

福島県南相馬市の海水と農作物の放射能汚染の現状

田 崎 和 江¹⁾、中 野 幹 夫²⁾、霜 島 康 浩³⁾、竹 原 照 明⁴⁾

- 1) 河北潟湖沼研究所
- 2) 福島県南相馬市在住
- 3) 株式会社開発技術コンサルタント
- 4) 金沢医科大学総合医学研究所

Radioactive Contamination of Sea Water and Crops in Minami-Soma,
Fukushima, JapanKazue Tazaki¹⁾, Mikio Nakano²⁾, Yasuhiro Shimojima³⁾, Teruaki Takehara⁴⁾

- 1) Kahokugata Lake Science Institute
- 2) Living in Minami-Soma, Fukushima
- 3) Kaihatsu Gijyutsu Consultant KK
- 4) Medical Research Institute, Kanazawa Medical University

要約

2011年3月11日の東日本大震災の折、福島第一原子力発電所事故による放射性物質が海水汚染や農作物汚染を引き起こした。2015年9月現在、汚染地下水は港湾内外のみならず外洋へも流出している。

一方、原発事故発生から4年半が経過した今日でもまだ福島県南相馬市の農作物は高い放射線量を示している。

本研究では、福島県南相馬市烏崎海岸の海水から製塩した試料に¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ⁴⁰Kが検出され、海洋汚染の実態が明らかになった。また、福島第一原発から25km以内の南相馬市原町区馬場における農家の庭先の自家用農作物のうちユズの皮の総Cs量が1,342Bq/kgと高い値を示した。

試料中の放射性核種¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ⁴⁰Kはゲルマニウム半導体検出器で調べ、主要・微量含有元素は蛍光X線分析で調べた。

キーワード：東日本大震災、原子力発電所事故、海水汚染、農作物汚染

受付日：2015年10月7日 再受付日：12月4日 受理日：12月7日

Abstract

Radioactive contamination of sea water and crops was found in Minami-soma, Fukushima, Japan, 4 years after the Great East Japan Earthquake, on March 11, 2011.

The leak of radioactive ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, ⁴⁰K and traces of some radionuclides which originated from the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant (FDNPP) accident were found in sea water collected from Karasuzaki ocean bathe, Minami-soma, Fukushima, and in salts made by boiling and sunbaked (solar) salts in April, May, and June, 2015. Various crops, such as citrus fruit, tomato, sweet potato, and persimmon collected from a farmers' back yard in Baba, Minami-soma, Fukushima, which is 25km away from FDNPP.

Quantitative analyses using Ge semiconductor detector and Energy-dispersive X-ray fluorescence analyses (ED-XRF) found not only major elements but also radionuclides, such as ¹³⁴Cs, ¹³⁷Cs, and ⁴⁰K without ¹³¹I.

Especially, the crops (skin of Yuzu) still contain high total Cs (1,342 Bq/Kg). The high radioactive dosage was found in polluted sea water and the salts at the Karasuzaki ocean bathe in Fukushima, can be a serious problem for fisheries.

Key words: the Great East Japan Earthquake, the Fukushima Daiichi Nuclear Power Plant accident, polluted sea water, polluted crops

I. はじめに

2011年3月11日に太平洋三陸沖を震源とした震源の深さ24km、地震規模Mw9.0の東北地方太平洋沖地震が発生した。東京電力福島第一原子力発電所（以下福島第一

原発）のある福島県では、原子炉の損傷で広範囲に放射性物質が飛散し、農作物や海洋水産物に被害が及んだ¹⁻⁵⁾。

大震災の津波、福島第一原発事故から4年が経過し、南相馬市の瓦礫は撤去されたが、福島第一原発の汚染水

は止まらず、廃炉作業も難航している。

2015年2月22日、福島第一原発敷地内の排水路で、新たに汚染水が流出し、放射性物質濃度の上昇を伝える警報が鳴った。2月24日になり東京電力は詳しい被害状況を発表した。汚染地下水は港湾内外に拡大し、かつ、外洋へ流出しており、事態の深刻さが明るみになった¹⁻¹¹⁾。建屋周辺の地下水の流れ込みにより、汚染水が増え続け、かつ、タンクからも大量の放射能汚染水が太平洋に流れ込んでいる¹²⁾。

東京電力は2015年3月26日、福島第一原発で放射能に汚染された地下水が湾口に流れ込んでいる影響について、下記のように新聞紙上で述べている。「昨年2014年4月から2015年2月の314日間に、ストロンチウム90などのβ線を出す放射性物質が2兆2000億ベクレル海洋に流出した。同じ期間に建屋周辺の排水路を通じて直接外洋に流出したセシウム134と137はそれぞれ500億ベクレルと1,500億ベクレル、β線を出す放射性物質は2,400億ベクレル流出した。海水の監視地点では、放射性セシウムが1ℓ当たり40～47ベクレル、放射性ストロンチウムなどは140～160ベクレルと海水としてはかなり高い濃度であった」。2015年5月17日現在、今も原発から放射能汚染水は垂れ流しにされたままである⁷⁻¹⁰⁾。

さらに、2015年5月29日には福島第一原発のノッチタンクから3号機タービン建屋へ移送中、高濃度汚染水がホースの穴から漏れ、排水路を通じて湾港へ流出した。湾港内3地点で採取した海水の全β濃度が過去最高値を更新した¹³⁾。放射性物質は海流や波その他の影響で拡散し、濃度は薄まることは考えられるが、セシウムやストロンチウムは海底土に濃縮され、その周辺の海藻や魚への汚染が懸念されている¹⁾。2015年9月8～11日、東京電力は、福島第一原発の排水路から放射性物質を含む雨水が3度にわたり外洋に流出したと発表した。仮に設けられた堤防付近で採取した雨水からβ線などを出す放射性物質(全β)が1リットル当たり650ベクレル検出された¹⁴⁻¹⁶⁾。

