

平成 24 年 10 月 10 日

日本放射線安全管理学会

会長 野村 貴美 殿

日本放射線安全管理学会
放射性ヨウ素安全対策アドホック委員会
委員長 西澤邦秀

東京電力福島第一原子力発電所の事故によって汚染された
茶葉中放射性セシウムの飲用茶中への溶出特性について

表記の件について、平成 23 年度放射性ヨウ素安全対策アドホック委員会（平成 23 年 3 月 15 日～平成 24 年 3 月 31 日）茶葉分析班 清水喜久雄 班長より別添のとおり報告書の提出がありましたので、ご報告いたします。
本報告書については、本学会のホームページへ掲載し学会員に対して周知するとともに関係機関等への適切な広報をお願い致します。

別添

平成 24 年 10 月 10 日

日本放射線安全管理学会
放射性ヨウ素安全対策アドホック委員会
委員長 西澤邦秀 殿

放射性ヨウ素安全対策アドホック委員会
茶葉分析班
班長 清水 喜久雄

東京電力福島第一原子力発電所の事故によって汚染された 茶葉中放射性セシウムの飲用茶中への溶出特性について

福島第一原発事故によって放出された放射性物質により汚染された茶葉から飲用茶への放射性セシウムの溶出特性について平成 23 年 5 月～平成 24 年 3 月に実施した実験結果を別紙の通り報告いたします。

東京電力福島第一原子力発電所の事故によって汚染された 茶葉中放射性セシウムの飲用茶中への溶出特性について

日本放射線安全管理学会
放射性ヨウ素・セシウム安全対策アドホック委員会 茶葉分析班

目 次

概要	2
はじめに	3
方法、結果及び考察	4
1. 試料	4
2. γ 線スペクトル分析	5
3. 生茶から荒茶へ乾燥による放射性セシウム濃縮率	5
4. 茶葉から 飲用茶への放射性セシウム抽出率	6
4. 1 煎茶時の抽出率	
4. 2 一煎目と二煎目のセシウムの抽出率の比較	
4. 3 抽出率の浸出時間依存性	
5. 放射性セシウムで汚染された茶葉の簡易浄化法	13
6. 放射性セシウムで汚染された茶葉からのお茶の抽出と分析	17
7. 放射性セシウムの飲用茶中濃度と飲料水中濃度基準値との比較	26
結語	27
放射性ヨウ素・セシウム安全対策アドホック委員会 茶葉分析班 班員一覧	28

概 要

福島第一原発事故によって放出された放射性セシウムは広範囲に飛散し、茶葉を汚染したことから製品茶の出荷停止等の措置が取られた。お茶はわが国では一般的に飲用されている飲料であり、広く国民全体が影響を被る可能性がある。このことを考慮して、平成23年5月に採取された生茶葉、及び荒茶、製茶の放射性セシウムの定量、製茶から飲用茶中への放射性セシウムの溶出率、放射性セシウムの溶出率とカフェイン溶出率の相関関係、放射性セシウムの化学形、ポット型浄水器の除染効果及び洗茶による放射性セシウムの低減効果等を解析した。

生茶葉を乾燥させて荒茶を作る過程で放射性セシウムの放射エネルギーは3.5-6.7倍に濃縮された。Cs-134/ Cs-137の値は茶葉の汚染度によらず0.9-1.0の範囲にあった。茶葉から飲用茶への抽出率は条件により変動するが60%から90%であった。抽出率は湯量が多くなるに従って高くなる傾向にあった。抽出率は、従来考えられていた数%~数十%より高いことがわかった。

中国式の短時間洗茶により放射性セシウムを約30~50%近く除去できることが確かめられた。またこの方法で淹れた茶は飲用時の旨味成分を損なわないこともわかった。

放射性セシウムで汚染された茶葉の抽出液をイオン交換樹脂と活性炭を持つポット型浄水器を用いてろ過することによりほとんどの放射性セシウムは除去されるが、同時に茶の旨味成分であるカテキン類も68%が除去され風味を損なうこともわかった。濾過後の浄水器を蒸留水で洗浄した溶液中の放射性セシウムは検出下限以下であったことから、放射性セシウムの大部分はイオン交換樹脂に強く吸着しておりイオンの状態で抽出液中に存在することが示唆された。蒸留水洗浄によって浄水器から旨味成分であるカテキン類は全て流出した。

茶2gに対して100mLの湯を加える一般的なお茶の淹れ方に従った場合、抽出率を100%と仮定しても、製品茶の段階で一般食品の基準濃度下回れば、飲用茶の基準値以下となる。

はじめに

平成23年3月11日に発生した東北地方太平洋沖地震の津波により、福島第一原子力発電所事故が起き、大量の放射性物質が大気中に放出され、広範囲の環境汚染が引き起こされた。その結果、福島県及び近隣の地域の農作物から、基準値以上の放射能が検出され出荷制限や摂取制限の対象となった。

日本放射線安全管理学会の放射性ヨウ素・セシウム安全対策アドホック委員会では、野菜分析班を立ち上げ、家庭での安全・安心の確保を目指し、放射性物質で汚染した農作物の簡単かつ効率的な除去方法の検討を行っていた。折しも、平成23年5月11日に神奈川県南足柄市で採取された生茶葉から基準を超える放射性セシウムが検出されたとの報道があり、その後、茨城、栃木、千葉、福島、群馬県内の生茶葉からも暫定規制値を超えた放射性セシウムが検出された。お茶は、わが国では一般的に飲用されている飲料であり、広く国民全体が影響を被る可能性があることを考慮して、野菜分析班とは独立に茶葉の放射能分析を行うために茶葉分析班を発足させた。

茶葉分析班の目的は、生茶葉、荒茶、製茶の放射性セシウムの定量、製茶から飲用茶中への放射性セシウムの溶出率、放射性セシウムの溶出率とカフェイン溶出率の相関関係、放射性セシウムの化学形、ポット型浄水器の除染効果及び洗茶による放射性セシウムの低減効果等を解析することである。

方法、結果及び考察

1. 試料

茶園から摘採した葉を生茶と言う。生茶を製茶工場で揉みながら乾燥したものを「荒茶」と言い、荒茶は茎、粉、大きな葉、長い葉などが混在しており、水分も5%くらい含んでいるため長期保存には適さない。市販のお茶は、この荒茶を「仕上げ加工」をして製茶に仕上げたものである。

茶葉に湯を加え、一定時間、茶の成分を浸出させた後、湯のみを取り出すことを、一般的に茶をいれると言う。本稿ではこの一連の作業を煎茶と称し、茶の成分を浸出させた湯を飲用茶と称することにする。表1に測定に用いた茶の産地および入手先を示した。農家からの試料は5月中旬に入手したものである。製品茶は平成23年度に収穫された茶葉から作られた新茶である。

表1. 試料一覧

試料 No		産地	入手先
1	生茶 A	神奈川県	農家
2	生茶 B	神奈川県	農家
3	生茶 C	神奈川県	農家
4	荒茶 C	神奈川県	農家
5	生茶 D	静岡県	農家
6	荒茶 D	静岡県	農家
7	仕上げ茶 D	静岡県	農家
8	製品茶 A	神奈川県	市販品
9	製品茶 B	神奈川県	市販品

2. γ 線スペクトル分析

茶葉及び飲用茶の放射性セシウムの測定は高純度ゲルマニウム半導体検出器及び3インチNaIガンマスペクトロメータで測定した。高純度ゲルマニウム半導体検出器での測定ではCs-134は605 keV、Cs-137は662 keVのエネルギーピークから定量し、製造日に半減期を補正してセシウムの濃度を求めた。3インチNaIガンマスペクトロメータ測定ではCs-134は796 keV、Cs-137は662 keVのエネルギーピークから定量した(図1参照)。

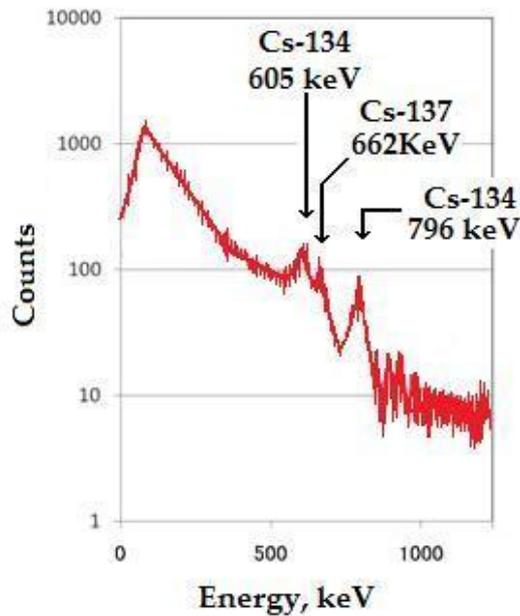


図1 放射性セシウムのスペクトル

3. 生茶から荒茶へ乾燥による放射性セシウム濃縮率

(方法)

茶葉及び荒茶の放射性セシウムを高純度ゲルマニウム半導体検出器あるいは3インチ NaI ガンマスペクトロメータで測定した。茶葉及び荒茶は生産者から直接入手した。

(結果)

東京大学で測定された茶葉の放射性セシウムの結果を表2に示した。製品茶 A,Bについては生茶を、茶葉 Cについては生茶と荒茶を、Dについては生茶、荒茶および仕上げ茶を測定した。生茶 1-3 の放射性セシウム濃度(Cs-134+ Cs-137 Bq/kg)は 334.0 Bq/kg から 604.6 Bq/kg であり、生茶 3のみ暫定規制値を超えていた。荒茶 Cは生茶 Cを乾燥させたものであるが、放射性セシウムの濃度は6.7倍に濃縮される。

表2-1 茶葉の放射性セシウムの濃度及び乾燥濃縮率

茶葉	Cs-134(Bq/kg)	Cs-137(Bq/kg)	Cs-134+ Cs-137 (Bq/kg)	Ratio(Cs134/Cs137)
生茶 A	234.9	254.8	489.7	0.992
生茶 B	159.2	174.8	334.0	0.991
生茶 C	278.1	326.5	604.6	0.852
荒茶 C	1895.8	2180.9	4076.7	0.869
乾燥濃縮率 (荒茶 C/生茶 C)	6.8	6.7	6.7	

表 2-2 茶葉の放射性セシウムの濃度及び乾燥濃縮率

茶葉	Cs-134(Bq/kg)	Cs-137(Bq/kg)	Cs-134+ Cs-137 (Bq/kg)	Ratio(Cs134/Cs137)
生茶 D	42.3	37.0	79.3	1.143
荒茶 D	147.0	162.0	309.0	0.907
仕上げ茶 D	128.0	154.0	282.0	0.831
乾燥濃縮率 (仕上げ茶/生茶)	3.5	4.4	3.6	

