

東日本大震災に起因した東京電力福島第一原子力発電所事故に伴う 県内茶園の放射能汚染と対策[†]

松本昌直¹⁾・高橋冬実¹⁾・小杉徹¹⁾・白鳥克哉²⁾・江本勇治³⁾

¹⁾農林技術研究所茶業研究センター, ²⁾農業振興課, ³⁾生活環境課

Radioactive Contamination and Countermeasures of Tea Fields in Shizuoka Prefecture Following the Fukushima Nuclear Power Stations Accident

Masanao Matsumoto¹⁾, Fuyumi Takahashi¹⁾, Toru Kosugi¹⁾, Katsuya Shiratori²⁾ and
Yuji Emoto³⁾

¹⁾Tea Research Center/Shizuoka Res. Inst. of Agri. and Forest., ²⁾Agriculture Promotion Division., ³⁾Living
Environment Division

Abstract

Radioactive contamination of tea fields occurred in Shizuoka Prefecture due to the accident at Fukushima nuclear power stations on March 11, 2011. Radioactive cesium monitoring in tea plants and soils was conducted for three years. Additionally, new technologies for reducing radioactive cesium in tea buds were tested using a wide range of approaches (soil, fertilizer, cultivation, processing, and beverage). For three years, the concentration of radioactive cesium in tea bud drastically decreased. It was proved that the concentration of radioactive cesium of the next first crop bud would not be higher than that in the leaf layer before sprouting. Moreover, pruning of the tea trees was the most effective method for reducing cesium accumulation.

キーワード：チャ, 茶, 放射性セシウム, モニタリング, 低減技術, 浸出液

1 I 緒 言

静岡県では、2011年3月11日の東日本大震災に起因した東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い、県内茶園に放射能汚染（放射性物質による汚染）が発生した。国内における緑茶の放射能汚染に関わる過去の報告例は少なく、汚染された茶樹、茶園土壌の放射性セシウムの動態、土壌に降下した放射性セシウムの茶樹への再

吸収の有無は明らかになっていない。また、流通されている茶に対する消費者、生産者の疑念に対応し、茶の安全・安心を確立する必要がある。

放射性物質降下の翌年以降における一番茶の放射性セシウム濃度を推定するため、茶園内の茶樹及び土壌の継続的なモニタリングを行った。また、茶樹における放射性セシウムの低減化と茶の安全・安心確立に向けて、肥培管理、栽培管理、荒茶製造工程及び浸出条件などが放射性セシウム濃度を与える影響等について検討した。

[†] 本報告の一部は茶業技術研究発表会（平成23年11月島田市、平成24年11月宇治市、平成25年11月島田市）、及び日本土壌肥料学会2012年鳥取大会（2012年9月鳥取市）において発表した。⁹⁾⁷⁾¹⁰⁾⁸⁾

Ⅱ 材料及び方法

1 供試ほ場

茶業研究センター内におけるいずれの調査も、‘やぶきた’成木園(25年生～28年生)にて行った。成木園内供試ほ場の土壌化学性を表1に示した。ゼオライトの施用及び石灰資材の施用試験は茶研東園、その他の試験は茶研西園で行った。なお、両園の土壌は赤黄色土であり、CECや交換性カリは同程度であった。年間施肥量は窒素：リン酸：カリ=40：14：20 kg/10aであった。

2 放射性セシウム及び土壌化学性の分析方法

チャ植物体試料は、通風乾燥機にて60°Cで乾燥後、粉砕機で粉砕した。土壌試料は風乾後2 mm篩いを用いて通過した画分を分析に供した。茶浸出液は、2 Lをマリネリ容器に入れ、放射性セシウムを測定した。測定機器は、検出器/波高分析器にキャンベラ製GC4019/DSA-2000を用いた。測定は植物体試料が測定時間3000～7000秒でU8容器または1 Lプラスチック容器を用いて、土壌試料が測定時間50000～70000秒で250 ml容プラスチック茶筒容器、U8容器または1 Lプラスチック容器を用いて行った。植物体・土壌試料は、いずれも容器内で円筒状になるように上から圧縮し、植物体では約40～60 g (U8容器)、約200～400 g (1 L容器)、土壌は約100～200 g (250ml容器)、約100 g (U8容器)、約400～600 g (1 L容器)とした。

放射性セシウムの分析に関わるその他の事項については、「緊急時における食品の放射能測定マニュアル」⁴⁾及び放射線測定法シリーズの「ゲルマニウム半導体検出器を用いる機器分析のための前処理法」⁹⁾、「放射性セシウム分析法」¹⁰⁾に準じて行った。また、試料の測定は1反復で行った。

植物体のカリウム含量は灰化後、原子吸光光度計(spectrAA, Varian (現 Agilent))で測定した。また、土壌の化学性分析(土壌のCEC, pH, EC, 可給態リン酸, 交換性塩基(カリ・石灰・苦土))は静岡県農業水産部農業技術課「土壌・溶液・作物体・診断マニュアル」¹⁰⁾に準じて行った。試料の測定は1反復で行った。

なお、文中の「放射性セシウム濃度」は特に記載のな

い限り生重量あたりの「¹³⁴Cs と ¹³⁷Cs の合計」を表す(事故当初は ¹³⁴Cs を測定可能であったが、その後は減衰等により検出限界値以下となったため ¹³⁷Cs のみの値を示した)。

3 放射性物質降下後3年間の放射性セシウムのモニタリングと推移

降下した放射性セシウムのチャ新芽、茶樹及び土壌における推移を明らかにするため、モニタリング調査を行った。また、原発事故後の2012年一番茶における放射性セシウム濃度を、静岡県が一番茶出荷が始まる前に推定するため、ビニールハウスによる一番茶の促成栽培を試みた。

(1) チャの新芽、萌芽前の葉層及び荒茶中の放射性セシウム濃度の調査

一番茶、二番茶、秋整枝のチャの新芽及び萌芽前の葉層(樹冠面から深さ10 cm)から約2 kg採取した。2011年は三番茶も採取した。新芽と葉層の試料採取については2011年5月、6月、8月、10月、2012年5月、7月、10月、2013年は5月、6月に採取した(2011年から2012年一番茶までは葉層の採取日は新芽と同一日であり、2012年二番茶以降は同一日ではないが新芽摘採後一週間以内に採取した)。また、新芽から荒茶を2Kラインで製造し、分析に供した。

(2) 茶樹体内の放射性セシウム濃度の調査

放射性物質降下7ヶ月後の2011年10月、11ヶ月後の2012年2月、26ヶ月後の2013年5月に調査した。茶株を3～5株程度抜き取り、新芽、浅刈り(樹冠面から深さ5 cmまで)、浅刈り～深刈り(樹冠面から深さ5～10 cmまで)、深刈り～中切り(樹冠面から深さ10～25 cmまで)、中切り～台切り(樹冠面から深さ25 cm～地表から高さ5 cmまで)、台切り～地下部(地表から高さ5 cm以下)に区分して、分析必要量まで縮分し、分析に供した。

(3) 茶園土壌の放射性セシウム濃度の調査

土壌の採取は2011年5月18日、2011年10月28日、2012年2月20日、2013年5月13日に行った。土壌試料は、樹冠下の表層有機物及び土壌を深さ別(表面から未

表1 試験ほ場の土壌化学性

試験ほ場	CEC [me]	pH	EC [mS/cm]	可給態				T-N [d.w.%]	T-C
				P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO		
茶研西園	25.3	5.3	0.20	40	64	315	193	0.66	8.71
茶研東園 ¹⁾	28.5	3.7	0.31	65	55	822	275	0.69	7.73

1)ゼオライトの施用及び石灰資材の施用は茶研東園、他の試験は全て西園で行った。

分解の有機物を除いた土壌面からの深さ 0~5 cm, 0~15 cm, 15~30 cm, 30~45 cm) に採取し, 分析に供した.

