5 ストーンクラッシャー
(30cm以内の石を3cm程度まで破碎可能)



写真6 無線操縦トラクターを用いた
除染の現地試験の様子（福島県西郷村）

(宮城県)、10月3日(福島県)の現地試験を実施しています(写真6)。

そのほかに、表土が非常に薄い岩盤上の牧草地や森林内の放牧地など、除染が難しい牧草地等も存在します。これら牧草地の除染方法については、引き続き研究機関等と協力しつつ、技術的な解決方法等について検討していきます。

8 おわりに

畜産物の安全確保のための飼料作物の放射性物質対策については、畜産農家の皆さん、関係県庁はもとより、各県の普及機関、農業者団体、農業公社、民間団体、研究機関、関連独立行政法人など、多くの方々の協力を得て実施されています。農林水産省としても、これらと連携しつつ、必要な調査・事業等を実施しながら今後も、放射性物質対策を円滑に進めていくため努力して参ります。消費者の方々におかれましても、これらの取組にご理解いただきますようご協力をお願いします。



写真7. 暫定許容値見直し
に関する説明会(福島県)

II 飼料作物における放射性物質の移行メカニズムと移行に関わる諸要因

(独) 農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所

飼料作物研究領域 原田 久富美

1. はじめに

福島原発事故により東日本の広い地域で放射性物質による汚染が発生し、畜産物や飼料作物の放射能汚染の実態把握やその低減対策が課題となっている。2011年の事故発生初期においては、これまでに研究者等が地道に積み重ねてきた知見や国際原子力機関（IAEA）等がとりまとめ、発表してきたチェルノブイリ事故のデータが大変に参考になった。特に、整理された作物ごとの移行係数データ、土壤とセシウムの吸着反応の基礎的知見、カリ施用による放射性セシウムの移行抑制、実行された対策とその効果や取り組みやすさなどの情報は、わが国の放射性セシウム汚染への対策立案に大きく貢献してきたと考えられる。筆者が所属する畜産草地研究所においても、海外から土壤や畜産関係の有識者を招いて2011年9月に公開シンポジウム「広域的な農畜産物の放射能汚染を効果的に抑制する農業技術—チェルノブイリ原発事故事例に学ぶ—」を主催するなど、知識の導入に努めてきた(<http://www.naro.affrc.go.jp/event/list/2011/08/011236.html>)。

一方、わが国の農業システム、土壤や気象、さらに社会的条件は、チェルノブイリ周辺の地域やヨーロッパとは隔たりがある。そのため、わが国の農業システムにおける放射性セシウム汚染の実態把握、技術導入にあたっての効果の検証に加え、新たな技術開発が必要と考えられる。昨年3月の事故発生後から、多数の関係者が、汚染実態の把握や移行低減のための試験研究を実施しており、急速に知見が集まりつつあるが、実施された試験の一部では、海外文献で推奨されている対策技術やデータと整合性が明確でない結果が得られている。

そこで本稿では、できるだけわが国で得られた試験結果を用いて、環境中に放出された放射性セシウムが飼料作物に移行するメカニズムや移行に関わる要因についての説明を試みることを心がけた。今後、試験研究が進み、新たな解釈が行われるかもしれないが、著者が収集した現時点での最新知見を整理、紹介したい。

2. 原発事故による放射性セシウムの沈着

原発事故初期には、放射性ヨウ素が周辺地域の牛乳や野菜を汚染したが、主要核種であるヨウ素131の半減期は8日と短いため現在ではその影響はみられない。一方、放射性セ

シウム、特にセシウム 137 は半減期が 30 年と長く、影響が中長期にわたる。放射性セシウム汚染の実態把握のため、航空機を用いたモニタリング技術により放射性セシウムの沈着量マップが作成された（図 1、<http://radioactivity.mext.go.jp/ja/list/191/list-1.html>）。

この沈着量マップによれば、福島原発から放出された放射性セシウムは、原発から北西方向に空間線量率が非常に高い地域を発生させると同時に、東日本のかなり広範囲にわたって、帯状、スポット状、モザイク状に沈着したことがわかる。これは、大気に放出された放射性物質が北西方向の風に乗って多量に運ばれたこと、降雨とともに放射性物質が降下することにより、放射性セシウムの沈着量が高い地域を局的に発生させたことが原因と考えられている。

飼料生産基盤である飼料畑や水田、永年草地の場合、放射性セシウムの沈着は土壌の表層、イタリアンライグラスなどの単年生冬作物や牧草などの作物体、稲わらや刈り株、草地の表層にある枯葉などリター、圃場に保管されていたロールベール、防風林等、多寡はあるものの、野外にあるすべてのものに生じたと考えられる。

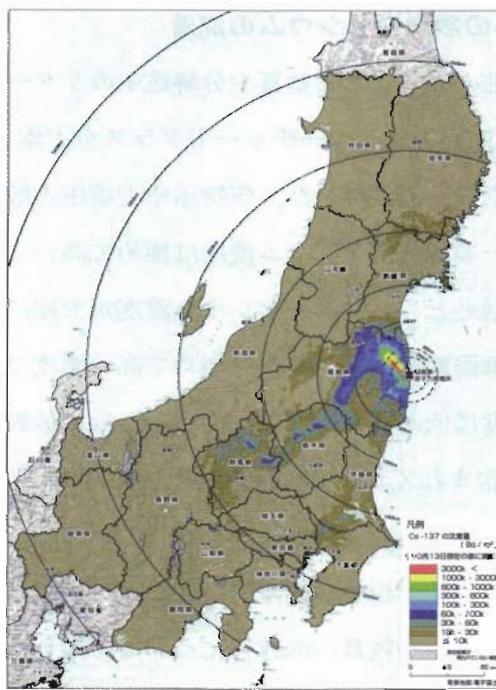


図1 航空機モニタリングによる地表面へのCs-137沈着量
文部科学省、平成23年11月11日

3. 作物体への放射性セシウムの沈着とウェザリングによる濃度の低下

作物体に沈着した放射性セシウムの一部は、植物体の表面から直接吸収されるが、沈着

量のかなりの割合が風や雨によるウェザリング（和訳すると「風化」であるが、原語のままとした）により、作物体から脱落するといわれている。そこで、実際に、畜産草地研究所において、イタリアンライグラスの養分吸収パターンを把握するために実施されていた試料を用いて調べた。2011年事故直後の3月下旬から5月上旬の収穫までの間に、放射性セシウム濃度は59000Bq/kgから3400Bq/kgと約6%にまで低下していたが、植物体の成長による希釈効果は3倍程度しかなく、確かに作物体からの脱落を考えるとうまく説明できる。また、放射性セシウム濃度の減少パターンは、雨や風の影響は調査日間で同じではないと考えられるにもかかわらず、みかけ上1次反応式に非常によく適合し、半減期は9.6日であった。一方、移行係数などのパラメーターを収集したIAEA技術レポート472では10日と記載されており、結果的によく一致していた。これは、2011年春の単年生冬作物では事故から収穫までの日数が放射性セシウム濃度に大きく影響した可能性を示唆している。

4. 永年草地の表層リターへの放射性セシウムの沈着

放射性セシウムは、永年草地の表層にある枯葉や分解途中のリターなどの有機物にも沈着した。図2には、2011年7月に調査したオーチャードグラスを主体とする採草地の牧草、リター層、土壤の放射性セシウム濃度を示した。作物体や土壤中の放射性セシウム濃度と比較すると、表層にあるリターの放射性セシウム濃度は極めて高いことがわかる。作物ではウェザリングにより時間経過とともに放射性セシウム濃度が大幅に低下したが、リター層の放射性セシウム濃度は、梅雨期を超えてなお極めて高い濃度で維持されていた。また、土壤の放射性セシウム濃度は低かったが、単位面積あたりの放射性セシウム沈着量として比較すると71%が土壤に含まれており、極めて濃度が高かったリターの面積あたりの沈着量は21%であった（図3）。

これまでのところ土壤中の放射性セシウム濃度の動態についての知見に比べて、リター層に含まれる放射性セシウムの動態や牧草への移行についての知見は少ないが、永年草地の放射性セシウム低減対策において、リターに含まれる放射性セシウムの動態を把握することは重要と考えられる。現段階で、限られた知見から推察されるリター中の放射性セシウムの動態は以下の通りである。

枯葉やリターに沈着した放射性セシウムは、リターが粗大なうちは表層に存在するが、微生物によって分解されることにより、小破片や小粒子となり土壤中に徐々に移行する

(Clint et al. 1990)。さらに分解が進んで放射性セシウムが放出されると、放射性セシウムは土壤中の粘土鉱物や土壤有機物に結合しやすい性質を持つため、速やかに土壤に吸着されると考えられる。また、永年草地では時間の経過とともにリターの分解が進むとともに、放射性セシウム濃度の低い牧草の枯死部等に由来する新しい有機物が表層に積み重なるため、表層リター中の放射性セシウム濃度は年々減少すると考えられる。また、永年草地において、草地更新を実施した場合には、条件にもよるが、リターはすき込まれて、土壤中で急速に分解されると考えられる。

土壤中でリターが分解されて、リターに吸着されていた放射性セシウムが土壤中の粘土鉱物に再び吸着される過程では、放射性セシウムは一時的に土壤溶液に移行することが考えられる。土壤溶液に存在する放射性セシウムは、経根吸収されやすい形態であることが知られており、リターが分解される際には、一時的には作物に吸収されやすい形態の放射性セシウムの濃度を高めてしまう可能性が考えられる。作物が土壤溶液中の放射性セシウムを吸収することは、土壤溶液中のカリウムイオン濃度を高めることにより、効果的に抑制できることが報告されている(Smolders et al. 1997)。

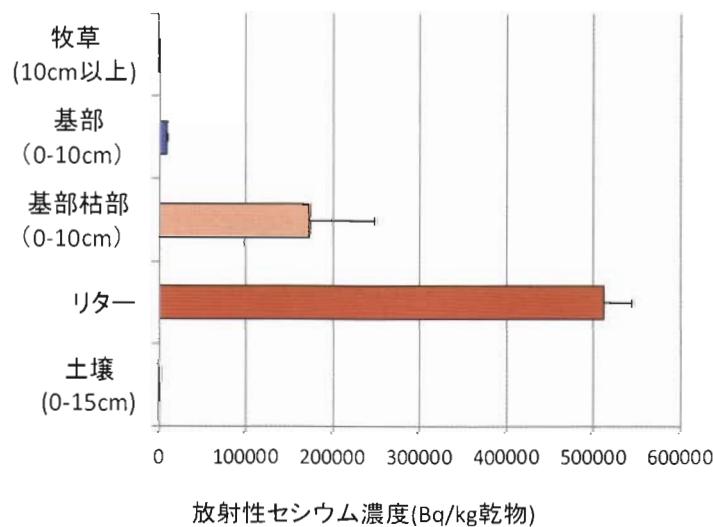


図2 採草地における放射性セシウム濃度の調査事例(2011年7月)

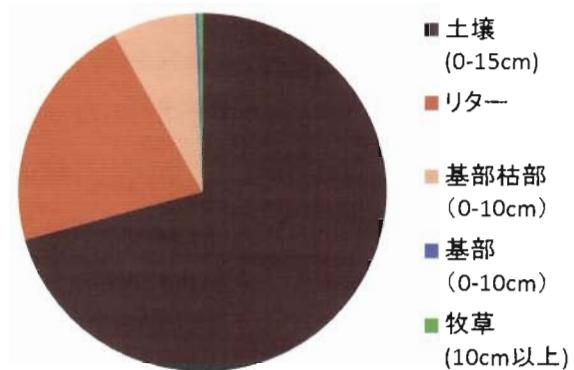


図3 採草地における放射性セシウムの面積あたりの沈着量割合
(2011年7月)

5. 土壤中の粘土鉱物や有機物への放射性セシウムの吸着

これまで、放射性セシウムによる東日本における汚染発生の状況や飼料畑や草地への沈着について記載してきたが、農地では沈着した放射性セシウムの大部分は土壤中に存在している。そこで、土壤中における放射性セシウムの動態について概略を説明する。

元素の周期律表において、セシウムはアルカリ金属に属しており、環境中ではカリウムと同じく1価の陽イオンとして挙動するが、カリウムイオンやアンモニウムイオンに比べてはるかに土壤に強く吸着することが知られている。

土壤には表面に負荷電をもつ粘土鉱物や有機物が含まれるため、セシウムは陽イオン交換反応により土壤に吸着される。さらに、土壤中の粘土鉱物の内部には、セシウムイオンがちょうどはまり込む大きさの隙間があり、この隙間に保持されることによりセシウムが強く吸着すると考えられている。このような粘土鉱物内とセシウムの強い吸着反応は、粘土鉱物の種類による影響を受け、イライトやバーミキュライトはモンモリロナイトよりも強い吸着が生じやすいとされている。また、一般には粘土含量が多い土壤ほど放射性セシウムが土壤から作物に移行しにくいとされている。土壤に沈着した放射性セシウムは、はじめはイオン交換的に吸着されるが、次第により強く吸着されるように反応が進み、数年後には事故直後よりも作物に移行し難くなるとされている。チェルノブイリ原発事故後のデータにおいても、数年間は移行係数の大きな低下が認められており(Prister et al 2006)、畜産草地研究所内で同一の圃場、施肥、品種条件で栽培した飼料用トウモロコシにおいても、放射性セシウム濃度が2011年に比べて、2012年では1/4以下に大きく低下したことが認められている。

このような土壤と放射性セシウムの強い吸着について、実験的には、放射性セシウム捕捉ポテンシャル (RIP, Radiocesium interception potential) を測定することにより評価されている。これは、土壤を 0.1M 塩化カルシウムおよび 0.5mM 塩化カリウムを含む溶液中で平衡化後、放射性セシウムを吸着させて、その土壤の放射性セシウムの吸着力の強さを調べるものである。理論的には、土壤中に放射性セシウムが強く結合する粘土鉱物内の隙間がどれだけあるのかを調べることができると考えられている。現在、福島県内を中心として、RIP マップの作成が進められている。

放射性壊変による物理学的な半減期とは別に、土壤や作物中の放射性セシウム濃度が経年的にどの程度の速度で減少するのかという生態学的半減期の考え方がある。現在、原発事故の影響を受けた地域において、環境中の主要な放射性セシウム核種はセシウム 134、セシウム 137 であり、物理学的な半減期はそれぞれ約 2 年、約 30 年であるが、わが国農耕地土壤における調査事例において、土壤の作土層内におけるセシウム 137 の半減期(生態学的半減期)は水田作土で 9 ~ 24 年、畑作土で 8 ~ 26 年と報告されている(駒村ら 2006)

6. 土壤から作物への放射性セシウムの移行を表す指標 一移行係数一

土壤から作物根を通じて収穫物に移行する放射性セシウムの割合を示す指標として、移行係数が利用されている。前述の IAEA 技術レポート 472 では、多数の元素および作物について、移行係数がとりまとめられており、土壤から作物への移行係数は以下の式で計算されている。

移行係数 (TF, Transfer factor)

=作物の放射性セシウム濃度 ÷ 乾土あたり放射性セシウム濃度

牧草の場合、作物の乾物あたりの放射性セシウム濃度と 0 ~ 10cm 深換算の土壤の放射性セシウム濃度により算出されており、飼料用トウモロコシのような他の作物では、土壤の放射性セシウム濃度として 0 ~ 20cm 深換算の値が用いられている。牧草において、土壤の深さが他と異なるのは作物による根域の違いを標準化したためと説明されているが、実際には具体的な標準化方法が直接記載されていない。土壤の種類の違いが移行係数に影響するため、粘土質、壤質、砂質、有機質と土性や大まかな土壤タイプ別に移行係数が整理されている。

ただし、事故から数年間においては、土壤中で放射性セシウムの強い吸着反応が進むことから、時間とともに作物の放射性セシウム濃度が低下するが、このような時間的要因をどのように取り扱うのかについては、詳しく記載されていない。また、土壤カリ含量が放射性セシウム濃度に大きな影響を与えることもよく知られているが、IAEA技術レポート472では標準的な施肥条件のデータを収集していると記載されているだけで、土壤カリ肥沃度の情報は示されていない。たとえ標準的な施肥条件であっても、土壤のカリ肥沃度が違う場合には放射性セシウムの移行が影響されると考えられる。このような限界はあるにせよ、移行係数を収集し、とりまとめた技術レポート472は、わが国で得られたデータとこれまでに集積してきたデータを比較する場合に大変に有用である。

7. わが国の飼料作物における2011年の移行係数の測定例

畜産草地研究所は、関係する試験研究機関からの協力を得て、わが国の土壤から飼料作物への移行係数について調査を実施している。図4には2011年において、7地点で計測した飼料畑における土壤から飼料用トウモロコシの放射性セシウムの調査事例を示した。IAEA技術レポート472にならって、7地点における飼料用トウモロコシの移行係数の幾何平均値を計算すると0.045であり、この値は技術レポート472の値とほぼ同じレベルと考えられる。移行係数が0.05である場合、土壤の放射性セシウムが5000Bq/kg乾土と高くても、立毛状態の飼料作物の放射性セシウム濃度は50Bq/kg($=5000 \times 0.05 \div 5$ 、水分80%)と計算される。実際に、行政が実施したモニタリング調査において、飼料用トウモロコシでは2011、2012年の両年において暫定許容値を超える場合は示されていない。

(ただし、2011年の暫定許容値は300Bq/kg、2012年は100Bq/kgである。)飼料畑で栽培される飼料用トウモロコシでは、土壤からの移行が比較的低いために、暫定許容値を超えることがなかったと思われる。しかし、わずか7地点の測定にもかかわらず、最小値から最大値の差は10倍程度と範囲はかなり大きく、IAEA技術レポート472においても大きな幅があることが示されている。従って、土壤の放射性セシウム濃度が高い場合には、飼料用トウモロコシを栽培する場合であっても、十分に堆肥が施用されているか、土壤のカリ肥沃度が十分なのか、などの注意が必要である。