(高純度半導体検出器で測定：東京大学)

表 2 は静岡県農家から入手した試料を測定した結果である。生茶、荒茶、仕上げ茶は同じ茶畑由来のものである。生茶の放射性セシウム濃度は 79.3 Bq/kg である。仕上げ茶では放射性セシウムの濃度は 3.6 倍に濃縮される。荒茶の放射性セシウム濃度が仕上げ茶の放射性セシウム濃度より高いのはロット間による変動であると思われる。

(桧垣 正吾)

4. 茶葉から 飲用茶への放射性セシウム抽出率

4. 1 煎茶時の抽出率

(方法)

荒茶または仕上げ茶にお湯を加えて放射性セシウムが飲用茶へ移行する割合（抽出率）を測定した。抽出率は、式（1）を用いて算出した。

$$\text{抽出率 (\%)} = \frac{T_1}{L} \times 100 \quad \dots \dots \dots (1)$$

L: 茶葉に含まれていたセシウム (Bq)

T₁: 抽出されたセシウム (Bq)

(結果)

表 3 a は荒茶 2g に対して 90°C のお湯 200 mL を加えて 2 分間煎茶後の飲用茶への抽出率である。この条件下では放射性セシウムは約 90°C が飲用茶に抽出された。

表 3 a 荒茶からの放射性セシウムの抽出率

荒茶 C	茶葉(Bq/kg)	2g あたり	飲用茶(Bq/kg)	200 mL	抽出率
Cs-134	1895.8	3.8	17.3	3.5	0.91
Cs-137	2180.9	4.4	18.8	3.8	0.86

(高純度半導体検出器で測定：東京大学)

表 3b 及び表 3c は荒茶または仕上げ茶 20g に対して 90℃のお湯 400mL を加えて 2 分間煎茶後の飲用茶への抽出率である。この条件下では放射性セシウムは約 60-80%が飲用茶に抽出された

表 3b 荒茶からの放射性セシウムの抽出率

荒茶 D	茶葉(Bq/kg)	20g あたり	飲用茶(Bq/kg)	400 mL	抽出率
Cs-134	158.5	3.2	6.75	2.7	0.85
Cs-137	165.5	3.3	6.85	2.74	0.83

(3 インチ NaI ガンマスペクトロメータで測定：大阪大学)

表 3c 仕上げ茶からの放射性セシウムの抽出率

仕上げ茶 D	茶葉(Bq/kg)	20g あたり	飲用茶(Bq/kg)	400 mL	抽出率
Cs-134	127.4	2.5	4.1	1.64	0.64
Cs-137	138.6	2.8	4.1	1.64	0.59

(3 インチ NaI ガンマスペクトロメータで測定：大阪大学)

表 2 からわかるように、生の茶葉を乾燥させて荒茶を作る過程で放射エネルギーは 3.5~6.7 倍に濃縮される。飲用茶への抽出率は 60%から 90%位である。また抽出に用いる湯量が多くなるほど抽出率が向上する傾向にある。農林水産省の報告では飲用茶への抽出率は 50-60%としている。抽出条件にもよるが 50%以上の放射性セシウムが茶葉から引用茶に移行する。

(桧垣 正吾、清水喜久雄)

4. 2 一煎目と二煎目のセシウムの抽出率の比較

(方法)

神奈川県において平成 23 年の春に収穫された市販茶 2 種類を用いた。製品茶 A は 5 月 10 日に製造されたもので、製品茶 B は 5 月 9 日に製造された茶葉だった。茶葉 6 g を封入したティーバッグをビーカーに入れ、湯 180 mL (90 °C) を加えて浸出させた。浸漬後、ビーカーからティーバッグを取り出し、ビーカー中の湯を一煎目の飲用茶とした。その直後に、取り出したティーバッグを別なビーカーに入れ再び湯 180 mL を加えた。一煎目と同じ時間で浸出させた後、ティーバッグを取り出し、これを二煎目の飲用茶とした。浸出時間を 1, 3, 5, 7, 10 分とし、それぞれにおいて、一煎目と二煎目の煎茶をおこなった。浸出時間を変えるたびに新しいティーバッグ及び茶葉を使用した。各飲用茶 180 mL のうちから 100 mL を U8 容器に封入して高純度ゲルマニウム半導体検出器で 7200 秒測定し、定量した。

抽出率は、以下の式 (2) 及び(3)により求めた。一煎目の抽出率は茶葉に含まれていたセシウムの放射能に対する一煎目に抽出されたセシウムの放射能のパーセントであり、二煎目の抽出

率は、茶葉に残ったセシウムの放射能、すなわち茶葉に含まれていたセシウムの放射能から一煎目で抽出されたセシウムの放射能を引いた値に対する二煎目のセシウムの放射能のパーセントを抽出率とした。

$$\text{一煎目の抽出率 (\%)} = \frac{T_1}{L} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{二煎目の抽出率 (\%)} = \frac{T_2}{L - T_1} \times 100 \quad (3)$$

L : 茶葉に含まれていたセシウムの放射能 (Bq)

T_1 : 一煎目に抽出されたセシウムの放射能(Bq)

T_2 : 二煎目に抽出されたセシウムの放射能(Bq)

(結果)

製品茶 B の場合、一分間浸出時の Cs-134 と Cs-137 の抽出率は誤差範囲内でほぼ同じ値を示した。他の浸出時間においても同様な結果が得られた (図 1)。以下セシウムの抽出率は Cs-134 と Cs-137 の抽出率の合計で表す。

一煎目と二煎目の抽出率を比較すると、それぞれの浸出時間において製品茶 A、B 両方で二煎目の抽出率のほうが大きくなった (図 2)。一煎目と二煎目の抽出率を合計した積算抽出率は製品茶 A で最大 90 %程度、製品茶 B で最大 80 %程度となった。このとき、セシウムが全量抽出されたときの放射能は飲用茶 180 mL 当たり製品茶 A で 21 Bq、製品茶 B で 14 Bq であった。

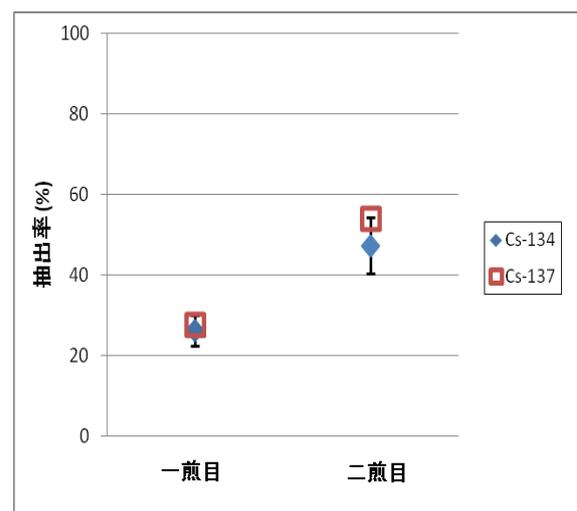


図 1 製品茶 B 浸出時間 1 分での Cs-134 と Cs-137 の抽出率

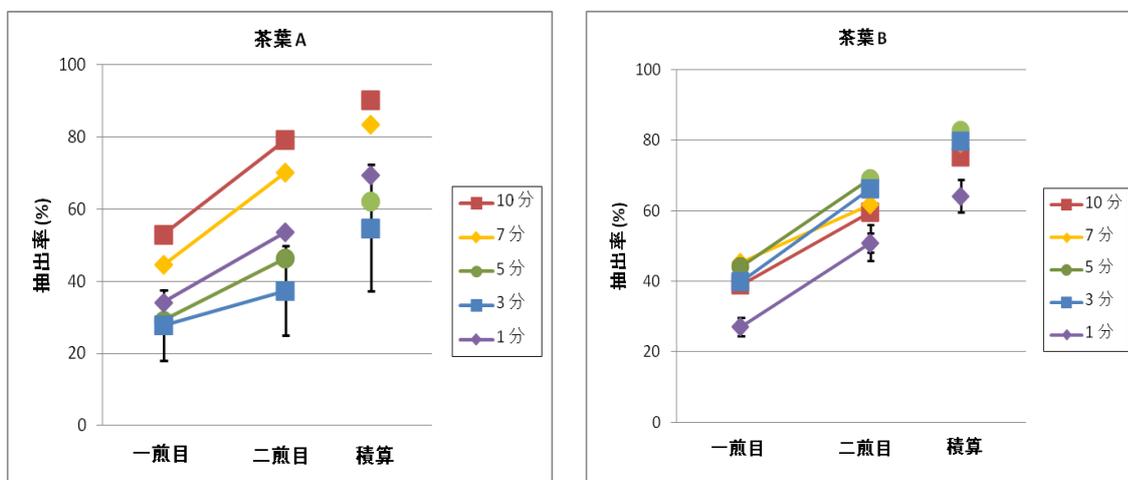


図 2 一煎目と二煎目の抽出率の比較

図3は元の茶葉に含まれるセシウムから算出した二煎目の抽出率を示す。製品茶Aでは、浸出時間5分までの飲用茶で二煎目の抽出率のほうが一煎目の抽出率よりもやや大きくなり、7分以降の飲用茶で逆に二煎目の抽出率のほうが小さくなった。製品茶Bでは、浸出時間1分で二煎目の抽出率のほうが大きくなり、3分では一煎目と二煎目の抽出率がほぼ同じになった。5分以降で一煎目より二煎目の抽出率が小さくなった。茶葉を1分程度湯に浸すと水溶性の放射性セシウムの大半は遊離するものと考えられ、浸出時間5分から7分で遊離した放射性セシウムは飲料茶に移行した。飲料茶に抽出されなかった放射性セシウムは茶葉の組織に結合しているかあるいは難溶性であるなどの可能性が考えられる。

