

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 5 月 17 日現在

機関番号：25406

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2015

課題番号：24658279

研究課題名(和文) サツマイモの「つるぼけ」特性を活用した土壌セシウムの吸収浄化と回収植物体の処理

研究課題名(英文) Absorption of applied non-radioactive cesium utilizing excessive vine growth of sweet potato, and treatment of harvested plants

研究代表者

増田 泰三 (MASUDA, Taizo)

県立広島大学・生命環境学部・准教授

研究者番号：30347611

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,100,000円

研究成果の概要(和文)： サツマイモは窒素(N)やカリウム(K)吸収能が高く、N多肥で茎葉生育が促進され塊根肥大しないつるぼけになり、K要求が高くなる。これを用いて化学的性質が類似する原発事故で土壌を汚染したセシウム(Cs)吸収を検討した。

葉取り用品種すいおうを、砂質と粘土質土壌で非放射性Cs表層施用とN多肥K少肥で栽培した。砂質土ではN多肥でつるぼけになりCs吸収も増加して収支0.42～0.67で63～83%が地上部へ移行集積した。粘土質土ではつるぼけせず、Cs収支は低く大部分が塊根に集積した。

回収植物体処理に交換態イオン抽出法を用い、茎葉の乾燥粉碎試料で振盪を十分に行うとKと同様にCsも100%抽出できた。

研究成果の概要(英文)： Sweet potato (*Ipomea batatas*) has higher absorption ability of nutrients such as nitrogen (N) and potassium (K). The increase of N application leads to the promotion in leaf and stem growth and also the repression in tuberous root thickening, and K requirement will be high. Since radio-caesium (Cs) deposited to soils by the nuclear power plant accident, the removal of Cs as homologous element of K were examined with those characteristics.

The variety Suiou for using leaf and stem was cultivated with the application of non-radioactive Cs, much N and small K fertilizer in sandy and clayey soils. In sandy soil, sweet potato indicated excessive vine growth by much N application and increased Cs uptake, and absorbed Cs transferred to shoots via roots. However, in clayey soil, Cs uptake was lower and most of Cs accumulated in tuberous roots.

For harvested plant treatment, Cs could be extracted 100% like K from grind dry matter by the exchangeable ion extraction method with well shaking.

研究分野：植物栄養・肥料学

キーワード：環境浄化 サツマイモ つるぼけ 土壌セシウム

1. 研究開始当初の背景

(1) 東日本大震災による東京電力福島第一原子力発電所の事故で、初期放出データが不明のため 90 万 T Bq と推定されている多量の放射性物質が放出されて大気中に浮遊して風で運ばれ、降雨などに伴って各地の土壤に集積し、農作物や水などが汚染され、農産物から暫定規制値を超える放射性物質が検出されることもあり、食の安全・安心が問題になった。農地や生態系および住環境に関して、放射性物質の中で問題にされることが多いのは半減期が 30.2 年と比較的長い放射性セシウム (Cs)-137 で、汚染土壤の浄化対策として土壤にゼオライトなどの Cs 吸着物質を入れて固定する方法や降下初期から Cs-137 は地表 5cm までの土壤に 90% が分布するため表層土の剝離が最も有効であるとされ、深層土との入れ替えなども報告されたが、主に農地などでは表層剝土による除染が行われた。

しかし、剥ぎ取った汚染表土は除染のために収集された森林の汚染枝葉や草木などの他の汚染物質と同様にフレコンバックに入れて汚染土嚢として持ち出されているが、増え続ける大量の汚染水を除いても、その量は 920 万 m<sup>3</sup> と大量で、最終処分場だけでなく仮置き場の確保や中間貯蔵施設の建設の問題も未解決なため、その多くが指定廃棄物として現場保管が行われたままになっている。

(2) イネの栽培では安価なケイ酸カリなどのカリウム (K) を水田に多量施肥して農作物への Cs の吸収移行を競合させて抑制する方法が報告され、現場でも効果をあげている。