図5には、5地点における飼料用イネの結果を示した。飼料用トウモロコシと同様に幾何平均値を計算すると0.064であり、飼料用トウモロコシと同じ程度であることが示されている。飼料用イネにおいても、行政が実施したモニタリング調査において、暫定許容値

を超える場合が認められなかつた理由は移行係数が低いことが関係すると思われる。

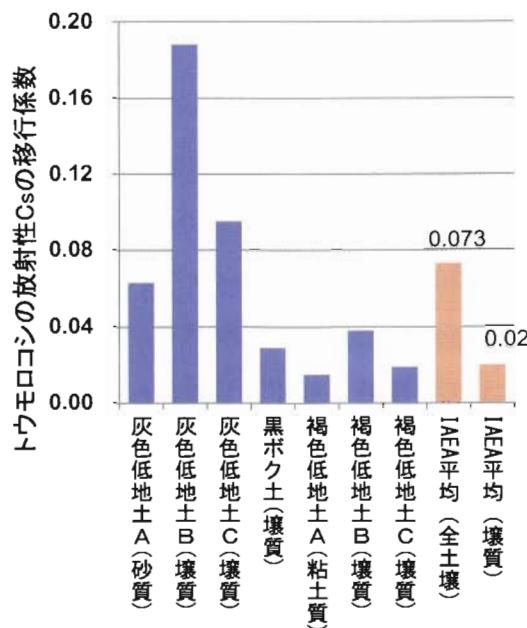


図4 7地点で測定した土壤から飼料用トウモロコシへの移行係数(2011年)
幾何平均値 0.045、最小値 0.015、最大値 0.188、刈高は10cmとした。

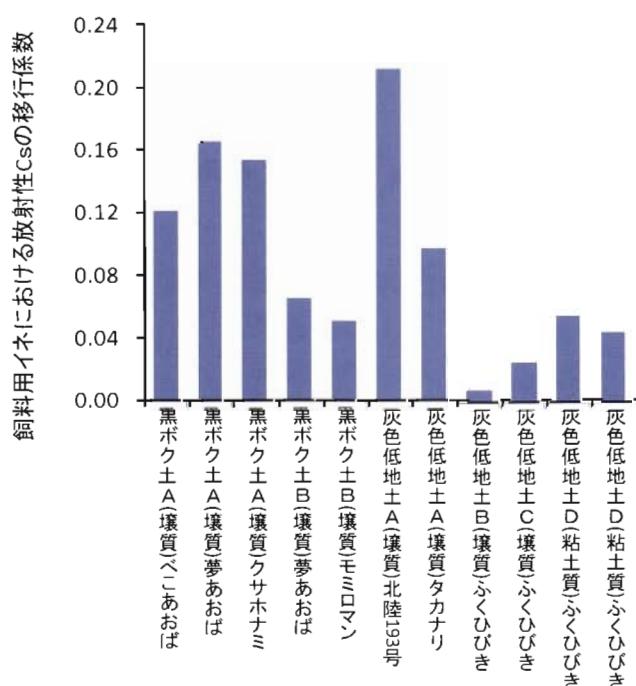


図5 5地点で測定した飼料用イネ地上部への移行係数(2011年)
幾何平均値 0.064、最小値 0.007、最大値 0.212、刈高は10cmとした。

8. 飼料作物の移行係数を評価するための土壤放射性セシウム濃度測定法についての提案

ここで移行係数を測定する場合の課題についても触れておきたい。これまでに畜産草地研究所で行った飼料畑の試験では、プラウ耕により放射性セシウムを 20~30cm 深まで埋め込んだ場合と表層だけロータリ耕により攪拌した場合において、飼料用トウモロコシの放射性セシウム濃度に違いが認められていない(菅野ら 2012)。この場合、機械的に IAEA 技術レポートと合わせるために 0~20cm 深の放射性セシウム濃度を計算するとプラウ耕区では表層の放射性セシウム濃度が低いために移行係数が高くなる。しかしこれでは、耕起による処理の効果が移行係数に正しく反映されず、不都合と考えられる。永年草地においても、プラウ耕により草地更新を実施すると同じような問題が生じる可能性が考えられる。

そのため移行係数を算出する際の土壤の放射性セシウム濃度について、トウモロコシにおいて 20cm とは異なる深さで土壤を調査した場合に IAEA 技術レポートと同じ調査深さである 0~20cm 深に換算するための計算方法を提案したい。式①は考え方、式②は実用的な実際の測定方法を想定している。なお、牧草について IAEA 技術レポートと揃えるために土壤の放射性セシウム濃度を 0~10cm 深で換算する場合は、式①②の 20cm を 10cm に変更する。

0~20cm 深の土壤の放射性セシウム濃度

$$= \text{面積あたりの沈着量}(\text{Bq}/\text{m}^2) \div 0 \sim 20\text{cm} \text{ 深の仮比重}(\text{kg}/\text{L}) \div 200(\text{L}, \text{ m}^3 \text{当たりの } 20\text{cm} \text{ 深の土壤体積}) \quad \text{式①}$$

$$= \text{土壤の放射性セシウム濃度} \div 20\text{cm} \times \text{調査深} \quad (\text{仮比重は上下層で大きく異なる場合に補正}) \quad \text{式②}$$

式②で用いた放射性セシウム濃度測定のための土壤調査深は、耕起深もしくは耕起されていない深さまでとする。未耕起の草地では 10cm 深の採取で十分と思われるが、リターも含めて採取する。この方法であれば耕起深にかかわらず、土壤から作物への移行しやすさを評価できると考えられる。更新後の草地においても、表層の放射性セシウムしか吸収しない結果となることが確認されれば、計算方法を再検討することがよいと思われる。

このような試算方法により、2011 年の永年草地（未更新）における 3 番草の移行係数を

0～15cm 深として計算した場合、調査した5圃場のうち4圃場で1を超える値となり、飼料畑のトウモロコシや飼料用イネとは大きな違いが見られる(第2章、図1)。永年牧草は、移行係数が大きいことが、暫定許容値を超えて、利用自粛となりやすい理由である。現在のところ、永年草地が放射性セシウムの影響を受けやすい原因として、リター層に沈着した放射性セシウムの影響や土壤交換性カリが低い場合が多いことが考えられており、調査が進められている。

9. 放射性セシウムの移行に関する作物的な要因

(1) 放射性セシウムの蓄積部位

飼料用トウモロコシにおいて、葉、茎、雌穂の3部位にわけて放射性セシウム濃度を測定したところ、葉部>茎部>雌穂であった。また、部位別の分配割合としては、葉部=茎部>雌穂であり、雌穂は放射性セシウム濃度が低く、収穫時の乾物分配割合として約50%を占めるにも関わらず、全体の10%程度しか放射性セシウムを含んでいない(表1)。このような部位間の分布割合は、他の主要なミネラルとは合致しない。雌穂の濃度が低いという点においてはカルシウムと似ている。また、収穫時期では、雌穂が充実していない絹糸抽出期の方が、乳熟期、黄熟期よりも高い傾向が見られる(図6)。乳熟期と黄熟期の違いは明確ではないが、飼料用トウモロコシを極端に早く刈り取ることは収量の低下に加えて、放射性セシウムを高める可能性があることに注意すべきであろう。

表1 飼料用トウモロコシにおける部位別の放射性セシウムおよびミネラルの分配割合

トウモロコシ 部位	乾物 割合 (%)	放射性 Cs分配 割合 (%)	N分配 割合 (%)	P分配 割合 (%)	K分配 割合 (%)	Ca分配 割合 (%)	Mg分配 割合 (%)
葉(葉身のみ)	14	40	23	14	16	58	27
茎(葉鞘含む)	37	51	15	21	68	36	34
子実	49	9	63	64	17	6	39
全体	100	100	100	100	100	100	100

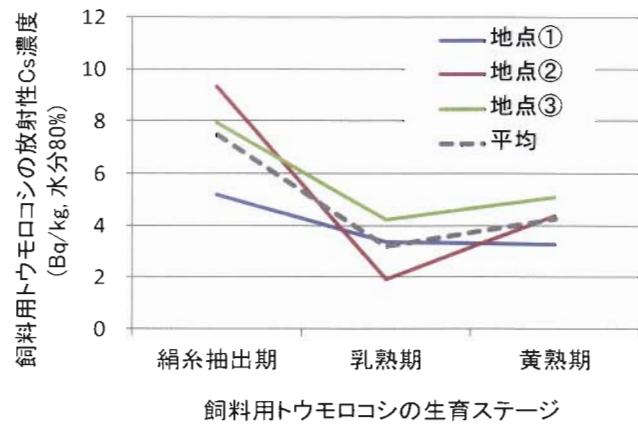


図6 飼料用トウモロコシの生育ステージと放射性セシウム移行の関係
(2011年)

(2) 刈取時期

永年牧草においては刈取時期や番草による放射性セシウム濃度の違いが見られる。直接的な沈着の影響をうけた事故当年の2011年では、1番草 > 2番草 > 3番草と時間の経過するにつれて濃度が低下する傾向が認められ、さらには、例えば、2番草においても刈取時期が遅くなるほど、放射性セシウム濃度が低いことが示されている(図7)。一方、2012年では、1番草よりも2番草の放射性セシウム濃度が高くなる傾向を示す草地があるなど事故当年とは異なる結果も見られている(畜草研未発表)。

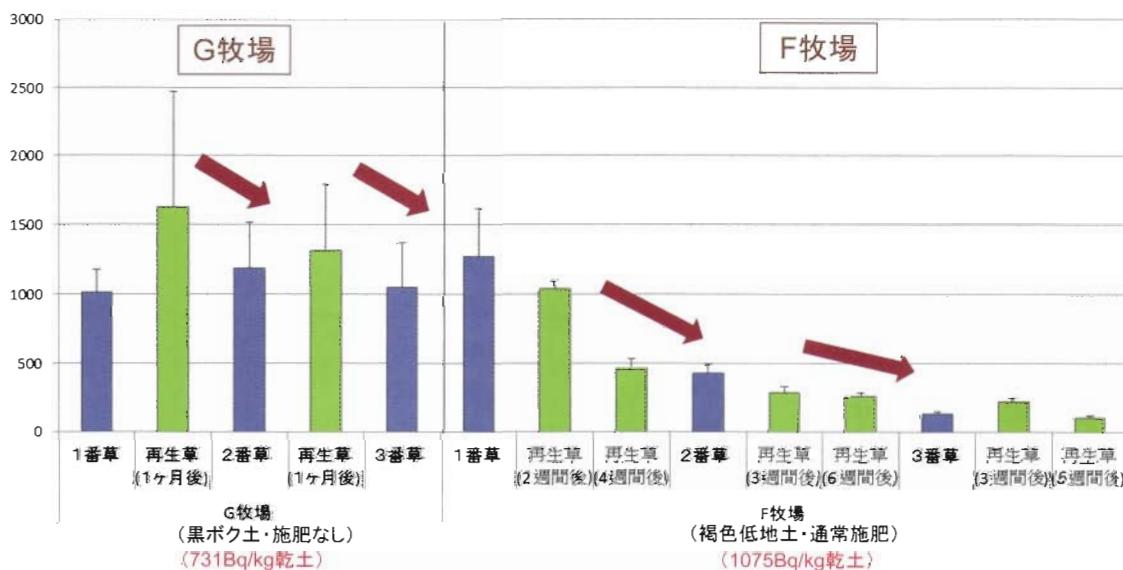


図7 永年草地における放射性セシウム濃度に及ぼす生育ステージの影響(2011年)
縦軸は、牧草の放射性セシウム濃度(Bq/kg, 水分80%換算値)

(3) 作物間差、品種間差

また、同じ圃場で作物を栽培した場合、放射性セシウム濃度には作物間や品種間に蓄積性の違いがあるとされている。IAEA技術レポート472では、イネ科牧草に比べてマメ科牧草の方が放射性セシウムの移行係数が大きいことが示されている。現在、畜産草地研究所においては、草種間差を確認するため2つの更新草地で調査を実施しているが、これまでのところ、シロクローバが他のイネ科牧草に比べて濃度が高くなる傾向は認められていない。しかし、結論づけるには調査数が十分とは言えず、次年度は、試験圃場において比較調査を実施する予定である。

また、コムギやオオムギにおいて、放射性セシウム蓄積に品種間差があることが報告されている(Schimmack et al 2004、Øhlenschläger et al 1992)。当該地域で栽培される飼料作物として、飼料用トウモロコシ、イタリアンライグラス、ライムギ、ソルガム、飼料用イネを対象として、放射性セシウム濃度の品種間差を調査する農水省委託プロジェクト研究が実施されており、現在、複数の試験機関により調査が精力的に進められている。

10. 放射性セシウムの移行に関わる土壤的な要因

(1) 土壤交換性カリ含量、カリ施肥の影響

すでに、土壤の粘土鉱物の種類や含量が作物への放射性セシウムに影響することについて説明したが、他にもpH、カリ施肥、有機物含量等、いくつかの土壤要因が放射性セシウムと関係することが報告されている。そのうち、昨年以降、我が国で実施されている試験研究においてカリ施肥やカリ肥沃度管理の有効性が、次第に明らかになりつつある。

土壤へのカリ施用は、土壤との反応だけを考えると、土壤に吸着した放射性セシウムをカリウムイオンが追い出すこと(脱着)により移行を高めるようにも思われるが、実際の栽培試験では、先に紹介したように、カリ施用は効果的に土壤から作物への放射性セシウムを抑制する場合が多く、土壤交換性カリ含量は放射性セシウム移行程度の目安として利用できることが水稻(加藤ら 2012)や飼料用トウモロコシ(原田ら 2012、第3章図4)で報告されている。この理由として、作物根が土壤溶液から放射性セシウムを吸収する際にはカリウムイオンが競争的に働くことが示されており(Smolders et al. 1997)、土壤のカリ含量を高めることにより放射性セシウムが移行抑制されるためと考えられる。

また、土壤交換性カリと放射性セシウム移行との関係について、カリ欠条件では放射性セシウム移行が高くなるため、カリ欠とならないよう施肥を実施することが必要であると

説明される場合もある。一方、2011 年の飼料用トウモロコシの例では、堆肥施用による養分供給が多い実態を踏まえ、堆肥+窒素単肥の施肥管理を想定した場合に、移行抑制に十分と考えられる土壌交換性カリレベルは、従来の土壌診断基準（農水省生産局 2001）として推奨されている範囲の上限値程度であり、カリ欠を避けるレベルというよりはむしろ、十分にカリが供給されるレベルであった。放射性セシウムの移行抑制に十分なカリ肥沃度水準については、作物や栽培条件で異なる可能性も考えられるため、今後もさらにデータを積み重ねつつ議論することが必要と思われる。

（2）耕起の影響

移行係数の項でもふれたが、放射性セシウムは地表に沈着するために、2011 年にプラウ耕を実施し、作物の根が集中する表層 0-10cm の放射性セシウム濃度を低下させることができたが、飼料用トウモロコシに対して検討された（菅野ら 2012）。プラウ耕により、放射性セシウムは 20-30cm に埋設され、0-10cm 濃度を低下させることができたが、一方、土壌から作物への移行係数については耕起法の違いによる明確な効果が得られなかった。同様の結果がダイズ子実においても得られており、30cm 程度のプラウ耕ではロータリ耕と同程度であったことが報告されている（小松崎・東 2012）。プラウ耕による移行低減効果を確実に得るための条件については、さらに検討を重ねる必要があると考えられる。

永年草地では、草地更新により耕起、播種することにより放射性セシウムの移行低減効果が得られることが明らかとなっている（渋谷ら 2012、福島県 2012、栃木県 2012）。現段階では更新翌年のデータしか得られていないが、草地更新による低減効果は表層リター等に吸着した放射性セシウムが耕起により攪拌されて土壌への吸着が進むことにより得られると考えられる。ただし、2012 年では、草地更新を実施しても、10%以下の草地で暫定許容値 100Bq/kg を超えたことが認められている。現在、効果的な実施方法を明らかにするため、その原因解析が進められており、耕起が十分であったかどうかに加え、土壌交換性カリ含量が十分でなかったこと等が関係すると指摘されている。

（3）土壌等の混入

牧草の放射性セシウムの暫定許容値が 100Bq/kg であることから、収穫作業時に、土壌や針葉樹葉など、100Bq/kg よりも高い放射性セシウム濃度を示す異物の混入の影響にも注意が必要となる。海外の文献では、土壌に吸着された放射性セシウムは家畜が摂食しても畜産物に移行する割合は小さいとされているが、土壌混入は飼料品質を低下させるため好ましいことではなく、飼料の放射性セシウム濃度を高めてしまう可能性もある。そのた

め、収穫時には圃場の状況を良く確認して、作業を実施することが必要である。

1.1. 堆肥からの作物への放射性セシウムの移行

福島県の齋藤ら(2012)は、堆肥中の放射性セシウムは、ほとんど水に抽出されず、希酸で処理しても脱着しにくいことを報告している。これは堆肥の放射性セシウムが雨で洗脱される量が少ないことが期待され、また、見かけ上、有機物にかなり強固に吸着されうることを示す一例として貴重なデータである。そのため、堆肥が土壌中にすき込まれても、放射性セシウムが堆肥に吸着されたまま放出せず、土壌や作物に移行しにくい可能性が考えられるが、実際には、土壌中に投入された堆肥は土壌微生物により分解されるため、放射性セシウムが徐々に放出していると想定される。畜産草地研究所において、これまでに実施した試験では、CN 比が 16、22、29 の 3 種の堆肥を圃場に埋め込んだ場合の炭素分解率は 1 年間で 40~45% であった。そのため、堆肥中の放射性セシウム濃度が高い場合には、堆肥から作物への放射性セシウムの移行程度を評価しておく必要がある。また、有機物中のセシウムは植物に吸収されやすい形態であるため、土にすき込む場合には注意が必要であるとの意見もある（村松 2011）。