なお, 0~5 cm は土壌の極表層を調査するため, 0~15 cm は多くの放射性セシウム研究の基準となっているため, 両方を調査した.

(4) ハウス促成栽培による早出しした一番茶の放射性セシウム濃度の調査

2011年の事故後の茶園に温風暖房機を設置したビニールハウスを建設し, 促成栽培を行った. 加温(暖房, ビニール掛け)は茶樹の休眠を考慮し, 2012年1月16日に開始した. ハウス内の最低温度(樹冠面)を茶芽の生育にあわせて, 段階的に5°Cから18°Cに設定した. ハウスの規模は5.4m×9.0mであり, ハウス内の茶株は2列で, かん水チューブにより1週間に1~5回, 10mm/回程度のかん水を行った. また, 2012年1月22日に春肥

(6.7kgN/10a)を, 2月20日に芽出し肥(10kgN/10a)を施用した. 2012年3月23日に一番茶の採取を行い, 分析に供した. また, 荒茶を製造し, 茶浸出液を作製して放射性セシウムの分析に供した(反復なし).

4 茶樹における放射性セシウム低減技術の検証

茶樹における放射性セシウム低減技術を検証するため, 肥培管理, 栽培管理, 荒茶製造工程について検討した.

(1) 土壌の肥培管理による低減技術

1) カリ資材の施用

a 硫酸カリウムの土壌への施用

交換性カリと放射性セシウムの拮抗作用を利用した吸収阻害効果を検証するため, 2011年5月18日に硫酸カリウム(和光一級, 和光)を土壌に施用した. 施用量は0, 10, 20, 40kgK₂O/10a区とし, 1区3.0m×1.8mで, 各2反復で行った. 2011年6月24日に二番茶を採取し, 放射性セシウム濃度及びカリウム含量を測定した. また, 試験前の土壌を2011年5月11日に採取し交換性カリ含量を測定, 試験後土壌を2011年7月13日に採取し, 放射性セシウム濃度及び交換性カリ含量を測定した.

b 硫酸カリウムの葉面散布

カリ資材を葉面散布することによる, 放射性セシウムの新芽への転流の抑制効果を検証するため, 萌芽期前と萌芽期後に異なる濃度の硫酸カリウム(和光一級, 和光)溶液を樹冠上から葉面散布で施用した. 萌芽期前の樹冠面には2011年6月3日に濃度0(水のみ), 0.2, 0.5, 1.0%溶液を200L/10a施用した. 萌芽期後の樹冠面には施用濃度が0(水のみ), 0.5, 1.0%溶液を, 新芽の1.2葉期(6月14日)と2.5葉期(6月19日)の2回, 200L/10a施用した. 試験は1区5.0m×1.8m, 2反復で

行った. 2011年6月24日に二番茶を採取し, 放射性セシウム濃度及びカリウム含量を測定した.

2) 陽イオン吸着剤の施用

ゼオライトによる放射性セシウムの吸着作用を検証するため, 2011年5月25日にゼオライト(粒度1.5~3mm)をうね間に, 0, 100, 200, 300kg/10a施用した. 100kg/10aは200, 300kg/10aとは異なるほ場で行ったため, それぞれ無施用区を設置した. ゼオライト施用後に土壌を耕うんした(深さ15cm程度). 試験は1区2.0m×1.8m, 2反復で行った.

6月25日に二番茶を採取し, 放射性セシウム濃度を測定した. 土壌は2011年6月29日に深さ0~15cm及び下層への移行を確認するため30~40cmで採取し, 放射性セシウム濃度, pH, EC(電気伝導度), 交換性カリ含量を測定した.

さらに, 2011年10月21日に200, 300kg/10a施用区において同量のゼオライトを施用・耕うんし(以下合計量, 400, 600kg/10a施用区とする), 2012年5月8日に一番茶, 6月28日に二番茶を採取し, 放射性セシウム濃度を測定した.

3) 酸性矯正による放射性セシウム吸収阻害

酸性矯正による放射性セシウム吸収阻害効果を検証するため, 2011年5月19日に苦土石灰(アルカリ分30%)を施用し, 耕うんした(深さ15cm程度). また苦土石灰施用後, 深さ35cmまで深耕した深耕区も設置した. 苦土石灰の施用量は0, 100, 200kg/10aとし, 1区3.0m×1.8m, 2反復で実施した. 2011年6月29日に二番茶を採取し放射性セシウム濃度を測定した. また, 試験前の土壌を2011年5月18日, 試験後の土壌を2011年6月29日に, 深さ0~15cm, 及び下層への移行を確認するため30~40cmで採取し, 放射性セシウム濃度, pH, EC及び交換性塩基(カリ, 石灰, 苦土)の分析に供した.

4) アンモニア態窒素による土壌中の放射性セシウムの交換作用

アンモニア態窒素による土壌中の放射性セシウムの交換作用を検証するため, 2011年5月21日に硫酸アンモニウム(以下, 硫安)の追肥を行った. 試験区はそれぞれ窒素追肥量10, 30kgN/10a区を設置した. 1試験区あたり3.75m×1.8mと5.0m×1.8mをそれぞれ設置し, 2反復とした. なお, 2011年は前年に行った中切りの影響による部分的な生育不良から, 同ほ場内に慣行区(慣行施肥のみで硫安追肥を行っていない区)を設置することができなかったため, 同茶園内の隣接するほ場の慣行区を参考値として用いた.

表2 各試験区のせん枝・摘採高および実施日

試験区 ¹⁾	2011年度せん枝		2011年度再生芽		2012年度一番茶	
	実施日	高さ ³⁾ [cm]	実施日	高さ [cm]	実施日	高さ [cm]
慣行区 ²⁾	5月26日	88.5	6月26日	89.5	5月6日	94.0
浅刈り区	5月26日	83.5	7月8日	84.5	5月6日	90.0
深刈り区	5月26日	78.5	7月15日	81.5	5月6日	87.0
中切り区	5月26日	63.5	8月1日	68.5	5月6日	75.0

1)試験区は、慣行区(無せん枝)、浅刈り(樹冠面から5 cm深)、深刈り(樹冠面より10 cm深)、中切り(樹冠面より25 cm深)処理。

2)慣行区は8月13日に90.5 cmで三番茶摘採。

3)表中の高さは全てほ場に設置されたレール走行式茶園管理機のレールからの高さ。

2011年7月13日に二番茶を採取し、放射性セシウム濃度及び全窒素含有率を測定した。また、硫酸の施用前後で土壌を採取し、放射性セシウム濃度の分析に供した。

(2) 栽培管理による低減技術

1) 整せん枝による茶樹体内の放射性セシウム低減技術

試験は2011年から2012年にかけて行った。2011年5月26日に異なる強度のせん枝処理を行った。試験区は、慣行区(無せん枝)、浅刈り区(樹冠面から深さ5 cm)、深刈り区(樹冠面から深さ10 cm)、中切り区(樹冠面から深さ25 cm)を設け(各2反復)、それぞれ2011年6月26日、7月8日、7月15日、8月15日に新芽または再生芽の摘採及び採取を行い、放射性セシウム濃度を測定した。また、2012年5月6日に一番茶を摘採し、放射性セシウム濃度を測定した。摘採及びせん枝の実施日は表2に示した。

(3) 荒茶製造における低減技術

荒茶製造における茶葉中の放射性セシウム濃度の変化を検証するため、荒茶製造の各工程の茶葉及び熟度の異なる新芽における放射性セシウム濃度を調査した。

1) 荒茶製造工程中の茶葉の放射性セシウム濃度の変化

2011年6月23日に摘採した二番茶生葉を用いて翌24日に荒茶を製造した。茶業研究センターの120Kラインにおいて約120 kg処理し、生葉を含む荒茶製造の各工程(蒸熱、粗揉、揉捻、中揉、精揉、乾燥)ごとに2 kgずつ採取し、含水率及び放射性セシウム濃度を測定した(反復なし)。なお、各工程の茶葉における放射性セシウム濃度は乾物当たりで示した。