土壤の種類や性質によって異なるが Cs の 70% 以上が粘土や有機物に強く保持されているといわれ、粘土鉱物の層間のフレイド・エッジ・サイトに強く保持され、固定態とよばれ容易に取り出すことができないことも明らかにされた。また、Cs-137 の半減期は 30.2 年と比較的長く、半分の濃度に減少する滞留半減時間は水田作土で 9~24 年、畑作土で 8~26 年と報告され、放射能環境を 1/10 まで低下させるには少なくとも 100 年かかるといわれている。放射性物質は直接または食物連鎖などによって間接的に人体に放射能汚染を与えることがあるため、農作業を行う農家の安全のためにも土壤からの浄化は不可欠で、植物を用いて土壤環境中から重金属などの汚染物質を吸収除去する環境浄化法 (ファイトレメディエーション) も有望と考えられる。チェルノブイリ原子力発電所爆発事故後の対策で有効であったという報告のあるヒマワリ栽培が除染に用いられたが、農水省公表の試験結果では土壤 Cs の地上部移行係数は 0.00674 と予想以上に低い効果しか認められず、菜の花栽培もヒマワリと同様に Cs が水溶性で油への移行が無く収穫物として種子の収穫が可能で、耕地の荒廃防止を主な目的として栽培が試みられたようである。

ファイトレメディエーションを考える場

合、技術を適用する環境や土壤によって栽培できる植物種が異なることや土壤中での汚染物質の分布域と根の伸長領域が適合することを考慮しなければならない。植物による Cs 吸収について、これまでもいくつかの報告があり、Cs は周期表第 1 族の同じアルカリ金属の K と化学的性質が類似しているため、Cs と K は吸収では競合または排他的関係にあることが示されている。また、多数の植物種の吸収能が比較され、植物体含有率が高くなる浄化用植物候補としてヒユ科、アカザ科、タデ科、トクサ科、ヒルガオ科などが報告されている。高い Cs 集積性を持ち、大きなバイオマス生産量を持つことなどを考慮して、植物体中濃度の高い集積植物で生育環境への適応性があり、横に広がらず立ち上がる密植も可能な数種の植物に浄化用植物としての可能性があることが報告されている。

アンモニア態窒素 (N) の施肥がイネなどの Cs 吸収を高くするという報告があり、リン (P) は欠除下で Cs 吸収が大きく低下したという報告もある。Cs は植物に吸収されると根から地上部へ容易に移行され、植物体内に 4,000pm 程度まで蓄積しても生育に障害が出ないことも報告されている。さらに、Cs の吸収や輸送系の機構について、チャネルやトランスポーターに関して研究が行われ、K と同様であることなどが明らかにされ、遺伝子工学的手法によるファイトレメディエーション用植物開発の可能性もある。

2. 研究の目的

(1) サツマイモ (*Ipomoea batatas*) は中南米原産でヒルガオ科に属し、北海道のような低温地域でも栽培可能な生育に対する環境適応性の大きい作物で、救荒作物といわれ肥沃度の低い荒れた痩せ地でも良く育つ。地上部の茎葉はつる性であるが繁茂し、地下部に形成される塊根のイモを含めてバイオマス生産量は大きく、N と K の吸収能が高く土壤からの N や K などの養分収奪量が非常に大きい。また、施肥 N 量が多いと吸収 N 量も増加して地上部の茎葉の生育が促進され、塊根の肥大が抑制される「つるぼけ」という特性を持ち、塊根は肥大せず根はゴボウ状の細根となるので塊根肥大のために K 要求性が高くなるという特性も持つ。この特性を活用して吸収では K と競合や排他的関係にあるが、同族元素でよく似た性質を持つ Cs の土壤からの吸収を行うことが可能ではないかと考えられ、つるぼけ状態にすることで地上部への移行を促進して刈り取り回収をしやすくできるのではないかと考えられた。そこで、非放射性 Cs-132.9 試薬を表層土壤に施用してサツマイモを「つるぼけ」栽培し、土壤から植物体地上部への移行係数や収支などから評価して、高効率で浄化するための施肥レベルや栽培方法などについても検討して除染効果を明らかにすることを目的として実験を行った。サツマイモの標準施肥量は N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O : 3