実際に、畜産草地研究所において、これまで数百～数千 Bq/kg 程度の放射性セシウムを含む堆肥を圃場還元した場合の飼料用トウモロコシへの移行を検討しているが、堆肥中の放射性セシウムが、土壌中の放射性セシウムに比べて移行が高くなる結果は得られていない（畜草研未発表）。堆肥から作物への放射性セシウムの移行を評価する場合、堆肥にはカリが多く含まれているために、堆肥とともにカリが投入され、土壌中のカリ含量が高く維持される効果が伴う（原田ら 2012）。また、施用量が 5t 程度であれば、土壌 0~20cm 深の放射性セシウム濃度の上昇は、堆肥中濃度の 1/40 程度と計算されることから、放射性セシウムを数千 Bq/kg 程度含む堆肥を施用しても、作物の放射性セシウム濃度を上昇させる効果は小さい場合が多いと考えられる。なお、堆肥中の放射性セシウムの暫定許容値は、畜産農家が自らの飼料畑・草地に還元するなどの場合を除き 400Bq/kg となっている。

引用文献

- Clint et al (1990) The release of caesium137 from plant litters and the effects of microbial activity on this process. In Transfer of radionuclides in natural and semi-natural environments. Ed Desmet et al. pp.275-282
- IAEA (2010) Technical Report Series No, 472, Handbook of parameter values for the prediction of radionuclide transfer in terrestrial and freshwater environments (http://www-pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/trs472_web.pdf)
- 山口ら (2012) 土壤－植物系における放射性セシウムの挙動とその変動要因 農環研報 31, 75-129
- 駒村ら(2006) わが国の米、麦および土壤における ^{90}Sr と ^{137}Cs 濃度の長期モニタリングと変動解析 農業環境技術研究所報告, 24, 1-21
- Prister et al (2006) The classification of Ukrainian soil system onthe basis of transfer factors of radinuclides from soils to reference plants. In Classification of soil systems on the basis of transfer factors on radionuclides form soil to reference plants. IAEA -TECDOC-1497, 153-178
- Smolders et al (1997) Concentrations of ^{137}Cs and K in soil solution predict the plant availability of ^{137}Cs in Soils. Environ. Sci. Technol., 31, 3432-3438
- 加藤ら(2012) 水田土壤のカリウム供給力の向上による玄米の放射性セシウム濃度の低減、農研機構成果情報
(http://www.naro.affrc.go.jp/project/results/laboratory/narc/2011/a00a0_01_67.html)
- 原田ら (2012) 堆肥の継続的な施用は飼料用トウモロコシの放射性セシウム低減に有効である、農研機構成果情報
(http://www.naro.affrc.go.jp/publicity_report/press/laboratory/nilgs/029478.html)
- 農水省生産局 (2012) 草地管理指標－飼料作物生産利用技術編－ 参考 URL
http://www.maff.go.jp/j/seisan/kankyo/hozen_type/h_sehi_kizyun/pdf/sdojo12.pdf
- Schimmack et al (2004) Soil-to-grain transfer of fallout ^{137}Cs for 28 winter wheat cultivars as observed in field experiments. Radiat Environ Biophys 42, 275-284
- Øhlenschläger et al (1992)Difference in the sensitivity of barley varieties to direct cesium contamination from the Chernobyl accident. Health Physics 64, 535-537
- 菅野ら (2012) 飼料畑の深耕による放射性セシウムの下層埋設と空間線量率の低減、農研

機構成果情報(http://www.naro.affrc.go.jp/disaster/files/radioactivity_r_01.pdf)

小松崎ら (2012) 耕うん方法とカバークロップの利用がダイズへの放射性セシウム移行量に及ぼす影響、土肥講要、p161

渋谷ら (2012) 草地更新により採草地表面の空間線量率と新播牧草中 Cs 濃度を低減できる、農研機構成果情報

(http://www.naro.affrc.go.jp/disaster/files/radioactivity_p_r_09.pdf)

福島県農業総合センター畜産研究所飼料環境科 (2012) 牧草地における耕うん法による放射性セシウムの吸収抑制技術の開発（2年次調査）
(http://www.pref.fukushima.jp/keieishien/kenkyuukaihatu/gijyutsufukyuu/08%20jyo_sennsisinn/soutikousinn.pdf)

栃木県 (2012) 牧草地除染マニュアル ー安全・安心な自給飼料生産による持続的な畜産経営を目指してー (第2版)

([http://www.pref.tochigi.lg.jp/kinkyu/c08/documents/bokusouzyesenmanyuaru1.pdf](http://www.pref.tochigi.lg.jp/kinkyu/c08/documents/bokusouzyosenmanyuaru1.pdf))

齋藤ら (2011) 牛ふん堆肥中の放射性セシウムの挙動 農業および土壤の放射能汚染対策技術国際研究シンポジウム要旨集 p193

(http://wwwcms.pref.fukushima.jp/download/1/nougyou.tikusan_symposium7.pdf)

村松康行 (2011) 放射性物質の農耕地への影響：放射生態学の視点から考える 第34回農業環境シンポジウム講演要旨集

(http://www.niae.affrc.go.jp/sinfo/sympo/h23/34sympo_muramatsu.pdf)

III 草地・飼料畠における放射性セシウムの低減技術

(独) 農業・食品産業技術総合研究機構畜産草地研究所

草地管理研究領域 梅村恭子

1. はじめに

東京電力福島第一原子力発電所事故で放出された放射性物質は広範囲にわたって降下し、2011年には事故時に水田に置かれていた汚染イナワラ給与による牛肉の出荷停止や関東・東北の8県で永年牧草の利用自粛が行われるなど、放射能汚染は自給飼料生産や耕畜連携の取り組みに大きな打撃を与えました。2011年4月に設定された飼料の放射性セシウムの暫定許容値は、2012年2月の食品の基準値の見直しに伴い、 100Bq/kg に引き下げされました。放射性セシウム濃度が飼料の暫定許容値を超えていたため、2012年11月においても永年牧草の利用自粛が解除されていない地域があり、引き続き飼料作物の放射性セシウム低減対策が必要な状況となっています。そこで、主に(独)農研機構畜産草地研究所で実施された飼料作物の低減対策技術の中から、土壤カリ肥沃度の維持、堆肥施用、耕起に関する研究成果について紹介します。

2. カリ施肥による土壤カリ肥沃度維持

カリウムとセシウムは根からの吸収に関して競合関係にあり、土壤溶液中のカリウムが多いとセシウムの吸収を抑制することが認められています。チェルノブイリ事故においても、カリ施肥は牧草中の放射性セシウム濃度を低減する効果があったことが報告されています。2011年に栃木県北部と福島県南部の6カ所の採草地において、牧草中の放射性セシウム濃度と土壤の理化学性を調査しました。その結果、直接沈着の影響が小さい2番草と3番草について、土壤からの放射性セシウムの移行を示す指標である移行係数と土壤中の交換性カリ含量との間の関係を解析したところ、負の相関が認められました(図1)。図1で最も移行係数が低いA牧場の採草地では、地表から15cm深までの土壤中の交換性カリ含量が $21.6\text{mg}/100\text{g}$ 乾土と高く、 $\text{N-P}_2\text{O}_5-\text{K}_2\text{O}$ 各 $5\text{kg}/10\text{a}$ を収穫毎に施用する管理がなされていました。移行係数の高かったB牧場では、土壤中交換性カリ含量は $3.5\text{mg}/100\text{g}$ 乾土と低く、2011年には追肥が行われていませんでした。図2に2つの牧場の採草地で収穫された牧草の放射性セシウム濃度(水分80%換算)の推移を示しました。A牧場の1番草は 1200Bq/kg を上回る数値でしたが、2番草、3番草と時間の経過に伴い急速に低下し、4

番草では、現在の許容値である 100Bq/kg まで低下しました。それに対し、B 牧場では、1 番草、2 番草、3 番草の放射性セシウム濃度は約 1000Bq/kg とほぼ同じに維持され、減少がみられませんでした。

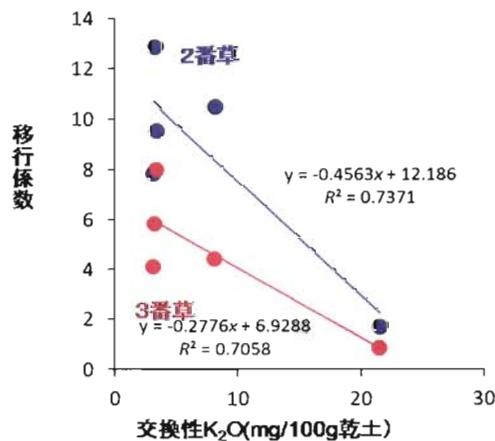


図 1. 採草地における土壤中の交換性カリ含量と移行係数の関係（2011 年）

移行係数＝牧草中の放射性セシウム濃度（Bq/kg 乾物）／土壤中の放射性セシウム濃度（Bq/kg 乾土）。

土壤は 15cm 深で採取。

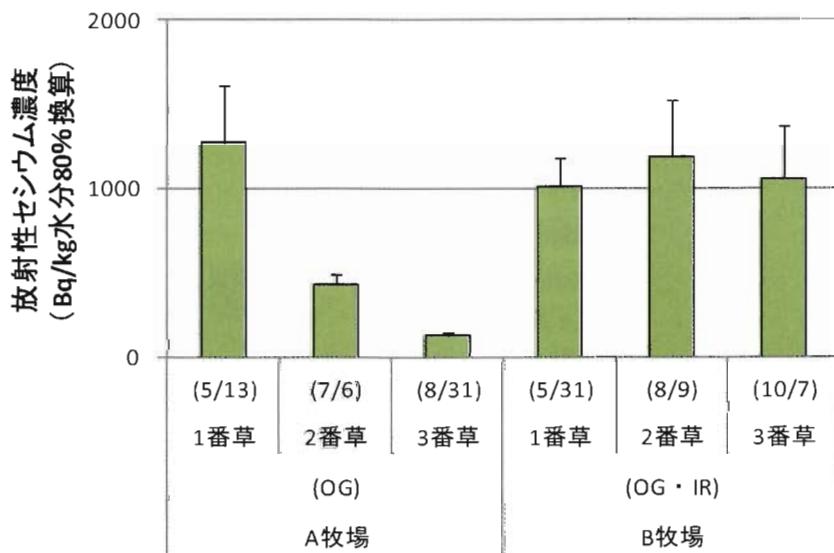


図 2. 図 1において移行係数が低かった A 牧場と高かった B 牧場における牧草中放射性セシウム濃度の推移(2011 年)

以上のことから、カリ施肥などにより土壤中の交換性カリ含量を増やすことが、牧草への放射性セシウムの移行抑制に繋がると示唆されました（山本ら 2012）。菅野ら(2003)が北東北の公共牧場でおこなった調査では、交換性カリ含量が岩手県の土壤施肥管理指標の基準値の 20 mg/100g 乾土(0~5cm 深)を下まわる草地が散見されることが報告されており、こうした草地では放射性セシウムの移行係数が高くなることが懸念されます。なお、図3に示すようにカリ肥沃度の高い採草地で、カリ肥料や石灰を上乗せ施用をしても、放射性セシウム濃度の低減効果は認められませんでしたので、土壤中のカリ含量增加による移行低減効果には上限があるようです。現在、畜産草地研究所では関係する県などと情報交換を行い、永年草地について放射性セシウム対策として有効な土壤中の交換性カリの推奨値を検討しているところです。

飼料畑についても堆肥施用を 10 年間休止し、交換性カリが 15mg/100g 乾土と低い圃場で、飼料用トウモロコシを栽培したところ、施用量として推奨されている 20~30kg/10a のカリ肥料の施用により、黄熟期のトウモロコシの放射性セシウム濃度を約 25% 低減することができました(図4)。

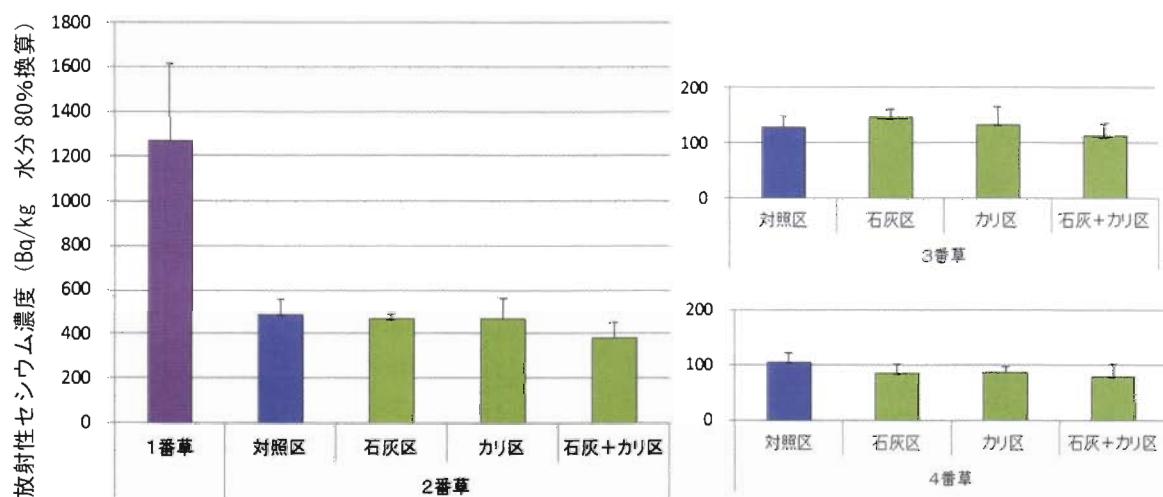


図3. 永年草地における石灰とカリ多肥の牧草中の放射性セシウム濃度の影響(2011年)

土壤 (0~15cm) 中の交換性カリは 21.6mg/100g 乾土、pH は 5.86

対照区：採草後に N-P₂O₅-K₂O 同量を 5kg/10a を追肥

石灰区：対照区処理に目標 pH を 6.5 として石灰施用(苦土石灰を現物で 150kg/10a)

カリ区：対照区処理に塩化カリで K₂O 5kg/10a を上乗せ施用

石灰+カリ区：石灰とカリ両資材を施用

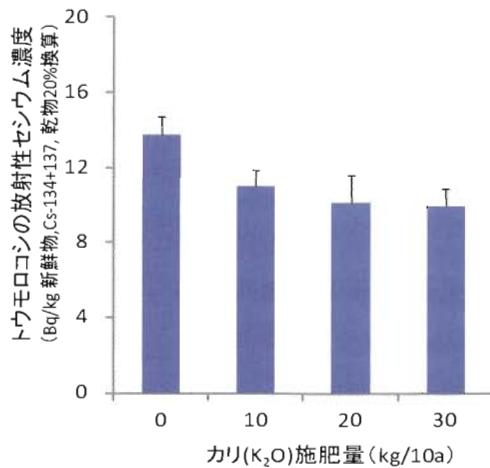


図4. 低カリ肥沃度条件におけるカリ施肥がトウモロコシの放射性セシウム濃度に及ぼす影響（2011年）

堆肥施用を10年間中止し、交換性カリが15mg/100g乾土と関東東海の基準値より低い圃場の試験結果。カリ肥料として粒状塩化カリを土壤表面に側条施用。

3. 堆肥施用

低カリ肥沃度条件でカリ施肥の効果を認めましたが、飼料用トウモロコシ栽培では、一般的に堆肥が施用されています。堆肥の継続的な施用は土壤中の交換性カリ以外にも、石灰、陽イオン交換容量を高めるなど土壤化学性を変化させることから、飼料作物への放射性セシウム移行に影響を及ぼすことが考えられます。そこで、飼料用トウモロコシ－イタリアンライグラス二毛作体系において、牛ふん堆肥を2006年から継続的に施用してきた圃場で、飼料用トウモロコシへの放射性セシウムの移行について検討しました（原田ら2012）。その結果、堆肥を施用しない場合に比べて、牛ふん堆肥を1作あたり3t/10a以上を継続的に施用してきた圃場（栽培後土壤の交換性カリが35mg/100g乾土程度以上）では、黄熟期のトウモロコシの放射性セシウム濃度が40%程度低くなっていました（図5）。堆肥の継続的な施用により、交換性カリ以外の土壤pH、陽イオン交換容量なども高くなりましたが、飼料用トウモロコシの放射性セシウム濃度と最も相関が高かったのは、交換性カリ含量でした。飼料用トウモロコシの放射性セシウム抑制に効果が得られた堆肥施用量やカリ施肥量は、いずれも從来から推奨されてきた飼料畑土壤における適正な土壤管理目標の上限値および施肥基準において標準的に推奨されている量です（農水省生産局2001）。また、実際の農家圃場を対象として、飼料畑土壤の交換性カリを調査した文献を収集して調べてみる

と、土壤交換性カリは35mg/100g乾土よりも高い場合が多く、現状の養分管理で土壤中の交換性カリ含量は十分に高い場合が多いと考えられます。しかし、堆肥やカリ肥料が十分に施用されていない飼料畑や永年草地で飼料用トウモロコシを栽培する場合などでは、土壤中の交換性カリ含量が低いことが予想されるので、適切な量のカリ肥料や堆肥を施用することが推奨されます。なお、堆肥中の放射性セシウムの暫定許容値は、畜産農家が自らの飼料畑・草地に還元するなどの場合を除き400Bq/kgとされています。放射性セシウムを含む堆肥の圃場への還元による影響については、計算上大きくないと考えられますが、実際の圃場試験を実施して飼料作物への移行を調査しているところです。

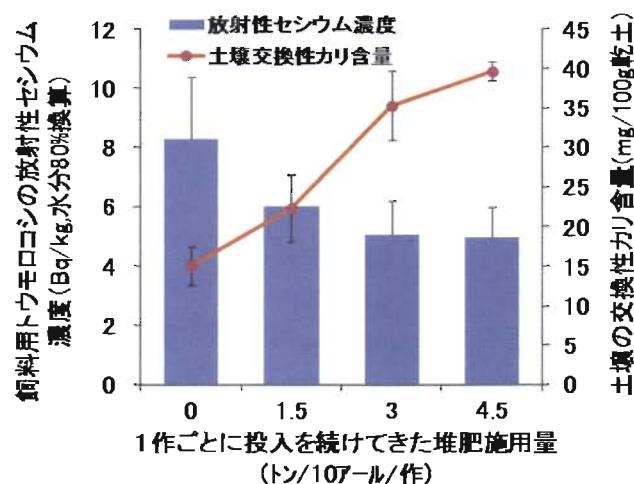


図5. 堆肥の連年施用量の違いがトウモロコシの放射性セシウム濃度に及ぼす影響

(2011年)