2) 新芽の熟度による放射性セシウム濃度の違い

2011年二番茶期と秋冬番期に熟度の異なる葉をそれぞれ2 kg以上採取し、2Kラインで荒茶製造後、生葉及び荒茶の放射性セシウム濃度を測定した。なお、茶業関係試験研究用語集(栽培分野編)¹⁹⁾に基づき、若くてやわらかい芽のことを若芽(熟度が低い)、摘採適期を過ぎて製茶が困難な程に硬化した新葉をこわ葉(熟度が高

い)とした。また、2011年秋冬番期は、2011年に中切りを行った区においても若芽を採取し、放射性セシウム濃度の分析に供した。また、生葉については熟度の違いを示すため、全窒素含有率を測定した。

5 浸出条件の違いが放射性セシウム濃度に及ぼす影響

茶の浸出条件による放射性セシウム濃度の違いを検証するため、浸出温度、浸出時間及び茶種について検討した。

供試した各試料は、株式会社静岡茶市場(静岡県静岡市)から提供またはハラダ製茶株式会社(静岡県島田市)から購入した。

茶の浸出は、茶のいれかた研究会²⁰⁾による日本茶インストラクター教本に準じて行った(表3)。急須は、常滑製深蒸し茶用、茶漉し網30メッシュを用いた。

茶葉からの放射性セシウムの浸出については、浸出前の茶葉の放射性セシウム濃度から浸出液の濃度を予測するため、「浸出比」を『浸出液の放射性セシウム濃度[Bq/L]を浸出前の茶葉の放射性セシウム濃度[Bq/kg]で除した値』と定義し、算出した。

(1) 浸出温度及び浸出時間が浸出液の放射性セシウム濃度に及ぼす影響

茶は浅蒸し茶(蒸熱時間30~40秒)、深蒸し茶(蒸熱時間60秒程度)の2種類の仕上げ茶を各2点供試した。浸出温度は40、60、90、100℃、浸出時間は30、60、90、120、150、300、600秒として、それぞれ茶浸出液と浸出前の茶葉を放射性セシウム濃度の分析に供した。

表3 日本茶インストラクター教本における浸出方法

茶種	急須の大きさ [ml]	茶量 [g]	湯温 [℃]	浸出液量 ²⁾ [ml]	浸出時間 [秒]
玉露	600	70	40	420	120
煎茶 上 煎茶 ¹⁾ 並	600	10	90	430	60
焙じ茶 番茶	600	10	100	430	30

1)浅蒸し茶、深蒸し茶、蒸茶、粉茶、釜炒り、泥粉、頭茶は煎茶並の浸出方法に準じた。

2)いずれも1回あたりの浸出液量。放射性セシウムの分析にはこれを2L供した。

(2) 茶種の違いが浸出液の放射性セシウム濃度に及ぼす影響

試料は、2011年県内産‘やぶきた’の浅蒸し茶6点、深蒸し茶9点、粉茶2点、茎茶2点、煎茶上（浅蒸し）、煎茶並（浅蒸し）、玉露、釜炒り一番茶、釜炒り二番茶、泥粉（仕上げ工程のふるい分け時に生じる粉状の茶）、頭茶（仕上げ工程のふるい分け時に生じる大柄な茶）、茎焙じ茶、番茶各1点の計13種28点の茶浸出液と浸出前の茶葉を放射性セシウム濃度の分析に供した（浸出は粉茶1点、茎茶1点、釜炒り一番茶、釜炒り二番茶、泥粉、頭茶、茎焙じ茶は1反復で、その他の茶は2反復で行った）。

III 結 果

1 放射性物質降下後3年間の放射性セシウムのモニタリングと推移

(1) チャの新芽、萌芽前の葉層及び荒茶中の放射性セシウム濃度の調査

チャ新芽及び荒茶における放射性セシウム濃度の推移を図1に示した。新芽の放射性セシウム濃度は、2011年の一番茶111 Bq/kgに対し、二番茶29 Bq/kg、三番

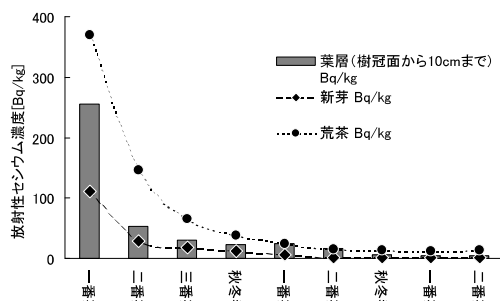


図1 2011年から2013年までのチャ新芽及び荒茶における放射性セシウム濃度の推移

- 1) 荒茶は乾物あたりの放射性セシウム濃度。
- 2) 2012年二番茶以降、新芽と葉層の採取日は同一日ではない。

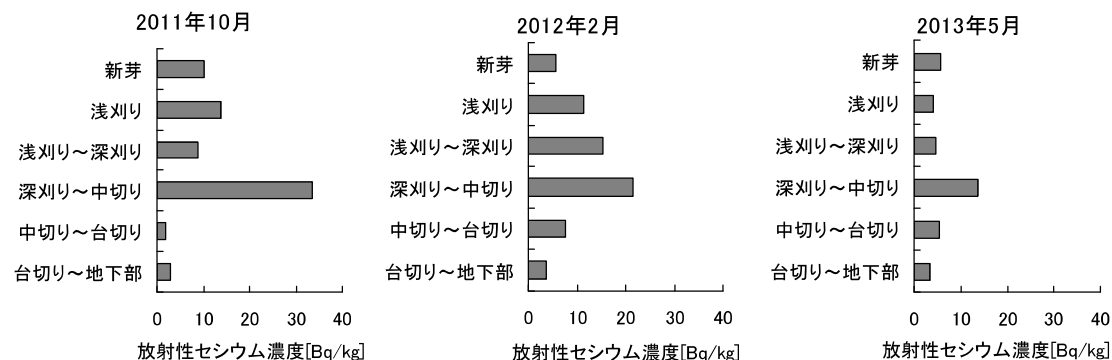


図2 2011年から2013年までの茶樹の部位別放射性セシウム濃度

茶18 Bq/kg、2012年一番茶6 Bq/kg、2013年一番茶1.5 Bq/kgと低下した。葉層では、一番茶256 Bq/kgに対し、二番茶53 Bq/kg、三番茶30 Bq/kg、2012年一番茶23 Bq/kg、2013年一番茶5 Bq/kgと低下した。荒茶では、2011年の一番茶370 Bq/kgに対し、二番茶145 Bq/kg、三番茶65 Bq/kg、2012年一番茶25 Bq/kg、2013年一番茶12 Bq/kgと低下した。以上の結果より、モニタリング期間を通して、チャ新芽、萌芽前の葉層、荒茶ともに放射性セシウム濃度は大きく減少した。

(2) 茶樹体内の放射性セシウム濃度の調査

茶樹の部位別放射性セシウム濃度を図2に示した。放射性セシウム濃度は、各調査時期ともに深刈り～中切り部位が最も高く、経時的な減少度合いも大きかった。一方、台切り～地下部における放射性セシウム濃度の経時的な変化はほとんど認められなかった。

(3) 茶園土壌の放射性セシウム濃度の調査

うね間土壌の深さ別放射性セシウム濃度を図3に示した。放射性セシウム濃度は表層有機物で最も高く、その下の深さ0～15 cmの浅い位置にほとんどが存在した。2011年10月、2012年2月に0～5 cmで表層有機物の分