～5-10-10 g/m<sup>2</sup>で、通常の栽植密度は畦間 90～100 cm、株間 40～50 cmであり、栽培の主要作業体系は土壤消毒・種イモ伏せ込み・つる苗の切り取り採取・施肥・畦立て・マルチ・苗の植え付け・中耕・害虫防除・地上部刈り取り・塊根収穫などで、以前は重労働であったが、畦立て・マルチや植え付け、地上部茎葉のつる刈りや塊根収穫などに農業機械が導入され、現在はかなりの軽労化が図られている。除染を考えた土壤 Cs 浄化のための栽培では、作業をできるだけ簡略化するために土壤消毒、畦立て・マルチ、中耕、害虫防除などは省略した。

(2) ファイトレメディエーションで吸収させて刈り取り回収した多量の植物体の処理や処分の方法も大きな課題であるため、植物体からの Cs の除去と減容化などの処理方法についても検討を行った。

### 3. 研究の方法

(1) 生育が旺盛で多収のデンプンや焼酎原料用のサツマイモ品種コガネセンガンや食味が良く長い期間に渡って栽培と販売が行われている食用品種の鳴門金時などを用いて、圃場栽培でのサツマイモの「つるぼけ」特性を活用した土壤 Cs 吸収実験を試みたが、つるぼけ状態を起こすことができなかった。

地上部が繁茂する茎葉利用サツマイモのヘルシー菜品種すいおうを多 N 施肥でポット栽培したところ、つるぼけ状態を起こさせることができた。砂質と粘土質土壤の畑圃場で、K 少肥条件で標準から多肥までの数段階の N 施肥を行い、非放射性 Cs を表層施用してすいおうを栽培し、圃場条件下におけるつるぼけ状態でのサツマイモ品種すいおうの Cs 吸収能を成分収支等から評価を行い、植物による浄化の適用の可能性について検討した。

畑圃場は、黄色で砂質の真砂土と濃褐色で粘土質のグライ土を用いた。全ての区に中和石灰質資として苦土石灰 200g/m<sup>2</sup>と非放射性的 1g Cs/m<sup>2</sup>を塩化セシウム CsCl 試薬で施用して表層～10cm 深へ鋤き込み混合し、肥料に窒素(N)は硫酸アンモニウム(硫安、20.5%N)、リン酸(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)は過リン酸石灰(過石、17.5%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>)、カリ(K<sub>2</sub>O)は塩化カリウム(塩加、60.5%K<sub>2</sub>O)を用い、10g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>と 5g K<sub>2</sub>O /m<sup>2</sup>は全区に共通で施肥混合した。N は 5、10、50、100g/m<sup>2</sup>を全量基肥または基肥と追肥の合計量で施用し、N 施肥処理区は①全量基肥 5N(標準施肥)、②全量基肥 10N、③全量基肥 50N、④刈取追肥 50N、⑤全量基肥 100N、⑥刈取追肥 100N を 2 反復で行った。真砂土のコンクリート方形枠圃場(0.6×0.6m, 0.36m<sup>2</sup>)では①～⑥、グライ土のコンクリート円形枠圃場(φ 0.6m, 0.28m<sup>2</sup>)では①・③・⑤を行った。5月14日に方形枠は4個/枠、円形枠は3個/枠のポット苗を植え付け、10月27日に収穫採取を行った。葉と葉柄の刈取と追肥は7・8・9月の下旬に3回行った。少雨で乾燥状態が続

けば水道水を灌水した。刈り取り追肥区は葉と葉柄を3回採取し、全区で収穫適期に地上部の茎葉つるを刈り取り、地下部は掘り取って細根と形成されていれば塊根に分け、栽培後土壤も採取した。植物体は各部位を80℃で3日間以上の通風乾燥を行い、乾物重を測定し、粉碎後に分析に供試した。土壤は風乾後に2mmの篩を通して分析に供試した。分析で植物体のNはマクロコーダー(JM1000CN、Jサイエンス)で、Kなどの陽イオンは硝酸-過酸化水素分解後にICP発光分析装置(SPS7800、SII)で、Csは分解後に原子吸光分析装置(AA6000島津)で測定した。栽培前と栽培後の土壤はpHやECを測定し、CsとKの全量(フッ化水素酸分解)、交換性(塩化ストロンチウム-酢酸アンモニウム混合溶液抽出)、水溶性(純水抽出のEC測定液)を測定した。得られたデータを基にしてCsの吸収移行などの成分収支を算出してサツマイモのつるぼけ栽培による土壤Csの浄化能を評価し、土壤成分の全量から交換態を差し引いた値を固定態とした。