一方、原発事故発生から4年が経過した今日でもまだ福島県南相馬市の大気・水・農作物は高い放射線量を示している。しかし、国は帰還促進の動きを強めている。南相馬市の農村地帯は家屋の周囲と用水の除染は行われたものの、周辺の山林、田畑、樹木、農作物についてはまだ手付かずの状態であり、風雨・雪・埃により汚染され続けている。なお、福島第一原発の20キロ圏内および北西方向の地域は避難指示区域に指定されているが、この区域外でも放射線量が高いと判断し、自主的に避難した住民もおり、避難者は福島県内の5,000人を含め、25,000人に上る⁸⁾。

筆者らは2011年5月からこの4年間、福島県南相馬市の住民・農民・地質コンサルタントの共同研究者・支援者とともに、福島県飯館村長泥・白石、南相馬市原町区馬場、南相馬市鹿島区で、空間線量・水質・水田土壌・

小動物の環境調査と実証実験を行って結果を公表してきた¹⁷⁻²⁰⁾。

本研究では、原発汚染水の外洋への流出が大きな問題となっている現在、汚染の現状を把握することがまず第一歩だと考えた。今までに十分に調べられてこなかった南相馬市鹿島区烏崎海岸の海水から製塩した塩の放射性核種を調べることにより海洋汚染の実態を明らかにすることを試みた。

一方、福島県下の(浜通り、中通り、会津)調査対象地域のスーパーマーケット等で市販されている食品中の放射線量については、厚生労働省により報告されているが²¹⁾、農家の庭先の自家用農作物の放射能汚染の現状については調べられてこなかった。そこで、福島第一原発から25km以内の南相馬市原町区馬場における自家用農作物の放射能汚染の現状も調べた。

II. 試料および研究方法

1. 試料

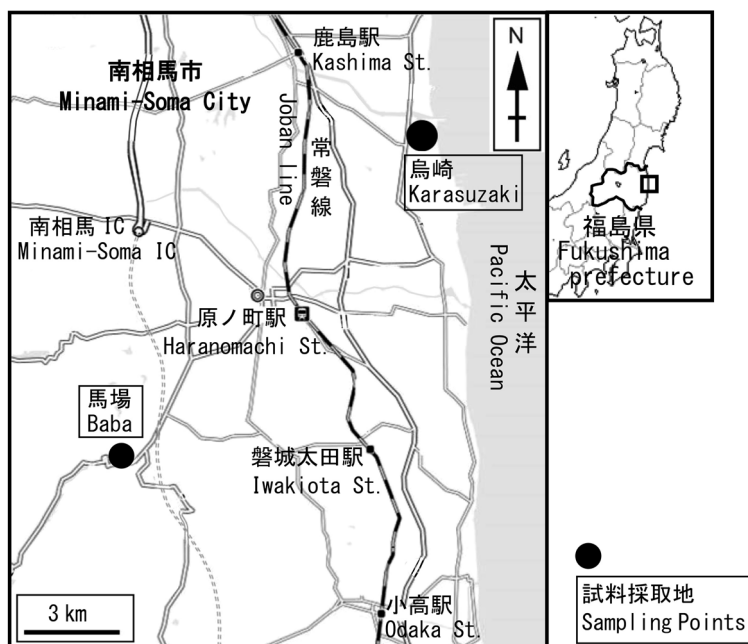
1-1. 塩について

2015年4月22日、5月14日、6月7日に福島県南相馬市鹿島区烏崎海水浴場において3回海水を採取し、煮沸した塩と天日干した塩を作り、それぞれを分析試料とした(表1A、図1)。

- ①海水の採水：浜辺の波うち際で、水深1m程度で、極力海水中に含まれる砂などが無い透明な海水を採取した。
- ②天日干し：砂利を敷き詰めた庭先で約2リットルの容器を3つ用意し、海水を補充しながら製塩した。
煮沸：屋内に設置したアルミ鍋で海水を煮沸させて製塩した。
- ③天日干しは1容器で海水を10回ぐらい補充し、18日間かけて製塩した。この間、晴天が続き、風の吹いた日も多く、そのため天日干しの塩には土誇りを少量含み、うすい茶褐色を呈している。
- ④烏崎漁港横の水田表面の塩とバイオマットの7試料は、2012年9月14-15日に採取し、本研究試料の海水から作った塩と比較検討した。
- ⑤Bahi(タンザニア)の水田土壌の表面から採取した塩(乾季である2011年2月10日に、田崎が採取)およびイスラエル死海の市販の塩の分析も行い、比較検討した(表1B)。なお、タンザニアの中心部の町バヒ(Bahi)一帯は地下にウラン鉱床がひろがっているが、雨季には表面が水田になり、乾季になると水田土壌の表面が乾燥して、塩が天日干しのように噴出してくる。その地下一帯がウラン鉱床になっているために、その塩は放射能を帯びている¹⁸⁻²⁰⁾。

なお、イスラエルの死海の塩のラベルには「Dead Sea Salt死海の塩；イスラエル産 100g、本品は食用ではありません」と表示されている。

図1 調査地域と試料採取地である福島県南相馬市北部の烏崎海岸と南相馬市原町区馬場の位置



1-2. 農作物について

- ①福島県南相馬市原町区馬場の農家の庭先で作っている野菜類、果物類、山菜類の農作物を2012年、2013年、2014年に1-2回採取して放射能を測定した(図1、表2)。また、参考のために庭先の井戸水も採取して測定した。
- ②特に、放射線量が高かったユズについては、表皮、果肉等に分類し詳細な分析を行うとともに、清浄な愛媛県産と高知県産のものと比較検討した。

2. 研究方法

2-1. 放射線および放射性核種の測定

海水から作った天日干し塩と煮沸した塩の放射性核種は、 γ 線スペクトルメータ(ゲルマニウム半導体検出器)、GC2520-7500SL-2002CSL(CANBERRA社製)を用いて、2ヶ所の測定機関において、ヨウ素131、セシウム134、セシウム137、カリウム40の4核種について2015年5月8日に測定を行った(表1 A)。比較のための烏崎漁港横の水田表面の塩や市販のイスラエル死海の塩も同じ方法で測定した。塩の質量約215g、密度0.429g/cm³、900mlのマリネリ容器に500ml充填し、計測時間1800秒、移動平均処理、10ch(20keV)、BG計測時間3600秒、減衰補正なし、質量補正あり、ボード温度20℃、結晶温度22.1℃、高圧726V、ファインゲイン0.994、温度補正した条件下で、結晶を用いて検出濃度計測結果を算出した。井戸水の測定も同様の方法で行った。

