

環境放射線等調査計画の見直しに伴う

環境試料核種分析の事前調査と考察

影浦裕 菰田健太郎 青木平八郎 安永章二 二宮久

1. はじめに

平成 23 年 3 月 11 日の東北地方太平洋沖地震に端を発して発生した東京電力(株)福島第一原子力発電所事故(以下「東電事故」という。)を踏まえ、本県では、監視調査計画の見直しを図ってきたところである。この見直しに係る事前調査計画案は、平成 24 年 9 月 4 日に開催された、伊方原子力発電所環境安全管理委員会技術専門部会において了承を受けており、これに基づき、放射線測定及び放射能分析の追加調査が開始された。

本報告は、このうち、放射能測定の結果と考察をまとめたものである。放射能調査については、調査範囲をこれまでの発電所周辺から 30km 圏に拡大し、生産・漁獲量、摂取量、放射性物質の濃縮特性を考慮して、新たな分析試料を決定した。この中には、これまで本県では分析を実施していない試料も含まれており、平成 25 年度から実施予定の本調査の参考に供する。同時に、自治体・研究機関などが公表している核種分析の報告を踏まえ、試料ごとの特徴や今後の注意点等を考察する。

2. 方法

文部科学省の放射能測定法シリーズ(以下「文科省マニュアル」)に準じて、試料の採取及び灰化処理を行い、U8容器に試料

愛媛県原子力センター 八幡浜市保内町宮内 1-485-1

を詰めて、次のゲルマニウム半導体検出器を用いて γ 線スペクトロメトリにより測定した。測定時間は、通常のモニタリングと同様に 80000 秒とした。ただし、試料調製等で特筆する点があれば、以下の項で解説する。

- ・CANBERRA GC-4018
- ・ORTEC GEM-40180
- ・ORTEC GEM40-S×2 台

2.1. 白菜

本県では、過去に白菜(伊方町)を分析していたが、昭和 61 年度を最後に実施されていない。その後は、野菜としてほうれん草、高菜などを分析している。事前調査では、主に生産量を考慮し、大洲市の 1 地点から試料を採取した。

2.2. しいたけ

しいたけを含むきのこ類は、継続的な環境モニタリングの報告が極めて少ない。しかし、本県における生産量と主に放射性セシウムの濃縮特性を考慮し、事前調査では、大洲市の 1 地点から試料を採取した。調製・測定方法については、文科省マニュアルの葉菜類の項に準じたが、測定部位は、一般に食用に供される“かさ”とした。

2.3. みかん(可食部及び表皮)

本県では、これまでのモニタリング調査においても、年間 10 地点からみかんを採取し、分析を実施してきたところである。事前調査では、主に生産量を考慮し、八幡浜市の 2

地点と宇和島市の 1 地点から試料を採取した。調製・測定方法はこれまでと同様で、可食部と表皮を分離して処理した。

2.4. 茶(乾燥茶葉)

茶葉の放射能調査は、代表的な茶の生産地を有する原発立地県が実施してきたほか、文部科学省が全国を対象として実施している環境放射能水準調査(以下「水準調査」)においても、乾燥茶葉が実施品目となっている。事前調査では、生産量と主に放射性セシウムの濃縮特性を考慮し、西予市から乾燥茶葉を購入し、分析を実施した。加工後の製品を分析したため、他の環境試料とは異なり、厳密な採取地点は特定できない。調製・測定方法については、水準調査の実施要領に準じた。

2.5. 精米

精米は、モニタリング調査で分析を実施している自治体が多く、水準調査においても、対象品目に挙げられている。事前調査では、主に生産量を考慮し、西予市の 1 地点から試料を採取した。

2.6. 牛乳

牛乳は、モニタリング調査で分析を実施している自治体も複数あり、水準調査においても、対象品目に挙げられている。事前調査では、主に生産量と原子力事故発生初期における、放射性ヨウ素の濃縮特性を考慮し、西予市の 1 地点から原乳を採取した。

2.7. あゆ(淡水生物)

これまでの本県のモニタリング調査では、淡水生物の分析が行われておらず、技術専門部会においても、淡水系の試料の追加を指摘されたところである。そこで、生産量を考慮し、事前調査では、大洲市肱川からあゆを採取した。調製・測定方法については文科省マニュアルの魚類の項に準じる

と、頭部・骨・内臓を取り除くこととなるが、処理中に骨を取り除くことが困難であり、頭部や骨も一般に食用に供されることから、砂礫を多く含む内臓のみを取り除き分析を行った。

2.8. 魚類(海産生物)

本県では、これまでのモニタリング調査においても、伊方越沖で魚類の調査を実施してきたところである。事前調査では、主に生産量を考慮し、大洲市沖の 1 地点と宇和島市沖の 1 地点から試料を採取した。調製・測定方法については、文科省マニュアルの魚類の項に準じた。

2.9. たこ(無脊椎動物)