(2) 廃棄物の減容化には焼却が有効であるが、焼却処分を行うとCsが飛散して問題を引き起こす危険性があるため、その挙動を調査した。Csは同じアルカリ金属であるKと同様に、植物体中では水溶性や置換態で存在すると考えられる。そこで、植物体からの交換態イオン抽出法を用いて、回収植物体の処理について検討を行った。採取した茎葉の性状や形状の異なる試料の調整は下記のようにして行った。①新鮮物細断：採取したサツマイモ茎葉の新鮮物を1cm程度に鉄で細断、②風乾物細断：茎葉をガラス温室内で風乾後に細断、③風乾物粗粉碎：風乾物をコーヒーミルで粗く粉碎、④乾物細断：茎葉を80℃の通風乾燥機で3日以上乾燥して乾物を細断、⑤乾物粗粉碎：茎葉乾物を粗粉碎、⑥乾物微粉碎：茎葉乾物を微粉碎。

### 4. 研究成果

(1) NとKの施肥レベルを変え、土性の異なる砂質と粘土質の圃場土で栽培したサツマイモによるCsの吸収を調査するため、生育が旺盛な多収品種のコガネセンガンを用い、3～30g N/m<sup>2</sup>と5または10K<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>を組み合わせ、10g Cs/m<sup>2</sup>を表層施用してつる苗の平植え栽培を行った。コガネセンガンの地上部茎葉や塊根の生育は粘土質土壤で砂質土壤よりも大きく、3g N/m<sup>2</sup>と10K<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>の標準施肥のNが10倍量の30g N/m<sup>2</sup>とKが1/2の5K<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>でも塊根重は大きく、つるぼけ状態にはならなかった。NとKの収支(吸収量/施肥量)の値は大きく養分収奪型であったが、Cs吸収量や収支(吸収量/施肥量)の値は小さかった。放射性物質と本実験で用いた非放射性物質を同等であるとみなして仮定の移行係数幾何学平均値を求めたところ、公表値などよりも大きな値が得られたが、Cs施肥量が多過ぎるなどの問題が明らかになった。Cs吸収

量は砂質土壌で粘土質土壌よりも大きく、粘土質土壌での他の陽イオンとの吸収における競合や多量に含まれると考えられる粘土鉱物の層間のフレイド・エッジ・サイトへの吸着による固定化が推定された。粘土質土壌での平植エビニールマルチでマルチ下の表層土壌に根の密生が認められ、表層集積 Cs の吸収に有効であると考えられた。つるぼけ状態にならなかったために、吸収した Cs の大部分が塊根へ集積した。

(2) N 施肥量を 50~100 g N/m<sup>2</sup>まで増加し、K 無施肥の 0 または減肥の 5 g K<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>を組み合わせる砂質土壌の畑圃場で、Cs 施用量を減らして 1 g Cs/m<sup>2</sup>を表層施用し、コガネセンガンのつる苗の平植え栽培を行った。コガネセンガンの生育と N や K の吸収は N 多施肥によってさらに増大したが、N 収支は 50 g N/m<sup>2</sup>で施肥量と吸収量がほぼ等しい 1 となり、100 g N/m<sup>2</sup>では吸収量は施肥量を下回って収奪型にはならなかった。K 収支は K 無施肥と少肥のため大きな値を示したが、粘土鉱物が少なく土壌からの K 供給能が小さいと考えられる砂質土壌でも K 欠乏は認められなかった。Cs 吸収量は生育の増大に応じて増加し、50 g N/m<sup>2</sup>で最大であったが、収支はそれほど大きな値にはならず、つるぼけ状態とはならなかったため地下部の塊根の含有量が大きかった。コガネセンガンは著しくつるぼけをし難い品種であったため、実験に用いる品種の再考が必要であると考えられた。

(3) 粘土質土壌の畑圃場で、多 N 施肥の 50 g N/m<sup>2</sup>と K 無施肥で、品種コガネセンガンの畦立ておよびビニールマルチ、または品種鳴門金時の種イモ直播栽培が、土壌施用 Cs の吸収に与える影響を調査した。コガネセンガンと鳴門金時の生育や N および K 吸収には大きな差異は無く、Cs 吸収量はコガネセンガンの畦立てマルチで平植えと同等で、畦立て裸地では減少した。鳴門金時の Cs 吸収量はコガネセンガンよりも小さく、つる苗移植と種イモ直播で同等であった。鳴門金時の種イモ直播で子イモの形成や肥大は抑制されたが親イモ肥大が著しく大きく、全ての栽培で塊根重が大きいつるぼけ状態にはならなかった。

