

牧草地の耕うんによる放射性セシウムの吸収抑制

Plowing meadow inhibit absorption of radiocesium

福島県農業総合センター畜産研究所

遠藤幸洋 松澤 保¹ 吉田安宏 片倉真沙美 武藤健司

福島大学うつくしまふくしま未来支援センター

塚田祥文

¹現畜産課

耕うん等の土壌攪拌により、土壌表層の放射性セシウム濃度が低減され、牧草への移行が抑制される。土壌表層濃度がより低減されるプラウ耕が推奨される。牧草への移行は土質（RIP）により異なる。更新後は外的要因（冠水等）による再汚染に注意が必要である。

キーワード：放射性セシウム、移行低減、草地更新、プラウ、反転耕

1 緒言

平成23年3月11日に発生した東日本大震災に誘発された東京電力福島第一原子力発電所事故により県内の牧草地にも大量の放射性物質が降下し、多くの地域で牧草から暫定許容値を超える放射性セシウム（以下Cs）が検出された¹⁾。

牧草地の垂直構造は、地上層（牧草）、リター（枯葉等堆積層）、ルートマット層、土壌層となっており、放射性Cs濃度はリター層が圧倒的に高く、リター層とルートマット層において全体量の94%を超えた³⁾。このため、放射性Cs濃度の高い表層部分を地中に埋没する反転耕や表層の放射性Cs濃度を希釈するために深耕を行うことが有効と考えられる²⁾。

そこで、牧草地における放射性Csの低減を図り安全な牧草を生産するため、草地更新時における耕うん法の違いが、放射性Csの土壌分布及び牧草への移行に及ぼす影響を明らかにすることを目的に本試験を実施した。

2 試験方法

平成23年8月から草地更新作業を開始し、オーチャードグラスを栽培し、植物体及び土壌の放射性Cs濃度を調査した。

(1) 試験区の設定

| 処理方法 | 畜研 面積(a) | A市 面積(a) | B市 面積(a) |
|-------------|-------------|-------------|-------------|
| プラウ耕+ロータリー耕 | 2.0 | 5.0 | 3.0 |
| ロータリー耕 | 2.0 | 5.0 | 3.0 |
| 無処理（耕うん無） | 1.5 | 3.2 | 2.7 |

プラウ耕深度：畜産研究所 30cm、A市及びB市 20cm、プラウ耕後のロータリー耕深度 10cm、ロータリー耕深度：畜産研究所 20cm 及び 10cm、A市及びB市 15cm。

(2) 耕種概要

A 試験場所

農業総合センター畜産研究所 6-2 号ほ場、A市ほ場、B市ほ場

B 土質

畜産研究所：黒ボク土、A市：グライ土、B市：黄色土

C 供試草種

オーチャードグラス

D 施肥量 (kg/10a)

N-P₂O₅-K₂O:10-10-10、苦土石灰:80、ようりん:60

E 播種量

3kg/10a

(3) 土壌採取方法

土壌採取器を用いて、各区ごとに5カ所から採取し、0-5cm、5-10cm、10-15cm、15-20cm、20cm以下に切り分け、深度別に混和した。

(4) 牧草採取・調製方法

刈高10cmで、各区ごとに5カ所から採取し、70℃で48時間乾燥後、剪定鋏で約1cm以下に細断し混和した。

(5) 分析機器

ゲルマニウム半導体検出器

(6) 調査項目

放射性セシウム濃度（土壌、牧草）、RIP

(7) 追加調査 - A市ほ場における暫定許容値超過の要因解析

A市ほ場の一番草が草地更新を実施したにもかかわらず、暫定許容値の100Bq/kgFWを超えたため、追加調査を実施した。

A市ほ場の地形が以下（図1-3）に示すとおり、西側に林のある斜面に造成された水田の転作牧草地であったため、森林から落ち葉等を介して、或いは周囲から雨水を介して、ほ場が外的要因により放射性Csに汚染された可能性があったため、試験区を森林側及び道路側に分け、土壌及び牧草の放射性Cs濃度を測定した。一番草では牧草のみ、二番草では土壌及び牧草について実施した。なお、試料の採取・調製及び測定方法については、前述の方法に準じた。



図1 A市ほ場航空写真 (Google map)