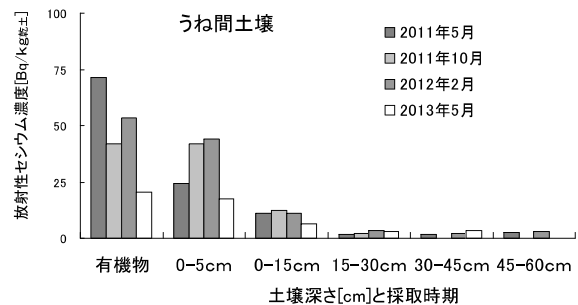


図3 2011年から2013年までのうね間土壌の深さ別放射性セシウム濃度

- 1) 乾土あたりの放射性セシウム濃度

解に起因すると思われる放射性セシウム濃度の増加が認められたものの、2013年5月には表層有機物、0~5 cm、0~15 cmともに降下後と比較して濃度が減少した。深さ15 cm以下の下層への放射性セシウムの移行は、調査期間内では認められなかった。

(4) ハウス促成栽培による早出しした一番茶の放射性セシウム濃度の調査

事故翌年の2012年一番茶における放射性セシウム濃度を推定するため、事故後に建設したビニールハウス内で促成栽培を行ったところ、放射性セシウム濃度は新芽で5.2 Bq/kg、荒茶（乾物）で20.3 Bq/kgであった。また、浸出液では検出限界値（1.5 Bq/kg）以下で、放射性セシウムは検出されなかった。

2 茶樹における放射性セシウム低減技術の検証

(1) 土壌の肥培管理による低減技術

1) カリ資材の施用

a 硫酸カリウムの土壌への施用

2011年硫酸カリウム施用後の二番茶の放射性セシウム濃度とカリウム含有率、土壌中の交換性カリ含量を表4に示した。新芽の放射性セシウム濃度は、硫酸カリウム無施用区が26.7 Bq/kgであったのに対して、硫酸カリウム10 kgK₂O/10a区では、32.1 Bq/kg、20 kgK₂O/10a区では32.7 Bq/kg、40 kgK₂O/10a区では26.0 Bq/kgであった。また、硫酸カリウムの施用により表層土壌（深さ0~15 cm）の交換性カリ含量は増加したが、放射性セシウム濃度と、二番茶のカリウム含有率及び土壌中の交換性カリとの間には有意な相関は認められなかった。

b 硫酸カリウムの葉面散布

萌芽期前及び萌芽期後の樹冠面への硫酸カリウムの葉面散布では、新芽のカリウム含有率と放射性セシウム濃度との間に相関は認められなかった（表5）。

表4 硫酸カリウム施用後の二番茶の放射性セシウム濃度とカリウム含有率及び土壌中の交換性カリ

試験区	放射性Cs濃度 [Bq/kg]	K含有率 [d.w.%]	土壌中の交換性K ₂ O含量 [mg/100g乾土]	
			(0-15 cm深)	(30-40 cm深)
試験前	—	—	82.5	61.6
無施用区	26.7	2.7	34.6	64.1
10kg/10a	32.1	2.8	102.8	54.7
20kg/10a	32.7	2.8	110.9	49.5
40kg/10a	26.0	3.1	148.1	48.8
放射性Cs濃度に対する相関係数 (r)	—	0.407	0.1	0.306

表5 硫酸カリウムの葉面散布濃度と二番茶の放射性セシウム濃度及びカリウム含有率

試験区 (葉面散布濃度)	放射性Cs濃度 [Bq/kg]	K含有率 [d.w.%]
〈萌芽前樹冠面への散布〉		
0% ¹⁾	30.1	2.99
0.2%	23.8	2.92
0.5%	27.8	2.84
1.0%	24.7	2.93
放射性Cs濃度との相関係数	—	0.23
〈萌芽期後樹冠面への散布〉		
0%	28.4	2.87
0.5%	35.4	3.13
1.0%	34.6	3.14
放射性Cs濃度との相関係数	—	0.17

1) 0%は水のみ。

2) 陽イオン吸着剤の施用

ゼオライト施用後土壌の放射性セシウム濃度及び化学性を表 6 に示した。試験後土壌において、表層土壌（深さ 0~15 cm）を比較すると、ゼオライト施用量 200, 300 kg/10a 施用区において、無施用区よりも高い放射性セシウム濃度が検出された。一方で、深さ 30~40 cm の放射性セシウム濃度は、いずれも検出限界値以下、または、著しく低い値であった。また、土壌の pH, EC, 交換性カリについて一定の傾向は認められなかった。

ゼオライト施用後、1 ヶ月以上経過してから摘採した 2011 年二番茶では、各試験区間での放射性セシウム濃度の差は確認されなかった（図 4a）。さらに、2012 年一番

茶でもゼオライト施用区と無施用区間の放射性セシウム濃度の差は認められなかった（図 4b）。2012 年二番茶においては、600kg/10a 施用区の試料のうち、一つから ^{134}Cs が検出されなかったため、検定に用いることができなかったが、無施用区と 400kg/10a 施用区間に放射性セシウム濃度の有意差は認められなかった（t 検定, 5% 水準）（図 4b）。

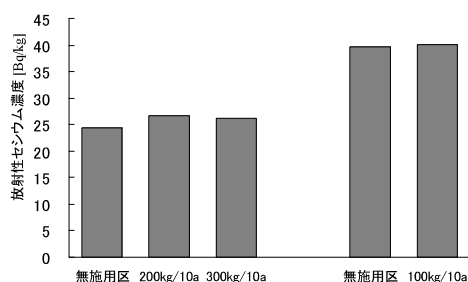
表 6 ゼオライト施用による土壌の放射性セシウム濃度及び化学性

試験区 ¹⁾	位置	放射性Cs濃度 [Bq/kg乾土]			pH	EC [mS/cm]	交換性カリウム [mg/100g乾土]
		^{134}Cs	^{137}Cs	total			
無施用区	0-15cm	6.2	9.0	15.2	3.95	0.269	41.4
	30-40cm	N.D.(0.8) ²⁾	3.5	3.5	3.41	0.226	25.1
200kg区	0-15cm	21.1	24.5	45.7	4.44	0.499	35.6
	30-40cm	N.D.(0.8)	3.0	3.0	3.42	0.264	22.0
300kg区	0-15cm	18.8	21.8	40.5	4.28	0.603	103.2
	30-40cm	N.D.(0.8)	3.5	3.5	3.28	0.344	25.9
無施用区	0-15cm	9.7	11.7	21.4	3.51	0.427	未測定
	30-40cm	N.D.(0.8)	4.2	4.2	3.37	0.221	29.4
100kg区	0-15cm	10.2	13.5	23.7	3.75	0.648	88.0
	30-40cm	0.7	4.5	4.5	3.28	0.436	27.0

1) 上段（無施用区, 200kg区, 300kg区）と下段（無施用区, 100kg区）は、それぞれ異なるほ場に設置した。

2) N.D.は検出限界値以下を表す。()内は測定値。

a 2011 年二番茶



b 2012 年一番茶及び二番茶

(2011 年度 200kg/10a, 300kg/10a 区に同量のゼオライトを追加)

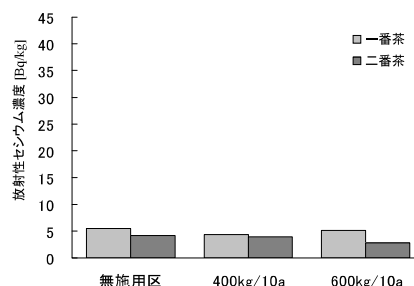


図 4 ゼオライト施用区における新芽中の放射性セシウム濃度

- 100kg/10a は 200kg/10a, 300kg/10a とは異なるほ場で行ったため、それぞれ無施用区が異なる。
- 2012 年は 2011 年の施用量 300kg/10a 以下で効果が認められなかったことから、200 kg/10a, 300 kg/10a 区に同量のゼオライトを追加し、倍量の 400 kg/10a, 600 kg/10a 区となっている。

