

反転耕による放射性セシウム汚染土壌の除染技術*

渡邊好昭

キーワード ボトムプラウ、放射性セシウム、空間線量率、埋没、耕深

原発事故で汚染された土壌で栽培される農産物の放射性セシウム濃度を低下させ、農地からの被ばくを抑制しようとした時、表層に存在する放射性セシウムをプラウ耕によりできるだけ下層に埋め込むことは容易に考えられる方法の一つである。これは、排出される放射性セシウム汚染土を処理場へ移動する必要はないが、放射性セシウムをその農地に残すため、減衰して放射線量が十分に低下するまで管理することが必要になる。

チェルノブイリ事故後に出されたハンドブックでも、プラウ耕は有効な処理方法として提案されている。20~30 cm程度の耕深で行うプラウ耕は、「shallow ploughing」と記載されており、耕うんによる希釈効果と、下層への埋却効果があると記述されている。その効果は振幅が大きく、作物への移行低減は0~75%、空間線量率の低減効果は50~90%となっていて、条件によって大きく変動することが示唆される。従って、作物の種類による差異だけでなく、プラウの種類や土壌の性質などによって、効果が大きく異なると考えられた。

さらに、このハンドブックでは深層への埋却に「skim and burial ploughing」を提案している。これは、放射性物質に汚染された表層5 cmの土壌を、下層5~50 cmを持ち上げ、その下に入れ込む方法である。空間線量率については6%まで低減できるとされ、作物への移行は10%程度まで低減できるとされている。しかし、この特殊なプラウについて、これ以上の情報を集めることができず、試験に用いることはできなかった。

プラウ耕の効果については、プラウの種類と土壌の状況で大きく変動することが予想されたことから、実際に被災

地で利用できるプラウを明らかにし、実証することが必要と考えられた。そこで、当初は市販されているプラウを用い、反転精度を測定し、その後、福島の実情に合わせ、除染用のプラウを開発した。

1. 市販プラウの反転精度

1) ボトムプラウおよびジョインタ付きボトムプラウ

表層にある放射性セシウムをプラウにより埋却する場合、耕深はできるだけ深いほうが良い。しかし、実際には作業を実施するトラクタの大きさや、反転して表層に来る下層土の状況を考慮して、水田では30 cm、条件の良い畑でも45 cm程度の深さが限度と考えた。そこで、黒ボク土の畑条件で各種プラウの表層のすき込み深さを測定した。その結果、ボトムプラウの場合、表層のすき込み深さは最も深い部分では耕深30 cmとなるが、最も浅い部分では12 cm程度となった。これは、一工程前に耕起してできたれき土の斜面に耕起した土壌の表層が乗り上げるためと考えられた。

草地の更新などで表面にある牧草の埋却精度を上げるために、ジョインタ付きプラウが利用されていることから、これのすき込み深さを確認した(写真1)。その結果、表層のすき込み深さは最も浅い部分で15 cmとなり、耕深の半分以下のところに埋却することが可能であった。この結果からジョインタ付きプラウが有効と考え、現地実証に使用することとした。なお、プラウの種類と表層土の埋没深さの関係については、後藤ら(2012)が精密に測定した結果を報告している。

2) 二段耕プラウ

反転均平工法で利用する大型の二段耕プラウが、北海

Yoshiaki WATANABE: Burying radioactive cesium-contaminated soil by ploughing

* 研究は平成23年度科学技術戦略推進費「放射性物質による環境影響への対策基盤の確立」による「カリウム施用等による放射性セシウムへの農産物への移行低減栽培技術の開発」及び平成23年度新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業「プラウによる反転耕のすき込み精度の向上と影響評価」により実施した。本研究は、農研機構生物系特定産業技術研究支援センター、福島県農業総合センター、スガノ農機株式会社、井関農機株式会社との共同研究により実施したものである。

農研機構 中央農業総合研究センター 北陸研究センター 北陸農業研究監 (943-0193 上越市稲田1-2-1)

日本土壤肥科学雑誌 第85巻 第2号 p.129~131 (2014)



写真1 3連のジョインタ付きプラウによる反転耕
黒い矢印はジョインタ、プラウ本体の前につける小型の犁。
白い矢印はジョインタによりれき溝におちる表層

道などで利用されており、耕深 60 cm 程度までのプラウ耕が可能である。このプラウについても、表層のすき込み深さを調査した結果、表層のすき込み深さは最も浅い部分で 42 cm となり、高いすき込み精度が示された。しかし、この大型の二段耕プラウを引くためには 3 点リンクを備えた特殊なブルドーザが必要であり、このような重機を入れることができる圃場が限定されてしまうことから、現地での利用は難しいと判断した。

深耕用のプラウとして、120 馬力程度のトラクタで引ける耕深 45 cm まで可能な二段耕プラウが市販されていた。この深耕用二段耕プラウについても調査したところ、表層のすき込み深さは 20~40 cm であり、ジョイント付きプラウよりも高いすき込み精度であった。比較的土壌の軽い畑や草地で、下層土に礫層など不適な土壌がない場合には利用可能と判断した。