無脊椎動物については、本県では貝類やなまこなどを調査している他、全国では、たこやいかなどの頭足類を分析対象とする自治体もある。事前調査では、広く海産生物の調査拡充の一環として、生産量の多い大洲市沖からたこを採取した。調製・測定方法については、文科省マニュアルの魚類の項に準じ、内臓などは取り除いた。

3. 結果及び考察

各試料の主な放射性核種の測定結果を表 1 に示す。また、図 1 で、セシウム-137 (Cs-137) 濃度について、平成 18~22 年度における各試料の測定結果と比較している(ただし、あゆは実績がないため、淡水魚全体と比較)¹⁾。以下、試料ごとに評価しているが、特に断りのない限り、過去の測定結果は、文部科学省・環境放射能データベースを参照している¹⁾。

3.1. 各試料の分析結果

3.1.1. 白菜

今回の調査では、人工放射性核種は検出されなかった。ただし、各自治体における事故以前の白菜の分析では、まれに、

表 1 主な核種の測定結果

試料名	採取場所	部位	Cs-137	Cs-134	I-131	単位	
白菜	大洲市 五郎	全体	N.D	N.D	N.D	Bq/kg 生	
しいたけ	大洲市 肱川町	かさ	0.100 ±0.0058	0.033 ±0.0055	N.D		
みかん	八幡浜市 真穴	可食部	0.012 ±0.0025	N.D	N.D		
		表皮	0.038 ±0.0080	N.D	N.D		
	八幡浜市 向灘	可食部	0.0090 ±0.0021	N.D	N.D		
		表皮	N.D	N.D	N.D		
	宇和島市 吉田町高光	可食部	N.D	N.D	N.D		
		表皮	N.D	N.D	N.D		
製茶	西予市 宇和町	全体	0.18 ±0.040	N.D	N.D		Bq/kg 乾
精米	西予市 宇和町郷内	全体	N.D	N.D	N.D		Bq/kg 生
牛乳	西予市 宇和町山田	全体	N.D	N.D	N.D	Bq/L	
あゆ	大洲市 肱川	除内臓	0.060 ±0.011	N.D	N.D	Bq/kg 生	
かれい	大洲市 長浜沖	可食部	0.074 ±0.012	N.D	N.D		
かわはぎ	宇和島市 吉田町玉津沖	可食部	0.049 ±0.010	N.D	N.D		
たこ	大洲市 長浜沖	可食部	0.021 ±0.0068	N.D	N.D		

※N.D は定量下限値未満

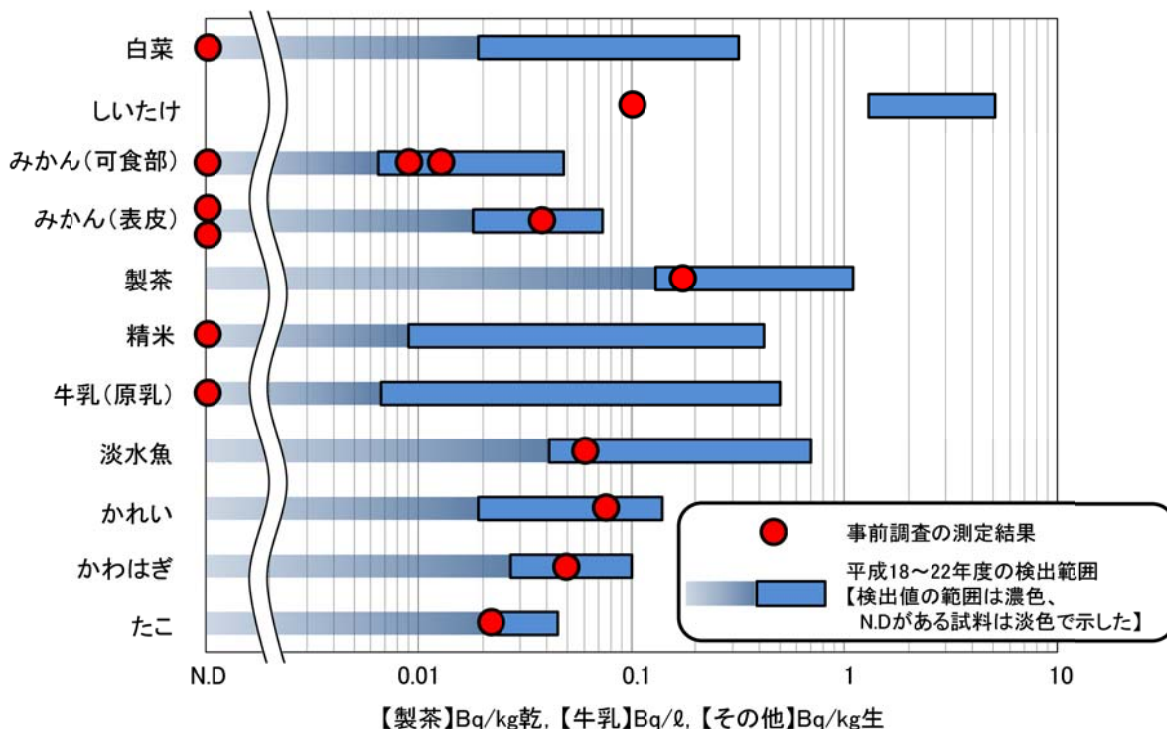


図1 事前調査と過去の測定結果との比較

Cs-137 の検出が報告されている。これは、本県での他の野菜でも見られる傾向であり、今後はデータの蓄積を進め、Cs-137 の検出頻度および濃度を確認していく必要がある。