農作物のセシウム134、セシウム137は、ゲルマニウム半導体検出器(GEM20P4-70)および、NaI(Tl)シンチレーション検出器(CAN-OSP-NAI)、または

(AT1320C)を用いて、2012年5月1日、7月13日、2013年1月22日、7月16日、11月12日、12月4日、2014年7月30日、9月8日、11月11日にそれぞれの測定機関で測定した(表2)。福島県の農作物のうち、特に、ユズと夏みかんについては、全体のみでなく、可食・果肉部分、皮・種を分離して、ヨウ素131、セシウム134、セシウム137、カリウム40の4核種について、CAMBERRA社製ゲルマニウム半導体検出器(7500SL)、および、Polimaster社製超高感度CsIシンチレーター、食品用ベクレルモニター(PM1704)を用いて2013年2月23日に測定を行った(表3)。また、比較のために愛媛県産みかんと高知県産ユズについても同様に測定を行った。

2-2. エネルギー分散型蛍光X線分析法による化学組成分析

海水を煮沸した塩と天日干しした塩の化学組成分析には、エネルギー分散型蛍光X線分析装置(日本電子製JSM-3201、Rh-K α 線源)を用いた(表4、図2)。試料は乾燥させた後、乳鉢を用いて粉碎し、薄膜(HORIBA社製Cell Window)の上に設置し、加速電圧30kV、真空雰囲気中で定性分析および半定量分析を行った。この分析法は主に主要化学組成の分析に用いたが、微量成分についてはエネルギー分散型・走査型電子顕微鏡を用いた。

2-3. 銻物の同定

海水を煮沸または天日干しした塩の銻物組成は、X線粉末回折分析を行った。水田表面から採取したバイオマット試料は表面と裏面とに分け、メノウ乳鉢で粉末にした後ガラス板に詰め、X線粉末回折分析を行い、含有

する岩塩（ハライト）を同定した。分析には理学電機製RINT2200型X線回折装置を使用し、電圧40kV、電流30mAで測定した。

Ⅲ. 結果

1. 空間線量

南相馬市北部の烏崎漁港、烏崎水田、烏崎海水浴場の3地点における、2012年9月14日の空間線量は0.27～0.59 μ Sv/hであり、相馬市烏崎の水田表層の白色バイオマット上の空間線量は0.59～0.65 μ Sv/hと高い値を示した。白色バイオマットの線量は表面が1.05 μ Sv/hと高く、裏面は0.48 μ Sv/hと半分以下であった。なお、南相馬市原町区馬場の2012年9月16日の空間線量は1.5～2.0 μ Sv/hと非常に高い値であった。

2. 福島県南相馬市烏崎海水浴場の海水と塩の放射性核種

2015年4月22日に海水を採取し、ただちに煮沸または天日干した塩について2015年5月8日に放射性核種の測定を行った（表1A）。海水の状態ではヨウ素131、セシウム134、セシウム137、カリウム40ともに不検出であった。天日干しの塩と煮沸による塩はヨウ素131がともに不検出、セシウム134が8.3と7.8Bq/Kg、セシウム137が27.4と25.1Bq/Kg、カリウム40が320と260Bq/Kgでいずれも天日干しの塩の方が高い値を示した。これは原発事故からほぼ4年後の値である。なお、カリウムは自然界にも存在しているため、放射性基準には規定されていない。

南相馬市烏崎の津波を受け、その後放置されたまま干上がり、水田表面には厚さ数ミリの白色バイオマットが形成された。そのバイオマットを2012年9月15日（原発事故から1年半後）に測定したところ、ヨウ素131が不検出、セシウム134が1,900～19,000Bq/Kg、セシウム137が4,000～27,000Bq/Kg、カリウム40が不検出～460Bq/Kgでいずれも非常に高い値を示した。

3. エネルギー分散型・蛍光X線定性分析

福島県南相馬市の烏崎海水浴場の海水を煮沸して作った塩、天日干しの塩、タンザニアの水田塩の蛍光X線分析のチャートを図2に示した。塩素Cl-KAのX線強度はx800、イオウS-KAはx300、ナトリウムNa-KAはx200倍を示しており、主要元素といえる。下段にはx10倍のストロンチウムや臭素の微量含有元素が認められる。同様に天日干した塩のX線強度も塩素Cl-KAはx800、イオウS-KAはx400、ナトリウムNa-KAはいずれもx100、マグネシウムMg-KAはx100倍なので主要元素と言えらる。また、下段にはx10倍のストロンチウムや臭素の微量含有元素が認められる（図2）。これらのX線強度を質量%で表2に示した。煮沸した塩と天日干した塩とではナトリウム（24%と20.3%）とマグネシウム（9.58%と

11.5%）で差が認められた。

4. X線粉末回折分析

福島県南相馬市の烏崎海水浴場の海水を煮沸して作った塩のX線粉末回折分析の結果はいずれも2.82Å、1.99Å、1.63Åの岩塩（ハライト）の反射が顕著に認められる。烏崎の水田土壌の白色バイオマットの最表面のX線粉末回折分析では、15°～30°に弱い反射が見られ、多量の非晶質物質と有機物の存在を示した。また、7.61Å、4.28Å、3.08Å、2.87Å、2.68Åの石膏の反射、2.82Å、1.99Å、1.63Åの岩塩の反射、および3.35Åの石英の反射が確認された。

5. 福島県南相馬市原町区馬場における農作物の放射性核種

福島県南相馬市原町区馬場の農家の庭先で収穫した農作物および井戸水のセシウム134とセシウム137の検査結果を表3に示した。なお、測定結果は2012年5月から2014年11月にわたっている。なお、異なる測定機関の測定器を使用した場合も明記している。トマト、沢庵（塩漬けた大根）、野沢菜、カボチャはいずれも放射性核種は不検出であった。しかし、セシウムの合計がタラの芽（171.2Bq/Kg）およびユズ（150.2～191.5Bq/Kg）が高い値を示し、サツマイモ（9.64Bq/Kg）、柿（23.6Bq/Kg）、みょうが（12.4Bq/Kg）にも放射性核種が検出した。ユズは2013年から2014年にかけて、1年でセシウムの合計が40Bq/Kg減少している。なお、農家の庭先にある井戸水の放射性核種はいずれも不検出であった。