(4) 葉取り用サツマイモのヘルシー菜品種すいおうを用いて、Cs を上層に 1 g Cs/m<sup>2</sup>施用して砂質土壌の 1/2,000 a ポットで、5 g K<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>施肥の低 K 栄養で N 施肥は 5~50 g N/m<sup>2</sup>として栽培を行った。N 施肥の増加に伴って生育は増大する傾向を示し、25 g N/m<sup>2</sup>以上で地上部 > 地下部となりつるぼけ状態になった。N や K の収支は収奪型を示し、圃場栽培と異なり K 欠乏症状を呈し、枯葉となって多くの落葉が認められた。高 N・低 K 栄養条件で Cs 吸収も増加したが収支は最大でも 0.1 程度で、つるぼけ状態になったことで吸収した Cs の 66%が地上部の茎葉へ移行集積した。

また、50 g N/m<sup>2</sup>施肥の高 N 栄養で K 施肥を 0~10 g K<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>として行ったところ、標準施肥の 10 g K<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>でも K 欠乏が認められ、Cs 吸収は最大で収支は 0.15 程度であったが、つるぼけ状態の生育であったため、54%が地上部の茎葉へ移行集積した。さらに、50 g N/m<sup>2</sup>施肥の高 N 栄養と 5 g K<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>施肥の低 K 栄養で、Cs 施用量を 0.1~1,000 mg Cs/m<sup>2</sup>として栽培を行ったところ、生育や N および K の吸収には差異が無く、0.1~10 mg Cs/m<sup>2</sup>では吸収した Cs を全ての部位から検出することができなかった。100~1,000 mg Cs/m<sup>2</sup>では Cs 収支は 0.93~0.95 で同様であった。

(5) 砂質と粘土質土壌の畑圃場で、施肥は基肥 5~100 g N/m<sup>2</sup>で N 量を変え、10 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/m<sup>2</sup>と 5 g K<sub>2</sub>O/m<sup>2</sup>で、非放射性 Cs を 1 g Cs/m<sup>2</sup>表層施用し、葉取りサツマイモヘルシー菜の品種すいおうを栽培した。砂質土壌で 50 g N/m<sup>2</sup>と 100 g N/m<sup>2</sup>を 4 等分して葉身と葉柄を 3 回刈り取った追肥区も設定した。砂質土壌では N 施肥と吸収の増加によって塊根肥大よりも地上部茎葉の生育が促進され、つるぼけ状態になった(図 1)。地上部茎葉の生育と K

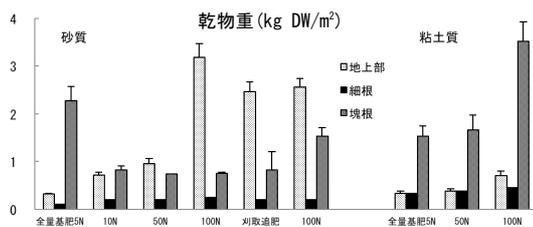


図 1. サツマイモ品種すいおうの砂質土壌と粘土質土壌での生育。図中の棒線は標準誤差を示す。

吸収は全量基肥 100 g N/m<sup>2</sup>施肥で最大で、追肥区での刈り取り分も加えた茎葉の合計生育量と K 吸収は、それらよりも小さかったが N 吸収は同等であった。Cs 吸収は N 施肥の増加に伴って増大し(図 2)、地上部への移行はつるぼけ状態に応じて行われた(表 1)。Cs 吸