3) 酸性矯正による放射性セシウム吸収阻害

試験前後の土壌の放射性セシウム濃度及び化学性を表7に示した。pHは苦土石灰施用区において無施用区よりやや上昇したものの、施用量による違いは認められなかった。また、苦土石灰施用区の深さ0~15cmの石灰、苦土含量及びECは増加した。一方、放射性セシウム濃度はばらつきが大きく、施用量による一定の傾向は認められなかった。また、深耕区の深さ0~15cmの放射性セシウム濃度は、耕うんによる土壌の希釈により、非深耕区よりも低下した。

酸性矯正後、1ヶ月以上経過してから摘採した2011年二番茶では、各試験区間の放射性セシウム濃度の差は認められなかった(図5)。

4) アンモニア態窒素による土壌中の放射性セシウムの交換作用

2011年二番茶の放射性セシウム濃度、全窒素含有率、収量及び放射性セシウム収奪量を表8に示した。二番茶の放射性セシウム濃度は、試験区間で有意差は認められなかった。また、放射性セシウム収奪量と硫酸追肥量間で相関が認められたが、有意ではなかった。一方、全窒

素含有率と二番茶の放射性セシウム濃度、窒素収奪量と硫酸追肥量、窒素収奪量と二番茶の放射性セシウム濃度の間に、有意な相関関係が認められた。

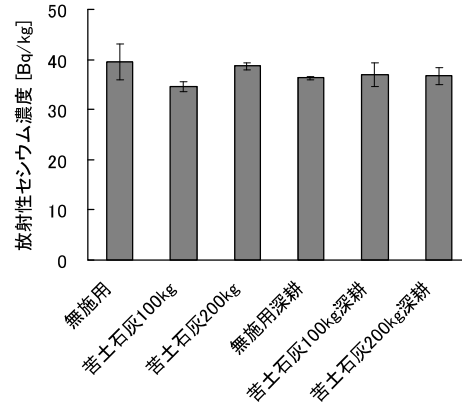


図5 苦土石灰施用区における2011年二番茶の放射性セシウム濃度

1) エラーバーはサンプル測定値の最大値、最小値を示す

表7 苦土石灰施用区における試験前後土壌の放射性セシウム濃度及び化学性

試験区	位置	放射性Cs濃度 [Bq/kg乾土]			pH	EC [mS/cm]	交換性塩基 [mg/100g乾土]		
		¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs	total			K ₂ O	CaO	MgO
試験前	0-15cm	N.D.(1.0) ²⁾	4.1	4.1	3.03	0.70	95	68	24
	30-40cm	N.D.(1.0)	7.8	7.8	3.41	0.38	45	57	22
無施用	0-15cm	9.7	11.7	21.4	3.51	0.43	未測定	未測定	未測定
	30-40cm	N.D.(0.8)	4.2	4.2	3.37	0.22	29	49	19
苦土石灰100kg	0-15cm	31.4	36.4	67.8	3.90	0.50	55	268	81
	30-40cm	N.D.(0.8)	5.0	5.0	3.43	0.28	37	60	23
苦土石灰200kg	0-15cm	13.3	17.9	31.1	3.61	0.52	58	252	69
	30-40cm	N.D.(0.8)	4.9	4.9	3.29	0.27	39	40	17
無施用深耕 ²⁾	0-15cm	9.8	14.1	24.0	3.09	0.45	43	83	27
	30-40cm	0.9	5.1	6.0	3.19	0.53	43	42	15
苦土石灰100kg深耕	0-15cm	3.4	7.6	11.0	3.18	0.74	69	128	48
	30-40cm	N.D.(0.8)	6.3	6.3	3.11	0.52	37	61	25
苦土石灰200kg深耕	0-15cm	3.9	8.1	11.9	3.15	0.64	57	118	41
	30-40cm	N.D.(0.8)	5.3	5.3	3.19	0.50	43	61	22

1)深耕は35cm深で実施。

2)N.D.は検出限界値以下を表す。()内は測定値。

表8 硫酸追肥と二番茶の放射性セシウム濃度の関係

試験区 (硫酸追肥量)	放射性Cs濃度 [Bq/kg]	全窒素含有率 [d.w.%]	収量 [kg/10a]	放射性Cs収奪量 [Bq/10a]	窒素収奪量 [kg/10a]
10kgN/10a	33.7	4.45	564.7	19044	5.4
30kgN/10a	34.9	4.53	739.4	25781	7.2
慣行区(別ほ場, 追肥無し)	28.4	3.96	734.2	20838	6.4
硫酸追肥量との相関	0.71	0.76	0.21	0.73	0.88*
放射性Cs濃度との相関	-	0.84* ¹⁾	-0.21	0.57	0.88*

1)*は危険率5%で有意差あり。

(2) 栽培管理による低減技術

1) 整せん枝による茶樹体内の放射性セシウム低減技術

せん枝処理後の、2011年再生芽及び2012年一番茶の放射性セシウム濃度を図6に示した。2011年のせん枝処理後の再生芽の放射性セシウム濃度は、慣行区の新芽が31.1 Bq/kgのときに、浅刈り区は25.4 Bq/kg、深刈り区は17.5 Bq/kg、中切り区は13.7 Bq/kgであり、せん枝強度の増加に伴い低下した。2011年のせん枝後、翌年の2012年一番茶において、放射性セシウム濃度は2011年から大きく減少した。せん枝処理では、浅刈り区の放射性セシウム濃度が最も高く、中切り区の放射性セシウム濃度が最も低かった。

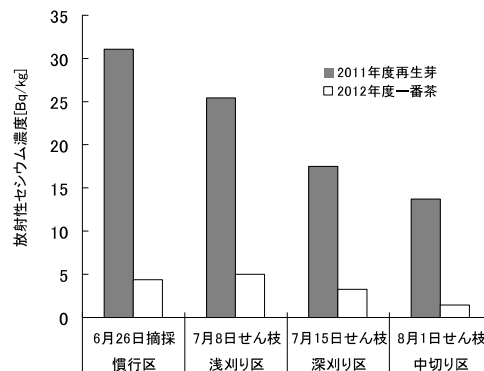


図6 せん枝処理後の2011年再生芽及び2012年度一番茶の放射性セシウム濃度

1) 横軸は2011年の新芽摘採及びせん枝の実施日を示す。

表9 荒茶製造工程における茶葉の乾物当たり放射性セシウム濃度

工程 ¹⁾	放射性Cs濃度 (乾物)	水分	備考	
	[Bq/kg]	[%]		
生葉	142.0	79.7		
蒸熱	147.0	78.8	40秒	生葉1kg当たりの蒸気量 0.37 [kg/kg]
粗揉	160.7	46.7	50分	粗揉時茶温 36°C
揉捻	138.6	47.0	30分	
中揉	143.0	25.4	30分	排気温度 36°C
精揉	158.0	10.8	45分	釜温度 75°C
乾燥	148.3	4.8	31分	熱風温度 80°C

1)放射性セシウム濃度の分析には各工程終了後の試料を用いた。

(3) 荒茶製造における低減技術

1) 荒茶製造工程中の茶葉の放射性セシウム濃度の変化

荒茶製造の各工程の茶葉における乾物当たりの放射性セシウム濃度を表9に示した。水分は、生葉79.7%、蒸熱後78.8%、粗揉後46.7%、揉捻後47.0%、中揉後25.4%、精揉後10.8%、荒茶乾燥後4.8%と、工程が進むに従い減少した。各工程の茶葉の乾物あたりの放射性セシウム濃度は、生葉142.0 Bq/kg、蒸熱後147.0 Bq/kg、粗揉後160.7 Bq/kg、揉捻後138.6 Bq/kg、中揉後143.0 Bq/kg、精揉後158.0 Bq/kg、荒茶乾燥後148.3 Bq/kgで、大きな変化は認められなかった。