高濃度の放射性核種を示した福島県のユズと夏みかんを全部・可食部のみ・果肉部分・皮と種などに分けて、2013年2月23日にヨウ素131、セシウム134、セシウム137、カリウム40を分析した（表3）。ユズの果肉部分と皮・種には、特に高濃度のセシウム134と137が1,211～1,342Bq/Kgが検出し、夏みかんも同様に218～274Bq/Kg検出した。カリウム40はユズでは可食部に206Bq/Kg、夏みかんの皮・種部分には209Bq/Kg検出した。一方、コントロールの愛媛県産みかんと高知県産ユズにはほとんどこれらの放射性核種は認められなかった。

高い放射線量が検出した福島県南相馬市のユズの皮を走査型電子顕微鏡で観察したところ、広い範囲の表面に滑らかな薄膜の付着物が認められ、気孔をうめていた。元素濃度分布図によればカリウムKa1、マグネシウムKa1とKa2、イオウKa1、塩素Ka1などが高濃度に分布していた。

6. エネルギー分散型・走査型電子顕微鏡による天日干し塩の元素濃度分布図

エネルギー分散型・走査型電子顕微鏡で観察すると、煮沸した塩の表面はなめらかで立方体の塩の結晶が顕著であるが大きさは不揃いである。一方、天日干した塩

の表面には大気中から飛来したと思われる粉塵や微生物が多く認められた。

IV. 考察

1. 塩に見られる放射能汚染

本研究において、福島県における海水の汚染を天日干しの塩を作成して、含有放射性核種を測定した。その現状を比較・検討するために、地下にウラン鉱床をもつタンザニア・Bahi (バヒ) の塩を採取して分析を行った。Bahiの塩をGe半導体検出器で分析したところ、ヨウ素131は $9.39 \pm 14.46 \text{ Bq/Kg}$ (SD 19.27 Bq/Kg) 検出したが、セシウム134、セシウム137、カリウム40はいずれも不検出であった (表1 B)。なお、Bahiの水田に形成した塩はイオウ、カルシウム、カリウム、リンが本研究の福島産の塩と比べて少なく、塩素が6%と多かった。Bahiの3種類の塩の試料には、ともにストロンチウムが0.02-0.03%含まれていたが、これらはBahiの地下にあるウラン鉱床の影響であると考えられる。

また、イスラエルの死海の塩は、製塩日時は不明であるが、ヨウ素131、セシウム134、セシウム137が不検出であったが、カリウム40のみが $4,323.18 \pm 601.43 \text{ Bq/Kg}$ (SD 558.73 Bq/Kg) と高濃度に検出した (表1 B)。いずれの試料からもセシウム134およびセシウム137の放射性核種が不検出であったことは、今回の福島第一原発事故による影響は認められないことを示している。

さらに、福島の海水から作った天日干しした塩の放射能が高い理由の一つは、大気からの混入物が放射線量を高くしている原因と考えられる²¹⁾。また、海水の状態では放射性核種が検出されないが、製塩されると検出される理由は、濃縮されることによると考えられる。さらに、セシウムは塩素と結びつきやすく、福島の放射能汚染土壌粒子をCsCl溶液で反応させると、たった1日で粘土粒子にセシウムが吸着することが実験で明らかにされている²⁴⁾。

今後、海上に漂う塵および海底堆積物と放射性核種との挙動および固定のメカニズムを地球規模で明らかにする研究が必要である。これらの研究は漁業関連業界にかかわる死活問題であるのみならず人類全体の問題である。

2. 農作物に見られる放射能汚染

厚生労働省による食品基準値はセシウム134+137が 100 Bq/Kg 以下であり、井戸水の規定基準は 10 Bq/Kg 以下である²²⁾。乳幼児はこれらの半分以下に規定されている。過去4回公表された食品中の放射性セシウム、ストロンチウム、プルトニウムの調査結果は、マーケットバスケット調査方式によるもので、小売店などから購入した食品である。調査結果はいずれも低値であり、福島第一原発事故以前の検出濃度の範囲以内であった²²⁾。この 100 Bq/Kg というのは、非常に低い数字で健康影響を懸

念するレベルではないが、検査していない野生・自生の食材や放射性セシウムが移行しやすい野生きのこの摂取を確認して食材を見分ければ、内部被ばくを低く抑える工夫ができる²³⁾。

本研究による福島県南相馬市馬場における野菜類と山菜類の測定結果は、ユズとタラの芽を除く野菜類のほとんどが基準値 (100 Bq/Kg) 以下であったが、南相馬農地再生協議会における山菜類の分析結果は66~75%ほど基準値を超過していた²¹⁾。この原因は、原発事故から5年になろうとしているが、福島県南相馬市の広大な山林や山奥の農業用貯水池の放射能除染作業は手つかずのままであることに起因する。

3. 生活環境の安全性

原発事故から4年以上も経過しながら、未だに元の居住地に戻れないでいる人々が沢山残されている。原発事故による放射能汚染によって、これらの住民の安全と安心が大きくそこなわれているからである。帰還困難区域を除いた避難解除準備区域と居住制限区域を2017年2月までに解除する方針が出された。避難指示解除が進められている今日、周囲の生活環境は安全・安心とはいええず、まだ整っていない²⁵⁾。さらに、労働不能損害賠償金は2015年2月を持って打ち切り、営業損害賠償金は2017年2月までに、精神的損害賠償金は2018年2月までに打ち切る方針である。一方では、避難区域外からのいわゆる「自主避難者」が帰らざるを得ないようにする住宅借り上げ補助を打ち切る方針である²⁶⁾。

原発事故で福島県内外に自主避難した住民が帰還するにあたり、生活環境全体の放射線量の安心・安全は、主観的なものだけでなく、科学的根拠に基づいて客観的に保証されるべきである。現地での放射能汚染の現状を詳細に明らかにする分析データの公表が第一歩である。日常生活に欠かせない商業施設、医療や福祉施設が整わない限り、帰還を急がせ賠償を打ち切ることがあってはならない。