二段耕プラウは、ボトムが前後に 2 つ組み合わせ、前のボトムが下層の土を、後ろのボトムが上層の土を反転する。前のボトムが土を起した溝の底に後のボトムが表層の土を落とし込む。次の工程で、落としした表層の土の上に放射性セシウムで汚染されていない下層土を反転して乗せるために、確実に表層土が下層土の下に埋却されることになる (図 1)。

2. 水田用二段耕プラウの開発

二段耕プラウのすき込み精度が高いことが分かったが、深耕用の二段耕プラウの耕深の範囲は 35~70 cm であり、水田には深すぎる。また、被災地の水田ではすでに栽培が始まっており、ロータリ耕を実施したが、さらに、空間線量率を下げるために深耕をしたいという希望もあった。そこで、耕深 10 cm 程度の耕起をした圃場でもすき込み精度が高い水田用二段耕プラウが必要と判断した。20 インチのボトム 2 つを組み合わせ新たな水田用二段耕プラウを開発し、耕深 30 cm でプラウ耕を実施すると、表層のすき込み深さは 18~30 cm に埋却されることが明らかにされた。このプラウは、水田用として開発されているが、畑でも高い精度で利用が可能であった (写真 2)。

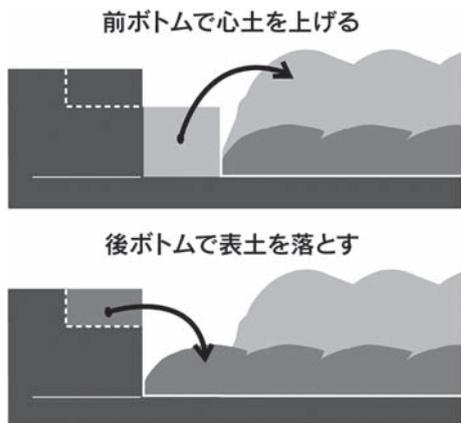


図 1 二段耕プラウによる反転耕時の土の動き

3. 反転耕による効果

1) 水稲の吸収抑制

福島県の放射性セシウム濃度 $4,160 \text{ Bq kg}^{-1}$ の圃場において、2011 年 5 月に耕深 30 cm でジョイント付きプラウによる反転耕を実施した。その後、無代かき移植でコシヒカリを栽培した。対照区として隣接する圃場においてロータリ耕 (耕深 15 cm) を行い、その後無代かき移植栽培を実施した。その結果、出穂期の 8 月中旬に採取した水稲地上部の放射性セシウム濃度は、対照区に比べて反転耕区でやや低い傾向があった (表 1)。さらに、10 月上旬に坪刈りして、玄米の放射性セシウム濃度を測定したところ反転耕区で 5.0 Bq kg^{-1} と低い値であった。これは対照区よりもやや低い傾向値であったが、統計的には有意ではなかった (表 1)。この圃場は重粘土であり、粘土鉱物により放射性セシウムが吸着されやすいため、対照区においても放射性セシウムの玄米への移行係数が低かった。そのため、反転耕の効果は有意にならなかったものと考えられた。

収量は反転耕区でやや高い傾向があったが、無代かき田植えを実施した反転耕区、対照区いずれも $600 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$ を超え、周囲の水田よりも 1 俵程度多収となった (農家からの聞き取り)。この収量の結果は、反転耕によって収量の低下が必ずしも起こらないことを示した。

除染のために耕深 30 cm で反転耕を行おうとする場合、栽培する作物への悪影響を心配する声を聞く。今まで作土層ではなかった下層土が上層に上がってくるために、地力が低下して収量が低下するとの主張である。そのため耕深を浅くして反転耕を実施する場合もあると聞かすが、これでは除染の効果が低下してしまうことが考えられる。下層の地力が低いのであれば、施肥や土壌改良資材により補うことができるので、耕深を浅くするのではなく、土壌診断により下層土の特性を把握して、適切な処理を行うべきと考えられる。

2) 空間線量率の低減効果

現地で実施したプラウによる反転耕における空間線量率の測定結果を表 2 に示した。プラウ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

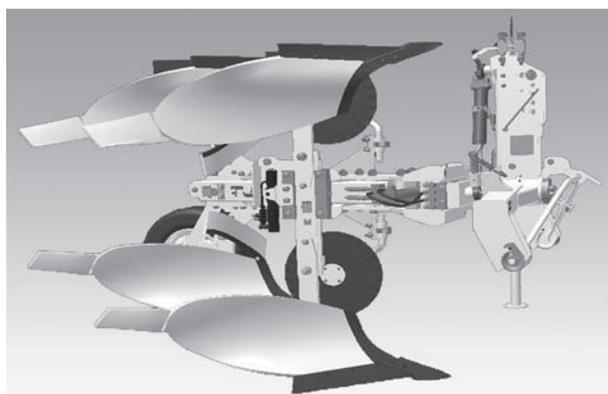


写真 2 水田用二段耕プラウ

表1 水稲の放射性セシウム濃度に及ぼす反転耕の影響 (Bqkg⁻¹乾重)