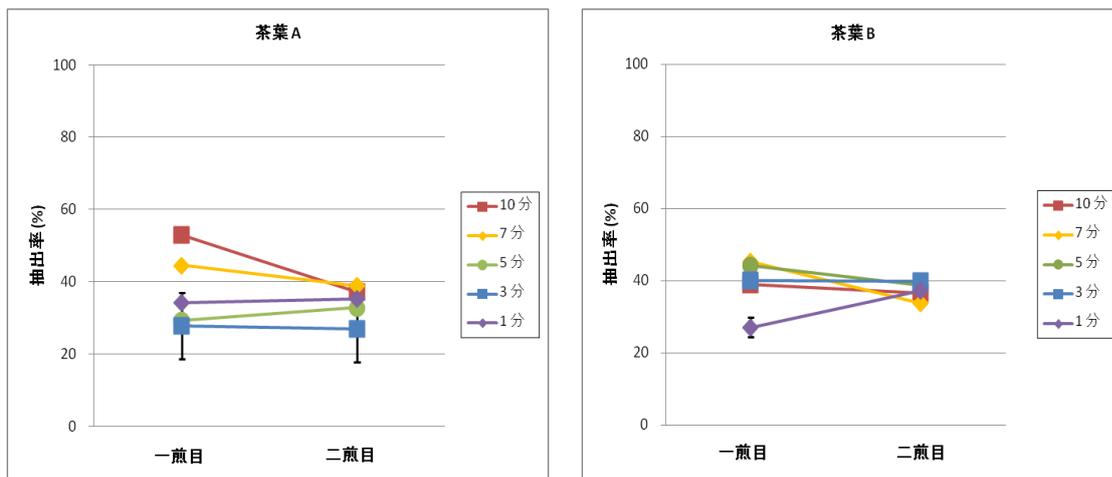


図3 元の茶葉に含まれるセシウムから求めた一煎目と二煎目の抽出率

次に、一煎目と二煎目の抽出率の浸出時間に対する変化をみると、製品茶Bでは一煎目に対して二煎目の抽出率がほぼ一定の割合で増加した(図4)。しかし、製品茶Aでは二煎目の抽出率の増加にバラつきが見られた。

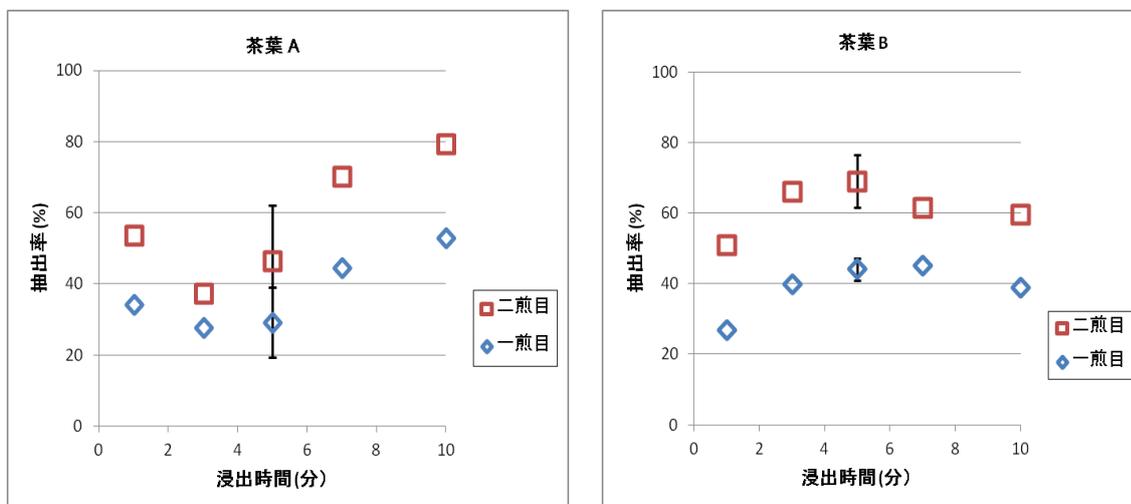


図4 一煎目と二煎目の抽出率の経時変化

4. 3 抽出率の浸出時間依存性

(方法)

茶葉 18 g をティーバッグに入れ、湯 540 g (90 °C) を加えてお茶を浸出させた。浸出時間 1 分間隔で 50 mL ずつ分取した。分取した飲用茶は、U8 容器に封入して高純度ゲルマニウム半導体検出器で 7200 秒測定し、定量を行った。

また、吸光光度測定で飲用茶に含まれるカフェインを定量した。カフェインの 273.5 nm での吸光度を用いた。吸光光度測定は、飲用茶が室温まで冷めた後、90 倍に希釈して行った。

(結果)

図 5 に、抽出率の経時変化を示す。抽出率は浸出時間が長くなるに従い増加した。また、浸出時間 4 分までは製品茶 A と B 両方において抽出率が一定であった。しかし、5 分以降で急激に抽出率が増加した。最終的にセシウムの抽出率は製品茶 A で 80 %、製品茶 B で 90 % となった。

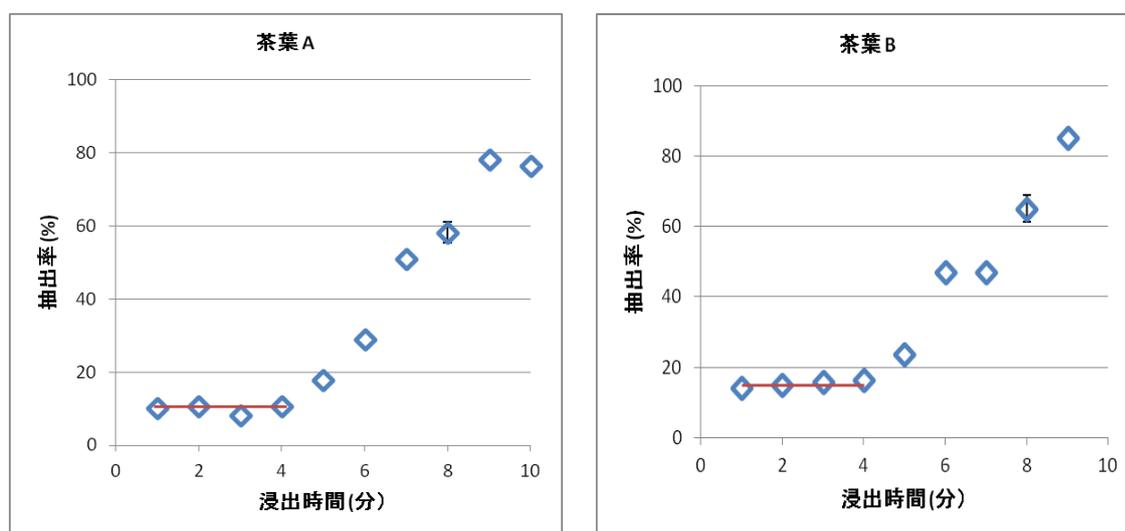


図 5 抽出率の経時変化

図 6 に、分配比の経時変化を示す。分配比は、茶葉に残ったセシウムと飲用茶に抽出されたセシウムの濃度比とした。

$$\text{分配比} = \frac{\text{お茶に抽出されたセシウムの濃度 (Bq/L)}}{\text{茶葉のセシウムの濃度 (Bq/L)}}$$

分配比は製品茶 A、B 両方において浸出時間 5 分まで一定であったが、6 分以降急激に増加した。つまり、6 分以降に茶葉から飲用茶へのセシウムの移行が急激に増えることが明らかになった。浸出時間 10 分での茶葉に対する飲用茶の放射能濃度は、製品茶 A で 7 倍程度、製品茶 B で 11 倍程度となった。

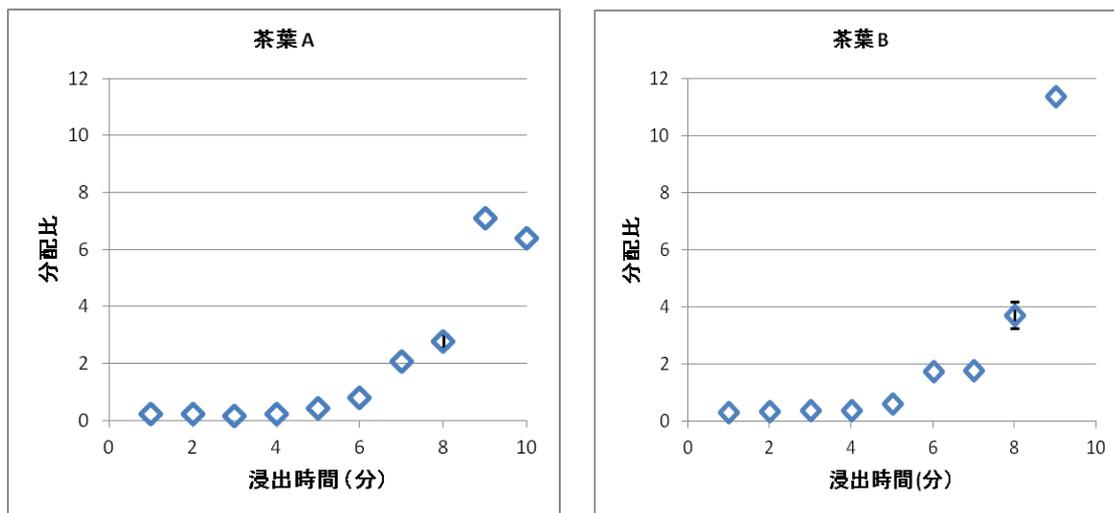


図 6 分配比の経時変化

飲用茶の中のカフェインの吸光度は、製品茶 A、B 両方において、浸出時間 4 分まではほぼ一定であったが、5 分以降急激に増加した（図 7）。

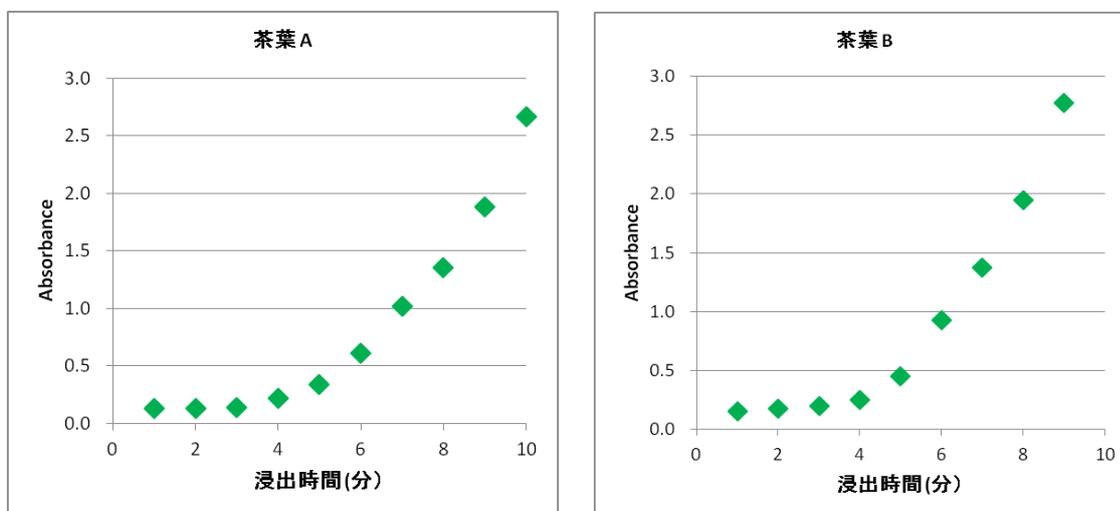


図 7 吸光度の経時変化

これらの結果より、セシウムの放射能とカフェインの吸光度の比をとり、浸出時間との関係を示すと、図 8 のようになった。セシウムの放射能とカフェインの吸光度の比は、浸出時間が長くなるに従い直線的に減少した。したがって、セシウムとカフェインは、茶葉からの抽出速度が異なり、セシウムの抽出速度はカフェインの抽出速度よりも遅いことが明らかになった。