3.1.2. しいたけ

今回の調査では、Cs-137 とセシウム-134 (Cs-134) が検出された。Cs-134 については、半減期が約 2.1 年であることから、東電事故により放出された核種であると考えられる。また、Cs-137 については、京都府が東電事故以前からモニタリング調査で継続して検出を報告しており、今回の試料についても、過去の大気圏内核実験や原子力施設事故の寄与があるものと考えられる。

ただし、本県で昨年度採取された杉葉の分析結果から、事故で飛散したと推定される Cs-137 と Cs-134 の放射能濃度の比が、事故発生時点に減衰補正すると、ほぼ 1:1

となることが確認されている(図 2)。今回の試料もこれに従うとすると、検出された Cs-137 の 6 割程度が事故に由来すると考えられる。しかし、東電事故以前の状況を正確に把握するのは困難であり、今後のデータを注視する必要がある。

3.1.3 みかん

本県における昨年度のモニタリング結果では、一部の試料から以前より継続して検出されてきた Cs-137 に加え、事故に起因する Cs-134 も検出された。今回の調査では、一部の試料から Cs-137 が検出されたが、近年の測定結果の範囲内であった。また、Cs-134 はすべての試料で検出されなかった。これまでのモニタリング調査では、Cs-137 の検出状況に地域性は見られないため、今回の試料についても断続的に Cs-137 の検出がみられたものと考えられる。

3.1.4. 製茶

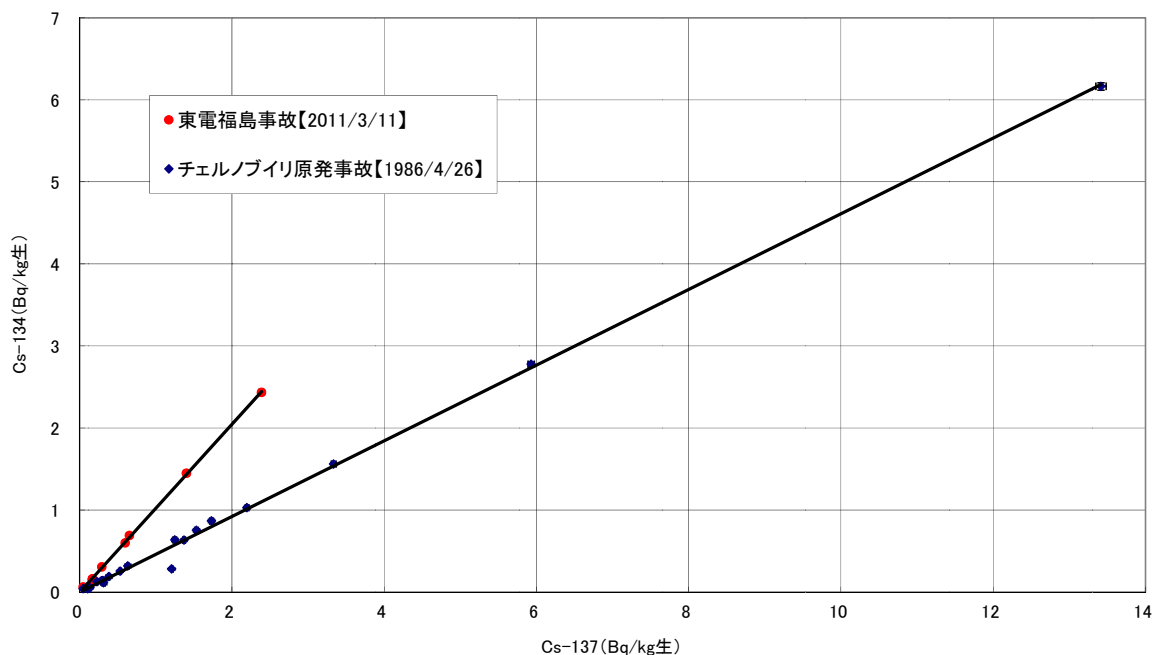


図2 愛媛県で採取された杉葉のCs-137とCs-134の比(事故発生日に減衰補正)

今回の調査では、Cs-137が検出された。参考として、図3に、平成18～22年度における茶のCs-137の測定結果の平均値を府県ごとに示した(未検出は除外)。静岡県、島根県の生茶葉については、荒茶葉が生茶葉に比べ、放射性セシウムが約5倍に濃縮されるとする報告(H23.6:農林水産省)に基づき換算を行なった。