2) 新芽の熟度による放射性セシウム濃度の違い

各茶期における新芽の熟度の違い(若芽, こわ葉)ごとの放射性セシウム濃度を表10に示した。生葉については, 全窒素含有率を若芽, こわ葉の熟度を表す指標として示した。二番茶期, 秋冬番期の各茶期ともに, 若芽より熟度が進んだこわ葉で放射性セシウム濃度が低い傾向が認められた。一方, 中切り区の生葉及び荒茶は熟度が低い若芽でも放射性セシウム濃度が低かった。乾物率については, 若芽がこわ葉よりも低かったことから, 若芽の方がこわ葉よりも水分が多かった。

3 浸出条件の違いが放射性セシウム濃度に及ぼす影響

(1) 浸出温度及び浸出時間が浸出液の放射性セシウム濃度に及ぼす影響

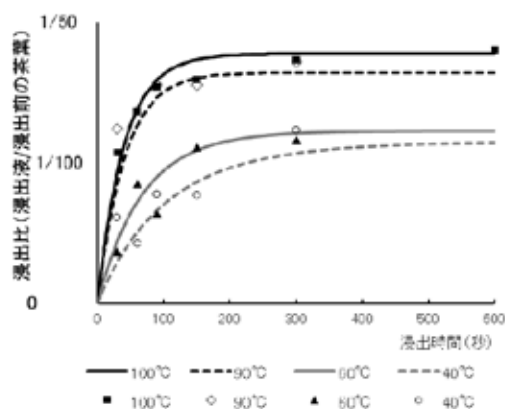
浅蒸し煎茶及び深蒸し煎茶の浸出条件の違いによる浸出比(浸出液の放射性セシウム濃度[Bq/L]÷浸出前の茶葉の放射性セシウム濃度[Bq/kg])を図7a, bに示した。浸出比は浸出温度が高いほど, また, 浸出時間が長いほど増加し, 100℃で最大となった。また, 浸出温度が90℃以上では, 浸出比の増加はわずかであった。浅蒸し, 深蒸し茶ともに, 100℃で10分間浸出しても, 浸出比は1/50より小さかった。

表10 新芽の熟度による放射性セシウム濃度の違い

茶期	試料	摘採日	放射性Cs濃度 [Bq/kg]	乾物率 [%]	全窒素含有率 [d.w.%]
二番茶期	若芽 生葉	2011年6月10日	47.0	18.0	4.90
	若芽 荒茶	2011年6月10日	162.2	-	-
	こわ葉 生葉	2011年6月22日	36.2	24.6	3.94
	こわ葉 荒茶	2011年6月22日	92.0	-	-
秋冬番期	若芽 生葉	2011年10月3日	11.9	28.2	3.14
	若芽 荒茶	2011年10月3日	38.1	-	-
	こわ葉 生葉	2011年10月3日	10.2	30.6	2.99
	こわ葉 荒茶	2011年10月3日	32.5	-	-
	中切り区 若芽 生葉	2011年10月3日	N.D.(4.0) ¹⁾	23.7	4.16
	中切り区 若芽 荒茶	2011年10月3日	24.2	-	-

1)N.D.は検出限界値以下を表す。()内は測定値。

a 浅蒸し茶



b 深蒸し茶

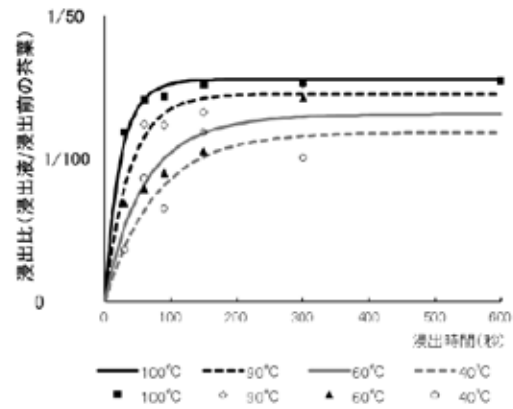


図7 浅蒸し茶及び深蒸し茶の浸出条件の違いによる放射性セシウムの浸出比

1) 浸出比 = (抽出液の放射性セシウム濃度[Bq/L]) ÷ (抽出前の茶葉の放射性セシウム濃度[Bq/kg])

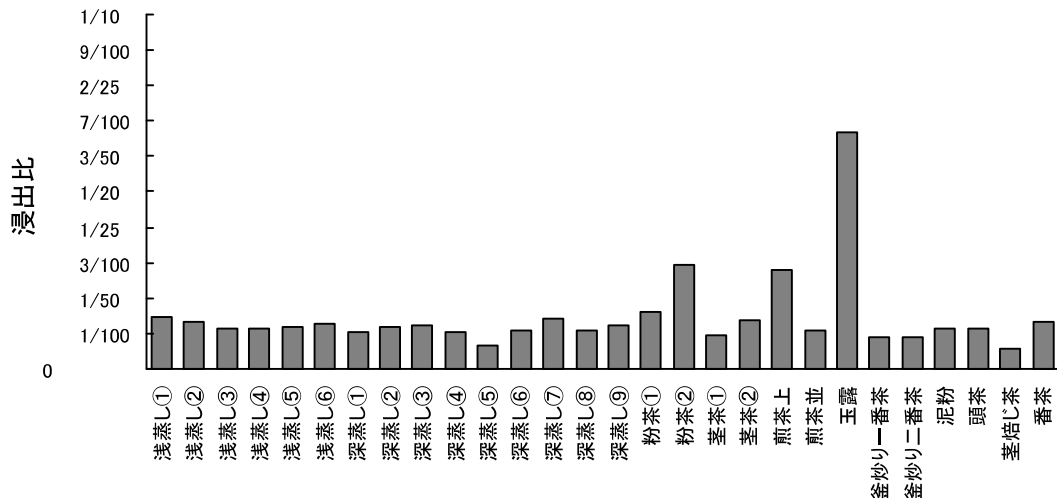


図8 茶の種類による放射性セシウムの浸出の違い

- 1) 浸出比 = (浸出液の放射性セシウム濃度[Bq/L]) ÷ (浸出前の茶葉の放射性セシウム濃度[Bq/kg])
- 2) 粉茶②、茎茶②、釜炒り一番茶、釜炒り二番茶、泥粉、頭茶、茎焙じ茶は1反復、その他の茶は2反復で抽出を行った。

(2) 茶種の違いが浸出液の放射性セシウム濃度に及ぼす影響

茶種ごとの浸出比を図8に示した。浸出比の最低は、茎焙じ茶の1/173、最高は茶葉の量が多い玉露が1/15、平均浸出比は1/67であった。

IV. 考 察

1 放射性物質降下後3年間の放射性セシウムのモニタリングと推移

東京電力福島第一原子力発電所の事故により、県内茶園への放射能汚染が発生し、県内茶業への影響が懸念された。県が行った調査において、放射性セシウム濃度が規制値を超えたものは無かったが、風評による被害は甚大であった。

チャの放射能汚染については、これまでにチェルノブイリ原子力発電所事故(1986)による汚染が知られている。静岡県内においても、静岡県放射線監視センターが調査を実施しており^{†1}、^{†2}チェルノブイリの事故による汚染時期は1986年4月の萌芽期後、新芽生育中であったが、その1年後におけるチャ新芽の放射性セシウム濃度は1/20に減少したことが報告されている。このため、今回の東京電力福島第一原子力発電所事故の翌年、2012年の