オガクズを含む牛ふん堆肥を連年施用した圃場の試験。化学肥料は窒素成分10kg/10aのみ施用。土壤は栽培後に採取して、交換性カリを測定した。土壤の放射性セシウム濃度は1670Bq/kg乾土。

4. 汚染土壤の耕起

(1) 飼料畑

耕起は農家が通常行っている農作業であることから取り組みやすく、チェルノブイリ事故による汚染に対しても影響を受けた国々で深耕や浅耕が広く実施されました。そこで、飼料用トウモロコシについて、耕起法を変えて圃場の空間線量率およびトウモロコシの放射性セシウム濃度に及ぼす影響を調べました(菅野ら2012)。2011年5月6日に収穫したイタリアンライグラス跡圃場を用いて浅層ロータリ区(耕起深約10cmのロータリ耕)、プ

ラウ区（耕起深 15-20cm のプラウ耕後に耕起深 15cm のロータリ耕）、深耕プラウ区（耕起深 30cm の深耕プラウ耕後に耕起深 15cm のロータリ耕）の 3 種の耕起方法を比較しました。浅層ロータリ区に比べ、プラウ区あるいは深耕プラウ区では放射性セシウムを多く含む土壤表層がより下層へ埋設されました（図 6）。また、耕起によって圃場表面における空間線量率が大きく低下し、浅層ロータリ区>プラウ区>深耕プラウ区の順に低くなりました（図 7）。プラウ区と深耕プラウ区の空間線量率は未耕起に比べ 46-56% に減少したことから、プラウ耕による土壤表層の埋設は、圃場作業における外部被曝量の低減にも有効です。収穫された黄熟期のトウモロコシ（品種セシリア）中の放射性セシウム濃度はいずれの区においても 5 Bq/kg 以下（水分 80% 換算）と低い値となり、耕起法による明らかな差はありませんでした（図 8）。

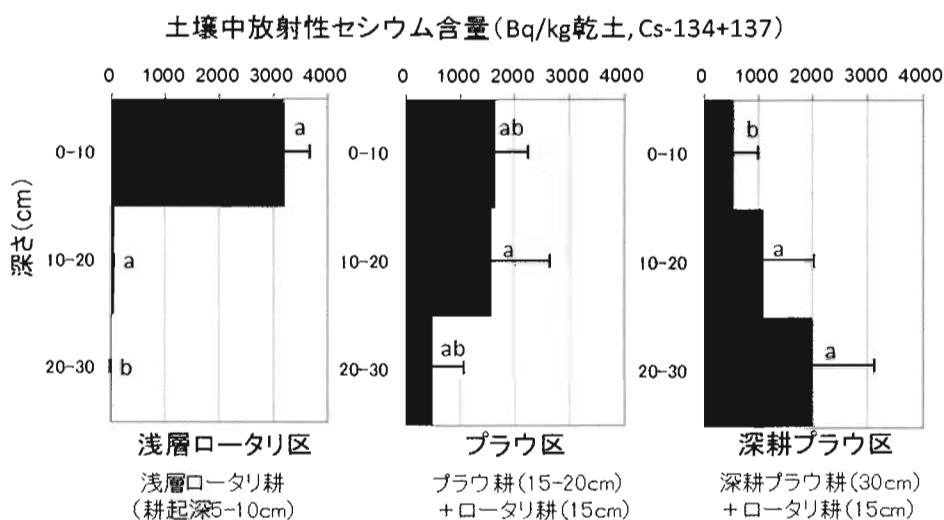


図 6. 耕起法の違いが放射性セシウムの土壤中の土壤中の垂直分布に及ぼす影響

各土壤深度で異なる文字間に 5% 水準で有意差有り。刈取り前の放射性セシウム汚染状況はイタリアンライグラス地際 (0-5cm) が約 21 万 Bq/kg DM、土壤表層 (0-15cm) が 1583Bq/kg 乾土。

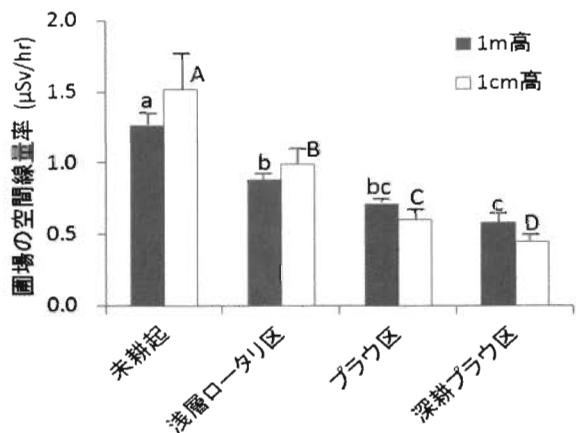


図7. 耕起方法の違いが圃場の空間線量率に及ぼす影響

各測定高さで異なる文字間に5%水準で有意差有り。

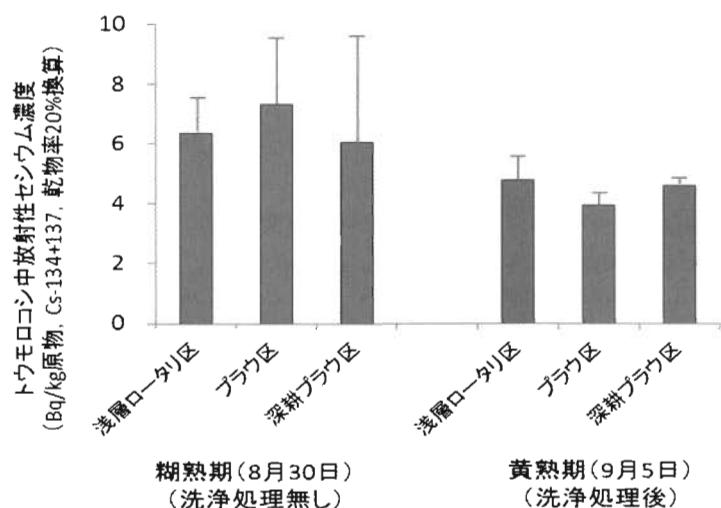


図8. 耕起方法の違いが飼料用トウモロコシの放射性セシウム濃度に及ぼす影響

糊熟期、黄熟期とも5%水準で有意差なし。各区とも堆肥は施用せず、化成肥料 (N-K₂O-P₂O₅ 各成分 20kg/10a)

(2) 永年草地

永年草地の耕起は、リター層や土壤表面に高濃度で存在している放射性セシウムを土壤と攪拌し、土壤への放射性セシウムの吸着・固定を促進させる効果が期待できます。草地をプラウなどで耕起し、施肥、播種を行う草地更新は、「抜本的改良」として、 Chernobyl accident の際に汚染草地に対して行われた対策のひとつです。しかし、作土層の薄い草地や石礫が多い草地では、プラウ耕ができないため、例えば、ディスクハロー等を用いて表層を攪拌・耕起してから、施肥、播種を行う簡易更新が行われます。草地更新方法の違い

が牧草の放射性セシウム濃度に及ぼす影響を調べるため、放射性セシウムに汚染されたオーチャードグラス優占採草地（褐色低地土）を用いて試験を実施しました。2011年の2番草収穫後に、除草剤を散布して前植生を枯殺したのち、ディスクハロー耕（耕起深6～7cmで3、4回）のみによる簡易更新と、プラウ耕（耕起深20～25cm）とディスクハロー耕を組み合わせた完全更新を実施しました（渋谷ら2012）。オーチャードグラス（品種名：アキミドリⅡ）を4kg/10a播種し、基肥としてN-P₂O₅-K₂Oをそれぞれ10kg/10a、熔りんを100kg/10a、苦土石灰を200kg/10a施用しました。草地更新を行わずに残した未更新草地と比べることにより、草地更新の有無、その耕起方法の違いが採草地表面の空間線量率および牧草中の放射性セシウム濃度に及ぼす影響を検討しました。草地更新後の採草地表面(0cm)の空間線量率は、更新前に比べて、簡易更新区で約40%、完全更新区で約70%低下し、草地管理や牧草収穫作業などの作業者の外部被曝量低減にも効果がありました。翌年5月に更新草地の新播牧草と未更新草地の牧草を刈り取り、放射性セシウム濃度を調べました。その結果、簡易更新、完全更新のいずれの方法でも未更新に比べて牧草中の放射性セシウム濃度の低下が認められました（図9）。これらの結果から、草地更新は空間線量の低減や牧草の放射性セシウムの低減に有効な方法であることが確認できました。簡易更新においても、牧草の放射性セシウム濃度に対する低減効果を認めましたが、一般に生産性の高い草地を作るには、雑草抑制の観点から雑草などの前植生をより深く埋設するプラウ耕による完全更新の方が優れています。経年劣化により雑草や裸地が増えた牧草地は、牧草の生産量や品質が低下しています。このような草地は草地更新によって生産性を回復させることができますので、作土層が十分にある場合ではプラウ耕による草地更新を推奨します。また、牧草地表面にある放射性セシウムを多く含むリター（枯れた牧草やその分解物）や土壤を埋設することにより、牧草収穫作業時のリターや土壤混入による汚染を低減することもできます。上述したように土壤中の交換性カリ含量が低い草地では放射性セシウムの移行が高くなる傾向にあるので、草地更新時には土壤診断に基づく施肥も行って下さい。草地更新の基本である丁寧な耕起、適切な施肥、雑草の除去等を心がけて、生産性の高い草地を作りましょう。

現在、更新を実施した一部の草地で暫定許容値の 100Bq/kg を超える事例が報告されています。この草地更新による低減効果が十分得られなかつた要因としては、不十分な耕耘、土壤の低pH、低カリ濃度が可能性としてあげられています（福島県農業技術情報第29号）。現在、各県からデータを収集し、要因解析を進めているところです。

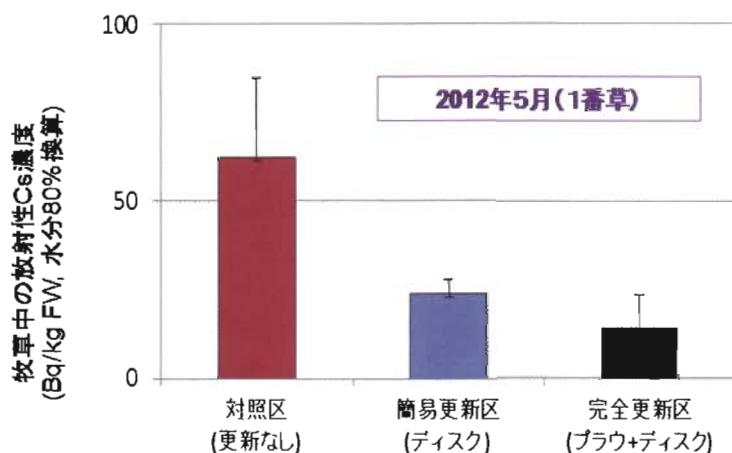


図9 更新後翌年の新播1番草中放射性セシウム濃度の調査結果

参考文献

- 福島県農林水産部. 2012. 牧草地の除染、吸収抑制対策の徹底について. 農業技術情報 29号.
http://www.pref.fukushima.jp/keieishien/kenkyuukaihatu/gijyutsufukyuu/06ganba_joho/future-29bokusouH240615.pdf
- 原田久富美、菅野勉、須永義人、川地太兵、森田聰一郎、佐藤節郎、増山秀人、佐田竜一、九石寛之、前田綾子. 2012. 堆肥の継続的な施用は飼料用トウモロコシの放射性セシウム低減に有効である. http://www.naro.affrc.go.jp/disaster/files/radioactivity_p_r_08.pdf
- 菅野勉・梨木守・東山由美・出口新・目黒良平. 2003. 北東北地域における公共草地の植生及び土壤の現状-経年化放牧草地におけるケンタッキーブルーグラスの優占-. 日草誌 49, 336-345
- 菅野勉・原田久富美・伊吹俊彦・天羽弘一・阿部佳之・住田憲俊・井上秀彦・小島陽一郎・森田聰一郎・佐藤節郎. 2012. 飼料畑の深耕による放射性セシウムの下層埋設と空間線量率の低減. http://www.naro.affrc.go.jp/disaster/files/radioactivity_r_01.pdf
- 渋谷岳・山本嘉人・進藤和政・平野清. 2012. 草地更新により採草地表面の空間線量率と新播牧草中 Cs 濃度を低減できる.
http://www.naro.affrc.go.jp/disaster/files/radioactivity_p_r_09.pdf
- 山本嘉人・原田久富美・渋谷岳・菅野勉. 2012 飼料作物の放射線測定調査. 平成 24 年度 JRA 被災地支援対策事業に関する調査研究発表会資料. 33-44

IV 宮城県における牧草地の除染（草地更新）対策の取り組み

社団法人 宮城県農業公社

畜産振興部 佐藤富雄

1. 汚染牧草地の現状

平成 23 年 3 月 11 日に発生した東日本大震災により、東京電力の福島原子力発電所が被災し、放射性物質が拡散し、この放射性物質の影響で県内の牧草地の除染が必要となった。

宮城県では、平成 24 年 2 月牛用飼料の暫定許容値が 100 ベクレル（従来の 1/3、繁殖牛は 1/30）に引き下げられました。これを受け、平成 23 年度産の保管牧草を検査したところ、暫定許容値を超える牧草が多数確認されました。

このため、平成 24 年 3 月 2 日に県内のほぼ全域を対象として牧草の利用自粛を要請したところです。

県内の牧草地 13,000ha のうち除染の対象外である単年性牧草地等を除いた約 10,000 ha が除染対象面積で、このうち、9,000ha は生産者の牧草地、残りは市町等が管理する公共牧場です。

平成 24 年 10 月末に、生産者から提出された除染作業計画書を集計した結果、9,000ha のうち 7,700ha は農家が自力で施工、960ha が農業公社等への委託希望、残りは急傾斜地・石礫等により困難な牧草地です。

自力施工 7,700ha の約 7 割で播種が終了し、残りは来年度の播種となります。

なお、農業公社委託希望面積のうち年度内に受託する予定の面積は 291ha (H24.10 月末現在) となっており、残面積約 670ha は来年度に受託することとなっています。

2. 宮城県の牧草地除染の取り組み方針

宮城県では平成 24 年 6 月に牧草地除染を推進するため取り組み方針を定めました。

(1) 基本的な考え方

牧草地が放射性セシウムで汚染された原因是、東京電力福島第一原発事故であり、除染（放射性セシウム吸収抑制）に要する経費は、東京電力や国が負担すべきものである。

牧草地の除染を効率的かつ効果的に進めるには、賠償金の支払いが円滑に行われる必要がある。

このため、県では除染の方法、標準作業単価等について定め、関係機関、関係団体、農業者の協力のもと牧草地の除染を進めることとした。

これにより、放射性セシウムに汚染されていない安全な牧草の生産を通じ、消費者が求める安全な畜産物の生産を図ることとした。

(2) 牧草の利用自粛を要請した根拠

国において、平成 24 年 2 月に牛用飼料の放射性セシウム暫定許容値が 100Bq/kg（従来の 1/3、繁殖牛は 1/30）に引き下げられた。

これを受け、平成 23 年の牧草モニタリング調査結果を改めて見直したところ、仙南・栗原地域では 100Bq/kg を超えていたことから、平成 24 年 2 月 24 日に牧草の利用自粛を要請した。

仙南・栗原以外の地域では、平成 23 年産保管牧草の検査を実施したところ、暫定許容値を超える保管牧草がほぼ全域（美里町の旧南郷町、石巻市の旧河北町を除く）で確認されたことから、平成 24 年 3 月 2 日に牧草の利用自粛を要請した。

以上のとおり、平成 23 年の牧草モニタリング調査及び保管牧草の検査結果に基づき、県内のほぼ全域を対象に 23 年産の保管牧草と 24 年産牧草の利用自粛を要請した。

(3) 推進体制

農協等生産者団体、公益法人である社団法人宮城県農業公社、市町村と連携協力体制を構築し、生産者の協力を得て除染を進める。

(4) 対象地域等

県が牧草の利用自粛を要請している地域・生産者の牧草地とする。

また、利用自粛要請していない地域（平成 24 年 6 月 18 日現在、美里町の旧南郷町）であっても、検査して暫定許容値を超過した牧草が確認されれば、県は牧草の利用自粛要請を行い、除染対象地域とする。

(5) 対象草地

現状が永年生牧草地とする。

ただし、イタリアンライグラス等単年生草種であっても平成 23 年 3 月 11 日以降、耕起せず収穫利用してきた牧草地も対象に含める。

(6) 除染方法

国県等の試験研究機関で試験され効果が確認公表されている方法によるものとし、具体的には反転耕（プラウ耕）または耕起（ロータリー耕）のいずれかの方法とする。



○反転耕（プラウ耕）

放射性セシウム濃度が高い表層
の土を深くすき込むことによって
作土層の汚染を改善

○耕起（ロータリー耕）

表層土と下層土をかくはんし放
射性セシウムの土壤への吸着を促
進

3. 宮城県の牧草地除染の推進体制

前述の取り組み方針に基づく除染作業を進めるため、宮城県では具体的な推進体制を以下のように定めて（平成24年9月）おり、農業公社はその方針に基づき除染作業を担っている。

（1）作業受委託調整について

① 基本的な考え方

牧草地除染（放射性物質吸収抑制対策）作業が自力でできない生産者の牧草地については、必要に応じて各地域において作業受委託者の調整を行う。

作業が比較的容易な転作牧草地等の除染作業については、原則として地域内生産者・生産組織が作業を行う方向で調整し、下記優先事項に該当し地域内組織では作業が難しい場合、農業公社へ作業を依頼する方向で調整する。