製茶の製造方法や供試量が各府県で異なるため、一概に断定できないが、図3を見ると、測定値が九州南部でやや大きい点以外は、全国で大きな地域差は認められない。本県での測定結果も一般的な数値範囲内にあり、地図上の濃度分布にも矛盾しないので、本県の茶葉にも東電事故以前からCs-137が含まれていたと推定される。ただし、事故がどの程度影響したかは不明である。今後は、Cs-134などの東電事故由来の核種にも注意しつつ、Cs-137の環境動態などを把握することが重要である。

3.1.5. 精米

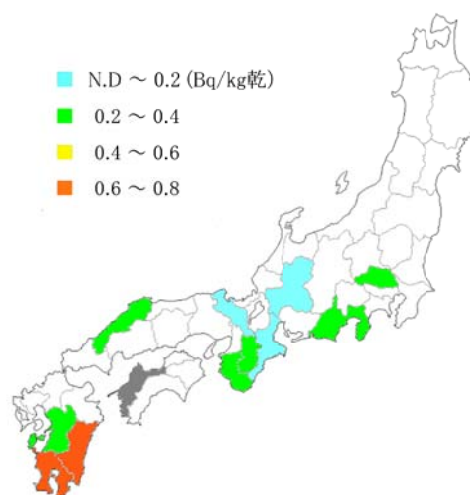


図3 茶のCs-137検出状況(H18～H22)¹⁾
(生茶葉は5倍にして換算)

今回の調査では、人工放射性核種は検出されなかった。ただし、各自治体における事故以前の分析では、まれにCs-137の検出が報告されている。今後はデータの蓄積を進め、Cs-137の検出頻度および濃度を確認してゆく必要がある。

3.1.6. 牛乳

今回の調査では、人工放射性核種は検出されなかった。また、各自治体における

事故以前の分析では、まれに Cs-137 の検出が報告されている。ただ、牛乳については、東電事故での出荷制限等に見られるように、事故発生初期の牧草などを介した放射性ヨウ素の濃縮と、甲状腺被ばくが特に重要視される。食品としての代表性も考慮すれば、牛乳は原子力事故時の重要試料の一つであり、採取体制を確立しておく必要性は高いと考えられる。

3.1.7. あゆ(淡水生物)

今回の調査では、Cs-137 が検出された。これは、近年の本県における海産魚類の測定結果や、他自治体の小型淡水魚(わかさぎ等)の測定結果と同程度であり、東電事故以前から蓄積していたものが主であると考えられる。また、頭部や骨などを試料に加えた影響も、特には見られなかった。今後は、データを蓄積し、Cs-137 の環境動態などを把握することが重要である。

3.1.8. 魚類(海産生物)

今回の調査では、分析した 2 検体から Cs-137 が検出された。これは、近年の海産魚類の測定結果と同程度であり、東電事故以前から蓄積していたものが主であると考えられる。また、採取海域や魚種による蓄積状況の差も特には見られなかった。今後も、Cs-137 の環境動態などを把握するよう努めていく必要がある。

3.1.9. たこ(無脊椎動物)

今回の調査では、Cs-137 が検出された。これは、全国的に検出されている数値と同様であり、福島第一原発からの高濃度汚染水の影響を直接受けていない地域で、たこの放射性セシウム濃度の顕著な増加が報告されていないことも考慮すると、東電事故以前の核実験や原子力事故の影響によるものと推測される。今後は、データを蓄積し、Cs-137 の環境動態などを把握することが

重要である。

3.2. 放射性セシウムの試料への移行経路

3.2.1. 陸上試料

放射性物質の植物への移行については、植物の種類や核種の飛散形態などに影響を受けるため、一概に論じることができないが、放射線医学総合研究所の報告²⁾では、IAEA のレビュー³⁾や独自の研究を基に検討されている。これによると、植物の葉面は負に帯電している場合が多く、ヨウ素のような陰イオンの元素よりも、セシウムなどの陽イオン型を取りやすい元素の方が表面に吸着しやすいとしている。さらに、植物表面に付着したセシウムは、イオンチャンネルなどを通じて内部に進入し、さらに他の部位に移行する経路が示唆されている。一方、土壤に吸着した放射性物質は、土壤中で水溶性の形態になったものが、根から吸収されやすいと考えられる。これについては、一般的な傾向として、土壤が負電荷を帯びているため、陰イオン型を取りやすい元素の方が土壤固相に吸着されにくく、水溶体となり易いとしている。また、植物にとっての必須元素(あるいは必須元素に化学的性質の似る元素)は、土壤に吸着していても供給源となりうると考察している。今回の調査で主に取り上げたセシウムは、土壤固相への吸着は強いと見られるが、必須元素であるカリウムと特性が似ているため、特に肥料の散布が十分でない耕作地では、農産食品への移行が進行するのではないかと考えられる。また、放射性物質が土壤に吸着してから数年間は、比較的植物に吸収されやすい形態で多く存在すると考えられている。