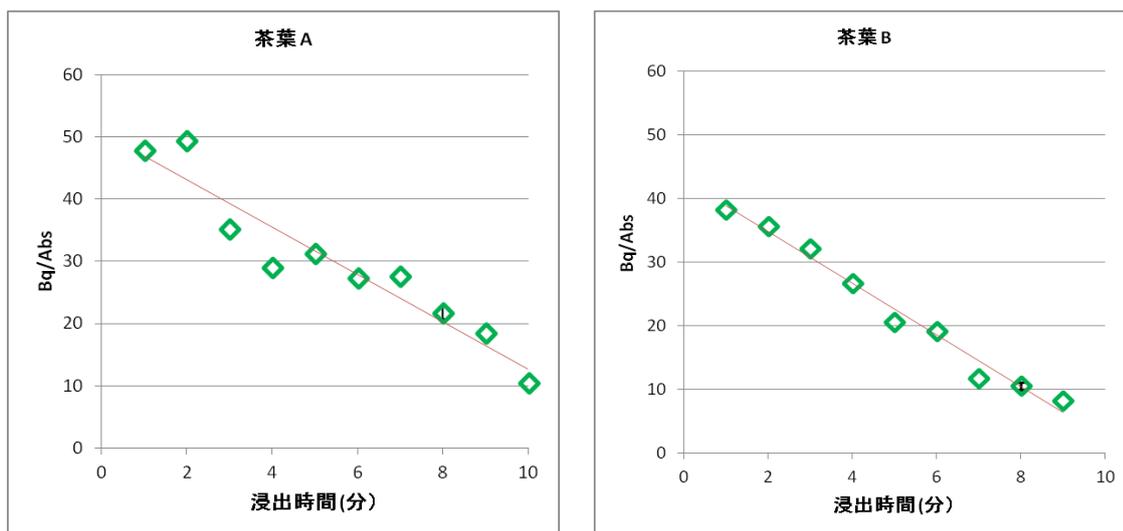


図 8 放射能と吸光度の比の経時変化

(まとめと結論)

製品茶葉を用いて煎茶すると、浸出時間 10 分で、セシウムの約 80～90 %が飲用茶に抽出されることが明らかとなった。また、セシウムの抽出は、浸出時間 6 分以降で急激に増加した。そして、セシウムの抽出速度はカフェインの抽出速度よりも遅いことが明らかになった。したがって、放射性セシウムの抽出を低く抑えるためには、一煎目のお茶で浸出時間を短くすることが有効であると考えられる。

(矢野 有紀子、桧垣 正吾、廣田 昌大、野村 貴美、久保 謙哉)

5. 放射性セシウムで汚染された茶葉の簡易浄化法

初めに、放射性セシウムで汚染された農作物の中で、茶葉（摘み取られる後の製造過程で生茶葉や荒茶とも呼ばれるお茶の葉）は、茶畑での生育途中で、今回の原子力災害で大気放出し飛散してきた放射性セシウムを吸着しやすい特性を有している。そのため、2011年5月ころ、神奈川県南足柄市で採取された生茶葉から暫定基準値の1 kgあたり500 Bqを超える放射性セシウムが検出され、その後も関東一円、静岡などの茶葉生産地から基準値を超える茶葉が相次いで報告された。

このような状況の中で、一般市民が安心してお茶を飲用できるような環境を取り戻すことはもちろんのこと、茶葉生産農家の方々の不安を払拭する方策を検討することは非常に重要なことである。そこで、誰もが簡単にできる茶葉の浄化方法として、中国茶の代表的な入れ方である「洗茶」に着目し、放射性セシウムで汚染された茶葉を洗茶した場合に、どの程度茶葉から放射性セシウムを抽出、除去できるかを調べた。

洗茶によるセシウム除去効果

洗茶の基本作法は、第1煎目の湯水を飲用しないで捨て、第2煎目以降の湯水を飲用することである。洗茶の効果特性において重要な因子である湯温と洗茶時の振とう時間に着目し、その時の放射性セシウムの抽出率（各工程での洗い茶、飲用茶、茶殻などの放射性セシウム分布割合）を調べ、比較検討を行った。

放射性セシウムで汚染された荒茶を準備し、下記の洗茶を施したお茶の入れ方（条件）を設定した。飲用することを前提にしているため、各方法で概ね荒茶を約5g、洗茶並びにお茶の入れ方（煎茶）に浸出させた水の量（水道水）は、一般的な急須の大きさを考えて、約100mL（洗茶時）と約200 mL（煎茶時）とした。詳細については、表1に記述している。

ここで洗茶における振とう方法は、急須に注いだ第1煎目の湯水を振る様にしてかき混ぜることを指し、実際に飲用する第2煎目については、注いだ湯水を軽く振り混ぜた後、茶葉を浸漬させるような作法で行った。

【条件A】 約90℃の水道水で5秒間振とうし洗茶後、約90℃の水道水で約1分間浸漬後煎茶

【条件B】 約25℃の水道水で5秒間振とうし洗茶後、約90℃の水道水で約1分間浸漬後煎茶

【条件C】 約90℃の水道水で10秒間振とうし洗茶後、約90℃の水道水で約1分間浸漬後煎茶

【条件D】 約25℃の水道水で10秒間振とうし洗茶後、約90℃の水道水で約1分間浸漬後煎茶

表1に示すように、湯温は25℃又は90℃の2種類、煎茶時の振とう時間は5秒又は10秒とし、湯温と振とう時間の4つの組み合わせで洗茶を行った。抽出率は、荒茶の放射能に対する第1煎目の湯水及び第2煎目の湯水の放射能のパーセントで表わした。

今回の放射能測定では、ゲルマニウム半導体検出器（キャンベラ社製 *p*型端窓同軸型GC-1018、相対効率10%）、同一容器（6.5cm径）、同一試料高さ（5mm）、自己吸収補正（水密度で代用）、エネルギー校正及び検出効率用線源（Ba-133, Cs-137, Co-60, Eu-152）、ガンマ線スペクトル解析支援ソフトウェア（キャンベラ社製スペクトルエクスプローラver.1.65.）で行い、今回の検出シ

ステムにおける検出限界は、概ね5-7 Bq/kgであった。さらに、測定時間については、Cs-134 (605 keV)とCs-137 (661 keV)のピークカウント数も考慮しながら状況を判断して、2,000~3,000秒から約50,000秒の範囲で行った。

表1は第1煎目、すなわち、洗茶時の洗茶条件A,B,C,Dと抽出率(%)を示している。表2は第2煎目、放射能A3(Bq/kg)と各々の抽出率(%)を示している。Cs-134とCs-137の抽出率は大略同程度であったので、抽出率は両者の平均値とした。

表1 第1煎目(洗茶時)による放射性セシウム抽出率

洗茶条件	茶葉の重量(g)	茶葉の放射能 A1 (Bq/kg)		湯量 (mL)	温度 (°C)	振とう時間 (秒)	第1煎目(洗茶時)の放射能A2 (Bq/kg)と抽出率 (%)				
		¹³⁴ Cs	¹³⁷ Cs				¹³⁴ Cs	抽出率	¹³⁷ Cs	抽出率	平均抽出率
A	5.683	771	750	80	90	5	383	49.8	337	45.0	47
B	5.681	705	656	98	25	5	79	11.3	101	15.4	13
C	5.479	683	653	91	90	10	178	26.1	193	29.6	28
D	5.133	771	744	95	25	10	65	8.5	70	9.4	9.0

表2 第2煎目(飲用茶の煎茶時)による放射性セシウム抽出割合

洗茶条件	湯量 (mL)	温度 (°C)	浸漬時間 (秒)	第2煎時の放射能A3 (Bq/kg)と抽出率 (%)					茶殻の残留率 (%)
				¹³⁴ Cs	抽出率	¹³⁷ Cs	抽出率	平均抽出率	
A	187	90	60	210	27.1	228	30.4	29	15
B	180	90	60	336	47.6	409	62.3	55	30
C	178	90	60	295	43.2	283	43.3	43	25
D	171	90	60	321	41.7	313	42.1	42	36

表1から、振とう時間5秒のとき、90°Cの抽出率47%は25°Cの抽出率13%の3.6倍であり、振とう時間10秒のとき、90°Cの抽出率28%は25°Cの抽出率9.0%の3.1倍であった。振とう時間が異なっても90°Cの抽出率は25°Cの抽出率の大略3.4倍程度となり、高温での湯水による洗茶による抽出率が高い。一方、湯水が90°Cのとき、振とう時間5秒の抽出率47%は振とう時間10秒の抽出率28%の約1.7倍であり、温度が25°Cのとき、振とう時間5秒の抽出率13%は振とう時間10秒の抽出率9.0%の約1.4倍であった。温度が異なっても振とう時間5秒の抽出率は10秒の抽出率の大略1.6倍程度となり、短時間による振とうでの抽出率が高いことが示された。しかしながら、常識的には、5秒より10秒の抽出率が高いと考えられるので、両者の差については今後、更に検討を要するものと思われる。当面は両者の程度の誤差があるとみなすことにする。以上の結果は、高温の湯を用いて短時間洗茶することにより茶葉の28-47%のセシウム除去が可能であり、この洗茶方法がセシウム除去に、一定の効果があることを示している。

表2から、第2煎目に温度90°Cで1分間浸漬した場合の抽出率は29-55%の範囲にあり、高温短時間洗茶時の抽出率28-47%よりわずかに高い値を示したが、ほぼ同程度であるとみなせる。また、

第2煎目後の茶殻に15-35%近く放射性セシウムが残っており、同一茶葉での2回目以降の煎茶の際には注意が必要である。

洗茶による茶のうまみ成分の減少の程度

洗茶によって、お茶本来の旨味成分（緑茶タンニンやグルタミン酸など）を損なってしまっても、放射性セシウムを効果的に取り除くことができても、風味という視点からは、洗茶は決して有効であるとはいえない。そこで、洗茶による旨味成分の抽出割合を、実際の茶葉を用いて実験的に調べた。図1と図2にその結果を示す。図1は、飲用時のタンニン濃度を洗茶なしと洗茶ありの結果を示している。ここで、洗茶①では湯温90℃の5秒間の振とう時間後、90℃の約1分間の浸漬時間で飲用茶とする煎茶方法を、洗茶②では湯温90℃の10秒間の振とう時間後、90℃の約1分間の浸漬時間で飲用茶とする煎茶方法の二つの洗茶を実施し、その各々の作法でのタンニン濃度を吸光度分析法で測定した。なお、図2のグルタミン酸についても同様な方法で行った。