○農業公社が優先的に作業を行う牧草地

- ①公共牧場等、多数の生産者が利用する牧草地
- ②プラウ耕を行う必要がある牧草地（汚染レベルが高い地域、酪農家等）
- ③急傾斜地、石礫等が多く、一般農家では作業が困難な牧草地

② 農業公社の地域別作業スケジュールについて

農業公社は、地域バランスやほ場条件等を考慮し作業場所及び作業時期を決定する。

【原則として、前頁優先事項に該当する牧草地を優先。】

(2) 作業受委託調整会議について

必要に応じて、下記関係機関等で構成する「作業受委託調整会議」を開催し、関係機関の情報・意見を踏まえ、作業受託の支援を行う。

○想定される構成員（各機関の担当者）

市町村・農業協同組合（酪農農協含む）・宮城県農業公社・農業改良普及センター・家畜保健衛生所・畜産振興部

○主な検討・活動内容

- ・牧草条件に適した受託者（生産組織、農業公社等）の選定、マッチング。
- ・地域内の作業受託者（生産組織等）の掘り起こし、技術支援。
- ・農業公社への作業依頼情報の提供。

4. 農業公社の取り組み

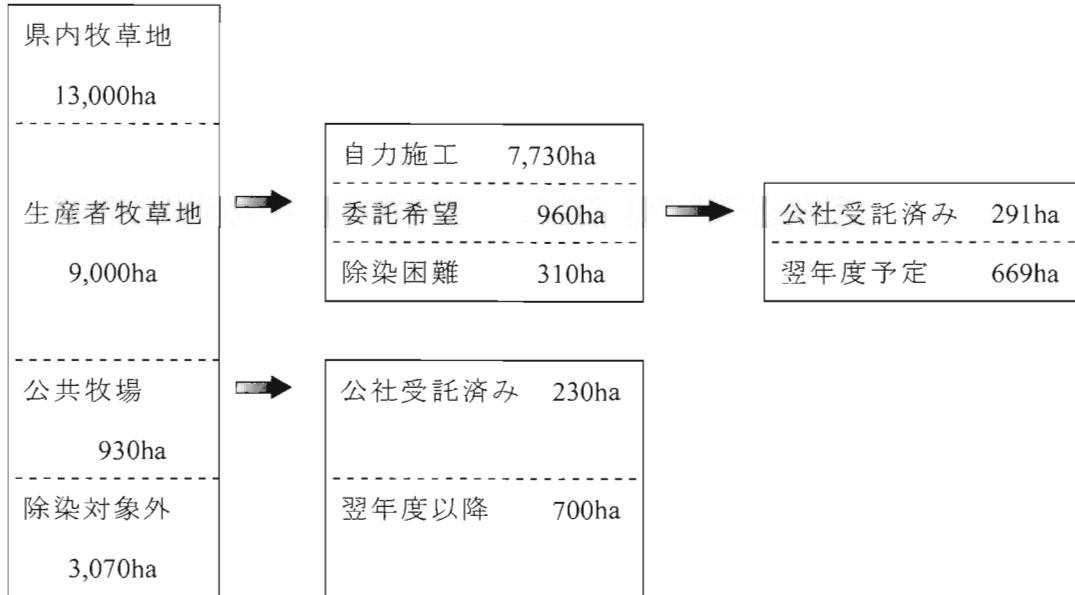
(1) 農業公社の特色と経緯

農業公社は、設立当初から保有機械・技術力・機動力などの特徴を活かし、公社営事業等を通して、草地造成・整備を行い粗飼料自給率の向上により、畜産農家の経営安定と経営規模拡大を図っています。

こうした中で、農業公社がこれまで培って来た農業基盤の整備、牧場・牧草地の管理運営などの専門的な技術を活かし、今回の除染作業においても農家の信頼に応えるべく施工を心掛けています。

平成24年10月末現在の牧草地除染は、農業公社委託希望については、生産者牧草地960haと公共牧場930ha計1,890haのうち本年度に作業受託した面積は生産者牧草地291haと公共牧場230ha計521haで、残りは来年度以降となる見込みです。

(参考) H24.10 末現在



(2) 実施体制

①人員（オペレーター）常時 12人（5班体制）

②作業機械

- ・クローラトラクタ 5台（ブルドーザ4台、4輪クローラ1台）
- ・ホイールトラクタ 8台（70PS～160PS）
- ・ストーンクラッシャー 1台 {石礫除去（石の大きさ30cm未満） 作業幅1.5m}
- ・バックホウ 3台 {積み込み作業、石礫除去（石の大きさ30cm以上）}
- ・クローラダンプ 2台 {石礫除去（石の大きさ30cm以上）}
- ・マニアスプレッダ 3台（堆肥散布）
- ・プラウ等農機具 5セット（反転耕起、土壤改良材散布等）
- ・オフセットシュレッダー等 2台（牧草刈）
- ・ベールカッタ 1台（汚染牧草細断）

(3) 除染方法

①放射性セシウム濃度が比較的高いと想定される地域及び酪農家の牧草地

➡ プラウで反転耕起

②放射性セシウム濃度が比較的低いと想定される地域や作土が薄い草地

➡ ロータリーで耕起

農業公社では、①のプラウによる反転耕起を実施しており、②の方法は主に農家の自力により行われています。

ア. プラウによる反転耕起作業

表層に集積している放射性セシウムを下層に埋設し、汚染されていない下層土を表層に反転することで、放射性セシウムの吸収を抑制します。プラウによる反転耕起は深さ30cmで行い、反転耕起により表土に痩せ地が露出しますので、地力を向上させるために堆肥や土壤改良材散布（土壤PH調整）、化成肥料等を十分に施用し、碎土・整地後に播種します。

イ. 特殊な工法による作業

（ア）汚染牧草すき込み工法

県内には飼料として利用できない牧草が、生草換算で約11万トン（推計：乾草換算約18万ロール）あり、処分に苦慮している。8,000Bq/kg以下の牧草等は一般廃棄物として処分できるようになっているが、飼料として利用できない牧草等は膨大な量であることから、少しでも早く以前の営農活動を取り戻すためにも、国は生産（収穫）されたほ場へ「すき込み」するよう農家の理解を求めています。

しかしながら、汚染牧草をすき込んだほ場から新たに収穫される牧草が、給与可能な牧草となるのか不安視する農家も県内には多くいることから、農業公社ではJRA畜産振興事業の一環で日本草地畜産種子協会が行っている事業を活用して汚染牧草のすき込みに関する実証事業（みやぎの酪農農業協同組合と共同）を農林水産省の助言の基に行ってています。

当該事業を行っているほ場においては、農林水産省、日本草地畜産種子協会、県関係機関、畜産農家などが参加して、汚染牧草のすき込み実演や意見交換などを行うとともに、当該ほ場から収穫される牧草の放射性セシウム濃度を測定し農家に情報提供するなど、農家の不安が払拭できるよう各種の取り組みを行っています。

汚染牧草すき込み工法実演会

(平成24年6月20日に大崎市鳴子温泉上原地区での実演会の様子)



- ・汚染牧草すき込みの考え方、作業体系
- ・実演会場の線量（土壤及び牧草）の説明



- ・ペールカッタによる汚染牧草細断実演

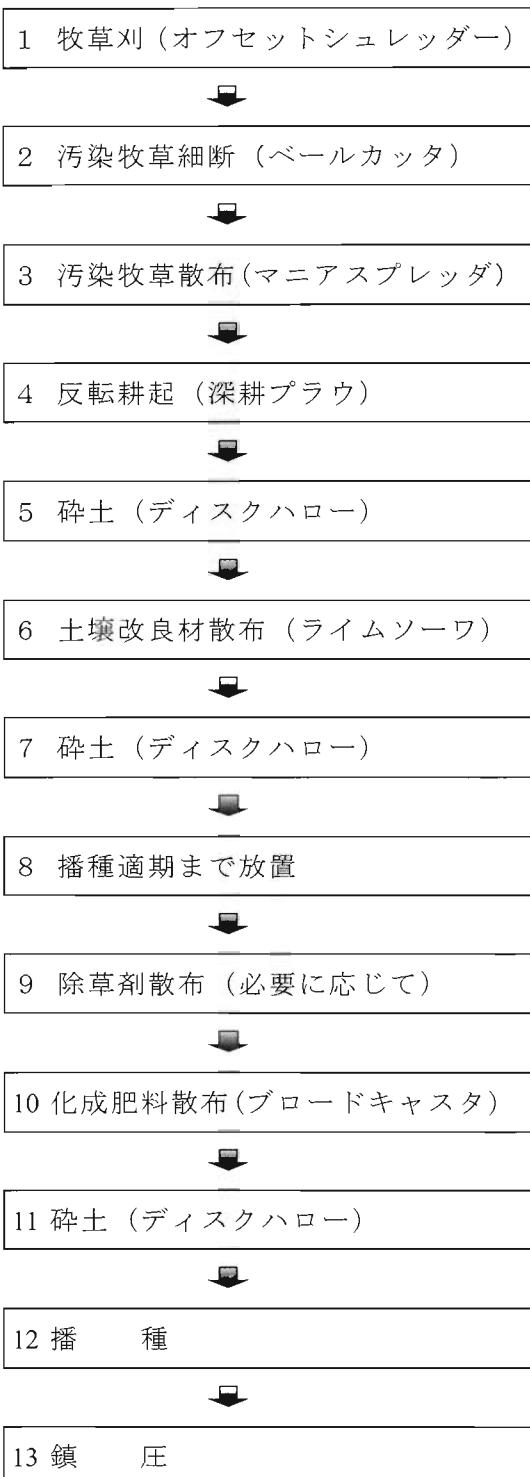


- ・深耕 プラウによる反転耕起実演



汚染牧草すき込み工法の作業体系

すき込み作業フロー



1 牧草細断（オフセットシュレッダー）



2 汚染牧草細断（ベールカッタ）



4 反転耕起（深耕プラウ）



★汚染牧草の細断・散布については、ほ場条件により直接ほ場でベールカッタを使用することも可能である

汚染牧草すき込み作業状況



- ・ベールカッタによる汚染牧草の細断
(切断長さ2cm、6cm、8cm、14cm、20cm)



- ・マニアスプレッダによる汚染牧草散布



- ・反転耕起(深耕フック)による汚染牧草すき込み



- ・反転耕起深さ30cm以上確保

(イ) ストーンクラッシャー工法

現在、農業公社では汚染牧草地の反転耕起などによる除染を主に実施しておりますが、牧草地の勾配が急なところや石礫の多いところなど、悪条件の牧草地が農業公社に多く依頼されております。特に、牧草地の石礫除去は人力による除去が一般的であります。人手不足や石礫量が多い牧草地などでは作業の進捗に遅れがでるなど、その処理に苦慮しているところであります。

これらの牧草地を除染する際に石を破碎するストーンクラッシャーによる工法が有効であり、将来的にも通常の牧草地の整備や更新に役立つことから、農業公社ではストーンクラッシャーを今年度に導入した。

なお、ストーンクラッシャーの導入に際しては、農林水産省生産局畜産部畜産振興課の助言もあり J R A 畜産振興事業の一環で日本草地畜産種子協会の調査事業を活用しています。現在このストーンクラッシャーを活用して汚染牧草地の除染を行っているが、同時に実演会を開催してストーンクラッシャー工法の効果などを広く一般に周知する取り組みを行っています。

実演会は、平成 24 年 11 月 14 日に白石市福岡深谷地内の農業公社白石牧場において、農林水産省生産局畜産部畜産振興課、日本草地畜産種子協会、県関係機関、畜産農家の参加を頂き、ストーンクラッシャーの性能実証及び意見交換を行いました。

ストーンクラッシャー工法実演会

・汚染牧草地の処理及びストン

クラッシャー工法の説明



・石礫破碎状況確認



・ストーンクラッシャーによる

石礫破碎実演

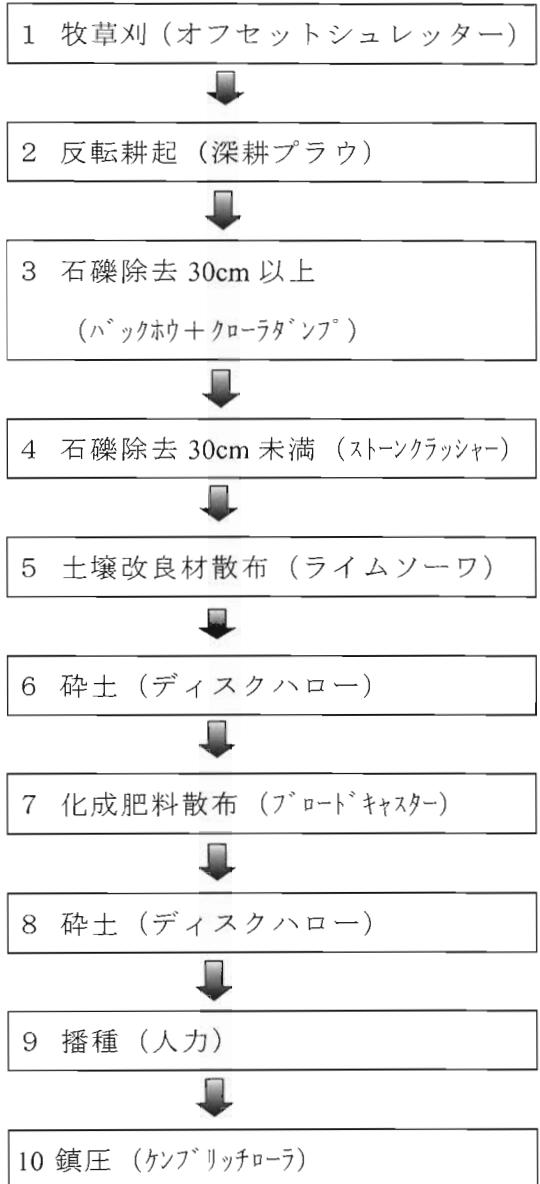


・施工深確認



ストーンクラッシャー工法の作業体系

ストーンクラッシャー作業フロー



★石の大きさで 30cm 以上はバックホウと
クローラダンプを併用して採石・積込み
を行い、場外へ搬出、さらに、30cm 未満
はストーンクラッシャーで石を破碎して
除礫を行います。

1 牧草細断（オフセットシュレッター）



2 反転耕起（深耕 プラウ）



3 石礫除去 30cm 以上



4 石礫除去 30cm 未満



ストーンクラッシャーの作業能力



- ・土中に散在する石を破碎する



- ・最大30cmまでの石を破碎する



- ・作業幅1.5m
- ・破碎歯の先端は超硬質合金タンクステンカーバイト製
- ・破碎効果が極めて高く耐久性に優れている



- ・アッパード方式で高速回転するロータで掘起こし破碎歯と受け止め歯によって石を破碎する





- ・地表面の石だけでなく地下約30cmまでの深さにある最大30cmの石を、3cmにまで細かく破碎する



- ・施工深さ20cmで施工



- ・施工後の石の大きさは3cm未満

5. 今後の課題

(1) 牧草地除染後の肥培管理

現在の牧草地は、長年にわたって堆肥散布や化成肥料等が施用されるなど、肥培管理が行われており優良な牧草が生産されております。

今回の放射性セシウムの除染を行う際にも土壤改良材、化成肥料を施用しておりますが、除染作業を行う前の肥沃な土壤にはほど遠く、今後の肥培管理が重要です。特に石礫が多い牧草地では、農業改良普及センター等の指導を受けながら定期的な土壤分析を行い、不足分の土壤改良材や施肥を行うことが必要です。

たとえば、今回反転耕起を行った県内のあるほ場では、反転耕起施工後に土壤分析を行った結果、酸性土壤で PH 調整に多量の石灰が必要であることが分かりましたが一度に散布できる量に限度があることから、複数年度での調整が必要となりました。除染後の肥培管理は従前以上にきめこまやかな対応が必要と考えます。

(2) 急傾斜地・石礫等により困難な汚染牧草地の除染

宮城県の牧草地除染の推進体制では、前述のとおり急傾斜地・石礫等が多く、一般農家では作業が困難な牧草地を優先的に農業公社が作業を行うこととしておりますが、急傾斜地や石礫等が多い牧草地は作業効率が悪く、その作業に不測の日数を要することもあることから現場条件を考慮した除染方法やスケジュール等の調整が必要です。

(3) 汚染牧草地除染後の基準値超え牧草地の処理

除染（反転耕起や耕起）が行われた草地から生産された牧草は個別に検査し、暫定許容値以下であれば自粛解除となり給与できますが、基準値を超えた場合は、その原因の究明及び今後の除染方法について、関係機関と協議し、再度除染する必要がありますが、現在は従前の草地更新工法であるため、より除染効果の高い新たな技術が求められます。

以上のような課題はあるものの、本県が畜産主産地として今後も発展し続けるためには、消費者に安心して選ばれる畜産物を供給することが必須の条件であり、牛の基礎飼料である牧草について、放射性セシウムに汚染されていない安全な牧草を生産することが不可欠であります。

このため、農業公社ではできる限りの技術と労力、機械を結集し、一日も早い牧草地の除染を進め、農家が安心して給与できる飼料づくりに少しでも貢献できるよう努力して参りたいと考えております。

V 草地の除染作業における反転耕

独立行政法人農業・食品産業技術総合研究機構

中央農業総合研究センター 生産体系研究領域 渡邊好昭

農業・食品産業技術総合研究機構本部 藤森新作

1. 反転耕による除染の特徴

草地を含む農地の除染対策では、表土を削り取り汚染土を持ち出す方法か、持ち出さずにその圃場の中にとどめる方法に大別されます。農地に落ちた放射性セシウムは、耕うんなどの攪乱がなければ表層の極浅い部分に存在すると考えられますので、放射性セシウム濃度が高い場合には、放射性セシウムが存在する表土を削り取り持ち出す方法が進められています。しかし、この方法では大量の排土ができるためその処理が大きな問題となっています。一方、汚染土を持ち出さずに圃場の中にとどめる方法では、そのままロータリで深耕する方法とプラウで反転する方法があります。