V. 結語

本研究では、福島第一原発から外洋に放出した汚染水の現状を調べるために、2015年4月、5月、6月に福島県南相馬市鹿島区烏崎海水浴場の海水を採取し、煮沸して得た塩と天日干しの塩について放射性核種の分析を行ったところ、セシウム134、セシウム137、カリウム40が検出された。また、烏崎漁港横の水田土壌表面の白色バイオマット中に形成した岩塩と石膏についても分析を行った結果、高濃度のセシウムとカリウムが認められた。

一方、2012年から福島県南相馬市原町区馬場の農家の庭先で栽培されていた野菜や果物についても分析を行い、タラの芽とユズが放射能上限値 100 Bq/Kg を超える値を検出した。特に、ユズの皮の部分には多量のセシウ

ムが認められた。井戸水には放射性核種は未検出であった。

今後、原発事故で福島県内外に自主避難した住民が帰還するにあたり、生活環境全体に不安を感じないような対策と生活に根ざした分析データの公表と蓄積が必要である。

謝辞

本研究を行うに際し、オフィス和蔵の片山雄介氏には多大のご協力・ご支援を頂いた。塩見敦氏には柑橘類の詳細な分析で協力頂いた。また、エネルギー分散型蛍光X線分析法による化学組成分析では、大和環境分析センターにお世話になった。さらに、福島県南相馬市の放射能測定センターには塩や農作物の分析でお世話になり、南相馬農地再生協議会の小林岳紀氏に有益なご助言と参考資料を頂いた。Ms. Keely Brandon (Okinawa Institute of Science and Technology Graduate University) および、大阪河崎リハビリテーション大学の田崎史江氏には論文を読んでいただき、有益なご助言を頂いた。図表の作成には田崎広野氏にお世話になった。以上の皆様方に心から感謝申し上げます。

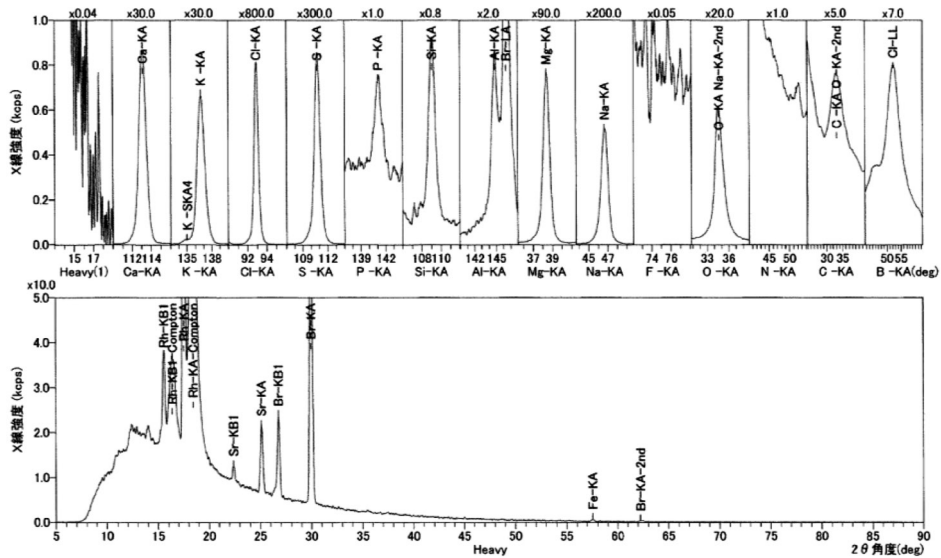
引用文献

- 1) 阿部一理, 堀田忠弘. 放射能汚染から命を守る最強の知恵. (株)コスモトウワン, 2011; 149p.
- 2) 保高徹生. 放射性物質の土壤中での挙動及び農作物への影響: 対策の整理と課題. 日本地質学会北陸支部平成23年度研究発表会・講演会, 2012; 講演要旨13.
- 3) Burgess S., Li X. and Holl J. High spatial resolution energy dispersive X-ray spectrometry in the SEM and the detection of light elements including lithium. *Microscopy and Analysis*, 2013; 27: S8-S12.
- 4) 千葉茂樹. 福島原発事故に伴う福島県の放射能汚染; 汚染地域の住民から見た汚染の実態その2. 日本地質学会News, 2013; 16: 8-9.
- 5) 落合栄一郎. 放射能と人体: 細胞・分子レベルからみた放射線被曝. (株)講談社, 2014; 310p.
- 6) 柴崎直明. 福島第一原発の汚染水問題—その地質学的背景と課題—. *地球科学*. 2015; 69: 267-282.
- 7) 柴崎直明. 福島第一原発の放射性物質による汚染水の問題について. *月刊全労連*. 2014; 209: 24-35.
- 8) 汚染水処理対策委員会. サブグループ①「地下水・雨水等の挙動等の把握・可視化」中間報告. 資料2-1. 汚染水処理対策委員会 (第9回). 2013年11月15日. 経済産業省. http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/13115/13115_01d.pdf (参照2015.5.10).
- 9) 東京電力. タービン建屋東側における地下水および海水中の放射性物質濃度の状況と対策. 資料2. 特定原子力施設監視・評価検討会汚染水対策検討ワーキンググループ (第3回). 2013年8月21日. 東京電力株式会社. http://www.tepco.co.jp/nu/fukushima-np/handouts/2013/images/handouts_130821_10-j.pdf (参照2015.5.10).
- 10) 東京電力. タービン建屋東側における地下水及び海水中の放射性物質濃度上昇事象に関する調査・検討状況概要 (参考資料). 資料7. 汚染水処理対策委員会 (第6回). 2013年9月13日. 経済通産省. http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/13091/130913_01j.pdf (参照2015.5.10).
- 11) 東京電力. 汚染水に関わる現場進捗状況. 資料1-1. 廃炉・汚染水対策現地調整会議 (第9回). 経済通産省. 2014年5月19日. 東京電力株式会社. http://www.meti.go.jp/earthquake/nuclear/pdf/140519/140519_01c.pdf (参照2015.5.10).
- 12) 西尾 漠. 原子力・核・放射線事故の世界史. セツ森書館. 2015. 330p.
- 13) 中村敏夫. 移送中の高濃度汚染水が漏れ港湾へ. 原発問題住民運動全国連絡センター. げんぱつ, 第316. 2015年7月25日.
- 14) 末永和幸. 福島第一原発の汚染水対策における地下水バイパスへの疑問. *地球科学*. 2015; 69: 283-288.
- 15) 青山寿敏. 福島第一原発の汚染水問題. 調査と情報. 国立国会図書館. 2015; 839: 1-13.
- 16) 縄田康光. 増加し続ける汚染水—事故後3年余が経過した東京電力福島第一原発—. *立法と調査*. 2014; 353: 37-46.
- 17) 田崎和江. 微生物を生かした放射性物質汚染土壌処理技術開発の可能性. 齊藤裕勝編, 東日本大震災後の放射性物質汚染対策, 株式会社エヌ・ティ・エス, 2012, 120-136.
- 18) Tazaki K; Clays, micro-organisms, and biomineralization. In: Bergaya, F, and Lagaly, G. (Eds.) *Handbook of Clay Science Volume 5, Second edition*, Elsevier, 2013, 613-653.
- 19) Cygan R T and Tazaki K; Toward understanding interaction of kaolin minerals in the environment. *Kaolin issue, Elements*, 2014; 10: 195-200.
- 20) Tazaki K. Takehara T. Ishigaki Y., et al.; SEM-EDX observation of Diatomaceous Earth at radioactive paddy soils in Fukushima, Japan. In: *GEO-THERAPY, Innovative methods of soil fertility restoration, carbon sequestration, and reversing CO₂ increase*. Ed. by Tomas J. Goreau, Ronal W. Larson, Joanna Campe, 2015, 521-544.
- 21) 小林岳紀. 野菜類と山菜類の放射線測定結果に基づく推論. 南相馬農地再生協議会. 資料, 2014, 1-4.
- 22) 厚生労働省HP. 食品中の放射性セシウムから受ける放射線量の調査結果1 (2014年2・3月調査).