お茶中タンニン濃度の測定は、共立理化学研究所製のパックテストによる水質測定シリーズ緑茶タンニン（酒石酸鉄発色法）のパックに含まれる薬剤を活用して、吸光度測定（吸光度測定器：Pharmacia Biotech社製Novaspec II、吸光度波長 $\lambda = 600$ nm）が行えるように対応させた。タンニンの検量線については、和光純薬カテキン混合物緑茶由来（生化学用032-18231）を用いて、0-40 mg/100mLの濃度範囲で、5点に設定した濃度値から検量線を作成した。一方、グルタミン酸の測定は、ヤマサ醤油株式会社製 80057 ヤマサL-グルタミン酸測定キットII（L-グルタミン酸の酸化で生成した過酸化水素を、4-アミノアンチピリンによるパーオキシダーゼ反応による青色色素での比色定量）を用いて、同キット内でのL-グルタミン酸試薬により、検量線を0-400 mg/mLの濃度範囲における3点での設定濃度の値から作成した。吸光度測定は、カテキンと同じ吸光度測定器を、吸光度波長についても同じ600 nmで行った。

図1において洗茶をせずに飲用する一煎目に含まれるタンニン濃度は、 39 ± 13 mg/100mL（この100mLは、飲用茶全体の体積を示している。測定回数の都合上、このデータ値に対してのみ標準偏差値 1σ 〔包含確率68.3%〕を示す。）であった。この値は、一般的な飲用茶のタンニン濃度範囲の30-100 mg/100mLに収まっている。この値を基準として、洗茶①を実施した後の一煎目では、40 mg/100mL、洗茶②を実施した後では、35 mg/100mLであった。双方の洗茶条件のもとで、一煎目に含まれるタンニン濃度は、洗茶を実施しない一煎目に含まれるタンニン濃度の標準偏差内に収まっていることを確認した。

図2において、洗茶をせずに飲用する一煎目に含まれる飲用時のグルタミン酸濃度は、 271 ± 12 mg/mLであった。（測定回数の都合上、このデータ値に対してのみ標準偏差値 1σ を示す。）この値を基準として、洗茶①を実施した後の一煎目では、259 mg/mL、洗茶②を実施した後では、240 mg/mLの値を示した。洗茶①及び②後のグルタミン酸濃度は、それぞれ洗茶無しの場合の96%及び89%であった。

これらの結果から、洗茶をしない作法での飲用茶における旨味成分濃度、タンニン及びグルタミン酸の双方とも、5秒及び10秒間での洗茶後の各々の濃度と比較して、洗茶によってほとんど損失していないことが確かめられた。これは比較的短い洗茶時間であることが功を奏しており、旨味成分の減少が押さえられていることがわかる。これまでの一般的に周知されている洗茶作法の習いは、先人からの経験や知恵に基づくものであり、その作法によってお茶本来の旨味成分を保

持していることが実験的に確認できた。その作法をなんら変えること無く、効果的に放射性セシウムを除去できていることが確認できた。今後、一般市民のお茶飲用時における簡便な放射性セシウム除去方法の一つとして、中国で一般的な「洗茶」作法を推奨する。

図1 洗茶なしと洗茶後の煎茶による飲用時のタンニン濃度比較

洗茶なしの一煎目、洗茶①(5秒、90℃)後の一煎目、洗茶②(10秒、90℃)後の一煎目のタンニン濃度比較

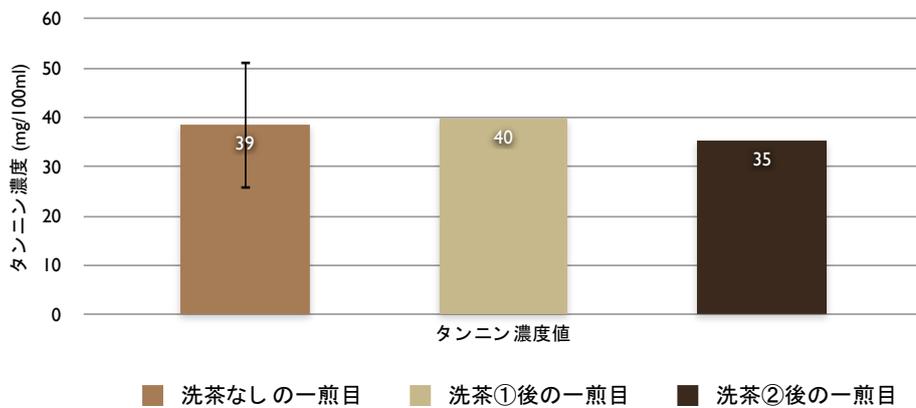
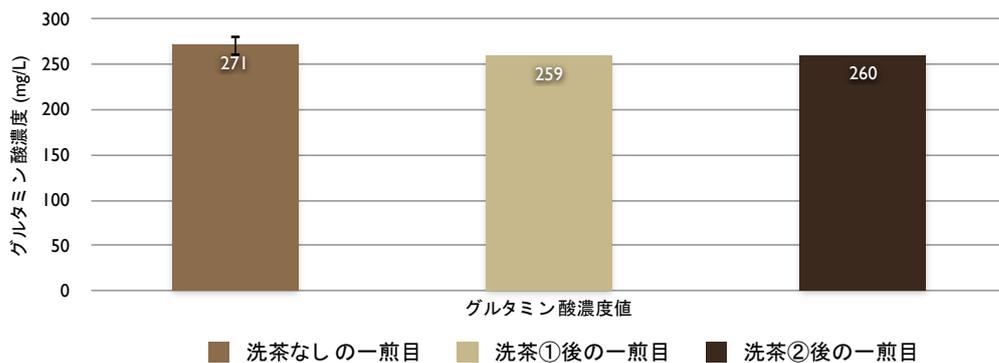


図2 洗茶なしと洗茶後の煎茶による飲用時のグルタミン酸濃度比較

洗茶なしの一煎目、洗茶①(5秒、90℃)後の一煎目、洗茶②(10秒、90℃)後の一煎目のグルタミン酸濃度比較



まとめると、放射性セシウムで汚染された茶葉が非常に深刻になっているが、誰もが簡便に実践できる「洗茶」、すなわち先人の経験と知恵による作法を実践してみることで、飲用時に簡便かつ容易に放射性セシウムを約30-50%近く除去できることが確かめられた。その作法は、さらにお茶を飲用する時の重要な嗜好である旨味成分を決して損なうことの無い有効的な手段であることもわかった。先人の知恵に感謝しつつ、放射性セシウムで汚染された茶葉を、「洗茶」という簡便な作法で一般市民が除染できることをここに提案する。

(阪間 稔、佐瀬卓也、坂口由貴子、伏見賢一，中山信太郎)

6. 放射性セシウムで汚染された茶葉からのお茶の抽出と分析

要旨

放射性セシウムで汚染された茶葉の抽出液中に放射性セシウムが 92%検出され、残りの 8%は茶葉（茶殻）に残った。抽出液中に溶出した可溶性成分のカテキン類と放射性セシウムの関係を明らかにするために、大きな懸濁成分（高分子様の可溶性成分を含む）を 0.2 μm と 0.0025 μm のメンブレンフィルターを用いたろ過により除いた抽出液、及び比較のために、遠心分離を行って沈殿物を除去したが、ろ過は行わない大きな懸濁成分を含んだ抽出液を用いて分析した。ろ過後の抽出液にはカテキン類と全放射性セシウム（Cs-134 及び Cs-137）の放射能が確認されたことから、放射性セシウムは高分子様の可溶性成分及び懸濁成分とは結合していないことがわかった。ろ過後の抽出液をイオン交換樹脂と活性炭を持つポット型浄水器を用いてろ過することによりほとんどの放射性セシウムは除去されたが、カテキン類も 68%が除去され薄茶となった。蒸留水で洗浄することによって浄水器からカテキン類は全て流れ出てきたが、放射性セシウムは洗液（91 \pm 2g (n=9)) 中では、検出下限以下であったことから、放射性セシウムの大部分はイオン交換樹脂に吸着していると考えられ、イオンの状態で抽出液中に存在すると考えられた。一方、ろ過を行わなかった大きな懸濁成分を含んだ抽出液のポット型浄水器では、最初 77%の放射性セシウムが除去され、カテキン類も 96%除去されかなりの薄茶となった。蒸留水で洗浄することによって浄水器からカテキン類は 24%しか流れ出てこなかったが、放射性セシウムは 3回の洗浄で全て流れ出てきた。これらの結果は、高分子様の可溶性成分が存在すると放射性セシウムが浄水器に強く吸着するのが妨げられるとともに、逆にカテキン類は強く吸着することを示した。

緒言

放射性セシウムで汚染された茶葉の抽出液中には、大きな懸濁成分、カテキン類などの味に関与する可溶性成分の他に放射性セシウムが溶出される。しかしながら、放射性セシウムの化学形や可溶性成分との関係については調べられていない。もし、可溶性成分と放射性セシウムが独立して共存しているとすれば、放射性セシウムのみを除くことが可能となる。そこで、本研究では、放射性セシウムで汚染された茶葉の抽出液中に含まれる可溶性成分の中で最も多く含まれるカテキン類と放射性セシウムの濃度の関係を明らかにするために、ろ過法を用いてカテキン類以外の大きな懸濁成分や高分子様の可溶性成分、例えば、遊離還元糖やアルコール沈殿高分子を除去した場合とろ過法を用いずに除去しなかった場合に分けて、イオン交換樹脂と活性炭を持つ市販のポット型浄水器を用いた浄水後の液中のカテキン類の吸収と放射性セシウムの放射能を測定した。その後、浄水器を蒸留水で洗浄してカテキン類と放射性セシウムの浄水器への吸着の度合いの差から放射性セシウムの化学形について議論した。

実験方法

1) 大きな懸濁成分をろ過によって除いた場合

できるだけ濃い濃度の放射性セシウムを得るために、荒茶（荒茶C）を用いて次のように抽出液を得た。図1に、実験の一連の流れを示す。タイガーVE魔法瓶（PVP-H）を使用して調整した

90°Cの湯 195g を急須にセットした金網状の茶こしに入れた 10g の荒茶に注ぎフタをしてテープで固定して 39.5 時間放置した。その後、2 つの U8 容器にそれぞれ、86g と 73g 注いで抽出液(159g)を得た。