プラウによる反転耕の場合、表面の土壤、もしくは牧草上にあった放射性セシウムは下層に埋却され、放射性セシウムに汚染されていない下層土が表層に上がってくることになります。地表面は汚染のない土壤で覆われるので、放射性セシウムは土中に遮蔽されて空間線量率が低減し、圃場で作業をする人も周辺の住民も被ばく量を少なくすることができます。一方、ロータリによる深耕の場合には、表層の放射性セシウムは、耕起する深さまでの土壤に均一に薄められることになりますので、プラウ耕のような非汚染土による被覆はありません。

反転耕で用いるプラウはボトムプラウであり、土壤を切断、攪拌することが目的のディスクプラウや、下層土を膨軟にする作用のチゼルプラウなどは除染の目的には合いません。また、耕深の浅い小さなプラウでは、放射性セシウムをできるだけ深く埋却するという除染の目的には不向きで、20インチ以上のボトムプラウを使用する必要があります。

2. プラウ耕の特徴

反転耕により除染を行う場合には、できるだけ表層の放射性セシウムを下層の深い位置に埋却することが必要です。ボトムプラウは本来、表層の土壤を下層に入れることだけを目的に設計されていません。そのため、必ずしも表層の土がすべて下層に埋却できるわけではありません。単にプラウ耕を実施した場合、耕起した土は、前の工程でできた土の山（れき土）に乗りかかるようにかぶさるため、耕起前の表層の一部は反転をしても浅い位

置に来てしまします。これを解決するために、スガノ農機(株)と農研機構、福島県農業総合センター、井関農機(株)が共同で除染用のプラウを開発しました。

耕深を深くすればそれだけ深い位置に放射性セシウムを埋却することが可能になり、除染効果は高くなります。しかし、反転耕を実施することで下層土から栽培に不適な礫などが大量に作土層に入ってしまうと栽培に支障をきたします。そこで、耕深は水田では30cm程度が適当と判断しました。一方、畑ではもう少し耕深を深くできる状況もあると判断し、45cm程度まで可能なプラウを開発することとしました。

(1) 畑用二段耕プラウの改良

耕深45cm程度まで反転が可能な二段耕プラウが市販されていたことから、黒ボク土圃場で市販機の性能を確かめる試験を行いました。二段耕プラウは、深耕が可能なプラウで、ボトムが前後に2つ組み合わさっており、前のボトムが下層の土、後のボトムが上層の土を反転します。前のボトムが作る溝に後のボトムが表層土を反転して落とし、次の工程で落とした表層土の上に下層の土を反転して乗せるために、確実に表層土が反転した下層土の下に埋却される構造となっています(図1)。試験の結果、土壤が乾燥していると下層土を持ち上げるプラウの溝が崩れて表層土の埋却が不十分になる場合がありました。溝の崩れが起きないような改良を加えると、良好な精度で表層土が埋却できました。これを除染用の二段耕プラウとして現地実証試験に用い効果を確認しました(写真1)。

さらに、耕深が60cm以上という二段耕プラウも市販されており、北海道などの圃場整備で活用されていましたので、表土の埋却効果を試験しました。高い埋却効果が確認されました。このプラウを使うためにはD6クラスのブルドーザか200馬力以上のトラクタが必要であり、この運搬には大型のトレーラが必要になることから、現地での適用は難しいと判断しました。

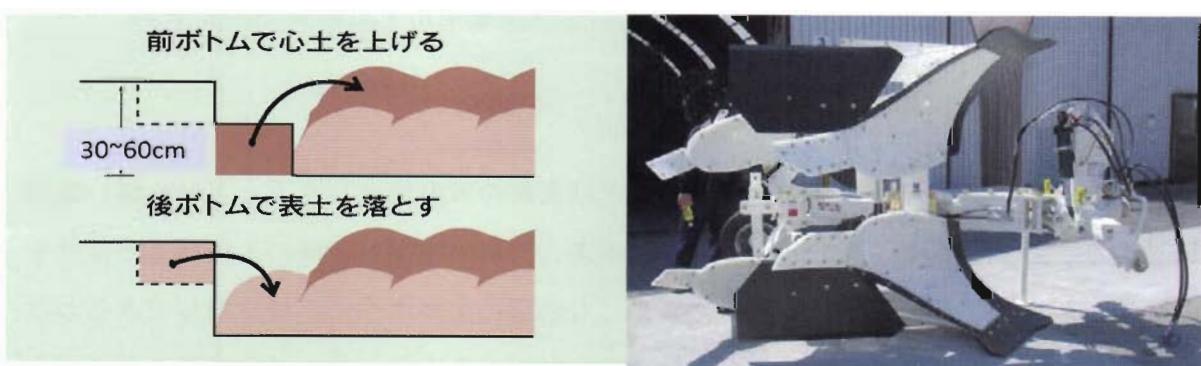


図1 二段耕プラウの反転の様子

写真1 畑用二段耕プラウ

(2) 水田用二段耕プラウの開発

現地では事故から2回の夏を経過し、作付けを制限されている地域を除き、すでにロータリ等で耕起された圃場も数多くあります。その耕深は10~15cmで、表層にあった放射性セシウムは耕起された土壤中に拡散していると推定されますが、これを下層に埋却できるプラウが必要でした。そこで、畑用二段耕プラウと同様の構造で、水田において耕深25~35cmで利用できるプラウを開発しました（写真2）。このプラウは水田用としていますが、草地でも十分効果を発揮することを現地圃場で確認しました。

(3) ジョインタ付きプラウの改良

通常のプラウでは表層の一部は反転しても土中の浅いところにくることがわかっているので、その部分をプラウに先行して削り落とすジョインタという小型の犁のような装置が開発されています。このジョインタ付きプラウを用い、ジョインタの大きさや角度、位置などを詳細に検討し、表層土壤の埋却に最も適するジョインタ付きプラウを開発しました（写真3）。この除染用ジョインタ付きプラウも十分に高い性能を持つことが農研機構生物系特定産業技術研究支援センターの試験で確認されています。

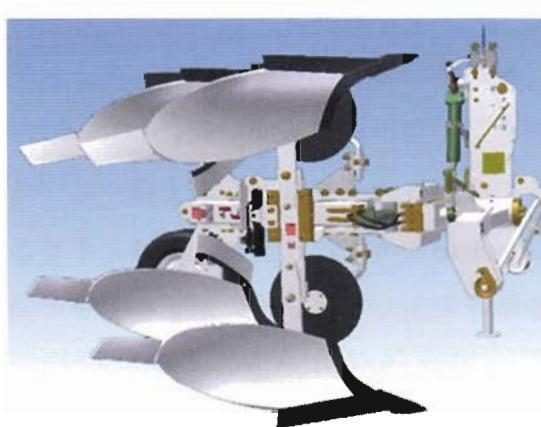


写真2 水田用二段耕プラウ



写真3 ジョインタ付きプラウ

4. 反転耕の適用できる圃場条件

プラウの能力を発揮して除染の効果を上げるために、また、間違った方法により汚染を広げないように、反転耕を実施できる条件を見極めることが重要になります。

(1) 耕うん状況

反転耕を実施可能な圃場は原発事故以降に耕うんしていない圃場、もしくは比較的浅く耕うんした圃場（耕深が10cm程度）です。一度反転耕や深耕を実施した圃場では、すでに放射性セシウムは拡散していて、耕深が深くなる分の希釈効果しか期待できません。

(2) 土壤の放射性セシウムの濃度

反転耕を実施できる土壤の放射性セシウム濃度の上限は、当初は 5,000Bq/kg を想定していました。理論的にはさらに高い濃度でも反転耕を実施することは可能と考えられます
が、放射性セシウム濃度の限度については、農地土壤の放射性物質除去技術(除染技術)作業の手引き(平成 24 年 3 月 農林水産省)等最新の情報を参照してください。

(3) 地下水位

地下水位が反転耕の予定の耕深よりも下方の場合に反転耕を実施可能です。プラウ耕により放射性セシウム濃度が高い表層の土壤を下層に埋却すると、それだけ地下水までの距離が近くなつて地下水に放射性セシウムが溶出する問題が指摘されました。そこで、放射性セシウムが地下水へ到達するまでの年数とその際の放射性セシウム濃度を試算したところ、作土層(15cm)の放射性セシウム濃度が 10,000Bq/kg 程度までであれば、地下水に溶出される放射性セシウムの濃度は公共の水域の濃度限界値(環境省 放射能濃度等測定方法ガイドライン 平成 23 年 12 月)を下回ることが計算上示されました。

(4) 下層土の状況

反転耕によって表層に上がつてくる土壤、すなわちプラウの耕深までの土層に、作物栽培に不適な礫層などがないことが条件になります。礫が多く含まれる場合には、ストンピッカーなどにより取り除かなければなりません。また、下層土の肥沃度が低いと反転した後の生産性が低下することが問題視されます。とくに交換性カリ含量が低い土壤では、放射性セシウムの吸収が増加する可能性がありますが、施肥や堆肥の投入により矯正することができます。反転耕を実施したら作土層の土壤診断を実施して、pH の矯正や養分の補給を行います。

(5) 圃場の大きさや侵入道路

反転耕ではプラウを使用し、その後、碎土にバーチカルハロー等の大型機械を使用することから、急傾斜や不整形で小さな圃場は対象になりません。

二段耕プラウやジョインタ付きプラウを使用する場合の適応トラクタ、さらにはバーチカルハローの適応トラクタは最低でも 65PS を必要とし、このトラクタが圃場に搬入できること、進入道路の幅は最低 2.5m が必要です。

5. 実際の反転耕とその効果

(1) 反転耕前の牧草、雑草の処理等

反転耕を実施する時点で牧草や雑草がある場合には、可能であればロールベルなどの形に集草して圃場外に持ち出し、放射性セシウム濃度が 8,000 ベクレル/kg 以下の牧草については、プラウ耕により下層に埋却することも可能です。この場合には、ハンマーモアなどで雑草、牧草を刈取り、表面に刈り敷けばプラウ耕の作業には支障ありません。また、必要に応じてゼオライトなどの吸着材を散布します。

(2) プラウの選択

プラウ耕を実施する際には、まず耕深を決定し、その上でプラウを選択します。耕深を 45cm 程度に設定できる場合には畠用の二段耕プラウを、耕深を 30cm 程度に設定する場合には、水田用二段耕プラウを選択します。また、作業速度や所有するトラクタの大きさの制限により二段耕プラウを選択できない場合は、除染用に開発されたジョインタ付きプラウを選択します。ジョインタ付きでないプラウの場合は、表層土の埋却深さが浅くなる場合があります。開発された除染用のプラウと、そのプラウをけん引するのに必要なトラクタの馬力は表 1 の通りです。

表 1 除染用に利用可能な反転耕用プラウ

	トラクタ PS	プラウの種類	耕深 cm
水 田	65～100	二段耕1連リバーシブルオフセットプラウ(20 インチ)[写真 1]	25～ 35
	105～135	二段耕 2 連リバーシブルプラウ(20 インチ)[写真 2]	25～ 35
	80～100	丘溝兼用ジョインタ付き 2 連リバーシブルオフセットプラウ (20 インチ)[写真 3]	25～ 35
畠	80～120	畠用二段耕1連リバーシブルプラウ(20 インチ)	35～ 70

反転耕用プラウ問い合わせ先 スガノ農機株式会社 <http://www.sugano-net.co.jp/>

(3) 反転耕後の転圧、碎土

プラウ耕を行ったら、次に牧草の播種のため碎土と鎮圧を行います。反転した土壤の表層が乾燥するのを待って碎土を行います。しかし、乾燥する前に大量の雨が予想される場合には、土壤への雨水の浸透を防ぐためにトラクタの車輪等による転圧を行います。耕起

した土壤全体が水を含むと乾燥が著しく遅れ、地耐力が低下して作業ができなくなることを防ぐためです。碎土にはバーチカルハローが適しています。バーチカルハローは縦軸型の爪が回転して表層の土を碎土する構造を持ち、土の上下移動が少ないとから埋却した汚染土を表層に掻き出す危険性が少ない特徴があります。また、この作業機は重いため土壤が鎮圧され、その後の作業がしやすくなる効果もあります。

(4) 反転耕の効果（空間線量率の低減効果事例）

現地で実施したプラウによる反転耕での空間線量率の測定結果を表2に示しました。反転耕による空間線量率の低減効果は、圃場の耕起条件と耕深、プラウの種類の影響を受け、耕起状況が不耕起の時には低減効果が大きく、また、耕深45cmの畑用二段耕プラウを実施した場合にも低減効果は大きくなりました。耕深が30cmの場合には、水田用二段耕プラウ、ジョインタ付きプラウ、ともに1/3に低減しました。

表2 プラウによる反転耕の空間線量率低減効果

場所	地目	耕起状況 ¹	耕深	プラウの種類	地上1mの空間線量率		
					プラウ前	プラウ、転圧後	低減率 ²
			cm		μSv/h	μSv/h	%
田村市都路	草地	不耕起	45	畑用二段耕プラウ	1.30	0.17	87
南相馬市	草地	不耕起	45	畑用二段耕プラウ	2.13	0.41	81
福島市荒井	草地	不耕起	30	水田用二段耕プラウ(開発機)	0.46	0.12	74
飯館村須萱	田	不耕起	30	ジョインタ付きプラウ(改良機)	1.63	0.52	68
本宮氏長屋	田	耕起	30	水田用二段耕プラウ(開発機)	1.02	0.45	56
二本松	畠	耕起	30	水田用二段耕プラウ(開発機)	0.65	0.34	48
いわき市大久	田	耕起	30	ジョインタ付きプラウ(改良機)	0.41	0.20	51
南相馬市鹿島	田	耕起	30	ジョインタ付きプラウ(改良機)	0.51	0.31	39
桑折町谷地	田	耕起	30	ジョインタ付きプラウ	0.69	0.41	41
いわき市大久	田	耕起	30	ジョインタ付きプラウ	0.32	0.23	28

1:放射性セシウムが落下したと考えられる2011年3月以降に耕起したか不耕起かを示す。

2:低減率=(プラウ前線量率-プラウ、転圧後線量率)/プラウ前線量率×100

基本的にプラウ耕は表層の放射性セシウムを土壤中に混ぜてしまうことになるので、一度実施したら、拡散した放射性セシウムは集めることが極めて難しいという点に注意しなくてはなりません。プラウの特性を十分理解した上で反転耕を実施していく必要があります。

VI 除染用二段耕プラウの調整方法と作業上の注意点

スガノ農機株式会社

小澤 良夫

1. はじめに

反転耕は放射性セシウムによる農地汚染を解決するうえで最も有効な手段の一つです。

しかし、プラウを用いた反転耕は手順に従って正しく実施しないと放射性セシウムの十分な埋却ができないばかりか、一度実施すると新たに別の対策を講じることは極めて困難です。除染作業を行う圃場での最適な方法であるかの判断、プラウを用いた反転耕の正しい実施、実施後の評価、実施後の作物栽培での注意点など十分な注意を払って反転耕を行う必要があります。

ここでは、反転耕による除染効果を最大限引き出すために、今回開発された除染用2段耕1連プラウの調整方法と作業上の注意点を述べていきます。

2. 反転耕が実施できる圃場条件

(1) 地下水位

畑の場合は、地下水位の確認が必要です。地下水位が1m以下であることを確認した上での作業となります。水田の場合は、地下水位の確認は不要です。

(2) 下層土の確認

下層土が新たな栽培作物に適した土壤かの確認が必要です。特にプラウでの予定耕深内に直径10cm以上の石が多数ある礫層の場合は、反転耕以外の方法の検討が必要です。

(3) 匝場の形状

匝場形状は、トラクタの旋回、作業性等から長方形か台形であることが第一要件となります。鋭角やいびつな形状の匝場は反転耕の対象となりません。トラクタの移動条件を考慮しますと道路および進入路の幅員は2.5m以上が必要です。

区画形状は、短辺長が20m以上、長辺長が30m以上の長方形や台形である匝場が、反転耕を可能とする最低条件と言えます。

(4) 土壤の放射能濃度

水田、畑とも表土の放射能濃度が10,000Bq/Kg乾土までが反転耕の対象となります。

(5) 線量管理

地上1mで測定した空間線量率が $2.5 \mu\text{Sv}/\text{h}$ を超える場合で作業を実施する場合は、作業

をする人の線量管理が必要になります。また、土壤の放射能濃度が10,000Bq/kgを超える農地でも線量管理が必要になる場合があります。

作業を実施する前に空間線量率と土壤の放射能濃度を測定し法令に従って対応するようになります。

また、作業時は適切なマスク等を使用して内部被爆を防ぐように配慮します。

3. トラクタの準備

プラウをトラクタに装着する前に、トラクタ側の準備を行います。

(1) タイヤ空気圧の調整

前後輪ともにトラクタの取扱説明書を参照して、適正な空気圧に設定します。適正值に幅がある場合は、最低値で設定します。また左右の空気圧は必ずそろえます。

タイヤの性能を十分に発揮するためには、適正空気圧で使用することが大切です。不適切な空気圧で使用しますと、作業効率の低下やタイヤ損傷の原因となるので注意します。

(図1)

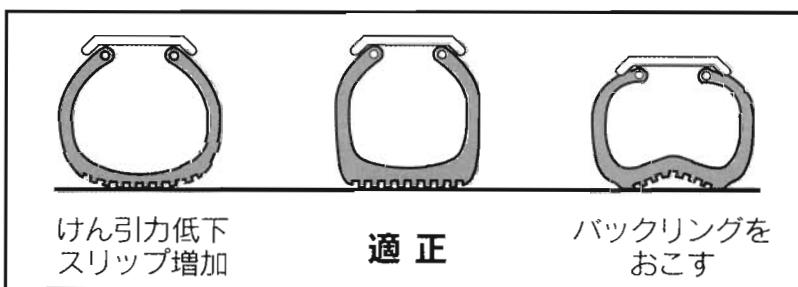


図1 トラクタタイヤの空気圧調整

(2) フロントウェイト

牽引力を増加させるためにフロントウェイトが必要になる場合があります。

フロントウェイトはトラクタの前後バランスなどによって、搭載重量が変わりますが簡単な目安としては、1連の2段耕プラウで概ね200kg前後、2連の2段耕プラウで概ね400kg前後の搭載が必要と思われます。フロントウェイトはトラクタの前輪の浮き上がりを防止し、その牽引力を最大限引き出す為に必要ですが、併せて安全確保の上からも必要ですのでは必ず適正重量を搭載するようにします。