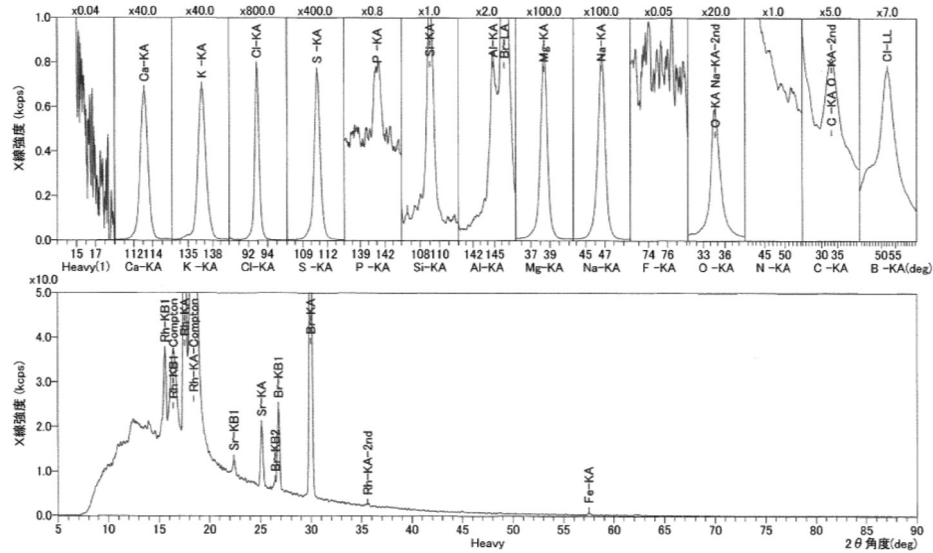
- <http://www.mhlw.go.jp/file/04-Houdouhappyou-11134000-Shokuhinanzenbu-Kijunshinsaka/20141201.pdf>
- 23) NPO法人あいんしゅたいん. ホールボディカウンター検査とは? 検査結果の理解のために. 2013, 16p.
- 24) Fujii E. Tamura K. Hatta T., et al.; Cesium sorption to paddy soil in Fukushima. Clay Science, 2015 ; 19 : 17-22.
- 25) 田崎和江・白藤せいこ. 安心・安全に暮らせるか? : 福島を除染と仮説住宅の実状. 日本セーフティプロモーション学会誌, 2015 ; 8(1) : 39-46.
- 26) 中村敏夫. 帰還を急がせるための理不尽な賠償打ち切り. げんぱつ, 原発住民運動情報, 2015 ; 317 : 2.