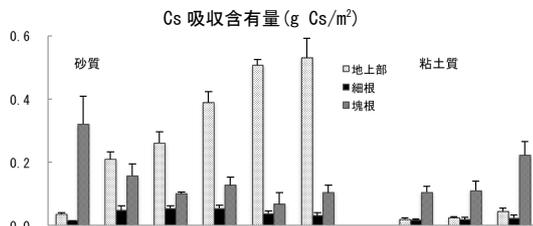


図 2. サツマイモ品種すいおうの砂質土壌と粘土質土壌での Cs 吸収含有量。図中棒線は標準誤差を示す。

栽培土壌	施肥処理区	Cs 収支	Cs 分配割合(%)		T/R 比	
			地上部	地下部		
砂質	全量基肥	5N	0.37	11.5	88.5	0.14
		10N	0.42	51.9	48.1	0.71
	50N	0.42	62.5	37.5	1.01	
	100N	0.57	70.0	30.0	3.19	
	刈取追肥	50N	0.61	83.3	16.7	2.40
		100N	0.67	79.6	20.4	1.47
粘土質	全量基肥	5N	0.14	15.4	84.6	0.18
		50N	0.15	18.7	81.3	0.19
	100N	0.29	15.6	84.4	0.18	

Cs 施用量は全区 1g Cs/m<sup>2</sup>(吸収 Cs 量(g/m<sup>2</sup>)-Cs 収支)。

収刈取追肥区での生育前期に大きく、固定態化となる前に容易に吸収が行われたと考えられた。栽培後土壤の Cs の固定態(全量-交換態)の割合は砂質土壤では 65~73%であった(表 2)。

表 2. 栽培後土壤の Cs の全量と交換態および割合.

栽培土壤	施肥処理区	Cs 全量 (mg/kg DW)	交換態 Cs (mg/kg DW)	交換態割合 (%)	
砂質	全量	5N	6.59	1.80	27.4
	基肥	10N	6.14	1.82	29.6
		50N	5.33	1.60	30.0
	刈取追肥	100N	4.50	1.46	32.5
		50N	4.07	1.42	35.0
		100N	3.50	1.12	32.1
粘土質	全量	5N	9.01	1.07	11.9
	基肥	50N	8.88	1.09	12.3
		100N	7.44	1.10	14.8

粘土質土壤でも N 施肥と吸収に応じて地上部茎葉の生育は増加したが、塊根の肥大がより大きくつるぼけは認められなかった(図 1)。N と K および Cs の吸収も生育と同様で、Cs 吸収は砂質土壤よりも小さく(図 2)、また栽培後土壤の Cs の固定態の割合は 85~88%と高く(表 2)、粘土質土壤に多く含まれる粘土鉱物層間のフレイド・エッジ・サイトに吸着固定が行われたと考えられた。

Cs 収支は砂質土壤では、つるぼけをした多 N 施肥で 0.42~0.67 となり、吸収された Cs は地上部へ 62.5~83.3%が移行した(表 1、2)。粘土質土壤での Cs 収支は 0.14~0.29 と砂質土壤よりも小さく、Cs 吸収は多 N 施肥で増加したが、地上部への移行はわずかで 81.3~84.6%が塊根に集積した(表 1、2)。

(6) サツマイモのつるぼけ特性活用栽培による土壤 Cs の吸収後には、刈り取り回収した植物体の処理や処分方法が課題になる。圃場栽培で Cs を吸収したサツマイモ茎葉を用い、植物体の K や Na の測定に用いられる交換態イオン抽出法を適用し、試料の性状や形状による Cs 抽出割合を検討した。

試料 1g に 25 倍容量(mL)の 1 mol/L 塩酸を加えて 30 分振盪後に一昼夜放置して測定する交換態イオン抽出法を、40.4 g K/kg DW と 255 mg Cs/kg DW の試料で行ったところ、K は抽出測定で全ての試料で分解測定と同様のほぼ 100%の値が得られたが、Cs は試料の形状や性状で異なり分解測定 19.4~67.7%と低かった(図 3)。抽出効率向上の検討を 43.9 g K/kg DW と 175 mg Cs/kg DW の

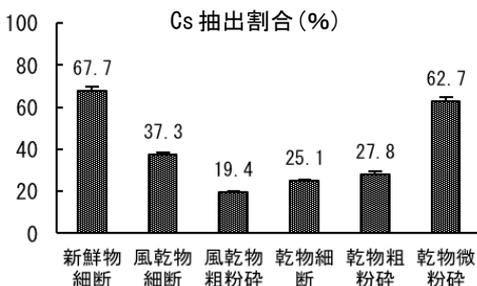


図 3. 交換態イオン抽出法によるサツマイモ茎葉からの Cs 抽出割合. 図中の棒線は標準誤差を示す.