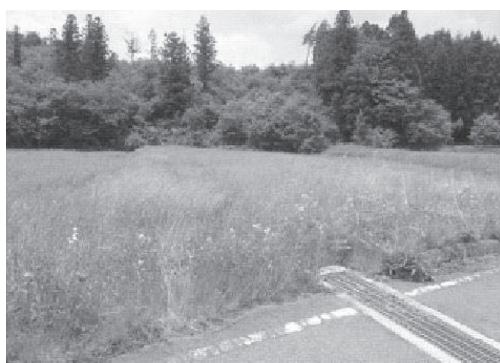


図2 A市ほ場全景写真



図3 A市ほ場の試験区概略図

3 試験結果と考察

(2) 土壌深度別の放射性Cs濃度

いずれのほ場においても、無処理区の土壌0-5cmの放射性Cs濃度が高く、放射性Csは表層に分布していた。

一番草収穫時の各処理区における土壌0-5cmの放射性Cs濃度 (Bq/kg 乾土) は、畜産研究所ほ場では無処理区 2320 に対し、プラウ区 248、ロータリー深区 902、ロータリー浅区 1917 であった (図4)。A市では無処理区 6663 に対しプラウ区 818、ロータリー区 5449 であり、B市では無処理区 18717 に対し、プラウ区 5261、ロータリー区 8175 であった (図8、10)。

耕うんにより表層の濃度は低下する。プラウ耕では土壌が反転されることにより低濃度の下層土が上層土に入れ替わり、ロータリー耕では耕起深内の土壌が均一に混和されることにより、表層から耕起深度までの濃度が希釈されて一定となるためであり、土壌表層の放射性Cs濃度の低減効果はプラウ耕の方が高かった。

また、二番草収穫時にも同様の結果が得られたが、畜産研究所のプラウ区では10-15cmに高い濃度が見られ、A市

ほ場では、逆に10-15cmが低くなっていた (図4、8)。プラウ耕では180度の反転ではなく斜めに埋設され、反転された表層土の10パーセント値は耕深30cmで15cm程度との報告⁴⁾がある。また、石等により深度が安定しない部分があることから、表層の濃度が低減できていた場所でも、土中やや浅い部分の濃度が高くなったと考えられる。

(2) 牧草の放射性Cs濃度

一番草の各処理区における放射性Cs濃度 (Bq/kg (水分80%換算)) は畜産研究所において、無処理区 97 に対し、プラウ区 29、ロータリー深区 16、ロータリー浅区 94 であった。A市ほ場では、無処理区 487、プラウ区 171、ロータリー区 212 であり、B市ほ場では、無処理区 53 に対し、プラウ区 20、ロータリー区 41 であった (図5、6、11)。

いずれのほ場においても牧草の放射性Cs濃度は耕うんにより低下し、より深く耕うんできた場合に吸収抑制することができた。

なお、草地更新を実施したにもかかわらず、A市ほ場では暫定許容値の100Bq/kgFWを超えたが、その要因については後述する。

(3) 畜産研究所ほ場 (黒ボク土) における特徴

畜産研究所ほ場 (黒ボク土) では、十分に耕うんできたため、土壌表層の放射性Cs濃度を低減することができ、牧草の放射性Cs濃度も低下した。

なお、二番草のプラウ区において、土壌10-15cmの放射性Cs濃度が高かった。本来は一番草の分布が理想とする反転耕の分布であるが、石等の障害物により反転耕が不十分な部分があることが推察される。プラウ耕区の牧草の放射性Cs濃度がロータリー深区よりやや高く推移したのもこのためであると考えられるが、暫定許容値を超過するまでには至っていなかった (図4、5)。ロールサイレージ調製時に土壌を巻き込む可能性があることを考慮すると、表層土壌濃度のより低いプラウ耕が推奨される。