得られた抽出液を 0.20 μm 孔径のフィルターを使用してろ過した後、少量の蒸留水をろ過してフィルターを洗浄しその洗液も含めて合計 166g のろ過液を得た。U8 容器 2 個にそれぞれ 80g, 86g に分けて採取して、Ge 半導体検出器で放射能を測定した。測定後の両液を孔径 0.0025 μm (2.5nm)のフィルター (YM-10(MWCO:10,000), Amicon Millipore Co., Ltd.) を使用した限外ろ過装置でろ過して高分子様の可溶性成分を除いた。少量の蒸留水を限外ろ過してフィルターを洗浄しその洗液も含めて合計 184g のろ過液を得てその吸収スペクトルを測定した。また、U8 容器 2 個にそれぞれ、83g, 101g に分けて採取して Ge 半導体検出器で放射能を測定した。

このようにして得たろ過液は、カテキン類の吸収と放射性セシウムの放射能を有していたため、更にイオン交換樹脂と活性炭を持つ市販のポット形浄水器に注いで、ろ過液(177g)を得てカテキン類の吸収スペクトルを測定した。また、U8 容器 2 個にそれぞれ、82g, 95g に分けて採取して Ge 半導体検出器で放射性セシウムの放射能を測定した。その後、カテキン類と放射性セシウムが吸着されているのかどうかを確認するために、蒸留水(91 \pm 2g(n=9))を 9 回に分けて注いで浄水器を洗浄し、それぞれ 9 回の洗浄後の液 (洗液) を採取し、カテキン類の吸収と放射性セシウムの放射能について調べた。

放射性セシウムの放射能は、Ge 半導体検出器 (キャンベラ社製、GX1518) で、 γ 線スペクトルを測定して放射性セシウム (Cs-134 及び Cs-137) のそれぞれの主ピーク 0.605MeV, 0.661MeV のカウント値からそれぞれのバックグラウンドのカウント値を差し引いて得た正味のカウント値を計数効率 0.017, 0.015 でそれぞれ補正して放射能を求めた。測定には U8 容器を使用した。また、測定時間 1,000 秒におけるバックグラウンドの計数値の 3σ から 1Bq 以下の放射能は検出下限以下であり、従って、検出下限は 11Bq/kg であった。

抽出液中のお茶の渋み成分であるカテキン類の濃度は、吸光度が 1 を超えない濃度まで蒸留水で希釈して光路長 1cm の石英角セルを用いて紫外可視吸光度計 (島津 UV-1700) にて測定した。カテキン類の濃度は、得られた吸収スペクトルの面積を Igor Pro.(Wavemetrics Co., Ltd.) ソフトウェアを使用して算出し、希釈率及び重さで補正して評価した。

2) 遠心分離で沈殿を除いてろ過しない場合

図 1 に実験の一連の流れを示す。新茶 40g を 150mL のタッパー付プラスチック容器に加えて、90°Cのお湯を注いでフタをして約 14 時間放置した。十分に葉が開いた状態の茶葉を 300mL のプラスチック容器に加えて、さらに 100mL の 90°Cのお湯を加えてかき混ぜた。その後、ビニール袋にお湯を含んだ茶葉を数回に分けて茶こしの上に絞り液体を約 73mL 採取した。その抽出液を 150mL のタッパー付プラスチック容器に入れて γ 線スペクトルを測定した。その後、抽出液を 3500rpm, 10 分間遠心分離して、上澄み液と沈殿に分けた。上澄み約 70mL を 150mL のプラスチック容器に入れて γ 線スペクトルを測定した。次に、上澄み液をポット型浄水器で浄水して浄水 1 を得た。次に、50mL の蒸留水を 3 回に分けて計 150mL 注ぎ、洗浄して得た液を洗浄液 1 とした。同様の操作を行い、洗浄液 2, 洗浄液 3, 浄水液 4, 洗浄液 5 の試料液を得た。それらを 150mL のプラスチック容器に順次加えて γ 線スペクトルを測定した。上澄み液、洗浄液 1-6

の吸収スペクトルも合わせて測定した。放射性セシウムの放射能は1)と同様に、Ge 半導体検出器（キャンベラ社製、GX1518）で、 γ 線スペクトルを測定して放射性セシウム（Cs-134 及び Cs-137）のそれぞれの主ピーク 0.605MeV, 0.661MeV のカウント値からそれぞれのバックグラウンドのカウント値を差し引いて得た正味のカウント値を計数効率0.014で補正して放射能を求めた。測定には150mLのタッパー付容器を使用した。また、測定時間1,000秒におけるバックグラウンドの計数値の 3σ から1Bq以下の放射能は検出下限以下であり、従って、検出下限は13Bq/kgであった。

カテキン類の濃度は、得られた吸収スペクトルの面積(Igor Pro ソフトウェア使用)と吸収スペクトル測定 (Abs<1.5) の際の希釈率から算出した。

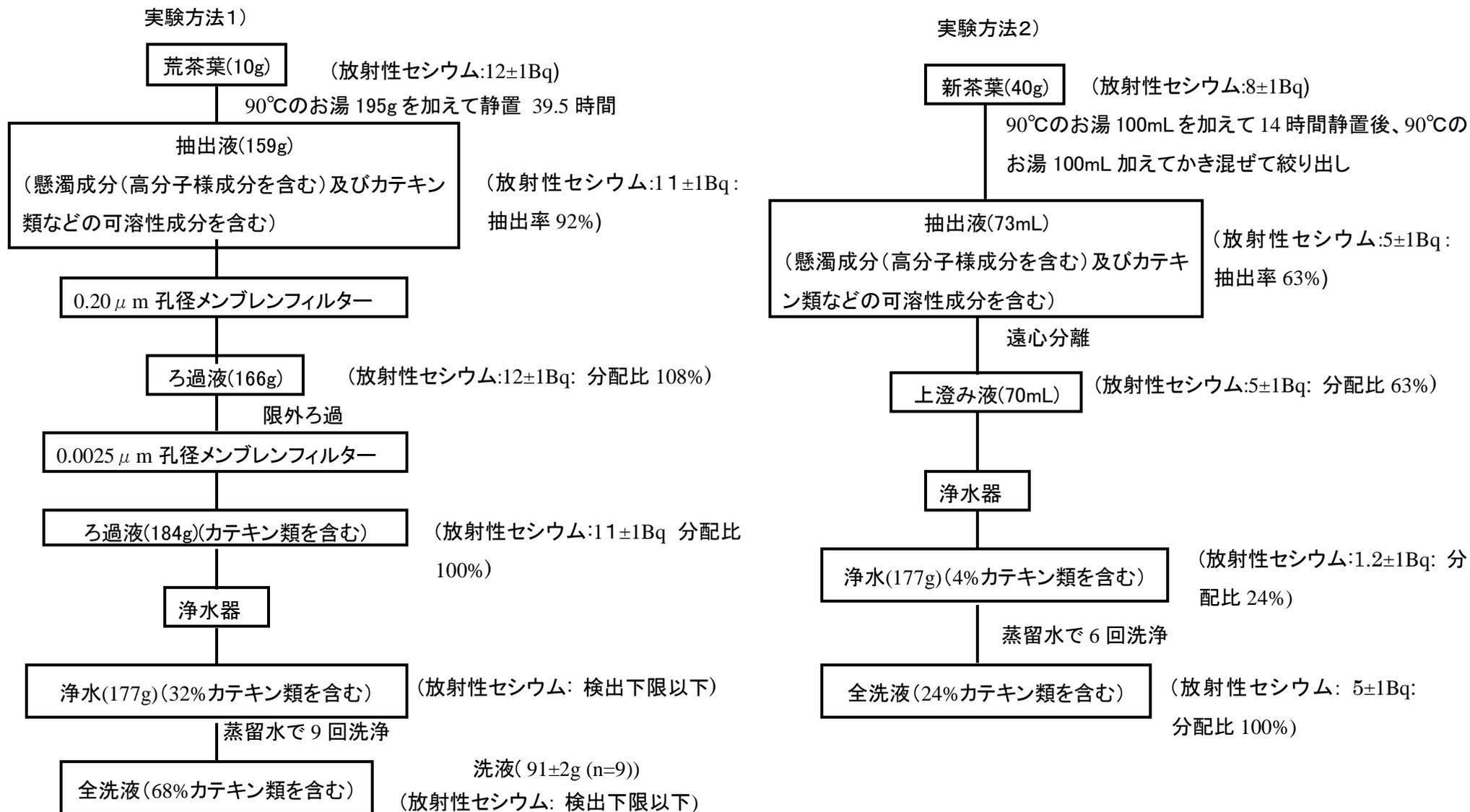


図1 実験のスキームとそれぞれの放射性セシウム ($^{134}\text{Cs}+^{137}\text{Cs}$) の放射能

結果と考察

核種分析

茶葉、荒茶、仕上げ茶のような異なった緑茶のタイプがある。荒茶は、茶葉を太陽光の下で乾燥することによって作られるので、放射性セシウムは荒茶に濃縮されている。図 1 は、2011 年 5 月 20 日に測定した荒茶の γ 線スペクトルを示す。Cs-134 の 0.605 MeV (97.6%)、0.795 MeV (85.5%)のピーク、及び Cs-137 の 0.661 MeV (85.1% Ba-137m)のピークが検出された。I-131 のピークは検出されなかった。I-131 は半減期 (8.02 日) が短いため減衰していたためであると思われる。

一般的に、初期の放射性セシウムによる汚染は、福島第 1 原子力発電所の水素爆発によって放出され大気中を漂う放射性セシウムが葉へ降り注ぎ、付着したことにより起こったと考えられる。古い茶葉に付着した放射性セシウムは、茶葉内部へ吸収され、転流によって新しい葉の内部へ移動したと考えられている。

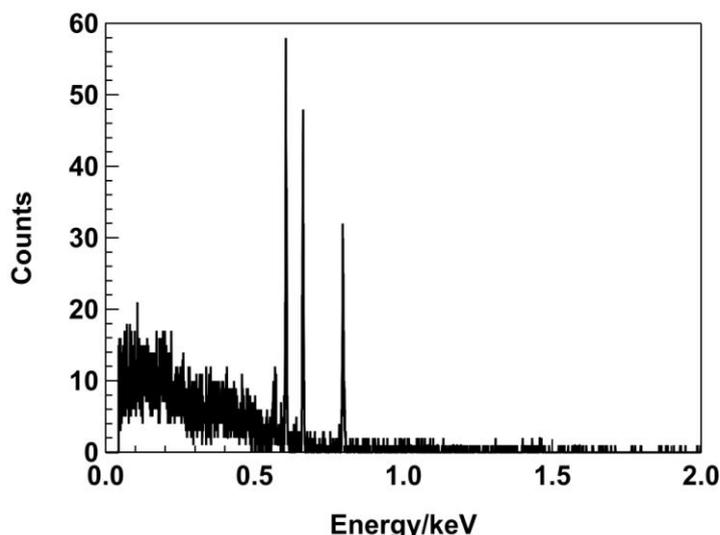


図 1 荒茶の γ 線スペクトル(2011年5月20日測定).