本県の東電事故以前のモニタリング調査で検出された Cs-137 は、過去の核実験などの影響を受けたものであると評価している。

これらは、土壌や樹木から移行したものであると推測でき、数年程度の期間で検出状況が大きく変動するとは考えにくい。一方、直近の事故に由来する放射性セシウムは、上述の考察を踏まえると、年数が経過するごとに土壌から吸収されにくくなり、樹木などの内部でも希釈される可能性がある。

3.2.1.1. しいたけの特性

今回の調査で検出された放射性セシウムは、上述の考察や生育期間を考慮すると、原木に吸収または付着されたものが試料に移行したと推定される。

ただし、きのこ類の放射性セシウムの動態については、特異的な挙動がみられた例がある。チェルノブイリ原発事故(1986年)に係る国際原子力機関(IAEA)の報告書によると、ウクライナの森林で継続してきのこを採取し、Cs-137の濃度を分析した結果が報告されている(図4)⁴⁾。これによると、複数の種において、経年による放射能濃度の著しい減少は見られない。したがって、きのこの生育期間中に、外部(原木・土壌など)との間で、Cs-137の平衡状態が成立している可能性が示唆されている。

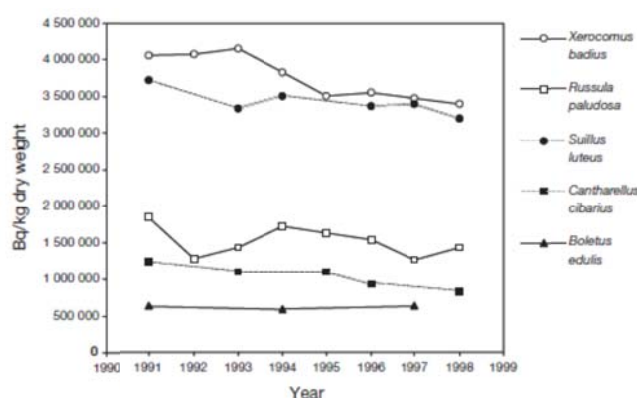


図4 きのこのCs-137の検出状況²⁾
(チェルノブイリ原発の南西約130kmの地点)

3.2.1.2. 茶の吸収経路

今回の調査で検出されたCs-137は、上

述の考察や生育期間を考慮すると、過去の核実験などで飛散したものを茶の木が土壌や葉から吸収、保持しており、それが、採取試料に移行したものと考えるのが妥当である。

なお、東電事故を受けた神奈川県調査では、枝や古葉の放射性セシウムの分布が幹や根に比べて大きく、事故初期においては枝や古葉からの経皮吸収が支配的であると考えられる⁵⁾。

3.2.2. 水産試料

水産の動物試料については、主に水の吸入や食物連鎖による生体濃縮が、放射性セシウム含有の大きな要因であると考えられる。なお、今回調査したあゆはプランクトンや藻、かれいは海底に生息する多毛類(ゴカイなど)、かわはぎは多毛類や貝類など、たこは貝類や甲殻類などを捕食しているとされている。

3.2.2.1. 河川等の汚染(淡水魚類)

東電事故では、福島県の周辺の河川などで採取された淡水魚から、平常値を大幅に超えた放射性セシウムが検出されている⁶⁾。国内の原子力発電所は全て海に面しているため、事故時には排水中の放射性物質が、直接、広範囲に河川を汚染するとは考えにくく、気体状のプルームや降下物が主要な汚染源となると推測される。特に、湖や沼など、水の入れ替えや対流が乏しい地域に飛散した場合、周辺の流域で放射性物質の高濃度での検出が継続する可能性もある。また、東電事故では、平成23年5月ごろに、各地で淡水魚の放射性セシウム濃度の大幅な増加がみられており、放射性物質が比較的短期間で環境試料に移行している点にも注意が必要と思われる。

3.2.2.2. 汚染排水の影響(海産魚類)

東電事故後は、福島県沖などで採取さ

れた魚類から、平常値を大幅に超えた放射性セシウムや放射性ヨウ素が検出されている⁶⁾。また、事故初期においては、イカナゴやシラスなどの小型魚で影響が強く見られた。これは、福島第1原発からの高濃度汚染水を、比較的多く取り込んだためと考えられる。一方で、中～大型魚の放射性セシウム濃度は様々であり、採取海域や魚種などでも大きな特徴は見られない。したがって、これらの魚種では、生育した海域やえさの汚染水に起因する放射能濃度の程度が、試料に強く寄与するのではないかと推測される。

3.2.2.3. 頭足類の Ag-110m の濃縮

東電事故後のモニタリング調査では、たこを含む頭足類の分析において、一部特異的な点がみられた。北海道での平成23年度のモニタリング調査では、頭足類から、Cs-137のほか、Ag-110m(半減期:約250日)が検出された⁷⁾。また、たこが捕食する可能性のある貝類からも、Ag-110mの検出が報告されている(表2)。