	出穂期地上部			玄米		
	Cs-134	Cs-137	合計	Cs-134	Cs-137	合計
反転耕	56.2	62.5	118.7	2.3	2.7	5.0
対照区	78.3	90.5	168.8	3.3	3.7	7.0

表2 プラウによる空間線量率の低減効果

地目	耕起状況 ¹	耕深 (cm)	プラウの種類	1m線量率 (μSvh ⁻¹)		
				プラウ前	プラウ、転圧後	低減率 ²
草地	不耕起	45	畑用二段耕プラウ	1.30	0.17	87
草地	不耕起	45	畑用二段耕プラウ	2.13	0.41	81
草地	不耕起	30	水田用二段耕プラウ (開発機)	0.46	0.12	74
田	不耕起	30	ジョイント付きプラウ (改良機)	1.63	0.52	68
田	耕起	30	水田用二段耕プラウ (開発機)	1.03	0.47	56
畑	耕起	30	水田用二段耕プラウ (開発機)	0.65	0.34	48
田	耕起	30	ジョイント付きプラウ (改良機)	0.41	0.20	51
田	耕起	30	ジョイント付きプラウ (改良機)	0.51	0.31	39
田	耕起	30	ジョイント付きプラウ	0.69	0.41	41
田	耕起	30	ジョイント付きプラウ	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。

受けた。圃場の耕起状況が不耕起の時には反転耕による空間線量率の低減効果は大きかった。耕深45cmの深耕用二段耕プラウを使用した場合、空間線量率の低減効果は大きく、プラウ耕前の1/5以下に低減した。耕深が30cmの水田用二段耕プラウであっても、ジョイント付きプラウであっても、同様におよそ1/3に低減した。

圃場の耕起状況が耕起(ロータリ耕)の場合、耕深30cmでは、不耕起の場合よりも空間線量率の低減効果は小さく、プラウ耕前の28~56%の範囲であった。水田用二段耕プラウの低減効果がジョイント付きプラウに比較して高い傾向であり、すき込み精度の高さが影響していることが考えられた。

4. プラウによる反転耕実施上の留意点

1) 作物が吸収する可能性

プラウ耕により表層にあった放射性セシウムが20cm以下の下層に埋却されたとしても、膨軟になった土壌では作物の根がその部分まで伸長することは十分にありうる。そのため、作物が放射性セシウムを容易に吸収できないように、セシウム吸着力が強いゼオライトやバーミキュライトなどの資材を反転耕実施前に散布することが有効な場合も考えられる。また、土壌のカリ含量が低下するとセシウム吸収量が増える可能性が指摘されていることから、土壌中のカリ含量を測定し、不足する場合にはカリ肥料を施用することが必要である。

2) 地下水への影響

プラウ耕によって放射性セシウムが下層に埋却されると、地下水が汚染されるとの指摘がある。確かに、地下に埋却された分だけ地下水面に近くなるが、プラウ耕処理範囲である土壌の放射性セシウム濃度(10,000Bqkg⁻¹以下)と、被災地の降水量などを考えた場合に、これまで得られ

ている放射性セシウムの地下への浸透速度から考えて、直ちに問題になるような濃度の汚染が発生することは考えにくい。しかし、地下水の流れは必ずしも均一ではないので、セシウムを吸着しにくい土壌の場合には放射性セシウムを吸着する資材を反転耕実施前に施用することが必要になる。

3) プラウによる反転耕後の水稲栽培の注意点

除染のためのプラウによる反転耕では、耕深を30cm以上にすることを前提にしているため、耕盤を破壊する。そのため、通常の代かきを行うと、トラクタの車輪は下層まで潜ってしまい、下層に埋却した汚染土を上層に掻き上げる恐れがある。このため施工初年度は代かきを行わない無代かき移植か乾田直播を行うことが求められる。2年目以降は耕盤が形成されるので、通常の耕うん、代かきを実施して田植えすることも可能である。実際には、プラウ後にパーティカルハローによる碎土・鎮圧・整地とレーザーレベラによる均平化を行うことにより、地耐力の確保や降下浸透の抑制が図られる。さらには、砂質な地域や傾斜地で水持ちの悪い圃場では、トラクタで圃場周囲を踏圧し、畦畔からの漏水を防止する。その後、土壌改良材、肥料を散布して入水し、1週間程度放置して表層の土が柔らかくなったら田植えを実施する。

文 献

- Euronos. 2009. Genetic handbook for assisting in the management of contaminated food production systems in Europe following a radiological emergency. Vol.2 p. 407. HealthProductionAgency.
 後藤隆志・落合良治・小林 研・西村 洋・吉野知佳・松尾陽介・手島 司・小林一史・西川 純・小澤良夫・下村 剛 2012. 放射性物質の除染作業におけるはつ土板プラウの耕深と表層土埋没深さとの関係. 農業機械学会誌, 74,465-474.