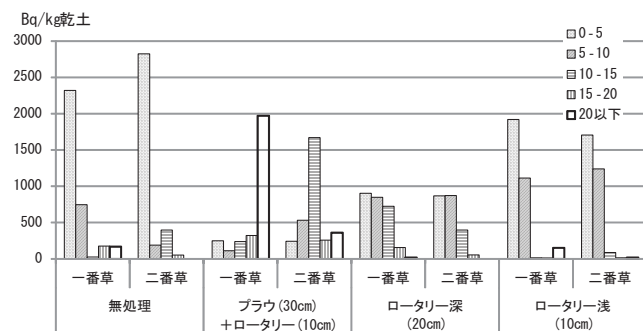


図4 畜産研究所ほ場 (黒ボク土) における土壌の深度別放射性Cs濃度

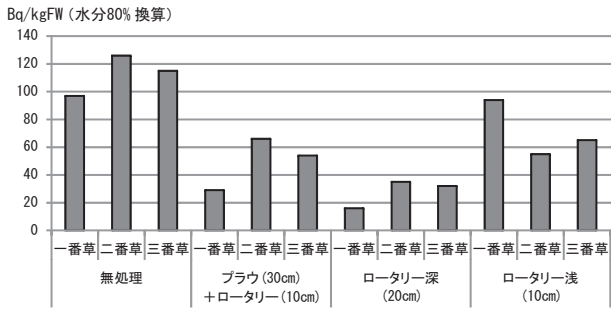


図5 畜産研究所ほ場(黒ボク土)における牧草の放射性Cs濃度

A市ほ場(グライ土)では、耕うん処理後の牧草でも100Bq/kgを超過した(図6)。その原因として、土壤表層の放射性Cs濃度が高かったこと、前植生が再生している等安定した耕うんができなかった場所があったこと、交換性カリ含量及びpHが低く、放射性Csが移行しやすい条件であったこと、さらに、牧草発芽後(H23秋)にほ場が冠水したため、周囲からの放射性Csがほ場内に流入し、土壤に蓄積して牧草に移行したことが考えられる。

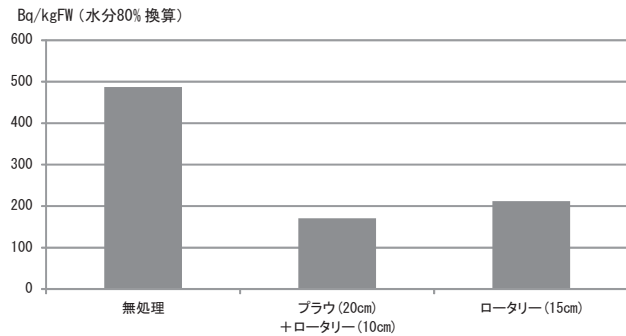


図6 A市ほ場(グライ土)における一番草の放射性Cs濃度

そこで、A市ほ場における土壤(0-2cm)及び牧草の放射性Cs濃度を道路側及び森林側に分割し測定した。冠水の上流側である道路側の土壤の放射性Cs濃度(Bq/kg乾土)は、無処理区19089、プラウ区2645、ロータリー区3584と、冠水の影響の少ない森林側(無処理区:18333、プラウ区:1015、ロータリー区:2253)に比べ、いずれの区でも高かった(図7)。

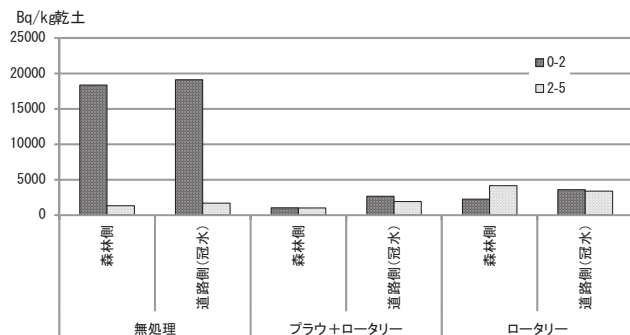


図7 A市ほ場における土壤表層の放射性Cs濃度

また、牧草の放射性Cs濃度(Bq/kgFW水分80%換算)は、道路側が無処理区794、プラウ区165、ロータリー178であり、森林側の無処理区228、プラウ区57、ロータリー区159に比べ冠水の影響が見られた。以上から、更新後に再汚染された可能性が高いと推察された(図9)。

なお、プラウ区において土壤中の放射性Cs総量が一番草で多く、二番草森林側で少ないといった違いが見られた(図8)。土壤における更新後の冠水の影響がプラウ区で最も大きいことから、このほ場のプラウ区がホットスポットを作りやすい状況にあったのではないかと考えられる。そのため、フォールアウト時に降下したセシウム量の違いや、その後の水平移動により、プラウ区では地点により放射性Csの総量のばらつきが大きかったと推察される。