海洋拡散シミュレーション(JCOPE2)の結果によると、これらの試料が採取された泊・岩内海域には採取時点において、福島第1原発から放出されたCs-137はほとんど達していないと予測されている⁸⁾。これは、海洋試料のCs-137の検出状況が例年とほぼ同程度である点からも支持される。したがって、Ag-110mは潮流を通じてではなく、大気や降下物を通じて微量が当該地域に到来したと考えるのが自然である。

Ag-110mはさらに、海水やプランクトンを通じて、貝類など重金属を蓄積しやすい生物に濃縮されたと考えられ、これらを捕食する頭足類にも相当量が移行したものと推測できる。北海道では、頭足類を内臓も含めて測定するため、可食部にAg-110mがど

の程度蓄積していたかは不明だが、核種(元素)によっては、採取地点への到達量が微量であっても、食物連鎖下位の生物での濃縮を経て、たこの可食部に移行する可能性が示唆された。特に、福島原発事故のように、比較的遠方で人工放射性核種が放出された場合、条件によっては、放射性セシウムやヨウ素よりも顕著に影響が現れる核種が存在すると思われる。

4. 県内における放射性セシウム検出状況について

本章では、本県におけるこれまでのCs-137およびCs-134の検出状況について考察する。

同じセシウムの同位体であるが、Cs-137とCs-134の主な生成過程には大きな差がある。Cs-137は、ウランが中性子を吸収し、分裂することによって生成される。また、Cs-137は、様々な核分裂生成物の中でも、生成される割合(ウランの核分裂収率)が大きい。したがって、比較的長期間核分裂を継続させる原子炉だけでなく、瞬間的に反応が終了する核爆発(核実験など)でも、大量に発生する。また原子炉においては、燃料の燃焼度などの運用状況によって生成量に変化する。

一方、Cs-134は安定元素であるCs-133が中性子を捕獲することで生成される。また、核燃料に含まれるCs-133は、主に原子炉における主要な核分裂生成物であるキセノン-133のベータ崩壊(半減期:約5.2日)によって供給されると考えられる。したがって、Cs-134は核分裂がある程度継続しなければ生成されず、反応が瞬間的に終了し、構成物が揮散する核爆発では発生しにくい。また、原子炉においては、一般的に、運用年数の長い燃料が多くなるほど、生成量は

表 2 平成 23 年度の北海道のモニタリング調査結果(泊・岩内海域)⁷⁾

Cs-137 (Bq/kg 生)	H23.4~H23.6	H23.7~H23.9	H23.10~H23.12	H24.1~H24.3
たこ	N.D	0.028~0.031	N.D	N.D
いか	—	N.D~0.028	N.D	—
あわび	—	—	N.D~0.033	—
ほたて	N.D	—	N.D	—
海水 (mBq/L)	1.4~2.7	1.3~2.1	N.D~1.8	N.D~1.9

Ag-110m (Bq/kg 生)	H23.4~H23.6	H23.7~H23.9	H23.10~H23.12	H24.1~H24.3
たこ	N.D	N.D~0.051	N.D~0.046	0.046
いか	—	0.49~2.0	0.34~1.5	—
あわび	—	—	0.13~0.18	—
ほたて	0.33	—	N.D	—
海水 (mBq/L)	N.D	N.D	N.D	N.D

※N.D は定量下限値未満

多くなると予想される。

そのため、半減期が 2.1 年である Cs-134 が検出された場合、Cs-137 の応答性の高い試料を用いて、それぞれの割合を比較すれば、放射性セシウムの発生元を推定する手掛かりとなり得る。

4.1. 大気圏内核実験の影響

昭和 50 年代にかけて、世界各地で大気圏内核実験が実施され、核分裂生成物が飛散した。県内でも、昭和 60 年度まで、様々な試料で Cs-137 が検出されているが、これらは大気圏内核実験の影響によるものと推定される。

例として、昭和 55 年 7 月～昭和 56 年 9 月までの月間降下物の測定結果を図 5 に示す。これを見ると、昭和 56 年 1 月分から、測定値が急激に上昇しているが、これは昭

和 55 年 10 月 16 日に実施された中国の核実験に起因するものであると推定される。一方で、3.1 で説明したとおり、核実験では Cs-134 は生成しにくいと考えられ、実際に、上記の期間中に Cs-134 は検出されなかった。

4.2. チェルノブイリ原発事故の影響

昭和 61 年 4 月 26 日に発生したチェルノブイリ原発事故を受けて、愛媛県では緊急に、大気浮遊じんなどの採取が実施され、Cs-137 や Cs-134 を始めとする、数種類の人工放射性核種が検出された。

図 6 に、昭和 61 年 5 月に採取された大気浮遊じんの結果のうち、Cs-137 と Cs-134 が同時に検出されたものをプロットしたが、Cs-137 と Cs-134 の放射能濃度の比がおおよそ 1:0.5 であることがわかる。この