長時間煎茶時のセシウム抽出率

表 1 は、荒茶からの抽出液の放射性セシウムの放射能、総放射能と茶葉(10g)の放射能に対する抽出液の総放射能 (Cs-134+Cs-137) から求めた抽出率を%で表わしている。

表 1 茶葉及び抽出液の放射性セシウムの放射能、総放射能、及び抽出率

	放射能 (Bq)		総放射能 (Bq) (Cs-134+Cs-137)	抽出率 (%)
	Cs-134	Cs-137		
茶葉 (10g)	5.7	6.7	12	100
抽出液	3.8	7.1	11	92

表 1 のように、Cs-134 と Cs-137 の放射能に差が見られたため、以下では両者の合計値として総放射能を用いた。ピークのカウント値が小さいため両核種の放射能の差が大きくなったと考えられる。放射性セシウム抽出率は、抽出液で 92%であった。8%の放射性セシウムが

抽出後の茶葉(茶殻)に残った。これは、熱湯に容易に溶解しない葉に強く結合した成分があることを示している。

放射性セシウムと高分子様の可溶性成分

抽出液に含まれる高分子様の可溶性成分と放射性セシウムの関係を調べるため、まず、0.20 μ m のメンブレンフィルターを用いてろ過して大きな懸濁成分を除いた後、2.5nm のメンブレンフィルターで限外ろ過して分子量 10,000 以上の高分子様の可溶性成分を除いた。結果を表 2 に示す。観測された限外ろ過後の放射性セシウムの放射能(Cs-134+Cs-137)は、検出下限の 1Bq 以下であり、ろ過前の放射能とほぼ等しかった。この結果は、ろ過前後の放射能は実験誤差範囲内で一致していたとみなせる。

表 2 2 種類のメンブレンフィルターによるろ過効果

	放射能(Bq)		総放射能(Bq) (Cs-134+Cs-137)	分配比 (%)
	Cs-134	Cs-137		
ろ過液(0.2 μ m)	5.6	6.8	12	109
ろ過液(2.5nm)	5.2	5.3	11	100

すなわち、2.5nm よりも大きい高分子様の可溶性成分には放射性セシウムは結合していないことを示している。又、2.5nm のメンブレンフィルターによるろ過液が黄緑色を呈したことは、ろ液中にカテキン類が残存していることを示している。従って、大部分の放射性セシウムはカテキン類と結合しているかまたはイオンとして共存していることが考えられた。そこで、イオン交換樹脂と活性炭を持つ市販のポット型浄水器を用いてろ過しカテキン類と放射性セシウムが吸着されるかどうか確認した。さらに、蒸留水を U8 容器の容量分採取して 9 回に分けて加え洗浄することによりカテキン類と放射性セシウムの吸着の度合いについて調べて吸着の有無を検討した。比較のために、ろ過をせずに大きな懸濁成分を含んだ浸出液を同じポット型浄水器を用いてろ過しカテキン類と放射性セシウムが吸着されるかどうか確認した。さらに蒸留水 150mL で 6 回洗浄しカテキン類と放射性セシウムの吸着の度合いについて調べて吸着に及ぼす大きな懸濁成分の影響について検討した。

カテキン類の挙動

茶カテキンは、お茶の渋み成分であり 4 種類あることが知られており、湯茶(抽出液)を黄緑色に着色させる。このカテキン類の典型的な吸収スペクトルは、210nm と 274nm の 2 つの吸収ピーク及び 230nm と 322nm に 2 つの肩吸収を有している。210nm のピークと 230nm の肩吸収はカテキンを構成するベンゼン分子に寄るものである。図 2 に、ろ過後の荒茶の抽出液の浄水器による浄化前(黒線)と浄化後の液(赤線)の吸収スペクトルを示す。浄化前後の吸収スペクトルの面積の比較から浄化によってカテキン類は 32%まで減少することがわかった。一方、放射性セシウムの放射能は検出下限以下であったことから放射性セシウムはほとんど浄水器によって除去され、洗浄によって流出しないと考えられる。

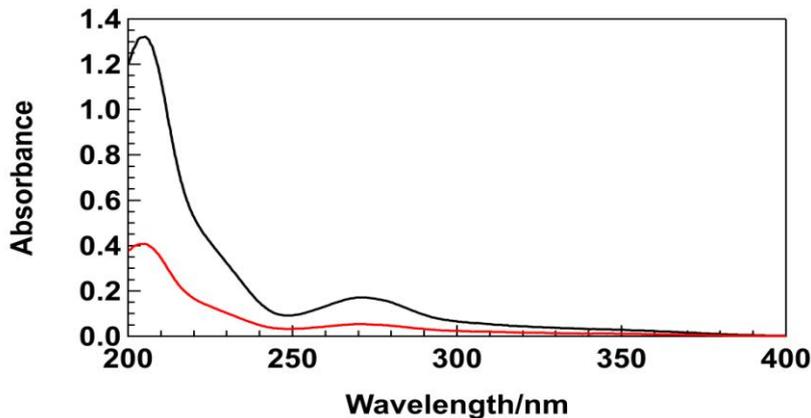


図 2 浄化前抽出液(黒線)と浄化後の抽出液(赤線)の吸収スペクトル

表 3 浄水後の荒茶の抽出液の Cs-134 と Cs-137 の放射能と総放射能及びろ過率

	放射能 (Bq)		総放射能 (Bq)	ろ過率 (%)
	Cs-134	Cs-137	(Cs-134+Cs-137)	
浄水器で浄水後の液	ND	ND	ND	100
カテキン類	-	-	-	68

ND:検出下限 1Bq 以下であったことを示す。

カテキン類が 68%ろ過されたのに対して、放射性セシウムはろ過され、ほとんど浄水器に吸着されたことから、放射性セシウムはカテキン類とは結合せず、大部分はイオンとして存在していることが示唆された。そこで、カテキン類と放射性セシウムの浄水器への吸着の度合いを確認する目的で、蒸留水を 9 回に分けて注いで浄水器を洗浄し、その洗浄液の吸収スペクトルと放射性セシウムの放射能を測定した。結果を図 3 に示す。得られた洗液 (91±2g(n=9)) の放射能は全て検出下限を下回っていた。従って、検出下限から計算される洗浄による放出率は 9%であり、図のように全て 9%以下であった。

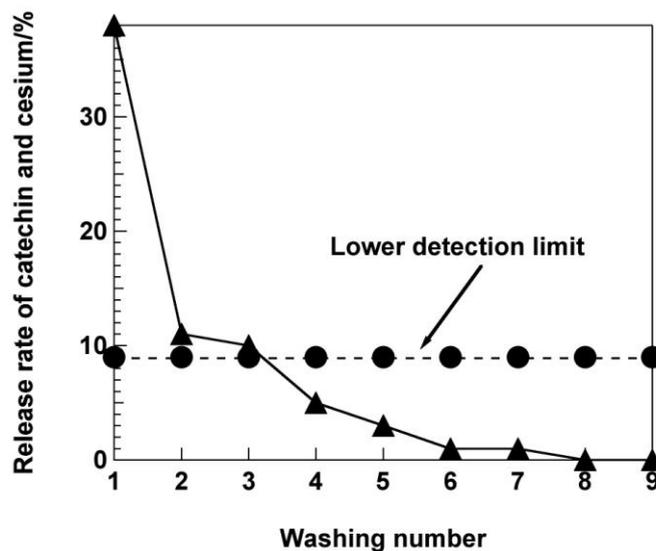


図 3 ろ過後の荒茶の抽出液の洗浄回数とカテキン(▲)と放射性セシウム(●)の放出率の関係

図 3 の結果から、カテキン類は洗浄回数とともに 8 回洗浄まで放出率は減少し、8 回までの放出率の合計で 100%放出されたことがわかった。一方、放射性セシウムは、洗浄回数によらず放出率は検出下限の 9%以下でありカテキン類とは異なる挙動を示したことから、大部分の放射性セシウムはカテキン類と結合しているのではなくイオンとして存在していることを示している。

最終的に、汚染茶葉の放射性セシウムは、90°Cの熱湯で 39.5 時間後に抽出することによって 92%の放射性セシウムが抽出され、その抽出液中の放射性セシウムは、2.5nm より大きな懸濁成分や高分子様の可溶性成分に吸着されなかった。これらの結果から、放射性セシウムの大部分はイオンの状態で存在していると考えられた。

ここで、図 1 の抽出液の抽出率 100%を基準としたそれぞれの段階の分配比を表 4 に示す。0.20 μ m のメンブレンを使用したろ過液に分配比 109%、2.5nm のメンブレンを使用したろ過液には 100%、浄水器の浄水では検出下限以下であり、ほとんどの放射性セシウムは除去された。一方、蒸留水で洗浄することにより、放射性セシウムは、洗浄後の液 (91 \pm 2g(n=9)) で全て検出下限以下であり、ほとんどの放射性セシウムは浄水器に吸着された。

表 4 抽出率の計 100%を基準としたそれぞれの段階の分配比

	分配比 (%)
抽出液	100
0.20 μ m メンブレン	109
0.0025 μ m メンブレン	100
浄水器の浄水	ND
洗液 (9 回)	ND

以上の実験結果は、2.5nm 以上の懸濁成分（高分子様可溶性成分を含む）を除いたお茶抽出液について浄水器を使用することにより、放射性セシウムは 100%吸着されるが、カテキン類も 68%が吸着され薄茶となることを示している。また、新たに水道水等を浄水器で浄化する際にカテキン類は流出を続け最終的に全て流出するが、放射性セシウムは検出下限以下でありほとんど流出しない。従って、一度放射性セシウムを含むお茶を浄水すると、放射性セシウムは浄水器に吸着され浄水毎においても流出しない。

一方、2.5nm 以上の大きな懸濁成分を除かない場合は、カテキン類の 96%が吸着される（市販のペットボトルのお茶でもカテキン類 66%が吸着された（図 4）。）とともに、放射性セシウムは 76%吸着されたが、その後の洗浄により放射性セシウムは 100%流出（図 5）し、カテキン類は 24%流れ出してくることが実験により確認された。これは、ろ過をしなかったことによる高分子様の可溶性成分が放射性セシウムの浄水器への吸着を妨げていることを示している。