図2 福島の煮沸した塩、天日干した塩、タンザニアの水田塩のエネルギー分散型蛍光X線スペクトル

福島の煮沸塩



福島天日塩



タンザニア水田塩

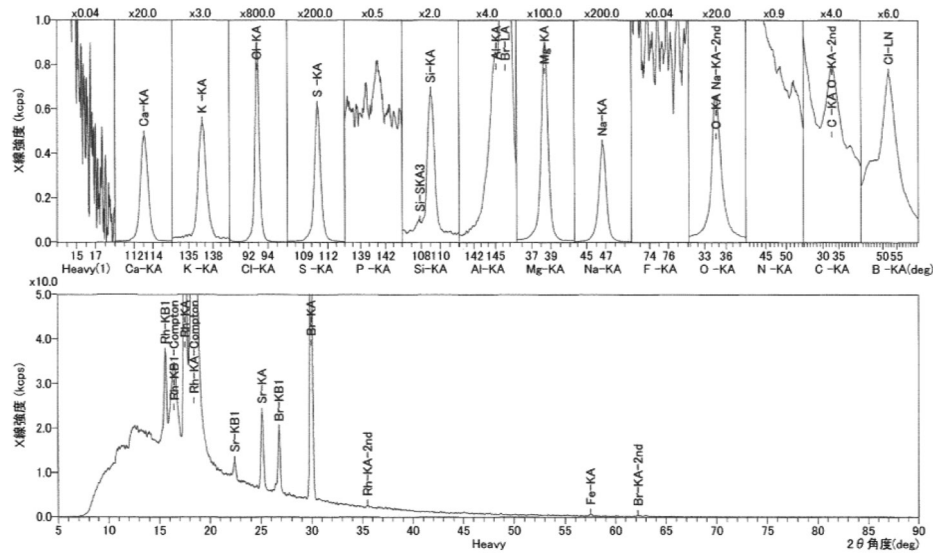


表1 塩の放射性核種分析結果

A：福島県南相馬市烏崎海岸から採取した海水を煮沸して作った塩と天日干しした塩

試料		測定機関	測定日	測定結果 (Bq/Kg)			
採取日	試料名			I-131 下限値	Cs-134 下限値	Cs-137 下限値	K-40 下限値
2015 4/22	海水	放射能測定センター・南相馬ACM	4/23	N.D. 1.94	N.D. 2.43	N.D. 2.08	N.D. 39.83
	煮沸による製塩	放射能測定センター・南相馬 (ACM)	6/12	4.92 ± 12.86 16.49	0.02 ± 12.25 16.42	19.16 ± 16.72 20.36	315.20 ± 230.62 313.76
		大和環境分析センター (ACI)	5/8	N.D. 6.9	7.8 6.5	25.1 7.8	260 130
	天日干しによる製塩	放射能測定センター・南相馬 (ACM)	6/12	N.D. 8.10	4.75 ± 6.77 8.06	31.77 ± 10.89 10.28	369.00 ± 111.54 154.11
		大和環境分析センター (ACI)	5/8	N.D. 4.9	8.3 7.2	27.4 6.4	320 100
2015 5/14	海水	放射能測定センター・南相馬 (ACM)	6/5	N.D. 1.86	N.D. 2.33	N.D. 2.00	N.D. 40.64
	煮沸による製塩	ACM	6/9	N.D. 24.40	N.D. 28.82	56.54 26.06	N.D. 523.31
	天日干しによる製塩	ACM	6/5	N.D. 11.53	25.30 13.55	106.25 12.47	304.20 249.66
2015 6/7	海水	ACM	6/9	N.D. 1.86	N.D. 2.33	N.D. 2.00	N.D. 40.63
	煮沸による製塩	ACM	6/9	N.D. 10.05	N.D. 11.86	14.22 10.73	267.14 215.42
	天日干しによる製塩	ACM	6/12	N.D. 15.42	2.30 ± 13.94 16.86	28.30 ± 20.60 19.94	344.35 ± 234.24 292.30
2012 7/3	烏崎漁港水田表面の塩	ACI*	9/15	N.D.	1900 - 19,000	4000 - 27,000	N.D. - 460

*田崎ほか Tazaki et al., 2014

B：Bahi (タンザニア) の水田土壌に形成した塩および市販のイスラエル死海の塩

試料	測定機関	測定日	測定結果 (Bq/Kg)			
			I-131 下限値	Cs-134 下限値	Cs-137 下限値	K-40 下限値
Bahi (タンザニア) の水田表面の塩	ACM	2015.6/12	9.39 ± 14.46 19.27	N.D. 19.18	N.D. 24.34	N.D. 366.67
	ACI	5/8	N.D. 5.7	N.D. 8.1	N.D. 8.2	N.D. 130
死海 (イスラエル) の塩	ACM	6/12	N.D. 29.36	N.D. 29.51	N.D. 37.09	4323.18 ± 601.43 558.73
	ACI	5/8	N.D. 8.3	N.D. 12	N.D. 12	4300 180

表2 福島県南相馬市原町区馬場の農家で栽培した農作物の放射性核種分析

試料名	測定機関	測定日	測定器	測定結果 (Bq/Kg)			試料採集地	備考
				セシウム Cs134	セシウム Cs137	セシウム 合計*		
たらの芽	石神生涯学習センター	2012.5.1	NaI (TI) シンチレーション検出器 (CAN-OSP-NAI)	72.6/32.9	98.6/16.6	171.2	南相馬市原町区馬場	野菜等の放射能上限値 100 Bq/Kg
トマト	石神生涯学習センター	2012.7.13	NaI (TI) シンチレーション検出器 (CAN-OSP-NAI)	ND/9.83	ND/9.83	ND	馬場の畑ビニールハウス内	野菜等の放射能上限値 100 Bq/Kg
サツマイモ	石神生涯学習センター	2012.7.13	NaI (TI) シンチレーション検出器 (CAN-OSP-NAI)	ND/9.79	9.64/8.51	9.64	馬場の自宅庭先	野菜等の放射能上限値 100 Bq/Kg
沢庵	石神生涯学習センター	2013.1.22	NaI (TI) シンチレーション検出器 (CAN-OSP-NAI)	ND/8.81	ND/7.73	ND	馬場の庭先大根畑	野菜等の放射能上限値 100 Bq/Kg
井戸水	嵯江東微生物研究所	2013.7.16	Ge半導体検出器 GEM20P4-70	ND/0.6	ND/0.7	ND	馬場の敷地内	飲料水は10 Bq/Kg以下 井戸の深さ7~8m;
井戸水	嵯江東微生物研究所	2014.7.30	Ge半導体検出器	ND/0.9	ND/1.0	ND	馬場の敷地内	飲料水は10 Bq/Kg以下 井戸の深さ7~8m;
野沢菜	石神生涯学習センター	2013.11.12	NaI (TI) シンチレーション検出器 (CAN-OSP-NAI)	ND/9.63	ND/8.53	ND	馬場の自宅庭先畑	放射能上限値 <100 Bq/Kg
ゆず	石神生涯学習センター	2013.11.12	NaI (TI) シンチレーション検出器 (CAN-OSP-NAI)	57.5/5.23	134/5.72	191.5	馬場の自宅庭先	放射能上限値 <100 Bq/Kg
ゆず	ひばり生涯学習センター	2014.11.11	NaI (TI) シンチレーション検出器 (AFT-NDA2)	47.9/8.4	102.3/6.0	150.2	馬場の自宅庭先	放射能上限値 <100 Bq/Kg
柿	石神生涯学習センター	2013.12.4	NaI (TI) シンチレーション検出器 (CAN-OSP-NAI)	5.86/4.76	17.7/4.59	23.6	馬場の自宅庭先	放射能上限値 <100 Bq/Kg
かぼちゃ	石神生涯学習センター	2014.9.8	NaI (TI) シンチレーション検出器 (AT1320C)	ND/6.82	ND/7.75	ND	馬場の自宅庭先畑	放射能上限値 <100 Bq/Kg
みょうが	石神生涯学習センター	2014.9.8	NaI (TI) シンチレーション検出器 (AT1320C)	ND/9.93	12.4/10.3	12.4	馬場の自宅庭先	放射能上限値 <100 Bq/Kg
イシクラゲ	大和環境分析センター	2013.10.19	Ge半導体検出器	1,000,000	2,200,000	カリウム40 ND	福島県飯館村白石	空間線量 15,000 - 17,000cpm
バイオマット	大和環境分析センター	2013.10.20.	Ge半導体検出器	400	890	カリウム40 140	南相馬市烏崎漁港	空間線量 120 - 140cpm