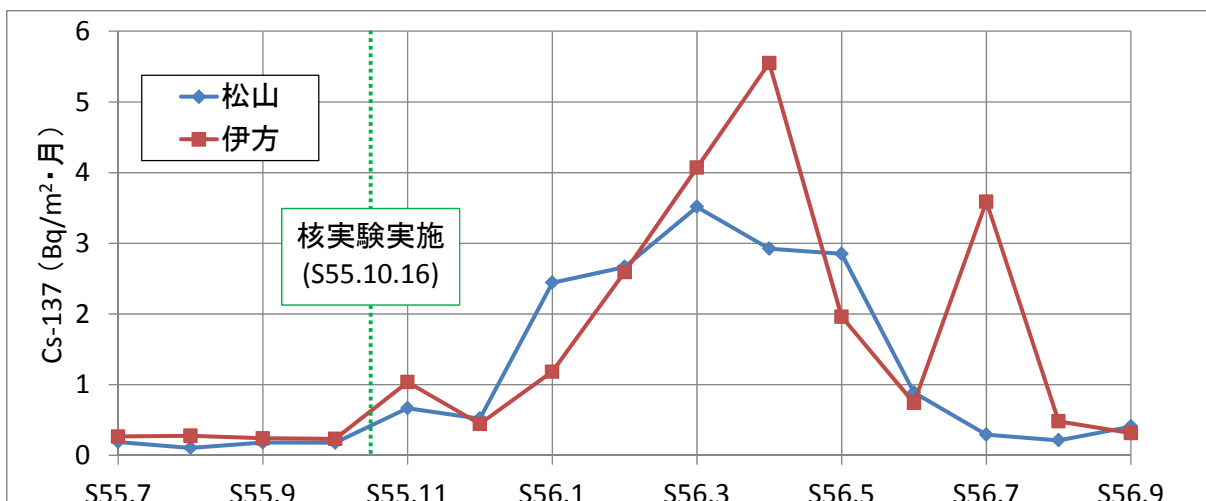


図5 月間降下物のCs-137検出状況

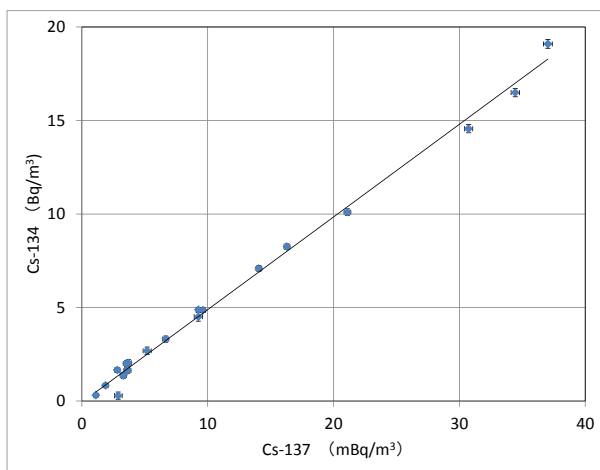


図6 大気浮遊じんの放射性セシウム検出状況 (S61.5 採取, 事故発生日に減衰補正)

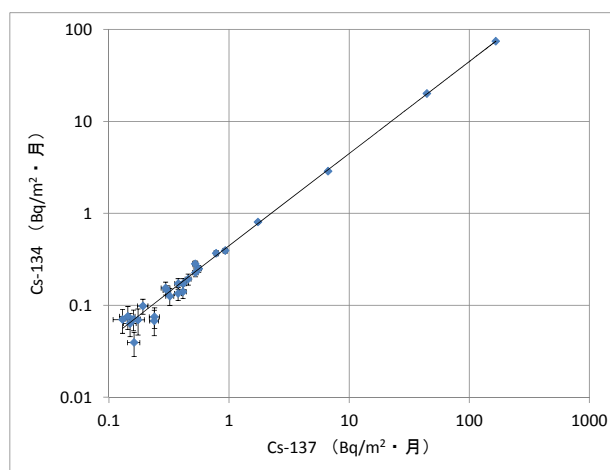


図7 月間降下物の放射性セシウム検出状況 (S61.4~S62.9, 事故発生日に減衰補正)

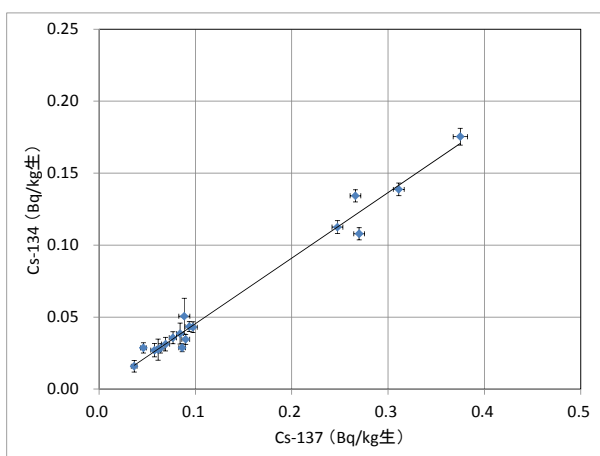


図8 みかん(可食部)の放射性セシウム検出状況 (S61~S63, 事故発生日に減衰補正)