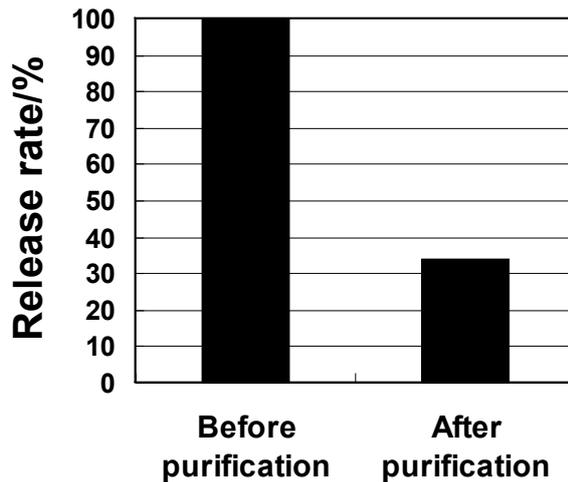


図4 市販ペットボトル茶の Brita 浄水器使用前後のカテキン放出割合

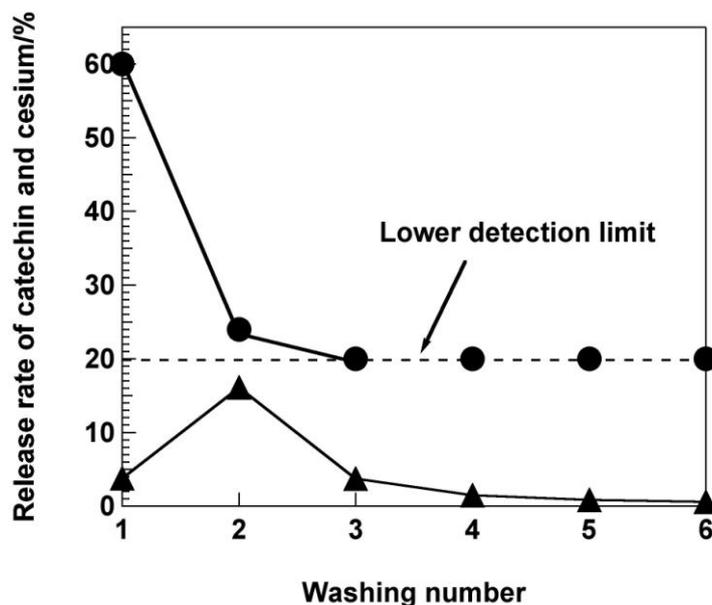


図5 高分子様の可溶性成分を除かない新茶の抽出液の洗浄回数とカテキン(▲)と放射性セシウム(●)の放出率の関係

荒茶中の放射性セシウムは、可溶性成分であるカテキン類とは無関係に、大部分はイオンとしてお茶抽出液中へ溶出する。抽出液をろ過した液を、活性炭とイオン交換樹脂を持つ家庭用浄水器で浄化することによって97%の放射性セシウムを除去できるが、浄化で68%以上の茶カテキン類は失われ薄茶となる。また、新たに水道水等を浄水器で浄化する際にカテキン類は流出を続け最終的に全て流出するが、放射性セシウムは検出下限以下でありほとんど流出しない。一方、ろ過をしない場合は、高分子様の可溶性成分が抽出液中に存在して放射性セシウムの浄水器への吸着を妨害し洗浄によって放射性セシウムは全て流出する。

(三好弘一)

7. 放射性セシウムの飲料水中濃度基準値と飲用茶濃度との比較

放射性セシウムの基準値は平成 24 年 4 月 1 日から改訂され、一般食品が 100Bq/kg、飲料水が 10 Bq/kg とより厳しい値になった。

本報告書において、茶葉から飲用茶への放射性セシウムの抽出率は、80~90%であることが明らかになっている。飲用茶中の放射性セシウムの濃度は、煎茶時に使用する茶葉の量及び抽出率によって異なってくる。実験的に得られた抽出率 80~90%と仮に抽出率を 100%とした場合には、大差がない。そこで安全側に立って抽出率が 100%であるとする。

一方、茶葉の使用量は、個人差があるものと考えられるが、一般的に 2g を 100mL のお湯で煎茶することが推奨されている。一般家庭で煎茶する場合、茶葉を計量して使用することは、ほとんど無く、茶葉保存容器から目分量で分取して使用していると考えられる。目分量で分取する場合には、大雑把に 2 倍程度まで使用することはあっても 3 倍まで使用することはないものと推測される。この場合も安全側に立って、推奨量の 3 倍まで使用することがあり得ると仮定する。

市販茶葉の放射性セシウム濃度は、一般食品の基準値 100Bq/kg を下回っていなければならない。平成 23 年度には暫定規制値を上回る牛肉が流通し、社会問題となり、対策が取られた事例がある。この事例から類推すると、基準値を上回る濃度の製茶が誤って流通することも考えられるが、長期かつ大量に流通することはないと推測される。

そこで、放射性セシウム濃度 100Bq/kg (0.1Bq/g)の茶葉 6g を使用して煎茶し、100mL の飲用茶に 100%抽出されたものとする。この場合の飲用茶中濃度は 0.6 Bq/100mL となり、6Bq/kg となるので、飲料水中濃度基準 10Bq/kg より低い濃度となる。このように安全側に立って、飲用茶中の放射性セシウム濃度を評価した場合であっても基準値を下回る。従って、基準以下の放射性セシウム濃度の市販の茶葉を煎茶して飲用することに問題はないと考えられる。

なお、上述の試算において根拠とした平成 24 年 4 月 1 日改訂の新基準では、茶葉を含む「一般食品」の限度値は、「一般食品」に割り当てられる年間線量に基づいて算出されている。食品全体に割り当てられる年間線量については、年間 1 ミリシーベルトに設定し、この上で「飲料水」に区分される食品の摂取による線量を差し引くことで、「一般食品」に割り当てられる年間線量を求めている。ここで、「飲料水」の 1 日摂取量は、1 歳児未満の場合を除き 2L としている。1 歳児未満については、個人差が大きいことを踏まえて体重 10 kg の小児の値である 1L としている。

結 語

平成23年3月11日に発生した東日本大震災に引き続き発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故により、放射性物質が広範囲に飛散した。飛散した放射性物質によって植物が汚染され、飲用に用いられる茶葉についても放射性セシウムによって汚染されたことが確認された。福島第一原子力発電所の所在地より約300kmもの距離がある茶葉の生産地においても汚染が確認されたことは、大きな衝撃をもって迎えられた。とりわけ茶葉の生産量日本一の静岡県での反応は大きく、その対応に苦慮するところであった。茶葉分析班は茶葉から飲用されるお茶(以下、お茶)への放射性セシウムの抽出率の測定、放射性セシウムの混入を減らすお茶の淹れ方などを検討した。放射性セシウムに注目した理由は、事故発生から数カ月が経過した時点においてはヨウ素核種の減衰が進んでおり、対応すべき放射能は主としてCs-134とCs-137であると考えられるためである。

茶葉は一般的には直接食用にすることはまれで、製茶業者により製茶として一般消費者に流通する。製茶の段階で乾燥され重量は約五分の一になる。茶葉は野菜類の一部として暫定規制値500Bq/kgの適応を受けるが、製茶の過程があるため、他の野菜類に比べて放射エネルギーは5倍に濃縮されることになる。ただし乾燥した茶葉を数グラム用いて100mL程度のお茶を淹れるので、この段階で飲料水の暫定規制値200Bq/kgの適応を受ける事になる。従って、茶葉からお茶への放射性セシウムの抽出率の測定が重要となる。そこで放射性セシウムによる汚染が確認された茶葉からお茶を浸出する実験を行なった。その結果、放射性セシウムの抽出率は従来考えられていたよりも高く約80-90%であることが明らかとなった。また淹れ方を工夫することでお茶への放射性セシウムの移行を減少できることも示された。

続いて、放射性セシウムを含むお茶から放射性セシウムを低減する方法について検討した。市販のポット型浄水器を用いて、放射性セシウムを含むお茶をろ過したところ、放射性セシウムはバックグラウンドにほぼ等しくなったことを確認した。浄水器に吸着された放射性セシウムはお湯で抽出されるお茶中にイオン状として溶け出していることが推察される。ポット型浄水器による放射性セシウムの除去については、風味等の変化を最小限にする必要があるが、放射エネルギーの低減に有効であると考えられる。

放射性セシウムの基準値は平成24年4月1日から改訂され、一般食品が100Bq/kg、飲料水が10Bq/kgとより厳しい値になった。特に飲料水の10Bq/kgは精度の高い測定器での測定が要求される。茶葉に関しては、製茶の段階の製品において100Bq/kgを下回れば、一般的なお茶の淹れかた(2gで100mLのお茶)に従った場合、抽出率を100%と見積もっても2Bq/kgと計算されるので、飲用において問題はないと考えられる。

福島第一原子力発電所の事故で放出された放射性セシウムが茶畑へと拡散したのは事故直後の平成23年3月中旬から下旬にかけてであると考えられる。茶葉の新芽が出るのは4月中旬頃であることを考慮すると、一番茶の茶葉の表面に直接放射性セシウムが付着したとは考えられず、古葉の表面に付着した放射性セシウムが葉から吸収され新芽に転流したものと推定される。福島第一原子力発電所からの放射性セシウムの放出がほぼ停止した状況においては、葉からの吸収による新たな茶葉の汚染は収束していくものと判断され、今後は汚染土壌からの茶葉への放射性セシウムの移行に注視していく必要があると考えられる。さらに、お茶に対する汎用性のある、より効率的な除去方法を開発するために、更なる研究を進める必要がある。

日本放射線安全管理学会

放射性ヨウ素・セシウム安全対策アドホック委員会 茶葉分析班

清水喜久雄（大阪大学ラジオアイソトープ総合センター）

柴 和弘（金沢大学学際科学センター）

桧垣正吾（東京大学アイソトープ総合センター）

廣田昌大（東京大学大学院工学系研究科、現 信州大学ヒト環境科学研究支援センター）

三好弘一（徳島大学アイソトープ総合センター）

佐瀬卓也（徳島大学アイソトープ総合センター、現 株式会社大塚製薬工場）

阪間 稔（徳島大学大学院保健科学教育部）

西澤邦秀（名古屋大学名誉教授）

実験協力者

矢野有紀子（国際基督教大学、東京大学アイソトープ総合センター）

久保 謙哉（国際基督教大学）

坂口由貴子（徳島大学大学院総合科学教育部）

伏見賢一（徳島大学ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部）

中山信太郎（徳島大学ソシオ・アーツ・アンド・サイエンス研究部）

野村 貴美（東京大学大学院工学系研究科）