ND；未検出，ND/9.79；分母の数字は検出限界値 *；田崎和江・白藤せいこ（2015）

表3 福島県南相馬市原町区馬場の柑橘類の部分的な放射性核種分析

試料	測定部分	放射性核種 Bq/Kg				測定時間, 測定方法		スペクトルグラフ
		I-131	Cs-134	Cs-137	K-40	(秒)	測定方法	
ユズ	全部	ND	262.3	505	ND	300	GM	Sm-153; 341cps Ru-97; 117cps
	可食部のみ	ND	191	376.5	206.3	4,000	GM	Br-82, As-76, I-130, I-133, Ba-140, Sb-122; 109cps
	果肉部分		1211 ± 056		1 ± 593	7,258	CsI	
	皮・種など		1342 ± 615		1 ± 512	92	CsI	
夏みかん	全部	ND	54	110.7	ND	300	GM	Zn-69m; 16cps Te-132, Ru-97, 24cps
	可食部のみ	ND	39.6	80.7	LTD	4,000	GM	Hf-180, Ru-97, Te-132, Ge-77, Xe-133m; 78cps
	果肉部分		218 ± 131		1 ± 877	4,151	CsI	
	皮・種など		274 ± 130		209 ± 378	4,506	CsI	
愛媛県産みかん	全部	ND	2 ± 4		1 ± 49	172,800	CsI	Ag-110m, Ag-110, I-130, I-132, 586cps
高知県安芸市のユズ	果肉部分	ND	3 ± 8		1 ± 89	187,485	CsI	
	皮・種など	ND	1 ± 6		1 ± 69	86,574	CsI	

ND；未検出 LTD；定量限界未満

2013.2.23. 測定

測定方法

※ GM=CAMBERRA社製 ゲルマニウム半導体検出器 (7500SL)

※ CsI=Polimaster社製 超高感度 CsI シンチレーター 食品用ベクレルモニター (PM1704)

表4 塩のエネルギー分散型蛍光X線分析結果 (南相馬市とBahiの比較)

試料名	成分名	分析値 mass %	検出限界	分析線	X線強度	規格化前
福島 煮沸塩	Cl	54.5	0.03424	Cl-KA	632.8742	48.6327
	Na	24	0.02431	Na-KA	102.1327	21.3936
	Mg	9.58	0.01434	Mg-KA	67.658	8.5497
	S	4.31	0.00276	S-KA	254.4654	3.8441
	C	2.97	0.22816	C-KA	1.613	2.6482
	Ca	2.34	0.00535	Ca-KA	25.6362	2.0871
	K	2.04	0.00531	K-KA	19.7577	1.8243
	Br	0.206	0.00122	Br-KA	79.3581	0.1836
	Al	0.0506	0.00383	Al-KA	1.3745	0.0452
	Si	0.028	0.00151	Si-KA	0.6598	0.025
	Sr	0.0259	0.00102	Sr-KA	14.9471	0.0231
	Fe	0.0117	0.00262	Fe-KA	0.503	0.0105
	P	0.0065	0.00102	P-KA	0.4252	0.0058
福島 天日塩	Cl	53.9	0.03379	Cl-KA	602.8263	46.884
	Na	20.3	0.02305	Na-KA	82.8273	17.6695
	Mg	11.5	0.01404	Mg-KA	83.1244	9.9657
	S	5.18	0.00289	S-KA	298.0476	4.5087
	C	3.42	0.23524	C-KA	1.8262	2.9728
	Ca	2.51	0.00582	Ca-KA	26.4296	2.184
	K	2.87	0.0089	K-KA	27.0219	2.5002
	Br	0.224	0.00122	Br-KA	82.5715	0.1945
	Al	0.045	0.004	Al-KA	1.2628	0.0392
	Si	0.0436	0.00145	Si-KA	1.0083	0.0379
	Sr	0.0241	0.00105	Sr-KA	13.3155	0.021
	Fe	0.0123	0.00266	Fe-KA	0.5047	0.0107
	P	0.0041	0.00105	P-KA	0.2633	0.0036
タンザニア バヒ水田塩	Cl	60.6	0.03517	Cl-KA	680.0122	51.7195
	Na	21	0.0233	Na-KA	86.8695	17.9131
	Mg	12.3	0.01494	Mg-KA	87.8816	10.4572
	S	2.61	0.00217	S-KA	120.7209	2.2261
	C	2.61	0.23797	C-KA	1.264	2.2261
	Ca	0.914	0.00422	Ca-KA	9.4283	0.7803
	K	0.176	0.00374	K-KA	1.5454	2.5002
	Br	0.181	0.00119	Br-KA	67.2617	0.1547
	Al	0.0893	0.00624	Al-KA	2.1028	0.0762
	Si	0.0549	0.00146	Si-KA	1.2411	0.0469
	Sr	0.0305	0.00098	Sr-KA	16.9889	0.0261
	Fe	0.01	0.00272	Fe-KA	0.4128	0.0086
	P	tr.	tr.	P-KA	tr.	tr.

tr.; trace