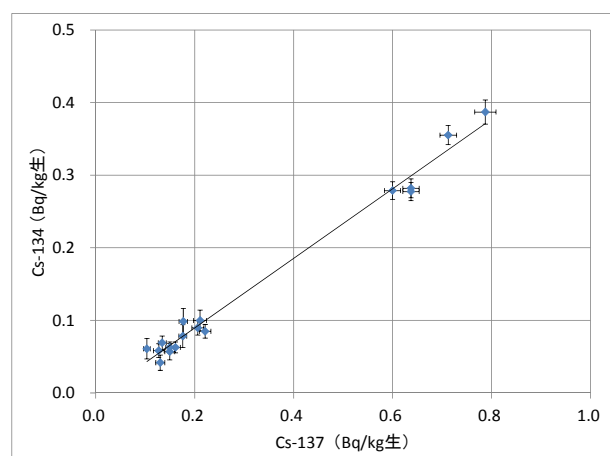


図9 みかん(表皮)の放射性セシウム検出状況 (S61~S62.3, 事故発生日に減衰補正)

傾向はモニタリング調査においても、月間降下物(図 7), 杉葉(図 2), みかん(図 8, 図 9)でも見られた。

4.3. 東電事故の影響

東電事故においても、愛媛県は、大気浮遊じんなどの緊急採取を実施しており、数種類の人工放射性核種が検出された。

図 10 に、平成 23 年 4 月～5 月に採取された大気浮遊じんの結果のうち、Cs-137 と Cs-134 が同時に検出されたものをプロットしたが、Cs-137 と Cs-134 の放射能濃度の比がおよそ 1:1 であることがわかる。この傾向はモニタリング調査においても、月間降下物や杉葉(図 2)などにみられる。

この傾向をチェルノブイリ原発事故と比較すると、Cs-137 と Cs-134 の比におよそ 2 倍の差があることが分かる。この原因の一つとして、各施設の運用状況の差を挙げることができる。福島第 1 原発 1～3 号機は、商用運転から 35～40 年程度が経過していずれも平衡状態に達しており、Cs-134 を比較的多く生成した核燃料から漏えいが進んだと考えられる。一方、チェルノブイリで事故を起こした 4 号炉は、商業運転から約 2 年しか経過しておらず、Cs-134 の生成が進んだ燃料が福島第 1 原発に比べて少なかったのではないかと推察できる。

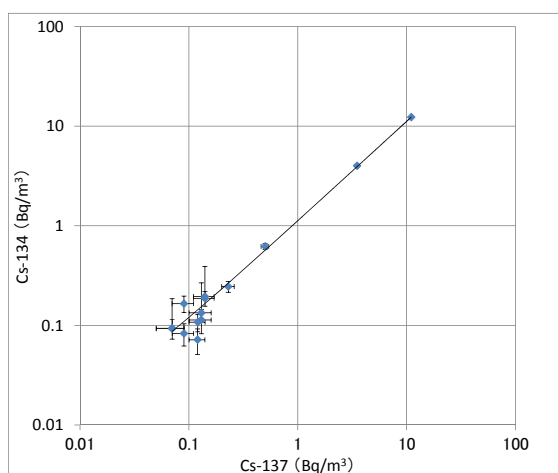


図 10 大気浮遊じんの放射性セシウム検出状況 (H23.4～H23.5, 事故発生日に減衰補正)

5. まとめ

本稿は、平成 25 年度から拡充予定の試料について、過去の知見などを交えて考察し、整理したものである。本調査で得られたデータ、経験や知見を今後の放射線モニタリング業務の改善、高度化、評価に生かしてまいりたい。

【参考文献】

- 1) 環境放射能データベース(平成 25 年 1 月 30 日参照), 文部科学省,
<http://search.kankyo-hoshano.go.jp/servlet/search.top>
- 2) 田上 恵子, RADIOISOTOPE, 61 (2012), 267.
- 3) Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Terrestrial and Freshwater Environment, Technical Report Series No.472, IAEA, (2010)
- 4) Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and their Remediation: Twenty Years of Experience, IAEA, (2006)
- 5) 白木与志也, 北宣裕, 山田良雄, RADIOISOTOPE, 61 (2012), 261.
- 6) 水産物の放射性物質調査の結果について, 水産庁,
<http://www.jfa.maff.go.jp/j/housyanou/kekka.html>
- 7) 平成 23 年度泊発電所周辺環境放射線監視結果報告書, 北海道, 2013
- 8) 提供: 海洋研究 開発機構・短期気候変動応用予測研究プログラム(独) 海洋研究開発機構,
<http://www.jamstec.go.jp/frcgc/jcope/htdocs/fukushima.html>