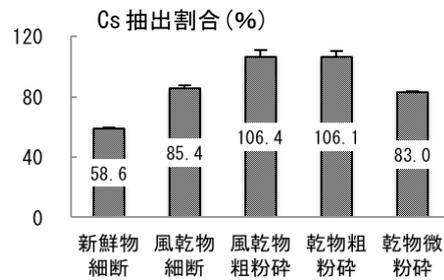


図 4. 交換態イオン抽出法の振盪回数と時間の増加によるサツマイモ茎葉からの Cs 抽出割合. 図中の棒線は標準誤差を示す.

試料で行ったところ、振とう回数や時間を増加させることで、Cs でも風乾物や乾物の粗粉碎試料で K と同様に 100%の抽出測定を行うことができた(図 4)。抽出液の塩酸濃度を増加させる検討も試みたところ、K は同等であったが Cs はむしろ低下する傾向を示し、有効ではなかった(図 5)。通常、廃棄物の減容

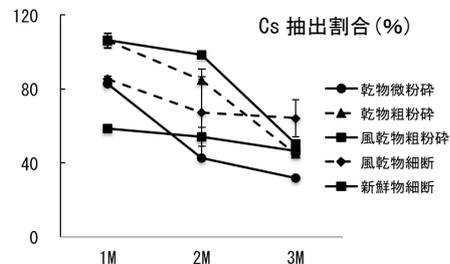


図 5. 抽出液の塩酸濃度による Cs 抽出割合.

化には焼却が有効であるが、Cs が飛散して問題を引き起こす危険性があるため、燃焼に伴う Cs の挙動を調査した。43.9 g K/kg DW と 175 mg Cs/kg DW の乾燥粉末試料を 850°C で 1 時間の加熱を行うと、重量は約 1/10 に減少したが残された主灰中の Cs 濃度は約 3 倍に濃縮された値

表 3. 焼却による回収植物体乾燥粉末試料の重量変化.

	焼却前	焼却後
重量(g)	1.0450	0.1223
標準誤差	0.0108	0.0012
割合 (%)	100	11.7

表 4. 焼却による元素の濃度変化と割合

	Na	Mg	K	Ca	Cs
焼却前	1.1	2.4	43.9	18.5	0.175
焼却後	29.1	27.1	309.2	172.5	0.532
	%				
回収植物体	100	100	100.0	100	100.0
主灰残存割合	156	134	82.4	109	35.7
飛灰揮散割合	-	-	17.6	-	64.3

になった(表 3, 表 4)。また、Cs の沸点は 668.4°C であるため、試料中 Cs の 64% が飛灰となって飛散すると考えられ、バグフィルターなどの集塵装置などが不可欠である。

(7) 葉取り用サツマイモのヘルシー菜品種すいおうを用いて、砂質と粘土質土壤の畑圃場で N 多肥と K 少肥の高 N・低 K 栄養条件で、サツマイモの「つるぼけ」特性を活用した施用 Cs を吸収させる栽培実験を行った。砂質土壤では多 N 施肥で茎葉が繁茂してつるぼけ

状態となり、それに伴い Cs 吸収も増加し、吸収された Cs を地上部へ移行させることが可能であった。しかし、粘土質土壌ではつるぼけ状態にならず、Cs 吸収はわずかで吸収 Cs の大部分が肥大した地下部の塊根へ集積した。粘土鉱物層間のフレイド・エッジ・サイトへの Cs の吸着固定によるためと考えられ、放射性物質の降下初期には、ある程度有効に活用できるが、時間が経過して 2 年目や 3 年目などに適用することは困難であると考えられた。植物による固定態 Cs 吸収は不可能といわれ、吸収のためには再度の風化が必要であると考えられるが、植物種による非交換態 K の吸収が見出され、鉱物を直接栄養源とする種が存在する可能性も報告されていることから再検討の必要がある。

非放射性 Cs-132.9 試葉を表層土壌に 1 g/m<sup>2</sup> 施用して実験を行ったが、飛散した放射性物質の強度は大きい物質質量としては非常に極わずかで総量でも 5 kg 程度といわれることもあり、Cs は放射性と非放射性同位体で挙動が異なるのではないかと指摘されたこともあるが自身では検証できないので、議論が収束し、ある程度の結論が得られてから研究報告等の発表を行いたいと考えている。