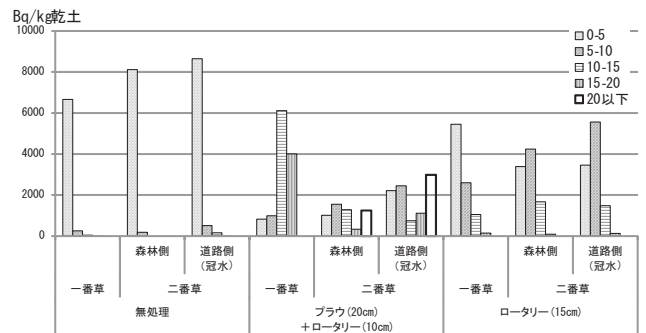


図8 A市ほ場(グライ土)における土壤の深度別放射性Cs濃度

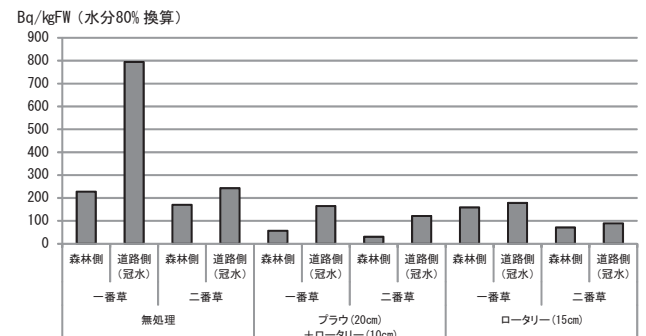


図9 A市ほ場(グライ土)における牧草の放射性Cs濃度

(5) B市ほ場(黄色土)における特徴

B市ほ場(黄色土)では、土壤(0-5cm)の放射性Cs濃度(Bq/kg乾土)は、無処理区18717、プラウ区5261、ロータリー区8175と非常に高かったが、牧草への移行は極めて低く、牧草の放射性Cs濃度(Bq/kg水分80%換算)は、無処理区53、プラウ区20、ロータリー区41であった。黄色土は強粘土質であり、放射性Csが土壤に強く吸着し、牧草へ移行しにくかったと考えられる(図10、11)。

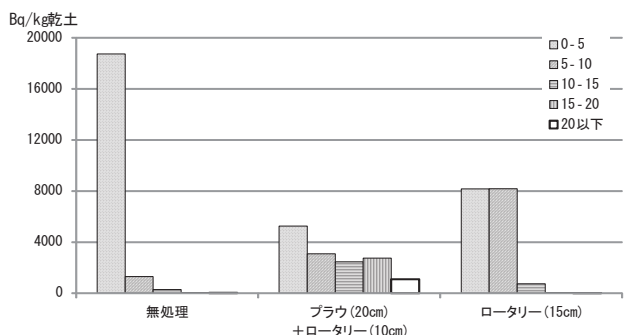


図10 B市ほ場（黄色土）における土壤の深度別放射性Cs濃度

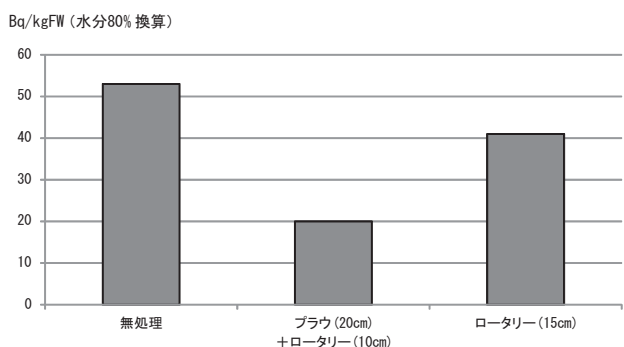


図11 B市ほ場（黄色土）における牧草の放射性Cs濃度

(6) RIP と移行係数との関係

各ほ場の RIP (※1) と移行係数 (※2) を比較すると負の相関 (相関係数 = 0.9924) が得られた (図12)。これは、Delvaux らの報告²⁾と一致する。