(3) ロアリング高さの調整

3点リンクの油圧を下げた状態でロアリング先端のロアリングピン穴が地上から20～30cm程度まで下がる高さにリフトロッドの穴を左右共に調整します。（図2）

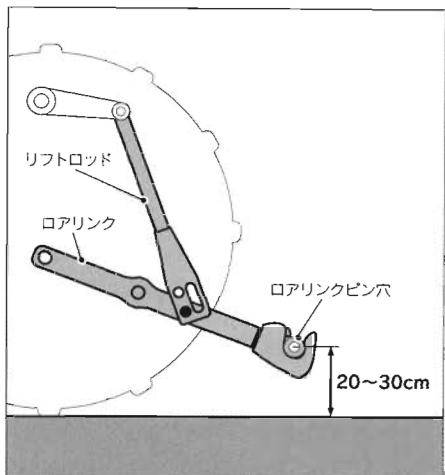


図2 ロアリンク高さの調整

(4) ロアリンク振れ幅の調整

ターンバックルを回してチェックチェーンの長短で振れ幅を調整します。ロアリンクが後輪タイヤに接触しない程度に左右均等（揺れ幅5～6cm程度）に緩めます。緩めないで作業をしますと、トラクタに負荷が掛かり作業できない場合が発生しますので、必ず緩めるようにします。（写真1）但し、移動時は振れないように締めます。緩めたままで移動すると重大事故につながりますので、注意します。



写真1 ロアリンク振れ幅（チェックチェーン）の調整

(5) リフトロッドの左右調整

リフトアームピンからロアリンクボールまでの距離が左右共に同じになるように、リフティシリンダーないしはリフトロッドを調整します。（図3）これは、リバーシブルプラウで右反転、左反転のプラウ傾きを同一にするために、極めて重要ですので、必ず行うようにします。トラクタの左右自動調整はそのシリンダーストロークが不足して、自動調整出来ない場合があるので、使用しないで作業するようにします。

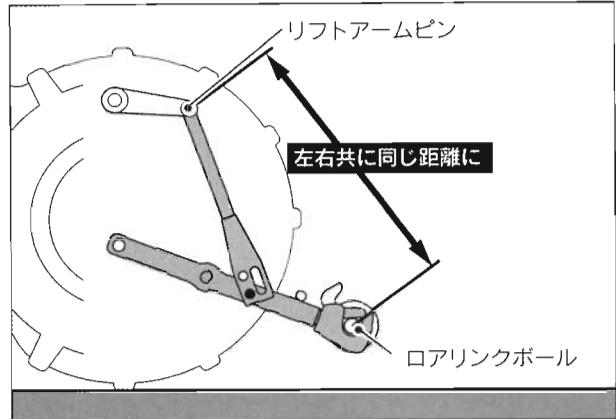


図3 左右リフトロッド長さの調整

(6) 油圧カプラの確認と清掃

①油圧カプラの確認

プラウ側の油圧カプラ（オス）は、IS07241-1Series Aに準拠した農機用カプラとなっています。トラクタ側の油圧カプラ（メス）が同一規格に準拠していることを確認します。カプラが適合しないとプラウの回転機構やオフセット機構などが作動しないので注意します。

②油圧カプラの清掃

トラクタ側、プラウ側それぞれの油圧カプラが汚れていないか確認します。連結口に土やホコリが付着している場合は、回転シリンダ故障の原因になりますので、きれいに拭きとるか軽油などで洗浄します。（写真2）



写真2 トラクタ側カプラ（メス）清掃

(7) ミッションオイルの点検

ほとんどのトラクタがミッションオイルを油圧外部取出し用に兼用しています。ミッションオイルを点検し、汚れや不足がないか確認します。（写真3）不足の場合は、必ず補充します。



写真3 ミッションオイルの点検

(8) トラクタ後輪内幅の計測

プラウの調整に、トラクタの後輪内幅が必要となります。プラウ装着前に計測します。

(写真4)



写真4 後輪内幅の計測

(9) コルター、ゲージホイルの調整

予定耕深に合わせて、コルターの高さと、ゲージホイルを調整します。 (写真5、図4)

コルターには、目安となる溝がコルターステムに刻まれています。ゲージホイルは、タイヤの空気圧を確認の上 (145kPa) 、貼付されている調整表に基づき、所定の取り付け穴にセットします。

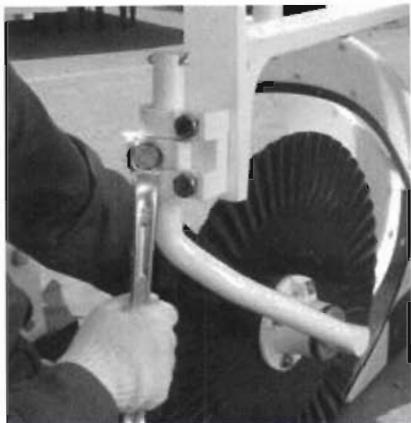


写真5 コルターの高さ調整

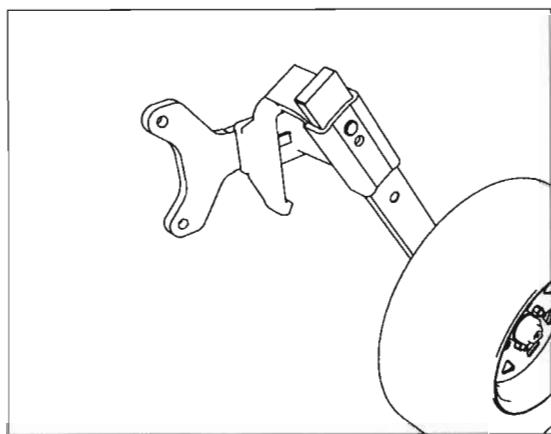


図4 ゲージホイル取付け位置の調整

(10) ビーム取付け位置

35cm以上の耕起を行う場合は、後方ボトムの取付け位置を、一段下げて深さに対応できるようになります。(図5)

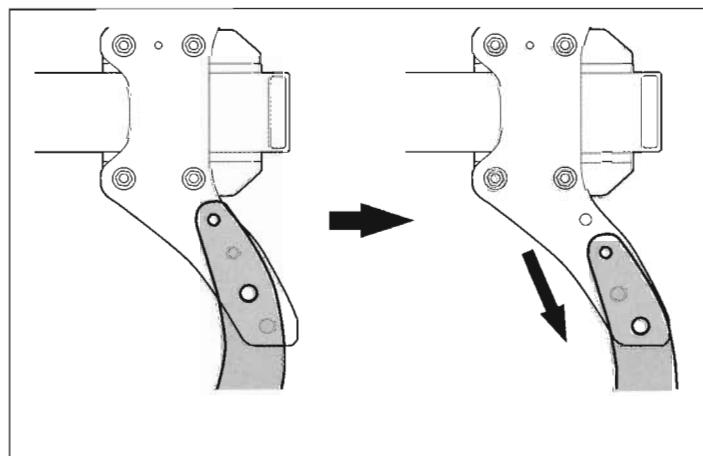


図5 後方ボトム ビーム位置

4. トラクタヘプラウ装着後の調整

(1) トラクタとの干渉確認

トラクタにプラウを装着したら、干渉の有無を確認します。その際、トップリンクの長さが極端に長くはないか？あるいは短くないか？をまず確認します。プラウを地面に降ろした状態で、横から見てプラウが水平な状態になるようトップリンクを暫定的に調整します。本格的に耕起する際には再度調整が必要です。暫定的なトップリンク調整後、トラクタのリアウインドを閉めて、プラウをゆっくりとリフトアップし、プラウとトラクタが干渉しないことを確認します。上げ規制のあるトラクタの場合は、最大上げの状態にして、ゆっくり上げながら確認します。もし最大上げの以前にトラクタと干渉する場合は、上げ規制のポジションをその位置に設定し、それ以上プラウが上がらないようにします。

(2) プラウ回転時の干渉確認

トラクタとの干渉確認が終わったら、次にゆっくりとプラウを回転させ、プラウと地面が干渉しないことを確認します。プラウを回転させるには、プラウに付いている油圧切替弁を操作し、回転側に油が送り込まれるように切替をします。（図6）切換弁の操作は垂直位置でプラウが回転し、水平位置で油圧オフセットが動作します。

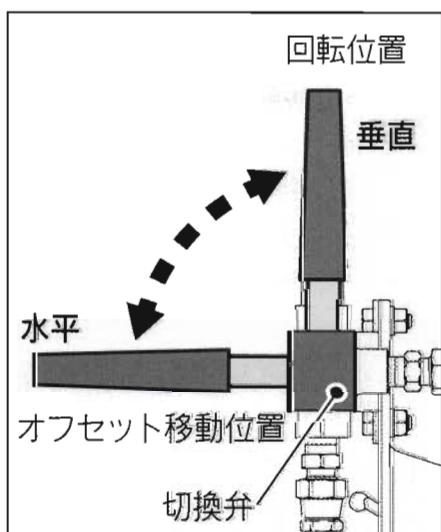


図6切替弁の操作

この際、プラウに付いているストップ弁を開いてください。（写真6）ストップ弁を開いた状態のときは、前ボトム上下と回転が運動します。ストップ弁を開いて回転操作しますと、必ず前側ボトムが後方ボトムより20cm下がり、段差が付くようになっています。

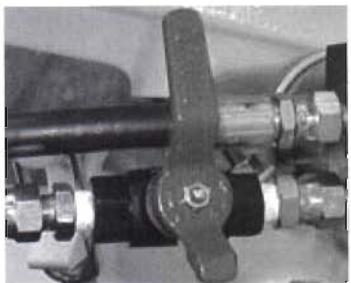


写真6 ストップ弁（閉じた状態）

二段耕プラウは、前側ボトムと後方ボトムの段差を利用して、より反転性の精度を高めるプラウです。前側ボトムで30cm耕起（設定耕深）すると、後方ボトムは表土10cmを下層に埋設する構造になっています。従って前側ボトムで35cm耕起（設定耕深）の場合は後方ボトムは15cmの表土を、前側ボトムで25cm耕起（設定耕深）の場合は後方ボトムは5cmの表土を埋設する形で、常に前ボトムと後方ボトムに20cmの段差が付く様になっています。（ただし、畑用の2段耕プラウはこの限りではありません）

なお、ストップ弁を閉じた状態で油を送ると、回転せずに、前側ボトムが上下にスライドします。プラウ脱着時や枕地線作業、口開け作業時などに使用します。

（3） プラウの耕幅調整

トラクタの後輪内幅と予定耕深を参考にプラウに貼付されている「耕幅調整表」から調整値を確認します。油圧オフセットを操作して、スライドプレート耕幅目盛と矢印ラベルの値を上表に基づいて合わせます。（写真7）

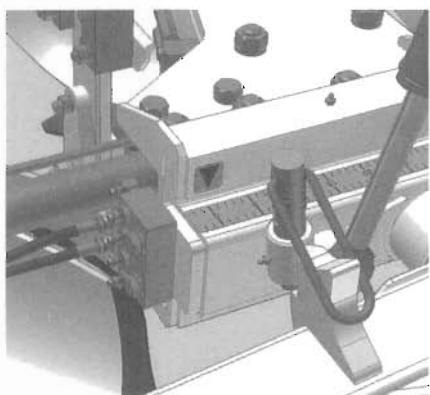


写真7 耕幅調整のラベル

（4） プラウのレベル調整

トラクタの後輪内幅と、予定耕深を参考に「レベル調整表」から調整値を確認します。上表で確認した調整値になるよう、アジャストボルトの上面がゲージ上の調整値になる様にハンドルを回し調整します。このとき、左右の調整値は必ず同じ設定にします。（図7, 8）

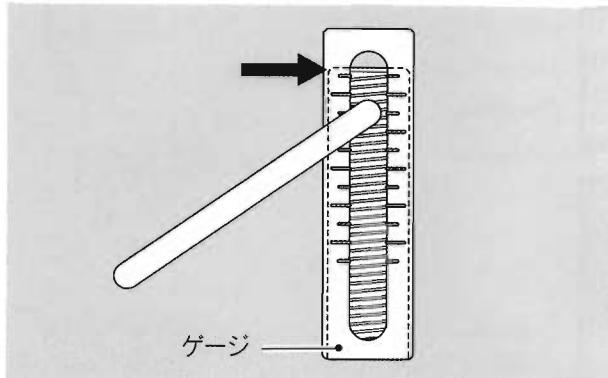


図7 アジャストボルトでのレベル調整ゲージ

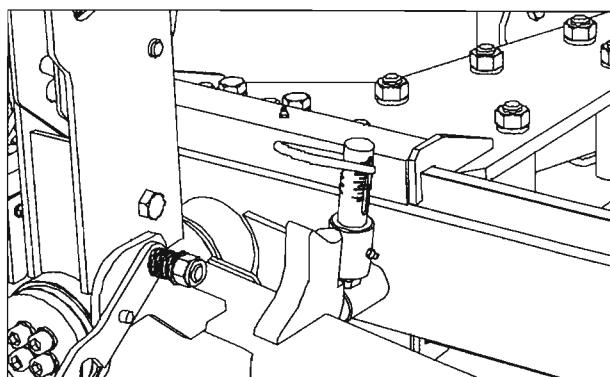


図8 アジャストボルトでのレベル調整

5. 圃場の耕し方

(1) 枕地線

耕起する圃場にプラウのスキ始めと、スキ上げの目印となる枕地線をあらかじめ付けておきます。枕地の幅は「トラクタ+プラウ全長」の約1.5倍を目安とします。枕地線のつけ方は、ストップ弁を閉じる操作をした上で油を送り、プラウの前後ボトムが同じ高さになるようにします。その状態で、トラクタの左右水平装置を使用し、プラウに傾きを付け、後部ボトムだけ使用して予定耕深の半分位の深さになるようトップリンクの長さを調整しながら筋を付ける要領で耕します。（図9, 10）

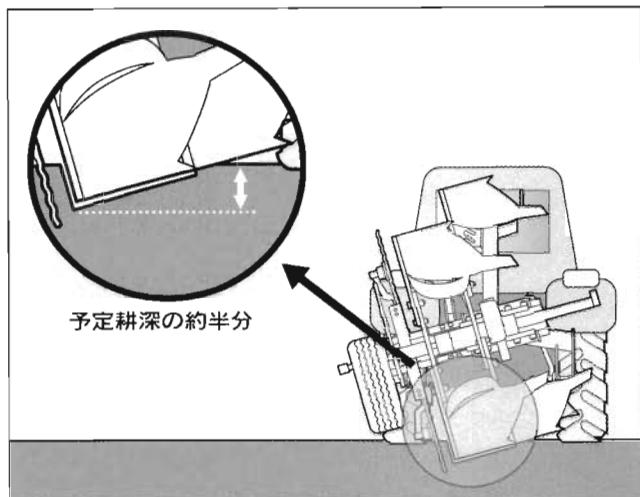


図9 枕地線の深さ



図10 枕地線の耕起要領

(2) 口開け

「口あけ」とはプラウ耕を開始するに当たっての一番最初の工程を指します。通常、リバーシブルタイプのプラウで耕起する場合は、畔の際から開始します。前後ボトムが同じ高さの状態にセットした上で、耕幅調整用油圧オフセットを利用して後ボトムを畔際までオフセットさせます。この時ゲージホイルは最上げの状態にして、ゲージホイルが畦に干渉しないようにします。

耕起深は予定耕深の約半分にあわせます。4~6km/hrの速度で土を飛ばすように耕起(口あけ)します。(図11, 12)

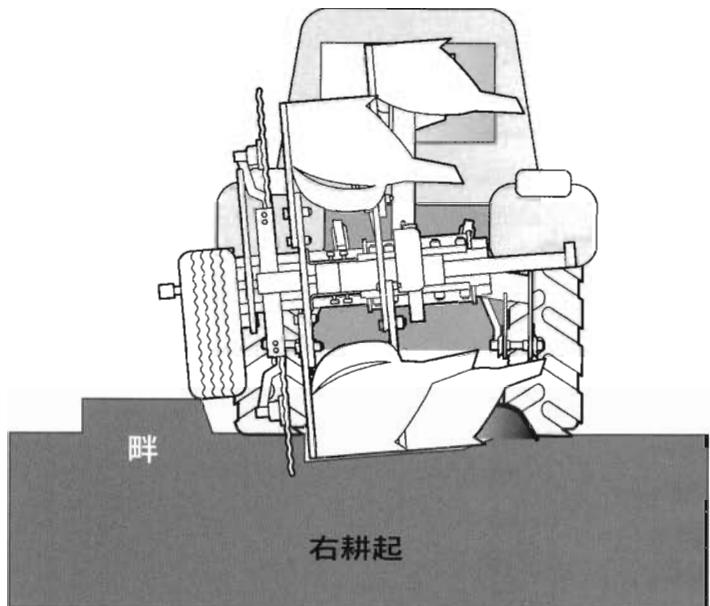


図11 口開けの要領

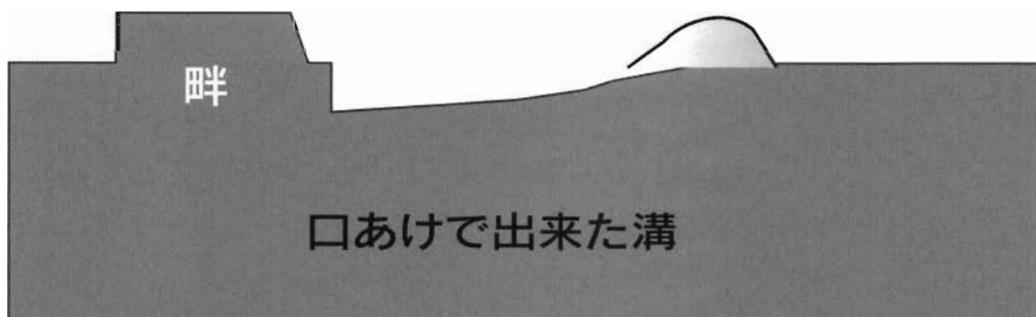


図12 口開け後の土の状態

(3) 口ふせ（第一耕）

前ボトムを上下スライドシリンダで下げ、前後ボトムを本耕起の状態に、即ち段差の付いた状態にします。併せてゲージホイルを予定耕深の位置に調整します。また、オフセットの位置を、通常耕起の位置に戻します。