一番茶の放射性セシウム濃度は、規制値(2011年当時500 Bq/kg)に対して大幅に低い濃度となることが推察された。

しかし、今回の東京電力福島第一原子力発電所の事故における放射性セシウム降下量はチェルノブイリ原子力発電所の事故の約7倍であり、チェルノブイリ事故に関するものを除き、チャでの放射能汚染について既存のデータは少なく、対策に関するものはさらに稀少であった。そこで、現状を把握し、今後の傾向を予想すると同時に低減化技術を確認する必要がある。

放射性物質降下の翌年以降における新芽の放射性セシウム濃度を推定するため、2011年から2013年にモニタリングを行った結果、一番茶及び萌芽前の葉層(樹冠面から深さ10 cm)の放射性セシウム濃度は3年間で著しく低下した(一番茶:111 Bq/kg→1.5 Bq/kg、萌芽前葉層:256 Bq/kg→5 Bq/kg)。また、荒茶も著しい減衰傾向にあり、現在(2014年)では測定が極めて困難な程度まで減少していた。

モニタリングにおける、萌芽前の葉層の放射性セシウム濃度と新芽の放射性セシウム濃度との関係から、一番茶萌芽前の葉層における濃度が高ければ、一番茶の濃度も高くなることが予想された。このことから、県内各産地で2012年一番茶萌芽前(摘採の約1ヵ月前)の葉層の放射性セシウム濃度を測定することは、高濃度に汚染された茶葉の市場への流通を未然に防ぐための有効な手段になると考えられた。

さらに、ビニールハウスでの促成栽培をすることにより、2012年一番茶の放射性セシウム濃度の値が規制値よ

†1 原子力規制庁：環境放射線データベース、<http://search.kankyo-hoshano.go.jp/ser/vlet/search/top>

†2 浜岡原子力発電所の安全確保等に関する協定書(平成19年10月30日)：<http://www.pref.shizuoka.jp/bousai/kakushitsu/documents/anzenkyoutei.pdf>

りも十分に低いことを、本県茶生産が始まる前の3月中に確認することができた。

茶樹体内放射性セシウム濃度の分布は常に深刈り～中切り部分で最も高く、根部で低かった。また、根部では、経時的にも低下した放射性セシウムの根からの吸収を同わせる変化は認められなかった。

武田ら¹⁷⁾は、神奈川県茶園土壌で、放射性セシウムは常に土壌表面近くに存在することを報告している。本研究においても、3年間のモニタリング結果から、放射性セシウムは作土層(0～15 cm)内に留まり、チャの根が多く存在する作土層下への浸透は認められなかった。また、野中・廣野¹⁸⁾も、安定同位体セシウムを用いた試験結果から、今回の汚染による新芽への放射性セシウムの移行が根からの吸収に由来するのではなく茶葉や枝条からの吸収に由来すると考えるのが妥当である、と考察している。

これらの事と、分解調査及び土壌のモニタリング結果から、今後も土壌から新芽への放射性セシウムの移行は少ないものと考えられた。

一方、茶樹の根は深さ15 cm以下の下層にも存在することから、土壌から茶樹への放射性セシウム移行を完全に防ぐためには下層へ移行させないような土壌管理が必要であると考えられた。

2 茶樹における放射性セシウム低減技術の検証

新芽中の放射性セシウム低減技術については肥培管理、栽培管理、荒茶製造のそれぞれの視点から検討を行った。

(1) 土壌の肥培管理による低減技術

土壌の肥培管理では、カリ資材(硫酸カリウム)による放射性セシウムの吸収抑制、ゼオライトによる吸着、苦土石灰による酸性矯正、窒素肥料(硫安)の施用による吸収抑制の検証を試みた。

カリ資材の施用については、カリウム含量が少ない土壌において、放射性セシウム低減効果が報告されている^{9,11)}。しかし、本研究においては茶園土壌のカリ含量が多く、放射性セシウム低減効果が認められなかったと考えられた。

ゼオライト等の粘土鉱物による土壌中セシウム吸着能を利用した植物体の吸収抑制効果については広く知られている^{9,18,21,23)}。本研究においてゼオライトによる土壌表面の放射性セシウム吸着効果は認められたが、新芽への吸収抑制効果を確認することはできなかった。また、2011年の施用量300 kg/10a以下の施用において、新芽の放射性セシウム濃度の低減効果が認められなかったことから、2012年にさらに同量を追加施用し、400 kg/10a、600 kg/10aとしたが、効果は認められなかった。このこ

とは、根から吸収されるセシウムの土壌表面から新芽への移行が極めて少なく、ゼオライトの吸着による効果が現れ難いためと考えられた。

これまでに、酸性土壌のpH矯正による放射性セシウム移行の低減が報告されている¹⁴⁾。そこで、茶園土壌の多くが酸性であることから、苦土石灰の施用を試みたが、試験範囲内の石灰資材の施用量では土壌の酸性矯正効果が小さく、その効果を確認することはできなかった。

アンモニア態窒素は、土壌中セシウムとイオン交換し、土壌中の溶存態セシウムを増加させることにより、植物体のセシウム吸収が促進されることが知られている⁹⁾。本研究において、茶樹に放射性セシウム吸収させ、その後摘採することにより、速やかに放射性セシウムを土壌中から除去することを期待し、アンモニア態窒素の施用を行ったが、茶葉の放射性セシウム濃度については差が認められなかった。また、放射性セシウム収奪量と硫安追肥区間に相関が認められたが、有意ではなかった。このことから、硫安追肥による放射性セシウム収奪効果を確認することはできなかった。また、全窒素含有率と硫安追肥量間の相関は有意ではなく、追肥による全窒素含有率への影響は認められなかった。一方、全窒素含有率と放射性セシウム濃度間では有意な相関が認められた。これについては、新芽の熟度の違いが原因である可能性も考えられたが、この試験においては判然としなかった。

(2) 栽培管理による低減技術

栽培管理による低減技術では、せん枝強度の違いによる低減効果を調査した。せん枝後の一番茶の放射性セシウム濃度は、せん枝強度の増加に伴い低下した。このことから、せん枝処理のうち、中切り処理が新芽の放射性セシウム濃度を低下させるのに最も有効な方法であることが明らかとなり、白木ら¹⁹⁾の結果と一致した。

(3) 荒茶製造における低減技術

荒茶製造の各工程において、茶葉における放射性セシウム濃度の明確な増減が認められなかったことから、荒茶製造工程における放射性セシウム濃度の変化は無いと考えられた。

新芽の熟度の違いによる放射性セシウム濃度の違いについては、二番茶期、秋冬番期の各茶期ともに、熟度の高いものほど放射性セシウム濃度が低い傾向が認められた。一方、中切り区の秋芽及び荒茶は熟度が低くても放射性セシウム濃度が低かった。これは、中切り更新による葉層の除去が原因であると考えられた。また、若芽摘みの生葉は、熟度の進んだこわ葉摘みの生葉より水分含量が高かった。このことから、荒茶製造での水分の減少による濃縮作用が、若芽摘みの荒茶で放射性セシウムが

高い原因であると考えられた。したがって、生葉の摘採時期についても必要以上の早期の摘採は、荒茶の放射性セシウム濃度を高めると考えられた。

3 浸出条件の違いが放射性セシウム濃度に及ぼす影響

2011年3月の事故当時、食品衛生法による放射性物質に関する現行の暫定規制値は、新芽（生葉）、荒茶、製茶（仕上げ茶）、飲用茶等に関わらず500 Bq/kgであった。しかし、年間の許容線量を年間1 mSv（ミリシーベルト）とするため、2012年4月に飲用の茶は飲用水の区分に変更となり、新基準値は浸出液の状態では10 Bq/kgとなった（なお、抹茶や茶葉をそのまま食用にする場合の新基準は100 Bq/kg）。