牧草への放射性Csの移行には様々な要因が考えられるが、中でも特に RIP の関与が大きいと推察された。

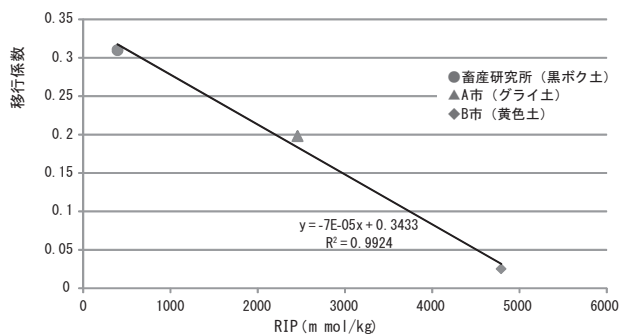


図12 RIPと移行係数 (各ほ場ロータリー区)

※1 RIP¹⁷⁾: Radiocesium Interception Potential (放射性セシウム捕捉能力) の略

※2 移行係数⁶⁾ =

$$\frac{\text{牧草の放射性Cs濃度 (Bq/kgDW)}}{\text{土壤の放射性Cs濃度 (Bq/kg 乾土)}} \quad (\text{土壤深度: 0-10cm})$$

(7) まとめ

プラウ耕やロータリー耕によって、土壤表層の放射性セシウム濃度が低減し、牧草への移行が抑制されることが分かった。牧草への移行は土質 (RIP) により異なること、更新後は外的要因 (冠水等) による再汚染に注意が必要であ

ることが分かった。

基本的には、より深く耕起することで土壤中の放射性Cs濃度を低減することができる。本試験では、30cmの深さでプラウ耕を実施した後に、10cm程度のロータリー耕 (整地) を行うことで土壤表層の放射性Cs濃度を最も低減できた。しかし、プラウ耕では石等の障害物により十分に反転できない場合があり、牧草の根が届く範囲に高濃度の放射性Csが存在すると、牧草の濃度が若干高くなる可能性がある。本試験では、暫定許容値内での上昇であったため、牧草収穫後のロールサイレージ調製時に土壤が巻き込まれる可能性があることを考慮して、土壤表層の放射性Cs濃度がより低減するプラウ耕が最も良い方法であると考えられる。なお、石等により反転耕が十分にできない部分があることへの対策として、反転耕の前に土壤を浅く耕うんし、ある程度希釈した表層土壤を埋没する試験を現在実施している。

謝 辞

貴重なほ場を貸与下さった畜産農家並びに調査協力いただいた農林事務所の皆様に深謝致します。

引用文献

- 1) Cremers, A., Elsen, A., De Preter, P. and Maes, A. 1988. Quantitative analysis of radiocesium retention in soils. Nature 335: 247-249.
- 2) Delvaux, B., Kruyts, N. and Cremers, A. 2000. Rhizospheric mobilisation of radiocesium in soils. Environmental Science and Technology 34: 1489-1493.
- 3) 遠藤幸洋・松澤 保・吉田安宏・武藤健司. 2012. 牧草地における放射性セシウムの垂直分布と耕うんによる吸収抑制. 東北畜産学会報 62 (2) : 22.
- 4) 後藤隆志・落合良治・小林 研・重松健太・松尾陽介・手島 司・清水一史・西川 純・吉野知佳・スガノ農機 (株). 2012. 除染作業におけるはつ土板プラウ耕の耕深と表層土埋没深さとの関係. 平成23年度生研センター研究報告会, p. 39-47.
- 5) 福島県農林水産部畜産課. 2011. 牧草・飼料作物の放射性物質モニタリング検査結果. http://wwwcms.pref.fukushima.jp/pcp_portal/PortalServlet?DISPLAY_ID=DIRECT&NEXT_DISPLAY_ID=U000004&CONTENTS_ID=27926
- 6) IAEA. 2010. Technical Reports Series 472.
- 7) Wauters, J., Elsen, A., Cremers, A., Konoplev, A. V., Bulgakov, A. A., and Comans, R. N. J. 1996. Prediction of solid-liquid distribution coefficients of radiocesium in soils and sediments. Part one: A simplified procedure for the solid phase characterization. Applied Geochemistry 11: 589-594.