「口あけ」で、できた溝にタイヤを落とし土が外側に返るように耕起(口ふせ)します。

この場合の速度は3km/h以下で慎重に作業し、土が畦畔に飛んでいかないようゆっくりと行うようにします。 (図13, 14)

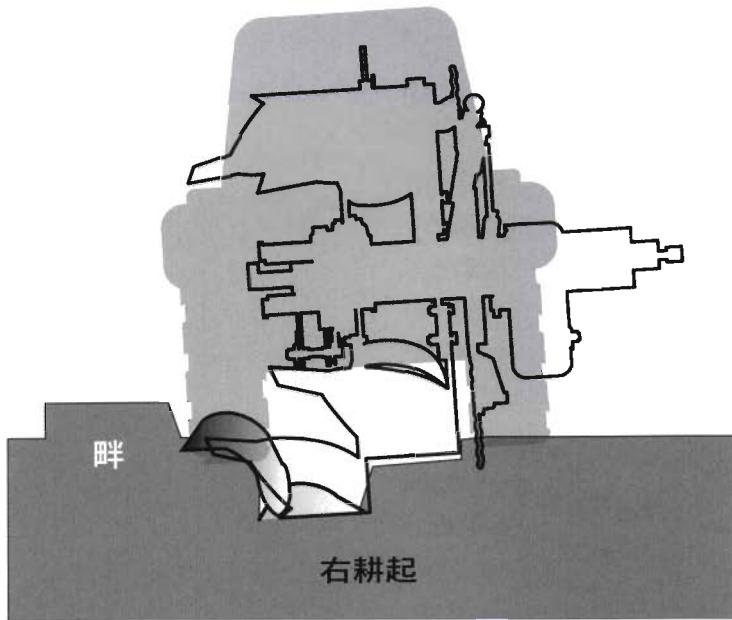


図13 口ふせの要領

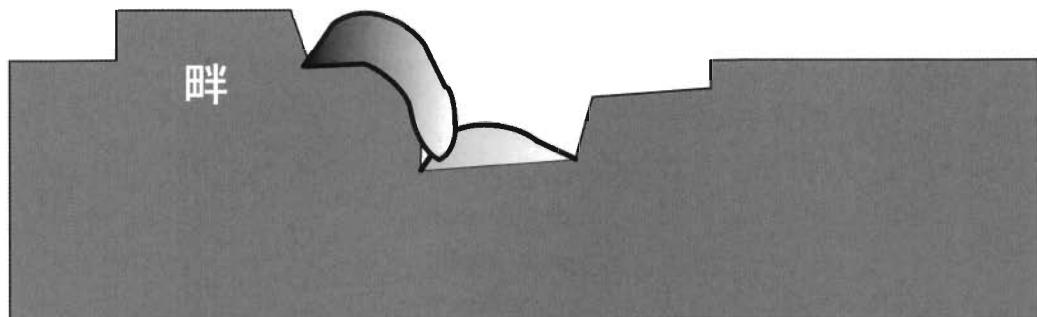


図14 口ふせ後の土の状態

(4) 本耕起に向けて、最後の微調整

プラウを回転させ、第一耕で出来た2連目ボトムで反転した土の上に左タイヤをのせ、前側のボトムで、形成された溝の土を上に上げるよう、耕起します。 (図15, 16)

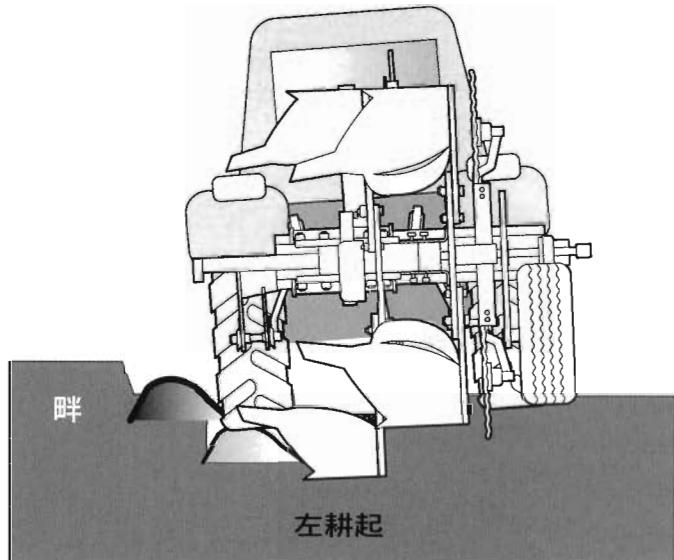


図15 本耕起の要領（順次右耕起、左耕起の繰り返し）

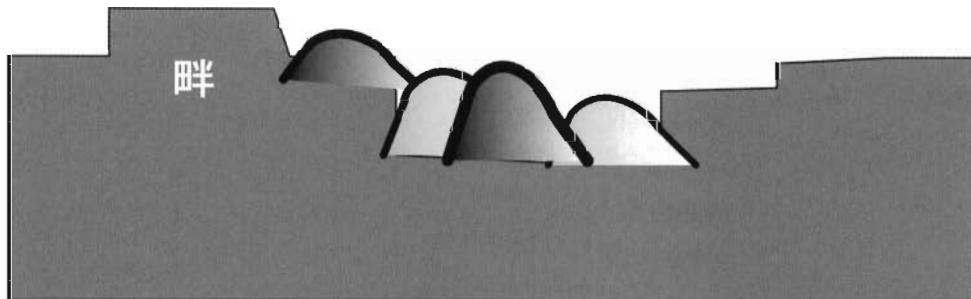


図16 耕起後の土の状態（形成された浅い溝の土を常に前ボトムで反転する）

数メートル耕起した後、前後水平、左右水平、カバーボード、エクステンションの調整を行い、最適な反転になるようにします。（図17, 18 写真8, 9）

① 左右水平の確認と調整

後ろから見て、フレームが地面に対して水平か確認します。水平でない場合はレベル調整用のアジャスター bolt でプラウの傾き調整を行い、水平になるように微調整します。トラクタ側のリフトロッドの長さを変えて左右水平をとる事は、絶対に行わないように注意します。アジャスター bolt での傾き調整の際、左右のアジャスター レベル位置は同じ値にするようにします。

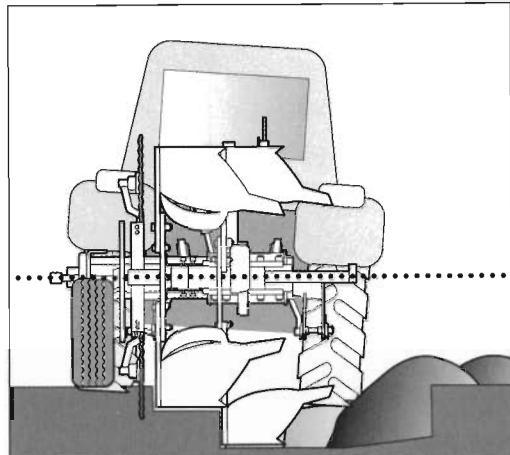


図17 左右水平の確認（後方から）

② 前後水平の確認と調整

側方から見て、フレームが地面に対して水平か確認します。水平でない場合トップリンクで調整します。プラウが前傾している場合はトップリンクを伸ばし、後傾している場合はトップリンクを縮めますが、その際予定耕深となっているかも併せて確認することが重要です。予定耕深より浅い場合はトップリンクを縮めながら側方から見て水平になるよう、また、深い場合はトップリンクを伸ばしながら側方から見て水平になるよう調整することが重要です。

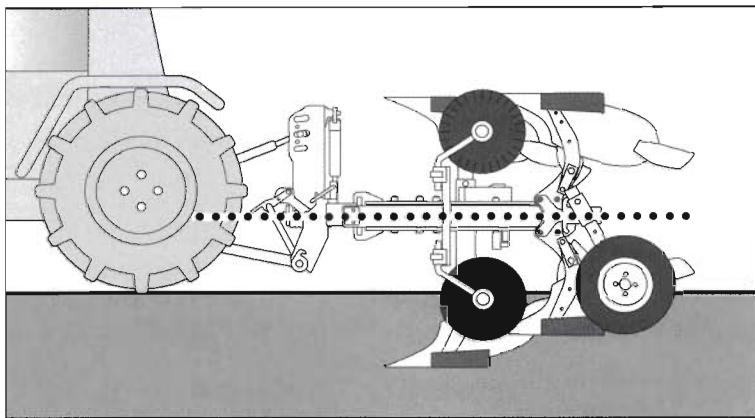


図18 前後水平の確認（側方から）

③ カバーボード、エクステンションの微調整

カバーボードは、雑草や残さ物の飛散を防ぎ、それらを確実にれき底へ落とし込みます。カバーボードを乗り越えて後方に残さ物が行かないように等、作業状態の中で最適な位置へ調整しますが、基本的には深耕しの場合は上げ、浅耕しの場合は下げる調整になります。同様にエクステンションは、土の反転を補助します。作業状態の中で最適な位置へ調整しますが、これも基本的には深耕しの場合は上げ、浅耕しの場合は下げます。

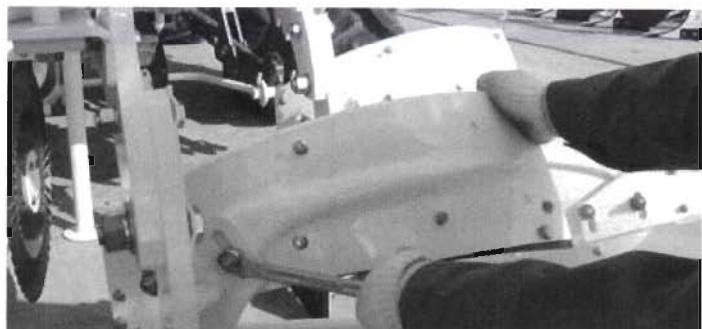


写真8 カバー ボードの調整

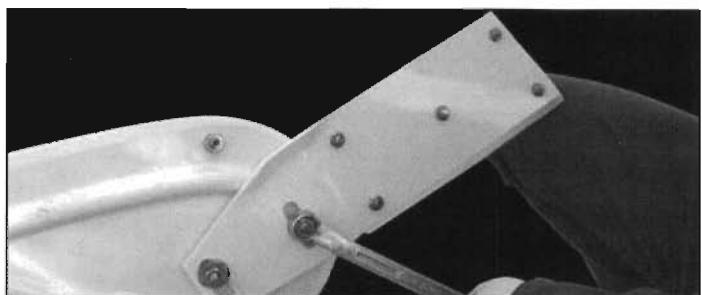


写真9 エクステンションの調整

6. 圃場の仕上げ方

全ての調整が終えたら、本格的な耕起で圃場を仕上げます。枕地だけを残して耕起し、最後に枕地を耕すようにします。①口あけ→②口ふせ→③試耕起→④微調整→⑤本耕起の順で作業を進めますが、仕上げ方の図では、口ふせ、試耕起、微調整を省略して表しています。（図19）

最後に枕地を耕起して終了します。（図20）

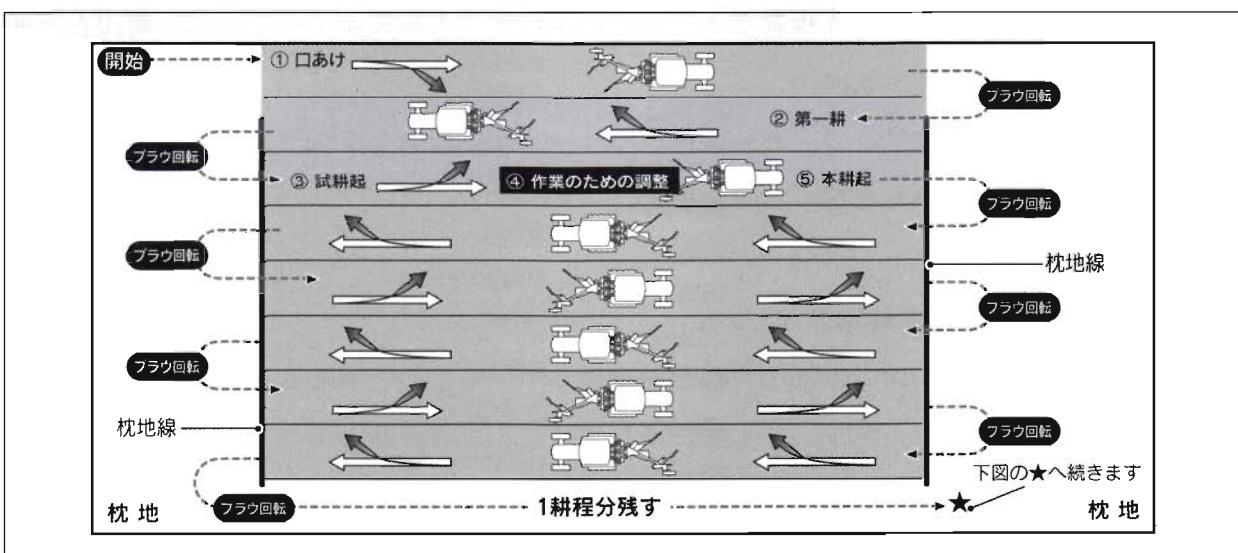


図19 枕地以外の仕上げ方

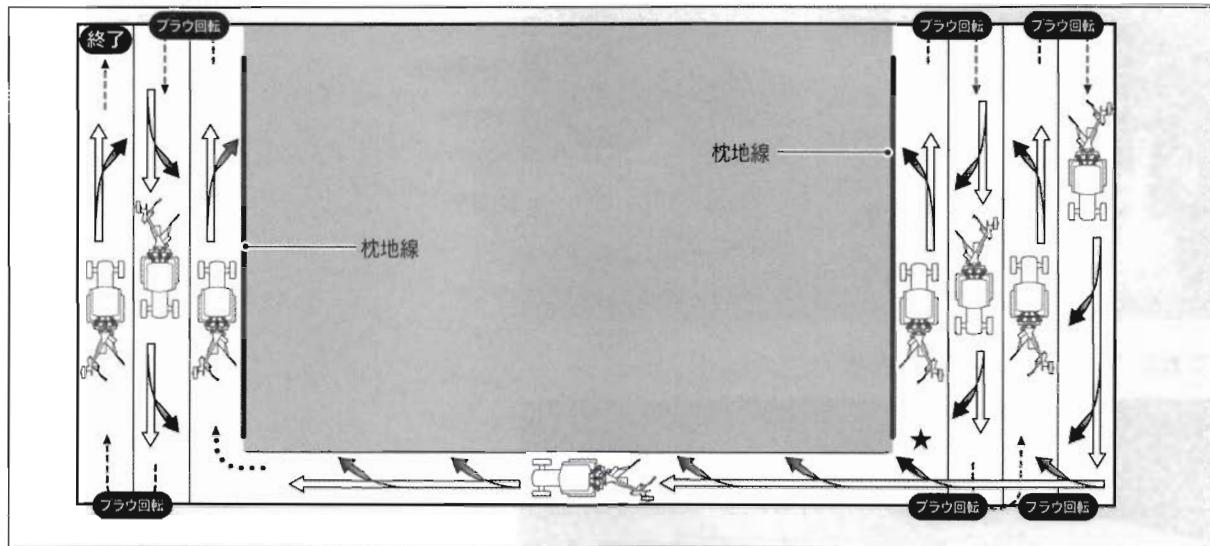


図20 枕地の仕上げ方

7. 反転耕後の整地均平作業

反転耕後は表層を碎土鎮圧します。碎土鎮圧する機械としてはロータリとバーチカルハローがあります。ロータリは横軸回転で下層と上層を混和するため汚染土を掻き上げてしまう恐れがあります。バーチカルハローは縦軸回転のため汚染土を掻き上げる恐れが少なく、作業速度や作業能率がロータリの約2倍であるため碎土鎮圧にはバーチカルハローが望ましいでしょう。

また、水稻を栽培するためには均平作業が必要となります。レーザレベルを用いて均平作業を行うことが、代掻き作業でトラクタのタイヤでの汚染土の掻き上げ・露出を回避でき、望ましいと考えられます。

このように反転耕はプラウとバーチカルハロー、レーザレベルをセットで用いることにより、優れた埋却効果を発揮する方法です。

8. 反転耕後の水稻の栽培方法

反転耕による水田の除染は30cm耕起を前提にしているため、前述のように通常の代掻きを行うと下層に埋却した汚染土を上層に掻き上げてしまう恐れがあります。

施工初年度は必ず無代掻き移植か乾田直播を行うことが望ましいと言えるでしょう。2年目以降は耕盤が形成されるのでこの限りではありません。

9. 最後に

プラウ作業は、トラクタのドラフトコントロールやデフロック機能など様々なトラクタの機能を使用して作業します。それらの機能はトラクタによって違いますので、それらの部分については、トラクタの取扱説明書に沿って、機能を充分發揮する事も重要です。また、除染用プラウにも、本稿で説明した2段耕1連プラ以外に、2段耕2連、畑用2段耕及びジョインター付2連プラウがあります。紙面の都合上それらの調整方法には触れませんでしたが、使用に当たっては取扱説明書なり弊社にお問い合わせの上、正しく使用していただく事も重要です。

国難とも言える未曾有宇の事態を解決し、1日でも早い復興の一助に、少しでも本稿が役立つことを祈念してやみません。