圃場栽培で意図しなかったことであるが、野生動物の猪の侵入によって少 N 施肥で塊根が形成されていれば掘り返して食害されたが、多 N 施肥で地上部の茎葉が繁茂してつるぼけ状態になっていれば掘り返されなかった。

#### <参考文献>

- ① Broadley ら Environmental Pollution, 106, 1999, 341-349
- ② Broadley ら、J. Environmental Radioactivity, 46, 1999, 225-236
- ③ Broadley ら、J. Experimental Botany, 52, 2001, 839-844
- ④ Buysse ら、Plant and Soil, 178, 1996, 265-271
- ⑤ Comans ら、Geochimica et Cosmochimica Acta, 56, 1994, 1157-1164
- ⑥ Darrh ら、Eur. J. Soil Sci., 51, 2000, 643-653
- ⑦ Guivarch ら、Plant and Soil, 211, 1999, 131-138
- ⑧ IAEA, Handbook of Parameter Value for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environments, Technical Series No. 472, 2010
- ⑨ Kobayashi ら、Bioscience Biotechnology and Biochemistry, 74, 2010, 203-205
- ⑩ Kobayashi ら、J. Plant Res., 127, 2014, 51-56
- ⑪ 駒村ら、農環研報告、24, 2006, 1-21
- ⑫ Maes ら、Eur. J. Soil Sci., 50, 1999, 107-115
- ⑬ Mimura ら、J. Plant Res., 127, 2014, 3-4
- ⑭ Niebes ら、Plant and Soil, 155/156, 1993, 403-406
- ⑮ Ohmori ら、J. Plant Res., 127, 2014, 67-71
- ⑯ Qi ら、J. Experimental Botany, 59, 2008, 595-607
- ⑰ Rubio ら、Physiol. Plant., 109, 2000, 34-43
- ⑱ Sawhney, Clays and Clay Minerals, 20, 1972, 93-100
- ⑲ Shaw ら、The Science of the Total Environment, 368, 1993, 795-803
- ⑳ Smolders ら、Environ. Sci. Technol., 31, 1997, 3442-3438
- ㉑ Staunton ら、Plant and Soil, 254, 2003, 443-455
- ㉒ Tsukada ら、Environmental Pollution, 117, 2002, 403-409
- ㉓ Tsukada ら、J. Environmental Radioactivity, 99, 2008, 875-881
- ㉔ 魚住、日土肥誌、82, 2011, 65-69
- ㉕ Watanabe ら、New Phytologist, 174, 2007, 516-523
- ㉖ White ら、New Phytologist, 147, 2000, 241-256
- ㉗ Xu ら、Soil Sci. Soc. Am. J., 54, 1990, 1596-1601
- ㉘ 山上ら、平成 20 年度環境科学技術研究所年報、2009, 27-29
- ㉙ 山上ら、平成 21 年度環境科学技術研究所年報、2009, 27-29
- ㉚ 山口ら、農環研報、31, 2012, 75-129
- ㉛ 山口ら、農環研報、34, 2015, 29-32
- ㉜ Zhu ら、J. Exp. Bot., 51, 2000, 1635-1645
- ㉝ Zhu ら、Environ. Exp. Bot., 47, 2002, 173-187

#### 5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 2 件)

- ① 増田泰三、東野仁美、若元美希、砂質と粘土質の圃場でのサツマイモによる土壌施用セシウム(Cs-132.9)の吸収、日本土壌肥料学会 2013 年度名古屋大会、2013 年 9 月 13 日、名古屋大学東山キャンパス(愛知県名古屋市)
- ② 増田 泰三、内田 光洋、金澤 由香、森 祥子、吉田 政孝、砂質と粘土質土壌でのサツマイモのつるぼけ特性を活用した表層施用セシウムの吸収、日本土壌肥料学会 2015 年京都大会、2015 年 9 月 10 日、京都大学吉田キャンパス(京都府京都市)

#### 6. 研究組織

##### (1) 研究代表者

増田 泰三 (MASUDA, Taizo)  
 県立広島大学・生命環境学部・准教授  
 研究者番号：3 0 3 4 7 6 1 1