しかし、実際に流通している茶葉の浸出液を個別に測定することは困難であり、浸出前の段階で、浸出液が「安全」であることを示す基準が必要であった。

そこで、浸出前の茶葉と浸出液の放射性セシウム濃度の比を「浸出比」と定義し、浸出時間、浸出温度、茶の種類が浸出液の放射性セシウム濃度に及ぼす影響について検討した。例えば、もし、ある茶種の浸出前の放射性セシウム濃度が100 Bq/kg未満で、かつ、想定される浸出条件において、浸出比が1/10を超えないことが明らかになれば、その浸出液の放射性セシウム濃度は新基準値の10 Bq/kg未満となるので「安全」であると考えられた。

浸出条件の比較において、100°C10分間の抽出においても1/50の浸出比を超えることはなかった。また、茶種については茶葉の量が多い玉露において、浸出比が1/15と最も高かったが、調査した全ての茶種において、1/10を超えるものは確認されなかった。したがって、調査を行ったいずれの浸出条件、茶種でも、少なくとも浸出前の茶葉が100 Bq/kgを超えなければ「安全」であると考えられた。

このことから、浸出前の茶葉が100 Bq/kg未満であることを出荷段階でチェックできれば、安全を確保することができる。ゆえに、浸出前の段階で、浸出液が「安全」であることを示す基準としては、「茶葉のセシウム濃度が100 Bq/kg未満であること」が適当である。

摘 要

静岡県では2011年3月11日の東日本大震災に起因した、東京電力福島第一原子力発電所の事故に伴い、県内茶園の放射能汚染が発生した。生産者や消費者の安心・安全を確立するために、放射性物質降後の茶樹及び土壌のモニタリングや茶芽の放射性セシウム低減技術につ

いて、肥培管理、栽培管理、荒茶製造工程及び浸出条件などが放射性セシウム濃度に与える影響を検討した。

その結果、一番茶の放射性セシウム濃度は萌芽前の葉層の放射性セシウム濃度の値を下回ることが明らかとなった。また、3年間で新芽・荒茶ともに測定が極めて困難な程度まで放射性セシウム濃度は低下していることが確認された。

茶樹における最も有効な放射性セシウム低減技術は、中切りせん枝処理であった。放射性セシウム降下後、中切りせん枝を行うことにより、茶樹中の放射性セシウムをできる限り速やかに茶樹体外へ収奪することで次の新芽の放射性セシウム濃度を低下させることができる。また、摘採時期については、若芽にならないように通常よりもやや遅めに行うことに留意する。さらに、浸出条件や茶の種類別の浸出液中の放射性セシウム濃度を検討した結果、流通する茶葉の飲用の安全性は十分に確保されていることを確認した。

謝 辞

本研究にあたり、試料の分析等にご協力を頂いた静岡県環境放射線監視センターに謝意を表す。

また、本研究は、農地からの放射性物質の回収技術と農作物による放射性物質の吸収抑制技術の確立（平成23年度、静岡県）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「茶・果樹の放射性セシウム濃度低減技術の開発」、平成24年度委託プロジェクト研究「農地・森林等の放射性物質の除去・低減技術の開発 高濃度汚染地域における農地土壌除染技術体系の構築・実証（果樹園・茶園の除染技術）」、平成25年度、平成26年度委託プロジェクト研究「農地等の放射性物質の除去・低減技術の開発 農作物に対応した放射性物質移行低減対策技術の開発（果樹・茶における放射性セシウム移行要因の解明及び移行低減対策技術の開発）」（農林水産省）において実施されたものである。

引 用 文 献

- 1) 茶のいれかた研究会（1973）：茶のいれかたの検討。茶研報, No.40, 58-66.
- 2) Degryse, F., Smolders, E. and Cremers, A. (2004): Enhanced sorption and fixation of radiocaesium in soils amended with K-bentonites and submitted to wetting-drying cycles. *Eur. J. Soil Sci.*, 55, 513-522.

- 3) Konoplev, A.V., Viktorova, N.V., Virchenko, E.P., Popov, V.E., Bulgakov, A.A. and Desmet, G.M. (1993): Influence of agricultural countermeasures on the ratio of different chemical forms of radionuclides in soil and soil solution. *Sci. Total Environ.*, 137, 147-162.
- 4) 厚生労働省医薬局食品保健部監視安全課編 (2002): ゲルマニウム半導体検出器を用いたガンマ線スペクトロメトリーによる核種分析法. 緊急時における食品の放射能測定マニュアル, p.9-10.
- 5) Lembrechts, J. (1993): A review of literature on the effectiveness of chemical amendments in reducing the soil-to-plant transfer of radiostrontium and radiocaesium. *Sci. Total Environ.*, 137, 81-98.
- 6) 松本昌直・江本勇治・白鳥克哉 (2011): 静岡県内茶園における放射能の動態. 茶研報, No.112 (別), 40-41.
- 7) 松本昌直・白鳥克哉・小杉徹 (2012): 茶の浸出条件の違いと浸出液中の放射性セシウム濃度の関係. 茶研報, No.114 (別), 82-83.
- 8) 松本昌直・小杉徹・高橋冬実 (2013): 静岡県内茶園における放射性セシウムの2年間の変化. 茶研報, No.116 (別), 64-65.
- 9) 文部科学省科学技術・学術政策局原子力安全課防災環境対策室編(1982): ゲルマニウム半導体検出器を用いる機器分析のための前処理法. 放射能測定法シリーズ, No.13, 日本分析センター, 千葉.
- 10) 文部科学省科学技術・学術政策局原子力安全課防災環境対策室編(1976): 放射性セシウム分析法. 放射能測定法シリーズ, No.3, 日本分析センター, 千葉.
- 11) Nisbet, A.F., Konoplev, A.V., Shaw, G., Lembrechts, J.F., Merckx, R., Smolders, E., Vandecasteele, C.M., Lönsjö, H., Carini, F. and Burton, O.(1993): Application of fertilisers and ameliorants to reduce soil to plant transfer of radiocaesium and radiostrontium in the medium to long term — a summary. *Sci. Total Environ.*, 137, 173-182.
- 12) 野中邦彦・廣野祐平 (2011): 二番茶生育期間中の茶樹におけるセシウムの吸収・移行について. 茶研報, No.112, 55-59.
- 13) Rosén, K., Shand, C.A., Haak, E. and Cheshire, M.V.(2006): Effect of clay content and wetting-and-drying on radiocaesium behaviour in a peat and a peaty podzol. *Sci. Total Environ.*, 368, 795-803.
- 14) 静岡県農業水産部農業技術課編(1996): 土壌・溶液・作物体・診断マニュアル, 第3版, 静岡県農業水産部農業技術課, 静岡.
- 15) 白木与志也・武田甲・岡本保・渡辺茂・北宜裕 (2012): 神奈川県茶における放射性セシウムについて (第2報). 茶研報, No.114 (別), 36-37.
- 16) 白鳥克哉・松本昌直 (2012): 茶樹からの放射性セシウムの収奪量と摘採回数との関係. 茶研報, No.114 (別), 84-85.
- 17) 武田甲・白木与志也・船橋秀登・北宜裕・山田良雄 (2013): 神奈川県茶園土壌における放射性セシウムの垂直分布, 土肥誌, 84, 49-52.
- 18) Vandenhove, H., Smolders, E. and Cremers A.(2003), Potassium bentonites reduce radiocaesium availability to plants. *Eur. J. Soil Sci.*, 54, 91-102.
- 19) 野菜・茶業試験場茶業成果発表会栽培部会 (1997): 茶業関係試験研究用語集 (栽培分野編). 茶研報, No.85, 27-70.